

# Comune di Bientina

Provincia di Pisa



## STUDIO IDROLOGICO-IDRAULICO DI SUPPORTO AL REGOLAMENTO URBANISTICO DEL COMUNE DI BIENTINA, AI SENSI DELLA L.R. 1/05 E DEL D.P.G.R. 26R/07

OGGETTO:

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

DATA:

GIUGNO 2009

ELABORATO :

REL

01

SCALA:

---



Studio di Ingegneria

Ing. Alessio Gabrielli

Via Donizetti, 52 - 50018 Scandicci (FI)

Tel. 055/7373454 - Fax. 055/7373453

E-mail: gabrielli@ocmail.it

Il Progettista

Ing. Alessio Gabrielli

## INDICE

<b>1. Introduzione</b>	<b>Pag. 3</b>
<b>2. Articolazione dello studio</b>	<b>Pag. 4</b>
<b>3. Inquadramento territoriale</b>	<b>Pag. 5</b>
<b>4. Modellistica idrologica</b>	<b>Pag. 10</b>
4.1 Introduzione	Pag. 10
4.2 Analisi del bacino e acquisizione dei dati idrologici disponibili	Pag. 10
4.3 Definizione dei parametri geomorfologici e pluviometrici	Pag. 15
4.4 Il modello idrologico Hec Hms	Pag. 20
4.5 Modello idrologico “laminato”	Pag. 23
4.6 Modello idrologico Fosso Fungaia	Pag. 33
4.7 Modello idrologico Fossa Nuova	Pag. 35
<b>5. Modellistica idraulica</b>	<b>Pag. 37</b>
5.1 Il moto vario	Pag. 37
5.1.1 <i>Approccio metodologico</i>	Pag. 37
5.1.2 <i>Caratterizzazione geometrica del modello</i>	Pag. 42
5.1.3 <i>Input idrologici, condizioni al contorno e opzioni di calcolo</i>	Pag. 43
<b>6. Modelli idraulici</b>	<b>Pag. 44</b>
6.1 <i>Canale Emissario Bientina</i>	Pag. 44
6.1.1 <i>Introduzione</i>	Pag. 45
6.1.2 <i>Modello idraulico Canale Emissario Bientina</i>	Pag. 45
6.1.2.1 <i>Caratterizzazione geometrica del modello</i>	Pag. 47
6.1.2.2 <i>Input idrologici e condizioni al contorno</i>	Pag. 51
6.1.3 <i>Definizione delle aree allagate</i>	Pag. 51
6.1.4 <i>Considerazioni sui risultati della modellazione</i>	Pag. 51
6.2 <i>Fosso Fungaia</i>	Pag. 52
6.2.1 <i>Introduzione</i>	Pag. 52
6.2.2 <i>Modello idraulico Fosso Fungaia</i>	Pag. 52
6.2.2.1 <i>Caratterizzazione geometrica del modello</i>	Pag. 52
6.2.2.2 <i>Input idrologici e condizioni al contorno</i>	Pag. 53
6.2.3 <i>Definizione delle aree allagate e considerazioni</i>	Pag. 54
6.3 <i>Fossa Nuova</i>	Pag. 55
6.3.1 <i>Introduzione</i>	Pag. 55
6.3.2 <i>Modello idraulico Fossa Fungaia</i>	Pag. 55
6.3.2.1 <i>Caratterizzazione geometrica del modello</i>	Pag. 55
6.3.2.2 <i>Input idrologici e condizioni al contorno</i>	Pag. 56
6.3.3 <i>Definizione delle aree allagate e considerazioni</i>	Pag. 57

<b>7. Considerazioni finali sul rischio idraulico per le singole U.T.O.E. comunali e prescrizioni per la fattibilità delle previsioni urbanistiche</b>	Pag. 58
7.1 U.T.O.E. 1 <i>“Bientina - Capoluogo”</i>	Pag. 58
7.2 U.T.O.E. 3 <i>“Area industriale di Pratogrande”</i>	Pag. 58
<b>8. Definizione delle carte dei battenti idraulici</b>	Pag. 60
<b>9. Proposta di aggiornamento del quadro conoscitivo del P.A.I.</b>	Pag. 60
<b>10. Conclusioni</b>	Pag. 61

## 1. INTRODUZIONE

Il presente studio è stato commissionato dal Comune di Bientina per valutare il rischio idraulico insistente sul territorio comunale, ai sensi della L.R. 1/2005 e del D.P.G.R. 26R/2007, lungo il reticolo idrografico adiacente alle Unità Territoriali Organiche Elementari, supportare la redazione delle Carte della Pericolosità Idraulica comunale e l'approvazione del Regolamento Urbanistico (adottato con D.C.C. n. 62 del 22/11/2008) e individuare gli interventi e/o le prescrizioni di carattere idraulico da attuare per la fattibilità delle previsioni urbanistiche. Contestualmente le verifiche idrauliche rappresentano la base per la proposta di aggiornamento del quadro conoscitivo del Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'autorità di Bacino del Fiume Arno, ai sensi dell'art. 32, relativamente al territorio comunale.

In particolare questo lavoro si propone di indagare le dinamiche idrauliche del Canale Emissario Bientina, del Fosso Fungaia e della Fossa Nuova, come esplicitamente richiesto dall'Autorità di Bacino del Fiume Arno e dal "Genio Civile" di Pisa.

Gli scenari presi in considerazione all'interno di questo studio corrispondono ad eventi di piena con tempi di ritorno cinquecentennale, duecentennale, centennale, trentennale e ventennale, attraverso i quali è possibile definire il livello di pericolosità idraulica sul territorio.

## 2. ARTICOLAZIONE DELLO STUDIO

Il presente studio si articola in più fasi.

Innanzitutto viene sviluppata una parte introduttivo-descrittiva in cui vengono analizzate le caratteristiche generali dei bacini studiati e del territorio comunale, elencati gli strumenti di conoscenza del territorio adottati nello studio, esposti i criteri della modellistica adottata, sia essa idrologica che idraulica, compresa la descrizione del funzionamento dei codici di calcolo utilizzati nella modellazione.

Di seguito sono trattati singolarmente i modelli idrologici elaborati per ogni corso d'acqua, con particolare riferimento al modello idrologico del Canale Emissario Bientina, del quale è stato studiato tutto il bacino idrografico fino a "la Botte", e dal quale sono stati poi estratti, o rielaborati, anche i dati idrologici relativi al Fosso Fungaia e alla Fossa Nuova.

Successivamente sono descritti i modelli idraulici in moto vario elaborati per i tre corsi d'acqua in oggetto; per ciascuno di essi vengono approfondite la ricostruzione geometrica del modello, la relativa idrologia (input idrologici), le condizioni ed i parametri adottati nella modellazione, e, infine, la rappresentazione analitica e grafica dei risultati.

Passato in rassegna ciascun corso d'acqua, vengono esposti i criteri di rappresentazione dei risultati, ovvero il tracciamento delle aree allagate allo stato attuale per i differenti scenari di rischio studiati.

Infine è verificata, per ogni U.T.O.E., la modalità di messa in sicurezza grazie ad eventuali interventi da attuare o prescrizioni progettuali da includere per la fattibilità, dal punto di vista idraulico, delle previsioni urbanistiche in esse ricadenti.

A supporto di quanto in seguito trattato, costituiscono parte integrante del presente studio le 9 tavole e gli allegati annessi.

### 3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il Comune di Bientina si estende per una superficie di circa 30 kmq su un territorio prevalentemente pianeggiante, all'interno del Padule del Bientina, area bonificata a metà Ottocento grazie al prosciugamento del Lago di Bientina, che si estendeva oltre l'attuale territorio comunale, la deviazione del Canale Emissario Bientina, allora Canale Imperiale, e la contestuale realizzazione della cosiddetta "Botte", condotto sotterraneo lungo circa 255 mt che consente al canale di sottopassare il fiume Arno e proseguire autonomamente verso il mare.

Pertanto il territorio comunale, soprattutto nella parte più a Nord, si presenta assai depresso in termini altimetrici, e caratterizzato da un'elevata pericolosità idraulica e rischio di ristagno; fenomeni esondativi e di ristagno sono assai frequenti, nelle aree a Nord, anche per eventi meteorici non eccezionali.

Nel Padule sono presenti, al fine di evitare il ristagno e favorire il deflusso dei volumi esondati, alcuni impianti idrovori.

All'interno di questo territorio, è nata l'Oasi di Tanali, prima Area Naturale Protetta di Interesse Locale della Regione Toscana, istituita dal Comune di Bientina nel 1995 ed oggi comprendente porzioni ricadenti anche sui comuni adiacenti.

Il Comune di Bientina confina, orientativamente, a Nord-Ovest con Capannori, a Nord-Est con Castelfranco di Sotto, ad Ovest con Buti, ad Est con Santa Maria a Monte, a Sud-Ovest con Vico Pisano e a Sud con Calcinaia.

Esso è attraversato, in direzione Nord-Sud, dal Canale Emissario Bientina, fino al confine col territorio del Comune di Buti, dopodiché vi si affaccia solo in sponda sinistra, fintanto che il corso d'acqua, deviando a monte del capoluogo, si allontana dal territorio comunale; tale corso d'acqua presenta un bacino idrografico, in corrispondenza de "la Botte", pari a circa 320 kmq.

Oltre al Canale Emissario Bientina, il territorio comunale è attraversato da una numerosa serie di canali artificiali di varie dimensioni che convogliano le acque afferenti al Padule verso il Canale Emissario; alcuni di questi canali coincidono con corsi d'acqua che si dipartono dai versanti, altri sono invece veri e propri collettori artificiali realizzati al fine di regimare il deflusso delle acque nel Padule.

In particolare si individuano in sinistra idraulica, da Nord verso Sud, il Rio Ponticelli, il Rio Vaiano (o Fosso di Confine), il Fosso Ranocchiaia, il Fosso Presellina, il Fosso Emissario, il Fosso della Grondaccia, il Fosso Fungaia (che scorre a Nord dell'abitato di Bientina e si "intuba" tornando a cielo aperto prima di immettersi nel Canale Emissario, già nel Comune di Buti), la Fossa Nuova (che attraversa l'abitato di Bientina alternando tratti a cielo aperto e tratti intubati, fungendo da principale collettore degli scarichi urbani), e, in destra idraulica, il Fosso "di Confine", collettore che scorre parallelo al corso d'acqua principale e raccoglie le acque di numerosi corsi d'acqua minori quali, ad esempio, il Fosso Tiglio, il Fosso Tanali, il Fosso Valigatti.

E' importante sottolineare come tutti questi corsi d'acqua spesso non abbiano nome unico, pertanto è possibile confondere un corso d'acqua per un altro; inoltre, il reticolo di "acque basse" in oggetto differisce se confrontato tra quello riportato nella Cartografia Tecnica Regionale rispetto, ad esempio, a quello individuato dalla "Regionalizzazione delle Portate di Piena in Toscana (AlTo)".

