



**PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PUBBLICA  
- sottozona F2 – Polo Ospedaliero di Cona**

**RAPPORTO DI VALUTAZIONE AMBIENTALE  
ALLEGATO 4 bis**

**Studio di fattibilità per un progetto di paesaggio attento  
alle tematiche della sostenibilità urbana nell'area del  
nuovo ospedale di Ferrara in località Cona**

CONTRODEDOTTO

<b>Area del Territorio e dello Sviluppo Economico</b> Settore Pianificazione Territoriale Servizio Pianificazione Territoriale e Progettazione		<b>Rel. 3</b> <b>All. 4 bis</b> <b>CONTRODEDOTTO</b> data : MARZO 2011
<i>COMUNE DI FERRARA</i> <i>Sindaco:</i> Tiziano Tagliani <i>Assessori:</i> Roberta Fusari Rossella Zadro Chiara Sapigni Aldo Modonesi  <i>Area del territorio e dello sviluppo economico:</i> Ing. Fulvio Rossi <i>Settore Pianificazione Territoriale:</i> Arch. Davide Tumiatì <i>Settore Ambiente e Attività Produttive:</i> Ing. Alberto Bassi <i>Servizio Pianificazione Territoriale:</i> Arch. Paolo Perelli	<i>Gruppo Operativo</i>  <i>Coordinamento:</i> Arch. Davide Tumiatì Arch. Paolo Perelli  <i>Gruppo di Lavoro:</i> Arch. Davide Manfredini Arch. Paola Onorati Ing. Antonio Parenti Ing. Alessio Stabellini Geom. Francesca Guerzoni Ril. Maria Chiara Menegatti Dis. Massimo Scapoli Ing. Giada Guzzinati	<i>AZIENDA OSPEDALIERA UNIVERSITARIA DI FERRARA</i> Dott. G. Rinaldi Arch. F. Sani Ing. C. Turbinati Ing. P. Chiarini Ing. C. Melchiorri Arch. A. Riciarelli Dott. R. Baruchello
		<i>UNIVERSITA' DI FERRARA E FACOLTA' DI ARCHITETTURA</i> Prof. P. Nappi Prof. R. di Giulio
		<i>ARPA Struttura Tematica Ingegneria Ambientale:</i> Ing. P. Cagnoli
		<i>Consorzio di Bonifica Il Circondario – Pianura di Ferrara:</i> Ing. G. Tebaldi Ing. M. Volpin



# ELENCO ELABORATI

## 1 - RELAZIONI

1.1	RELAZIONE TECNICA
1.2	RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

## 2 - ELABORATI GRAFICI

2.1	PLANIMETRIA GENERALE
2.2	PROFILO LONGITUDINALE
2.3	SEZIONI TRASVERSALI - dalla 1 alla 8
2.4	SEZIONI TRASVERSALI - dalla 9 alla 13
2.5	SEZIONI TRASVERSALI - dalla 14 alla 19
2.6	SEZIONI TRASVERSALI - dalla 20 alla 27
2.7	SEZIONI TRASVERSALI - dalla 28 alla 33
2.8	MANUFATTO ALL'ORIGINE
2.9	MANUFATTO INTERMEDIO
2.10	MANUFATTO TERMINALE



# CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

Sede legale e recapito postale:  
44121 Ferrara Via Borgo dei Leoni, 28 - C.F. 93076450381  
www.bonificaferrara.it - e-mail info@bonificaferrara.it  
aderente all'   
Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazioni e Miglioramenti Fondiari

**Studio di fattibilità per un "progetto di paesaggio"  
attento alle tematiche della sostenibilità urbana  
nell'area del nuovo ospedale di Ferrara in località Cona**

## PROGETTO PRELIMINARE

# RELAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA

Data:	Elab. n°	<b>1.2</b>
-------	----------	------------

**IL PROGETTISTA**  
(Dott. Ing. Marco Volpin)



**IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO**  
(Dott. Ing. Gianni Tebaldi)

.....

**GRUPPO OPERATIVO**  
Dott. Ing. Laura Montanari  
Dott. Ing. Andrea Zoli  
Geom. Carlo Mazzanti  
Geom. Bruno Desiderati

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>INQUADRAMENTO DELLO STUDIO IDROLOGICO</b>	<b>4</b>
2.1	LA PIANIFICAZIONE COMUNALE	4
2.2	LO STUDIO IDROLOGICO NELLA PIANIFICAZIONE COMUNALE	4
2.3	DESCRIZIONE SINTETICA DELLO STUDIO	5
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b>	<b>6</b>
3.1	INQUADRAMENTO TERRITORIALE ED INVARIANZA IDRAULICA DELL'INTERVENTO	6
3.2	IPOTESI PROGETTUALI	16
<b>4</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE PLUVIOMETRICA</b>	<b>20</b>
4.1	INDIVIDUAZIONE SERIE STORICA DI RIFERIMENTO E LINEE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ CLIMATICA	20
4.2	CALCOLO DEL FATTORE DI RIDUZIONE AREALE	21
4.3	RICOSTRUZIONE DEGLI IETOGRAMMI DI RIFERIMENTO	28
<b>5</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA</b>	<b>30</b>
5.1	INDIVIDUAZIONE BACINI IDROLOGICI	30
5.2	SEZIONI DI CHIUSURA LUNGHEZZE IDRAULICHE TEMPO DI CORRIVAZIONE E LAG TIME	31
5.3	CARATTERIZZAZIONE IDROLOGICA DEI SUOLI – PIOGGIA NETTA	33
5.4	PARAMETRI IDROLOGICI	62
<b>6</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE ALTIMETRICA E TOPOGRAFICA</b>	<b>67</b>
6.1	RILIEVI ALTIMETRICI	67
6.2	MODELLO DIGITALE DEL TERRENO	68
6.3	RILIEVO PLANO - ALTIMETRICO DELL'AREA DI STUDIO	69
6.4	RILIEVO DELLE RETI	71
<b>7</b>	<b>DESCRIZIONE DEL SOFTWARE MIKE11</b>	<b>74</b>
7.1	MODULO IDROLOGICO MIKE11 – RR	74
7.2	MODULO IDRODINAMICO MIKE11 - HD	79

<b>8</b>	<b>MODELLAZIONE IDROLOGICO-IDRAULICA DEL SISTEMA</b>	<b>86</b>
<b>8.1</b>	<b>MODELLAZIONE IDROLOGICA</b>	<b>86</b>
<b>8.2</b>	<b>MODELLAZIONE IDRODINAMICA</b>	<b>111</b>
<b>9</b>	<b>VERIFICA PROGETTUALE CON MODELLO BIDIMENSIONALE</b>	<b>132</b>

## **1 PREMESSA**

Il presente documento descrive l'analisi idrologico-idraulica condotta per lo studio del sistema di smaltimento delle acque meteoriche della nuova urbanizzazione prevista da un Piano Particolareggiato di Iniziativa Pubblica per l'area del nuovo ospedale di Ferrara in località Cona.

## **2 Inquadramento dello studio idrologico**

### **2.1 La Pianificazione Comunale**

Elemento base per la realizzazione dello studio, sul quale fondare anche la validità futura delle scelte operate, oltre al materiale informativo che accompagna il Piano Particolareggiato reso disponibile dal Comune di Ferrara, è il Piano Strutturale Comunale di recente adozione.

Da questo infatti, oltre alle previsioni di espansione urbana, possiamo ottenere numerose informazioni di natura ambientale, geologica, paesaggistica, utili ad una progettazione idraulica che consenta una corretta valutazione dei possibili sviluppi territoriali.

Lo studio idrologico, infatti, è stato effettuato considerando le possibili variazioni di impermeabilizzazione dei suoli che potranno verificarsi al di fuori dell'area oggetto di piano, in quanto possibili cause di effetti interagenti con le opere idrauliche da progettare.

### **2.2 Lo studio idrologico nella Pianificazione Comunale**

Lo studio idrologico sviluppato per la progettazione del sistema di smaltimento delle acque meteoriche dell'area del Polo Ospedaliero potrà essere opportunamente utilizzato per ampliare il quadro conoscitivo alla base della realizzazione del PSC.

Infatti, l'analisi delle piogge, la definizione del sistema di scolo e dei bacini contribuenti ed il modello idraulico della rete, potranno essere convenientemente utilizzati in futuro come basi per la stesura dei Piani Operativi per l'area riferibile all'abitato di Cona, anche per interventi non direttamente collegabili allo specifico Piano Particolareggiato.

## 2.3 Descrizione Sintetica dello studio

Il corpo delle analisi effettuate per dare risposta a quanto richiesto, è costituito dalla realizzazione di un modello analitico in grado di simulare le modalità con cui avviene lo smaltimento delle acque meteoriche nel bacino di scolo interessato dagli scarichi urbani riferibili alle previsioni del Piano Particolareggiato. La simulazione permette di valutare l'efficienza della rete di scolo superficiale nello stato previsto dal Piano, potendo quindi dare indicazioni sulla bontà delle scelte operate.

La realizzazione del modello necessita dei passaggi di seguito elencati:

- 1 Analisi delle piogge intense e caratterizzazione idrologica dei suoli;
- 2 Caratterizzazione morfologica ed idrogeologica;
- 3 Caratterizzazione idraulica del sistema di scolo nello stato di fatto;
- 4 Analisi parametrica dei requisiti di natura idraulica da assegnare alle nuove opere di smaltimento delle acque meteoriche;
- 5 Progetto preliminare delle nuove opere idrauliche;
- 6 Verifica del sistema di smaltimento nello stato di progetto.

### 3 Inquadramento territoriale

#### 3.1 Inquadramento territoriale ed invarianza idraulica dell'intervento

Il Piano Particolareggiato alla base della progettazione effettuata riguarda un'area classificata dagli strumenti urbanistici come Sottozona F2 - Polo Ospedaliero di Cona (Figura 1).



**Figura 1.** Piano Particolareggiato di iniziativa Pubblica - Sottozona F2 - Polo Ospedaliero di Cona.

In Figura 2 viene riportata un'immagine di come si presenta l'area, secondo rilievo fotogrammetrico del 2008.



**Figura 2.** Area oggetto di studio da rilievo fotogrammetrico del 2008.

Come si può vedere, ad esclusione dell'area occupata dall'ospedale, la zona ha caratteristiche prevalentemente rurali. L'intervento che si andrà a realizzare prevede dunque il rispetto dei principi di sostenibilità idraulica ed ambientale, contestualizzati alla natura agricola del territorio di appartenenza.

Se da un lato dunque occorre privilegiare l'efficienza dell'area, equipaggiandola di infrastrutture adeguate a garantirne la completa funzionalità, dall'altro si rende necessario preservare le caratteristiche principali del contesto territoriale attuale, garantendo un equilibrio paesaggistico in sintonia con il territorio rurale circostante.

Dal punto di vista idraulico questo concetto si esplica con il rispetto del vincolo di "invarianza idraulica" della nuova area urbanizzata, ovvero garantendo che la trasformazione di un'area non provochi un aggravio della portata di piena del corpo idrico ricettore.

Al fine di chiarire il concetto per gli scopi di pianificazione e di progettazione che interessano il presente studio, si può affermare, in maniera schematica e semplificata,

che le precipitazioni che interessano un bacino idrografico subiscano due tipi di processi concorrenti alla generazione delle piene nei corsi d'acqua riceventi: l'infiltrazione nei suoli e l'immagazzinamento superficiale [Pistocchi, A., 2001]<sup>(1)</sup>.

Il primo processo determina il volume idrico restituito al corso d'acqua ricevente: un bacino naturale ha la caratteristica di lasciare infiltrare nel terreno buona parte del volume di pioggia, grazie ai congiunti effetti di elevata porosità del terreno e di copertura vegetativa del suolo. Questo processo è incentivato dall'elevato tempo di corrivazione dei bacini non antropizzati, dovuto alle asperità ed alle irregolarità del terreno, che determina una maggiore permanenza di volumi idrici sul suolo e dunque un'aumentata infiltrazione potenziale.

Il secondo processo è invece determinato dai volumi accumulati in depressioni superficiali e canalizzazioni della rete idrica minore, che garantiscono una maggiore ritenzione dei deflussi. Questi ultimi vengono così rilasciati più lentamente che in aree artificializzate, in cui la rete scolante spesso subisce una rettificazione e le superfici vengono spianate dall'intervento umano.

Come appare chiaro da quanto sin qui esposto, l'antropizzazione comporta sia l'aumento dei volumi defluiti, sia la riduzione del tempo di corrivazione del bacino, entrambi fattori concorrenti all'inasprimento delle portate massime che giungono nei corpi idrici riceventi, spesso aumentando il rischio idraulico dell'area in esame.

In territori pianeggianti come quelli della Provincia di Ferrara, bonificati con opere idrauliche frutto di un lavoro che si protrae da antica data, la rete di canali scolanti risulta dimensionata per far fronte alle esigenze di un territorio per lungo tempo prevalentemente rurale, ma che ha vissuto, negli ultimi decenni, l'intensificarsi dell'urbanizzazione, spesso incurante del rispetto dell'equilibrio territoriale raggiunto nei secoli. Il potere di invaso e di scolo dei canali di bonifica, dimensionati per far fronte alle esigenze del territorio agricolo risulta spesso insufficiente per smaltire i maggiori volumi e le portate di picco generate dalle nuove aree urbanizzate. Questo aspetto è stato trattato, tra gli altri, anche da Lamberti e Leoni (1997)<sup>(2)</sup> che hanno posto l'attenzione sulla perdita di capacità di invaso del territorio, connessa alla sensibile riduzione dei volumi del drenaggio minuto (scoline, fossi, ecc...).

<sup>(1)</sup> Pistocchi, A., *La valutazione idrologica dei piani urbanistici: Un metodo semplificato per l'invarianza idraulica dei piani regolatori generali*, *Ingegneria Ambientale*, vol. XXX, n.7/8, pp 407-413, 2001

<sup>(2)</sup> Lamberti P. e G. Leoni, *Problematiche delle reti di bonifica in aree fortemente antropizzate: il caso della bonifica renana nel territorio della bassa bolognese*, in A. Brath, U. Maione, (a cura di), *Atti del Corso di Aggiornamento "Moderne tecniche e criteri per la sistemazione dei corsi d'acqua in territori fortemente antropizzati"* Politecnico di Milano, Bios Ed., 1997.

Lo scrivente Consorzio ha affrontato la questione prescrivendo, per ogni nuova urbanizzazione, il rispetto di una portata massima in ingresso al collettore ricevente e di un volume minimo di invaso nella Delibera n° 61 del 04/12/2009 Prot. 3877, uno stralcio della quale viene di seguito riportata:

*Quanto sopra esposto si propone di adottare per tutto il comprensorio consortile le seguenti procedure applicative:*

- 1. Le opere di nuova urbanizzazione sul territorio consortile dovranno essere realizzate perseguendo il fine dell'invarianza idraulica. Il Consorzio si riserva la possibilità, a fronte di conclamate condizioni di "esubero" di potenzialità di ricezione, di permettere l'incremento delle portate di punta in ingresso alla rete.*
- 2. Il rispetto dell'invarianza idraulica di cui al punto 1 potrà essere perseguito attraverso interventi di mitigazione delle portate in ingresso alla rete Consorziale nel rispetto delle seguenti prescrizioni minime, che individuano la portata massima accettabile e il volume di invaso minimo richiesto per diverse fasce di estensione delle urbanizzazioni:*

*superfici urbanizzate da 0 a 0,50 Ha.*

- Portata massima accettabile  $Q_i=15$  lt/sec Ha;*
- Volume minimo invasabile  $W_i$  = il valore più alto tra 150 mc/Ha. urbanizzato e 215 mc./Ha. impermeabilizzato;*

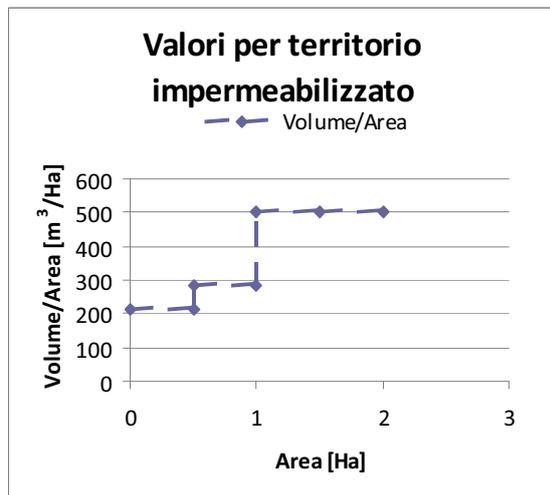
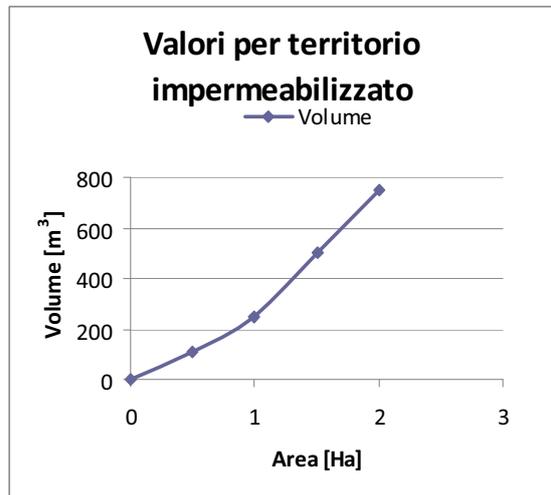
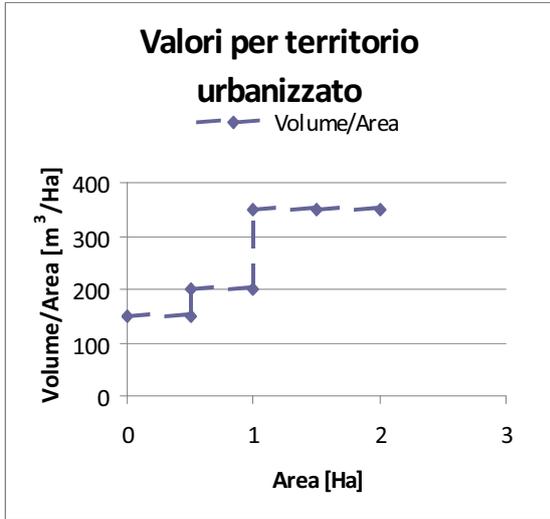
*superfici urbanizzate da 0,50 a 1,00 Ha.*

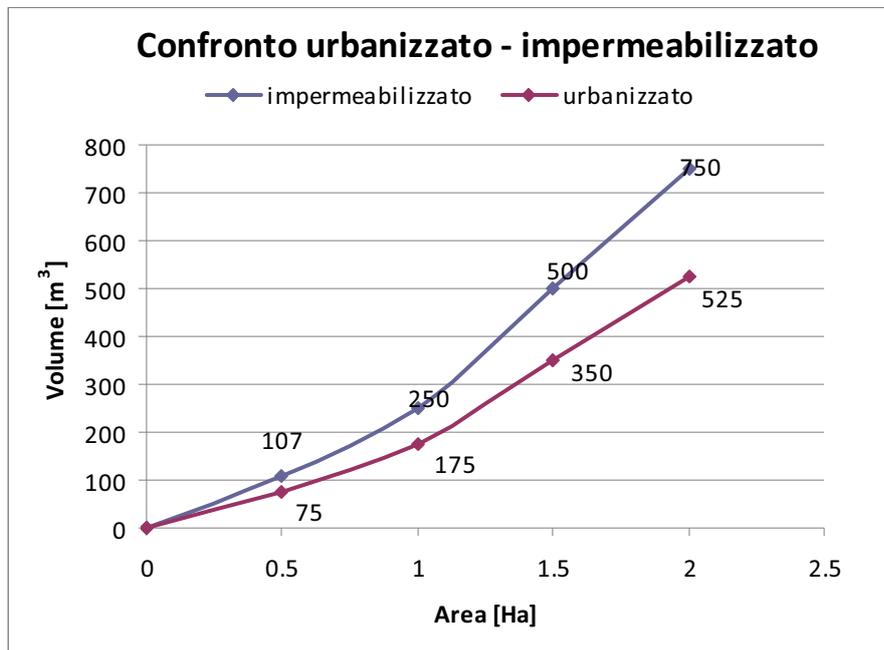
- Portata massima accettabile  $Q_i=12$  lt/sec Ha;*
- Volume minimo invasabile  $W_i$  = il valore più alto tra 200 mc/Ha. urbanizzato e 285 mc./Ha. impermeabilizzato;*

*superfici urbanizzate oltre 1,00 Ha.*

- Portata massima accettabile  $Q_i=8$  lt/sec Ha;*
- Volume minimo invasabile  $W_i$  = il valore più alto tra 350 mc/Ha. urbanizzato e 500 mc./Ha. impermeabilizzato;*

*Di seguito si riportano le rappresentazioni in forma di grafico di quanto sopra scritto:*





I volumi minimi di accumulo stabiliti nei punti precedenti corrispondono unicamente ad una soglia di compatibilità per il corretto funzionamento del sistema di scolo consorziale. Resta nella facoltà e responsabilità del richiedente la progettazione e realizzazione di opere atte a garantire adeguato grado di sicurezza idraulica all'area urbanizzata. Al Consorzio pertanto non potrà essere ascritta alcuna responsabilità in caso di verificata insufficienza del volume incamerato con conseguenti condizioni di crisi per allagamento delle aree urbanizzate.

I volumi eccedenti le possibilità di accumulo dei sistemi di fognatura, realizzati nel rispetto di quanto sopra riportato, dovranno essere smaltiti attraverso opportuni sistemi di sfioro. Per questi ultimi, finalizzati ad impedire allagamenti da esondazione nella stessa area e/o nelle aree limitrofe, dovranno essere predisposte ad opera del richiedente periodiche manutenzioni e verifiche per garantirne il corretto funzionamento.

Al fine della garanzia di corretta realizzazione, in accordo con gli enti competenti, i certificati di collaudo, di abitabilità e/o agibilità, si propone vengano subordinati alla attestazione, da parte del Consorzio, di avvenuta verifica della rispondenza delle opere di mitigazione idraulica a quanto prescritto in fase di autorizzazione.

La summenzionata deliberazione risolve la necessità di scalare progressivamente i volumi di invaso richiesti e le portate massime accettabili nei canali di bonifica in relazione alla superficie totale del progetto di urbanizzazione, suddividendo in tre classi di aree i volumi di accumulo minimi richiesti.

Tale suddivisione è scaturita da un tavolo di confronto tra i Consorzi di Bonifica ferraresi e i gestori delle fognature urbane (HERA E CADF). Pur rimanendo in linea con quanto riportato nelle prescrizioni dell'Art.20 delle Norme del PSAI dell'Autorità di Bacino del Reno, ne comporta un ulteriore dettaglio scaturito dalla pratica applicazione consortile e dall'esigenza di definire un metodo univoco di valutazione delle domande pervenute per l'ottenimento dell'autorizzazione allo scarico delle acque meteoriche provenienti da interventi estesi di urbanizzazione.

L'intervento in esame riguarda complessivamente un'area di circa 100 ha, di cui circa 60 ha destinati a nuove urbanizzazioni, denominate B3\_U3, 1\_E\_NUOVI\_PP, 2\_A\_NUOVI\_PP, AREE NORD\_U1\_U2\_U3, 4 ha di tessuti consolidati e 37 ha di compensazione idraulica.

Tale suddivisione è riportata in Figura 3 ed in Tabella 1.



**Figura 3.** Area oggetto di intervento e suddivisione interna in Lotti e Sublotti.

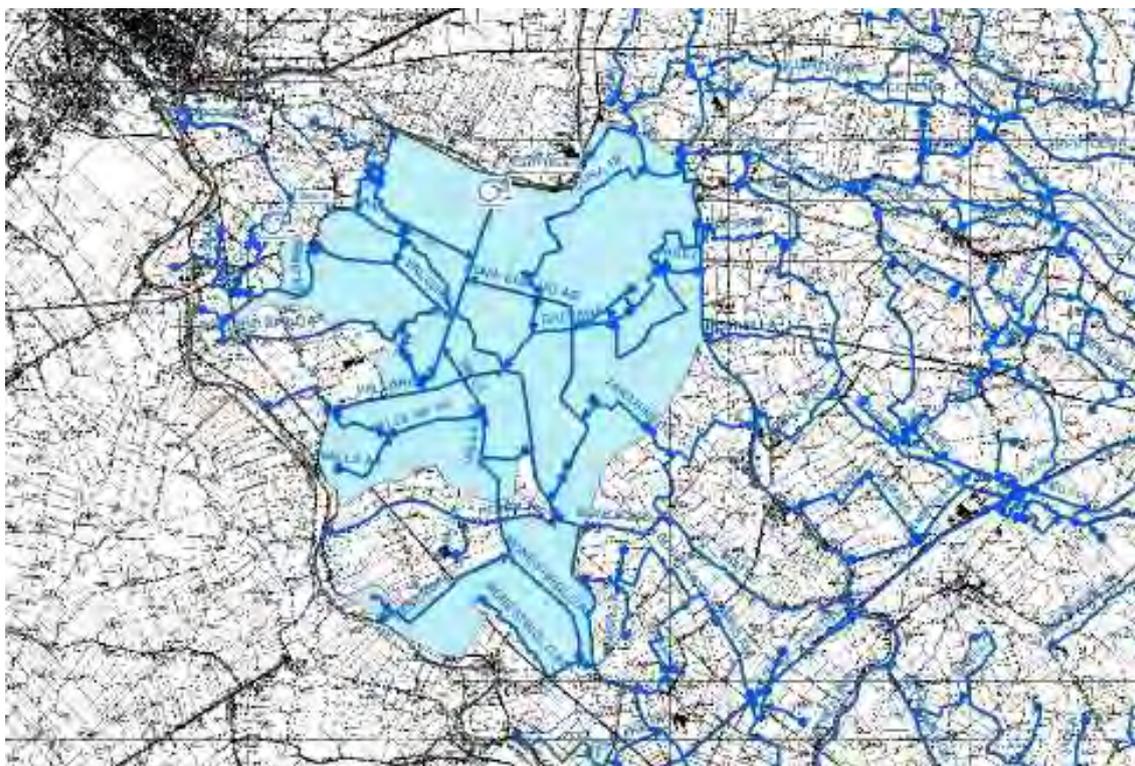
**Tabella 1.** Area oggetto di intervento e suddivisione interna in Lotti e Sublotti.

BACINO	AREA (km <sup>2</sup> )	AREA (ha)	RICETTORE	PROGR1	PROGR2
B1_U1	0.09166	9.166	Nuovo Canale	1505	1675
B2_U1	0.00300	0.300	Nuovo Canale	510	510
B2_U2	0.01088	1.088	Nuovo Canale	510	510
B2_U3	0.00972	0.972	Nuovo Canale	610	610
B2_U4	0.07248	7.248	Nuovo Canale	440	1675
B2_U5	0.06254	6.254	Nuovo Canale	440	1675
B2_U6	0.06376	6.376	Nuovo Canale	650	1675
B3_U1	0.00747	0.747	Nuovo Canale	30	30
B3_U2	0.00491	0.491	Nuovo Canale	140	140
B3_U3	0.10905	10.905	Nuovo Canale	280	280
B3_U4	0.04557	4.557	Co. Cona AA	2150	2500
B3_U4	0.02278	2.278	Nuovo Canale	0	200
B3_U5	0.01230	1.230	Nuovo Canale	200	400
<b>SOMMA PARZ</b>	<b>0.51612</b>	<b>51.612</b>			
1_E_NUOVI_PP	0.08670	8.670	Co. Cona AA	2150	2150
2_A_NUOVI_PP	0.17803	17.803	Co. Cona AA	2150	2150
AREE_NORD_U1_U2_U3	0.21392	21.392	Co. Cona AA	2150	2150
<b>SOMMA TOT</b>	<b>0.99477</b>	<b>99.477</b>			

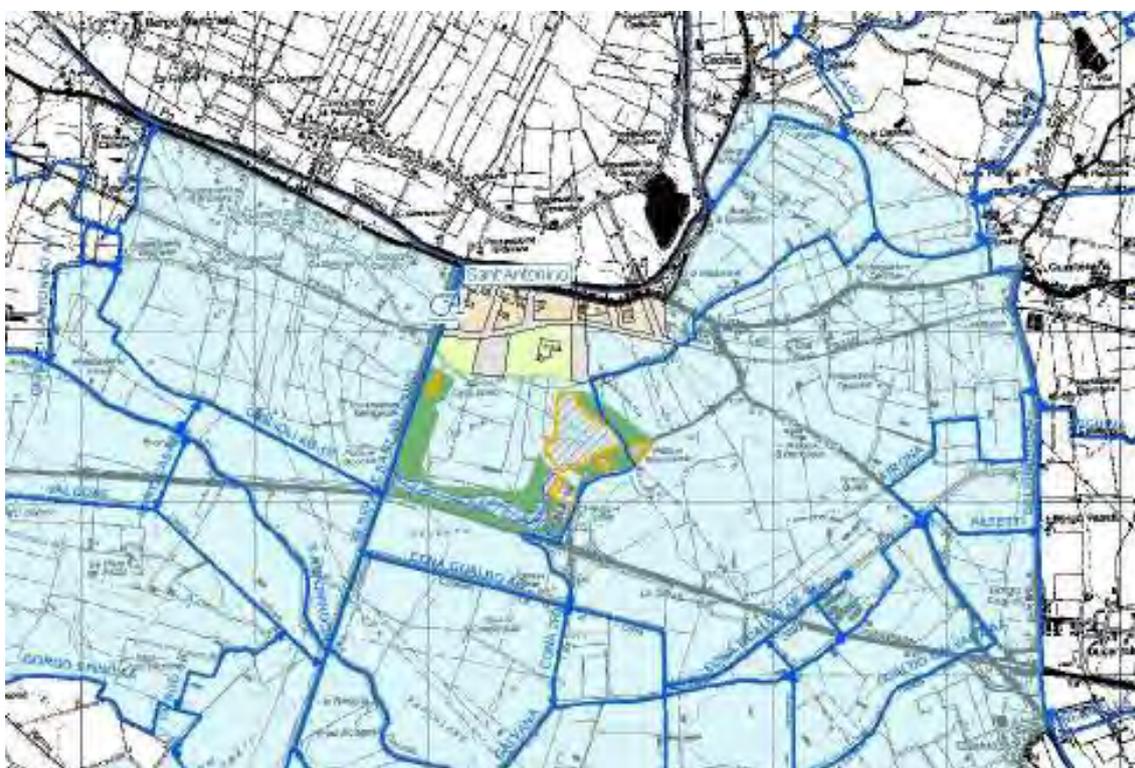
In conformità alla delibera consortile la portata massima che può essere rilasciata al collettore ricevente da questa nuova area di urbanizzazione è circa 413 l/s, mentre il volume minimo di invaso richiesto è circa 22000 m<sup>3</sup>.

Tuttavia, data la funzionalità dell'area oggetto di nuova urbanizzazione, si ritiene necessario preservarla ulteriormente. I volumi minimi richiesti da delibera sono infatti quelli necessari per garantire invarianza idraulica rispetto alla rete di scolo ricevente, mentre occorre ridimensionare gli stessi in virtù della sicurezza idraulica che si vuole raggiungere per la realizzanda urbanizzazione.

Attualmente, l'area in oggetto scola nel canale consortile Cona AA che defluisce poi nel Condotta Cona Gualdo AB, il quale convoglia nel Collettore Principale di Sant'Antonino. L'intera linea di scolo qui menzionata fa parte della Bonifica di Sant'Antonino, territorio di circa 37 km<sup>2</sup> che non ha scolo a gravità, ma che, attraverso una rete di canali confluyente al Collettore Principale di Sant'Antonino, raggiunge l'impianto idrovoro omonimo, che garantisce il sollevamento delle portate di scolo al Po di Volano (Figura 4). L'impianto ha potenzialità massima nominale di 12.6 m<sup>3</sup>/s ed è stato recentemente potenziato.

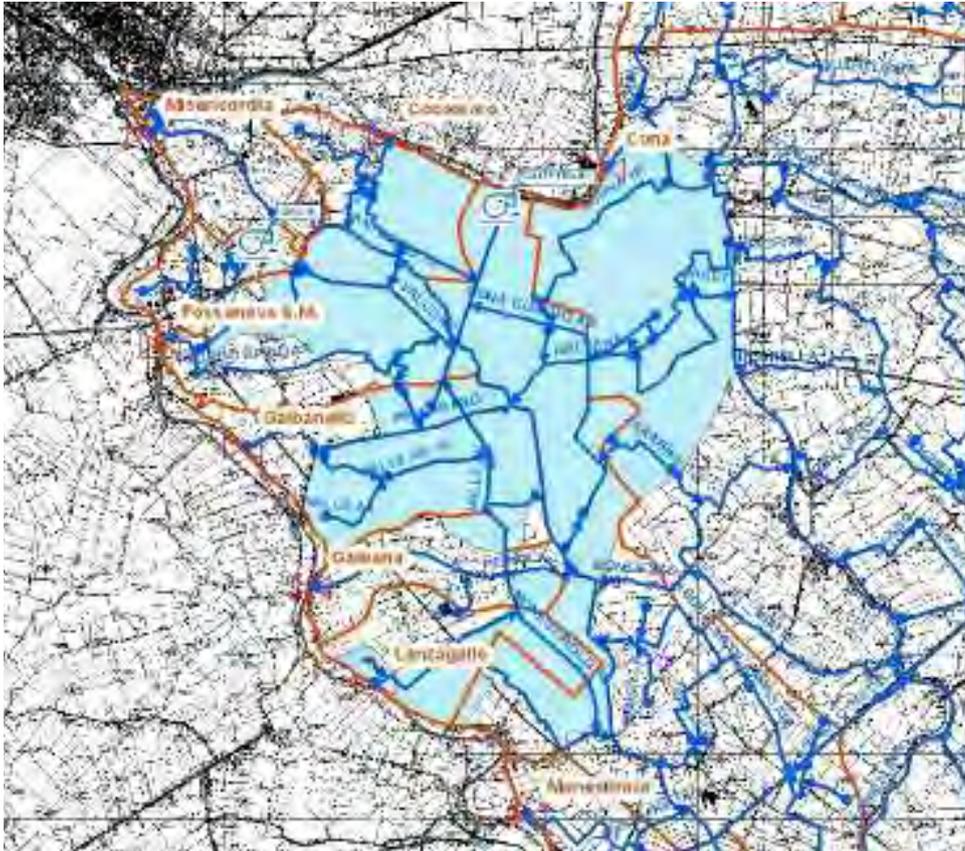


*Figura 4. Bonifica di Sant'Antonino e linea di scolo attuale.*



*Figura 5. Area oggetto di intervento e modalità di scolo attuali.*

La rete consortile, oltre alla funzione di scolo delle aree di propria competenza, adempie anche alla funzione irrigua, attingendo acqua sia dal Po di Primaro che dal Po di Volano attraverso le Prese irrigue riportate in Figura 6.

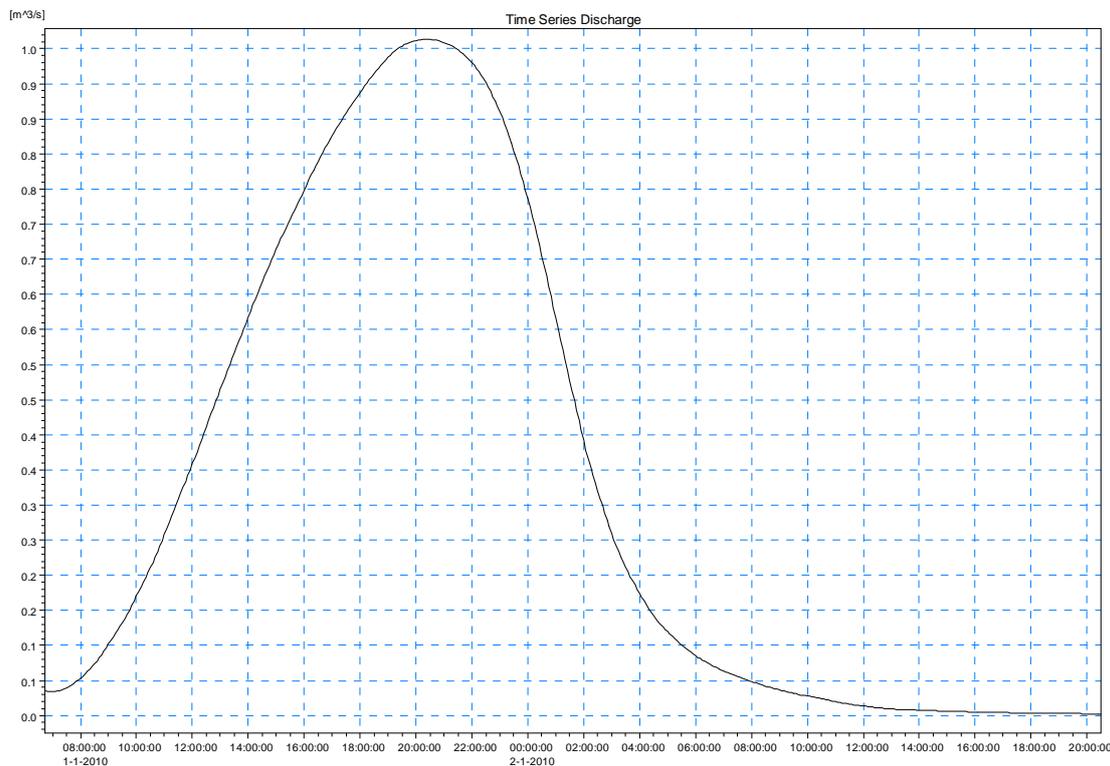


**Figura 6.** Bonifica di Sant'Antonino, rete consortile e opere di presa a scopo irriguo.

Lungo la rete consortile sono presenti paratoie aventi funzione regolatrice e convogliatrice delle portate derivate dal Po di Primaro e dal Po di Volano a fini irrigui. Tali paratoie sono tempestivamente aperte in caso di previsione di piogge intense dai tecnici del Consorzio, in modo da agevolare il deflusso e lo scolo dei terreni di bonifica interessati.

Anche la linea idraulica esistente nell'area in esame riveste funzione promiscua di scolo e di irrigazione.

Gli eventi di progetto utilizzati per il dimensionamento di tale linea idraulica determinano, secondo il modello di calcolo utilizzato, l'idrogramma di piena riportato in Figura 7.



**Figura 7.** Portata massima uscente dal Co. Cona AA per tempi di ritorno di venti anni e nella condizione territoriale attuale.

La portata al colmo di tale idrogramma sarà considerata come il valore massimo accettabile, defluente dai terreni contribuenti, in ingresso alla rete di bonifica di valle nella condizione post operam. Ad esso occorrerà inoltre aggiungere la portata aggiuntiva massima ammissibile secondo delibera consortile n° 61 del 04/12/2009 Prot. 3877 che, per l'urbanizzazione prevista, in base a quanto sopra descritto è di 0.413 m³/s, per un totale di 1.41 m³/s.

La quota di portata eccedente tale valore massimo, al fine di rispettare l'invarianza idraulica, dovrà essere assorbita attraverso un ammortizzatore idraulico con capacità di accumulo provvisorio di volumi idrici, da collocare nell'ambito della nuova linea idraulica oggetto di progettazione.

### 3.2 Ipotesi progettuali

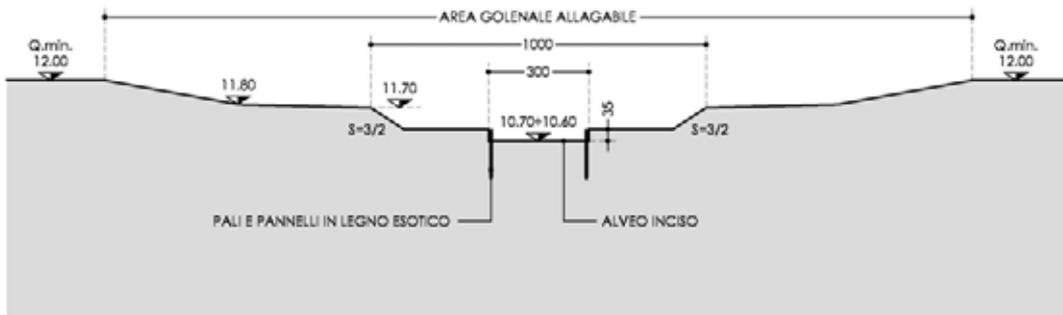
Le ipotesi di intervento che vengono esaminate sono tre:

1. **Ipotesi 1** (di seguito anche denominata per finalità di sintesi **HP1**): Realizzazione nuova linea di canale avente sezione composta con golena allagabile per

- elevati tempi di ritorno (Figura 9), lunghezza complessiva 2190 m ed origine alla progressiva 2180 dell'esistente Co. Cona AA (Figura 8);
2. **Ipotesi 2** (di seguito anche denominata per finalità di sintesi **HP2**): Realizzazione nuova linea di canale, suddiviso in due tratti: un primo tratto di monte avente sezione composta senza golena allagabile (Figura 11) ed un secondo tratto di valle con golena allagabile per elevati tempi di ritorno (Figura 9), lunghezza complessiva 1675 m ed origine alla progressiva 2500 dell'esistente Co. Cona AA (Figura 10);
  3. **Ipotesi 3** (di seguito anche denominata per finalità di sintesi **HP3**): Realizzazione nuova linea di canale, suddiviso in due tratti: un primo tratto di monte tombinato ed un secondo tratto di valle con golena allagabile per elevati tempi di ritorno (Figura 9), lunghezza complessiva 1675 m ed origine alla progressiva 2500 dell'esistente Co. Cona AA (Figura 12).



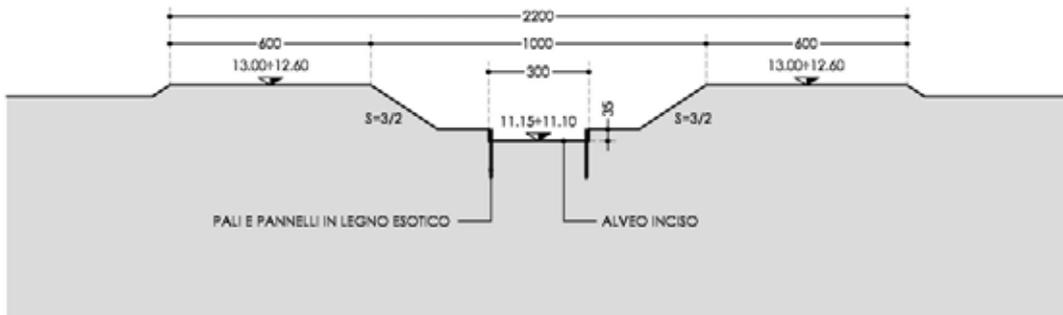
**Figura 8.** Prima ipotesi di intervento.



*Figura 9. Sezione tipo del nuovo canale con area golenale allagabile.*



*Figura 10. Seconda ipotesi di intervento.*



**Figura 11.** Sezione tipo del nuovo canale senza area golenale allagabile.



**Figura 12.** Terza ipotesi di intervento.

Le tre proposte di intervento verranno esaminate nel dettaglio nei successivi capitoli 8.2.2-8.2.4 ai quali si rimanda per approfondimenti.

## 4 Caratterizzazione pluviometrica

Questo Capitolo si propone di individuare le piogge di riferimento di assegnato tempo di ritorno per il dimensionamento della linea idraulica in esame ed in particolare della sezione del nuovo canale di scolo.

Per tale scopo occorre:

- ricostruire le linee segnalatrici di possibilità climatica nell'area in esame per le probabilità fissate;
- calcolare l'opportuno ragguglio areale che occorre applicare al valore puntuale ottenuto;
- ricostruire gli ietogrammi di riferimento per gli studi idrologico-idraulici più approfonditi, la cui trattazione è affidata al Capitolo 4.3.

### 4.1 Individuazione serie storica di riferimento e linee segnalatrici di possibilità climatica

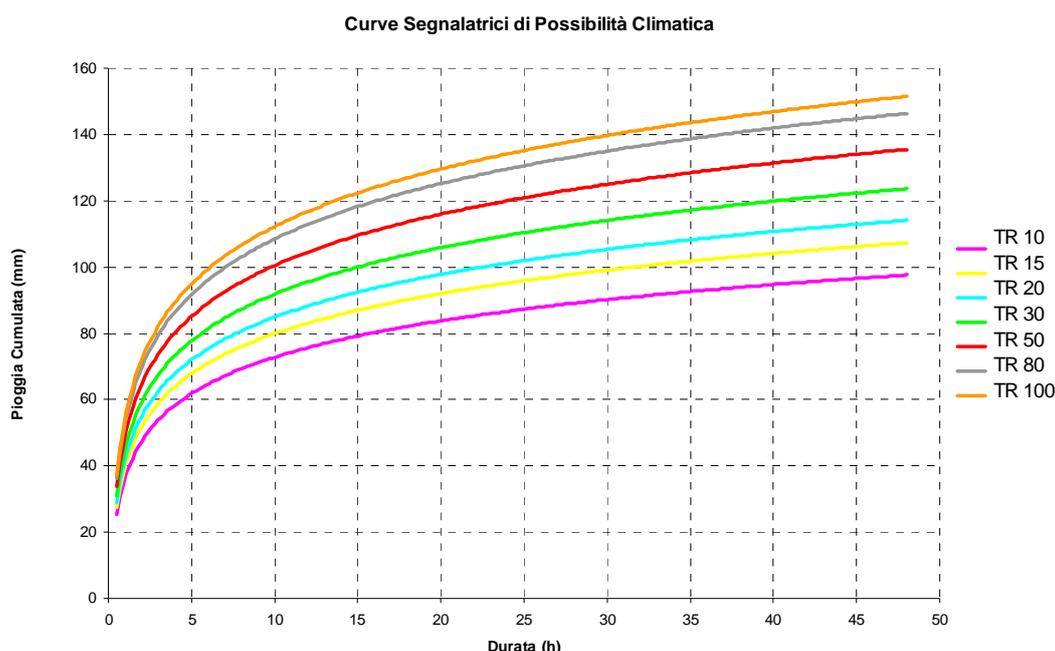
Il Consorzio Pianura di Ferrara dispone, in corrispondenza dell'impianto idrovoro di Sant'Antonino, di registrazioni pluviometriche dal 1946, per un totale, ad oggi, di 65 anni di osservazioni. Tale corposa serie storica è ritenuta affidabile, in quanto più volte confrontata con serie storiche provenienti da pluviometri adiacenti ed oggetto di numerosi studi da parte dello scrivente Consorzio, in particolare nelle vesti di ex Consorzio Secondo Circondario.

Data la pressoché coincidenza spaziale del pluviometro in questione con l'area oggetto del presente studio, si è ritenuto di considerare le osservazioni effettuate da questo strumento per le successive valutazioni.

Lo studio delle precipitazioni è avvenuto previa suddivisione dell'anno solare in due periodi denominati "Stagione SECCA" (Aprile - Settembre) e "Stagione UMIDA" (Ottobre - Marzo) ciascuno contrassegnato da diverse condizioni di regime pluviometrico, di umidità del suolo e di gestione dei canali di bonifica.

- stagione SECCA : piogge tendenzialmente brevi ed intense, scarsa umidità del suolo, attività irrigua in corso;
- stagione UMIDA : piogge di durata preminentemente significativa di modesta intensità, sensibile umidità del suolo, assenza di attività irrigua.

Un'analisi di probabilità dei valori estremi effettuata tramite funzione di Gumbel rivela più gravosi gli eventi pluviometrici avvenuti in stagione secca. Pertanto il presente studio, dovendo progettare un nuovo canale ed adeguare la rete consortile esistente interessata dall'intervento, si riferirà ai risultati di tale stagione. Le curve segnalatrici di possibilità climatica in stagione secca per il pluviometro di Sant'Antonino sono riportate in Figura 13.



**Figura 13.** Curve segnalatrici di possibilità climatica all'idroforo di Sant'Antonino in stagione secca.

## 4.2 Calcolo del fattore di riduzione areale

La trattazione di cui al paragrafo precedente permette di ricostruire ietogrammi di progetto puntuali per assegnato tempo di ritorno. Per le successive applicazioni idrologico - idrauliche si rende necessario spazializzare tale dato per ottenere un valore uniforme su ciascun bacino idrologico di riferimento.

A tal fine, nella pratica ingegneristica comune, si possono utilizzare coefficienti di ragguglio areali, ARF (Areal Reduction Function):

$$r = ARF = \frac{h_a}{h} < 1;$$

dove  $h_a$  indica la pioggia areale mentre  $h$  indica la media della pioggia puntuale misurata.

In letteratura si trovano varie espressioni empiriche per il coefficiente di ragguaglio, in genere funzione della durata dell'evento e dell'area di studio.