Come anticipato, anche dopo la bonifica del Lago di Bientina, l'intero Padule presenta notizie storiche di esondazioni anche importanti, come riportato anche negli allegati al Piano per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Le aree maggiormente a rischio sono quelle poste nella parte di monte del territorio comunale di Bientina e quelle in destra idraulica rispetto al Canale Emissario.

Le figure seguenti mostrano le perimetrazioni del P.A.I.

Nelle Figg. 1 e 2 sono riportate le carte "Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica - livello di sintesi 1:25.000" stralci n. 48 e n. 63 allegati al P.A.I. relativamente ad un'ampia porzione del territorio di Bientina, e nella Tab. 1 sono riportate le superfici dei bacini idrografici dei corsi d'acqua studiati.

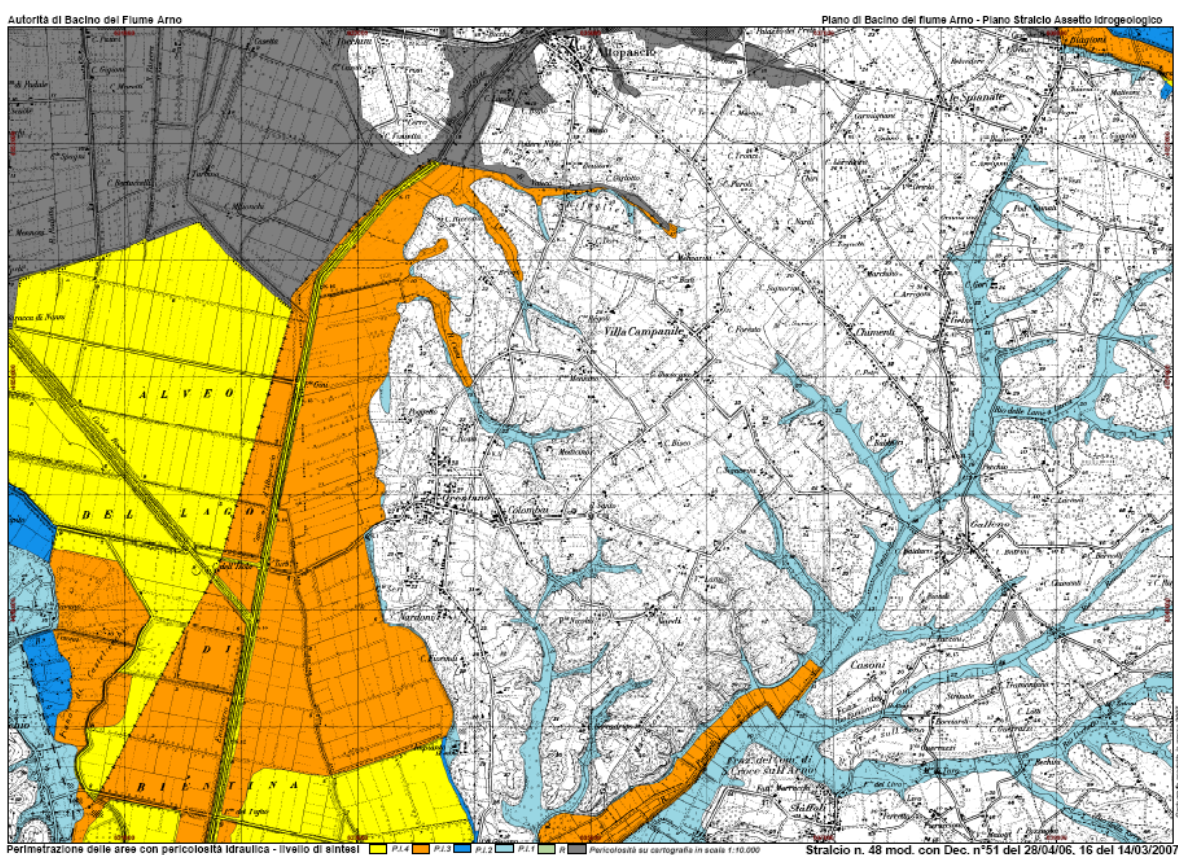


Fig. 1 - PAI ("Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica" - livello di sintesi - scala 1:25.000 - stralci n. 48)

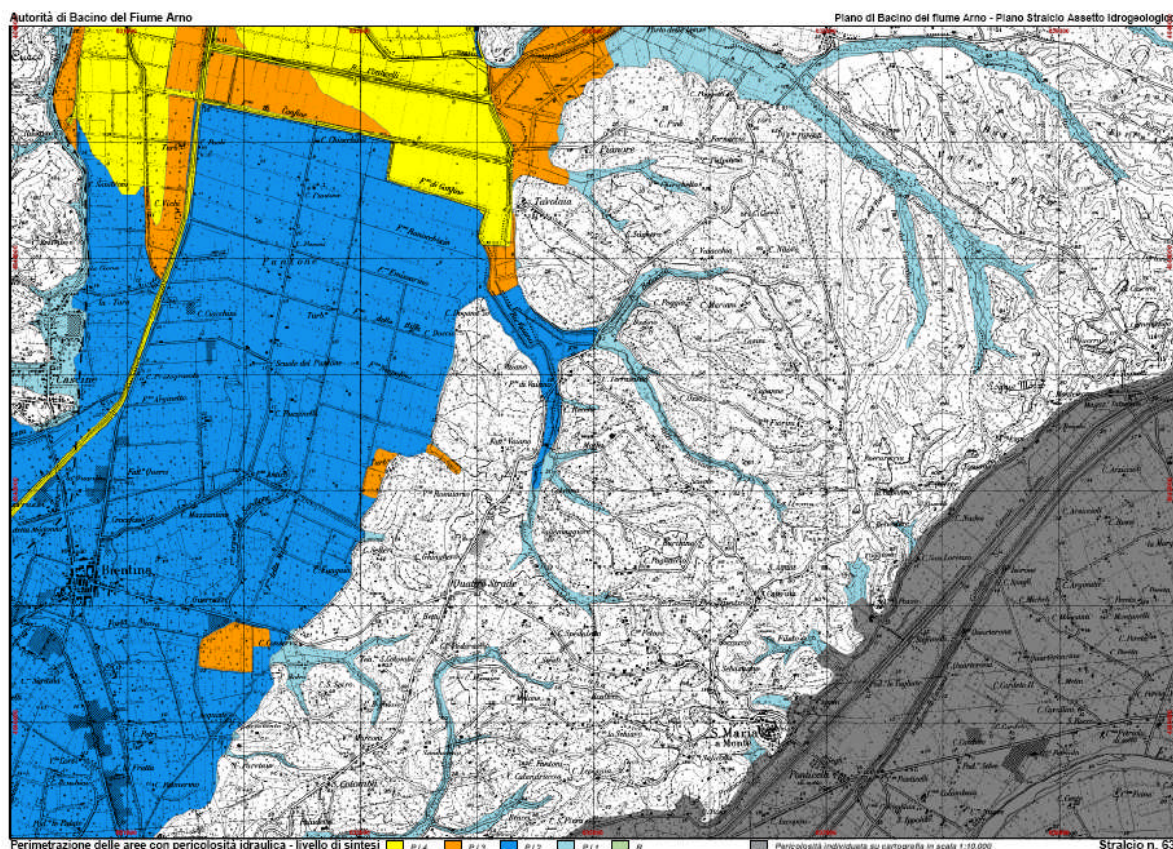


Fig. 2 - PAI (“Perimetrazione delle aree con pericolosità idraulica” - livello di sintesi - scala 1:25.000 - stralcio n. 63)

<i>Corso d’acqua</i>	<i>Bacino idrografico considerato [km<sup>2</sup>]</i>
Canale Emissario Bientina (a “la Botte”)	319
Fosso Fungaia	1.75
Fossa Nuova	6.7

Tab.. 1 - Estensione dei bacini idrografici studiati

Sul territorio in esame ricadono importanti previsioni di interventi strutturali a livello di Piano di Bacino; in particolare è prevista la realizzazione di un'unica grande area ad esondazione controllata (cassa d’espansione) che consenta di regimare e limitare le dinamiche che attualmente coinvolgono le aree interessate da esondazione naturale.

Questa previsione è evidenziata nelle seguenti Figg. 3 e 4, tratte dal Piano Stralcio Rischio Idraulico dell’Autorità di Bacino del Fiume Arno.



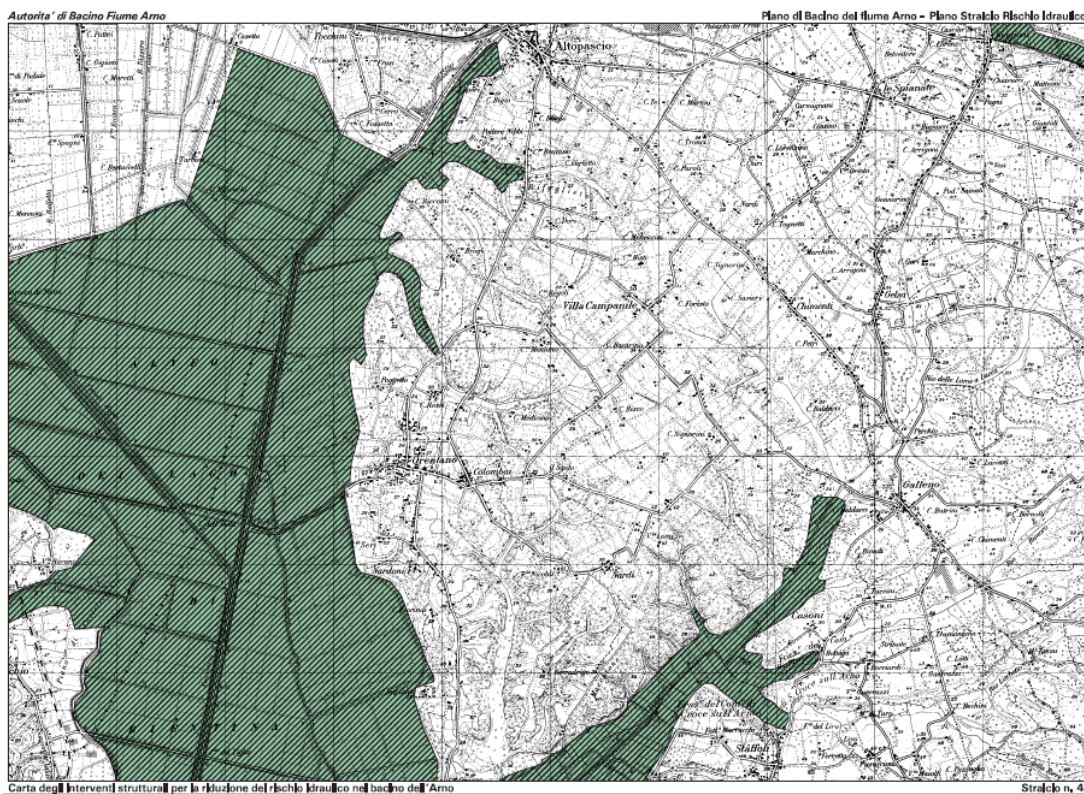


Fig. 3 - Piano Stralcio Rischio Idraulico (“Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino del fiume Arno” - scala 1:25.000 - stralcio n. 48)

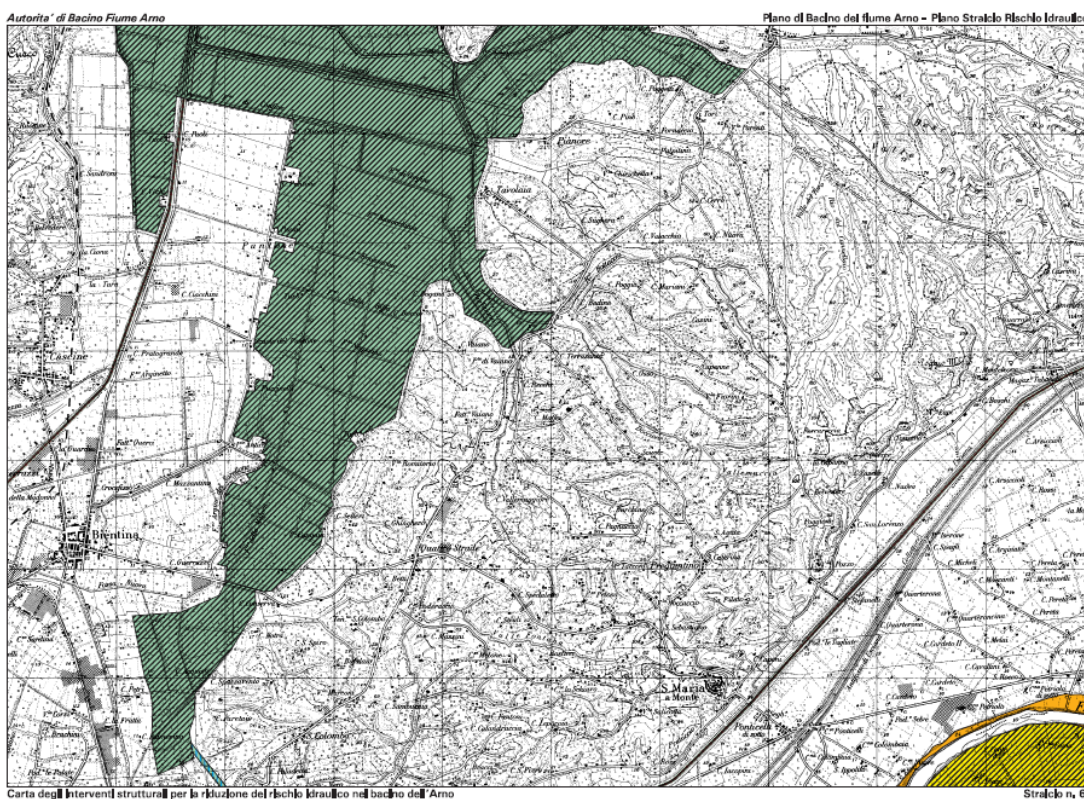


Fig. 4 - Piano Stralcio Rischio Idraulico (“Carta degli interventi strutturali per la riduzione del rischio idraulico nel bacino del fiume Arno” - scala 1:25.000 - stralcio n. 63)

Le U.T.O.E. comunali risultano essere le seguenti:

- UTOE 1: Bientina capoluogo
- UTOE 2: Area industriale dell'ex alveo dell'Arno
- UTOE 3: Area industriale di Pratogrande
- UTOE 4: Quattro Strade
- UTOE 5: Santa Colomba

L'UTOE n. 1 del capoluogo è interessata dal passaggio sia del Fosso Fungaia sia della Fossa Nuova, mentre è più distante dal Canale Emissario.

L'UTOE n. 2 è rappresentata dall'area industriale, ormai quasi satura, dell'ex alveo dell'Arno, e si sviluppa lungo la provinciale che fa da confine col Comune di Calcinaia; dal punto di vista del reticolo idraulico interferente, non si individuano particolari corsi d'acqua se non fossi di campo e/o fossi di guardia.

L'UTOE n. 3 coincide con l'area industriale di Pratogrande, di futura espansione, a Nord del centro abitato di Bientina e in adiacenza con la provinciale n. 3 Bientina-Altopascio e il Canale Emissario Bientina; tale area, posta ai margini del Padule, appare quella di maggior interesse dal punto di vista idraulico, anche per la presenza di numerosi canali e fossi che la attraversano.

Le UTOE n. 4 e n. 5 non assumono particolare rilevanza dal punto di vista del rischio idraulico in quanto collocate in zona collinare e caratterizzate da reticolo idraulico quasi assente.

L'intero territorio comunale, comprese le citate UTOE, è rappresentato nella Tav. 1 allegata al presente lavoro.

## 4. MODELLISTICA IDROLOGICA

### 4.1 Introduzione

La modellistica idrologica ha lo scopo di generare, per tutte le sezioni di interesse del reticolo idrografico considerato, gli idrogrammi di piena per assegnati tempi di ritorno.

La modellistica idrologica, nel presente studio, si sviluppa, in sintesi, attraverso la preliminare acquisizione di dati idrologici preesistenti e riconosciuti (ALTo 2007), sotto alcune ipotesi che ne giustificano la scelta e l'applicazione, e la successiva rielaborazione mediante l'utilizzo del codice di calcolo HEC HMS 3.3.

L'assenza di una sezione di ALTo parametrizzata in corrispondenza della sezione di apertura del modello idraulico del Canale Emissario Bientina successivamente descritto, e, allo stesso modo, l'assenza di dati idrologici completi e riconosciuti o di studi effettuati sul medesimo bacino, hanno determinato l'esigenza di studiare tutto il bacino idrografico del Canale Emissario fino a "la Botte", pertanto di realizzare uno studio di area vasta, con una modellizzazione ampia e articolata, per quanto semplificata, di tutto il sistema del Padule del Bientina.

A causa della mancanza di dati idrologici di riferimento, si è optato per adottare un sistema di calcolo che sfruttasse al massimo i dati di ALTo, disponibili solo per parte del reticolo di "acque alte", e che, in un certo senso, fosse basato sui criteri di elaborazione di ALTo stesso.

Questo percorso ha permesso di individuare gli idrogrammi da inserire come input nelle modellazioni idrauliche del Canale Emissario Bientina, e, allo stesso tempo, ha consentito di calcolare gli idrogrammi necessari per i modelli idraulici del Fosso Fungaia e della Fossa Nuova.

Gli idrogrammi risultanti dal modello idrologico di seguito descritto sono riferiti, come anticipato, a tempi di ritorno pari a 20, 30, 100, 200 e 500 anni.

### 4.2 Analisi del bacino e acquisizione dei dati idrologici disponibili

Innanzitutto è stata condotta un'analisi conoscitiva dell'intero bacino del Canale Emissario Bientina fino alla sezione de "la Botte", in corrispondenza della quale il corso d'acqua si interra e sottopassa il fiume Arno.

Il bacino, complessivamente, ha una superficie di circa 320 kmq, e ricade sui territori comunali di Capannori, Porcari, Montecarlo, Altopascio, Castelfranco di Sotto, Bientina, Buti, Santa Maria a Monte, Vico Pisano e Calcinaia.

Il Canale Emissario Bientina nasce dalla confluenza tra il Canale Rogio e il Rio Navareccia sul territorio di Bientina, quasi all'estremità Nord.

Il bacino di monte, in corrispondenza di suddetta confluenza, presenta un superficie di circa 173 kmq.

A loro volta, il Canale Rogio e il Rio Navareccia, presentano affluenti anche di dimensioni rilevanti, quali ad esempio il Rio Leccio, la Fossa Nuova e Rio Casale (da non confondere con la Fossa Nuova che attraversa l'abitato di Bientina, appositamente studiata), il Torrente Visona di Compito e altri.

Da quando il Canale Emissario Bientina diviene asta principale, esso stesso riceve le acque, sia in destra che in sinistra idraulica, di numerosi affluenti, come detto, di cui alcuni assai rilevanti (Rio Ponticelli, Rio Vaiano, Fosso di Confine - quello in

destra idraulica, anche in questo caso da non confondere col Rio Vaiano, spesso indicato, come nella C.T.R., quale Fosso di Confine - Fosso Campomaggio e altri).

Complessivamente, e pur sempre semplificando il reticolo, possono essere individuati 31 diversi sottobacini che vanno a costituire l'interno bacino del Canale Emissario fino a "la Botte"; il reticolo preso a riferimento è quello indicato da AlTo (agg. 2007), precisamente estratto dagli *shape bac\_abas.shp* e *bac\_arno1.shp*, in molti casi, purtroppo, divergente con il reticolo riportato sulla Cartografia Tecnica Regionale.

I contorni dei sottobacini sono stati rielaborati a partire da quelli messi a disposizione dalla Regione Toscana, basati su un griglia a maglie 10×10 mt.

Nell'ottica di un'analisi idrologica di "area vasta" possono ritenersi accettabili le semplificazioni su bacini e reticolo.

Nel caso di verifiche su scala più ridotta (come per Fosso Fungaia e Fossa Nuova), è tuttavia necessario approfondire l'analisi e definire l'esatto reticolo locale.

La seguente tabella elenca i citati sottobacini, che costituiscono la base del modello idrologico, e le relative superfici drenanti.

BACINO IDROGRAFICO	SUPERFICIE (kmq)
FOSSA NUOVA E RIO CASALE	51.623
RIO LECCIO	20.302
TORRENTE TAZZERA	5.220
RIO SAN GALLO	7.751
RIO NAVARECCIA	24.695
RIO PONTICELLI	54.973
RIO VAIANO	11.408
MASSA MACINAIA	8.396
VISONA DI COMPITO MONTE	3.945
VISONA DI COMPITO	12.097
FOSSO PALAIA	1.975
FOSSO CASTELVECCHIO	8.013
FOSSO TIGLIO	2.512
FOSSO TANALI	2.606
RIO VALIGATTI	2.973
RIO MAGNO	12.103
RIO PIANTONETA	1.096
RIO GRANDE O DELLA BUCA	6.124
CANALE ROGIO MONTE	21.368
RIO FRIZZONE	7.080
ABR DX	3.309
CANALE ROGIO	0.936
FOSSO CONFINE	8.845
FOSSO CAMPOMAGGIO	2.381
RIO CIANI	9.537
ABB SX 1	2.671
ABB SX 2	4.411
FOSSO FUNGAIA	4.875
FOSSA NUOVA	6.708
ABB SX 3	4.522
CANALE EMISSARIO BIENTINA	4.613

Tab. 2 - Estensione dei singoli sottobacini costituenti il bacino idrografico del Canale Emissario Bientina

Alcuni di questi sottobacini sono stati indicati con acronimi in quanto non necessariamente coincidenti con un unico corso d'acqua; piuttosto sono legati a un sottosistema di più fossi, o, in alcuni casi, il nome non risulta disponibile. Quindi *ABR DX* sta per "Acque Basse Rogio destra", mentre *ABB SX 1, 2 e 3* sta per "Acque Basse Bientina sinistra", e gli stessi bacini "Canale Rogio Monte" e "Visona di Compito Monte" comprendono anche corsi d'acqua minori non meglio identificabili.