Si riporta di seguito l'espressione del coefficiente di ragguaglio areale proposta dal'U.S. Weather Bureau, ricalibrato sul bacino del fiume Reno (Autorità di Bacino del Fiume Reno – Valori estremi della precipitazione e loro ragguaglio areale nel bacino del fiume Reno, si veda riferimento in Sitografia: <http://www.regione.emilia-romagna.it/bacinoreno/>) :

- Formula proposta da United States Weather Bureau (USWB)

$$ARF(A, d) = 1 - [1 - \exp(c_1 A)] \exp(c_2 d^{c_3});$$

- Formula proposta da United States Weather Bureau (USWB) ricalibrata

$$ARF(A, d) = 1 - [1 - \exp(c_1 A)] \exp(c_2 d^{c_3});$$

$$c_1 = -0.00312031$$

$$c_2 = -0.66008817$$

$$c_3 = 0.39795303$$

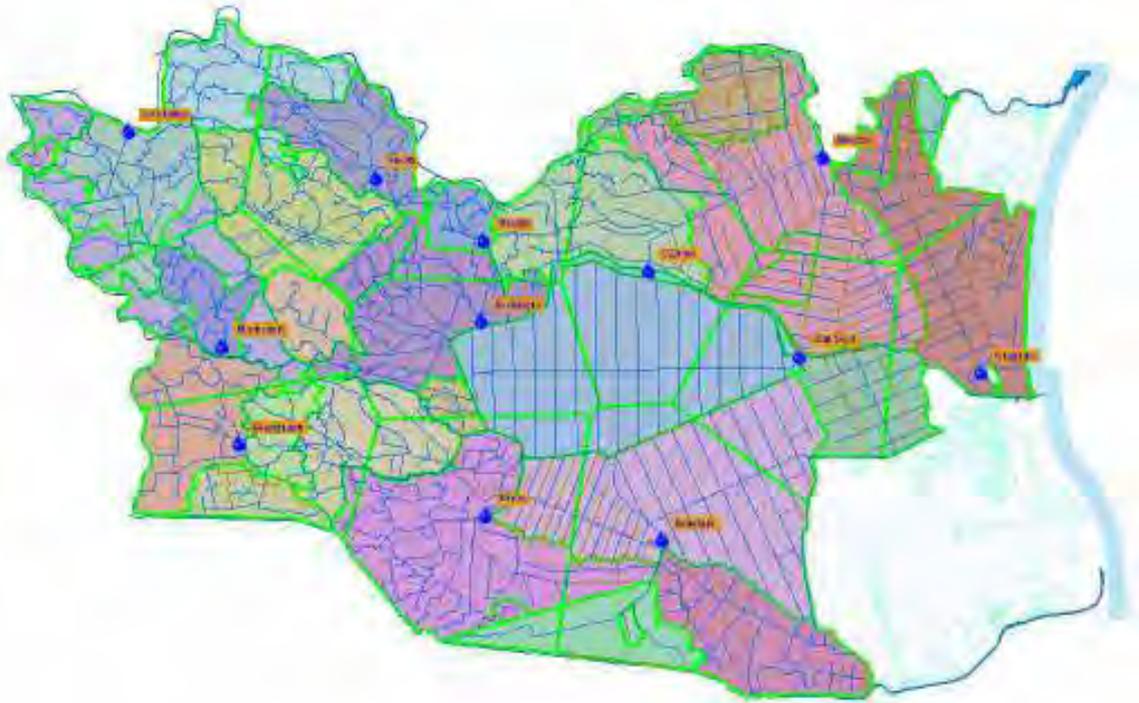
Ai fini delle valutazioni eseguite nel presente studio, il ragguaglio areale delle piogge viene effettuato attraverso una procedura informatizzata (VEOB, Consorzio Intecno DHI, 2006).

Lo studio si fonda sui dati di piovosità derivati dal sistema di rilevamento posizionati sul territorio dell'ex Consorzio Secondo Circondario. Sono state prese in considerazione 12 stazioni pluviometriche registranti. La scelta è ricaduta sull'utilizzo del sistema "storico" di registrazione meccanica, pur avendo da qualche anno a disposizione dati da telerilevamento, in relazione alla maggiore estensione delle serie storiche disponibili. Non sono stati utilizzati dati provenienti da entrambi i sistemi in quanto generalmente si sovrappongono: i pluviometri meccanici sono stati affiancati da pluviometri con registratori digitali collocati nella stessa posizione. Altre stazioni presenti sul territorio non sono state prese in considerazione in ragione dell'esiguità dei dati disponibili. La tabella

che segue elenca le caratteristiche principali dei dodici pluviometri di riferimento, mentre in Figura 14 si riporta il loro posizionamento sul territorio.

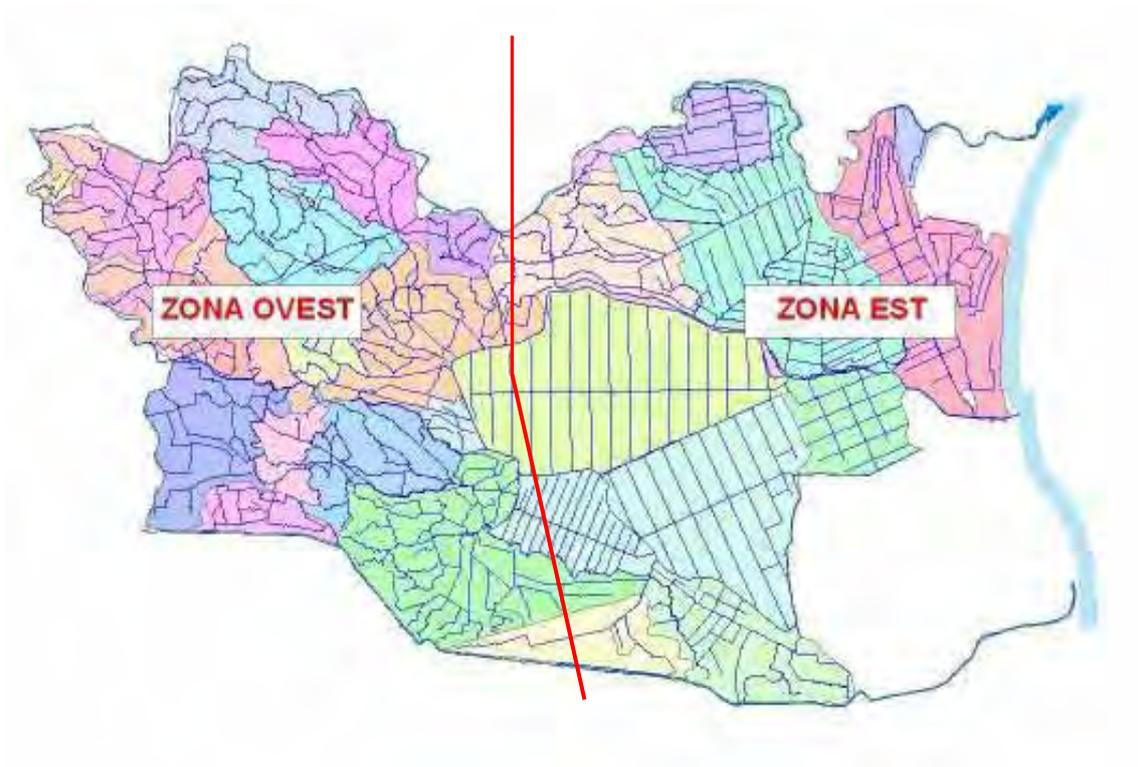
**Tabella 2. Pluviometri di riferimento.**

ID stazione	Nome stazione	Provincia	Comune	ED50 UTM32*: x	ED50 UTM32*: y	Bacino di bonifica
1	Aleotti	Ferrara	Ostellato	725135	962990	Denore
2	Bando	Ferrara	Argenta	730518	946518	Bando
3	Benvignante	Ferrara	Argenta	718514	949970	Benvignante-Sabbiosola
4	Bevilacqua	Ferrara	Ostellato	730308	955973	Martinella-Bevilacqua
5	Montesanto	Ferrara	Portomaggiore	717701	954765	Montesanto
6	S. Antonino	Ferrara	Ferrara	713126	965280	S. Antonino
7	Tersallo	Ferrara	Ostellato	730411	959934	Tersallo
8	Gramigne	Ferrara	Argenta	739061	945273	Mezzano Sud Est Gramigne
9	S Zagno	Ferrara	Ostellato	738417	958471	S Zagno
10	V Lepri	Ferrara	Comacchio	745728	954266	Mezzano Nord-Ovest
11	Guagnino	Ferrara	Comacchio	754594	953477	Valle Isola
12	Marozzo	Ferrara	Iagosanto	746857	964026	Marozzo



**Figura 14.** *Pluviometri di riferimento ed aree di competenza per ciascun bacino di scolo.*

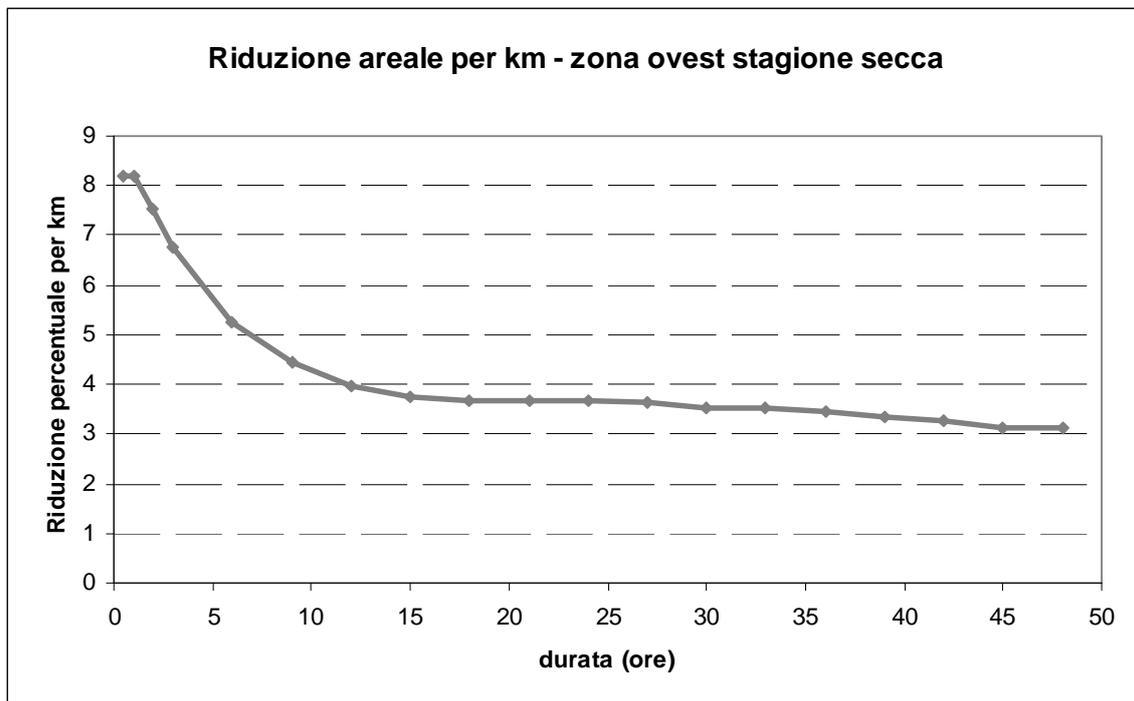
L'analisi idrologica riferita ai 120.000 ha di superficie territoriale è stata condotta individuando 2 zone EST ed OVEST con ideale linea di separazione nord-sud nella parte mediana (Figura 15). Ciò in quanto, sulla base di osservazioni dei dati registrati si è constatata, per ogni zona, una sostanziale omogeneità del regime pluviometrico imputabile ragionevolmente alla vicinanza o meno al mare Adriatico o ai grandi specchi vallivi presenti nella fascia costiera.



**Figura 15.** *Suddivisione del territorio in aree omogenee.*

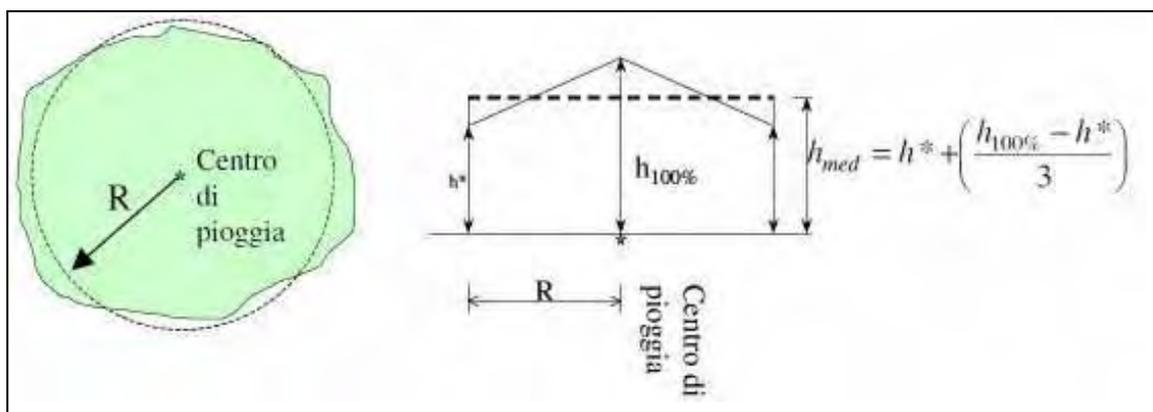
Su tali aree omogenee viene calcolato il coefficiente di ragguglio che dunque differisce in stagione secca/umida ed in zona est/ovest.

Il procedimento comporta una valutazione statistica degli eventi contemporanei di pari durata storicamente verificatisi in pluviometri adiacenti, per l'intera serie storica. Per la zona ovest, alla quale l'area oggetto di intervento appartiene, i coefficienti di riduzione areale sono graficati in Figura 16.



**Figura 16.** Riduzione areale zona ovest stagione secca.

La pioggia media areale di un determinato bacino risulta dai seguenti passaggi:  
 si pone il centro di pioggia baricentrico rispetto al bacino considerato;  
 si considera un solido di pioggia avente il 100% ( $h_{100\%}$ ) dell'altezza di precipitazione al centro del bacino con decremento verso la zona periferica pari al decremento medio di Zona (per la durata considerata) Si ricava così  $h_{med}$  da applicare all'intero bacino con intensità posta costante (Figura 17).



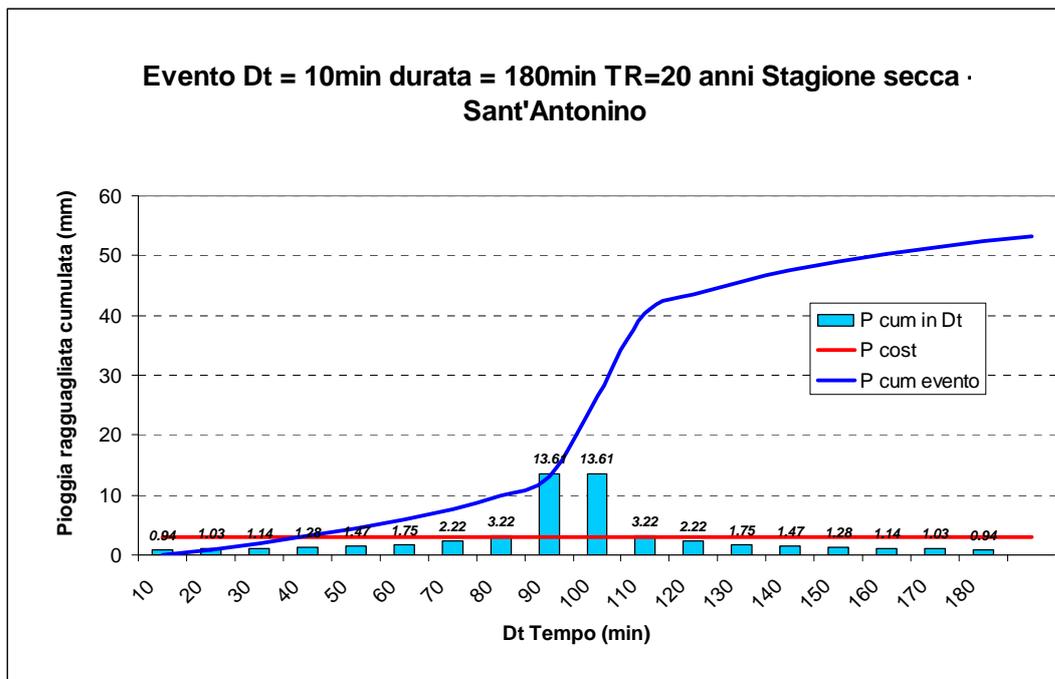
**Figura 17.** Determinazione dell'altezza di pioggia da applicare sull'intero bacino.

### 4.3 Ricostruzione degli ietogrammi di riferimento

Una volta ottenuto il valore di pioggia areale su ciascun bacino di riferimento per i tempi di ritorno e le durate di interesse, occorre determinare la distribuzione temporale della precipitazione, ovvero ricostruire gli ietogrammi di riferimento.

Per questo studio si sono calcolati sia ietogrammi costanti per l'intera durata che ietogrammi di tipo Chicago per le durate più brevi. Questi ultimi consentono di verificare il funzionamento della rete scolante in occasione di eventi pluviometrici di carattere temporalesco, ovvero al verificarsi di elevate portate al picco, mentre i primi permettono valutazioni riguardanti la capacità di invaso del sistema in caso di eventi pluviometrici persistenti di lunga durata.

Le valutazioni idrologico-idrauliche che ne derivano consentono la progettazione di un sistema di scolo valutandone l'effettiva risposta in moto vario per un ventaglio di realizzazioni di eventi pluviometrici equiprobabili. Ciò consente di approfondire le indagini a molteplici scale verificando la rispettiva risposta del sistema di scolo. In Figura 18 viene riportata una sintesi per lo stesso evento di stagione secca, durata tre ore e tempo di ritorno venti anni. In quest'ultimo si riportano: pioggia cumulata sull'intero evento, corrispondente ietogramma Chicago, con discretizzazione temporale pari a dieci minuti e ietogramma costante.



**Figura 18.** Confronto ietogramma costante e Chicago per un evento di riferimento con indicazione della pioggia cumulata.

La considerazione di molteplici durate e delle due tipologie di ietogrammi si rende necessaria per l'eterogeneità del sistema scolante in esame: mentre il comparto agricolo ha tempi di generazione del deflusso più lenti, gli agglomerati urbani presenti sul territorio e quelli appartenenti alle aree di nuova urbanizzazione generano idrogrammi più intensi e concentrati temporalmente. Questa differenziazione degli idrogrammi in uscita dai bacini in studio è dovuta al differente uso di suolo degli stessi ed alle asperità e tortuosità presenti nei terreni rurali, che non si trovano più nelle aree antropizzate, come già ampiamente trattato al Capitolo 3. Il lento defluire delle portate nelle aree prevalentemente agricole, l'orografia tipica della zona e la debole pendenza della rete di scolo consortile individuano come durate di pioggia critiche per l'intero comparto quelle lunghe, per le quali il sistema non è più in grado di offrire i volumi di invaso e la laminazione di portata necessari. Parallelamente gli idrogrammi in uscita dai centri urbani per piogge aventi caratteristiche temporalesche (dunque di breve durata) ed il relativamente veloce convogliamento delle reti fognarie nel sistema di scolo consortile determina l'ingresso di picchi di portata elevati in tempi brevi nella canalizzazione, che non sempre presenta sezioni di progetto atte a riceverli, in quanto progettate in decenni in cui l'antropizzazione non aveva ancora raggiunto i recenti livelli di inasprimento.

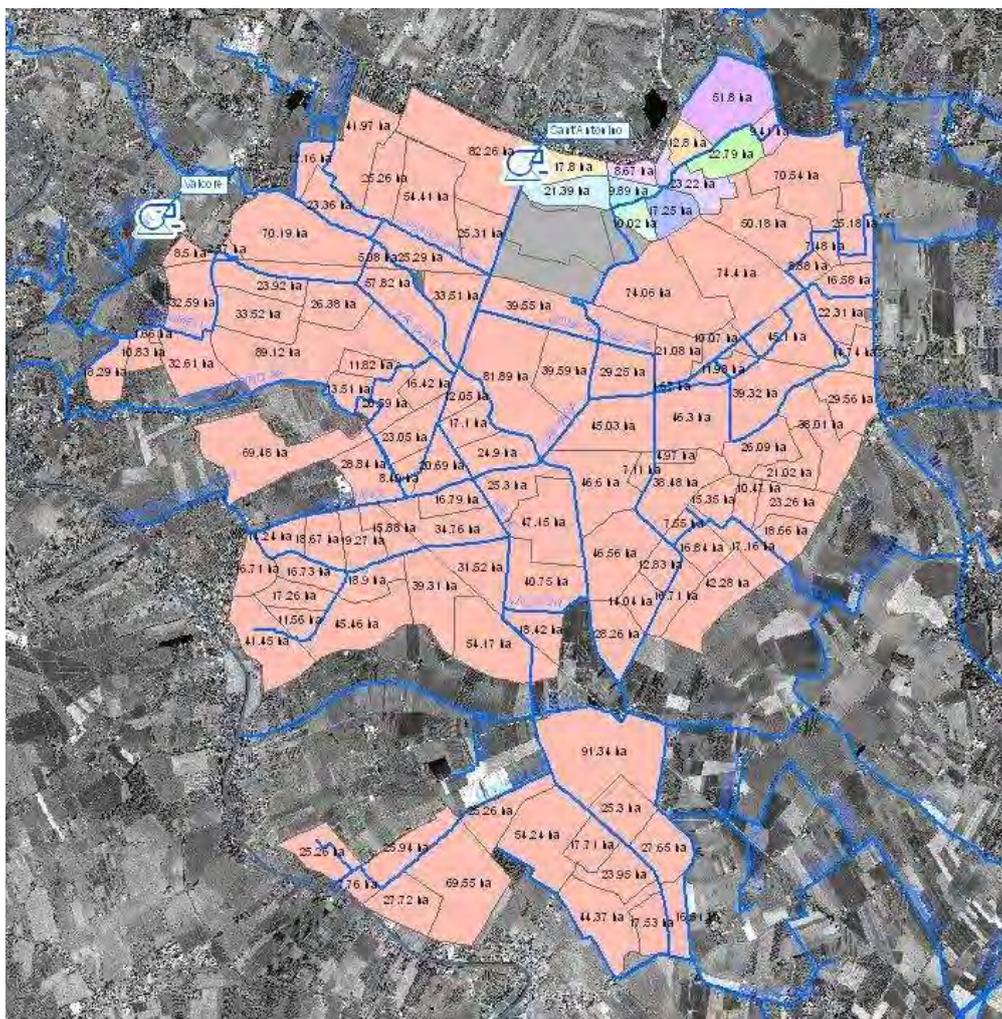
La progettazione che si sta qui trattando esamina quindi una casistica di eventi pluviometrici, atta a verificare l'idoneità del sistema sia per brevi che per lunghe durate, sia per quanto riguarda il generale comportamento del sistema consortile, sia per quanto concerne la situazione locale delle nuove aree urbanizzate. Occorre inoltre sottolineare che le ipotesi di progettazione elencate al Capitolo 3.2 prevedono la realizzazione di un nuovo canale di sezione composta con golena allagabile, tale dunque da fornire ampia capacità di invaso e di laminazione e che avrà criticità maggiori per piogge di lunga durata, come sarà illustrato ai capitoli seguenti.

## **5 Caratterizzazione idrologica**

Al fine di compiere gli studi idrologici di cui al seguente Capitolo 8.1, occorre individuare i bacini idrologici contribuenti e le rispettive sezioni di chiusura all'immissione in rete consortile, calcolarne le lunghezze idrauliche e caratterizzarne idrologicamente i suoli, in modo da quantificare la pioggia netta generatasi da ciascun bacino.

### **5.1 Individuazione bacini idrologici**

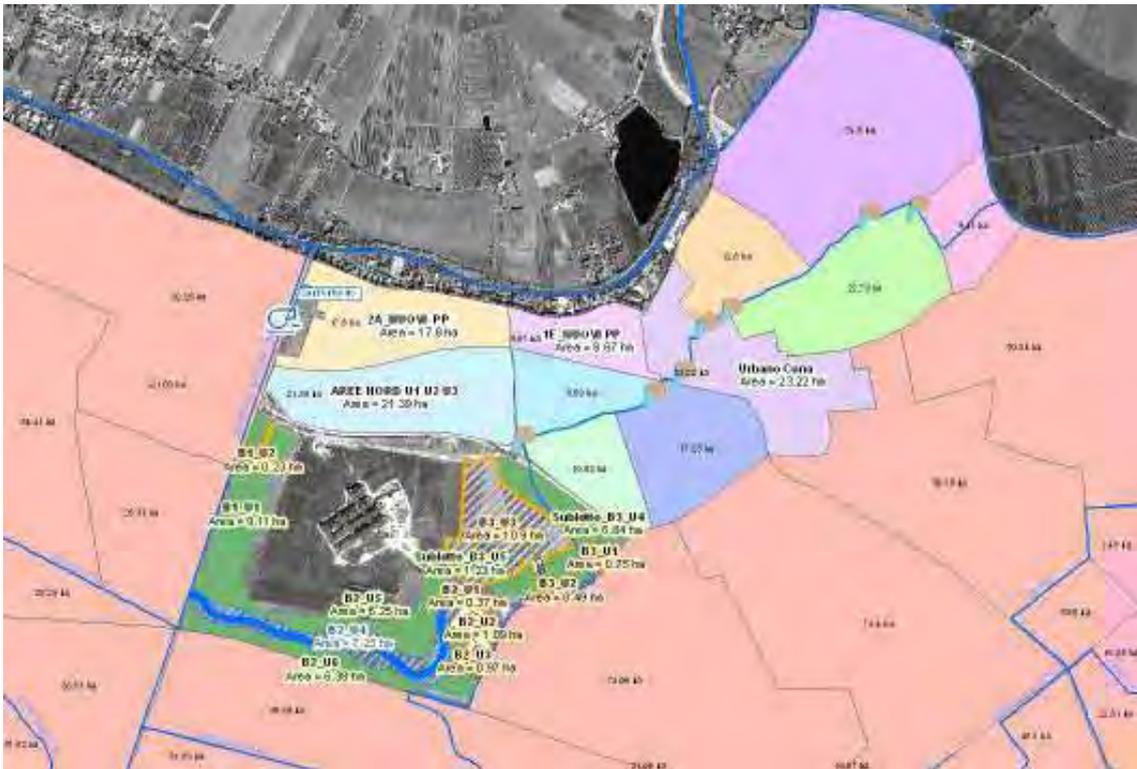
Come sommariamente descritto al Capitolo 3, l'area di intervento si colloca all'interno della Bonifica di Sant'Antonino che fa capo all'omonimo impianto di scolo. L'intera bonifica è stata suddivisa in microbacini idrologici di riferimento. In Figura 19 è rappresentata tale suddivisione con indicati in colore diverso i microbacini afferenti al Co. Cona AA, canale oggetto del presente intervento ed in grigio l'area dell'ospedale; per ciascun microbacino è inoltre riportata l'area corrispondente.



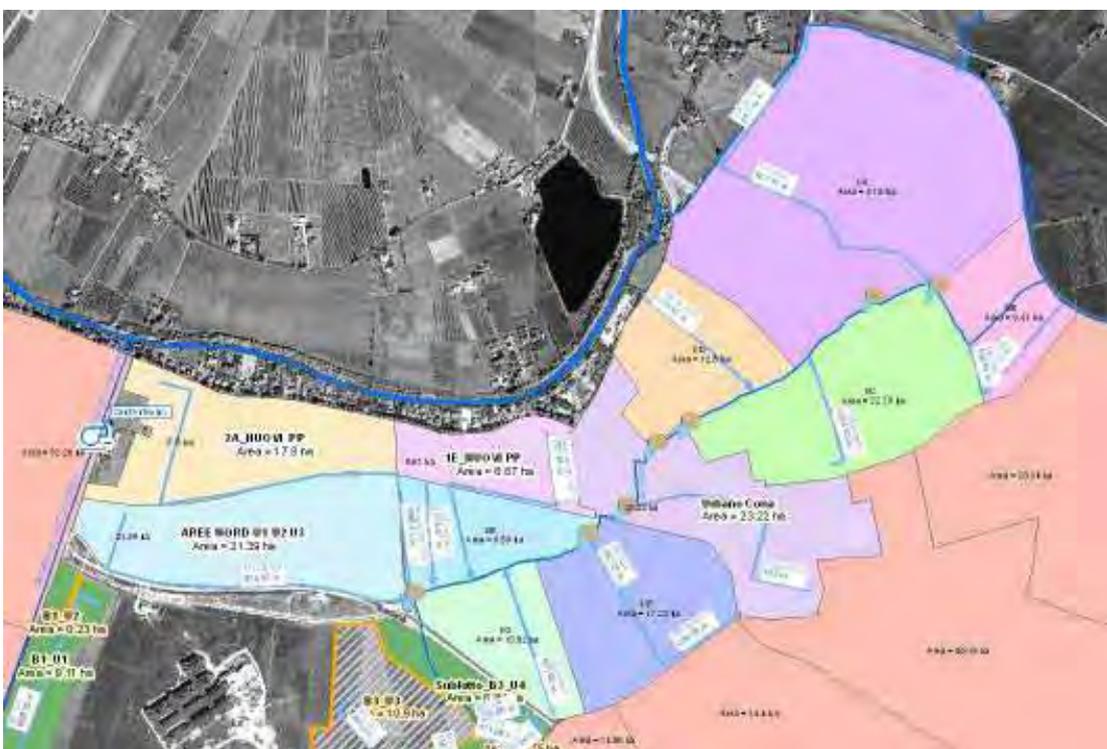
*Figura 19. Microbacini idrologici e rete di scolo consortile.*

## 5.2 Sezioni di chiusura lunghezze idrauliche tempo di corrivazione e lag time

A completamento dell'individuazione di ciascun bacino di riferimento si individuano le sezioni di chiusura e le lunghezze idrauliche massime di riferimento degli stessi, secondo quanto riportato in Figura 20 e per un ulteriore dettaglio in Figg 21 e 22. Le lunghezze idrauliche in particolare si differenziano in lunghezza idraulica lungo il terreno ed in rete, distinguendo così il tratto in cui il deflusso si forma e si propaga più lentamente in quanto non esiste un percorso predefinito vero e proprio ed il tratto in cui invece il deflusso risulta incanalato nella rete consortile o in fossi di guardia.



**Figura 20.** Microbacini idrologici sezioni di chiusura e lunghezze idrauliche massime.



**Figura 21.** Microbacini idrologici sezioni di chiusura e lunghezze idrauliche massime - ZOOM 1.



**Figura 22.** Microbacini idrologici sezioni di chiusura e lunghezze idrauliche massime - ZOOM 2.

Note le lunghezze idrauliche massime si ipotizza, secondo valori riscontrati in letteratura, una velocità costante dell'acqua in direzione della sezione di chiusura pari a 0.2 m/s in rete e 0.02 m/s lungo il terreno.

Risulta così possibile calcolare per ciascun bacino il tempo di corrivazione dello stesso, indicato come  $T_c$  ed il corrispondente tempo di formazione del picco di piena,  $T_{lag}$ , calcolato moltiplicando il precedente per 0.6, secondo quanto riportato da letteratura. I valori ottenuti per i bacini di riferimento sono riportati al Capitolo 5.4.

### 5.3 Caratterizzazione idrologica dei suoli – pioggia netta

In una modellazione ad evento la determinazione della pioggia netta risulta essere di fondamentale importanza per la corretta descrizione dei fenomeni. Con il termine “pioggia netta” si intende la frazione della pioggia totale che contribuisce al fenomeno di piena.

Un metodo sufficientemente attendibile e di facile comprensione ed applicazione è stato proposto dal Soil Conservation Service (1972) ed è conosciuto anche il nome di metodo del Curve Number (CN).

Il metodo descrive la frazione della pioggia totale che contribuisce alla formazione della piena, Runoff, attraverso la seguente equazione:

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) + S}, \quad P > I_a;$$

$$Q = 0, \quad P < I_a;$$

dove:

$$Q = \text{runoff}, \text{ (mm)}$$

$$P = \text{pioggia}, \text{ (mm)}$$

$$I_a = \text{Accumulo}_{\text{iniziale}}, \text{ (mm)}$$

$$S = \text{massima}_{\text{capacità}}_{\text{di}}_{\text{immagazzinamento}}, \text{ (mm)}$$

L'espressione, pur prestandosi a rappresentare l'infiltrazione in funzione del tempo, è stata derivata nell'intento di ricercare una corretta interpretazione dell'infiltrato totale.

$I_a$  tiene conto principalmente dell'intercettazione dovuta alla vegetazione, dell'infiltrazione immediatamente successiva all'inizio dell'evento, e all'effetto serbatoio dovuto alle depressioni superficiali.

$I_a$ , nella trattazione originaria, alla base delle osservazioni sperimentali, è stata assunta come funzione della massima capacità di immagazzinamento, attraverso la seguente relazione empirica:

$$I_a = 0.2 \cdot S;$$

La relazione finale tra pioggia totale e pioggia netta, utilizzata per la taratura del metodo, è quindi:

$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{(P - 0.8S)}, \quad P > I_a;$$

$$Q = 0, \quad P < I_a;$$

dove :

$Q = \text{runoff}, (mm)$   
 $P = \text{pioggia}, (mm)$   
 $I_a = \text{Accumulo}_{\text{iniziale}}, (mm)$   
 $S = \text{massima}_{\text{capacità}}_{\text{di}}_{\text{immagazzinamento}}, (mm)$

Il parametro Curve Number, CN, è funzione di S attraverso la seguente espressione:

$$CN = \frac{1000}{10 + \frac{S}{25.4}};$$

Il valore di CN varia in relazione all'intensità della pioggia, alla durata, alle condizioni di umidità del suolo, alla densità della copertura del suolo, alla temperatura. Tutte queste cause di variabilità sono state inglobate nel concetto di Antecedent Runoff Condition (ARC). ARC, nella sua forma più semplice, è suddiviso in tre classi in relazione alla piovosità nei 5 giorni precedenti l'evento in esame. La classe II per condizioni di media umidità, la classe I per condizioni di terreno asciutto, la classe III per condizioni di terreno umido. Di seguito sono rappresentate le relazioni utili alla individuazione della classe ARC.

**Tabella 3. Classi di ARC.**

CLASSE ARC	PIOGGIA TOTALE NEI 5 GIORNI PRECEDENTI L'EVENTO	
	STAGIONE DI RIPOSO VEGETATIVO	STAGIONE DI CRESCITA
I	< 13 mm	< 36 mm
II	Tra 13 mm e 28 mm	Tra 36 mm e 53 mm
III	> 28 mm	> 53 mm

In base alla classe ARC, il parametro CN varia secondo le seguenti relazioni:

$$CN_I = CN_{II} - \left[ \frac{(20 \cdot (100 - CN_{II}))}{(100 - CN_{II}^{(2.5333 - 0.0636(100 - CN_{II}))})} \right];$$

$$CN_{III} = CN_{II} + CN_{II}^{(0.00673(100 - CN_{II}))};$$

$CN_{II}$  rappresenta il parametro CN per la classe ARC-II. Nel presente studio l'individuazione del CN di progetto, in relazione alla classe ARC avviene attraverso un processo statistico implementato nel software VEOB (Consorzio Intecno DHI, 2006) che si fonda sulle osservazioni storiche delle condizioni di piovosità nei 5 giorni precedenti gli eventi ritenuti significativi.

In mancanza di dati di calibrazione locali,  $CN_{II}$  può essere stimato attraverso la tabella di seguito rappresentata, realizzata attraverso osservazioni sperimentali dall'SCS statunitense e alla base del metodo del Curve Number. Il valore di CN viene individuato in base alla copertura vegetale, alla tipologia delle lavorazioni del terreno ed al gruppo idrologico del suolo.

**Tabella 4. Parametri CN per terreni agricoli.**

**Table 9-1** Runoff curve numbers for agricultural lands<sup>1/</sup>

covertime	Cover description treatment <sup>2/</sup>	hydrologic condition <sup>3/</sup>	-- CN for hydrologic soil group --			
			A	B	C	D
Fallow	Bare Soil	---	77	86	91	94
	Crop residue cover (CR)	Poor	76	85	90	93
		Good	74	83	88	90
Row crops	Straight row (SR)	Poor	72	81	88	91
		Good	67	78	85	89
	SR + CR	Poor	71	80	87	90
		Good	64	75	82	85
	Contoured (C)	Poor	70	79	84	88
		Good	65	75	82	86
	C + CR	Poor	69	78	83	87
		Good	64	74	81	85
	Contoured & terraced (C & T)	Poor	66	74	80	82
		Good	62	71	78	81
	C & T + CR	Poor	65	73	79	81
Good		61	70	77	80	
Small grain	SR	Poor	65	76	84	88
		Good	63	75	83	87
	SR + CR	Poor	64	75	83	86
		Good	60	72	80	84
	C	Poor	63	74	82	85
		Good	61	73	81	84
	C + CR	Poor	62	73	81	84
		Good	60	72	80	83
	C & T	Poor	61	72	79	82
		Good	59	70	78	81
	C & T + CR	Poor	60	71	78	81
Good		58	69	77	80	
Close-seeded or broadcast legumes or rotation meadow	SR	Poor	66	77	85	89
		Good	58	72	81	85
	C	Poor	64	75	83	85
		Good	55	69	78	83
	C & T	Poor	63	73	80	83
		Good	51	67	76	80

covertype	Cover description treatment <sup>2/</sup>	hydrologic condition <sup>3/</sup>	-- CN for hydrologic soil group --			
			A	B	C	D
Pasture, grassland, or range- continuous forage for grazing <sup>4/</sup>		Poor	68	79	86	80
		Fair	49	69	79	84
		Good	39	61	74	80
Meadow-continuous grass, protected from grazing and generally mowed for hay		Good	30	58	71	78
Brush-brush-forbs-grass mixture with brush the major element <sup>5/</sup>		Poor	48	67	77	83
		Fair	35	56	70	77
		Good	30 <sup>6/</sup>	48	65	73
Woods-grass combination (orchard or tree farm) <sup>7/</sup>		Poor	57	73	82	86
		Fair	43	65	76	82
		Good	32	58	72	79
Woods <sup>8/</sup>		Poor	45	66	77	83
		Fair	36	60	73	79
		Good	30	55	70	77
Farmstead-buildings, lanes, driveways, and surrounding lots		---	59	74	82	86
Roads (including right-of-way):						
Dirt		---	72	82	87	89
Gravel		---	76	85	89	91

- 1/ Average runoff condition, and  $I_p = 0.2s$ .
- 2/ Crop residue cover applies only if residue is on at least 5 percent of the surface throughout the year.
- 3/ Hydrologic condition is based on combinations of factors that affect infiltration and runoff, including (a) density and canopy of vegetative areas, (b) amount of year-round cover, (c) amount of grass or close-seeded legumes, (d) percent of residue cover on the land surface (good  $\geq 20\%$ ), and (e) degree of surface toughness.  
 Poor: Factors impair infiltration and tend to increase runoff.  
 Good: Factors encourage average and better than average infiltration and tend to decrease runoff.  
 For conservation tillage poor hydrologic condition, 5 to 20 percent of the surface is covered with residue (less than 750 pounds per acre for row crops or 300 pounds per acre for small grain).  
 For conservation tillage good hydrologic condition, more than 20 percent of the surface is covered with residue (greater than 750 pounds per acre for row crops or 300 pounds per acre for small grain).
- 4/ Poor: < 50% ground cover or heavily grazed with no mulch.  
 Fair: 50 to 75% ground cover and not heavily grazed.  
 Good: > 75% ground cover and lightly or only occasionally grazed.
- 5/ Poor: < 50% ground cover.  
 Fair: 50 to 75% ground cover.  
 Good: > 75% ground cover.
- 6/ If actual curve number is less than 30, use CN = 30 for runoff computation.
- 7/ CNs shown were computed for areas with 50 percent woods and 50 percent grass (pasture) cover. Other combinations of conditions may be computed from the CNs for woods and pasture.
- 8/ Poor: Forest litter, small trees, and brush are destroyed by heavy grazing or regular burning.  
 Fair: Woods are grazed, but not burned, and some forest litter covers the soil.  
 Good: Woods are protected from grazing, and litter and brush adequately cover the soil.

Secondo gli stessi criteri sopra esposti per i terreni coltivati può essere individuato il CN relativo ad aree urbanizzate, individuando la tipologia adeguata attraverso la tabella successiva.

**Tabella 5. Parametri CN per aree urbane.**

Table 9-5 Runoff curve numbers for urban areas <sup>1/</sup>					
Cover description cover type and hydrologic condition	Average percent impervious area <sup>2/</sup>	-- CN for hydrologic soil group --			
		A	B	C	D
Fully developed urban areas (vegetation established)					
Open space (lawns, parks, golf courses, cemeteries, etc.) <sup>3/</sup>					
Poor condition (grass cover < 50%)		68	79	86	89
Fair condition (grass cover 50% to 75%)		49	69	79	84
Good condition (grass cover > 75%)		39	61	74	80
Impervious areas:					
Paved parking lots, roofs, driveways, etc. (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Streets and roads:					
Paved; curbs and storm sewers (excluding right-of-way)		98	98	98	98
Paved; open ditches (including right-of-way)		83	89	92	93
Gravel (including right-of-way)		76	85	89	91
Dirt (including right-of-way)		72	82	87	89
Western desert urban areas:					
Natural desert landscaping (pervious areas only) <sup>4/</sup>		63	77	85	88
Artificial desert landscaping (impervious weed barrier, desert shrub with 1- to 2-inch sand or gravel mulch and basin borders)		96	96	96	96
Urban districts:					
Commercial and business	85	89	92	94	95
Industrial	72	81	88	91	93
Residential districts by average lot size:					
1/8 acre or less (town houses)	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85
1 acre	20	51	68	79	84
2 acres	12	46	65	77	82
Developing urban areas					
Newly graded areas (pervious areas only, no vegetation)		77	86	91	94

<sup>1/</sup> Average runoff condition, and  $I_a = 0.2S$ .

<sup>2/</sup> The average percent impervious area shown was used to develop the composite CNs. Other assumptions are as follows: impervious areas are directly connected to the drainage system, impervious areas have a CN of 98, and pervious areas are considered equivalent to open space in good hydrologic condition.

<sup>3/</sup> CNs shown are equivalent to those of pasture. Composite CNs may be computed for other combinations of open space type.

<sup>4/</sup> Composite CNs for natural desert landscaping should be computed using figures 9-3 or 9-4 based on the impervious area percentage (CN=98) and the pervious area CN. The pervious area CNs are assumed equivalent to desert shrub in poor hydrologic condition.

### 5.3.1 Cartografie di base per il calcolo del CN

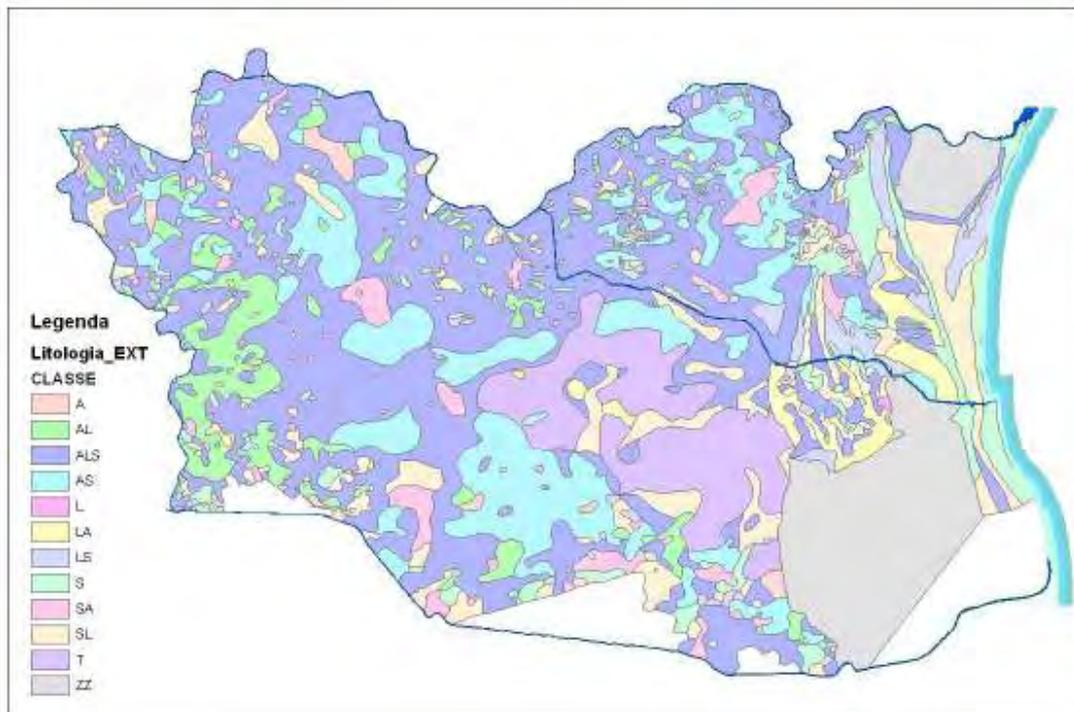
Per l'individuazione del parametro del CN sull'intero territorio in esame si sono utilizzate le informazioni raccolte nei due seguenti tematismi digitali georeferenziati:

1. Litologia di superficie (Provincia di Ferrara 1971, Figura 23), in cui i terreni sono raggruppati secondo la classifica Shepard;

2. Uso reale del suolo, attuato sulla base della classificazione Corine Land Cover a quattro parametri, disponibile su copertura regionale (RER 2003, Figura 25).

### 5.3.1.1 Litologia superficiale e Gruppi idrologici di suolo

Le informazioni litologiche utili al presente studio sono dedotte dalla cartografia provinciale (Provincia di Ferrara 1970, Figura 23), in cui i terreni sono raggruppati secondo la classifica Shepard, avente nomenclatura sintetizzata in Tabella 6.



**Figura 23.** Litologia di superficie dell'intero comprensorio.

Come si può notare in Figura 23 rimangono esclusi i terreni del Consorzio extra-provinciali, per i quali si è operata un'analisi per similitudine.

**Tabella 6.** *Classi di suolo secondo Shepard.*

<i>Classe di suolo Terminologia americana</i>	<i>Classe di suolo Terminologia italiana</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Conducibilità idraulica a saturazione <math>K_s</math> cm/h</i>
Sand	Sabbia	S	23.56
Loamy Sand	Sabbia Limosa	LS	5.98
Sandy Loam	Terra a medio impasto sabbiosa	SL	2.18
Loam	Terre miste/Medio impasto	L	1.32
Silt Loam	Terre a medio impasto limoso	Si	0.68
Sandy Clay Loam	Terre a medio impasto sabbioso- argilloso	SCL	0.30
Clay Loam	Terre a medio impasto argilloso	CL	0.20
Silty Clay Loam	Terre a medio impasto limoso argilloso	SiCL	0.20
Sandy Clay	Argilla sabbiosa	SC	0.12
Silty Clay	Argilla limosa	SiC	0.10
Clay	Argilla	C	0.06

Il metodo per l'individuazione del CN prevede l'attribuzione del tipo idrologico di suolo, scegliendo tra 4 categorie, in funzione della tessitura, della conducibilità idraulica, della profondità della falda e di superfici impermeabili. Nelle righe successive si espone uno stralcio delle declaratorie relative ai 4 gruppi idrologici di suolo proposte nel *National Engineering Handbook* del *National Resources Conservation Service* statunitense.