Il sistema del Canale Emissario Bientina, così sintetizzato, è rappresentato nella Tav. 2 allegata al presente lavoro.

Come indicato nella Tav. 2 allegata, alcuni di questi corsi d'acqua, in corrispondenza dell'immissione in un corso d'acqua di ordine superiore o direttamente nell'asta principale, sono parametrizzati nel modello di ALTo, pertanto direttamente disponibili per l'elaborazione idrologica.

Alcuni di essi, invece, non sono parametrizzati in corrispondenza di confluenze con aste di ordine superiore ma la sezione disponibile in AlTo non dista molto da quella dell'effettiva confluenza, perciò sono stati considerati alla stregua dei precedenti, previo adeguamento dell'area di drenaggio.

In entrambi i casi le sezioni a disposizione sono individuate nella Tav. 2.

I restanti sottobacini, che coincidono prevalentemente col sistema di acque basse, non risultano parametrizzati, pertanto si è reso necessario valutare le singole caratteristiche idrologiche di ciascuno di essi.

L'acquisizione dei dati di AlTo si esplica con l'acquisizione dei file *\*.idr* contenenti i parametri geomorfologici e pluviometrici di ciascun sottobacino.

La Tab. 3 mostra i suddetti file *\*.idr*; le superfici indicate sono frutto dell'analisi dei bacini di cui sopra, mentre, per i sottobacini non "noti", le caselle degli altri parametri risultano vuote.

Le valutazioni che portano alla definizione dei parametri mancanti sono oggetto dei successivi paragrafi.

<i>Corso d'acqua</i>	<i>Area</i> [kmq]	<i>la</i> [mm]	<i>Ks</i> [mm/h]	<i>n</i>	<i>k</i> [h]	<i>a1</i>	<i>n1</i>	<i>m1</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>m</i>
FOSSA NUOVA E RIO CASALE	51.623	9.812	0.458	2.136	1.489	24.785	0.475	0.17	22.449	0.360	0.208
RIO LECCIO	20.302	6.798	0.349	2.483	0.841	25.668	0.544	0.15	23.219	0.320	0.194
TORRENTE TAZZERA	5.220	4.532	0.000	2.240	0.330	25.738	0.578	0.14	23.348	0.306	0.187
RIO SAN GALLO	7.751	8.580	0.310	2.017	0.433	25.691	0.580	0.14	23.266	0.306	0.188
RIO NAVARECCIA	24.695	5.720	0.077	2.725	0.468	25.654	0.539	0.15	23.618	0.304	0.189
RIO PONTICELLI	54.973	17.402	0.026	2.125	0.835	23.806	0.354	0.17	22.832	0.305	0.196
RIO VAIANO	11.408	11.000	0.370	2.055	0.608	23.773	0.352	0.17	22.798	0.305	0.196
MASSA MACINAIA	8.396	14.784	0.236	2.527	0.580	24.881	0.496	0.18	23.938	0.332	0.195
VISONA DI COMPITO MONTE	3.945	12.467	0.258	3.580	0.189	25.372	0.509	0.17	24.186	0.323	0.193
VISONA DI COMPITO	12.097	20.042	0.000	2.650	0.605	24.438	0.387	0.18	23.136	0.378	0.201
FOSSO PALAIA	1.975	9.306	0.000	2.403	0.239	25.849	0.479	0.16	24.170	0.329	0.193
FOSSO CASTELVECCHIO	8.013	20.734	0.000	2.491	0.564	24.029	0.327	0.19	22.662	0.397	0.204
FOSSO TIGLIO	2.512	17.996	0.000	2.168	0.317	24.051	0.335	0.19	22.800	0.376	0.202
FOSSO TANALI	2.606	14.894	0.000	2.625	0.216	24.068	0.339	0.18	22.834	0.372	0.202
RIO VALIGATTI	2.973	14.322	0.000	2.206	0.287	23.964	0.323	0.19	22.643	0.394	0.205
RIO MAGNO	12.103	16.082	0.000	2.695	0.566	24.103	0.314	0.19	22.884	0.397	0.206
RIO PIANTONETA	1.096	9.900	0.000	2.826	0.202	25.864	0.334	0.18	26.020	0.285	0.201
RIO GRANDE O DELLA BUCA	6.124	17.446	0.000	2.393	0.369	25.769	0.333	0.18	25.850	0.291	0.201
CANALE ROGIO MONTE	21.368										
RIO FRIZZONE	7.080										
ABR DX	3.309										
CANALE ROGIO	0.936										
FOSSO CONFINE	8.845										
FOSSO CAMPOMAGGIO	2.381										
RIO CIANI	9.537										
ABB SX 1	2.671										
ABB SX 2	4.411										
FOSSO FUNGAIA	4.875										
FOSSA NUOVA	6.708										
ABB SX 3	4.522										
CANALE EMISSARIO BIENTINA	4.613										

Tab. 3 - Parametri geomorfologici e pluviometrici dei bacini noti (ALTo 2007)

### 4.3 Definizione dei parametri geomorfologici e pluviometrici

I parametri necessari per la completa definizione dei sottobacini del modello idrologico sono parametri di tipo geomorfologico ( $I_a$ ,  $K_s$ ,  $n$ ,  $k$ ) e pluviometrico ( $a$ ,  $n$  e  $m$ , e  $a1$ ,  $n1$  e  $m1$  delle curve di possibilità pluviometrica).

Il parametro  $I_a$  indica l'assorbimento durante le prime fasi dell'evento meteorico [mm], mentre il parametro  $K_s$  indica l'infiltrazione a saturazione [mm/h]. Questi due parametri, utilizzati, secondo il modello di ALTo, nella determinazione del contributo netto di pioggia alla formazione del deflusso sul reticolo, secondo la relazione:

$$I_a(t) = I_a(0) + \int_0^{t_a} (P(\tau) - K_s) d\tau$$

dove, per  $t < t_a$ ,  $P_n(t) = 0$  e  $I_a(t) = I_a$ , e, per  $t \geq t_a$ ,  $P_n(t) = P(t) - K_s$ ,

sono legati alle caratteristiche litologiche del bacino e all'uso del suolo.

Come in ALTo, anche in questo lavoro il parametro  $I_a$ , per i bacini non noti, è definito attraverso la relazione seguente:

$$I_a = 3.3 + 22 \cdot (\% \text{Sup.boscata}),$$

in cui la frazione di superficie boscata è stata ricavata dalla C.T.R. 1:10.000, con riferimento ai layer 702 e 714.

Da una verifica dei valori di  $I_a$  su bacini noti si osserva un'ottima attinenza rispetto ai valori di  $I_a$  di ALTo, indicati nella Tab. 3.

I parametri così ottenuti sono riportati in Tab. 4.

Per quanto riguarda l'infiltrazione a saturazione  $K_s$ , è stata fatta un'assunzione a favore di sicurezza, supportata anche dai valori forniti da ALTo, ovvero è stato assegnato il valore di 0 a tutti i  $K_s$  dei bacini non noti.

In effetti già per alcuni bacini, come mostra la Tab. 3, anche ALTo assegna a  $K_s$  valore nullo.

Il codice di calcolo ALTo (Regione Toscana, 1998) consente, come detto, di valutare, in corrispondenza di tutte le sezioni idrauliche del reticolo del Fiume Arno di cui sono stati calcolati i parametri, le portate di piena relative ad eventi meteorici per qualunque tempo di ritorno.

La modellistica idrologica di ALTO si fonda su un approccio rigoroso e condiviso. Tale approccio si basa sulla trasformazione afflussi-deflussi ottenuta tramite la teoria dell'Idrogramma Istantaneo Unitario o IUH, i cui parametri vengono determinati sulla base delle caratteristiche geomorfologiche del bacino attraverso una procedura di regionalizzazione ottenendo il cosiddetto Idrogramma Unitario Geomorfologico o GIUH. L'input meteorico è schematizzato mediante uno "ietogramma sintetico" la cui frequenza viene stimata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ricavate con l'adattamento della distribuzione TCEV (Two Components Extreme Value).



Il modello di trasferimento adottato è quello dell'idrogramma unitario di Nash del tipo  $\Gamma(n,k)$ , dove  $n$  e  $k$  rappresentano rispettivamente i parametri di forma e di scala, e che ha la seguente espressione:

$$U(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{(n-1)} e^{-\left(\frac{t}{k}\right)}$$

in cui i parametri  $n$  e  $k$ , i quali hanno le seguenti formulazioni:

$$n = 3.29 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.78} R_l^{0.07}$$

$$k = 0.7 \left[\frac{R_a}{R_b R_l}\right]^{0.48} \frac{L_c}{v}$$

dipendono a loro volta da  $R_b$ , rapporto di biforcazione,  $R_a$ , rapporto di area,  $R_l$ , rapporto di lunghezza,  $L_c$ , lunghezza del canale principale, e  $v$ , fattore cinematico legato alla velocità della piena; questi ultimi parametri geomorfologici possono essere calcolati sulla base della gerarchizzazione del reticolo idrografico proposta da Strahler.

Pur non potendo, nella modellazione col codice di calcolo HEC HMS 3.3, adottare il metodo dell'idrogramma istantaneo unitario di Nash, si è reso necessario valutare per tutti i sottobacini anche i 2 parametri  $n$  e  $k$ , per poter utilizzare singolarmente le elaborazioni di AlTo e tarare con i relativi idrogrammi il modello idrologico di HMS.

In AlTo il tempo di ritardo è ottenuto attraverso la relazione:

$$Tl = 0.42 \left(\frac{R_b}{R_a}\right)^{0.3} R_l^{-0.41} \frac{Lmc}{A^{0.075}},$$

dove  $R_a$ ,  $R_b$  ed  $R_l$  sono i rapporti di Horton,  $Lmc$  la lunghezza complessiva del reticolo [kmq] e  $A$  la superficie del bacino [kmq].

Nel nostro caso, risultando del tutto improbabile gerarchizzare il reticolo secondo Strahler, specialmente nei bacini non noti ("acque basse"), e definire i rapporti di Horton, e quindi ricavare i valori di  $n$  e  $k$ , si è scelto di assegnare, come lo stesso AlTo propone, il valore standard di 2.5 al parametro  $n$ , e ricavare il parametro  $k$  dalla relazione  $Tl = n \times k$ , dove  $Tl$  indica il tempo di ritardo e viene preliminarmente ottenuto dalla relazione:

$$T_l = 0.32A^{0.5},$$

in funzione della sola area del bacino, espressa in kmq.