**Tabella 7. Definizione dei 4 gruppi idrologici di suolo, National Engineering Handbook del National Resources Conservation Service.**

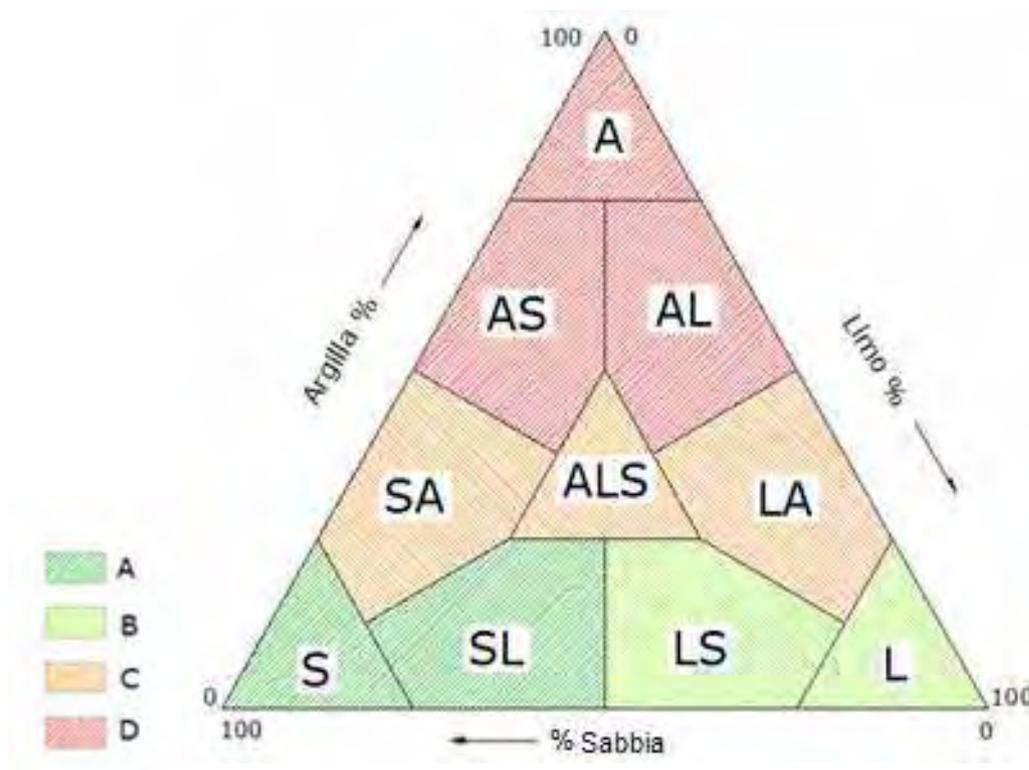
<p><b>Group A</b>—Soils in this group have low runoff potential when thoroughly wet. Water is transmitted freely through the soil. Group A soils typically have less than 10 percent clay and more than 90 percent sand or gravel and have gravel or sand textures. Some soils having loamy sand, sandy loam, loam or silt loam textures may be placed in this group if they are well aggregated, of low bulk density, or contain greater than 35 percent rock fragments</p>
<p><b>Group B</b>—Soils in this group have moderately low runoff potential when thoroughly wet. Water transmission through the soil is unimpeded. Group B soils typically have between 10 percent and 20 percent clay and 50 percent to 90 percent sand and have loamy sand or sandy loam textures. Some soils having loam, silt loam, silt, or sandy clay loam textures may be placed in this group if they are well aggregated, of low bulk density, or contain greater than 35 percent rock fragments</p>
<p><b>Group C</b>—Soils in this group have moderately high runoff potential when thoroughly wet. Water transmission through the soil is somewhat restricted. Group C soils typically have between 20 percent and 40 percent clay and less than 50 percent sand and have loam, silt loam, sandy clay loam, clay loam, and silty clay loam textures. Some soils having clay, silty clay, or sandy clay textures may be placed in this group if they are well aggregated, of low bulk density, or contain greater than 35 percent rock fragments</p>
<p><b>Group D</b>—Soils in this group have high runoff potential when thoroughly wet. Water movement through the soil is restricted or very restricted. Group D soils typically have greater than 40 percent clay, less than 50 percent sand, and have clayey textures. In some areas, they also have high shrink-swell potential. All soils with a depth to a water impermeable layer less than 50 centimeters [20 inches] and all soils with a water table (210-VI-NEH, May 2007) 7-3 within 60 centimeters [24 inches] of the surface are in this group, although some may have a dual classification, as described in the next section, if they can be adequately drained</p>

Occorre dunque correlare la classificazione di Shepard, secondo la quale sono rappresentati i terreni della provincia ferrarese in Figura 23, ai quattro gruppi idrologici del National Resources Conservation Service, descritti in Tabella 7.

A seguito di valutazioni incrociate, tale corrispondenza può essere riassunta secondo lo schema riportato nella seguente Tabella 8 o, più dettagliatamente, in base alla percentuale di ogni tipo di suolo in Figura 24.

**Tabella 8.** *Corrispondenza tra i quattro gruppi idrologici di suolo ed terreni classificati secondo Shepard.*

Gruppo idrologico di suolo	Suoli secondo la classifica Shepard
<b>A</b>	Sabbie (S), Sabbie Limose (SL)
<b>B</b>	Limi (L), Limi Sabbiosi (LS)
<b>C</b>	Limi Argillosi(LA), Sabbie Argillose (SA), misti (ALS)
<b>D</b>	Argille (A), Argille Sabbiose (AS), Argille Limose (AL)

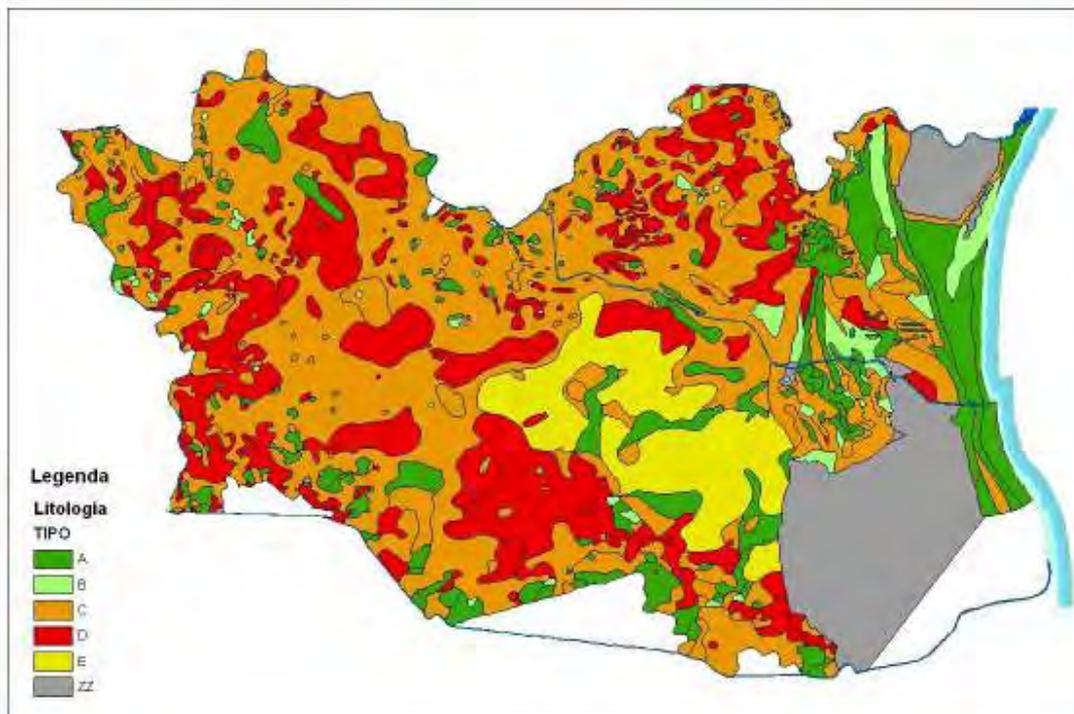


**Figura 24.** *Classificazione dei suoli secondo Shepard ed associazione dei gruppi idrologici.*

La correlazione tra classificazione di Shepard e gruppi idrologici, secondo quanto sin qui esposto, porta all'elaborazione della seguente carta dei gruppi idrologici per il territorio in esame (Figura 25).

Si precisa che:

- Le aree classificate come torbe ("T") nella carta litologica di Figura 23 sono state classificate come "E" in Figura 25, poiché non compaiono nel triangolo di Shepard. Tuttavia, considerando la loro alta permeabilità ma anche la loro caratteristica di rigonfiare, sono state equiparate al gruppo idrologico di tipo "B" allo scopo di attribuirvi un valore di CN.
- Alle aree che presentano specchi d'acqua è stato associato un identificativo "ZZ" nella carta di Figura 25, in quanto non attribuibili ad alcun gruppo idrologico.



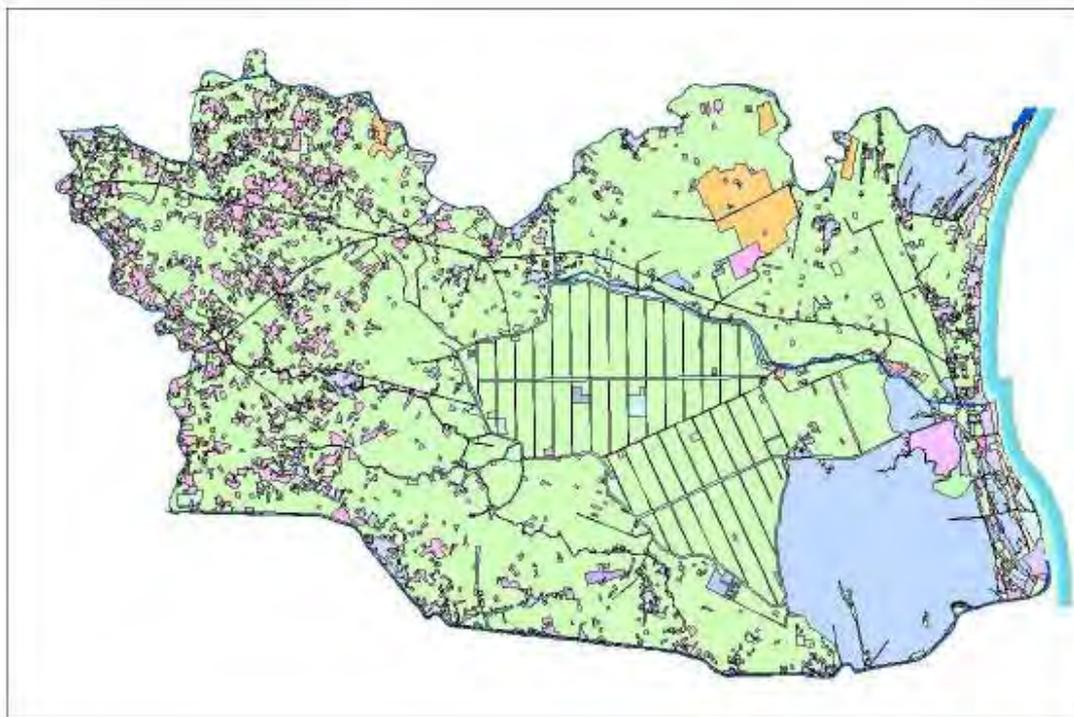
**Figura 25.** Carta dei gruppi idrologici delle aree del territorio consortile in provincia di Ferrara.

### 5.3.1.2 L'uso del suolo

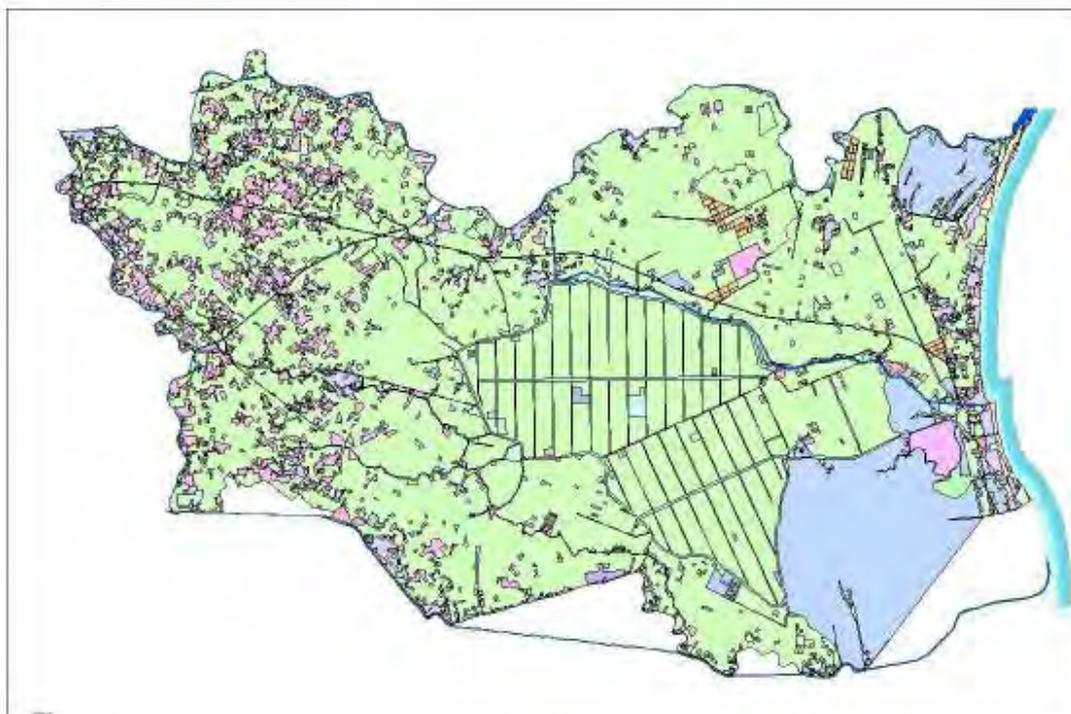
Come anticipato ai precedenti capitoli la seconda carta utilizzata riguarda l'uso reale del suolo, attuato sulla base della classificazione Corine Land Cover a quattro parametri, disponibile su copertura regionale (RER 2003, Figura 26).

Come appare dalla suddetta Figura, gran parte del territorio consortile è coltivato a seminativo (riportato con colore verde chiaro in figura), ma si identificano anche rilevanti porzioni di terreno a frutteto (colore rosa - riferimento alla medesima figura).

Rispetto alla carta della regione è stato attuato un aggiornamento ad opera del Consorzio, sulla base delle informazioni relative alle aree destinate a risaia anno per anno (colore arancione in Figura 26). La superficie riservata a tale uso nel 2006 è ridotta rispetto a quella di Figura 26 e viene riportata in Figura 27, sempre in colore arancione, mentre la superficie non più destinata a risaia viene indicata come seminativo, essendo l'uso di suolo più diffuso sul comprensorio.



**Figura 26.** *Usa reale del suolo, classificazione Corine Land Cover a quattro parametri, RER, 2003 dell'intero comprensorio.*



**Figura 27.** *Usa reale del suolo, classificazione Corine Land Cover a quattro parametri, RER, 2003 dell'intero comprensorio con aggiornamento dell'area dei terreni destinati a risaia nel 2006.*

### 5.3.2 Determinazione del Curve Number stagionale

Come precedentemente esposto, il modello idrologico utilizzato per la determinazione della pioggia netta, necessita dell'individuazione del valore di CN da assegnare a ciascun bacino idrologico. Il CN può essere ricavato dalle tabelle precedentemente rappresentate, noti il gruppo di suolo, individuabile con i criteri presentati nel paragrafo precedente, ed il suo uso in termini idrologici, nello specifico la copertura vegetale o urbana e le modalità con cui viene lavorato (Tabelle 4 e 5).

La corretta individuazione dei riferimenti per la scelta del CN nelle tabelle proposte dall'SCS deve essere preliminarmente relazionata ad alcune considerazioni interpretative sulle peculiarità delle stesse e sui limiti della loro applicabilità alla situazione locale in esame:

- I valori di CN sono stati originariamente determinati per i territori degli Stati Uniti d'America;

- I parametri per la scelta del CN sono riferiti a lavorazioni e modalità di sistemazione del suolo tipiche degli Stati Uniti;
- I parametri sono rimasti sostanzialmente inalterati dalla presentazione dei risultati avvenuta nel 1954;
- I parametri si riferiscono a valori di CN medi annui.

Tenuto conto di quanto scritto riportiamo alcune considerazioni fatte per la corretta applicazione della tabella proposta nel metodo di calcolo.

Fattore importante per la scelta del CN è l'individuazione della modalità di lavorazione dei terreni. Il modello propone varie possibilità:

- Lavorazione lungo le linee di massima pendenza (straight row)
- Lavorazione lungo le linee di livello (contoured)
- Lavorazione a terrazze (contoured & terraced)

Tenuto conto delle ridotte pendenze in gioco nei territori interessati dallo studio, ampiamente al di sotto delle pendenze medie considerate per la calibrazione del modello originario, la modalità di lavorazione prevalente ai fini idrologici, anche se non applicata, può essere considerata quella a terrazze. Tale assunzione può essere accettata in considerazione delle ridottissime pendenze dei nostri terreni, con un'accentuata agevolazione del fenomeno di infiltrazione dell'acqua di pioggia nel terreno. La propensione a facilitare il fenomeno di infiltrazione è alla base della corretta individuazione del CN adeguato.

Altro elemento fondamentale per la modellazione è l'individuazione delle corrette condizioni idrologiche stagionali, congruenti con la suddivisione operata per le piogge nei capitoli precedenti, in stagione secca e stagione umida.

Di seguito viene illustrata una metodologia di individuazione dei CN stagionali, valida per i seminativi, che si fonda sulla copertura vegetativa mensile nel territorio provinciale.

Per i seminativi, che incidono pesantemente nel complesso delle coltivazioni presenti, la procedura di individuazione del CN stagionale è la seguente:

- Il valore del CN tabellare, alla base della formulazione originaria del modello idrologico, è riferito alla sua media annuale, in considerazione del ciclo vegetativo e delle pratiche di rotazione con presenza di terreni annualmente incolti, secondo gli usi. Tale considerazione permette di individuare due valori estremi per il CN, uno riferito alla massima agevolazione del runoff (terreno

nudo), l'altro riferito al massimo sviluppo vegetativo della pianta, calcolabili nel seguente modo:

- *CN massimo*: per l'individuazione del valore massimo di CN può essere fatto riferimento a quanto propone la tabella per il terreno a maggese. Nel caso specifico ferrarese, tenuto conto della giacitura e della pendenza dei terreni, con il valore minimo disponibile riferito alla presenza di residui di lavorazione sul terreno, in buone condizioni idrologiche;
- *CN minimo*: il CN minimo si può calcolare come:

$$CN_{min} = CN_{tabellare} \times 2 - CN_{max}.$$

I CN tabellari utilizzati per il seminativo sono stati uniformati senza differenziare tra colture in filare e granaglie, utilizzando i dati proposti dalla Tabella di riferimento per *Row-crops, contoured & terraced + crop residue cover in buone condizioni idrologiche*:

- CN per ARC II, suolo tipo A: 61;
- CN per ARC II, suolo tipo B: 70;
- CN per ARC II, suolo tipo C: 77;
- CN per ARC II, suolo tipo D: 80;

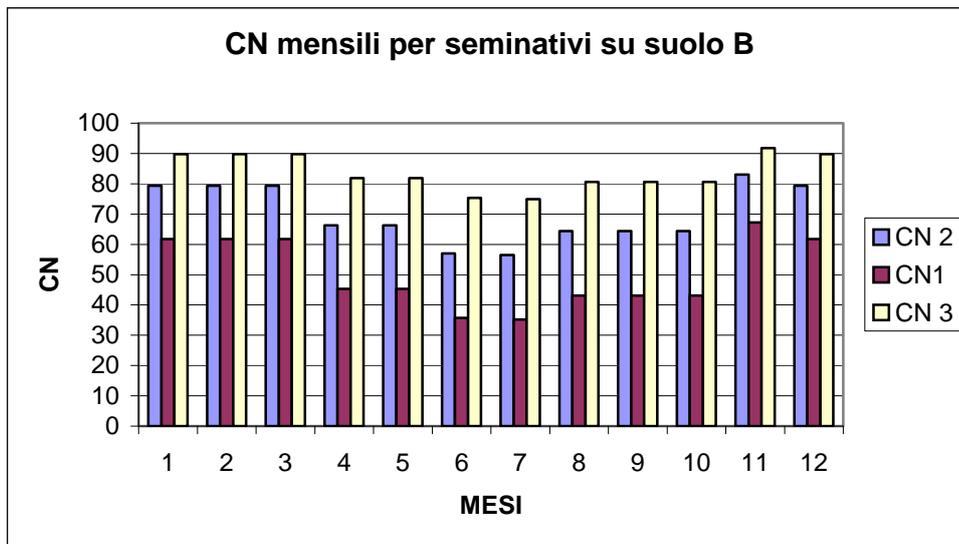
- I valori di CN – medio, minimo e massimo, possono essere assegnati mensilmente alla singola coltura analizzata in relazione allo stato vegetativo. Indicativamente e qualitativamente può essere sfruttato quanto riportato nell' *Engineering Field Handbook* del *National Resources Conservation Service* statunitense.
- Dopo aver assegnato i valori mensili del parametro Curve Number per le varie colture di interesse, possono essere ricavati i relativi valori stagionali mediando i valori mensili compresi nelle stagioni secca ed umida.

Di seguito si riportano i valori mensili assegnati alle due tipologie di seminativi considerate, seminativo a sviluppo invernale (frumento) e seminativo a sviluppo estivo (mais), per i vari gruppi idrologici di suolo in condizione di ARC-II.

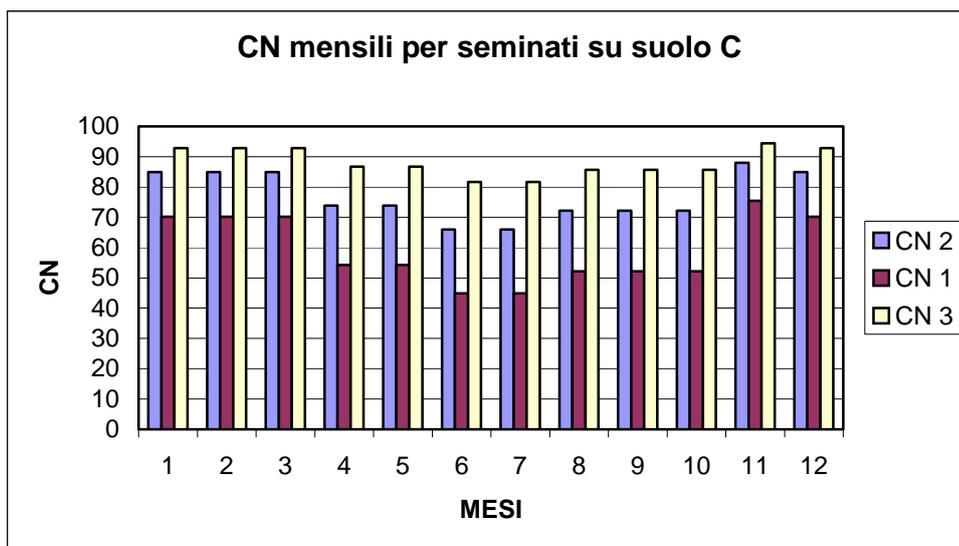
**Tabella 9.** Valori mensili del parametro CN per seminativi estivi e invernali per i quattro gruppi idrologici di suoli, in condizione ARC II.

VALORI MENSILI DEL PARAMETRO CN PER SEMINATIVI ESTIVI E INVERNALI														
Mesi ⇒⇒			gen	feb	mar	apr	Mag	giu	lug	ago	set	ott	nov	dic
Coltura	ARC	Suolo												
Seminativo Estivo	II	A	74	74	74	61	61	48	48	48	48	48	74	74
Seminativo Estivo	II	B	83	83	83	70	70	57	57	57	57	57	83	83
Seminativo Estivo	II	C	88	88	88	77	77	66	66	66	66	66	88	88
Seminativo Estivo	II	D	90	90	90	80	80	70	70	70	70	70	90	90
Seminativo invernale	II	A	61	61	61	48	48	48	48	74	74	74	74	61
Seminativo invernale	II	B	70	70	70	57	57	57	57	83	83	83	83	70
Seminativo invernale	II	C	77	77	77	66	66	66	66	88	88	88	88	77
Seminativo invernale	II	D	80	80	80	70	70	70	70	90	90	90	90	80

Tali valori possono essere calcolati per le tre classi di ARC e ponderati in relazione alla diffusione delle due tipologie di colture nel territorio in esame, al fine di determinare il valore mensile di CN per le colture seminative nelle tre condizioni di ARC e per i 4 gruppi idrologici di suolo. I grafici di seguito riportati delineano l'andamento mensile del valore di CN per i seminativi su suoli di tipo B e C.



**Figura 28.** Andamento mensile del valore di CN per i seminativi su suoli di tipo B.



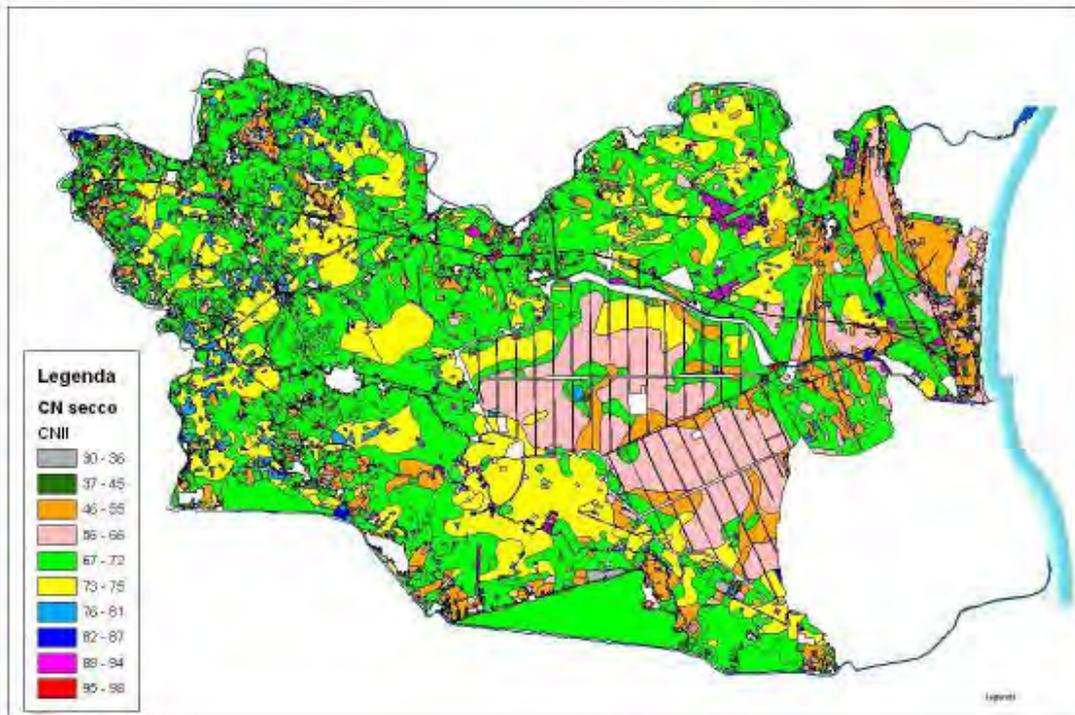
**Figura 29.** Andamento mensile del valore di CN per i seminativi su suoli di tipo C.

Mediando i valori mensili ricavati sui mesi ricompresi nella stagione secca e nella stagione umida possono essere individuati i valori di CN stagionali, che di seguito vengono riportati per le colture seminative (Tabella 10).

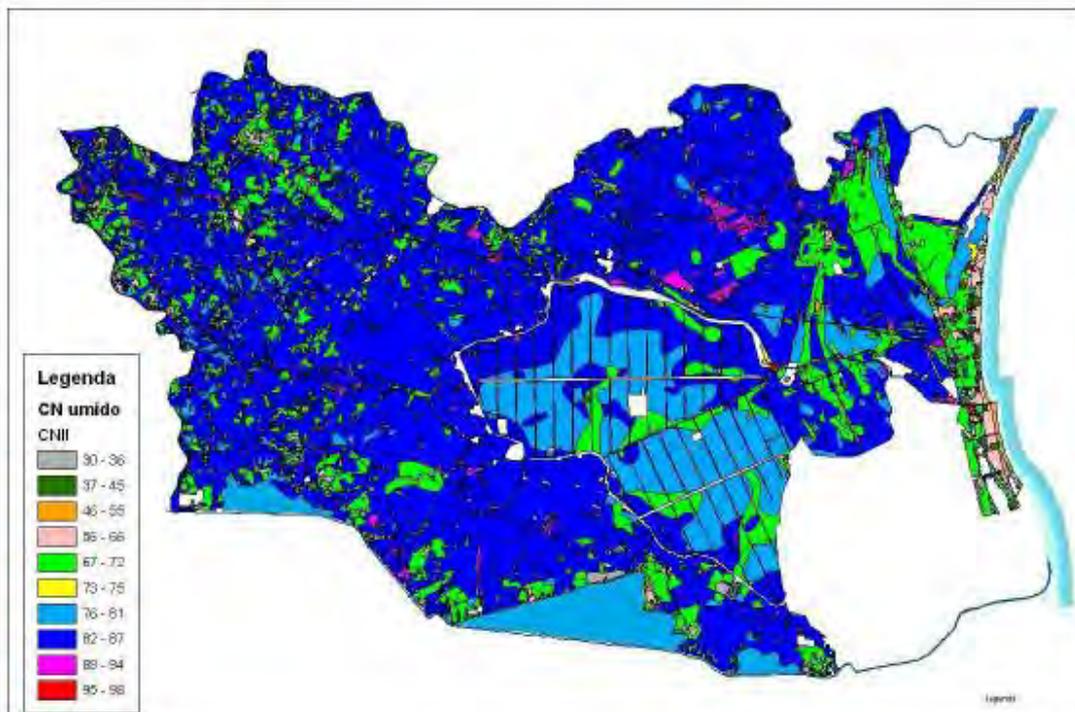
**Tabella 10.** Valori stagionali del parametro CN per seminativo per i quattro gruppi idrologici di suoli, nelle tre condizioni di ARC.

VALORI STAGIONALI DEL PARAMETRO CN PER SEMINATIVI				
Stagione ⇒⇒			Aprile-Settembre	Ottobre-Marzo
Coltura	ARC	Suolo		
Seminativo	I	A	33	48
Seminativo	I	B	41	59
Seminativo	I	C	50	68
Seminativo	I	D	55	72
Seminativo	II	A	54	68
Seminativo	II	B	63	77
Seminativo	II	C	71	83
Seminativo	II	D	74	86
Seminativo	III	A	73	83
Seminativo	III	B	79	89
Seminativo	III	C	85	92
Seminativo	III	D	87	93

Dalle informazioni sul tipo e sull'uso di suolo sin qui riportate e dalle considerazioni effettuate sul valore di CN attribuito al seminativo nelle due stagioni, si ottengono le carte stagionali del CN riportate in Figura 30 (stagione secca) e 31 (stagione umida).



*Figura 30. Valori del CN in condizione ARC II in stagione secca sull'intero territorio.*



*Figura 31. Valori del CN in condizione ARC II in stagione umida sull'intero territorio.*

Per le aree del territorio esterne alla provincia di Ferrara e per le quali non si disponeva di una classificazione litologica si è operato per similitudine con le aree limitrofe, attribuendovi un valore di CN, avvalorato dalle conoscenze dell'area.

Si precisa che in Figura 30 ed in Figura 31 risultano di colore bianco, in quanto escluse da classificazione: tutte le aree aventi corpi idrici, alle quali andrebbe attribuito un valore di CN pari a 100 e le aree urbane, la cui classificazione viene considerata in seguito.

Attraverso una procedura semi automatizzata è possibile a questo punto attribuire il corretto valore del parametro CN ad un qualsiasi bacino contribuente individuato nel territorio in esame. Tale procedura ha interesse specifico per il presente studio, ma trova applicazione anche in altri ambiti progettuali, quali ad esempio la verifica di fognature, il progetto di nuovi canali, l'analisi della compatibilità idraulica di opere genericamente collocate sul territorio.

### **5.3.3 Determinazione del CN per le aree urbane**

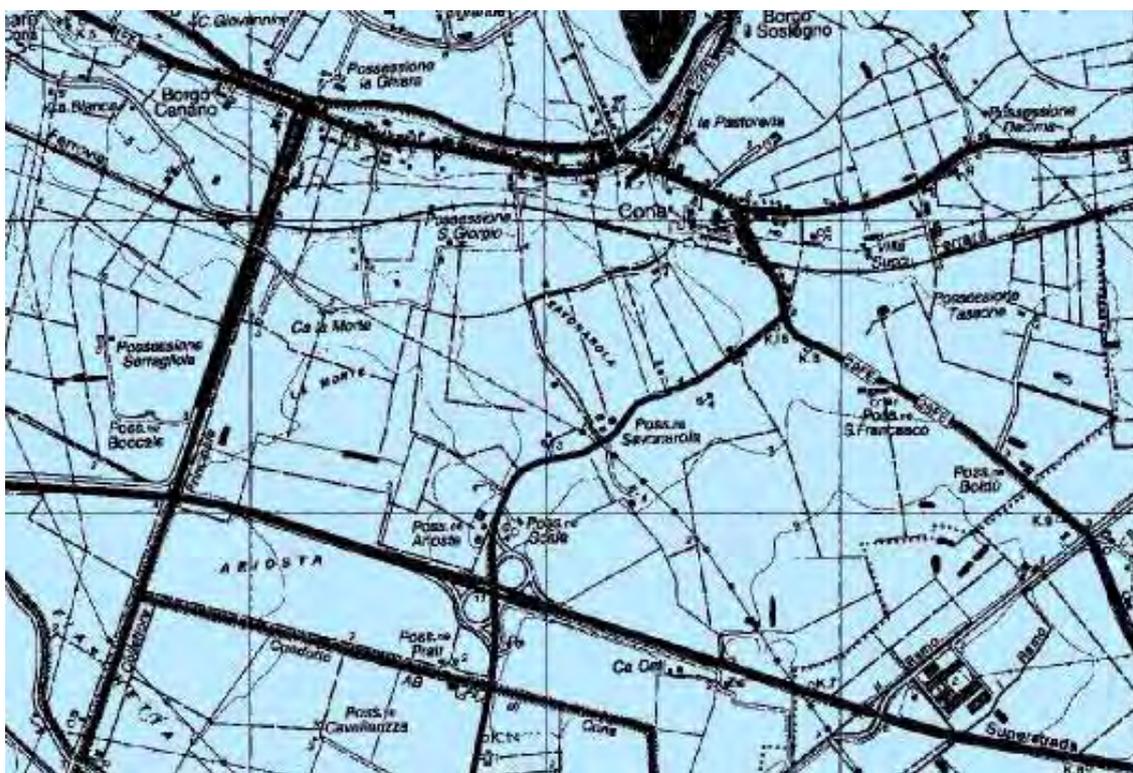
Per quanto concerne le aree urbane, l'individuazione del CN si basa solo sull'uso del suolo, in quanto per esse il tipo di suolo secondo la classificazione cartografica provinciale di Shepard è scarsamente rappresentativo.

A tal fine è stata raccolta, quale materiale utile all'identificazione dell'uso del suolo in area urbana, la seguente base-dati cartografica (i cui dettagli sono riportati nella Cartografia del presente documento):

- cartografia CTR a diverse scale;
- immagini satellitari a diversa risoluzione;
- rilievo aerofotogrammetrico a diversa risoluzione;
- cartografia catastale.

Integrando le informazioni a disposizione, è stato così possibile suddividere le aree urbane in superfici aventi omogenee caratteristiche idrologiche, a seconda della destinazione d'uso delle stesse.

Nelle Figure 32 - 35 sono riportati esempi delle informazioni cartografiche utilizzate.



*Figura 32. Esempio di cartografia CTR utilizzata.*



*Figura 33. Esempio di immagini satellitari utilizzate.*



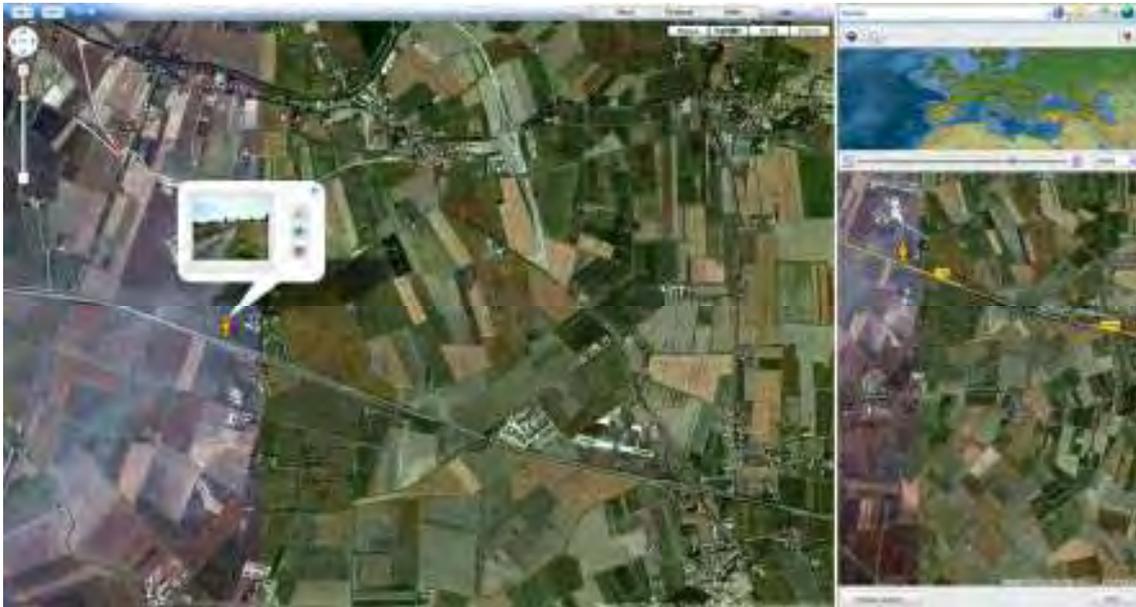
**Figura 34.** Esempio del rilievo aerofotogrammetrico a disposizione.



**Figura 35.** Esempio di cartografia catastale.

Sono inoltre stati eseguiti dei sopralluoghi, al fine di riportare i parametri idrologici ed il valore del CN desunto dall'SCS per i bacini americani, alla realtà ferrarese. Le seguenti Figure 36 e 37 riportano esempi della documentazione fotografica ottenuta dai

sopralluoghi effettuati, utilizzati anche per la determinazione del CN per il comparto agricolo come precedentemente descritto.



**Figura 36.** Esempio di documentazione fotografica da sopralluogo: Co. Cona AA.



**Figura 37.** Esempio di documentazione fotografica da sopralluogo: campo in sinistra idraulica del Co. Cona AA.

Da questa analisi sono risultate nove tipologie di superfici urbane aventi caratteristiche idrologiche omogenee, che vengono di seguito descritte. A ciascuna di esse è poi stato associato un valore di CN, desumibile da letteratura (si veda la Tabella 5 di

questo elaborato) e dalla conoscenza specifica maturata, tramite i sopralluoghi effettuati, dai tecnici del Consorzio.

**Strade e Strade Particolari:** superficie catastale delle particelle che identificano le strade (individuate con la nomenclatura "strade") e le piazze, i parcheggi ed i piazzali, a cui invece si associa il termine "strade particolari". A queste superfici è stato attribuito, conformemente a quanto riportato in Tabella 5, per la copertura definita come "Impervious areas: paved parking lots, roofs, driveways, etc..." e "Streets and roads: paved; curb and storm sewers", un CN pari a 98.

**Edifici:** è la superficie catastale classificata come "edifici", comparabile con la superficie di impronta in ambito urbanistico. Il CN assegnato in questo caso è pari a 98, secondo quanto proposto dal metodo e riportato nella medesima Tabella 5 di questa relazione.

**Verde pubblico:** ricadono in questa categoria tutte le porzioni di territorio appartenenti ad enti pubblici, su cui non vi sia nulla di edificato; tali potrebbero essere parchi pubblici, campi sportivi, ma anche argini od aree pertinenti corsi d'acqua. Per questa tipologia la Tabella 5 riporta CN variabili a seconda del tipo di terreno e della condizione di drenaggio, espressa come percentuale di copertura erbosa. Trattandosi di aree verdi urbane, dunque mediamente ben curate, se paragonate a terreni agricoli incolti, si può supporre una percentuale di copertura erbosa di circa il 75%. In tal caso i valori di riferimento per una tipologia di terreno che abbia caratteristiche idrologiche medie (tra il gruppo B ed il gruppo C) può essere considerato pari a circa 68. Dai sopralluoghi effettuati è però emerso che questa tipologia di aree presenta solitamente una scarsa connessione alla rete fognaria. Si è osservata infatti una carenza di caditoie, di griglie o canalizzazioni drenanti che agevolino il deflusso verso le rete fognaria, delineando una tendenza per queste aree al drenaggio per dispersione in falda. Da queste considerazioni si è ritenuto opportuno ridurre il valore del CN, attribuendo a questa classe un CN intermedio tra il valore 68, precedentemente determinato e l'ipotetico valore 0 di completo assorbimento della pioggia da parte della superficie considerata, ottenendo così il valore di 34.

Le pertinenze degli edifici sono state classificate diversamente, a seconda che facciano parte di un'area artigianale o di aree residenziali. Queste ultime sono poi state suddivise in tre classi differenti a seconda della densità abitativa della zona, ottenendo un CN pesato sulla percentuale di impermeabilizzazione della superficie e

variabile dunque tra il limite inferiore di 68 delle aree verdi e quello superiore di 98 degli edifici e delle superfici pavimentate o cementate, secondo la seguente proporzione:

$$CN_{\text{pertin.fabbric.}} = \% \text{aree\_permeabili} \cdot CN_{\text{aree\_verdi}} + \% \text{aree\_impermeabili} \cdot CN_{\text{fabbricati}}$$

**Pertinenze artigianali:** è la superficie adiacente ad edifici in cui trovano sede apparati produttivi. Abitualmente si tratta di porzioni di territorio in cui coesistono superfici cementate, pavimentate o in terra battuta, talvolta anche vegetate. L'SCS propone, a seconda della percentuale di suolo impermeabilizzato e del tipo di terreno, valori di CN variabili tra 81 e 95. Dai sopralluoghi effettuati e considerando che i valori tabellati già includono le superfici coperte dei fabbricati, che invece nel nostro caso sono trattate a parte, si è ritenuto di attribuire a queste aree un valore di CN pari a 85.

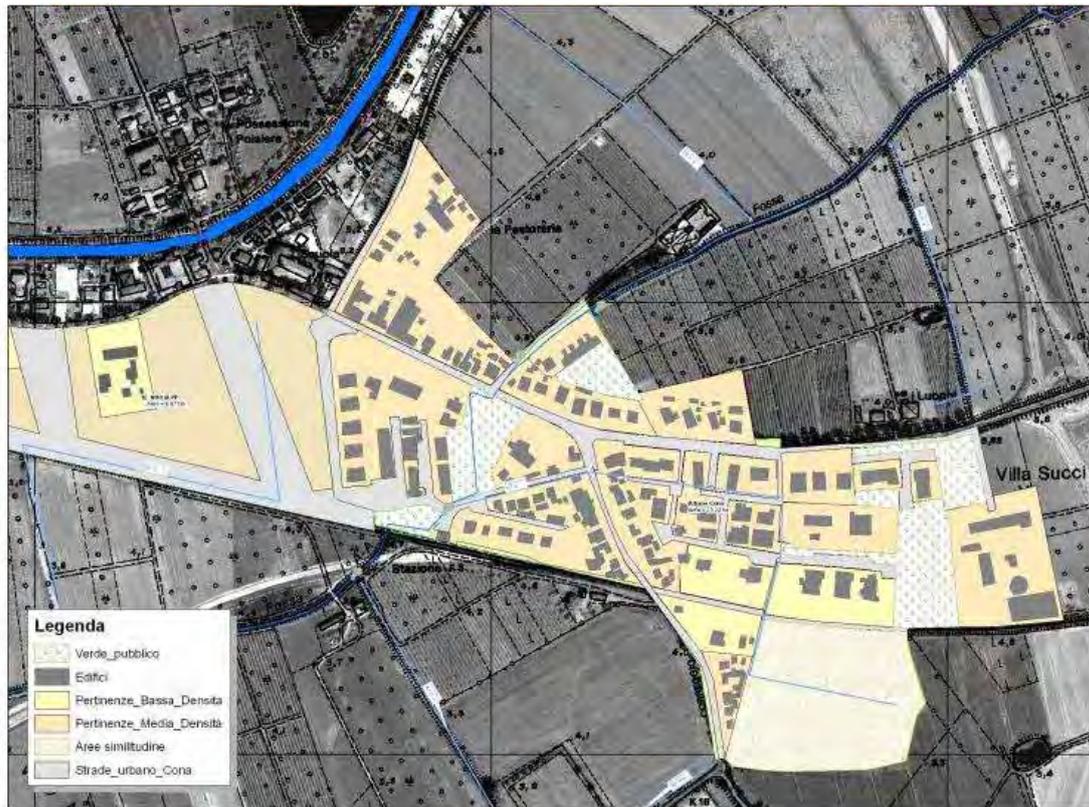
**Pertinenze fabbricati ad alta densità:** si tratta di pertinenze di fabbricati in aree residenziali in cui la percentuale di superficie impermeabile è stata ritenuta circa l'80%. Tali aree si collocano prevalentemente nei centri storici, e nelle aree ad essi attigue e viene ad esse attribuito un valore di CN pari a 92.

**Pertinenze fabbricati a media densità:** si tratta di pertinenze di fabbricati in aree residenziali in cui la percentuale di superficie impermeabile è stata ritenuta circa il 50%. Ad esse è stato attribuito, sempre proporzionalmente secondo l'equazione sopra riportata, un valore di CN uguale a 83.

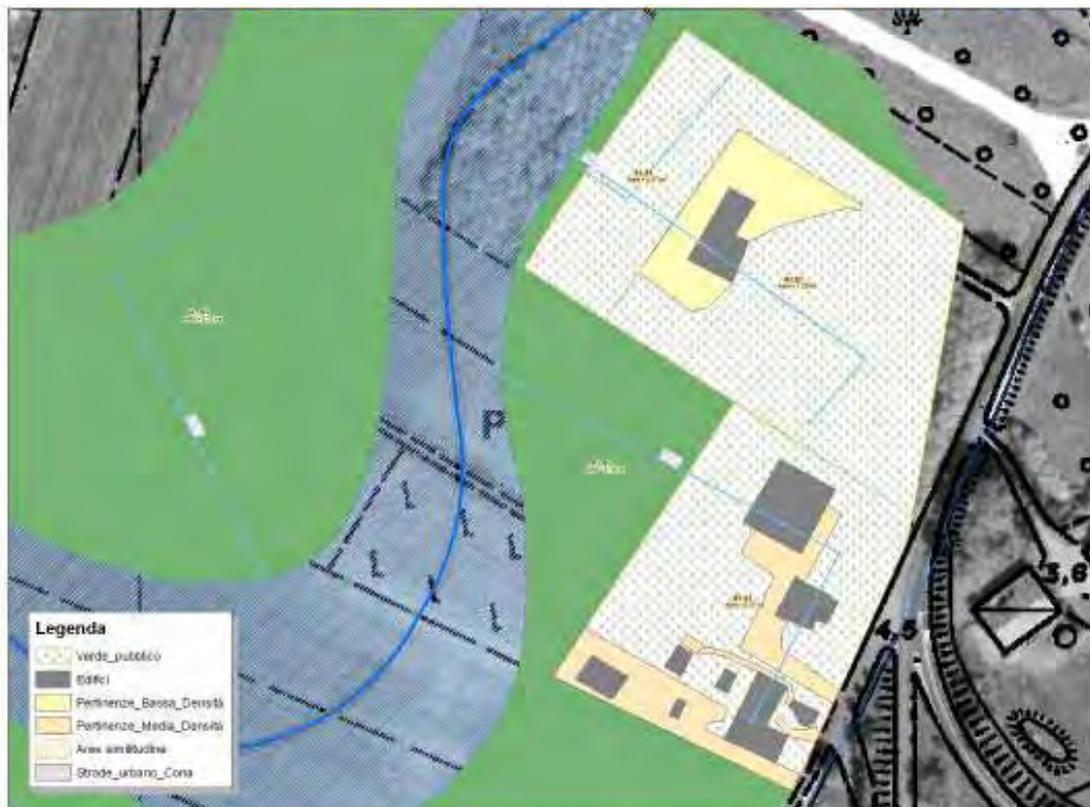
**Pertinenze fabbricati a bassa densità:** si tratta di pertinenze di fabbricati in aree residenziali in cui la percentuale di superficie impermeabile è stata ritenuta circa il 20%. Tali aree si collocano prevalentemente nelle periferie dei centri abitati ed assumono un valore di CN pari a 74.

**Analisi comparativa:** ricadono in questa classe le superfici di territorio per il quale non è stato possibile attribuire un CN univoco e che dunque non ricadono nella precedente classificazione. In particolare si tratta di aree per cui non erano distinguibili, dal supporto cartografico informatico, le aree destinate a strade, edifici o non è risultato possibile differenziare tra le pertinenze degli stessi. Per queste aree si è dunque attuata un'analisi cosiddetta comparativa, ovvero gli si è attribuito il valore di CN ottenuto per aree che presentano caratteristiche di urbanizzazione simile. Tra queste compaiono tutte le aree di nuova urbanizzazione previste dal PSC e dal POC, quali le varie ASP2, ANS2 ed ANS3, nonché alcune porzioni in fase di realizzazione o non ancora incluse nella cartografia a disposizione.

Un esempio della classificazione così ottenuta viene riportato in Figura 38 ed in Figura 39, mentre la Tabella 11 riassume i valori di CN per tipologia di superficie individuata.



**Figura 38.** Esempio di suddivisione dell'urbano in aree idrologicamente omogenee - urbano di Cona.



**Figura 39.** Esempio di suddivisione dell’urbano in aree idrologicamente omogenee - Zona ospedale.

**Tabella 11.** Classificazione idrologica delle aree urbane.

Classi di superfici ideologicamente omogenee	CN attribuito
Strade	98
Strade Particolari	98
Edifici	98
Verde Pubblico	34
Pertinenze artigianali	85
Pertinenze fabbricati ad alta densità	92
Pertinenze fabbricati a media densità	83
Pertinenze fabbricati a bassa densità	74
Analisi comparativa	---vario---

Una eccezione compare per quanto concerne le aree denominate “Aree PP” per le quali la distinzione è tra le seguenti classi:

- Edifici\_presenti\_nuovi\_insediamenti,

- Pertinenze\_Edifici\_Presenti\_Nuovi\_Insedimenti,
- Attrezzature\_collettive,
- Nuovi\_tessuti\_residenziali\_e\_compatibili,
- Aree\_Nuovi\_Insedimenti\_PP,
- Agricolo;

che vengono comunque ricondotte alle classi precedentemente descritte.