Anche nel caso di  $T_l$ , come per il parametro  $I_a$ , è stata riscontrata una buona aderenza tra i valori originari di AlTo e i medesimi, se ricalcolati con la formula in funzione dell'area; per lo più l'errore si manifesta per difetto, ovvero mostrando tempi di ritardo più brevi rispetto alla "Regionalizzazione".

I parametri così stimati, benché non propriamente legati alla gerarchizzazione del reticolo idrografico, possono essere definiti "quasi geomorfologici".

I restanti parametri pluviometrici (coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica) sono stati calcolati utilizzando la procedura dei poligoni di Thiessen, o dei topoietai.

Di ciascuna stazione pluviometrica ricadente sul bacino del Canale Emissario Bientina, o prossima ad esso, è stata calcolata l'area di influenza, e di conseguenza, per ciascun sottobacino non noto, in proporzione alle aree di influenza delle singole stazioni, sono stati ricavati i coefficienti  $a$ ,  $n$  e  $m$ , e  $a1$ ,  $n1$  e  $m1$  delle linee segnalatrici.

Le stazioni pluviometriche utilizzate sono le medesime individuate dalla "Regionalizzazione", con dati aggiornati al 2007.

La Fig. 5 mostra l'applicazione del metodo di Thiessen alle 9 stazioni pluviometriche influenti sull'intero bacino.

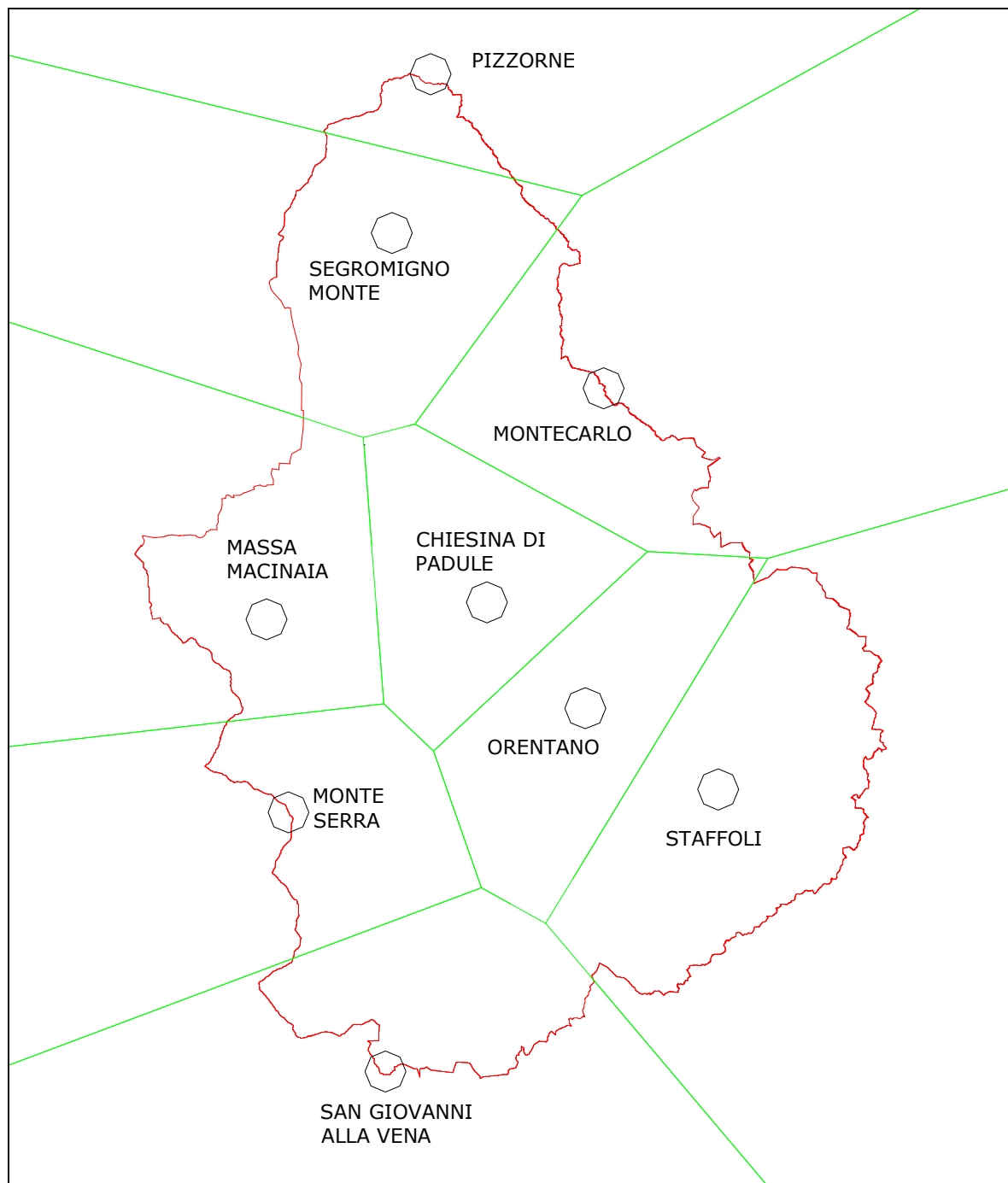


Fig. 5 - Metodo dei poligoni di Thiessen applicato alle stazioni pluviometriche ricadenti sul bacino del Canale Emissario Bientina.

Alla luce di queste considerazioni, risulta adesso possibile riproporre la Tab. 3 con l'inserimento dei dati mancanti.

<i>Corso d'acqua</i>	<i>Area</i> [kmq]	<i>la</i> [mm]	<i>Ks</i> [mm/h]	<i>n</i>	<i>k</i> [h]	<i>a1</i>	<i>n1</i>	<i>m1</i>	<i>a</i>	<i>n</i>	<i>m</i>
FOSSA NUOVA E RIO CASALE	51.623	9.812	0.458	2.136	1.489	24.785	0.475	0.17	22.449	0.360	0.208
RIO LECCIO	20.302	6.798	0.349	2.483	0.841	25.668	0.544	0.15	23.219	0.320	0.194
TORRENTE TAZZERA	5.220	4.532	0.000	2.240	0.330	25.738	0.578	0.14	23.348	0.306	0.187
RIO SAN GALLO	7.751	8.580	0.310	2.017	0.433	25.691	0.580	0.14	23.266	0.306	0.188
RIO NAVARECCIA	24.695	5.720	0.077	2.725	0.468	25.654	0.539	0.15	23.618	0.304	0.189
RIO PONTICELLI	54.973	17.402	0.026	2.125	0.835	23.806	0.354	0.17	22.832	0.305	0.196
RIO VAIANO	11.408	11.000	0.370	2.055	0.608	23.773	0.352	0.17	22.798	0.305	0.196
MASSA MACINAIA	8.396	14.784	0.236	2.527	0.580	24.881	0.496	0.18	23.938	0.332	0.195
VISONA DI COMPITO MONTE	3.945	12.467	0.258	3.580	0.189	25.372	0.509	0.17	24.186	0.323	0.193
VISONA DI COMPITO	12.097	20.042	0.000	2.650	0.605	24.438	0.387	0.18	23.136	0.378	0.201
FOSSO PALAIA	1.975	9.306	0.000	2.403	0.239	25.849	0.479	0.16	24.170	0.329	0.193
FOSSO CASTELVECCHIO	8.013	20.734	0.000	2.491	0.564	24.029	0.327	0.19	22.662	0.397	0.204
FOSSO TIGLIO	2.512	17.996	0.000	2.168	0.317	24.051	0.335	0.19	22.800	0.376	0.202
FOSSO TANALI	2.606	14.894	0.000	2.625	0.216	24.068	0.339	0.18	22.834	0.372	0.202
RIO VALIGATTI	2.973	14.322	0.000	2.206	0.287	23.964	0.323	0.19	22.643	0.394	0.205
RIO MAGNO	12.103	16.082	0.000	2.695	0.566	24.103	0.314	0.19	22.884	0.397	0.206
RIO PIANTONETA	1.096	9.900	0.000	2.826	0.202	25.864	0.334	0.18	26.020	0.285	0.201
RIO GRANDE O DELLA BUCA	6.124	17.446	0.000	2.393	0.369	25.769	0.333	0.18	25.850	0.291	0.201
CANALE ROGIO MONTE	21.368	7.174	0.000	2.500	0.647	23.484	0.523	0.15	25.982	0.337	0.187
RIO FRIZZONE	7.080	3.448	0.000	2.500	0.373	23.973	0.501	0.16	26.062	0.297	0.195
ABR DX	3.309	6.129	0.000	2.500	0.255	24.898	0.579	0.14	26.604	0.321	0.193
CANALE ROGIO	0.936	3.300	0.000	2.500	0.135	25.467	0.602	0.14	26.854	0.315	0.195
FOSSO CONFINE	8.845	4.335	0.000	2.500	0.416	24.041	0.484	0.15	25.117	0.294	0.185
FOSSO CAMPOMAGGIO	2.381	8.716	0.000	2.500	0.216	26.800	0.515	0.15	27.278	0.269	0.190
RIO CIANI	9.537	6.583	0.000	2.500	0.432	23.273	0.421	0.15	24.182	0.283	0.180
ABB SX 1	2.671	3.518	0.000	2.500	0.229	23.868	0.446	0.15	24.183	0.284	0.182
ABB SX 2	4.411	8.713	0.000	2.500	0.294	25.130	0.496	0.15	24.369	0.284	0.187
FOSSO FUNGAIA	4.875	6.592	0.000	2.500	0.309	26.435	0.509	0.15	26.753	0.272	0.189
FOSSA NUOVA	6.708	7.529	0.000	2.500	0.363	26.800	0.515	0.15	27.278	0.269	0.190
ABB SX 3	4.522	3.682	0.000	2.500	0.298	26.800	0.515	0.15	27.278	0.269	0.190
CANALE EMISSARIO BIENTINA	4.613	3.300	0.000	2.500	0.301	26.018	0.494	0.15	26.591	0.272	0.188

Tab. 4 - Parametri geomorfologici e pluviometrici dei 31 sottobacini costituenti il bacino del Canale Emissario Bientina

#### 4.4 Il modello idrologico HEC HMS

Il modello idrologico ricostruito col codice di calcolo HEC HMS 3.3 si basa sulla rappresentazione schematica del bacino e delle aste fluviali principali secondo lo schema riportato in Tav. 2.

La procedura di modellazione è costituita da più step successivi; innanzitutto sono stati selezionati i metodi di calcolo, ovvero il modello meteorologico, il metodo di valutazione delle perdite e di trasformazione afflussi-deflussi, il metodo di trasferimento lungo le aste, le tarature.