Secondo quanto riportato nelle Tabelle

**Tabella 12. CN per attrezzature collettive.**

<b>Attrezzature collettive</b>				
	<b>Area (ha)</b>	<b>CN</b>	<b>Area*CN</b>	<b>CN</b>
<b>Verde pubblico</b>	1.6416	34	55.8144	<b>77</b>
<b>Edifici</b>	0.912	98	89.376	
<b>Pertinenze Bassa Densità (parcheggi pubblici e privati)</b>	2.736	74	202.464	
<b>Pertinenze Bassa-Media Densità (prato e pavimentazione</b>	7.6304	78.5	598.9864	
<b>Strade</b>	2.28	98	223.44	
<b>Area TOT urbano</b>	15.2			

**Tabella 13. CN per nuovi tessuti residenziali.**

<b>Nuovi tessuti residenziali</b>				
	<b>Area (ha)</b>	<b>CN</b>	<b>Area*CN</b>	<b>CN</b>
<b>Verde pubblico</b>	0.9504	34	32.3136	<b>78</b>
<b>Edifici</b>	0.66	98	64.68	
<b>Pertinenze Bassa Densità (parcheggi pubblici e privati)</b>	0.83	74	61.42	
<b>Pertinenze Bassa-Media Densità (prato e pavimentazione esterna)</b>	6.9096	78.5	542.4036	
<b>Strade</b>	1.65	98	161.7	
<b>Area TOT urbano</b>	11			

**Tabella 13.** CN per le classi delle aree denominate PP.

CLASSE	CN
<b>Edifici presenti in nuovi insediamenti</b>	98
<b>Pertinenze edifici presenti in nuovi insediamenti (bassa densità)</b>	74
<b>Attrezzature collettive</b>	77
<b>Nuovi tessuti residenziali e compatibili</b>	78
<b>Agricolo (verde pubblico-bassa densità)</b>	71

I valori ottenuti per ciascun bacino vengono riportati al successivo Capitolo 5.4.

## 5.4 Parametri idrologici

I parametri idrologici ottenuti per ciascun bacino sono di seguito riportati.

**Tabella 14.** Area nuova urbanizzazione B3\_U1.

<b>B3_U1</b>				
	<b>Area (ha)</b>	<b>CN</b>	<b>Area*CN</b>	<b>CN</b>
<b>Verde</b>	0.00	34	0	<b>80</b>
<b>Edifici</b>	0.18	98	17.5812	
<b>Pertinenze fabbricati a bassa densità</b>	0.57	74	42.0246	
<b>Pertinenze fabbricati a media densità</b>	0.00	83	0	
<b>Pertinenze fabbricati ad alta densità</b>		92		
<b>Strade pubbliche</b>	0.00	98	0	
<b>Area TOT urbano</b>	0.75			
<b>Area TOT urbano (SHP)</b>	0.75			

**Tabella 15. Area nuova urbanizzazione B3\_U2.**

<b>B3_U2</b>				
	<b>Area (ha)</b>	<b>CN</b>	<b>Area*CN</b>	<b>CN</b>
<b>Verde</b>	0.29	34	9.7308	<b>57</b>
<b>Edifici</b>	0.08	98	7.4186	
<b>Pertinenze fabbricati a bassa densità</b>		74	0	
<b>Pertinenze fabbricati a media densità</b>	0.13	83	10.79	
<b>Pertinenze fabbricati ad alta densità</b>		92		
<b>Strade pubbliche</b>	0.00	98	0	
<b>Area TOT urbano</b>	0.49			
<b>Area TOT urbano (SHP)</b>	0.49			

**Tabella 16. Area nuova urbanizzazione B2\_U1.**

<b>B2_U1</b>				
	<b>Area (ha)</b>	<b>CN</b>	<b>Area*CN</b>	<b>CN</b>
<b>Verde</b>	0.37	34	12.4848	<b>34</b>
<b>Edifici</b>	0.00	98	0	
<b>Pertinenze fabbricati a bassa densità</b>	0.00	74	0	
<b>Pertinenze fabbricati a media densità</b>	0.00	83	0	
<b>Pertinenze fabbricati ad alta densità</b>		92		
<b>Strade pubbliche</b>	0.00	98	0	
<b>Area TOT urbano</b>	0.37			
<b>Area TOT urbano (SHP)</b>	0.37			

**Tabella 17. Area nuova urbanizzazione B2\_U2.**

<b>B2_U2</b>				
	<b>Area (ha)</b>	<b>CN</b>	<b>Area*CN</b>	<b>CN</b>
<b>Verde</b>	0.87	34	29.7058	<b>43</b>
<b>Edifici</b>	0.04	98	4.1748	
<b>Pertinenze fabbricati a bassa densità</b>	0.17	74	12.5874	
<b>Pertinenze fabbricati a media densità</b>	0.00	83	0	
<b>Pertinenze fabbricati ad alta densità</b>		92		
<b>Strade pubbliche</b>	0.00	98	0	
<b>Area TOT urbano</b>	1.09			
<b>Area TOT urbano (SHP)</b>	1.09			

**Tabella 18. Area nuova urbanizzazione B2\_U3.**

<b>B2_U3</b>				
	<b>Area (ha)</b>	<b>CN</b>	<b>Area*CN</b>	<b>CN</b>
<b>Verde</b>	0.60	34	20.3354	<b>55</b>
<b>Edifici</b>	0.16	98	15.9348	
<b>Pertinenze fabbricati a bassa densità</b>	0.00	74	0	
<b>Pertinenze fabbricati a media densità</b>	0.22	83	17.9197	
<b>Pertinenze fabbricati ad alta densità</b>		92		
<b>Strade pubbliche</b>	0.00	98	0	
<b>Area TOT urbano</b>	0.98			
<b>Area TOT urbano (SHP)</b>	0.98			

**Tabella 19. Parametri idrologici - Area nuova urbanizzazione B2\_U3.**

Sub Lotto	Unità di intervento	Destinazione d'uso	Area [ha]			CN	S	IA	L [m]	TC [ore]	Tlag
B1	U1	Forestazione	9.1663			79.0	67.52	13.50	659.78	0.92	0.55
	U2	Attrezzature socio-sanitarie	0.2335	Ipotizzato scolante nel collettore delle aree interne						0.00	
B2	U1	Abitazioni, attività ricettive ecc.	0.3			34.0	493.06	98.61	78.1	0.1	0.1
	U2	Verde Privato	1.0877			43.0	336.70	67.34	163.5	2.3	1.4
	U3	Abitazioni, attività ricettive ecc.	0.9716			54.0	216.37	43.27	207.6	0.3	0.2
	U4	Nuova linea idraulica	7.2			74.5	86.94	17.39	193.9	0.3	0.16
	U5	Forestazione	6.3			67.5	122.30	24.46	174.86	2.43	1.46
	U6	Forestazione	6.4			67.5	122.30	24.46	98.84	1.37	0.82
B3	U1	Abitazioni, attività ricettive ecc.	0.7473			80.0	63.50	12.70	171.04	0.24	0.14
	U2	Abitazioni, attività ricettive ecc.	0.491			57.0	191.61	38.32	115.75	0.16	0.10
	U3	lotto Edificabile - sanitario	10.9047			98.0	5.18	1.04	265.8	0.37	0.22
	U4	Forestazione	6.8			67.5	122.30	24.46	193.88	2.69	1.62
	U5	Forestazione	1.2			67.5	122.30	24.46	103.3	1.43	0.86

**Tabella 20. Parametri idrologici - Urbano Cona.**

	Area (ha)	CN	Area*CN	CN	S	la	L [m]	TC [ore]	Tlag
Verde pubblico	2.60	34	88.3524	81	60.10	12.02	742.00	1.03	0.62
Edifici	3.39	98	332.2102						
Pertinenze Bassa Densità	1.52	74	112.7094						
Pertinenze Media Densità	9.67	83	802.6349						
Strade	3.12	98	306.0736						
Area per similitudine	2.97								
Area TOT urbano	23.28								

**Tabella 21. Parametri idrologici - 1E\_NUOVI\_PP.**

1E_NUOVI_PP					S	la	L [m]	TC [ore]	Tlag
	Area (ha)	CN	Area*CN	CN					
Edifici presenti in nuovi insediamenti	0.21	98	20.4134	78	73.66	14.73	757.49	1.05	0.63
Pertinenze edifici presenti in nuovi insediamenti (bassa densità)	1.29	74	95.164						
Attrezzature collettive	3.18	77	245.1911						
Nuovi tessuti residenziali e compatibili	4.00	78	311.8752						
Area TOT 1E_Nuovi_PP	8.68								
Area TOT 1E_Nuovi_PP (SHP)	8.67								

**Tabella 22. Parametri idrologici - 2A\_NUOVI\_PP.**

2A_NUOVI_PP					S	la	L [m]	TC [ore]	Tlag
	Area (ha)	CN	Area*CN	CN					
Edifici presenti in nuovi insediamenti	0.55	98	54.0568	78	72.54	14.51	1360.41	1.89	1.13
Pertinenze edifici presenti in nuovi insediamenti (bassa densità)	2.33	74	172.3016						
Attrezzature collettive	5.56	77	427.8505						
Nuovi tessuti residenziali e compatibili	9.39	78	732.5682						
Area TOT 1E_Nuovi_PP	17.83								
Area TOT 1E_Nuovi_PP (SHP)	17.80								

**Tabella 23. Parametri idrologici - AREE NORD U1 U2 U3.**

AREE NORD U1 U2 U3					S	la	L [m]	TC [ore]	Tlag
	Area (ha)	CN	Area*CN	CN					
Edifici presenti in nuovi insediamenti	0.12	98	11.9658	73	92.78	18.56	973.67	1.35	0.81
Pertinenze edifici presenti in nuovi insediamenti (bassa densità)	0.91	74	67.488						
Attrezzature collettive	7.00	77	539.154						
Agricolo (verde pubblico-bassa densità)	13.36	71	948.2973						
Area TOT 1E_Nuovi_PP	21.39								
Area TOT 1E_Nuovi_PP (SHP)	21.39								

**Tabella 24. Parametri idrologici - Microbacini di monte.**

Bacini	Area (km <sup>2</sup> )	CN	S	la	Lterreno [m]	Lrete [m]	TC [ore]	Tlag
1_A	0.518	72	98.78	19.76	447.19	687.37	7.17	4.30
1_B	0.0941	72	98.78	19.76	316.11	138.04	4.58	2.75
1_C	0.227917	72	98.78	19.76	332.83		4.62	2.77
1_D	0.128021	72	98.78	19.76	378.61		5.26	3.16
1_E	0.098923	72	98.78	19.76	275.97		3.83	2.30
1_F	0.172518	72	98.78	19.76	239.18	383.21	3.85	2.31
1_G	0.100223	72	98.78	19.76	415.02		5.76	3.46

Per quanto riguarda invece il comparto agricolo della restante bonifica di Sant'Antonino si sono assunti i valori di CN pari a 72 per la stagione secca. Questo bacino viene considerato per individuare le corrispondenti condizioni al contorno di valle dell'area per ciascuna simulazione eseguita. Esso infatti non interessa l'area oggetto di studio, ma determina il livello idrico nel Condotto Principale di Sant'Antonino, nel quale si prevede confluisca il canale di nuova costruzione. In realtà questa condizione di valle non sembra influire sulle condizioni delle simulazioni eseguite per la rete di monte e dunque l'area in esame, ma viene considerata ugualmente per completezza.

## 6 Caratterizzazione altimetrica e topografica

### 6.1 Rilievi altimetrici

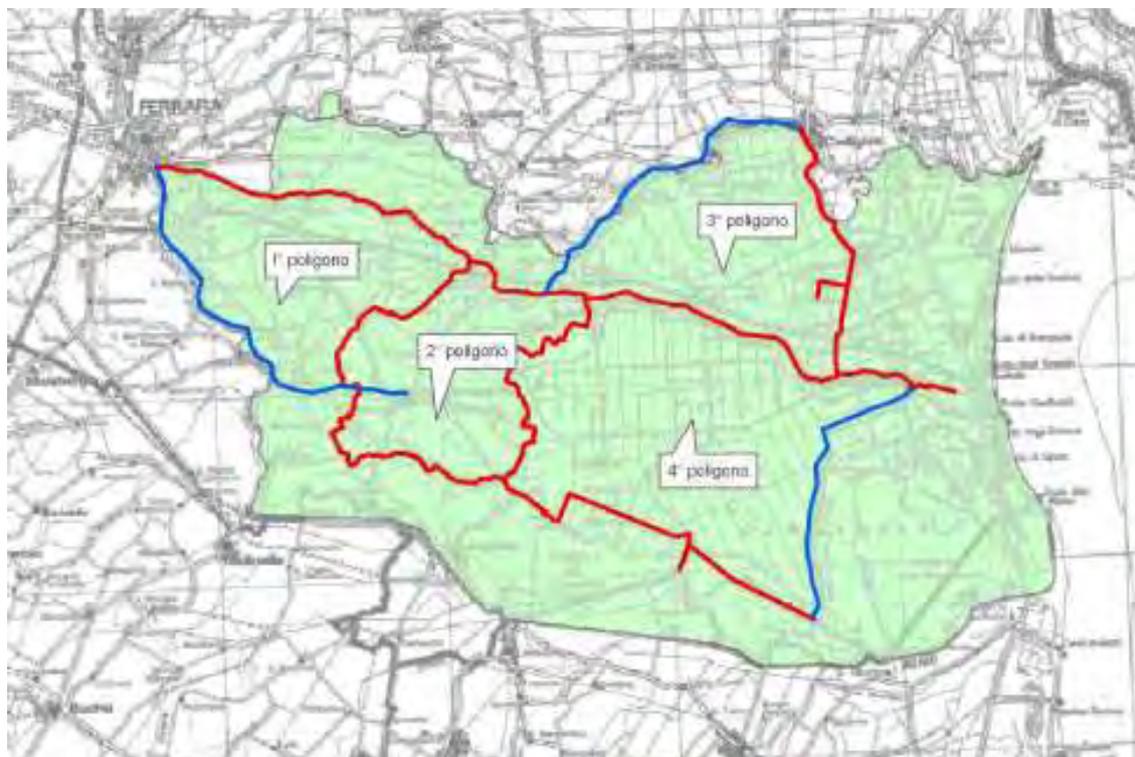
Ai fini dello studio dei sistemi di drenaggio, sia per le reti di bonifica che per le reti di fognatura, risulta indispensabile che i dati altimetrici siano collegati ad un unico sistema di riferimento. A tale scopo il Consorzio di Bonifica, a partire dal maggio del 2005, ha realizzato, sul territorio in gestione all'ex Secondo Circondario, di cui è parte l'area in esame, una Rete Altimetrica ottenuta con tecniche di livellazione geometrica di precisione.

La rete è costituita da 12 linee di livellazione rilevate dal Consorzio (per un totale di circa 150 Km con 171 capisaldi) a cui si aggiungono 3 linee di livellazione rilevate dall'ARPA Emilia-Romagna nell'ambito di un progetto di controllo del fenomeno della subsidenza regionale (per altri 65 Km circa, con 77 capisaldi).

La quasi contemporaneità dei rilievi ARPA (questi ultimi eseguiti rispettando le norme della livellazione geometrica di alta precisione) ha portato al progetto ed al successivo rilievo da parte del Consorzio di linee di livellazione aperte (tranne per un poligono centrale); tali linee, aggiungendo i rilievi delle livellazioni ARPA 2005, si sono successivamente chiuse formando 4 importanti poligoni.

La rete nel suo insieme (linee Consorzio + linee ARPA) risulta quindi costituita da n° 4 poligoni, inoltre sono presenti 4 corti sbracci (linee aperte) al di fuori dei poligoni (figura 40).

La livellazione ha permesso di uniformare le quote dei vari capisaldi di riferimento utilizzati per i rilievi delle reti di drenaggio, consentendo inoltre per il futuro la creazione di un modello unico territoriale della rete, utilizzabile per varie tipologie di analisi. La rete di livellazione può essere utilizzata come riferimento anche per altri fini nella pianificazione, progettazione e realizzazione di generici interventi sul territorio, divenendo strumento condiviso da tutti i soggetti interessati.



**Figura 40.** rete di livellazione geometrica di precisione, in rosso le linee del Consorzio di Bonifica, in blu le linee rilevate dall'ARPA nel 2005.

La livellazione è sempre stata eseguita in andata e ritorno con verifica della tolleranza  $T = \pm 5\sqrt{D}$  (con D in Km e T in mm): tolleranza usualmente adottata per la livellazione geometrica di precisione. Ogni dislivello è stato quindi calcolato come media dei dislivelli ottenuti in andata e ritorno.

Come caposaldo di riferimento della rete è stato assunto il Nodale 28 dell'IGM (Piazza XX Settembre, Portomaggiore, Caserma dei Carabinieri) la cui quota è stata misurata dall'ARPA nel corso del 2005 ed è risultata pari a +1.6076 m.

## 6.2 Modello digitale del terreno

Tra le banche dati geospaziali a disposizione del Consorzio c'è un modello digitale del terreno realizzato a partire dalla Carta Tecnica regionale, realizzato attraverso la digitalizzazione dei punti quotati della CTR, e la loro interpolazione al fine di costruire una informazione digitale tipo raster. Ad ogni cella elementare di posizione nota, è stata quindi associata l'informazione altimetrica interpolata.

Tale modello risulta certamente utile per un'analisi qualitativa dell'andamento altimetrico del territorio. Attraverso l'analisi del DTM è possibile tracciare i confini delle

celle idrauliche, individuare i dossi relativi alla presenza di paleovalvei, trarre informazioni geomorfologiche, individuare le aree di catino relativo. L'informazione altimetrica ha però precisione ridotta, in molti casi non adatta alle esigenze di un territorio pressoché "piatto", nel quale, per analisi idrauliche, in alcuni casi contano anche i centimetri. Per valutazioni idrauliche il modello digitale su base CTR è stato affiancato da rilievi di precisione adeguata effettuati sull'area in esame, come descritto al successivo Capitolo 6.3.

### **6.3 Rilievo piano - altimetrico dell'area di studio**

Per dettagliare planimetricamente ed altimetricamente l'area è stato eseguito un rilievo con tecnica GPS che ha confermato l'andamento altimetrico generale riportato nelle carte topografiche regionali, seppure individuando locali discrepanze dalle stesse. Le aree di nuova urbanizzazione si trovano per lo più in posizione altimetrica favorevole allo scolo per gravità nei corpi idrici ricettori, fatta eccezione per la parte più ad ovest dell'area denominata AREE NORD U1 U2 U3, che presenta lunghezza idraulica maggiore per raggiungere la sezione di chiusura e che dovrà essere portata ad una quota leggermente superiore per garantire lo scarico per gravità in continuo. Dal rilievo emerge, come appare in Figura 41, un'altimetria variabile tra gli 11 m ed i 17 m, posto 10 il l. m. m. con quote maggiori a ridosso del Po di Volano ed inferiori lungo il secondo tratto del nuovo canale. L'area che sarà interessata dal nuovo canale ha altimetria variabile tra 11.2 m dell'area più bassa e 13.5 m dei punti più alti.



**Figura 41.** Rilievo altimetrico effettuato tramite GPS e curve di livello estrapolate.

## **6.4 Rilievo delle reti**

Per i canali interessati dal presente studio il Consorzio dispone di rilievi dettagliati.

Oltre ai canali sono state rilevate anche le varie strutture quali ponti, tombinamenti, chiuse, botti-sifone, ecc...).

Di seguito si riportano i tipici formati di restituzione delle informazioni geometriche acquisite con i rilievi.

SCHEDA MANUFATTO			
DATI GENERALI	COMPRESORIO	<b>UMANA</b>	
	CANALE	<b>Fossa della Valle</b>	
	NOME MANUFATTO	<b>Chiusa Piovan</b>	
	PROGR. BARICENTRO		
	RIF. CARTOGRAFICO		
COORDINATE C.T.R.			
DATI GENERALI	DATA RILIEVO		INTERVENTI
	Data	1-ott-07	
	Rilevatore	Geminiani Rossano	
	AGGIORNAMENTI SUCCESSIVI		
Data			
Compilatore			
TIPOLOGIA	Perce		
	Botta		
	Chiusa	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Preso		
	Tombamento		
	P. Canale		
STRUTTURA	COLLEGAM. IDR.		SISTEMA DI REGIMAZIONE IDRAULICA
	Condotta prefab.	<input checked="" type="checkbox"/>	
	Condotta in opera		
	Luce		
	MATERIALE		
	Cemento armato		
Muratura			
Acciaio	<input checked="" type="checkbox"/>		
QUOTE PLATEA (m)		VALVOLA	
Monte			
Valle			
QUOTE RIZZOLI (m)			
Monte	7,810		
Valle			
NOTE VARIE			
EFFICIENZA DEL MANUFATTO			
Obsolescenza strutturale		<input type="checkbox"/>	
Obsolescenza della funzione di scolo		<input type="checkbox"/>	
Obsolescenza della funzione irrigua		<input type="checkbox"/>	
Impatto sull'utilizzo di tipo idraulico		<input type="checkbox"/>	
Impatto sull'utilizzo di tipo non idraulico		<input type="checkbox"/>	
GRADO DI EFFICIENZA (1-100):		<input type="text" value="###"/>	
1	Bassa	2	Media
3	Alta		
NOTE E SCHIZZI			
DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA			
Foto a monte		Foto a valle	
			

Figura 42: Esempio di scheda-manufatto.

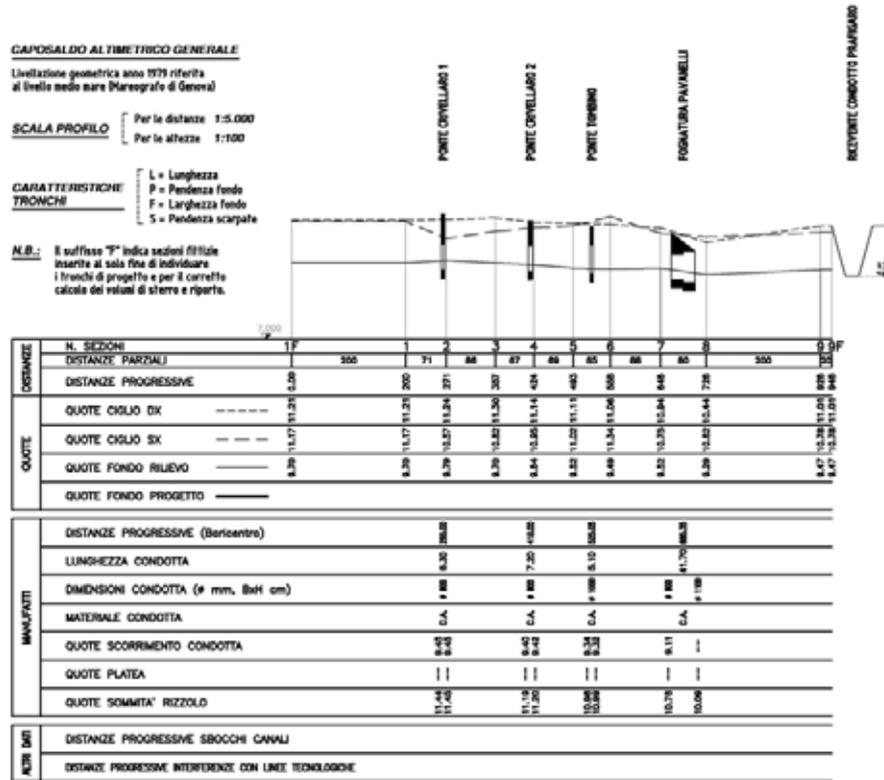


Figura 43. Esempio di profilo trasversale rilevato di un canale consortile.

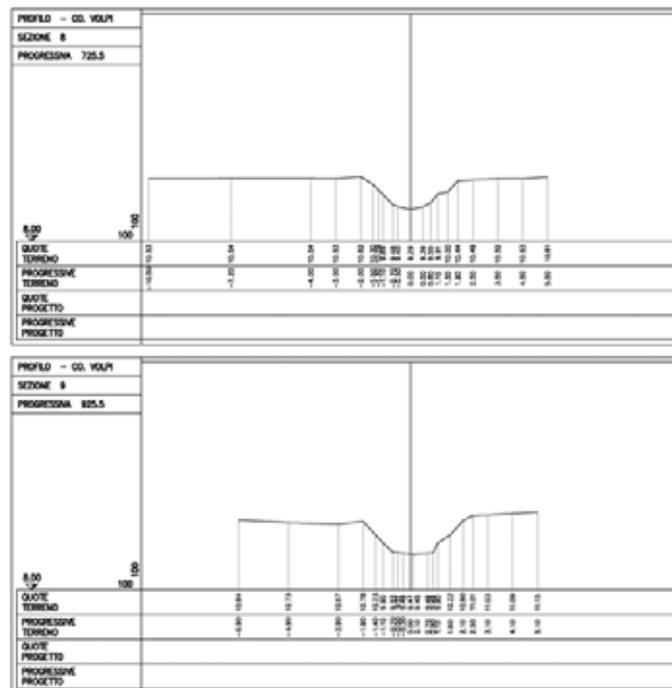


Figura 44. Esempio di sezione trasversale rilevata di un canale consortile.

## 7 Descrizione del software MIKE11

A seguito dell'inquadramento territoriale, dell'analisi pluviometrica e della caratterizzazione idrologica dell'area di studio svolti nei precedenti Capitoli, il presente Capitolo descrive gli strumenti utilizzati per la modellazione idrologico-idraulica. In primo luogo viene descritto il modulo RR del software MIKE 11, che viene utilizzato per la modellistica idrologica ed in seguito il Modulo HD utilizzato invece per la modellazione idrodinamica.

La catena modellistica RR-HD del MIKE11, utilizzata in questo studio, consente in primo luogo l'analisi idrologica, ovvero la conversione dell'input pluviometrico in deflusso superficiale, ad opera di un modello afflussi-deflussi e, in successione la propagazione del deflusso superficiale lungo la rete di canali del sistema di scolo consortile, per mezzo del modulo HD. Il Capitolo 7.1 descrive il Modulo RR, mentre il successivo Capitolo 7.2. delinea il funzionamento del Modulo HD.

### 7.1 Modulo idrologico MIKE11 – RR

Il modulo RR si compone di diversi modelli afflussi-deflussi, che si differenziano a seconda della complessità con la quale viene modellato il processo fisico di conversione della pioggia in deflusso. Trattandosi in questo caso di una modellazione avente finalità di progettare la nuova rete e di adeguare l'esistente, si è scelta una modellazione che tenesse conto delle elaborazioni statistiche e dell'esperienza maturata dallo scrivente Consorzio in ambito idrologico. La preferenza è stata accordata ad un modello di tipo concettuale, col quale poter analizzare il comportamento della rete, a fronte di precipitazioni di assegnato tempo di ritorno. Tra i modelli idrologici concettuali a disposizione si è scelto il metodo del CN, precedentemente descritto, per il calcolo della pioggia netta e quello dell'UHM (Unit Hydrograph Module), per il calcolo del conseguente idrogramma. La prima opzione è stata prediletta per la sua ampia diffusione in letteratura e per l'esperienza maturata dallo scrivente Consorzio nella determinazione dei parametri necessari, mentre la seconda nasce dall'esigenza di ricostruire il conseguente idrogramma anche in assenza di misurazioni di portata idrologica, basandosi sull'idrogramma unitario. Benché le osservazioni pluviometriche ricoprano un arco temporale piuttosto esteso (si

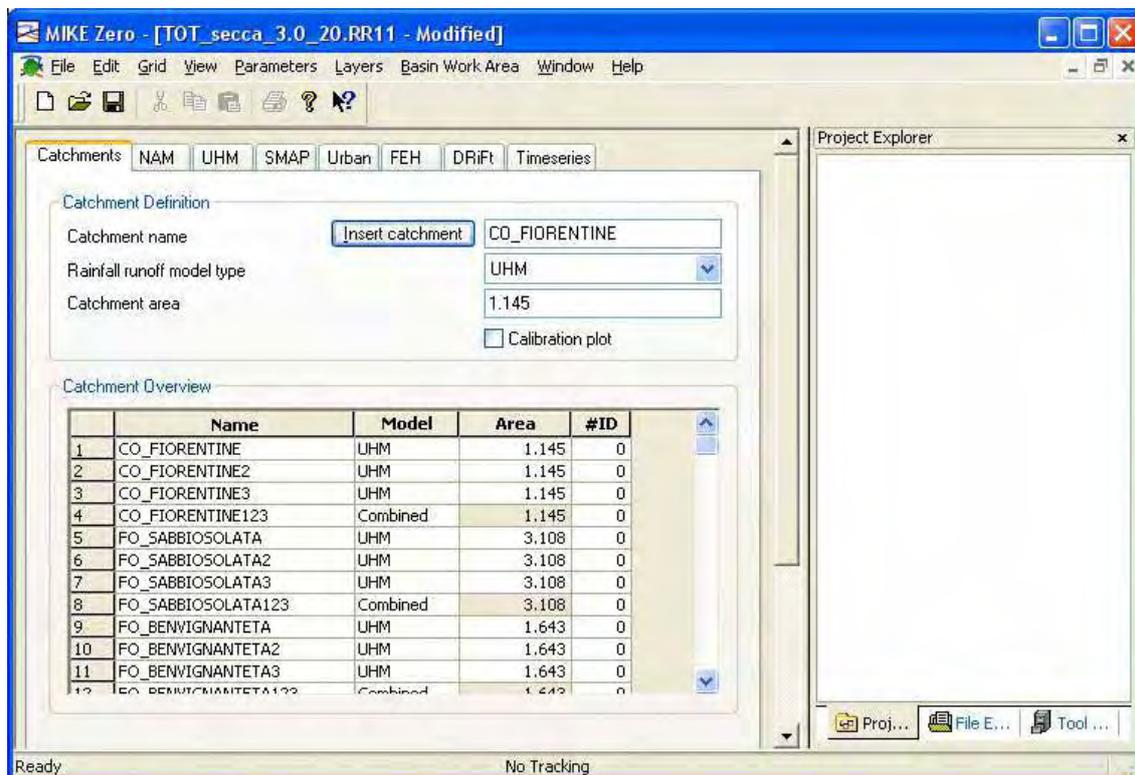
veda a tal proposito il Capitolo 4 del presente studio), la serie attualmente ricostruita delle registrazioni dei sollevamenti all'impianto di Sant'Antonino riguarda il periodo settembre 2006-dicembre 2007, durante il quale non si sono verificati eventi pluviometrici significativi utili alla taratura di un modello idrologico. In mancanza di serie storiche adatte alla taratura di modelli idrologici, l'intera catena modellistica è stata calibrata confrontando i livelli ottenuti a monte dell'impianto di Sant'Antonino ed i volumi pompati dallo stesso, per eventi di comparabile gravosità, con quanto riportato dai geometri di reparto operanti nella bonifica in esame. Inoltre i parametri idrologici scelti per la modellazione, secondo quanto descritto al Capitolo 5, sono desunti da letteratura, in accordo con le caratteristiche dell'area in esame e sono concordi con quanto considerato in studi analoghi svolti dallo scrivente Consorzio per bacini limitrofi.

### **7.1.1 UHM – MIKE11**

Il modello afflussi-deflussi utilizzato è dunque l'UHM (Unit Hydrograph Module), contenuto nel Modulo RR del MIKE11.

Esso consente al suo interno diverse opzioni di calcolo, allo scopo di affinare la valutazione sulla base dei parametri idrologici più correttamente stimabili per il territorio in esame.

In primis occorre identificare ciascun bacino idrologico, fornendo nome, area dello stesso ed indicando il modello afflussi-deflussi da utilizzare per il calcolo, secondo la finestra riportata in Figura 45.



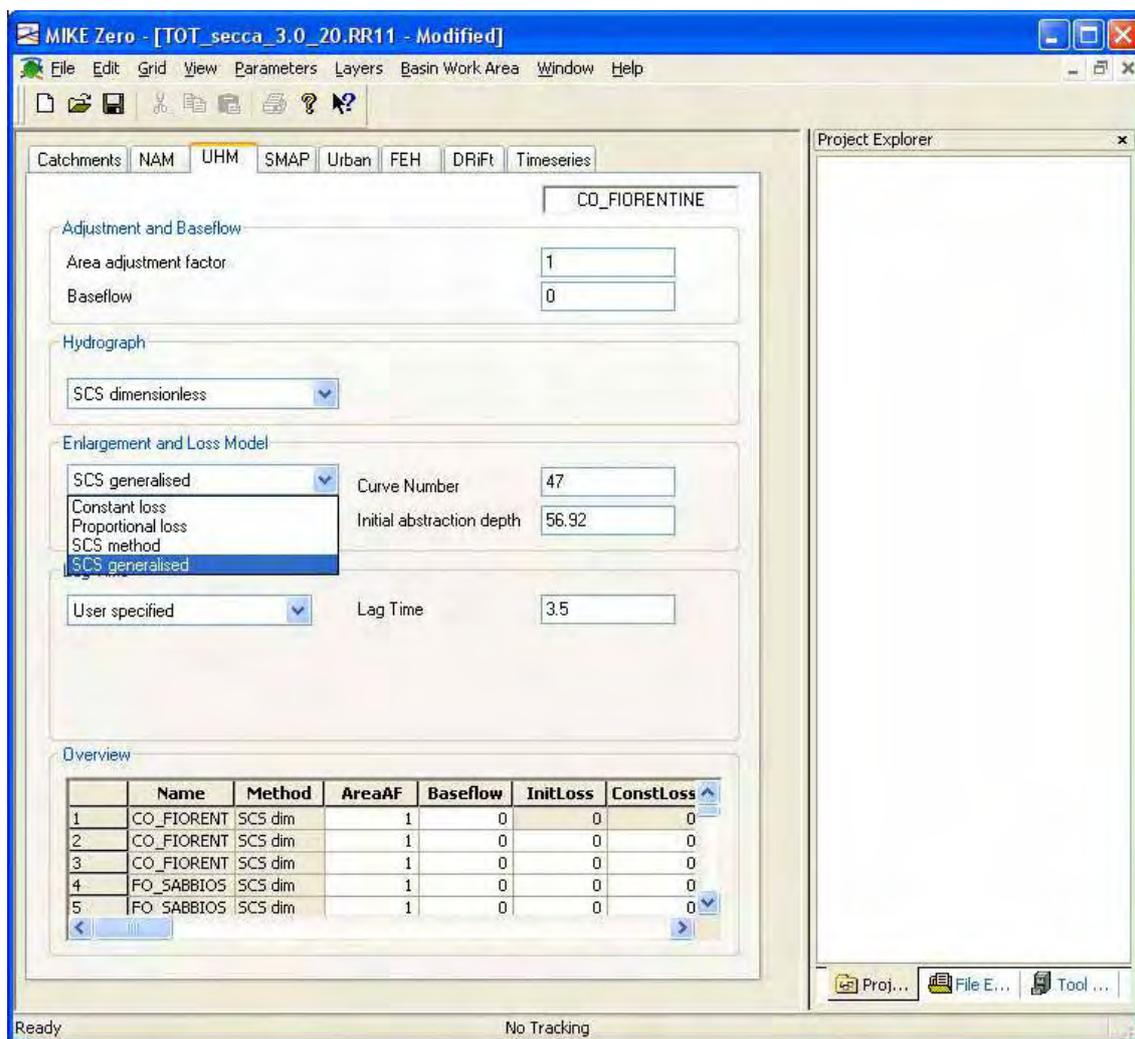
**Figura 45.** Finestra di identificazione dei bacini idrologici.

In secondo luogo vengono definite le modalità di calcolo (Figura 46), in base a quanto descritto nei successivi paragrafi di questo elaborato.

È possibile applicare un fattore di riduzione alla serie temporale di pioggia in ingresso o sommare un valore di deflusso di base costante, qualora si ritenga questa una caratteristica saliente del bacino di studio.

Per quanto riguarda il computo della pioggia netta, essa viene dedotta per differenza dalla pioggia totale, valutando la quota infiltrata nel terreno secondo una delle seguenti schematizzazioni proposte:

- o Infiltrazione costante: descritta come un deficit da colmare all'inizio dell'evento piovoso, seguito da un'infiltrazione costante;
- o Infiltrazione proporzionale: viene specificato un coefficiente di deflusso, come rapporto tra il deflusso superficiale e la pioggia;
- o metodo dell'SCS: utilizza il CN che caratterizza il bacino, considerando i tre livelli di imbibimento iniziale del suolo.



**Figura 46.** Caratteristiche specifiche di modellazione.

È stato ritenuto opportuno eseguire il calcolo della pioggia netta seguendo il metodo SCS-CN, poiché si dispone di una vasta letteratura in merito alla determinazione dell'infiltrazione secondo tale metodo (Natural Resources Conservation Service and Agricultural Research Service, vari anni) e di approfonditi studi eseguiti da questo Consorzio per l'adeguamento dei parametri alla situazione locale (come descritto al Capitolo 5.3 di questa relazione).

Essendo la simulazione ad evento e non avendo dunque una condizione di imbibimento iniziale del suolo (AMC) oggettiva (come avverrebbe invece in una simulazione in continuo), si è attuata la simulazione in tutte e tre le condizioni previste da letteratura, pesando i risultati ottenuti secondo la probabilità del loro verificarsi, così come stimata dal Consorzio, analizzando serie storiche di osservazioni pluviometriche sul nostro territorio (Franchini e Tebaldi, 2005).

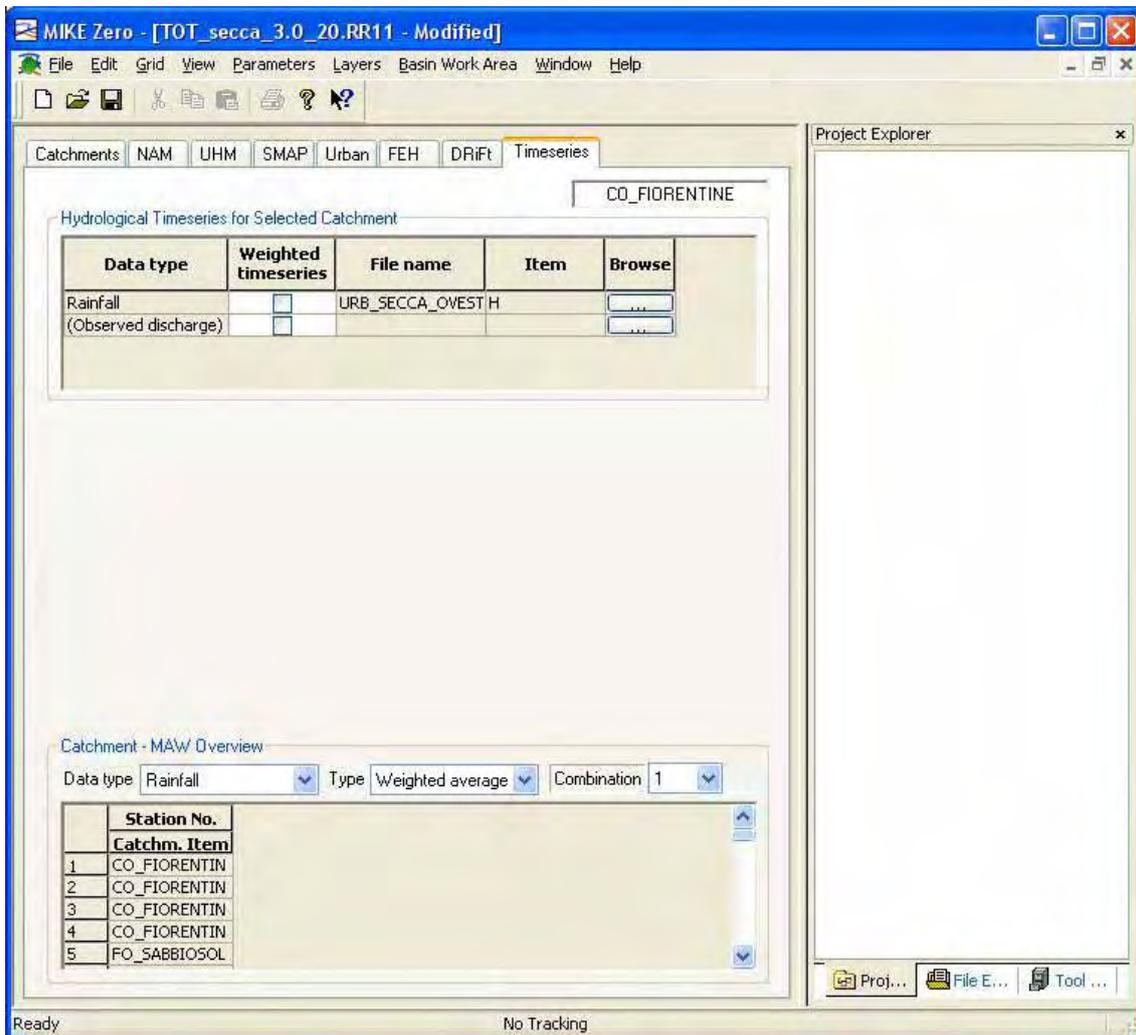
Anche per quanto riguarda la scelta dell'idrogramma da utilizzare, vengono date tre opzioni:

- l'idrogramma triangolare dell'SCS, nel quale l'istante in cui si verifica il picco è considerato pari alla metà della durata del deflusso più il lag time del bacino;
- l'idrogramma adimensionale dell'SCS, ottenuto da idrogrammi unitari tratti da bacini di differenti dimensioni e collocazioni geografiche. Il deflusso è espresso in  $Q/Q_p$ , dove  $Q_p$  è il picco di portata, ed il tempo in  $T/T_p$ , dove  $T_p$  è l'intervallo temporale che intercorre tra l'inizio del ramo di carico dell'idrogramma e l'istante in cui si verifica il picco;
- Idrogrammi definiti dal modellista.

La scelta è stata indirizzata verso l'idrogramma adimensionale dell'SCS, dato il suo vasto utilizzo in ambito scientifico.

Infine il Lag time può essere direttamente specificato, in ore, oppure calcolato con la formula standard dell'SCS introducendo: lunghezza idraulica, pendenza e CN. Nel caso in esame si è preferito introdurre valori precedentemente calcolati con apposite formulazioni, distinte a seconda che si tratti di bacini agricoli od urbani.

La grandezza in input all'intera modellistica idrologica è una serie di dati di precipitazione che vengono introdotti nel pannello illustrato in Figura 47, dove a ciascun bacino viene associata la serie pluviometrica di riferimento.



*Figura 47. Pannello di inserimento delle serie pluviometriche.*

## 7.2 Modulo idrodinamico MIKE11 - HD

MIKE11 HD simula il flusso idrico a pelo libero in estuari, fiumi, sistemi d'irrigazione e simili corpi idrici. Esso riproduce il flusso monodimensionale, stazionario e non, di fluidi verticalmente omogenei in qualsiasi sistema di canali o aste fluviali. E' possibile tenere conto di:

- portate laterali;
- condizioni di corrente veloce o lenta;
- flusso libero o rigurgitato in corrispondenza di sfioratori;
- differenti regole operative di funzionamento di serbatoi o invasi;
- resistenze localizzate e perdite di carico concentrate;

- casse d'espansione;
- condizioni di flusso bidimensionale sulle pianure alluvionali;
- azione del vento;
- nodi idraulici (biforcazioni e convergenti).

L'adozione del programma di simulazione MIKE 11 consente la soluzione del problema idrodinamico di moto vario con uno schema di soluzione numerica molto efficiente, che limita i tempi di calcolo consentendo una adeguata rappresentazione dell'evolversi temporale dei transitori idraulici legati al passaggio dell'onda di piena.

Come già accennato precedentemente, ciascuna onda di piena conseguente alla modellistica idrologica nelle varie ipotesi di simulazione, funge da input alla successiva modellistica idrodinamica mono-dimensionale, che viene eseguita con MIKE 11 HD.

L'implementazione di quest'ultima, avviene basandosi sulla definizione della rete idrodinamica (strutture incluse) e di tutti i parametri e le caratteristiche idrodinamiche corrispondenti. Essa riguarda tutti i tratti di canali componenti i sistemi di scolo, per i quali si dispone di: rilievi topografici (profili e sezioni), rilievi delle strutture interferenti col deflusso, caratteristiche degli impianti, criteri di gestione delle paratoie e comportamento idraulico della rete. Per un maggiore dettaglio descrittivo degli aspetti funzionali della rete si rimanda al Capitolo specifico di questa relazione.

### **7.2.1 Implementazione del modello idrodinamico**

Il Modello idrodinamico MIKE11 – HD si compone di diversi files, utili all'identificazione della struttura della rete.

In primo luogo viene definita la rete planimetricamente, in un sistema di riferimento georeferenziato e sulla base dei rilievi topografici eseguiti. Tali informazioni sono contenute in un file di estensione \*.ntw, nel quale vengono specificate le lunghezze dei canali, le connessioni esistenti tra gli stessi, le caratteristiche delle strutture idrauliche in essi presenti ed i punti di ingresso degli apporti idrologici precedentemente valutati (si veda Figura 48 per un esempio della schermata di inserimento dati). Un esempio della schematizzazione risultante è rappresentata in Figura 49.

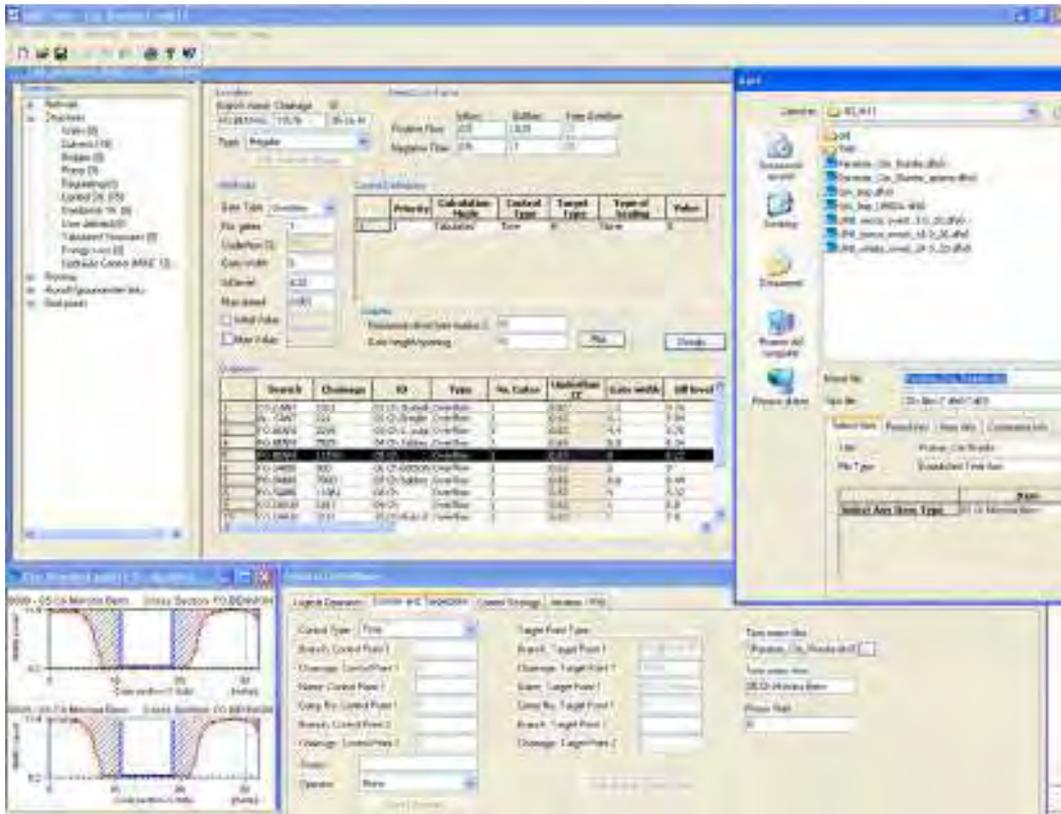
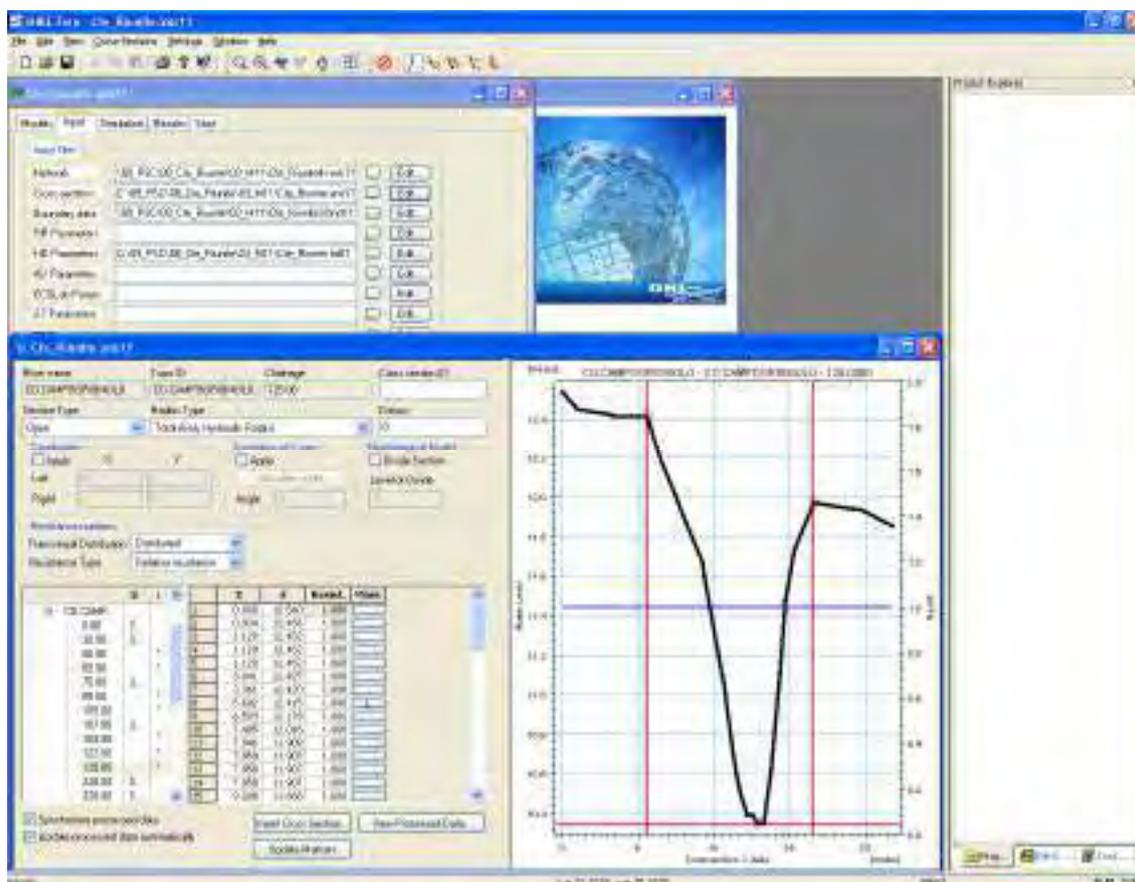


Figura 48. Esempio di schermata di inserimento dati.





**Figura 50.** *Maschera per l’inserimento delle sezioni.*

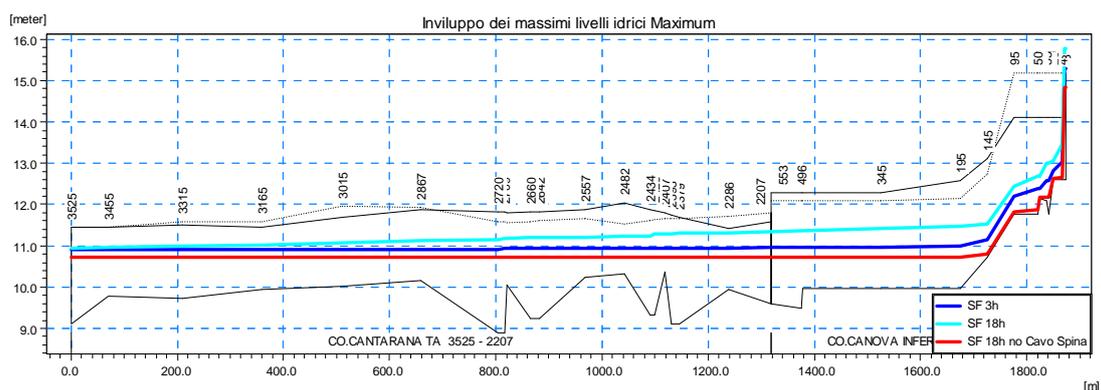
Per l'esecuzione della simulazione è inoltre necessario fornire al modello le condizioni al contorno (file \*.bnd) che, nel caso specifico, avendo in ingresso le onde di piena risultanti dalla modellazione idrologica sia a monte che lungo la rete di canali, si riducono alla sola condizione di valle. Quest'ultima è fornita tramite l'inserimento del livello idrico a valle.

Infine, il modello richiede l'impostazione delle condizioni iniziali della rete, ovvero i livelli idrici in condizioni stazionarie, variabili a seconda della stagione di riferimento (file \*.hd). Per il caso specifico della stagione secca i livelli sono quelli imposti dalla regimazione a scopo irriguo a monte di ciascuna paratoia. I livelli variano poi nel corso di ciascuna simulazione a seconda degli apporti idrici del comparto agricolo e delle aree urbane e delle manovre eseguite lungo la rete, dei quali il modello, trattandosi di simulazioni in moto vario, tiene in debito conto. Il medesimo file contiene inoltre le specifiche per l'esecuzione del calcolo, in esso vengono pertanto definiti i parametri necessari per la

risoluzione del sistema di equazioni di bilancio di massa ed equilibrio dei momenti, tramite il quale si ottiene la propagazione dell'onda di piena.

## 7.2.2 Restituzione dei risultati

Al termine della simulazione si ha la possibilità di conoscere tutti i parametri idrodinamici in qualsiasi punto di calcolo della rete, visualizzabili sia dal punto di vista statico (valore in un determinato punto in un istante temporale specificato o valore massimo verificatosi in ciascun punto della rete nella finestra temporale esaminata) che dinamico (variazione nel tempo della grandezza in esame). Inoltre è possibile svolgere un'analisi comparata dell'andamento di una determinata grandezza nel tempo tra due punti di calcolo di interesse, oppure della variazione della medesima grandezza tra due o più simulazioni (Figura 51).



**Figura 51.** Esempio di confronto dei livelli idrici massimi raggiunti in tre simulazioni condotte.

La possibilità di visualizzare più simulazioni contemporaneamente nella stessa schermata, consente di compiere valutazioni preventive sugli effetti che le modifiche proposte (stato di piano) possono causare, rispetto alla condizione esistente (stato di fatto). In quest'ottica è dunque possibile proporre varianti allo stato di piano, tali da mitigare gli effetti prodotti sullo stato di fatto o, talvolta, valutare modifiche di gestione degli organi di manovra o degli impianti per ottimizzare la gestione della rete e facilitarne lo scolo.

Le simulazioni eseguite nel presente studio costituiscono un'analisi dell'interazione tra il sistema fognario e la rete consortile, spesso esaminati singolarmente, benché siano tra loro interconnessi e dunque soggetti a reciproche interazioni. Pur presentando

caratteristiche costruttive e gestionali molto differenti ed una diversa sensibilità agli eventi atmosferici, i due sistemi sono strettamente connessi e le influenze reciproche risultano evidenti nel presente studio. Vale la pena precisare che tutte le considerazioni riportate (pur tenendo conto dell'effetto dell'area urbana sulla rete di bonifica) si riferiscono al solo sistema consortile, dunque a valle della rete fognaria.

Anche l'apporto agricolo e quello urbano trovano una rappresentazione congiunta in questo elaborato, permettendo sia una valutazione degli effetti combinati, sia la possibilità di considerarli singolarmente per verificarne la relativa incidenza.

L'inserimento dell'apporto di nuove urbanizzazioni, i cambiamenti di uso del suolo, sia agricolo che urbano, ecc ... possono essere valutati con questo strumento, delineando l'Influenza degli stessi sulla linea di scolo e concorrendo all'ottimizzazione della pianificazione dei nuovi insediamenti.

Alla luce di queste osservazioni è possibile identificare la catena modellistica qui descritta come uno strumento "DINAMICO" valido sia per valutazioni inerenti lo stato di fatto, sia come STRUMENTO PIANIFICATORIO IN CONTINUO AGGIORNAMENTO, in grado di consentire valutazioni sugli effetti congiunti dei bacini agricoli ed urbani sulla linea di scolo.

## **8 Modellazione idrologico-idraulica del sistema**

Terminato l'inquadramento generale di cui ai precedenti Capitoli, si descrivono di seguito le modellazioni eseguite.

In primo luogo avviene la scelta degli eventi pluviometrici di riferimento, poi l'individuazione delle durate critiche del sistema nelle 3 ipotesi di intervento enunciate al Capitolo 3.2, a seguire vengono presentati i risultati idrologici per le durate critiche di ciascuna ipotesi ed infine si riportano i risultati ottenuti per i tratti della rete nelle tre ipotesi anzidette.

### **8.1 Modellazione idrologica**

#### **8.1.1 Scelta degli eventi pluviometrici di riferimento**

Come precedentemente descritto al Capitolo 4.3, gli eventi di riferimento, tali da garantire un accettabile rischio idraulico per la bonifica di Sant'Antonino hanno tempo di ritorno di venti anni, mentre si dispone di assicurare protezione da eventi pluviometrici più intensi l'area oggetto di questo intervento urbanistico.

Le ipotesi progettuali avanzate al Capitolo 3.2 propongono la costruzione di un nuovo canale avente sezione composta e golena allagabile per tutta la sua lunghezza, o solo nel tratto terminale dello stesso. Tale sezione composta, si prevede abbia un inciso in cui sia sempre presente una lama d'acqua e la sezione vera e propria progettata per far fronte ad eventi di circa venti anni di tempo di ritorno. La sistemazione della fascia di terreno adiacente, allagabile per tempi di ritorno più elevati, verrà invece progettualmente definita in modo da garantire sicurezza idraulica all'area in esame anche per tempi di ritorno centennali, come testimoniato dalla modellazione bidimensionale riportata al Capitolo 9 di questo documento. Gli studi presentati al medesimo Capitolo testimoniano quindi che l'area oggetto di intervento presenta rischio idraulico notevolmente ridotto rispetto alla bonifica circostante, che potrebbe invece presentare criticità per eventi pluviometrici aventi tempo di ritorno di più di venti anni.

Gli eventi presi a riferimento per questa analisi hanno dunque venti, cinquanta e cento anni di tempo di ritorno.

Per quanto concerne la stagione di riferimento, secondo quanto già esposto al precedente Capitolo 4.1, si è optato per la stagione che fornisce condizioni idrologicamente più critiche, ovvero quella secca, che si estende da aprile a settembre.

Le durate e gli ietogrammi di riferimento sono molteplici, come descritto al medesimo Capitolo 4.3, allo scopo di determinare la condizione più critica per il sistema in esame e su di esso basare la progettazione idraulica dello stesso.

### **8.1.2 Individuazione durata critica del sistema ed idrogrammi corrispondenti**

Come accennato al precedente Capitolo, per la progettazione dell'intero sistema occorre determinarne la durata critica, sulla quale basare poi il dimensionamento della rete idraulica e delle strutture in essa presenti.

A tale scopo, per le tre ipotesi di intervento di cui al Capitolo 3.2, verranno eseguite le simulazioni idrologico-idrauliche con tutti gli eventi pluviometrici considerati, individuando quello più gravoso per la linea idraulica oggetto di progettazione.

L'individuazione dell'evento più gravoso avviene valutando la portata massima raggiunta alla sezione terminale del nuovo canale per tutte le simulazioni eseguite (il rispetto dei livelli massimi e dei volumi verrà riportato in seguito) con tempo di ritorno venti anni.

Da tale confronto emerge che le durate critiche nelle tre ipotesi sono rispettivamente: 17 ore per la HP1 e 15 ore per la HP2 e la HP3 (aventi ietogrammi costanti data la lunga durata), con le portate massime al picco riportate in Tabella 25.

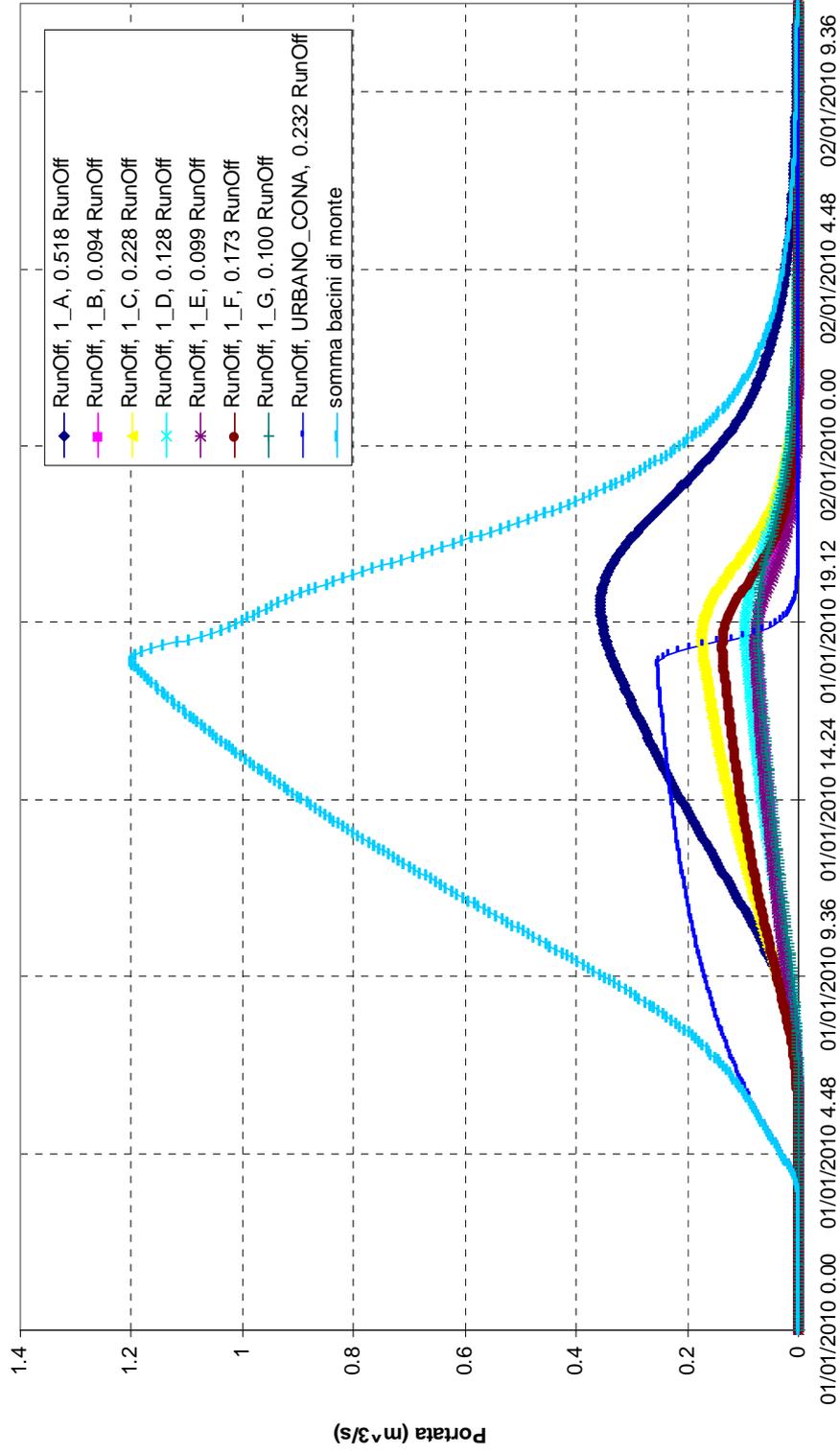
**Tabella 25.** *Durate e portate critiche per ciascuna ipotesi di intervento.*

<b>Ipotesi di intervento</b>	<b>Durata critica (ore)</b>	<b>Portata al picco (m<sup>3</sup>/s)</b>
<b>Ipotesi 1</b>	17	0.52
<b>Ipotesi 2</b>	15	1.077
<b>Ipotesi 3</b>	15	1.059

Gli idrogrammi desunti da simulazione idrologica per ciascun bacino nelle condizioni critiche con tempo di ritorno venti anni, sono riportati nelle successive Figure 52 - 57: le Figure 52 - 54 riguardano le condizioni critiche per l'ipotesi progettuale 1, mentre le Figure 55 - 57 per le HP2 e HP3.

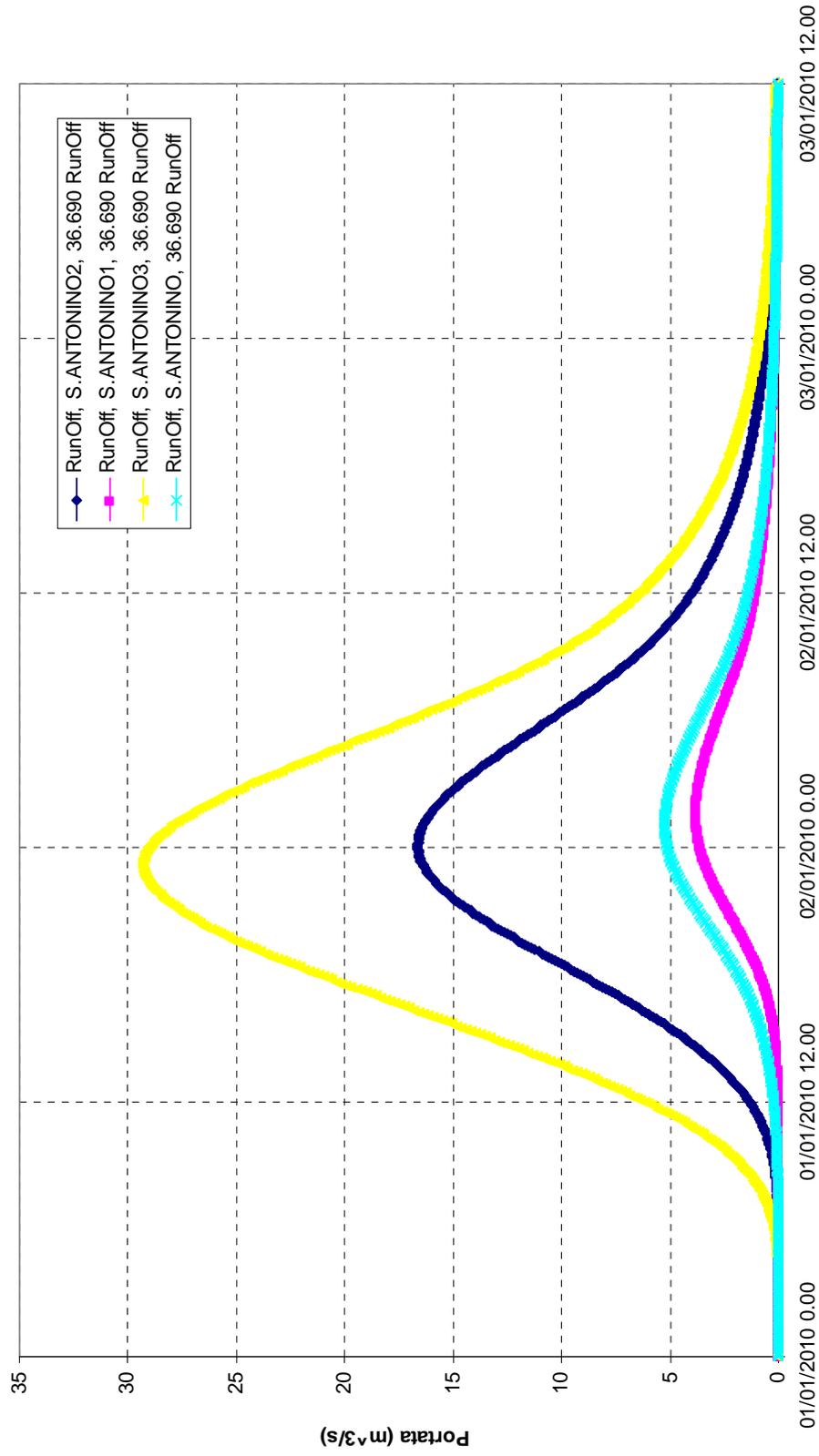
A seguire le Figure 58 - 63 rappresentano i medesimi idrogrammi per tempi di ritorno cinquantennali, mentre le Figure 64-69 per tempi di ritorno centennali.

**Apporti idrologici dei microbacini a monte già esistenti**



**Figura 52. Idrogrammi per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - microbacini di monte già esistenti.**

**Apporto idrologico del bacino di Sant'Antonino in diverse condizioni di AMC**



**Figura 53. Idrogrammi per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - bonifica di Sant'Antonino.**

Apporto idrologico dei nuovi microbacini

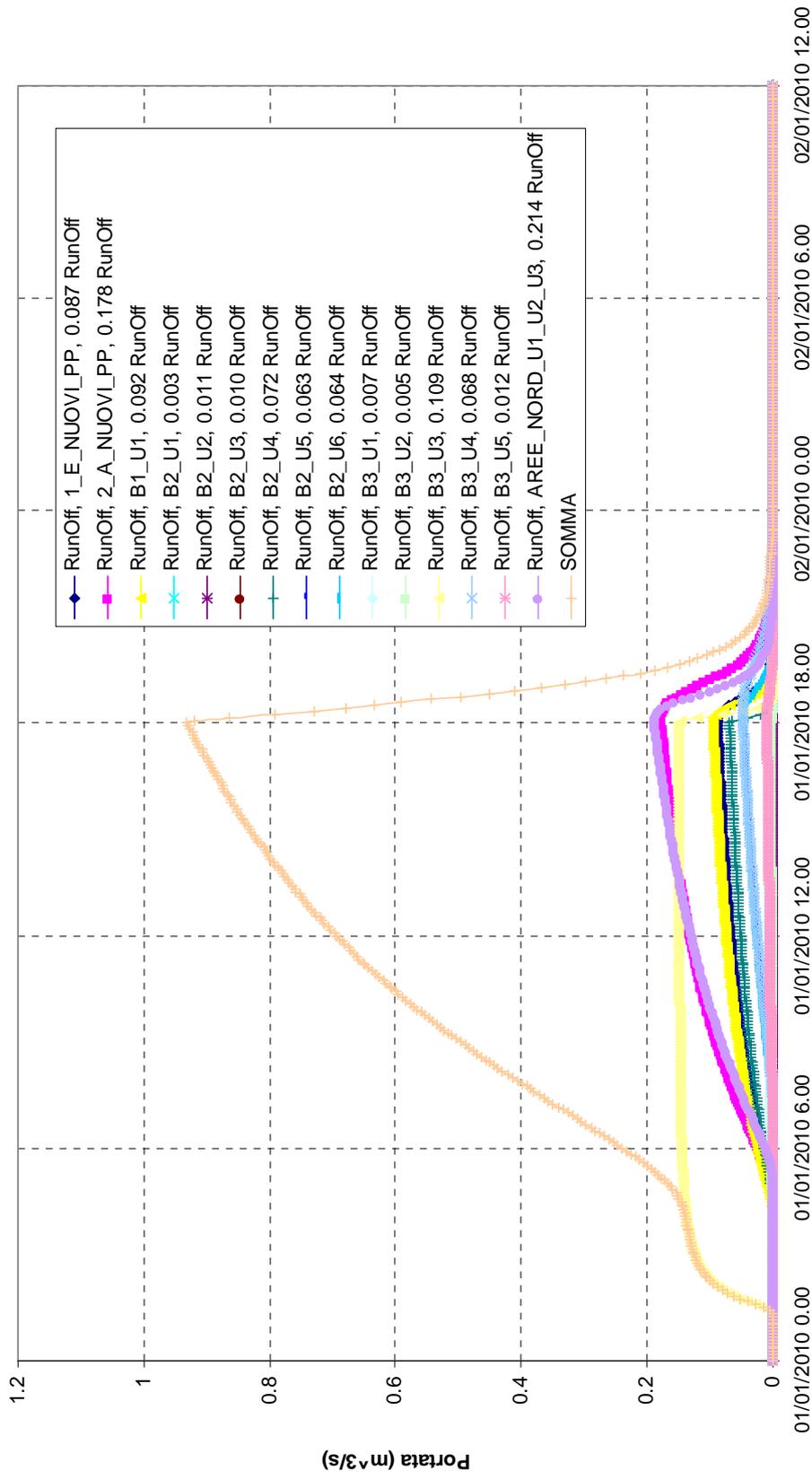
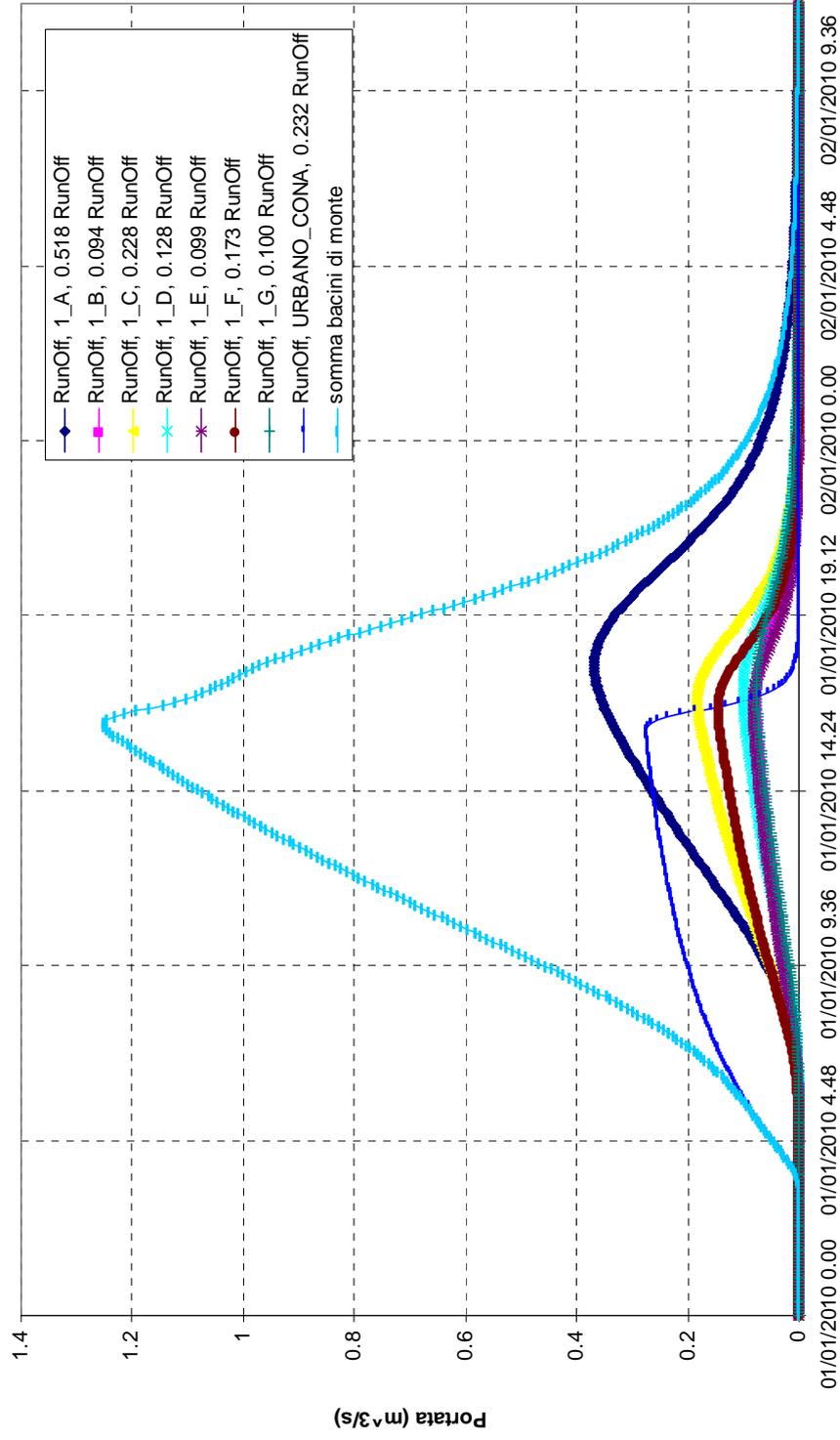


Figura 54. Idrogrammi per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

**Apporti idrologici dei microbacini a monte già esistenti**



**Figura 55. Idrogrammi per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - microbacini di monte già esistenti.**

Apporto idrologico del bacino di Sant'Antonino in diverse condizioni di AMC

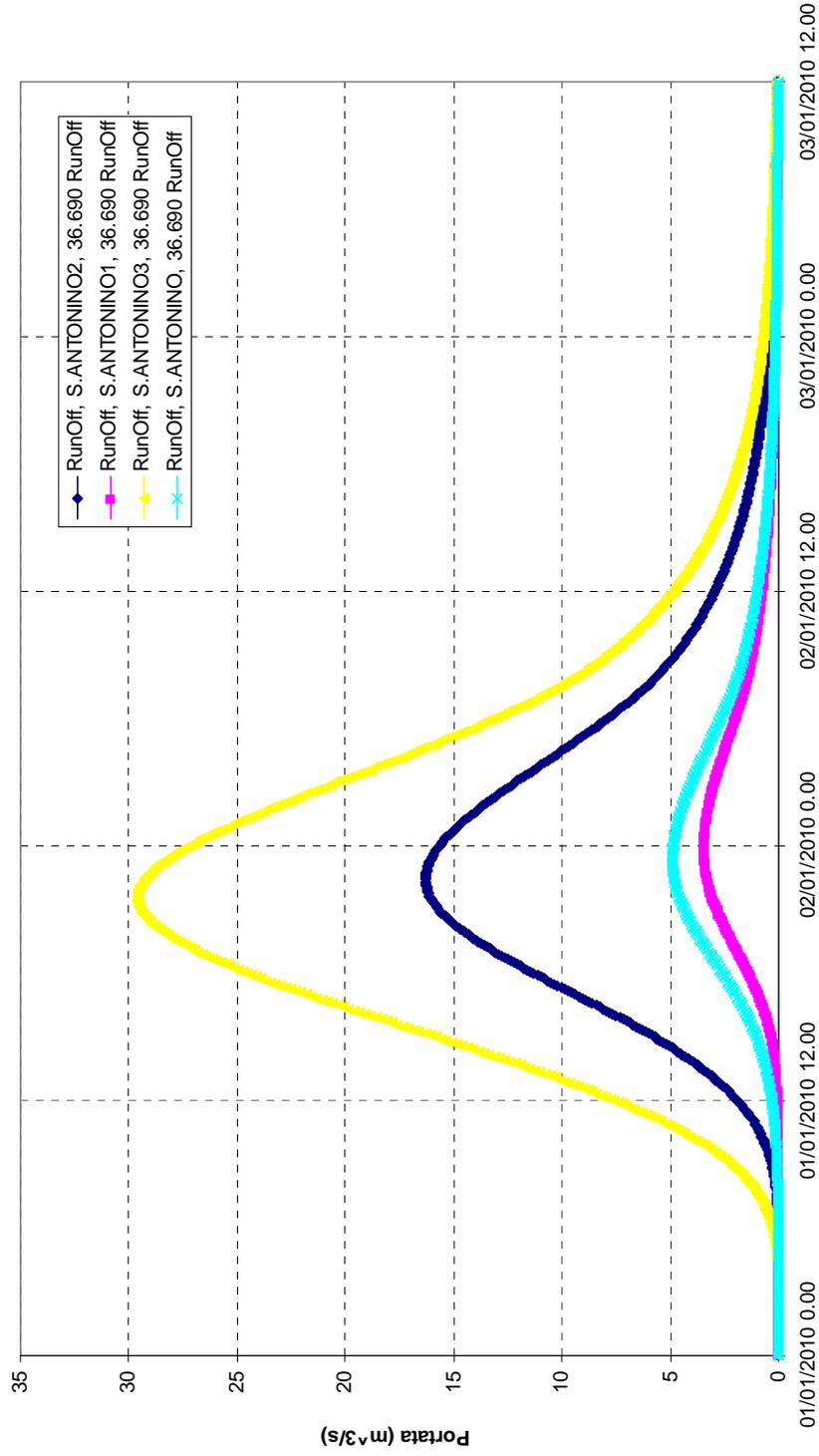
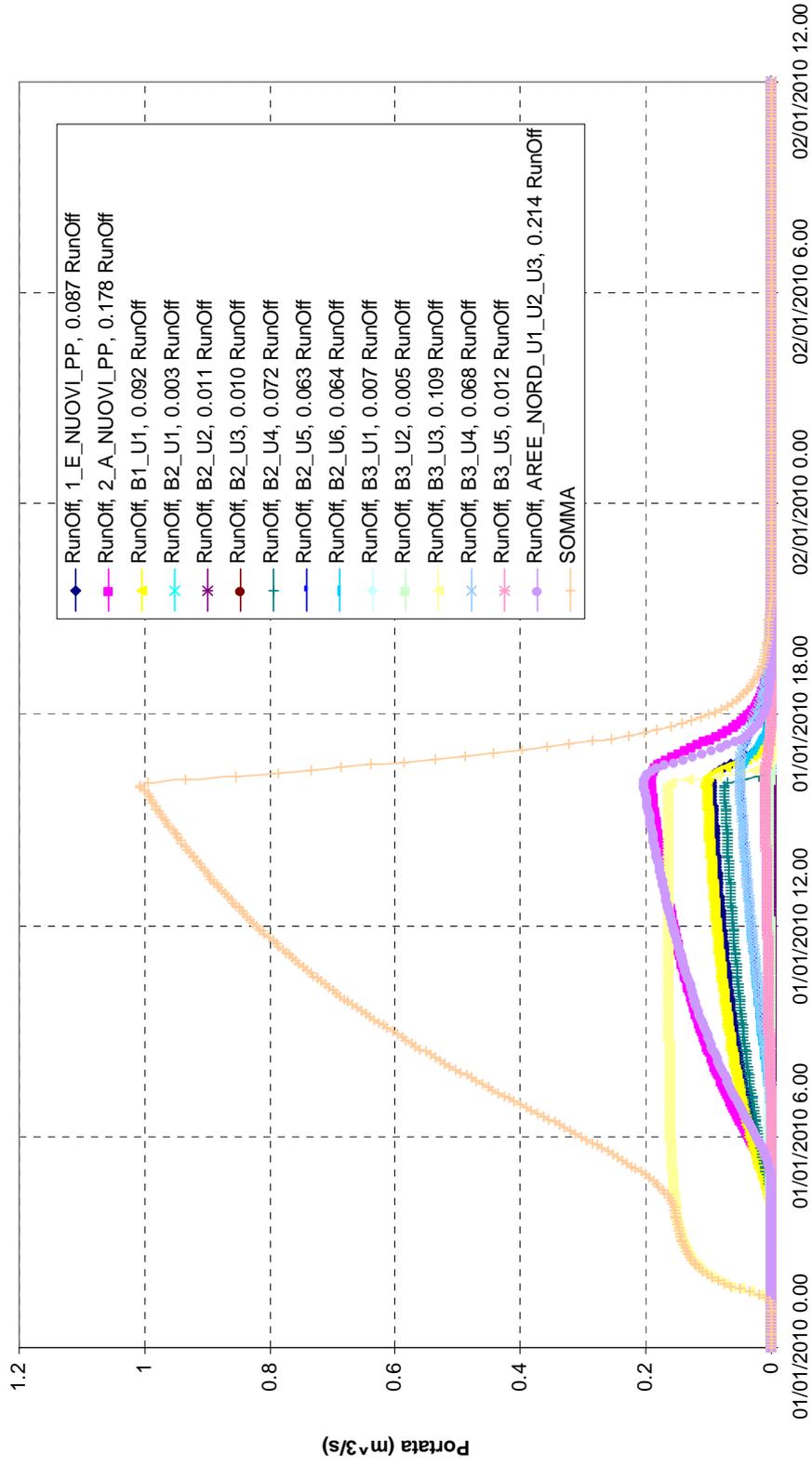


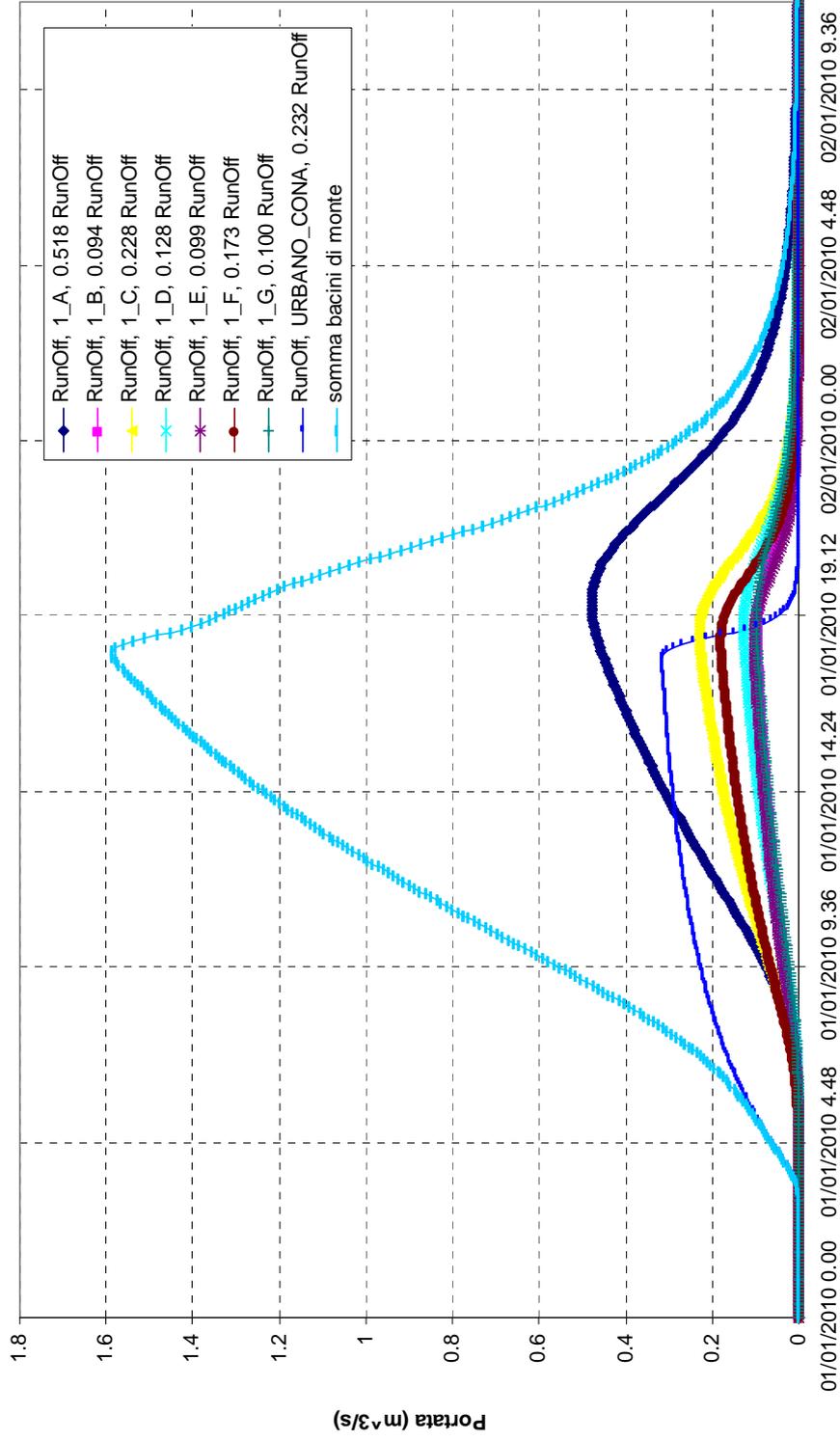
Figura 56. Idrogrammi per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - bonifica di Sant'Antonino.

**Apporto idrologico dei nuovi microbacini**



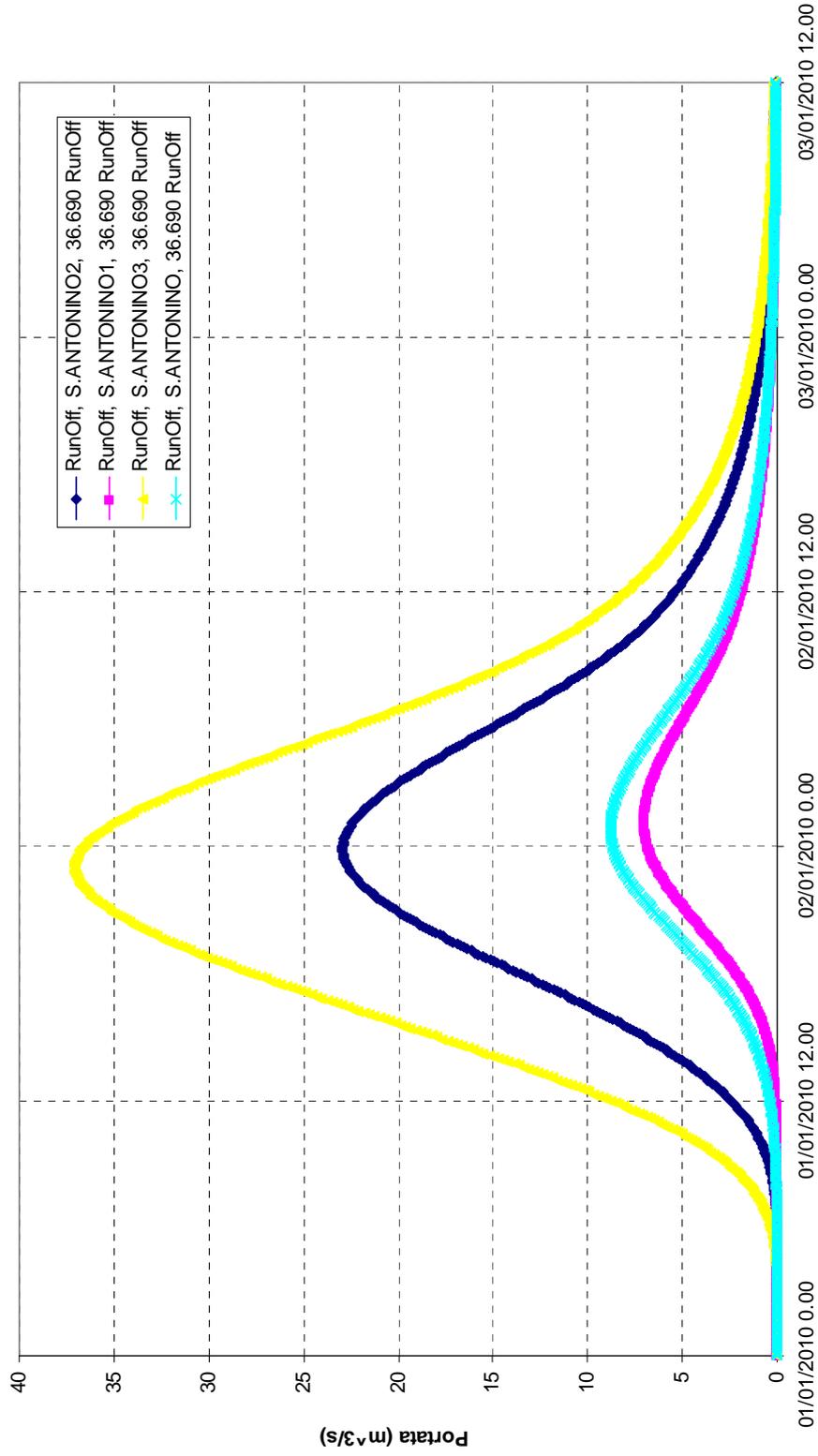
**Figura 57.** Idrogrammi per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

**Apporti idrologici dei microbacini a monte già esistenti**



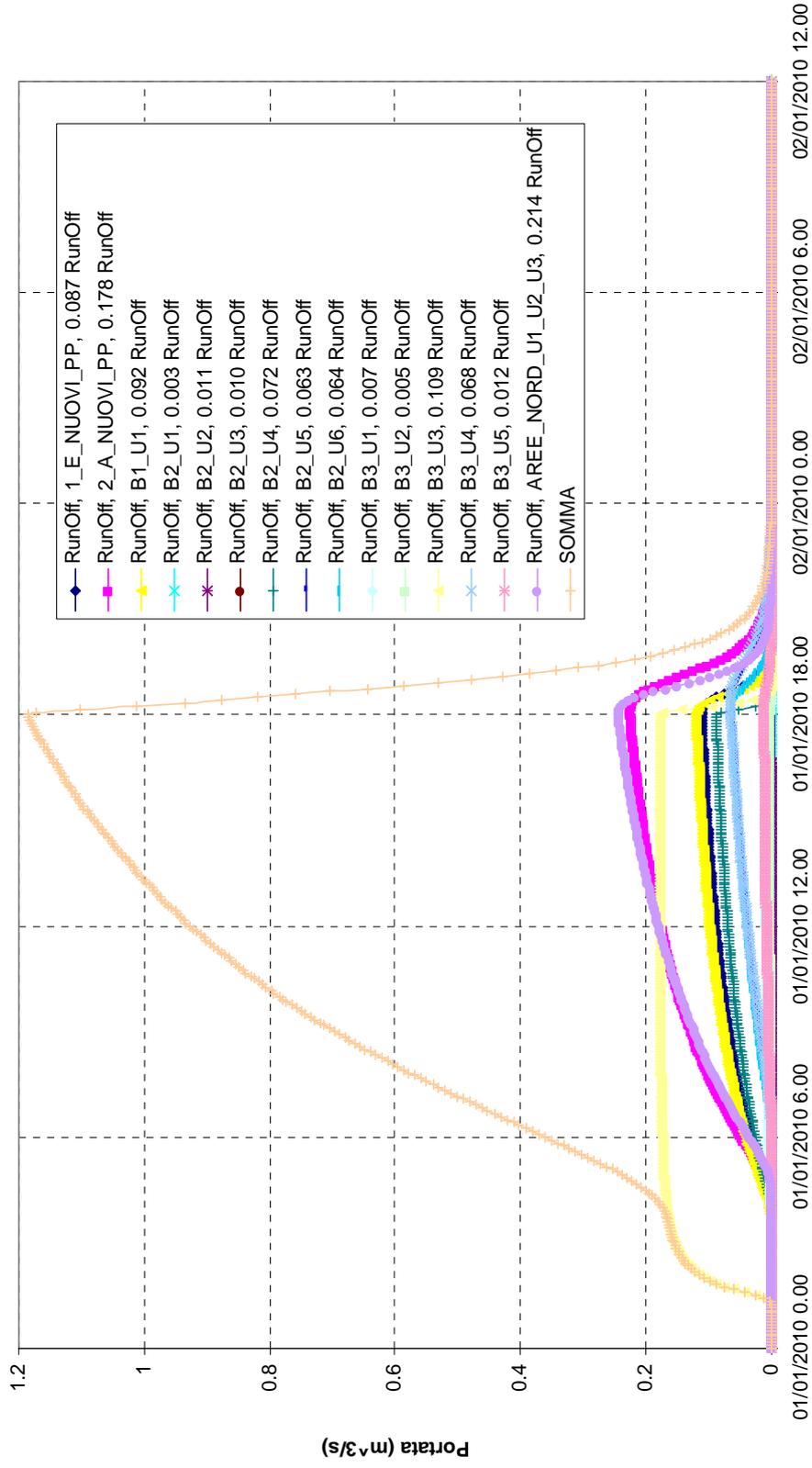
**Figura 58.** Idrogrammi per tempo di ritorno cinquanta anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - microbacini di monte già esistenti.

**Apporto idrologico del bacino di Sant'Antonino in diverse condizioni di AMC**



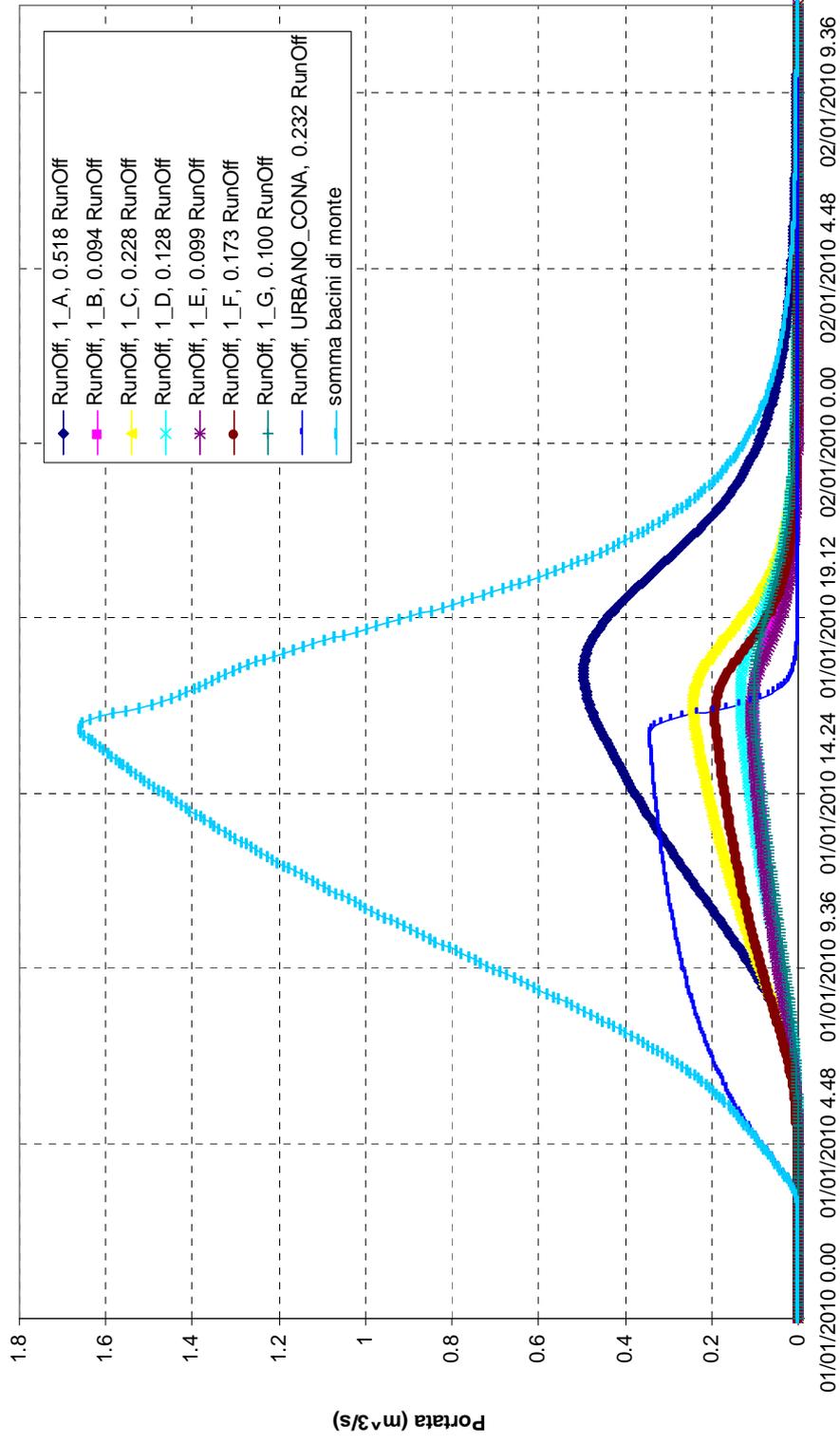
**Figura 59.** Idrogrammi per tempo di ritorno cinquanta anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - bonifica di Sant'Antonino.