Di seguito sono state effettuate una serie di elaborazioni volte a determinare la durata critica di precipitazione per un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni, con riferimento alla sezione di apertura del modello idraulico successivamente descritto, in corrispondenza con la confluenza tra Canale Rogio e Rio Navareccia e, una volta determinata tale durata, sono stati elaborati anche i modelli per gli altri tempi di ritorno.

A ciascun bacino sono stati attribuite esattamente le curve cumulate di pioggia e l'altezza massima di precipitazione determinate da preliminari elaborazioni dei parametri di Tab. 4 col codice ALTo.

Lo schema "meteorologico" adottato è quello dei "Gage Weights" di HMS.

Questa scelta è stata effettuata nell'ottica, come detto, di utilizzare quanto più possibile i dati "regionalizzati".

La valutazione delle perdite ("Loss Method") è stata affidata all'assegnazione, per ciascun sottobacino, dei parametri  $I_a$  e  $K_s$ , mentre come metodo di trasformazione, non essendo disponibile su HMS il metodo di Nash utilizzato da ALTo, è stato adottato il metodo dell'idrogramma unitario SCS, applicabile al solo inserimento del tempo di ritardo; sono stati, perciò, utilizzati i valori di  $T_i$  originari di ALTo, laddove disponibili, o quelli calcolati con la formula in funzione della superficie del bacino, di cui al precedente paragrafo.

Infine il trasferimento lungo le aste fluviali è stato simulato assegnando soltanto il "Lag Time", ovvero il tempo effettivo di trasferimento lungo un'asta di una determinata lunghezza.

La velocità di scorrimento della corrente di piena è stata valutata in circa 1.5 m/s, pertanto il ritardo di conseguenza.

Questa velocità è frutto di una preliminare analisi idraulica in moto permanente lungo i corsi d'acqua modellati con portate fittizie, dalla quale si evince che la velocità dei corsi d'acqua in questa porzione di territorio, in caso di piena e con queste pendenze assai poco pronunciate, raramente può superare gli 1.5 m/s.

Il modello idrologico appena descritto è stato inoltre tarato con gli idrogrammi, elaborati con ALTo, relativi ai principali bacini noti.

La simulazione idrologica è stata effettuata dapprima per l'evento duecentennale, e poi, una volta determinata la durata critica di precipitazione per la sezione di apertura del modello idraulico (sez. 20 HEC RAS, nodo C6 HEC HMS), sono stati elaborati tutti gli altri scenari.

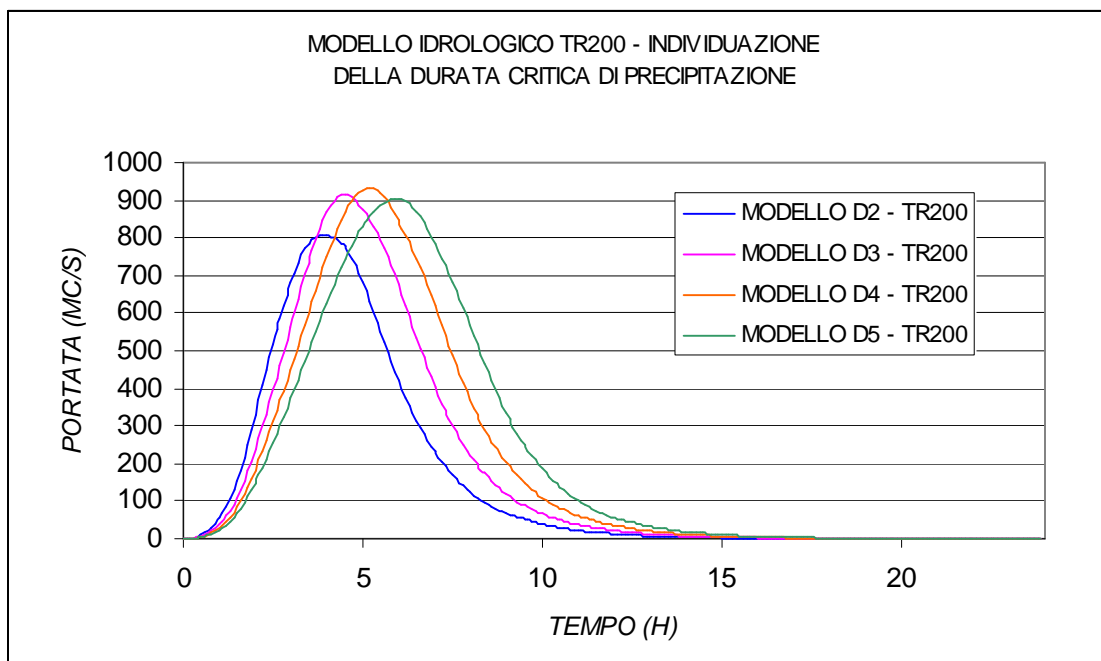


Fig. 6 - Idrogrammi idrologici relativi a diverse durate di pioggia in corrispondenza del nodo C6 del modello HMS

Dalla figura precedente si evince che la *durata di precipitazione critica* per il bacino di monte del Canale Emissario, ovvero in coincidenza con il nodo C6 del modello idrologico, risulta pari a *4 ore*.

Tutte le elaborazioni (altezze di pioggia, tarature, calcoli) sono state pertanto eseguite con questa durata di pioggia.

I risultati della modellazioni idrologiche hanno portato alla definizione dei seguenti idrogrammi di piena, per tempi di ritorno pari a 20, 30, 100, 200 e 500 anni.

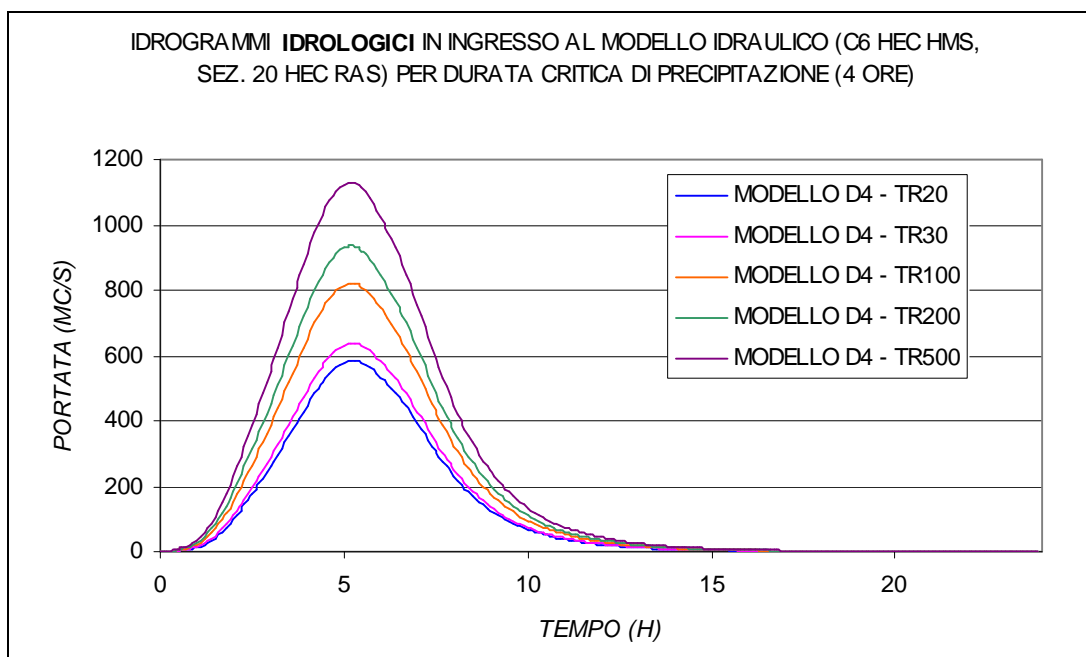


Fig. 7 - Idrogrammi idrologici per tempi di ritorno pari a 20, 30, 100, 200 e 500 anni, in corrispondenza del nodo C6 del modello HMS

I picchi di portata, nei casi studiati, risultano i seguenti:

<i>Picchi di portata nodo C6</i>	<b>TR 20</b>	<b>TR30</b>	<b>TR100</b>	<b>TR200</b>	<b>TR500</b>
<b>Q (MC/S)</b>	584.73	638.45	821.55	934.65	1130.32

Tab. 5 - Picchi di portata del modello idrologico

I dati idrologici ricavati appaiono assai elevati (bacino di superficie 173 kmq), probabilmente sovrastimati in virtù delle numerose ipotesi effettuate, a favore di sicurezza, sui parametri in gioco, come l'assegnazione del valore 0 al coefficiente di infiltrazione a saturazione, o l'implicita attribuzione del valore 1 al coefficiente di ragguaglio areale.

Analizzando le carte della pericolosità idraulica del P.A.I. (Figg. 1 e 2) si osserva come già a monte della sezione di confluenza tra Canale Rogio e Rio Navareccia (nodo C6) siano notevoli i fenomeni esondativi anche per tempi di ritorno inferiori ai 200 anni (P.I.4 e P.I. 3); invece, nel modello idrologico "puro" appena descritto non sono state considerate le esondazioni a monte, perciò l'ipotesi, non realistica, è quella che tutta la portata che si sviluppa nel bacino di monte possa giungere al nodo C6.

Inoltre è importante sottolineare che la sezione di chiusura del bacino, in corrispondenza de “la Botte”, impone il passaggio di una portata molto bassa (circa 85 mc/s), come approfondito in seguito.

Alla luce di queste considerazioni si è reso necessario adottare un sistema semplificato per “simulare” la laminazione nel bacino di monte dovuta all’esonazione dei vari affluenti del Canale Rogio e del Rio Navareccia, e di essi stessi.

Questa procedura è trattata nel successivo paragrafo.

E’ necessario ricordare, anche per sgombrare il campo da ogni dubbio, che già con i dati idrologici della Tab. 5, il modello idraulico descritto nel Cap. 5 ha garantito risultati confortanti per le aree comunali di interesse (U.T.O.E.), come noto all’Autorità di Bacino del Fiume Arno, ma ha rappresentato una situazione poco realistica, pertanto si è proceduto con l’elaborazione di un modello idrologico “laminato”.

#### **4.5 Modello idrologico “laminato”**

I fenomeni di laminazione dovuti all’esonazione naturale sul piano campagna dei vari corsi d’acqua afferenti al Padule del Bientina potrebbero essere descritti e rappresentati, in termini quantitativi, solo attraverso una modellazione idraulica dei singoli corsi d’acqua, o del sistema di corsi d’acqua.

Non essendo ciò possibile, si è cercato di introdurre, all’interno del modello idrologico di HMS, l’effetto di laminazione, stimato in modo “quali-quantitativo”.

Il codice di calcolo HEC HMS 3.3 consente la rappresentazione e la simulazione di elementi di ritenuta ed invaso, quali casse di espansione in linea, “bocche tarate”, laghi etc., ma non di modellare la libera esonazione.