**Apporto idrologico dei nuovi microbacini**



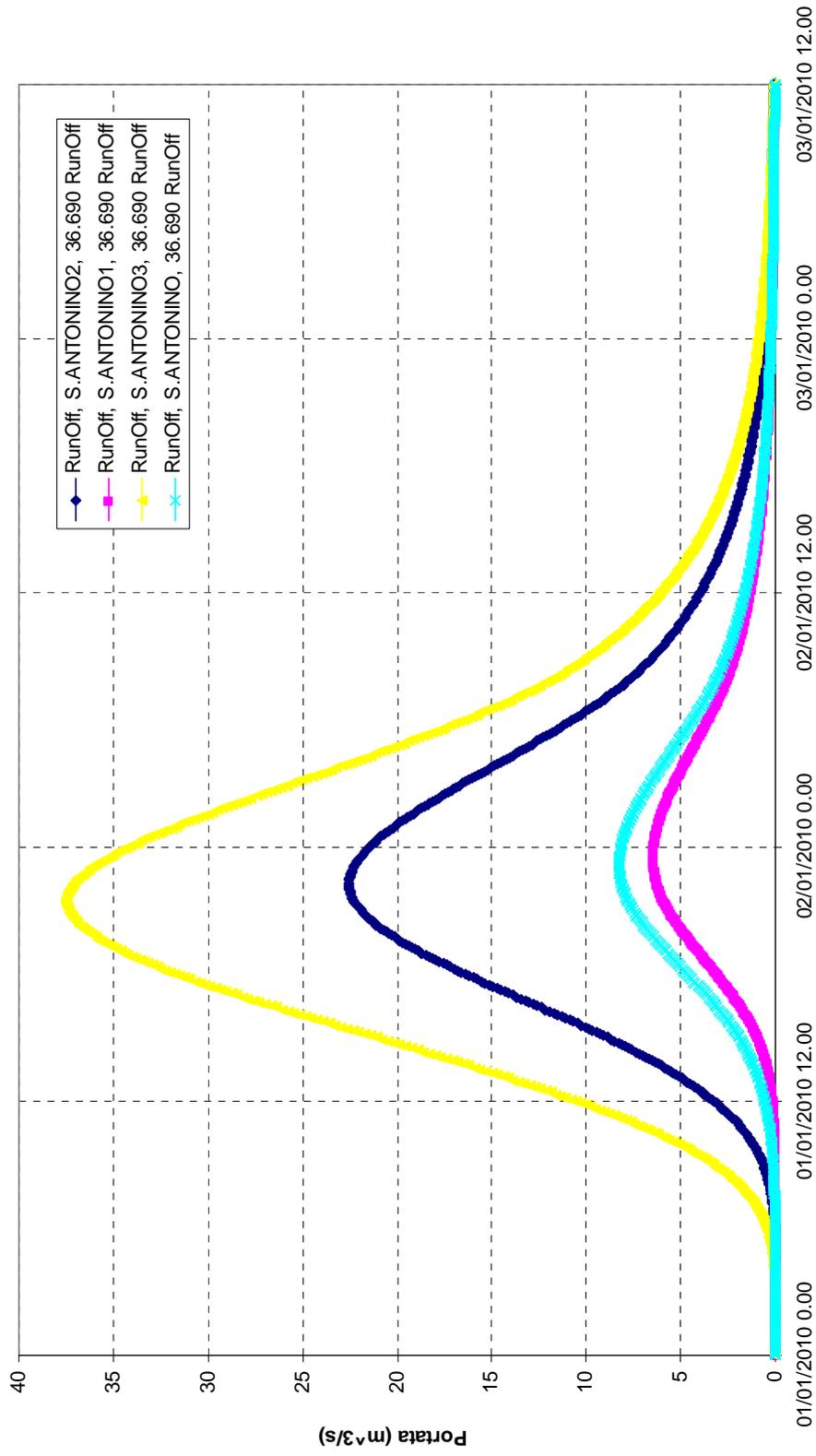
**Figura 60.** Idrogrammi per tempo di ritorno cinquanta anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

**Apporti idrologici dei microbacini a monte già esistenti**



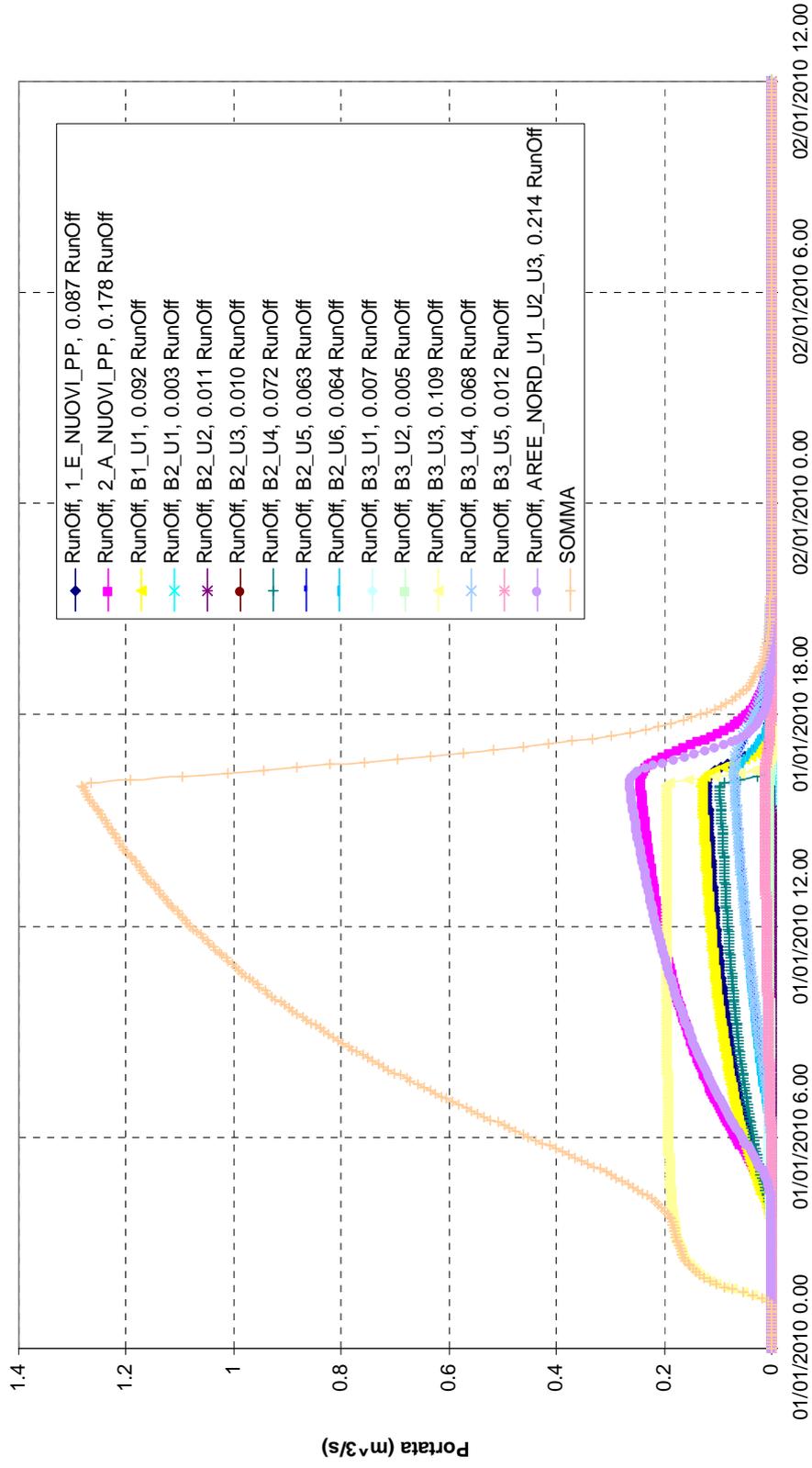
**Figura 61.** Idrogrammi per tempo di ritorno cinquanta anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - microbacini di monte già esistenti.

**Apporto idrologico del bacino di Sant'Antonino in diverse condizioni di AMC**



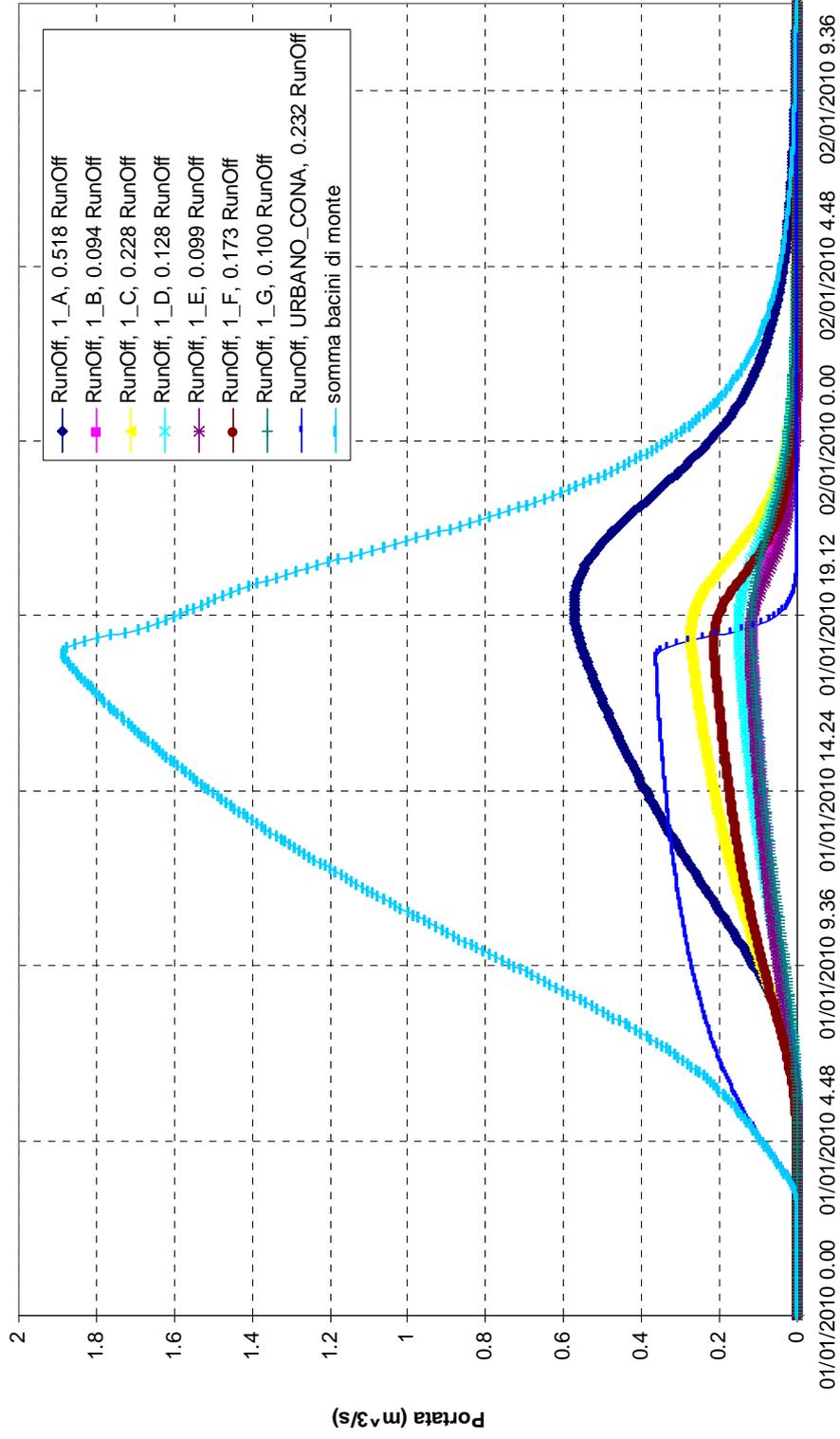
**Figura 62.** Idrogrammi per tempo di ritorno cinquant'anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - bonifica di Sant'Antonino.

**Apporto idrologico dei nuovi microbacini**



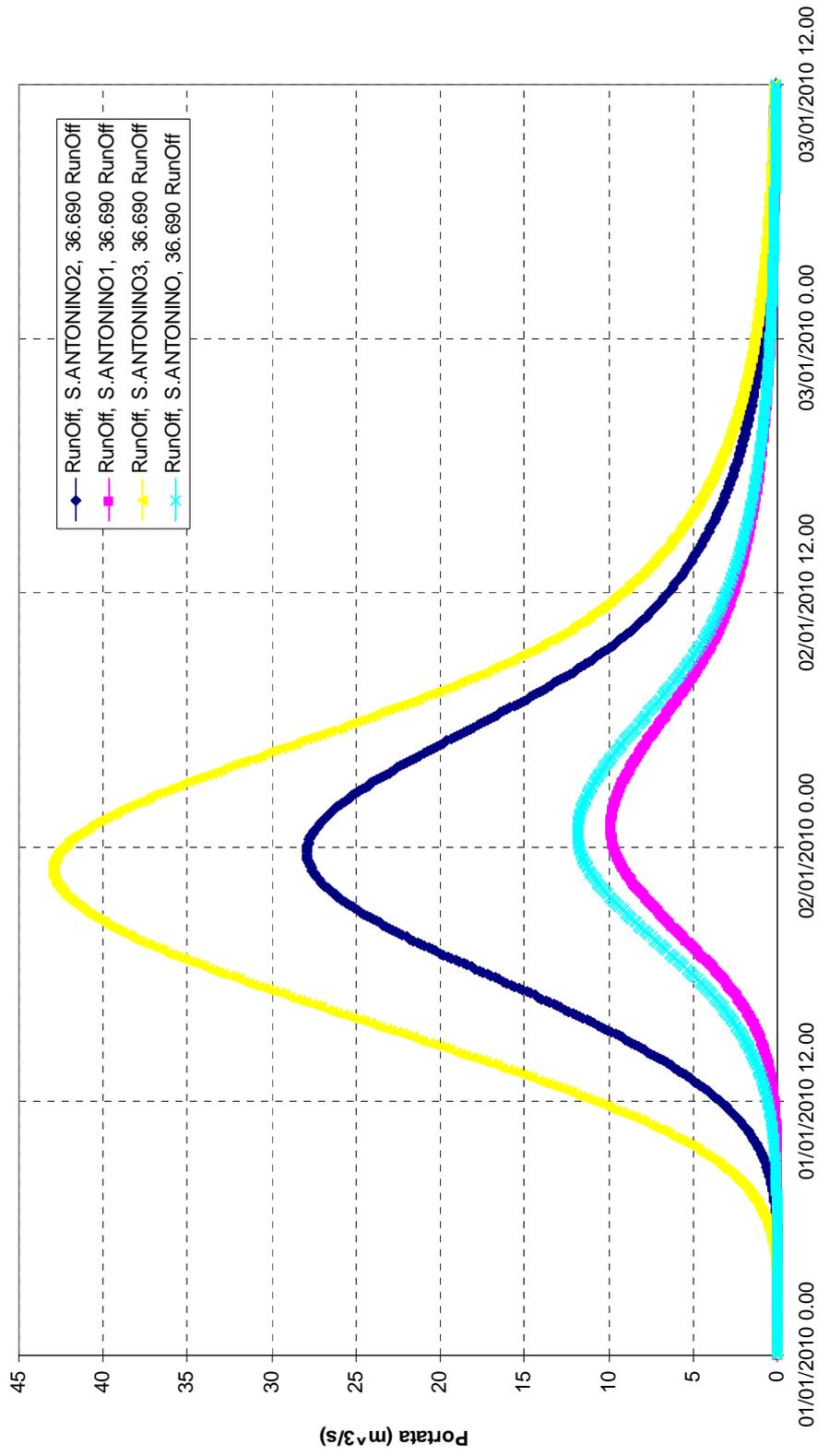
**Figura 63. Idrogrammi per tempo di ritorno cinquant'anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.**

**Apporti idrologici dei microbacini a monte già esistenti**



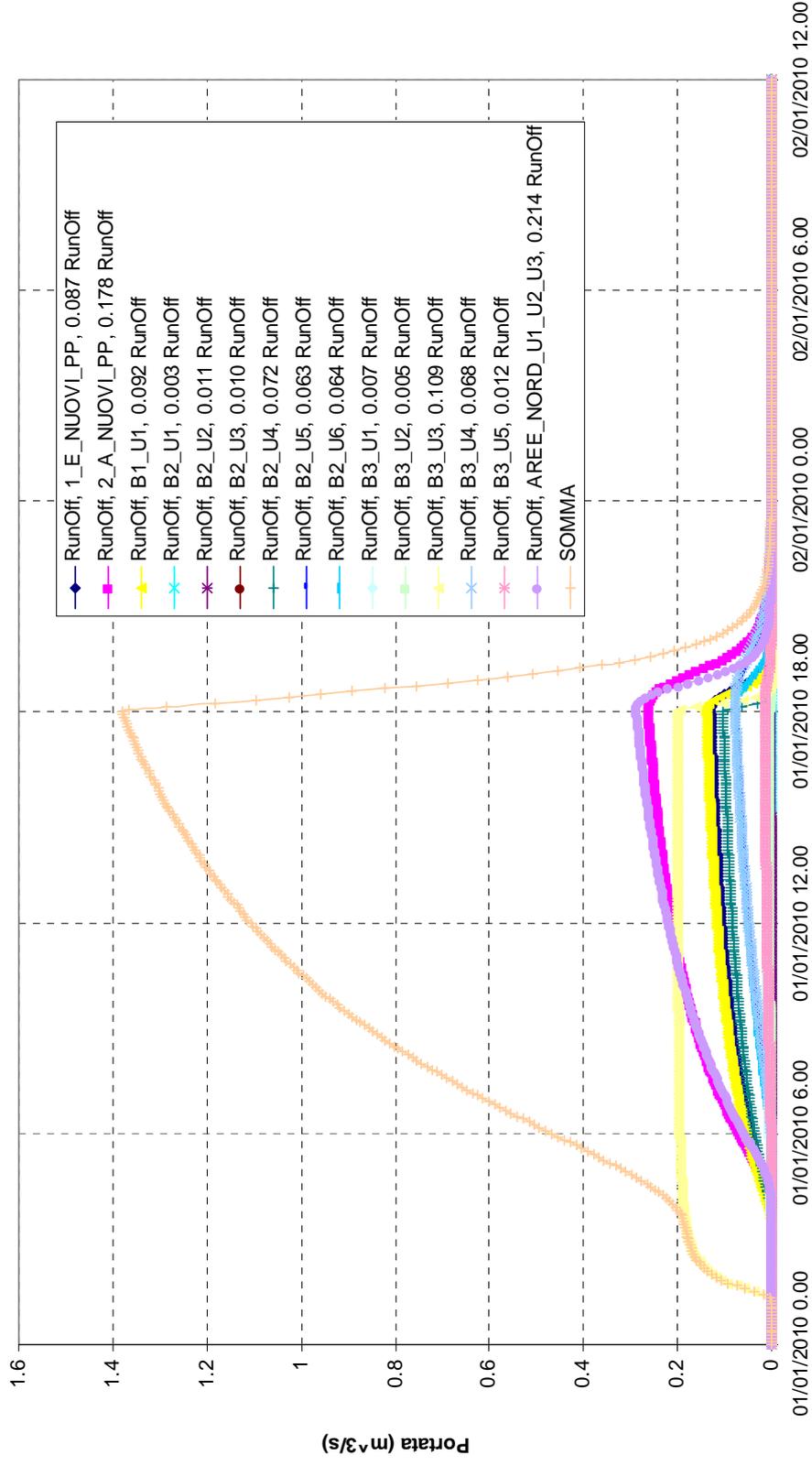
**Figura 64. Idrogrammi per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - microbacini di monte già esistenti.**

**Apporto idrologico del bacino di Sant'Antonino in diverse condizioni di AMC**



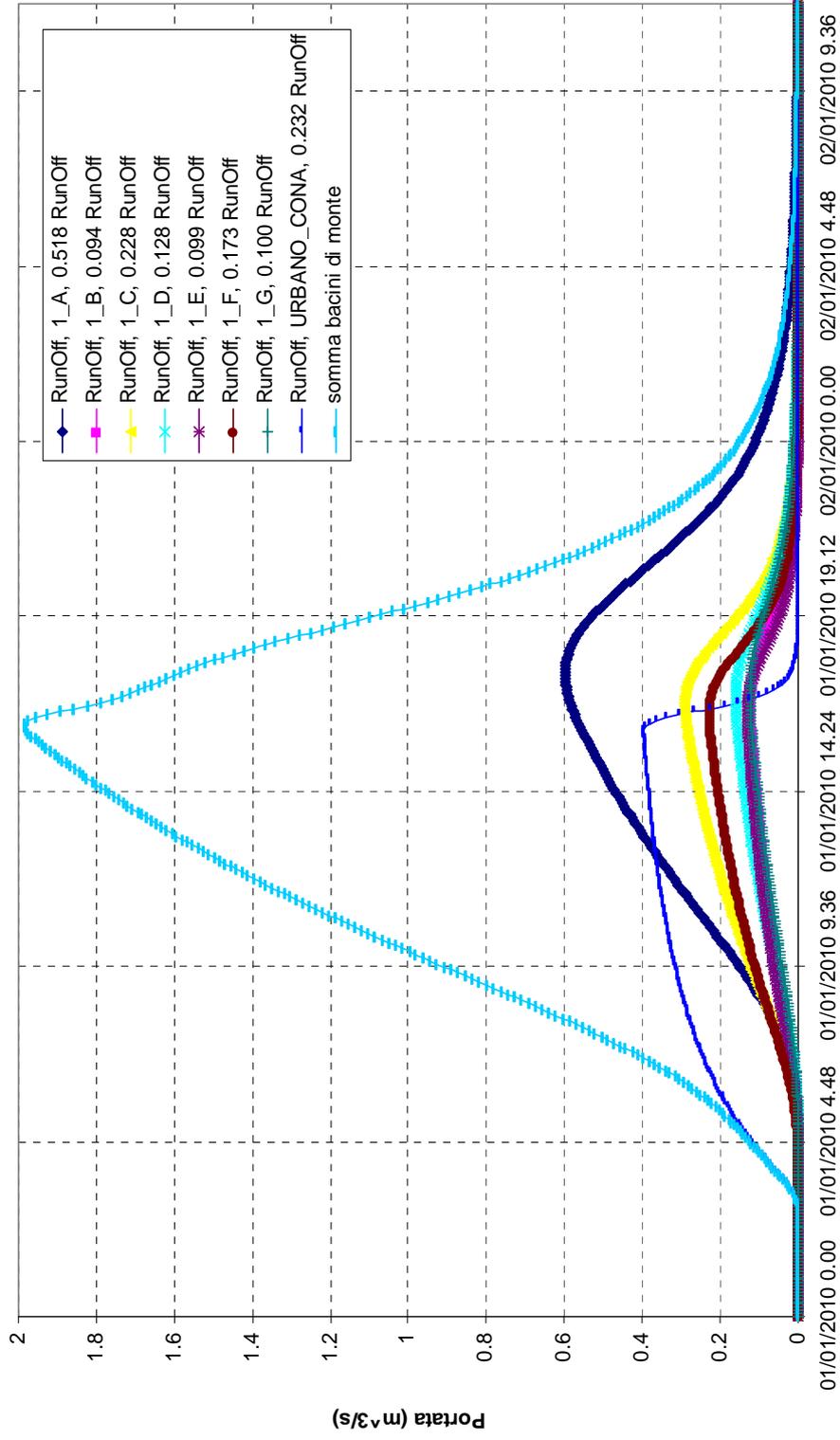
**Figura 65. Idrogrammi per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - bonifica di Sant'Antonino.**

**Apporto idrologico dei nuovi microbacini**



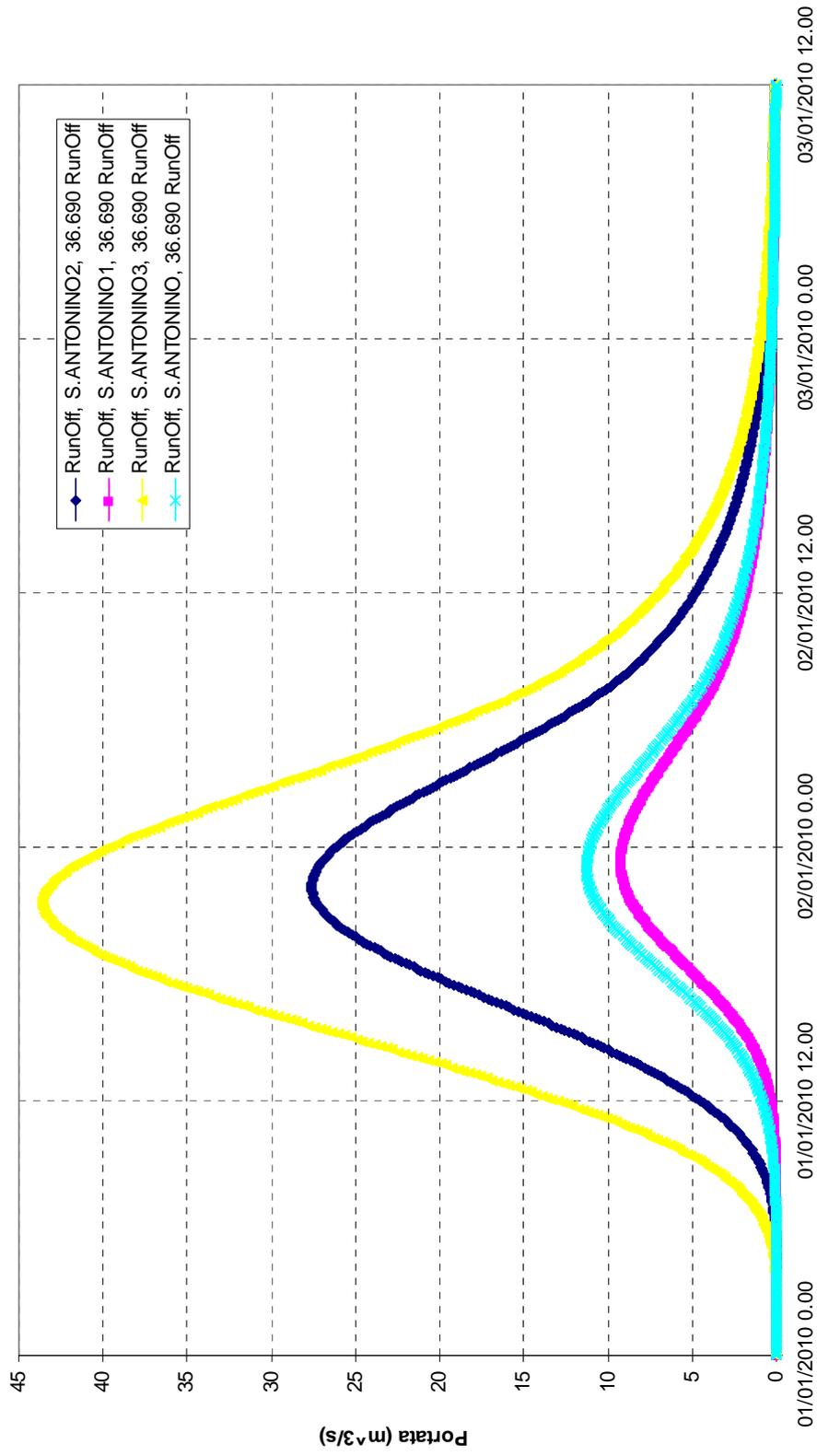
**Figura 66.** Idrogrammi per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

**Apporti idrologici dei microbacini a monte già esistenti**



**Figura 67.** Idrogrammi per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - microbacini di monte già esistenti.

**Apporto idrologico del bacino di Sant'Antonino in diverse condizioni di AMC**



**Figura 68.** Idrogrammi per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - bonifica di Sant'Antonino.

### Apporto idrologico dei nuovi microbacini

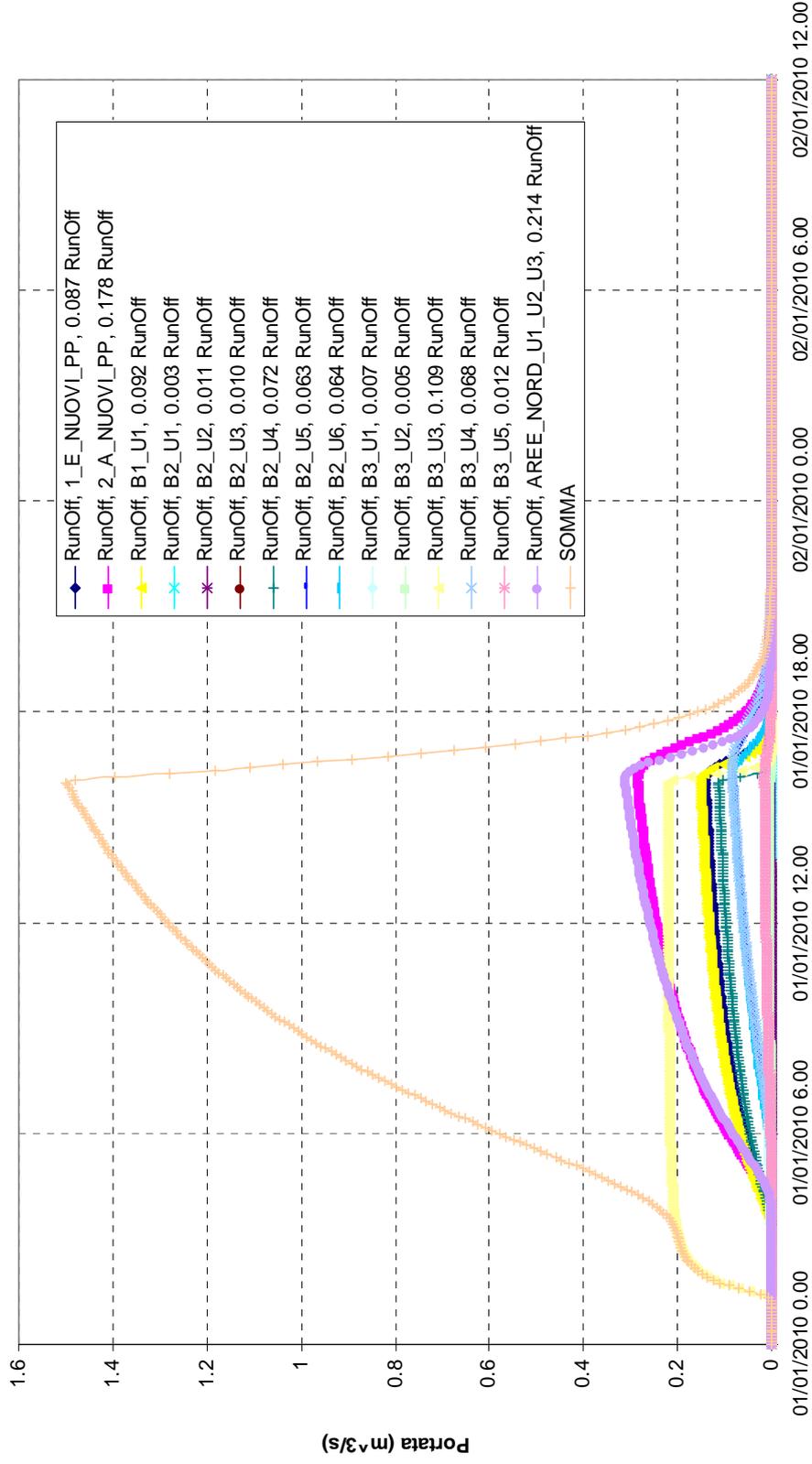


Figura 69. Idrogrammi per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

### 8.1.3 Volumi idrologici

Di seguito (Tabelle 26-29) si riportano i volumi idrologici che si generano dai bacini dell'area interessata dalle nuove urbanizzazioni.

Essi sono ottenuti calcolando l'integrale degli idrogrammi riportati rispettivamente in Figura: .54, 57, 60, 63, 66 e 69.

**Tabella 26.** Volumi idrologici per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

Nome Bacino	Volumi (m <sup>3</sup> )
1_E_NUOVI_PP	3011
2_A_NUOVI_PP	6211
B1_U1	3364
B2_U1	0
B2_U2	9
B2_U3	65
B2_U4	2171
B2_U5	1270
B2_U6	1294
B3_U1	287
B3_U2	45
B3_U3	8613
B3_U4	1388
B3_U5	249
AREE_NORD_U1_U2_U3	5874
<b>Somma</b>	<b>33850</b>

**Tabella 27.** Volumi idrologici per tempo di ritorno venti anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

Nome Bacino	Volumi (m <sup>3</sup> )
1_E_NUOVI_PP	2860
2_A_NUOVI_PP	5902
B1_U1	3201
B2_U1	0
B2_U2	7
B2_U3	59
B2_U4	2055
B2_U5	1189
B2_U6	1212
B3_U1	274
B3_U2	41
B3_U3	8358
B3_U4	1299
B3_U5	233
AREE_NORD_U1_U2_U3	5548
<b>Somma</b>	<b>32237</b>

*Tabella 28. Volumi idrologici per tempo di ritorno cinquanta anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.*

Nome Bacino	Volumi (m <sup>3</sup> )
1_E_NUOVI_PP	4057
2_A_NUOVI_PP	8361
B1_U1	4495
B2_U1	0
B2_U2	32
B2_U3	117
B2_U4	2988
B2_U5	1852
B2_U6	1888
B3_U1	381
B3_U2	75
B3_U3	10316
B3_U4	2024
B3_U5	363
AREE_NORD_U1_U2_U3	8177
<b>Somma</b>	<b>45128</b>

*Tabella 29. Volumi idrologici per tempo di ritorno cinquanta anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.*

<b>Nome Bacino</b>	<b>Volumi (m<sup>3</sup>)</b>
<b>1_E_NUOVI_PP</b>	3850
<b>2_A_NUOVI_PP</b>	7936
<b>B1_U1</b>	4272
<b>B2_U1</b>	0
<b>B2_U2</b>	27
<b>B2_U3</b>	106
<b>B2_U4</b>	2825
<b>B2_U5</b>	1734
<b>B2_U6</b>	1768
<b>B3_U1</b>	363
<b>B3_U2</b>	69
<b>B3_U3</b>	9987
<b>B3_U4</b>	1895
<b>B3_U5</b>	340
<b>AREE_NORD_U1_U2_U3</b>	7717
<b>Somma</b>	<b>42889</b>

**Tabella 30.** Volumi idrologici per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 17 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

Nome Bacino	Volumi (m <sup>3</sup> )
1_E_NUOVI_PP	4878
2_A_NUOVI_PP	10048
B1_U1	5380
B2_U1	1
B2_U2	58
B2_U3	162
B2_U4	3636
B2_U5	2327
B2_U6	2372
B3_U1	455
B3_U2	101
B3_U3	11592
B3_U4	2543
B3_U5	456
AREE_NORD_U1_U2_U3	10016
<b>Somma</b>	<b>54026</b>

**Tabella 31.** Volumi idrologici per tempo di ritorno cento anni durata di pioggia 15 ore e ietogramma costante - nuovi microbacini.

Nome Bacino	Volumi (m <sup>3</sup> )
1_E_NUOVI_PP	4647
2_A_NUOVI_PP	9573
B1_U1	5131
B2_U1	1
B2_U2	50
B2_U3	149
B2_U4	3453
B2_U5	2192
B2_U6	2235
B3_U1	434
B3_U2	94
B3_U3	11237
B3_U4	2396
B3_U5	430
AREE_NORD_U1_U2_U3	9496
<b>Somma</b>	<b>51516</b>

## 8.2 Modellazione idrodinamica

Gli idrogrammi conseguenti alla modellazione idrologica fungono da input per quella idrodinamica.

Di seguito si riportano le impostazioni principali di quest'ultima modellistica ed i risultati ottenuti per tutte e tre le ipotesi di intervento avanzate, mentre verrà di seguito più dettagliatamente approfondita l'HP2, che, secondo le considerazioni che verranno esposte al Capitolo 8.2.5, è la soluzione ritenuta ottimale.

### 8.2.1 Impostazioni progettuali di carattere generale

In questo paragrafo vengono descritte alcune caratteristiche progettuali comuni alle tre ipotesi di intervento.

In primo luogo si ricorda che la linea di smaltimento delle acque meteoriche oggetto di studio si inserisce in un territorio di spiccate caratteristiche rurali che dovranno essere preservate anche in seguito alla realizzazione in esame. A tal proposito si precisa che la rete di bonifica del bacino di Sant'Antonino ha duplice funzionalità: di scolo e di irrigazione, che dovranno essere garantite per i canali esistenti.

Le paratoie situate lungo la linea del Co. Cona AA e del Co. Cona Gualdo AB manterranno dunque le attuali opportunità di ricollo ai fini irrigui, mentre si aggiungerà un manufatto all'origine del nuovo canale. Quest'ultimo avrà lo scopo di mantenere la quota idrica all'interno del Co. Cona AA, in caso ci si trovi in periodo irriguo, consentendo la fruizione dell'intero volume disponibile della nuova linea di canale per finalità di scolo e di laminazione. Il riempimento del nuovo canale avverrà dunque per stramazzo, attraverso la paratoia alla sua origine, una volta che sia superato il livello di regimazione presente nel Co. Cona AA.

Lungo la linea del Nuovo Canale saranno presenti anche altri ricolli per garantirvi la permanenza di una lama d'acqua di circa trenta centimetri per tutto il periodo dell'anno.

Infine, allo sbocco della nuova linea nel Co. Principale di Sant'Antonino, si prevede la realizzazione di un manufatto di sfioro, a funzionamento sia a battente che a stramazzo. Il funzionamento a battente sarà tale da garantire il non superamento della massima portata uscente fino a tempi di ritorno di venti anni, mentre il funzionamento a

stramazzo garantirà lo smaltimento per gravità di portate aventi tempo di ritorno di più elevato a partire dal superamento della quota 12 m s. l. m..

La linea di canale qui progettata, rispondendo alle esigenze di ridotto rischio idraulico richieste per la nuova urbanizzazione, garantisce salvaguardia delle condizioni di scarico anche per eventi di tempi di ritorno centennali, ben superiori dunque ai venti anni per cui è dimensionata la rete di bonifica attuale.

In caso si verificassero eventi di tempo di ritorno centennale dunque, sebbene si possano verificare problemi di smaltimento nella rete consortile, verranno comunque garantiti sia la possibilità di scolo del Nuovo Canale, che la salvaguardia da allagamenti delle aree urbane circostanti.

Si rimarca infine a tal proposito che la linea di monte del Co. Cona AA e la restante rete di bonifica rimangono dimensionate per tempi di ritorno ventennali e per le urbanizzazioni attualmente esistenti. Qualora in futuro si dovesse aumentare la superficie impermeabilizzata occorrerà valutare che l'efficienza dell'intera rete di bonifica sia adeguata.

### **8.2.2 Ipotesi di intervento 1: HP1**

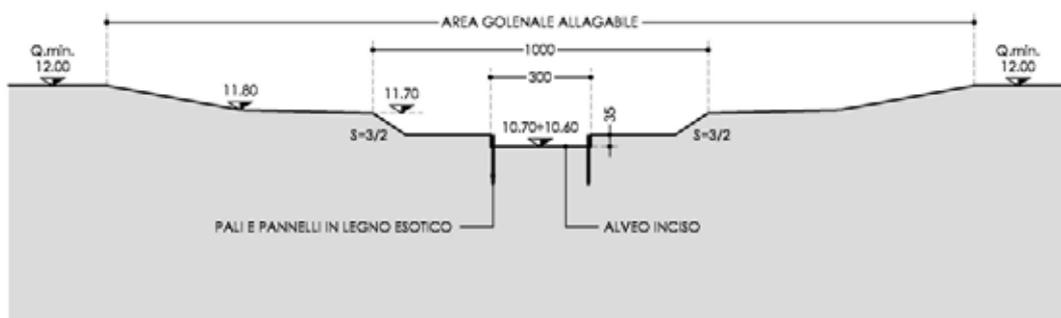
L'HP1 prevede l'urbanizzazione già riportata in Figura 8 e riproposta nella seguente Figura per completezza.



**Figura 70.** Urbanizzazione prevista nell'ipotesi di attuazione HP1.

Come appare dalla Figura in esame, la nuova linea di scolo presenterà una sezione composta da un alveo inciso e da un'ampia golena allagabile, normalmente fruibile e ricavata dal raccordo con il terreno circostante.

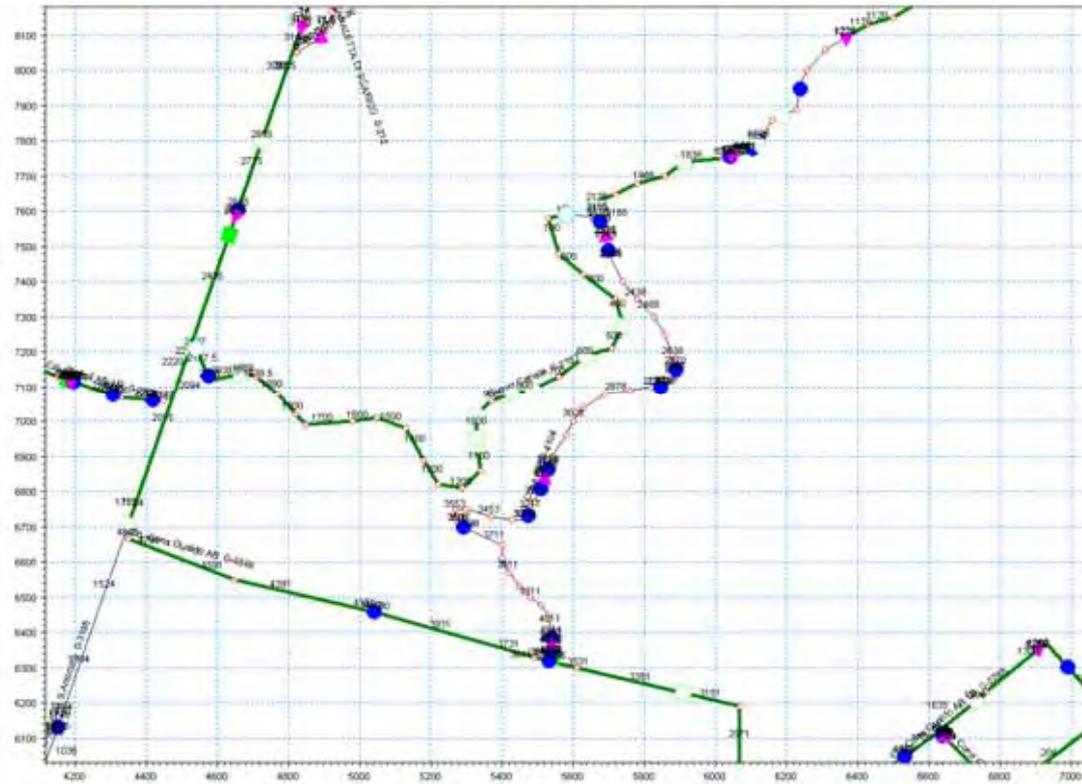
La sezione tipo è riportata nella seguente Figura:



**Figura 71.** Sezione tipo HP1.

La sistemazione della fascia di terreno adiacente al canale dolcemente raccordata al ciglio della sezione principale del canale stesso ha lo scopo di laminare, per tempi di

ritorno elevati, la portata entrante dalle nuove urbanizzazioni nella nuova linea in modo da garantire la salvaguardia della sicurezza idraulica alle aree urbanizzate circostanti. Questa condizione di progetto viene modellata attraverso il software monodimensionale MIKE 11. In Figura 72 viene riportato uno stralcio della rete modellata.



**Figura 72.** Stralcio della rappresentazione della rete di scolo in MIKE11.

Come descritto al precedente Capitolo 7.2.1, la modellazione eseguita tiene in considerazione anche gli effetti idrodinamici localizzati e distribuiti dovuti alle strutture interferenti con la linea di scolo esaminata.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per tempo di ritorno 20 anni.

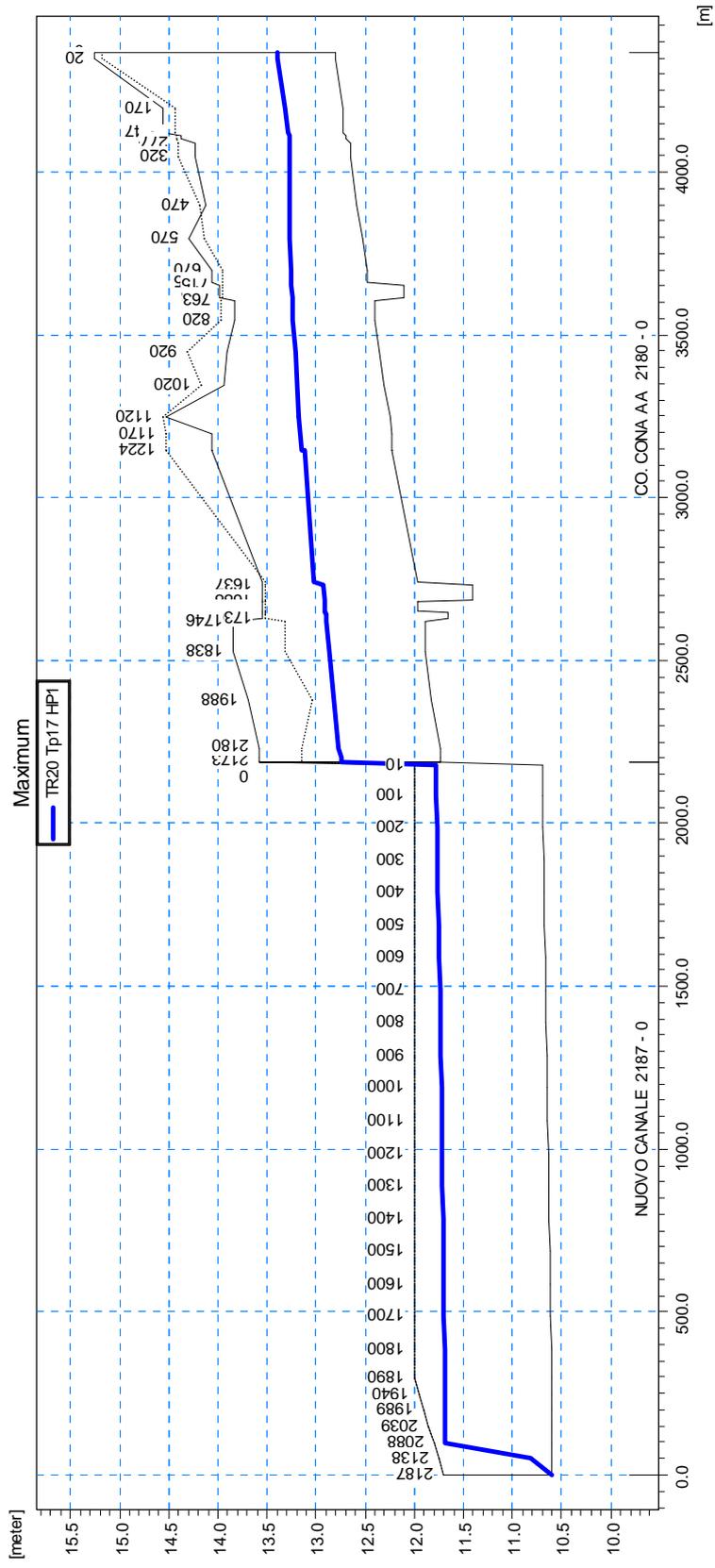
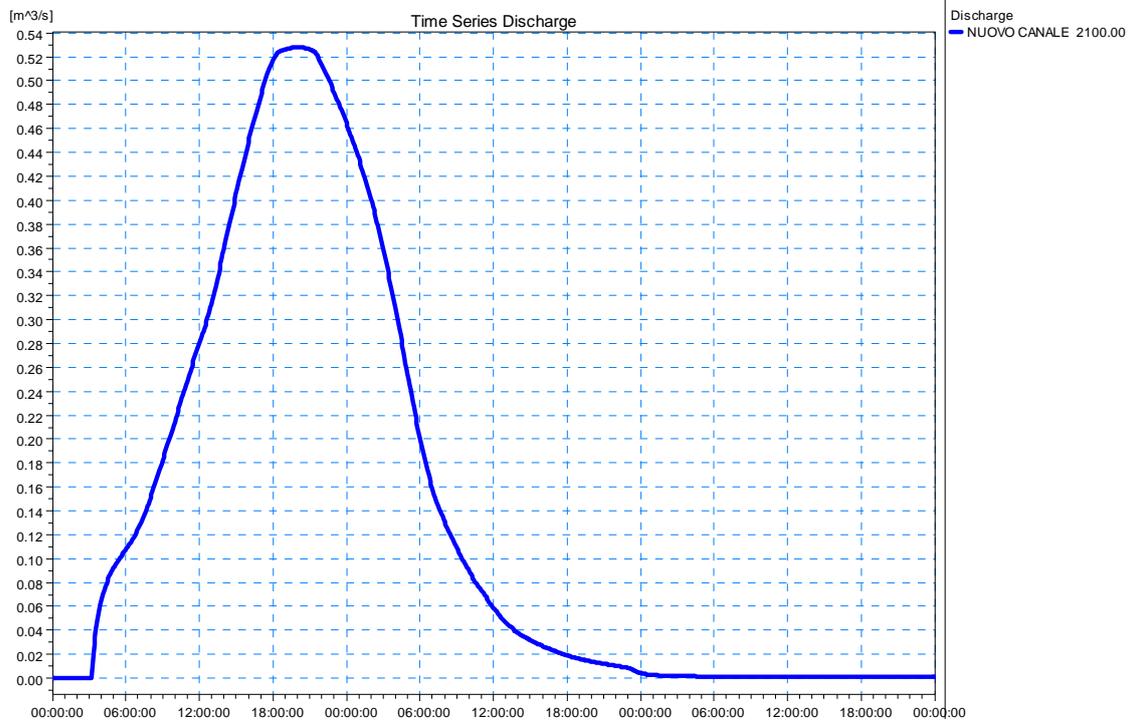


Figura 73. Inviluppo dei massimi livelli raggiunti nella linea di scolo Cona AA - Nuovo Canale per l'HP1.

L'idrogramma uscente dal nuovo canale per tempi di ritorno di 20 anni è riportato nella seguente Figura 74.



**Figura 74.** Idrogramma di portata uscente dal nuovo canale per tempi di ritorno ventennali.

### 8.2.3 Ipotesi di intervento 2: HP2

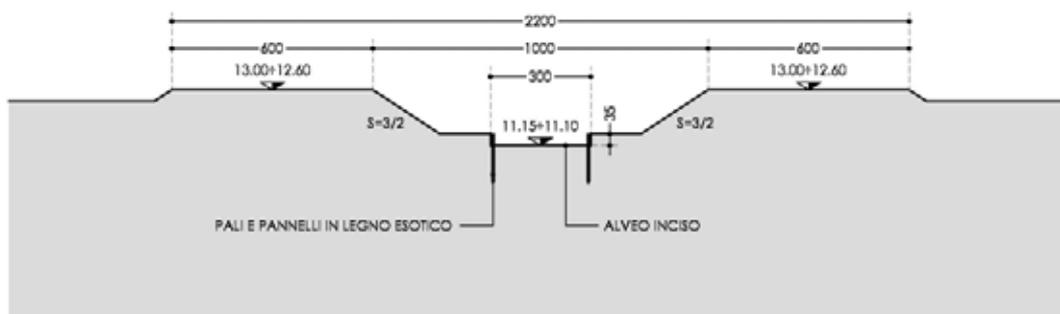
L'HP2 prevede l'urbanizzazione già riportata in Figura 10 e riproposta nella seguente Figura per completezza.



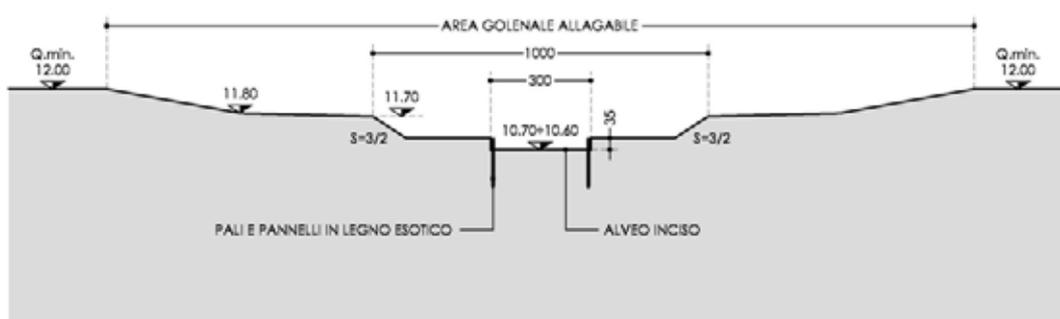
**Figura 75.** Urbanizzazione prevista nell'ipotesi di attuazione HP2.

Come si evince dalla Figura in esame, la nuova linea di scolo realizzata avrà un primo tratto senza golena allagabile ed un secondo tratto con area golendale di dimensioni variabili, allagabile per elevati tempi di ritorno. Tale area golendale sarà ricavata da sistemazioni del terreno circostante e sarà per maggior parte del tempo pienamente fruibile.

Le sezioni tipo sono riportate nelle due seguenti Figure:



**Figura 76.** Sezione tipo primo tratto HP2.



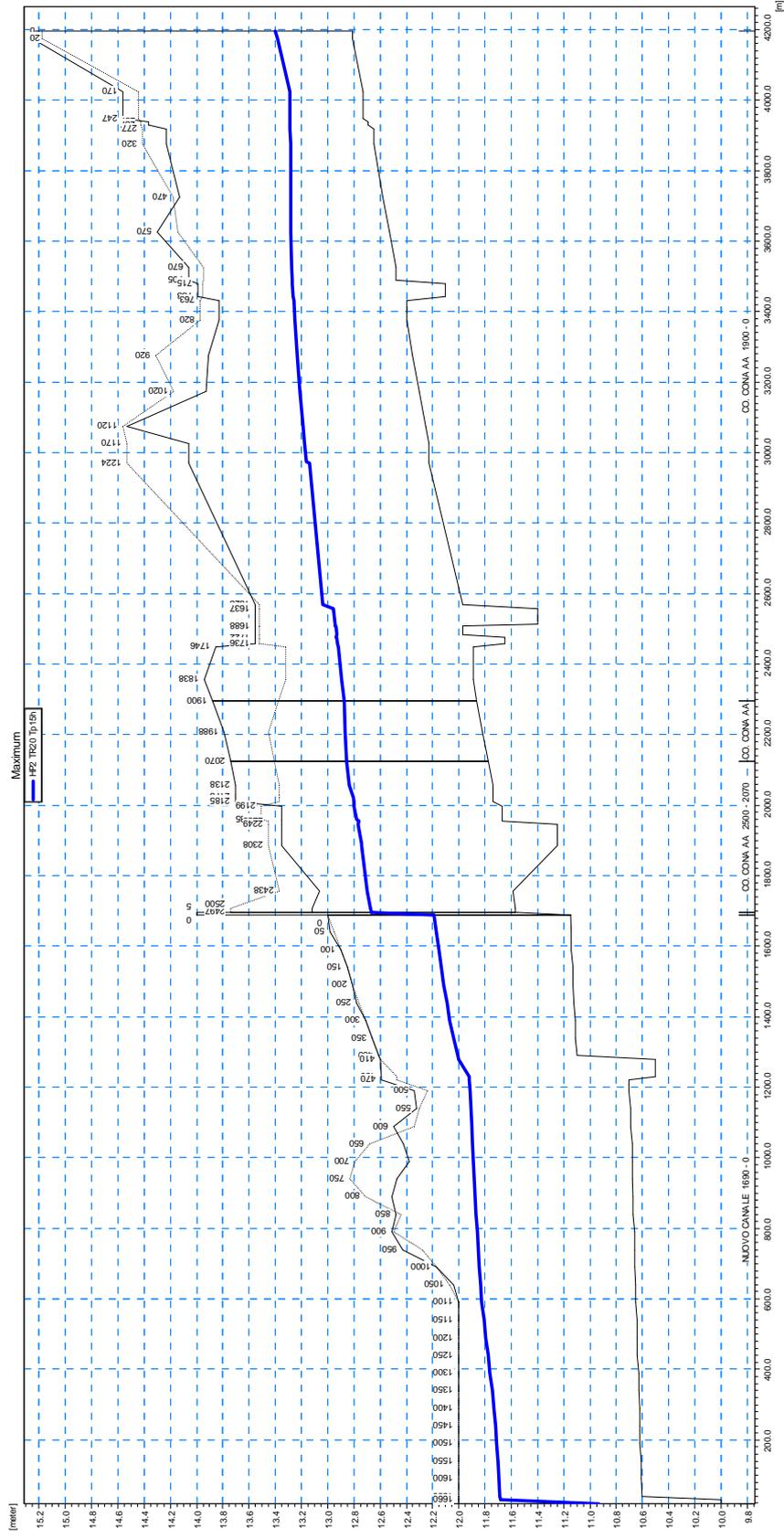
**Figura 77.** Sezione tipo secondo tratto HP2.

Anche in questo caso, si prevede la sistemazione della fascia di terreno adiacente al canale, in modo da creare un'area gradualmente raccordata al ciglio della sezione principale. Tale area cosiddetta golenale sarà per gran parte del tempo fruibile e destinata a verde pubblico.

Il volume richiesto da delibera consortile (Capitolo 3.1) viene garantito dall'alveo principale del Nuovo Canale, che viene riempito per tempi di ritorno di circa venti anni (come appare dalle modellazioni che seguono), mentre la sistemazione dell'area verde circostante il secondo tratto, funge da laminazione ed accumulo per portate aventi tempi di ritorno superiori. Come già accennato tale scelta è volta a garantire un minor rischio idraulico alla realizzanda urbanizzazione.

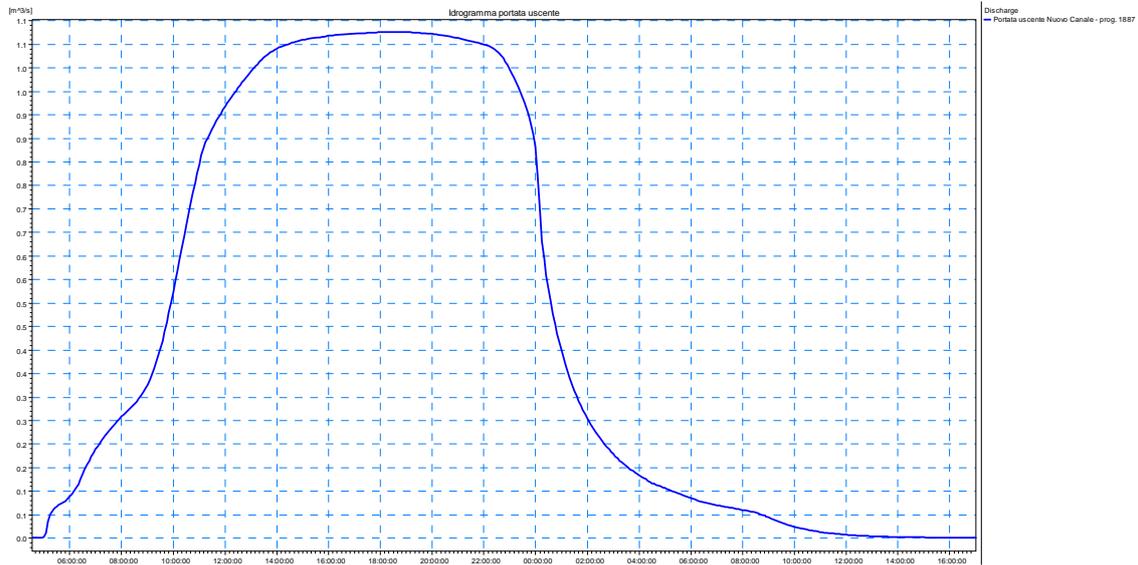
La condizione di progetto qui descritta viene introdotta nella modellistica monodimensionale MIKE, la quale tiene in considerazione anche gli effetti idrodinamici localizzati e distribuiti dovuti alle strutture interferenti con la linea di scolo esaminata.

Di seguito si riportano i risultati ottenuti per tempo di ritorno 20 anni.



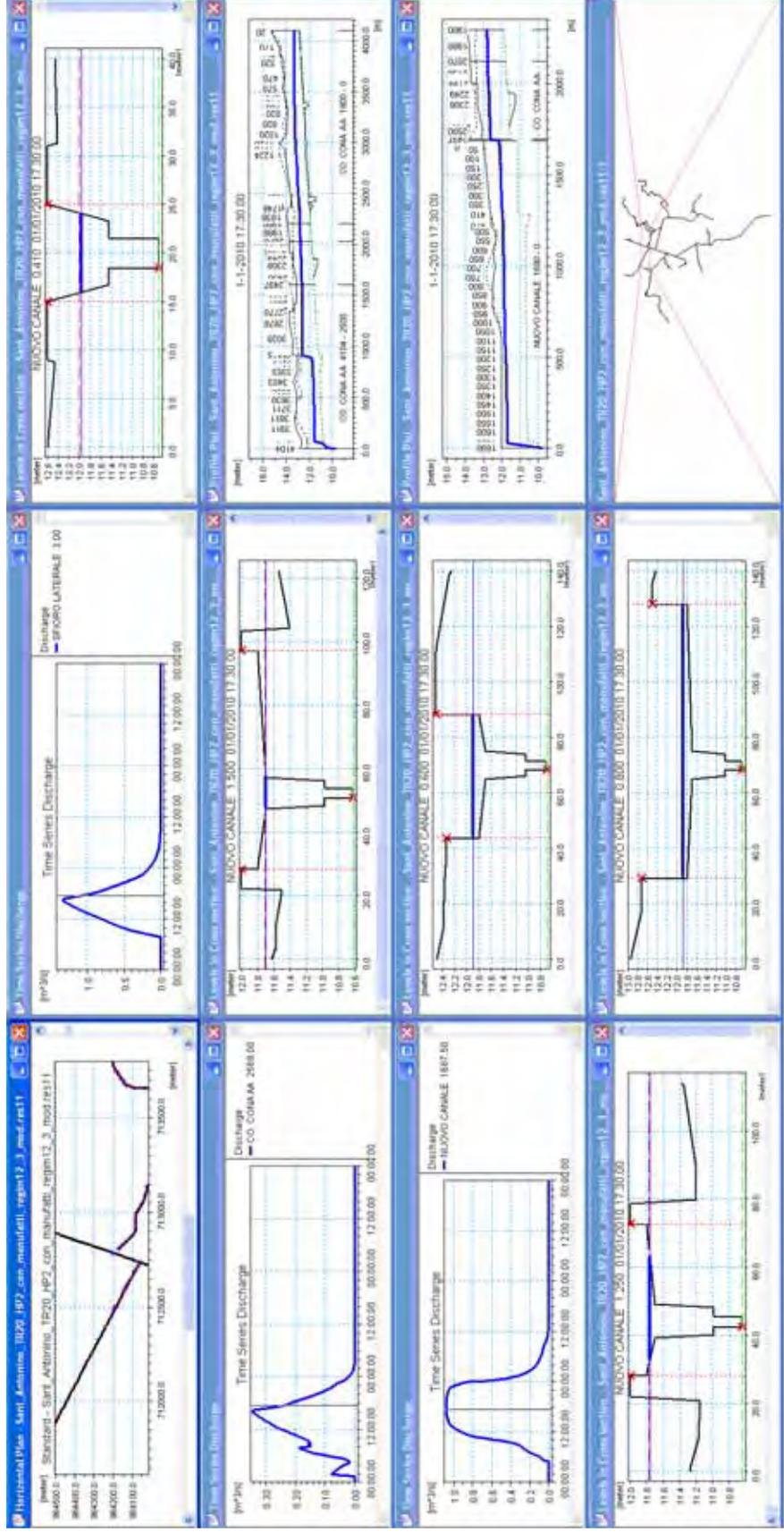
**Figura 78.** Inviluppo dei massimi livelli raggiunti nella linea di scolo Cona AA - Nuovo Canale.

L'idrogramma uscente dal nuovo canale per tempi di ritorno di 20 anni è riportato nella seguente Figura 79.



**Figura 79.** *Idrogramma di portata uscente dal nuovo canale per tempi di ritorno ventennali.*

La seguente Figura riporta invece una visione di insieme della linea di scolo: oltre al profilo di rigurgito nel nuovo canale, verificatosi al momento del picco di portata, vengono inoltre riportati il profilo nel Co. Cona AA nel medesimo istante, l'altezza idrometrica raggiunta in diverse sezioni del nuovo canale, le portate sfiorate dal manufatto ingresso e quelle che invece proseguono lungo il Co. Cona AA.



**Figura 80.** Visione di insieme dei risultati ottenuti per tempo di ritorno 20 anni nell'ipotesi di realizzazione HP2.

Come si evince dalle precedenti Figure, l'area golendale del secondo tratto viene solo marginalmente interessata dal deflusso per tempi di ritorno ventennali e la rete di bonifica di monte non presenta situazioni critiche. Le seguenti immagini riportano invece il confronto dei risultati ottenuti nella modellazione monodimensionale per tempi di ritorno 20 e 50 anni, evidenziando il sovrizzo dei livelli in quest'ultimo caso.

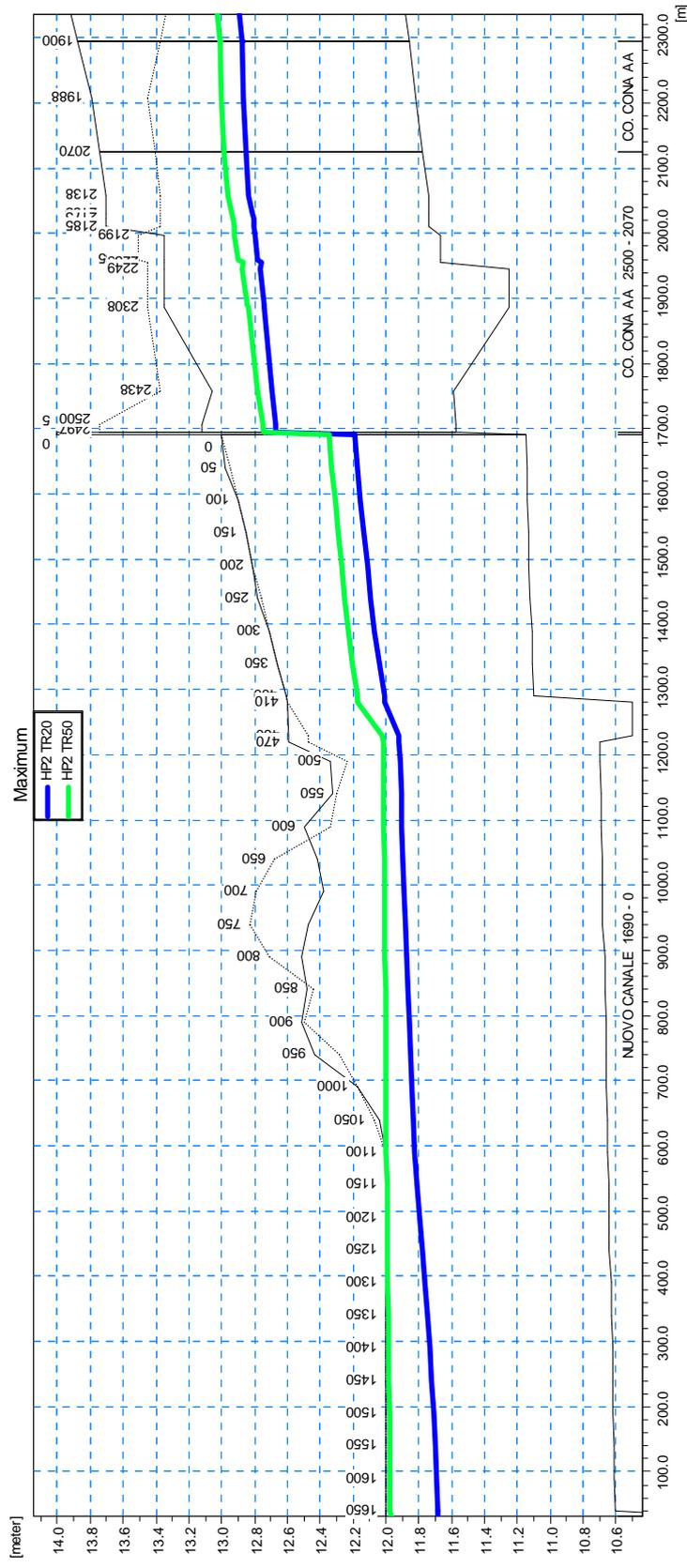


Figura 81. Involuppo dei massimi livelli raggiunti nella linea di scolo Cona AA - Nuovo Canale per tempi di ritorno di 20 e 50 anni.

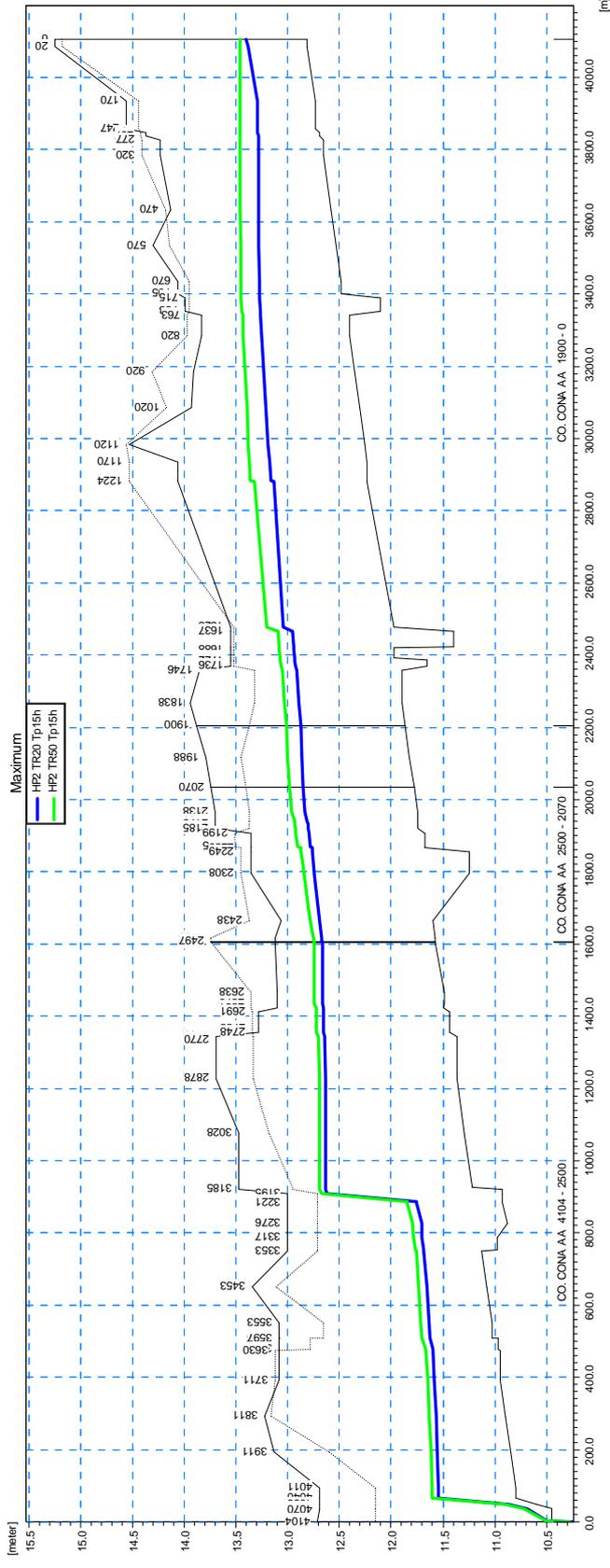


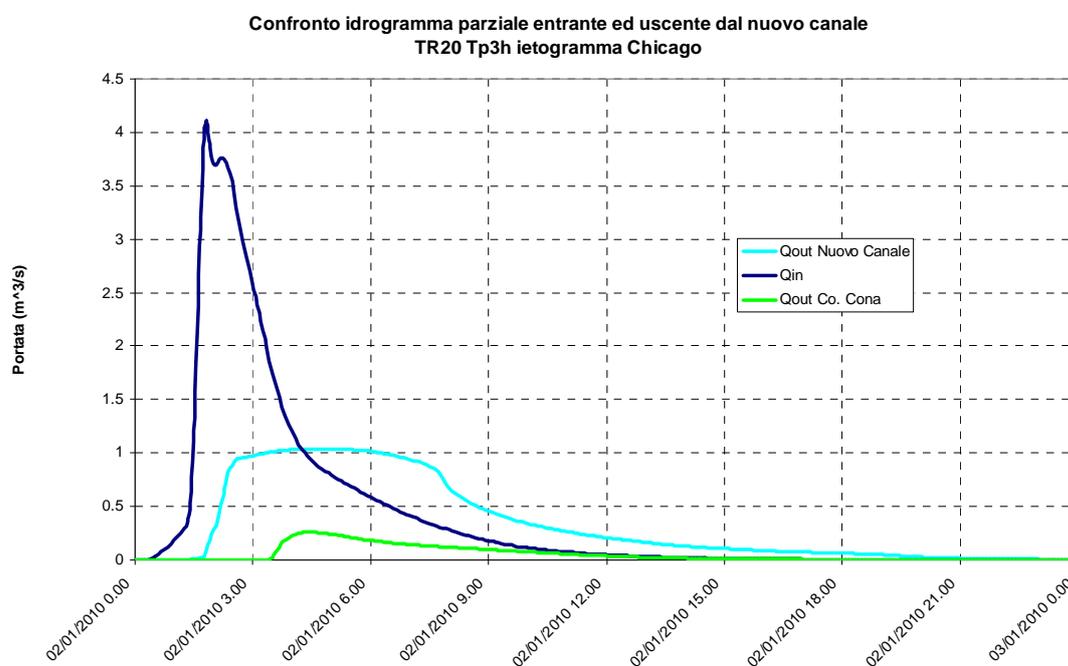
Figura 82. Involuppo dei massimi livelli raggiunti nel Cona AA per tempi di ritorno di 20 e 50 anni.

Quest'ultima figura evidenzia un innalzamento dei livelli di circa 20 centimetri all'origine del Co. Cona AA, che comunque non desta particolari preoccupazioni, pur essendo al limite della sua officiosità. Il livello massimo risulta invece al limite dell'accettabilità in prossimità della Ch. Scala, posta circa 500 metri a valle del manufatto di sfioro dal Co. Cona AA al Nuovo Canale.

La portata massima uscente dal Nuovo Canale è, come mostrato in Figura 79, pari a circa 1.1 m<sup>3</sup>/s, che, se sommata alla massima portata uscente dal Co. Cona AA (circa 0.35 m<sup>3</sup>/s, si veda Figura 84) rimane entro i limiti di 1.5 m<sup>3</sup>/s prescritti da delibera (si veda il Capitolo 3.1 per riferimenti).

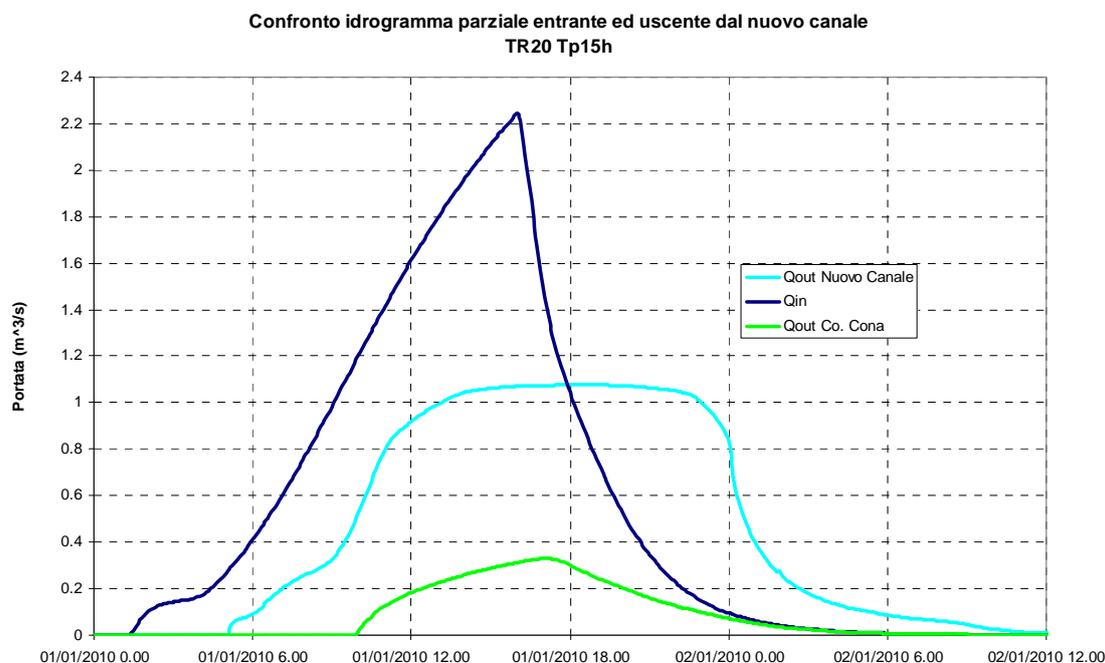
La caratteristica più importante del sistema di scolo qui progettato è l'efficiente laminazione delle portate derivanti dalle nuove urbanizzazioni ipotizzate. Se si considera ad esempio un evento estremamente impattante per un'area urbanizzata quale una pioggia di durata 3 ore e ietogramma Chicago, mantenendo un tempo di ritorno di 20 anni, l'idrogramma-somma degli idrologici di ingresso nella rete può essere confrontato con gli idrogrammi in uscita dal sistema.

Tale confronto viene riportato in Figura 83 ed evidenzia come l'idrogramma in ingresso risulti ampiamente laminato in uscita.



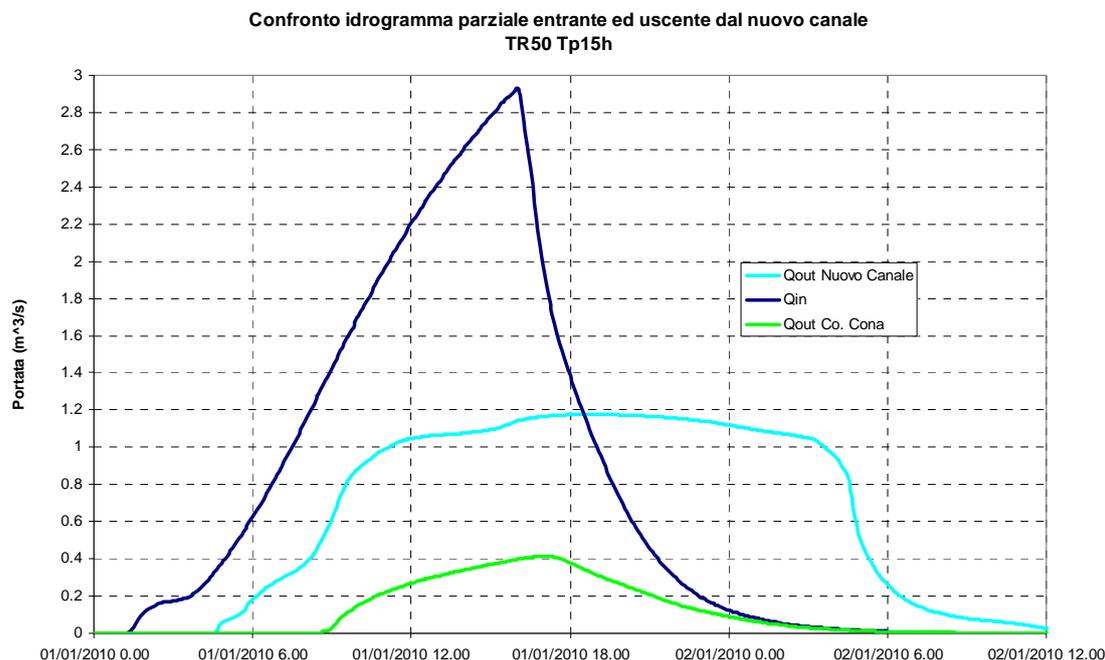
**Figura 83.** Confronto tra idrogramma entrante nella linea di scolo Co. Cona - Nuovo canale ed idrogramma in uscita rispettivamente dal Co. Cona e dal Nuovo Canale per tempo di ritorno 20 anni ietogramma Chicago di durata 3 ore.

Analogo confronto viene compiuto per l'evento di tempo di ritorno 20 anni e durata 15 ore con ietogramma costante e viene riportato in Figura 84.



**Figura 84.** Confronto tra idrogramma entrante nella linea di scolo Co. Cona - Nuovo canale ed idrogramma in uscita rispettivamente dal Co. Cona e dal Nuovo Canale per tempo di ritorno 20 anni pioggia costante di 15 ore.

Infine l'effetto di laminazione dell'onda di piena in ingresso al sistema viene inoltre riportato per tempi di ritorno maggiori, ovvero per 50 anni, sempre con pioggia di durata 15 ore e ietogramma costante. Si precisa che per questi ultimi due casi non è richiesto il rispetto della portata massima uscente imposta da delibera, in quanto tale limite è da intendersi valido per tempi di ritorno di progetto della rete consortile, ovvero, in questo caso, venti anni.



**Figura 85.** Confronto tra idrogramma entrante nella linea di scolo Co. Cona - Nuovo canale ed idrogramma in uscita rispettivamente dal Co. Cona e dal Nuovo Canale per tempo di ritorno 50 anni pioggia costante di 15 ore.

La casistica composta di questi tre eventi, risulta varia, tenendo in considerazione sia le brevi che le lunghe durate, e denota sia un ritardo nella propagazione del picco di portata dalle sezioni iniziali a quelle finali del sistema di scolo, sia uno smorzamento considerevole del picco stesso che, per lunghe durate nel Nuovo Canale risulta più che dimezzato, mentre per brevi durate è addirittura un quarto.

Non si riportano in questa fase i risultati di un modellazione monodimensionale per tempi di ritorno centennali, in quanto, essi verranno più correttamente trattati attraverso la modellazione bidimensionale riportata al Capitolo 9 di questo documento. Nello stesso capitolo verranno riportati anche i risultati della medesima modellazione per tempi di ritorno di 50 anni.

### 8.2.4 Ipotesi di intervento 3: HP3

L'HP3 prevede l'urbanizzazione già riportata in Figura 12 e riproposta nella seguente Figura per completezza.



**Figura 86.** Urbanizzazione prevista nell'ipotesi di attuazione HP3.

Questa ipotesi ricalca le caratteristiche di HP2, con golena allagabile nel secondo tratto, ma presenta un tombinamento nel primo tratto di canale.

Il tombinamento viene effettuato con due scatolari 1.5 m x 1 m, come testimoniato dalla finestra di calcolo della struttura in MIKE 11 (Figura 87).

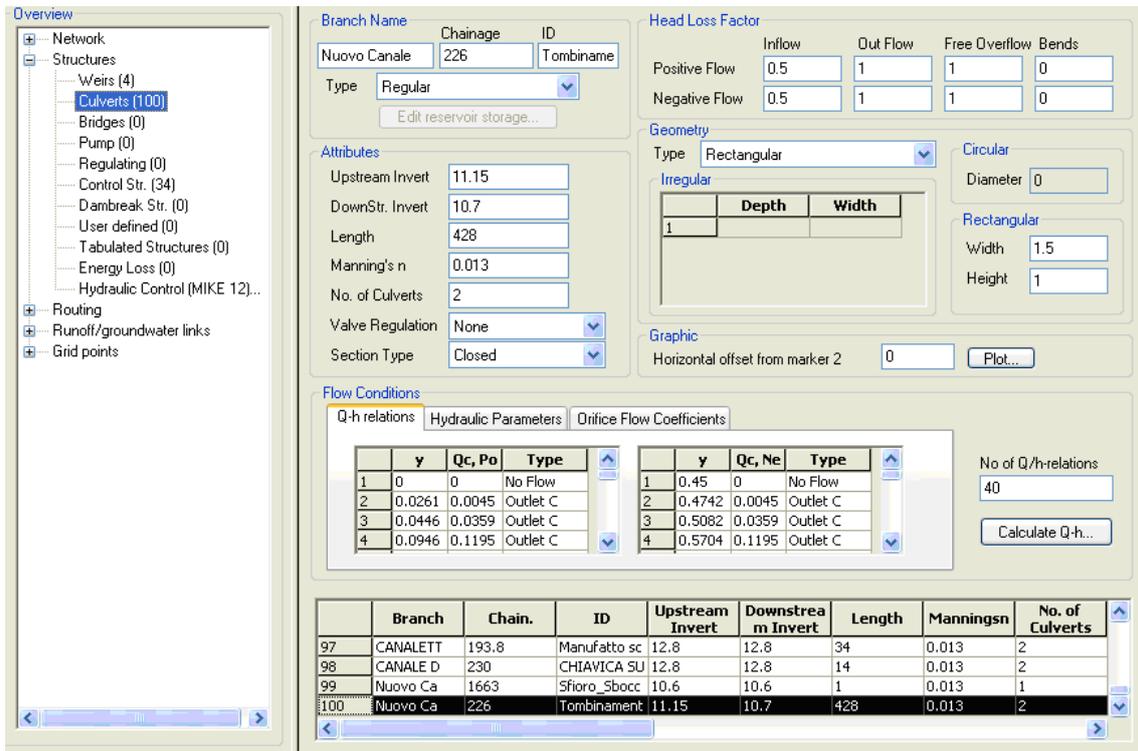


Figura 87. Interfaccia MIKE 11 di inserimento del manufatto di tombinamento.

La seguente Figura riporta invece la sezione tipo del secondo tratto.

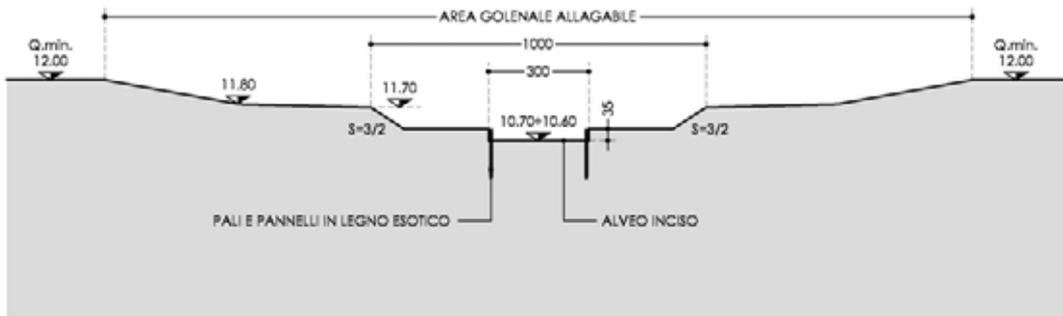


Figura 88. Sezione tipo secondo tratto HP3.

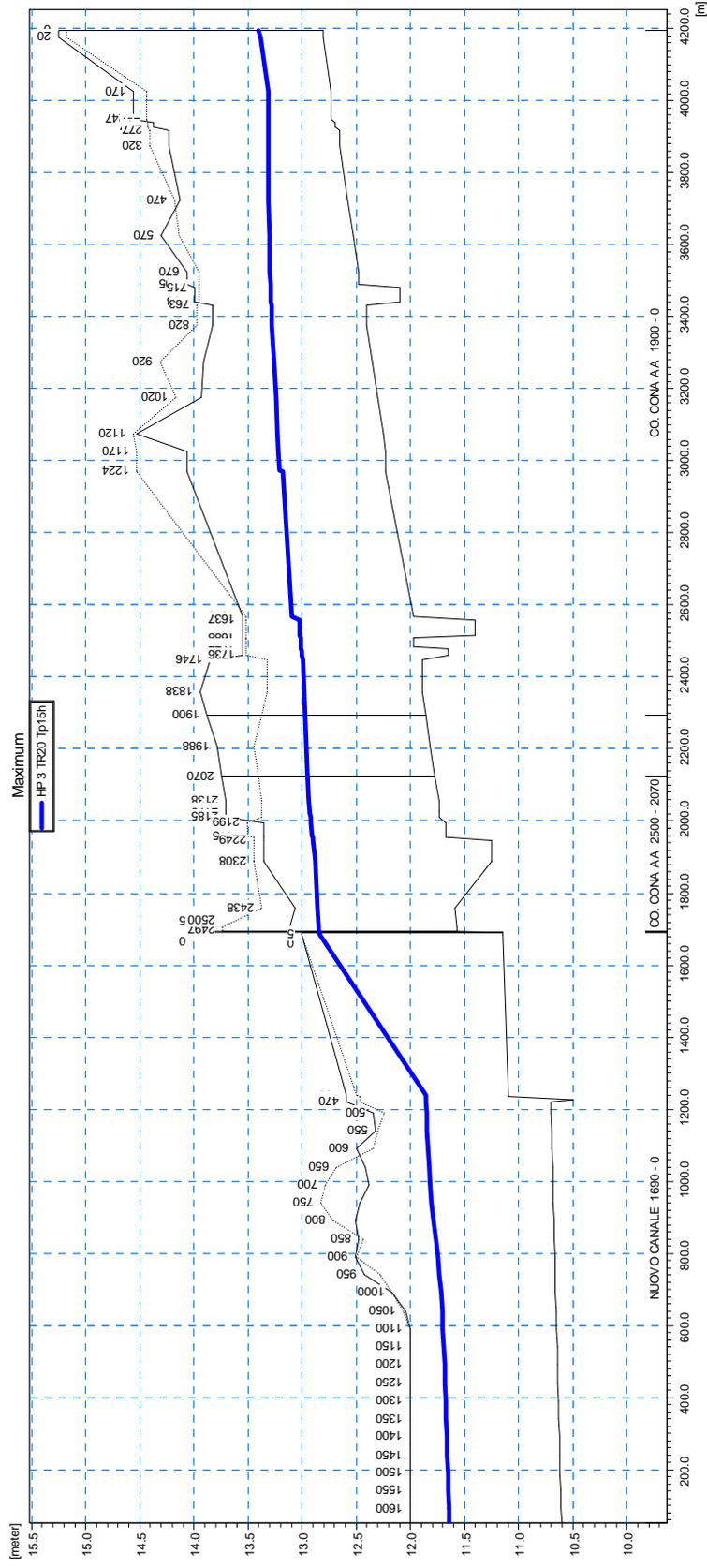
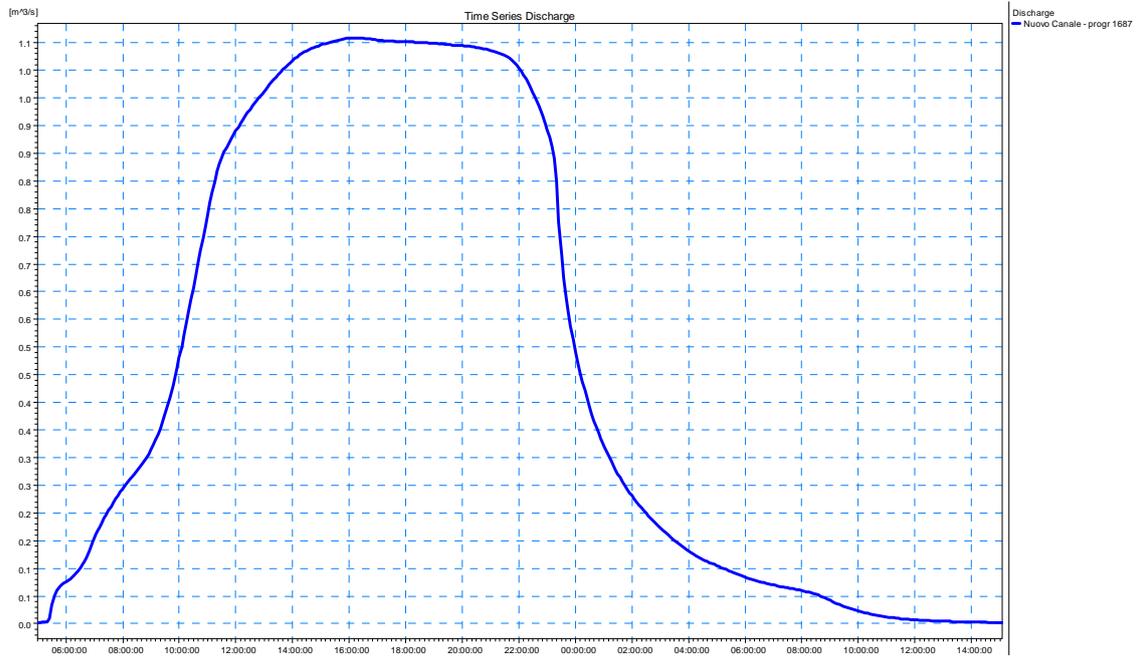


Figura 89. Inviluppo dei massimi livelli raggiunti nella linea di scolo Cona AA - Nuovo Canale nell'HP3.

L'idrogramma uscente dal nuovo canale per tempi di ritorno di 20 anni è riportato nella seguente Figura 90.



**Figura 90.** Idrogramma di portata uscente dal nuovo canale per tempi di ritorno ventennali nell'HP3.

### 8.2.5 Considerazioni

In sintesi alle tre proposte sin qui illustrate, si riportano alcune considerazioni comparative, utili per indirizzare la scelta tra le ipotesi progettuali.

Tutte e tre le soluzioni rispettano le imposizioni della delibera consortile quanto a massima portata uscente e minimo volume di invaso, così come riportato nei precedenti Capitoli.

Posta dunque la garanzia dell'invarianza idraulica, dal confronto tra HP1 ed HP2 emerge la migliore opportunità offerta dalla seconda ipotesi, che consente di edificare su un'area più ampia.

Analogamente, ponendo a confronto HP2 e HP3 e ribadendo la salvaguardia del principio dell'invarianza idraulica anche per HP3, gli aspetti più rilevanti sono la differenza economica delle due realizzazioni ed il diverso impatto visivo da esse prodotto.

Nel caso HP3 infatti l'esecuzione del tombinamento del primo tratto del nuovo canale consentirebbe la realizzazione di un'urbanizzazione senza canali a cielo aperto. Se questo aspetto risulta rilevante in determinate attuazioni edilizie, nel caso in esame non appare determinante, in quanto la linea di scolo prevista è del tutto in accordo con l'ambiente rurale circostante. La stessa linea idraulica infatti è pensata come congiungimento e richiamo all'immagine agricola tipica della pianura ferrarese, così fittamente solcata dalla rete di drenaggio della bonifica. L'onerosità della realizzazione del tombinamento inoltre (anche se qui non dettagliatamente riportata) volge anch'essa a favore dell'HP2.

Per le valutazioni sin qui esposte dunque, si ritiene più appropriata la realizzazione dell'HP2, per la quale nel seguente Capitolo verrà condotta una verifica idraulica bidimensionale, al fine di analizzare nel dettaglio il comportamento dell'invaso anche per eventi di tempo di ritorno centennali.

## 9 Verifica progettuale con modello bidimensionale

A completezza della progettazione della nuova linea idraulica, si riportano i risultati ottenuti da una verifica dell'intero sistema eseguita con un modello idrologico idraulico bidimensionale per l'ipotesi denominata HP2.

Nello specifico il software MIKE FLOOD consente di combinare la simulazione monodimensionale con quella bidimensionale del sistema, imponendo il riempimento delle fasce laterali allagabili di terreno una volta superata la quota del ciglio della sezione principale in esame.

Alla base della modellistica bidimensionale occorre avere un modello bidimensionale dell'area da esaminare che contenga tutte le informazioni plano-altimetriche idraulicamente rilevanti.