Per questo motivo è stato necessario valutare esternamente ad HMS i contributi laminati ed introdurli forzatamente nel modello idrologico.

L’idea è quella di “tagliare” gli idrogrammi di piena prendendo come riferimento alcune opere presenti lungo i corsi d’acqua, quali attraversamenti o paratoie, che determinano restringimenti della sezione idraulica.

La scelta delle opere antropiche è stata fatta “a campione”, in quanto presenti in numero notevole e di forma o sezione differenti per ciascun corso d’acqua.

Gli affluenti considerati sono tutti quelli di monte ed alcuni affluenti laterali che si immettono nel Canale Emissario Bientina a valle del nodo C6: Rio Navareccia, Canale Rogio, Rio Leccio, Torrente Tazzera e Rio San Gallo (che confluiscono uno nell’altro, anche se il reticolo di AlTo non lo evidenzia), Fossa Nuova e Rio Casale, Torrente Visona di Compito, Rio Ponticelli, Rio Vaiano e Fosso di Confine.

Nella Tav. 2 allegata al presente lavoro sono riportate, a titolo indicativo, alcune fotografie di dette opere.

Ciascuna opera è stata, se non rilevata, ricostruita qualitativamente, come mostrano le successive figure, ed è stata determinata, per ciascun corso d’acqua corrispondente, la portata massima effettivamente transitante senza esonazione.

La relazione utilizzata è quella relativa la seguente:



$$Q = 0.8A\sqrt{2g\left(y - \frac{z}{2} + \frac{v^2}{2g}\right)},$$

dove  $A$  rappresenta la luce libera [mq],  $g$  l'accelerazione di gravità [ $m/s^2$ ],  $y$  il livello idrometrico a monte dell'attraversamento [m],  $z$  l'altezza dell'intradosso [m] e  $v$  la velocità stimata della corrente [m/s].

La velocità assegnata, in tutti i casi, è pari a 1.5 m/s, come già ipotizzato nel modello idrologico originale.

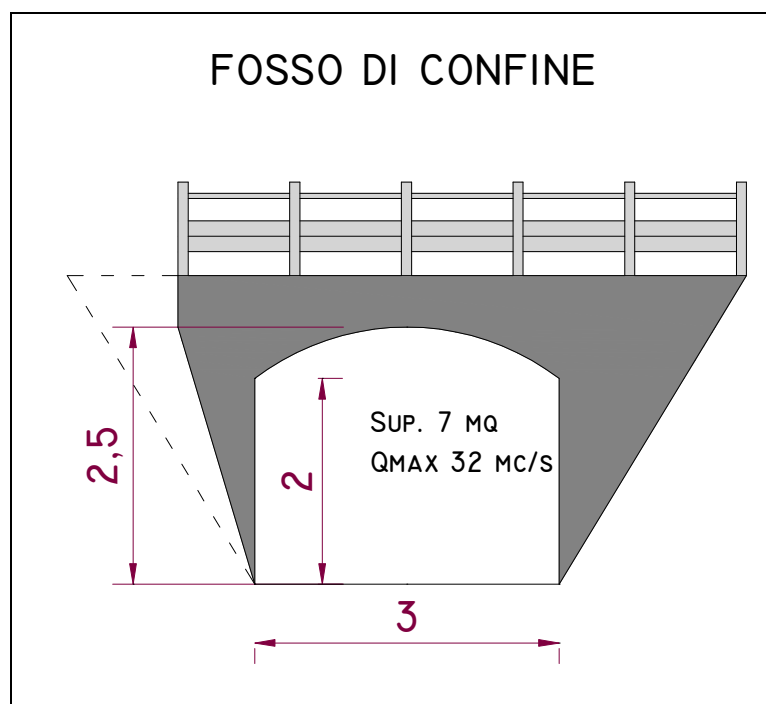


Fig. 8 - Sezione Fosso di Confine (Foto 1 - Tav. 2)

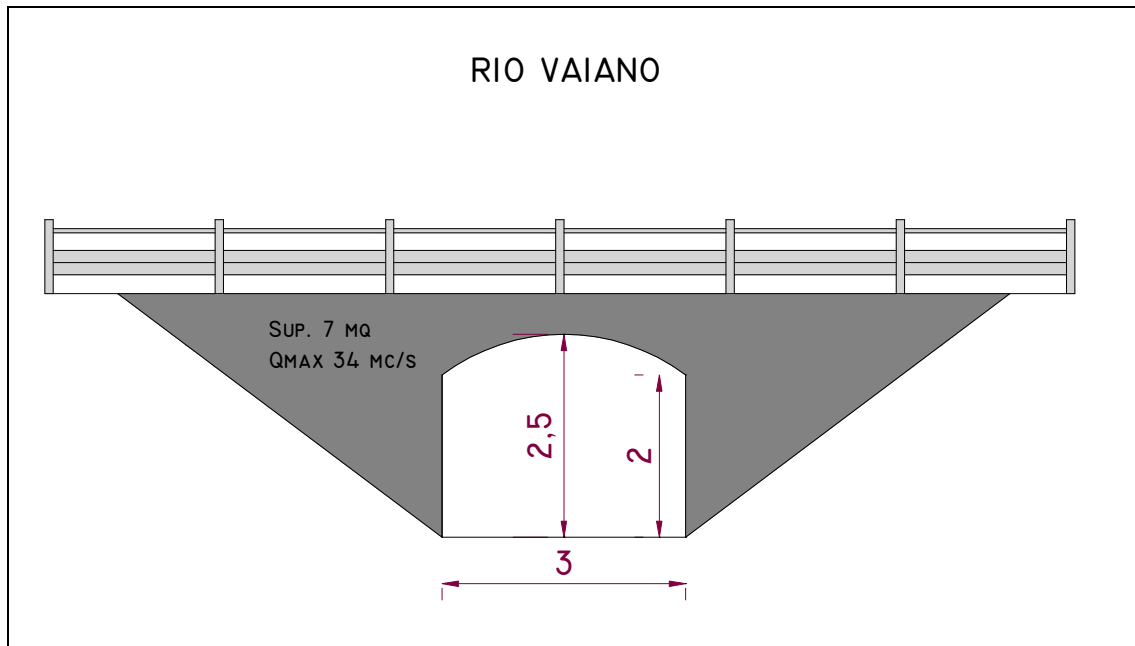


Fig. 9 - Sezione Rio Vaiano (Foto 2 - Tav. 2)

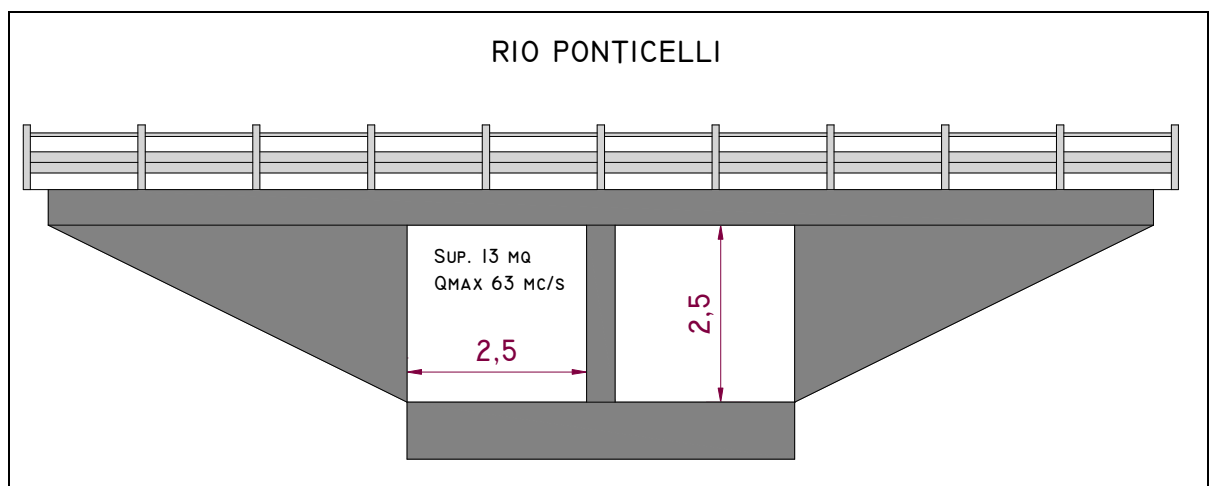


Fig. 10 - Sezione Rio Ponticelli (Foto 3 - Tav. 2)

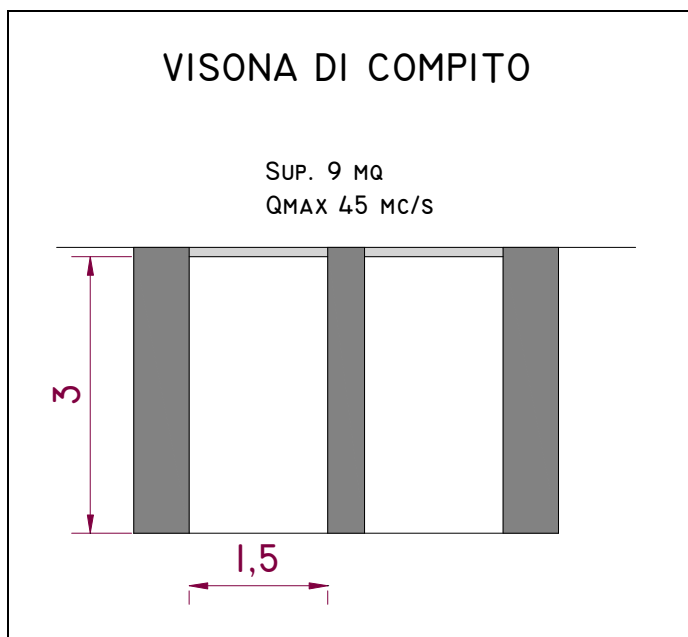


Fig. 11 - Sezione Torrente Visona di Compito (Foto 4 - Tav. 2)