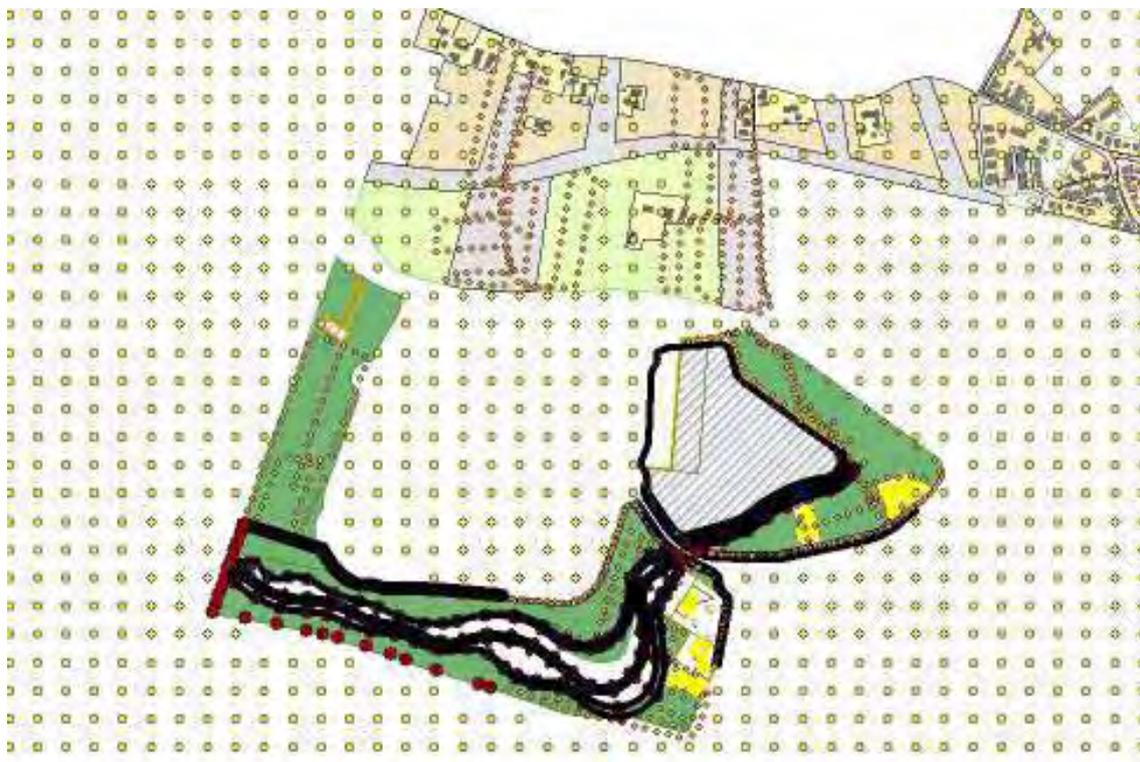
In particolare occorre garantire una risoluzione della maglia di discretizzazione planimetrica ed una precisione altimetrica dei valori di quota che siano congruenti con quanto richiesto dalla modellistica. Inoltre occorre inserire eventuali varchi e/o rilevati.

Il software M21FM (flexible mesh) richiede come input un DTM generato da un applicativo incluso nel pacchetto MIKE.

Per quanto concerne le informazioni altimetriche per la generazione del modello si sono sfruttate tre fonti distinte:

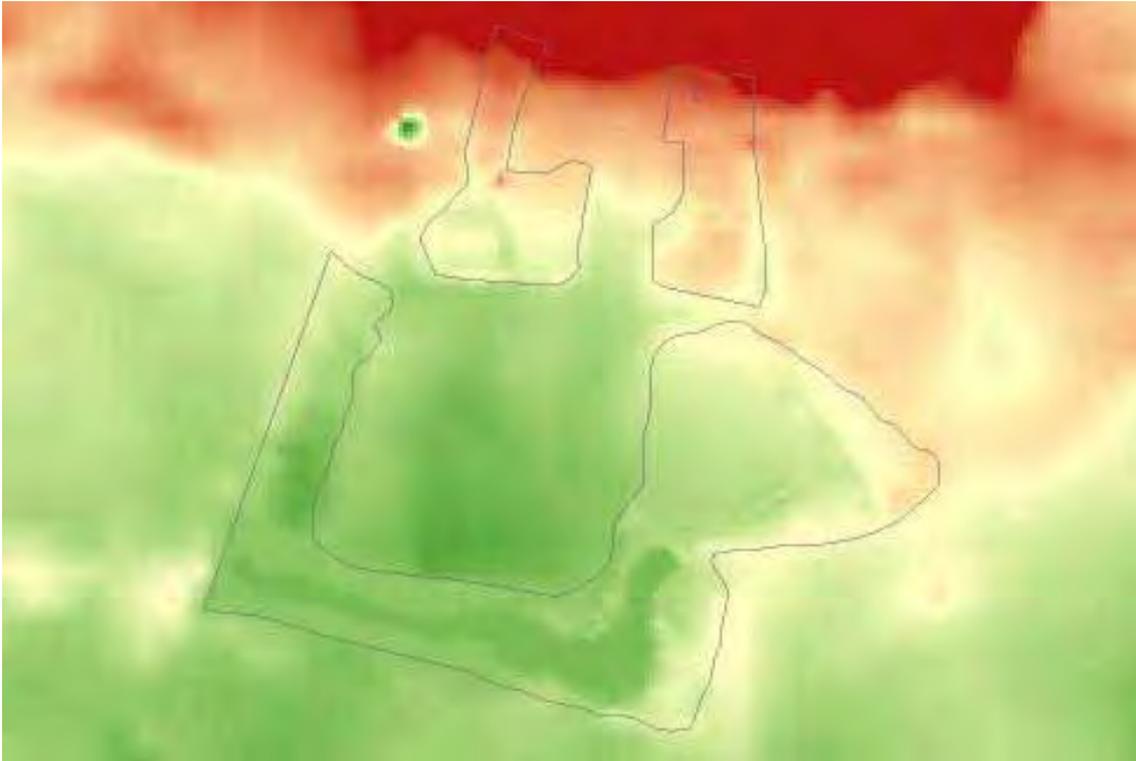
- il rilievo effettuato dai tecnici del Consorzio con strumentazione GPS secondo quanto già descritto al capitolo 6.3 (Figura 41);
- le informazioni dedotte dalla CTR per quanto concerne il territorio limitrofo e le condizioni al contorno da attribuire al modello digitale del terreno;
- le quote definite da progetto qualora note e diverse da quelle dello stato di fatto.

La seguente Figura riporta tutti i punti utilizzati per la costruzione del DTM ai fini della modellazione 2D.



**Figura 91.** *Punti quotati utilizzati per la generazione del DTM.*

Il DTM ottenuto da tali punti viene riportato nella seguente Figura 86, dove viene inoltre indicata l'area in esame.



**Figura 92.** DTM ottenuto ed indicazione dell'area in esame.

Da queste informazioni plano-altimetriche sono state desunte le informazioni da inserire nella generazione della mesh di calcolo nel modulo MIKE ZERO.

In primo luogo il programma richiede la definizione dei limiti, le cosiddette boundary, del sistema, come riportato nella seguente Figura 93 e solo in ultimo la generazione vera e propria della mesh di calcolo (Figura 94).

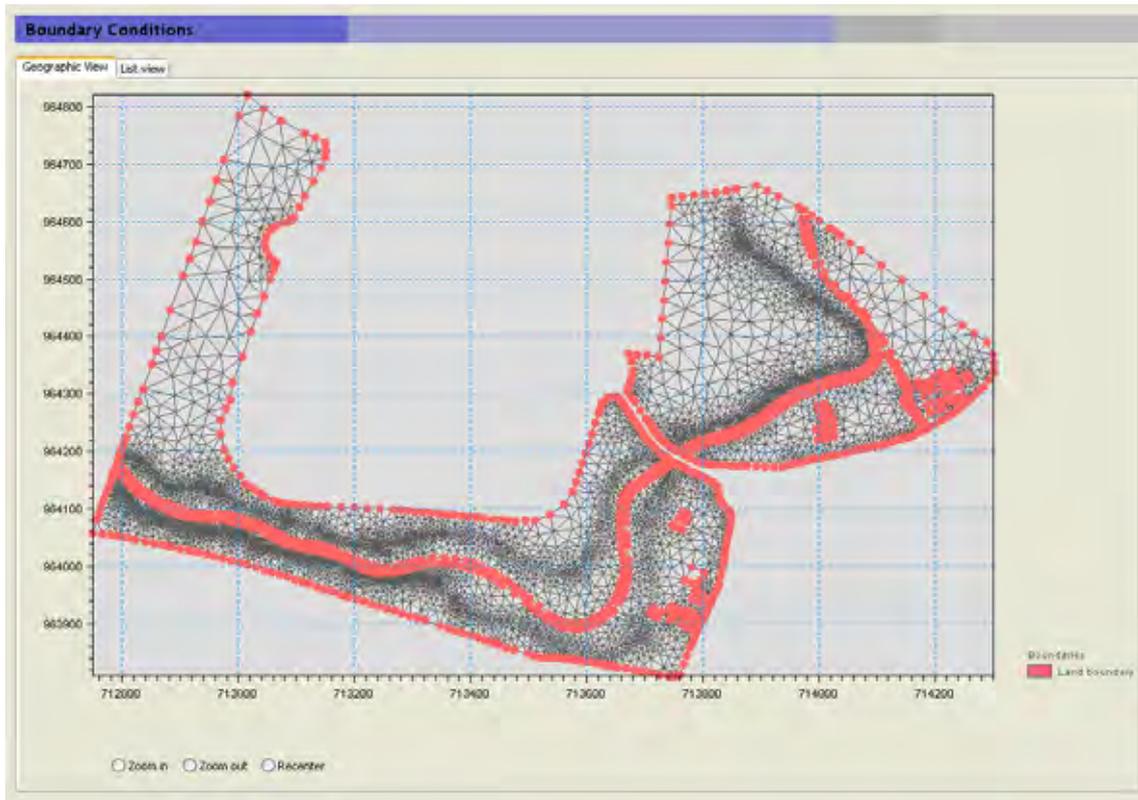


Figura 93. Boundary del sistema.

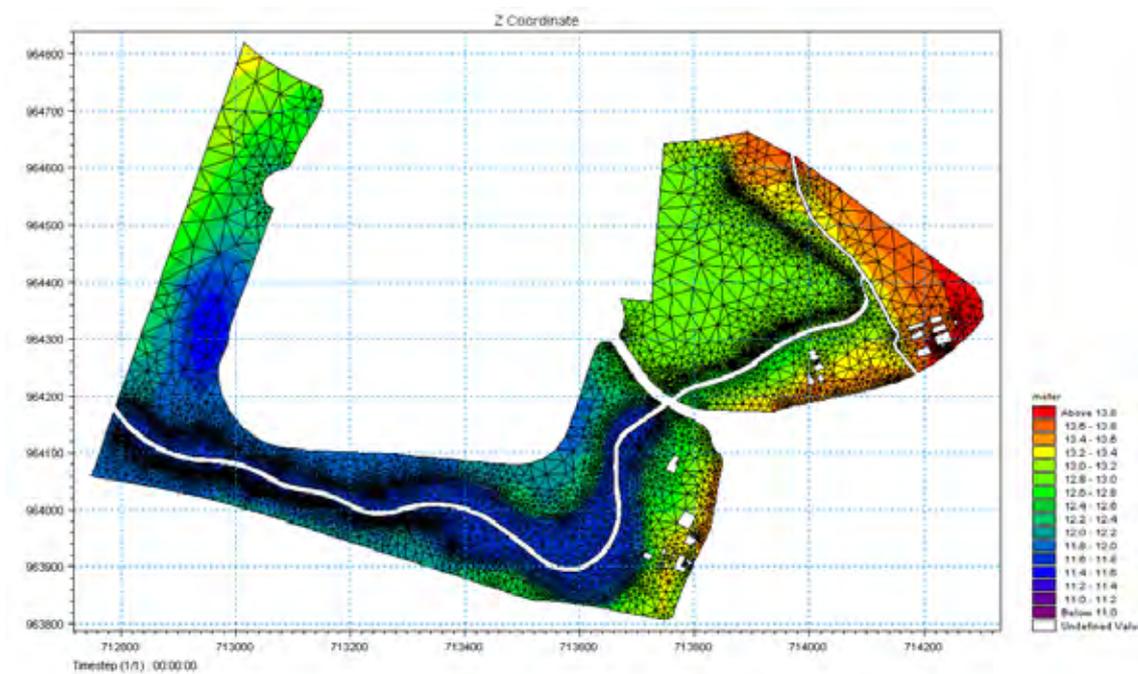
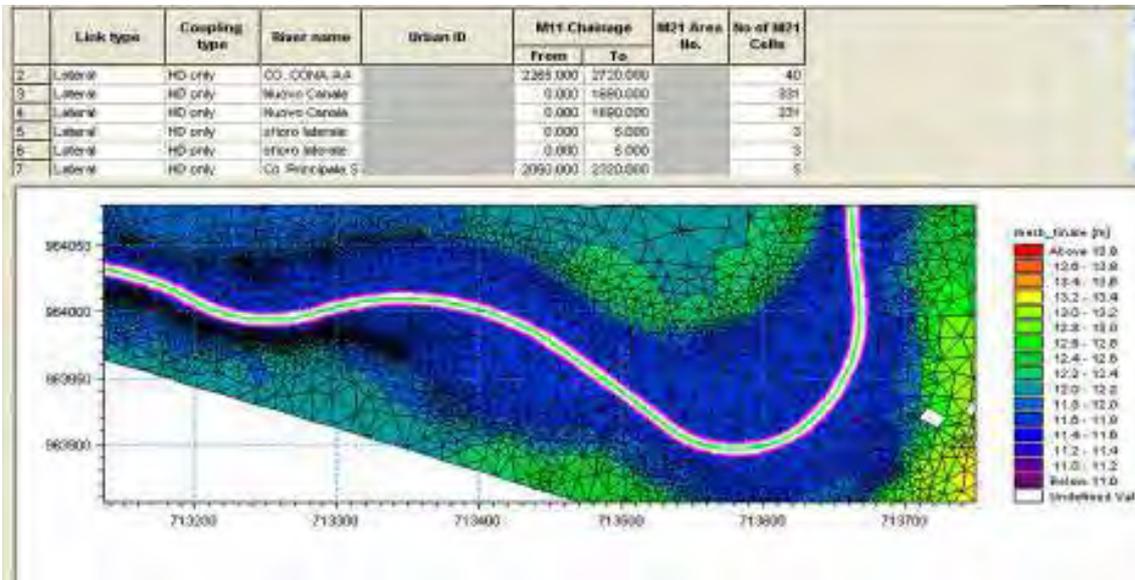


Figura 94. Mesh quotata di calcolo.

Vengono in seguito definiti i link tra modello mono e bidimensionale secondo quanto rappresentato dalle linee fucsia della seguente Figura.



**Figura 95.** Definizione link tra modello mono e bidimensionale.

Infine si eseguono due simulazioni per tempi di ritorno 50 e 100 anni: aventi come durate critiche degli ingressi idrologici gli stessi utilizzati per la progettazione, ovvero 15 ore con pioggia costante.

La simulazione con tempo di ritorno 50 anni rivela come venga interessata la golena al propagarsi della portata in ingresso (la simulazione con 20 anni non è stata compiuta in quanto l'area golenale viene solo marginalmente interessata dalle portate).

Le massime altezze idriche raggiunte sono riportate nella Figura sottostante.



**Figura 96.** Massimi livelli idrici raggiunti nell'area golenale per tempo di ritorno 50 anni.

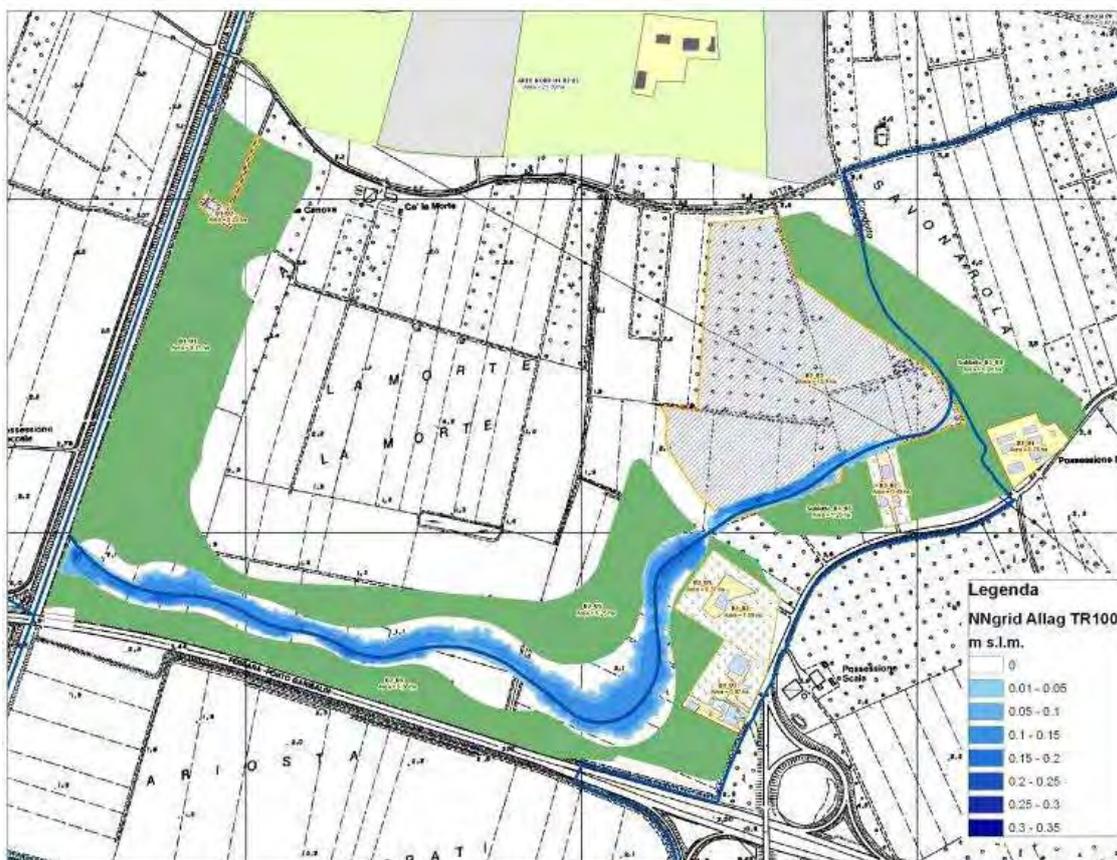


**Figura 97.** Massimi livelli idrici raggiunti nell'area golenale per tempo di ritorno 50 anni - dettaglio sul tratto più critico.

Per TR 50 la portata rimane ampiamente all'interno dell'area golendale con altezza idrica massima pari a circa 25 cm, come testimoniato anche dallo zoom in Figura 97 che rappresenta il tratto più critico.

Vi è una leggera esondazione anche nel tratto più a monte, in cui non è presente la golena, ma tale lama d'acqua ha sempre altezze esigue, dell'ordine della ventina di centimetri nei punti di picco, è confinata all'interno di massimo 5 metri per lato e non interessa mai l'area di nuova urbanizzazione denominata B3\_U3, in quanto questa è posta a quota 13 m (+10m = l.m.m.) e dunque almeno 70 cm più in alto.

Ricordiamo infatti che la rete di bonifica è dimensionata per fronteggiare tempi di ritorno ventennali, laddove non vi è la possibilità di accumulare volumi in eccesso; tuttavia la presente progettazione ha strutturato il sistema in modo da salvaguardare le aree urbanizzate anche per tempi di ritorno maggiori, come dimostrato in Figura 96 per 50 anni ed in Figura 98 per 100 anni.



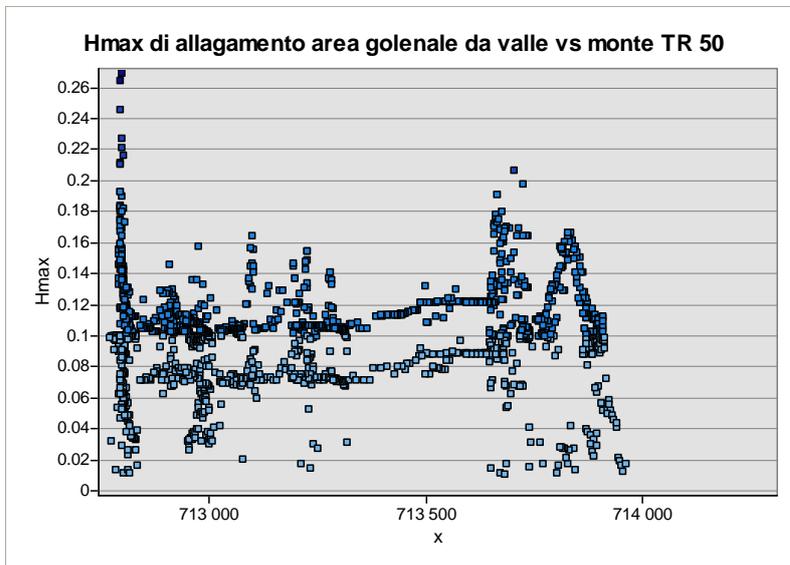
**Figura 98.** Massimi livelli idrici raggiunti nell'area golendale per tempo di ritorno 100 anni.



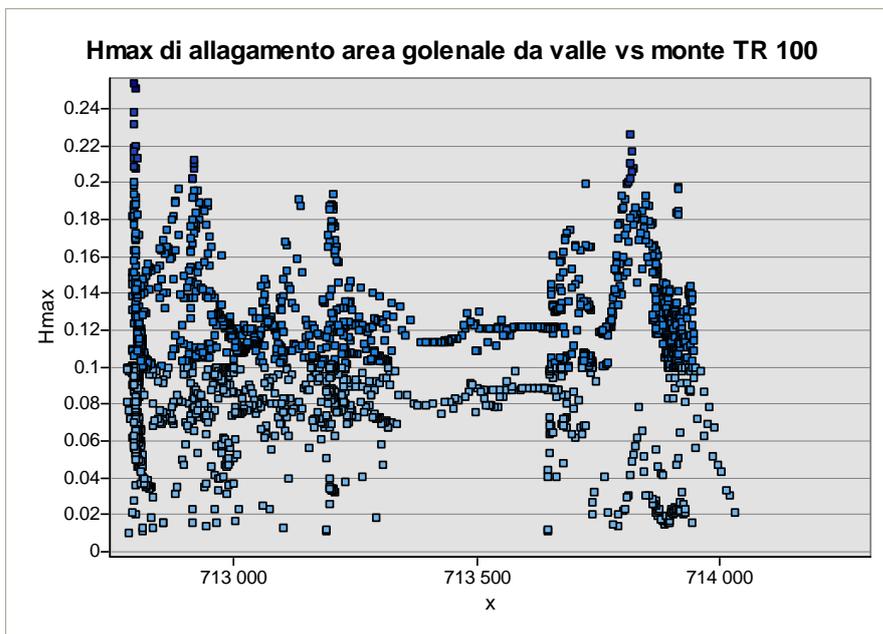
**Figura 99.** Massimi livelli idrici raggiunti nell'area golenale per tempo di ritorno 100 anni - dettaglio sul tratto più critico.

In quest'ultimo caso l'area allagata è leggermente superiore ed interessa un tratto più lungo a monte del nuovo canale, rimanendo comunque confinata nei limiti altimetrici sopra descritti e lasciando un ampio margine di sicurezza alla nuova urbanizzazione B3\_U3.

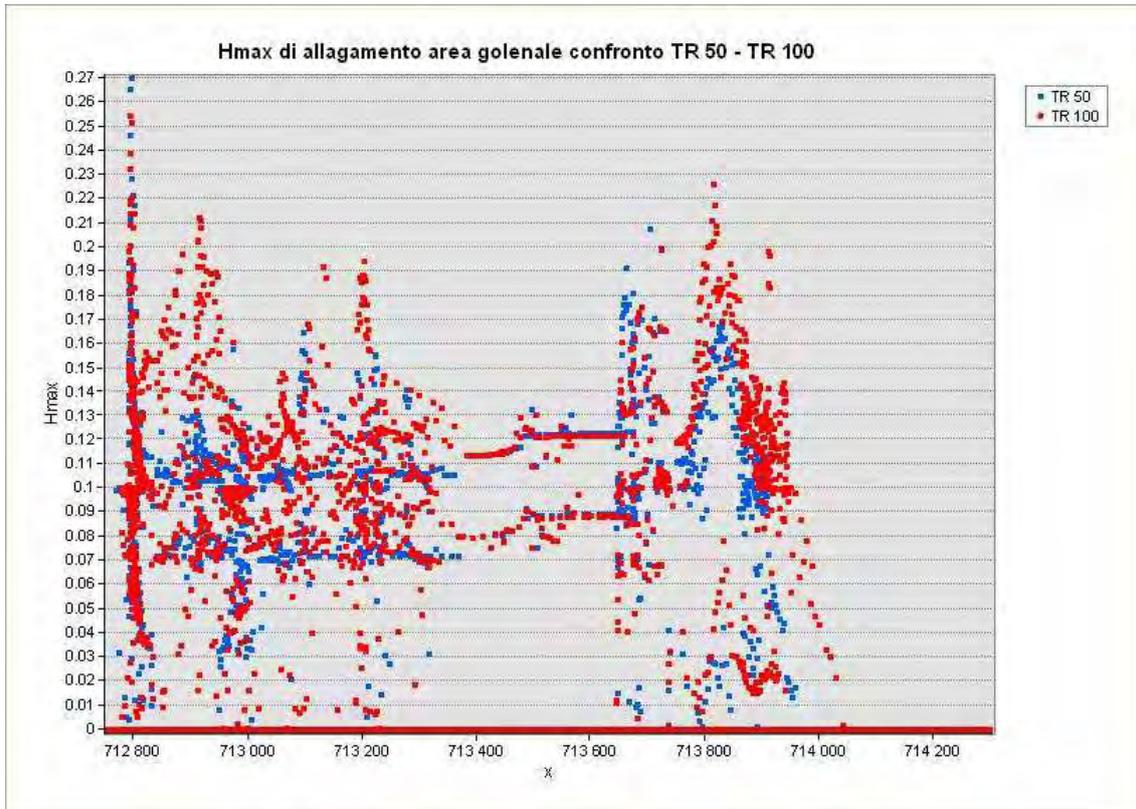
Per una visualizzazione della disposizione dei massimi livelli idrici di allagamento raggiunti lungo il canale si vedano le Figure 100-102. In queste ultime sono rappresentati da valle verso monte i massimi livelli registrati in area golenale per tempi di ritorno 50 e 100 anni. Come si può vedere il livello massimo raggiunto nei due casi è pressoché identico, mentre per tempo di ritorno 100 anni l'esondazione si estende maggiormente a monte lungo l'asse del canale e si registrano livelli mediamente più alti, com'è logico attendersi.



**Figura 100.** Scatter points dei massimi livelli idrici raggiunti nell'area golenale per tempo di ritorno 50 anni riportati da valle verso monte.



**Figura 101.** Scatter points dei massimi livelli idrici raggiunti nell'area golenale per tempo di ritorno 100 anni riportati da valle verso monte.



**Figura 102.** Confronto scatter points dei massimi livelli idrici raggiunti nell'area golenale per tempo di ritorno 50 anni (colore blu) e 100 anni (colore rosso) riportati da valle verso monte.



# CONSORZIO DI BONIFICA PIANURA DI FERRARA

Sede legale e recapito postale:  
44121 Ferrara Via Borgo dei Leoni, 28 - C.F. 93076450381  
www.bonificaferrara.it - e-mail info@bonificaferrara.it  
aderente all'   
Associazione Nazionale Bonifiche, Irrigazioni e Miglioramenti Fondiari

**Studio di fattibilità per un "progetto di paesaggio"  
attento alle tematiche della sostenibilità urbana  
nell'area del nuovo ospedale di Ferrara in località Cona**

**PROGETTO PRELIMINARE**

**RELAZIONE TECNICA**

Data:	Elab. n°	<b>1.1</b>
-------	----------	------------

**IL PROGETTISTA**  
(Dott. Ing. Marco Volpin)



**IL RESPONSABILE  
DEL PROCEDIMENTO**  
(Dott. Ing. Gianni Tebaldi)

.....

**GRUPPO OPERATIVO**  
Dott. Ing. Laura Montanari  
Dott. Ing. Andrea Zoli  
Geom. Carlo Mazzanti  
Geom. Bruno Desiderati

**INDICE**

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b>	<b>2</b>
<b>1.1</b>	<b>DESCRIZIONE DELLE OPERE</b>	<b>5</b>
<b>1.2</b>	<b>STIMA DELLE OPERE</b>	<b>13</b>

# 1 PREMESSA

Nell'ambito del processo di realizzazione di un Piano Particolareggiato di Iniziativa Pubblica per l'area del nuovo ospedale di Ferrara in località Cona, ad opera di un apposito gruppo di lavoro formato dal Comune di Ferrara, il Consorzio di Bonifica è stato chiamato ad una collaborazione finalizzata all'individuazione di linee di indirizzo per la corretta pianificazione del sistema di smaltimento delle acque meteoriche dell'area interessata dal piano stesso. In relazione ha quanto emerso dallo studio effettuato, nell'aprile 2008 il Consorzio ha prodotto un elaborato descrittivo nel quale è stata sintetizzata una ipotesi pianificatoria per la regolazione definitiva delle acque di origine meteorica per l'area di Cona, nella quale è inserito il Piano Particolareggiato in oggetto.

In estrema sintesi, tenendo conto dei vari gradi di espansione urbana ipotizzabili e delle potenzialità del sistema di scolo della bonifica di S. Antonino, recettore delle acque in esubero relative all'area esaminata, l'ipotesi di lavoro più concretamente realizzabile è risultata la realizzazione di una nuova linea idraulica ubicata nell'area che la pianificazione ipotizzata assegnava ad interventi di rimboschimento e rinaturalizzazione, da utilizzare anche come ammortizzatore idraulico.

Tale sistema permette inoltre di considerare, oltre che gli apporti derivanti dalle nuove impermeabilizzazioni considerate all'interno del Piano, anche gli apporti futuri derivanti dalle previsioni di espansione urbanistica per la località Cona.



**Figura 1. Sintesi delle previsioni del PP e nuova linea idraulica**

In seguito ai risultati della prima fase di studio è stato richiesto al Consorzio un ulteriore apporto professionale attraverso la stesura di una progettazione idraulica definitiva ed una progettazione preliminare delle opere, di cui la presente relazione è parte integrante.

La progettazione è stata articolata secondo i seguenti punti distintivi:

- Elaborazione di un modello plano altimetrico delle aree interessate ai fini dello studio idraulico.
- Studio delle piogge intense e individuazione degli ietogrammi di progetto;
- Elaborazione del modello idrologico del bacino di riferimento;
- Elaborazione del modello idrodinamico della rete di scolo ipotizzata;
- Valutazione della fattibilità dell'intervento e prima individuazione e quantificazione delle opere necessarie.

Il livello di dettaglio raggiunto permette di verificare l'effettiva fattibilità dell'intervento, di acquisire una progettazione idraulica definitiva, e di individuare le basi necessarie

alla successiva e ulteriore progettazione definitiva ed esecutiva delle opere civili infrastrutturali necessarie (canale, arginature, manufatti, percorsi, ecc...).

Il progetto è stato predisposto a cura del Settore Progettazione del Consorzio Pianura di Ferrara – Area Tecnica 2. I dati alla base delle elaborazioni sono stati messi a disposizione dal Comune di Ferrara e dal Consorzio di Bonifica.

Per i rilievi il personale si è servito della seguente strumentazione:

- Auto - Livello Pentax AL320;
- Livello Elettronico Digitale (DL 101C - TOPCON);
- Sistema di misura GPS HiperPro - TOPCON;

Per le elaborazioni numeriche sono stati utilizzati i seguenti software:

- Autocad Map 3D, piattaforma Autodesk per i sistemi informativi territoriali;
- VEOB (VEOB, Consorzio Intecno DHI, 2006): software di automatizzazione delle procedure di valutazione dell'efficienza delle opere di bonifica;
- Mike 11 (DHI Water & Environment, 2008), software prodotto da DHI, diffuso in esclusiva in Italia da DHI ITALIA - Torino;
- Mike 21 (DHI Water & Environment, 2008), software prodotto da DHI, diffuso in esclusiva in Italia da DHI ITALIA - Torino;
- Civil Design, applicativo di Autodesk AutoCAD;
- Arc Gis, diffuso in Italia da ESRI Italia S. p. A.;
- Grass GIS;
- QuantumGis, applicazione desktop GIS Open Source.

## 1.1 DESCRIZIONE DELLE OPERE

Considerate le esigenze di natura idraulica, ambientale, paesaggistica e della necessaria possibile fruibilità dell'area oggetto di intervento a fini ricreativi e terapeutici, il progetto analizza 3 soluzioni esecutive per la realizzazione della nuova linea idraulica:

- **Ipotesi 1** (di seguito anche denominata per finalità di sintesi **HP1**): Realizzazione nuova linea di canale avente sezione composta con golena allagabile per elevati tempi di ritorno (Figura 2), lunghezza complessiva 2190 m ed origine alla progressiva 2180 dell'esistente Co. Cona AA (Figura 8);



- **Figura 2. Prima ipotesi di intervento.**

- **Ipotesi 2** (di seguito anche denominata per finalità di sintesi **HP2**): Realizzazione nuova linea di canale, suddiviso in due tratti: un primo tratto di monte avente sezione composta senza golena allagabile ed un secondo tratto di valle con golena allagabile per elevati tempi di ritorno (Figura 3), lunghezza complessiva 1675 m ed origine alla progressiva 2500 dell'esistente Co. Cona AA (Figura 10);



- **Figura 3. Seconda ipotesi di intervento.**

- **Ipotesi 3** (di seguito anche denominata per finalità di sintesi **HP3**): Realizzazione nuova linea di canale, suddiviso in due tratti: un primo tratto di monte tombinato ed un secondo tratto di valle con golena allagabile per elevati tempi di ritorno (Figura 4), lunghezza complessiva 1675 m ed origine alla progressiva 2500 dell'esistente Co. Cona AA (Figura 12).



**Figura 4. Terza ipotesi di intervento.**

Simili tra loro, le tre ipotesi di lavoro risultano tutte tecnicamente eseguibili.

Le differenze si riscontrano per il tratto iniziale della nuova linea idraulica di progetto. La prima ipotesi delinea una funzione di vaso temporaneo per tutta la lunghezza del nuovo canale. La terza ipotesi prevede la realizzazione del primo tratto della canalizzazione con elementi scatolari interrati, garantendo una maggiore superficie alle aree di nuova urbanizzazione.

La seconda ipotesi è intermedia tra la uno e la tre, con il primo tratto di linea realizzato con una canale a cielo aperto ma in assenza di aree esondabili.

Quest'ultima, a livello di elaborazione progettuale, è stata sviluppata con maggiore dettaglio, in ragione soprattutto di un maggiore equilibrio tra fattori di natura economica, ambientale e paesaggistica.

Si sottolinea comunque ancora l'attuabilità tecnica anche delle altre ipotesi.

### **1.1.1 Il canale**

La nuova linea idraulica assumerà il ruolo di ammortizzatore idraulico solo all'interno della fascia più a sud dell'area oggetto di Piano, nella porzione soggetta a rinaturalizzazione e forestazione posta tra la viabilità dell'ospedale e il raccordo autostradale Ferrara – Porto Garibaldi.

Il canale risulterà totalmente a cielo aperto e sarà realizzato attraverso una sezione composta da 3 diverse zone al fine di rispondere a diverse esigenze:

- **L'alveo di magra**, sempre bagnato, permetterà di convogliare delle portate minime, utili al rinnovamento continuo dell'acqua ai fini igienici - sanitari, ambientali e paesaggistici. Tale alveo sarà protetto al fine di prevenire cedimenti spondali, garantendo la stabilità della sezione nel tempo. A tale fine verranno utilizzate tecniche di ingegneria naturalistica con l'utilizzo di pali e pannelli in legno ad alta durabilità e valore estetico. La figura seguente rappresenta una protezione spondale effettuata con legname in provincia di Ferrara. Per l'intervento in progetto la struttura di protezione sarà nettamente meno visibile ed integrata con il paesaggio circostante.



**Figura 5. Esempio di rivestimento in pannelli lignei per il rivestimento ed il sostegno spondale.**

Si evidenzia come la scelta di una protezione spondale "pregiata" è strettamente connessa all'alto valore paesaggistico e sociale dell'opera in termini di fruizione dell'area ai fini ricreativi e terapeutici e al suo inserimento in un contesto antropizzato.

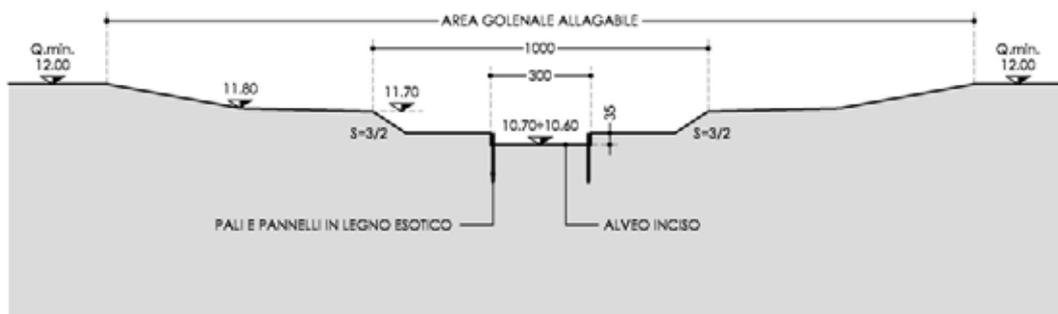
Una generica opera di bonifica idraulica, cioè realizzata prevalentemente a fini di sicurezza e gestione delle acque, in genere viene realizzata con protezioni meno costose, con l'utilizzo di legnami meno pregiati e meno rifiniti (castagno, pioppo ..) o materiali di altra natura (pietrame).

- **L'alveo di massima**, normalmente asciutto, permetterà di convogliare le massime portate accettabili nel Collettore Principale S. Antonino senza produrre ulteriori allagamenti nelle aree di golena. Inoltre ha un volume tale da poter assolvere alle necessità di ammortizzatore idraulico per eventi con periodi di ritorno intorno ai 20 anni. Tale area non si presta alla fruibilità a scopi diversi da parte dei visitatori. Dovrà

essere quindi adeguatamente delimitata e confinata. Le modalità di delimitazione, esulando dallo scopo dello studio, vengono rimandate ad altre fasi del processo progettuale generale.

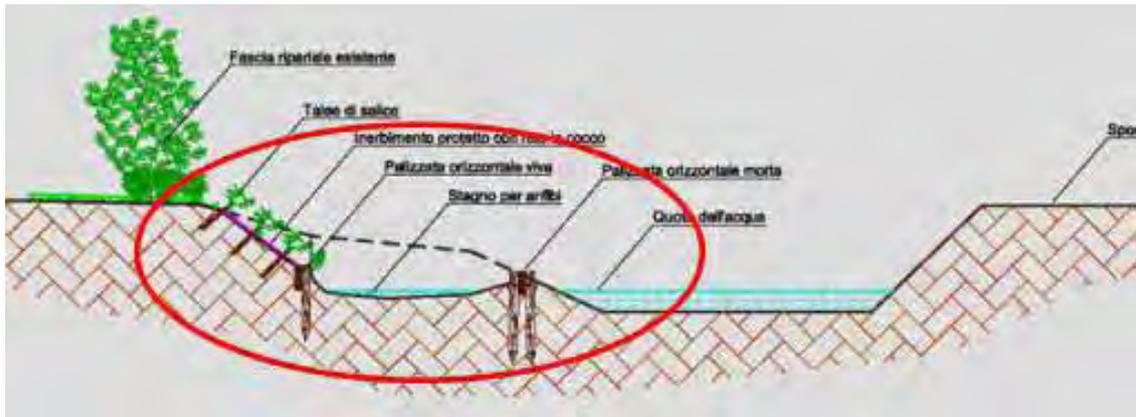
- **L'area allagabile**, normalmente asciutta, permetterà di accumulare temporaneamente le portate eccedenti quelle consentite. Per la sua realizzazione si sfrutta pienamente la morfologia attuale, attraverso una sistemazione in quota dei terreni provenienti dallo scavo del nuovo canale. La massima profondità raggiungibile, circa 25 cm, e le bassissime velocità dell'acqua durante gli allagamenti, appaiono adeguate a poter permettere la fruibilità dell'area da parte dei visitatori con rischi ridotti. L'allagamento dell'area è previsto per eventi con periodi di ritorno tra 20 e 100 anni. Per la valutazione ultima e definitiva degli aspetti legati alla sicurezza dei fruitori si rimanda ad altra fase di progettazione specialistica dell'intervento.

Nella figura seguente si riporta una schematizzazione della sezione allargata della nuova linea idraulica.



**Figura 6. Sezione schematica nuova linea idraulica.**

Lungo la linea, al fine di salvaguardare la fauna ittica e anfibia, sono stati previsti dei piccoli meandri protetti. Tali aree, dato il livello preliminare di sviluppo progettuale, non sono state dettagliate negli elaborati progettuali. Le immagini che seguono danno però un'indicazione generale sulla funzione e sulla morfologia di tali zone.



**Figura 7. Meandro per anfibì. Sezione funzionale.**

L'esecuzione della linea idraulica richiede la movimentazione di circa 50.000 mc di terreno. Questo verrà interamente reimpiegato nell'area di intervento per adeguamenti in quota.

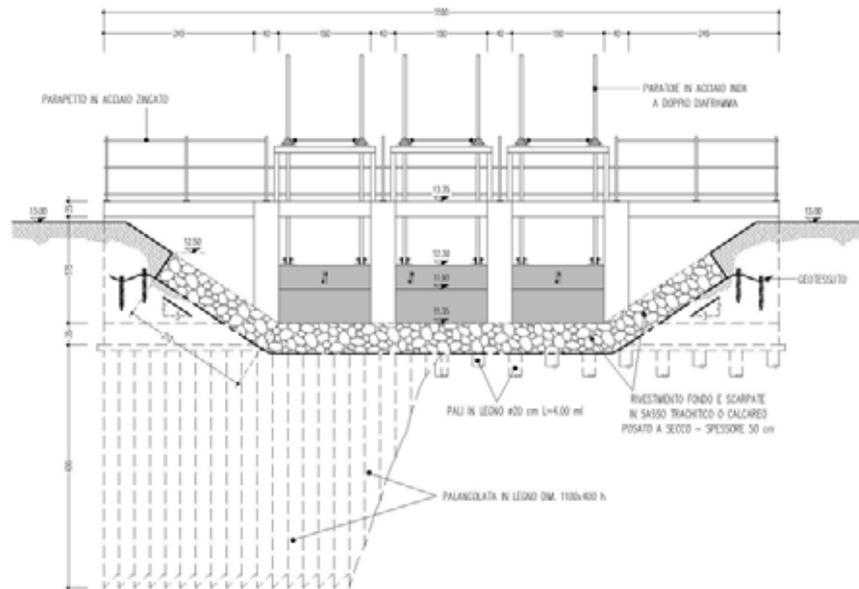
## 1.1.2 I manufatti

La corretta regimazione delle acque nella nuova linea idraulica necessita della realizzazione di 3 manufatti di regolazione.

### 1.1.2.1 Manufatto di presa

Il nuovo canale riceve le portate provenienti dall'abitato di Cona attraverso il Canale Cona A.A. Il collegamento con quest'ultimo avviene attraverso un manufatto di presa in calcestruzzo dotato di sistema di regolazione di quota a monte.

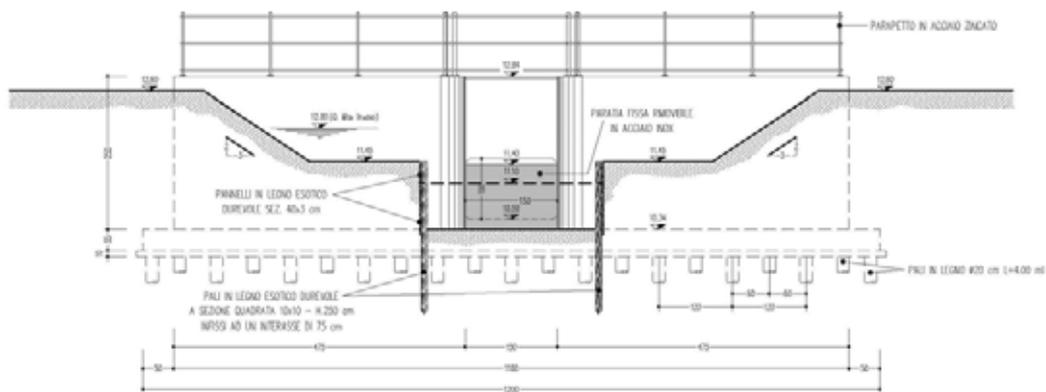
Tale manufatto ha la funzione di permettere il mantenimento delle quote idriche necessarie alla pratica irrigua nei territori serviti dal Cona A.A.. Inoltre permette di distribuire, attraverso la regolazione delle paratoie di regimazione, le portate tra la nuova linea e il Cona A.A. Si riporta nella figura seguente una sezione schematica del manufatto.



**Figura 8. Manufatto all'origine**

**1.1.2.2 Attraversamento intermedio**

La nuova linea idraulica interferisce con la viabilità del Polo Ospedaliero alla progressiva 435 m. La continuità idraulica sarà quindi garantita da una tombinamento realizzato con elementi preformati in Calcestruzzo. In corrispondenza del manufatto avverrà inoltre la regolazione delle quote a monte per impedire lo svuotamento del nuovo canale. Inoltre in corrispondenza del manufatto verrà collocato il salto di fondo necessario per il collegamento con l'area di espansione delle piene.



**Figura 9. Manufatto intermedio.**

### 1.1.2.3 Manufatto di regolazione finale

Allo sbocco del nuovo canale nel Collettore S. Antonino è necessaria una regolazione delle portate immesse in ragione del massimo consentito. Il manufatto, realizzato in calcestruzzo, attraverso una regolazione effettuata con paratoia piana a doppio diaframma, permetterà di regolare uno sfioratore di troppo pieno dell'area allagabile, utile a smaltire i volumi derivanti da eventi eccezionali, al di fuori dei limiti della progettazione effettuata, e di regolare l'ampiezza di una luce di fondo da utilizzare come limitatore delle portate in uscita.

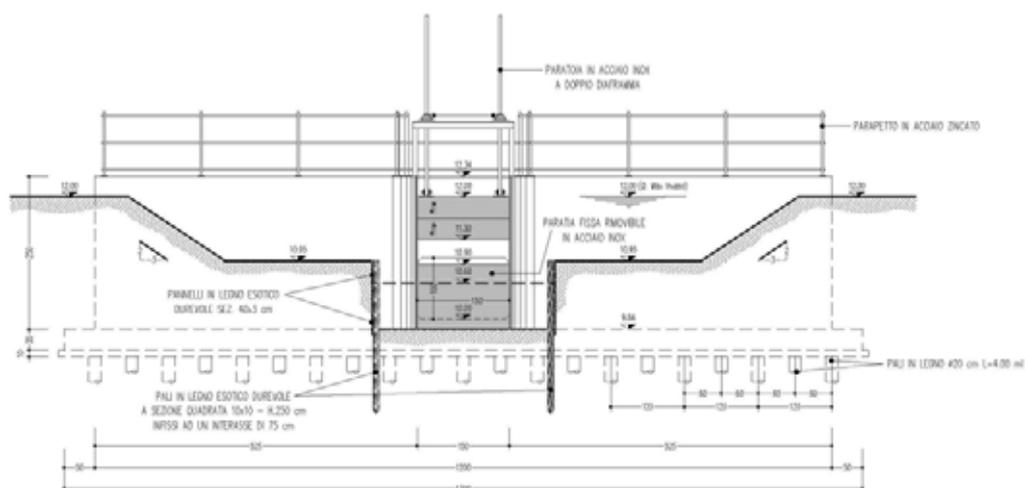


Figura 10. Manufatto terminale

### 1.1.2.4 Adattamenti della rete di bonifica esistente.

Il progetto preliminare è stato limitato alle opere necessarie all'interno dell'area di Piano.

Per la corretta gestione idraulica è necessario però eseguire alcune opere minori sulla rete esistente, quali sistemazione di sbarramenti esistenti e prese, al fine di permettere la corretta regimazione delle acque ai fini di progetto. Tenuto conto dell'esiguità di tali interventi rispetto a quanto da realizzare nell'area di Piano, della loro specificità legata a scelte tipiche di gradi più avanzati di progettazione, si rimanda la loro definizione dettagliata ad una fase successiva (progetto definitivo delle opere).

Il valore economico di tali opere di dettaglio si può ritenere compreso nella stima di cui al paragrafo successivo.

Altro aspetto fondamentale riguarda il tratto del canale Cona AA a monte della nuova linea idraulica progettata. Mentre quest'ultima ed il volume di invaso sono stati dimensionati tenendo conto dell'incremento delle zone urbanizzate dell'area di Cona secondo le previsioni del PSC, non altrettanto si può dire per il canale di bonifica esistente che attraversa Cona e si riversa nella nuova linea. Una corretta individuazione delle eventuali necessità di ridimensionamento potranno essere valutate solamente quando saranno più dettagliate le modalità di scarico delle nuove aree nel Canale stesso. Tale argomento potrà essere quindi affrontato solamente in fase di predisposizione dei Piani di Intervento specifici.

## 1.2 Stima delle opere

Le opere progettate sono state oggetto di valutazione economica.

Di seguito si espone il quadro economico preliminare relativo all'intervento.

<b>PP CONA - OPERE DI BONIFICA IDRAULICA</b>		
<b>QUADRO ECONOMICO</b>		
<b>OGGETTO</b>	<b>Parziale (Euro)</b>	<b>Totale (Euro)</b>
<b>A LAVORI</b>		
<b>A1 APPALTO</b>		
A1.1 importo lavori	650,000.00	
<b>IMPORTO TOTALE LAVORI</b>		<b>650,000.00</b>
<b>B SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE</b>		
B3 ONERI ENTE APPALTANTE, 10% sull'importo di (A)		65,000.00
B4 IMPREVISTI		50,000.00
B5 IVA 20% su (A + B1 + B2)		130,000.00
<b>C IMPORTO TOTALE</b>	<b>EURO</b>	<b>895,000.00</b>