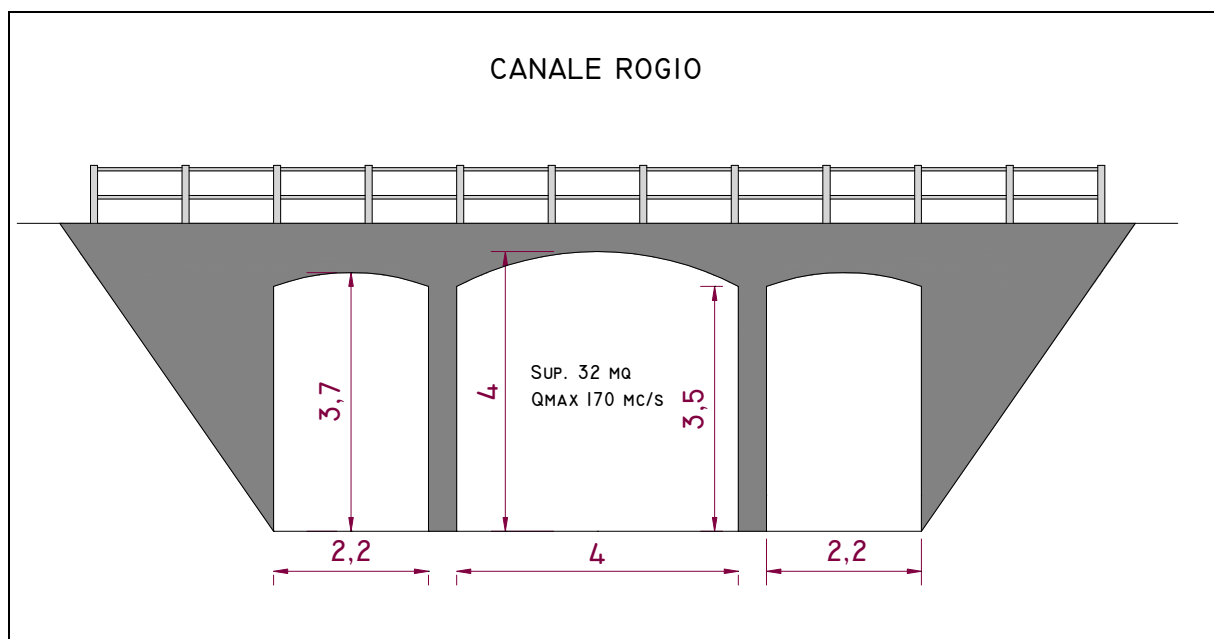


Fig. 12 - Sezione Canale Rogio (Foto 5 - Tav. 2)

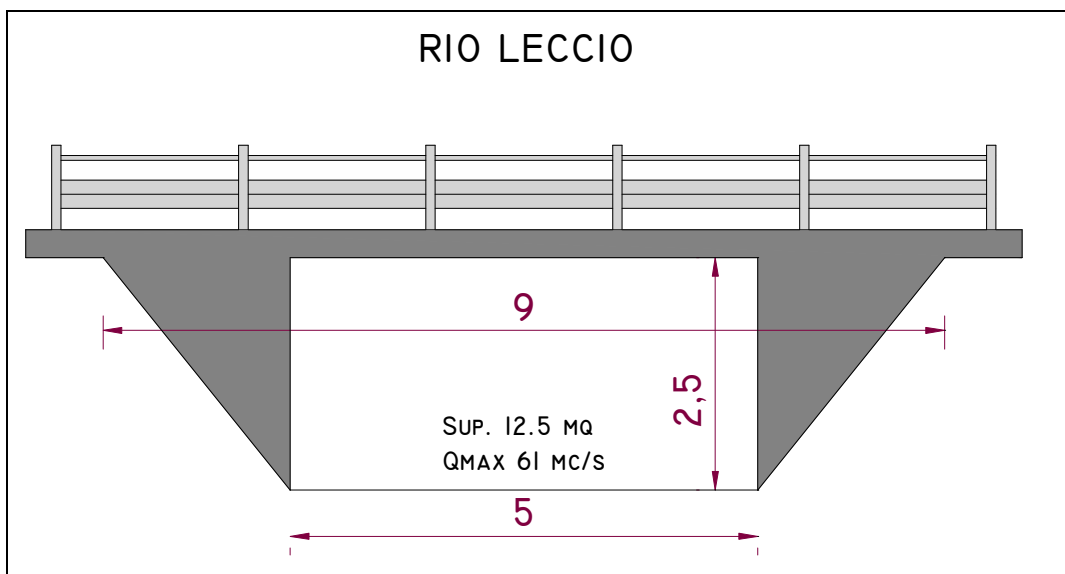


Fig. 12 - Sezione Rio Leccio (Foto 6 - Tav. 2)

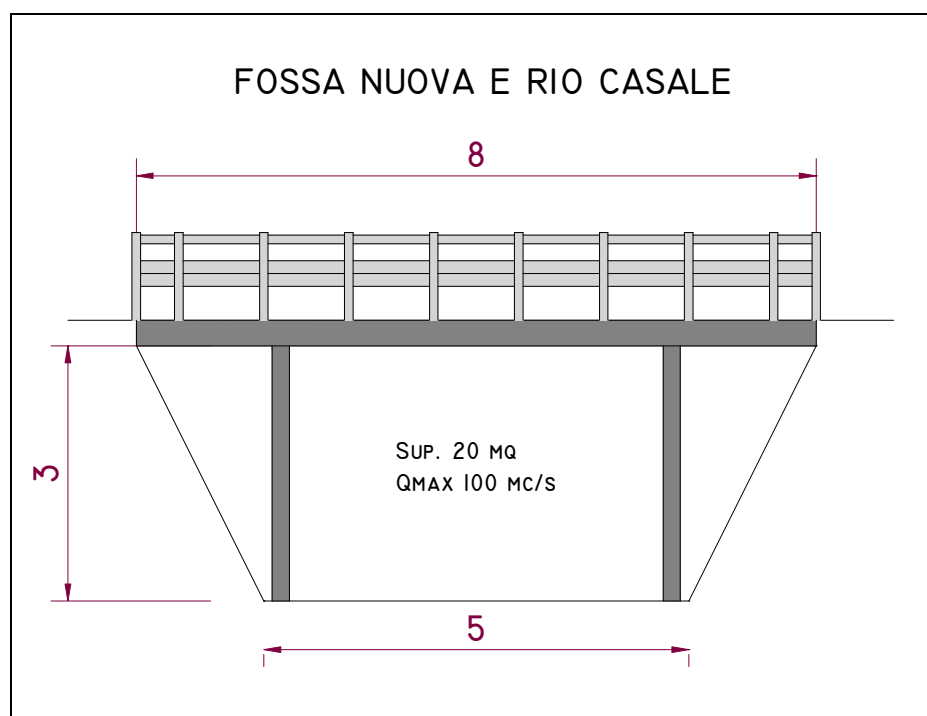


Fig. 13 - Sezione Fossa Nuova e Rio Casale (Foto 6 - Tav. 2)

Nella seguente tabella sono riportati i valori dei picchi di portata transitanti con tempo di ritorno duecentennale calcolati per queste sezioni campione, e messi a confronto con i relativi valori idrologici estratti dal modello originale di HMS.

<i>Picchi di portata duecentennale (mc/s)</i>	<i>Fosso di Confine (alla confluenza col Canale Emissario)</i>	<i>Rio Vaiano (alla confluenza col Canale Emissario)</i>	<i>Rio Ponticelli (alla confluenza col Canale Emissario)</i>	<i>Torrente Visona di Compito (alla confluenza col Canale Rogio)</i>	<i>Canale Rogio (a monte della confluenza col Visona)</i>	<i>Rio Leccio (alla confluenza col Rio Navareccia)</i>	<i>Fossa Nuova e Rio Casale (alla confluenza col Rio Navareccia)</i>
<b>Idrologica</b>	127	70	283	109	258	121	273
<b>Effettiva (con relative percentuali)</b>	32 (24%)	34 (48%)	63 (22%)	45 (41%)	170 (66%)	61 (50%)	100 (36%)

Tab. 6 - Confronto tra le portate idrologiche duecentennali e quelle effettivamente transitanti in corrispondenza di alcune sezioni di restringimento

Un'analisi di questo tipo, anche se parzialmente qualitativa, dimostra come possa ritenersi eccessivo e non realistico considerare che tutta la portata idrologica possa raggiungere indisturbata il Canale Emissario Bientina.

In quest'ottica, si è scelto di tagliare gli idrogrammi duecentennali dei corsi d'acqua suddetti riducendo il picco di portata del 50%, e soltanto del 30% per il Canale Rogio (che presenta una sezione idraulica più ampia); quindi, mediamente, rispetto alle percentuali di riduzione di Tab. 6, si garantisce un ulteriore margine di sicurezza.

Oltre ai precedenti corsi d'acqua, la riduzione (o "laminazione") del 50% del picco di piena è stata applicata anche al Torrente Tazzera e Rio San Gallo, e al Rio Navareccia, rispettivamente in corrispondenza della loro confluenza e a monte dei principali affluenti.

Di questi ultimi corsi d'acqua, pur non allegando fotografie di attraversamenti o rappresentazioni schematiche di sezioni, si conferma la presenza di numerose opere con restringimenti d'alveo.

Le figure che seguono mostrano, a titolo di esempio, i singoli confronti tra gli idrogrammi idrologici e quelli laminati per il Canale Rogio, la Fossa Nuova e Rio Casale, il Rio Ponticelli e il Fosso di Confine.

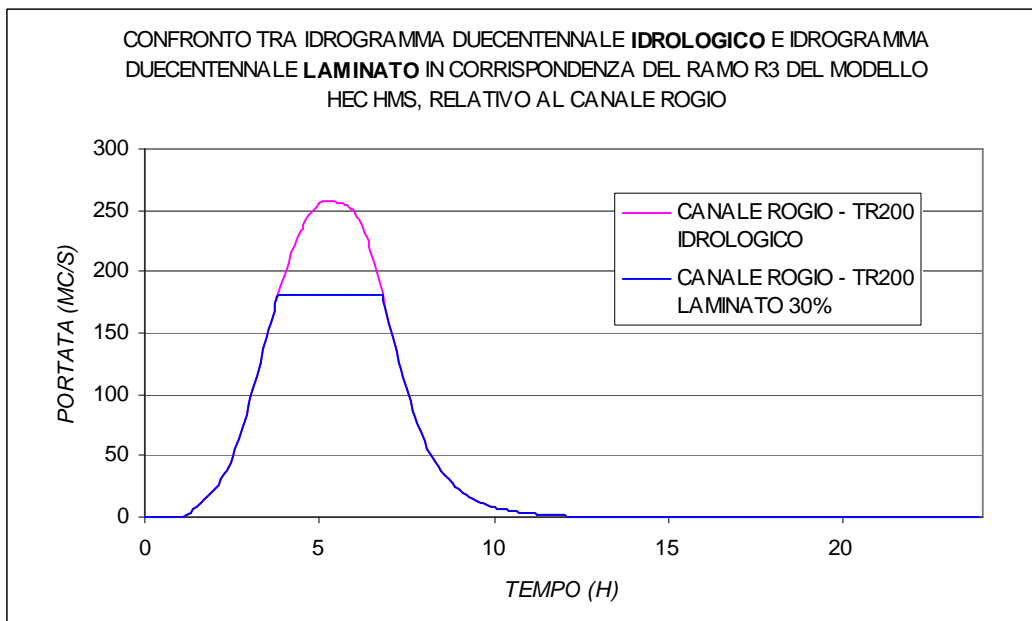


Fig. 14 - Confronto tra idrogrammi idrologico e “laminato” al 70% (TR200 - Canale Rogio)

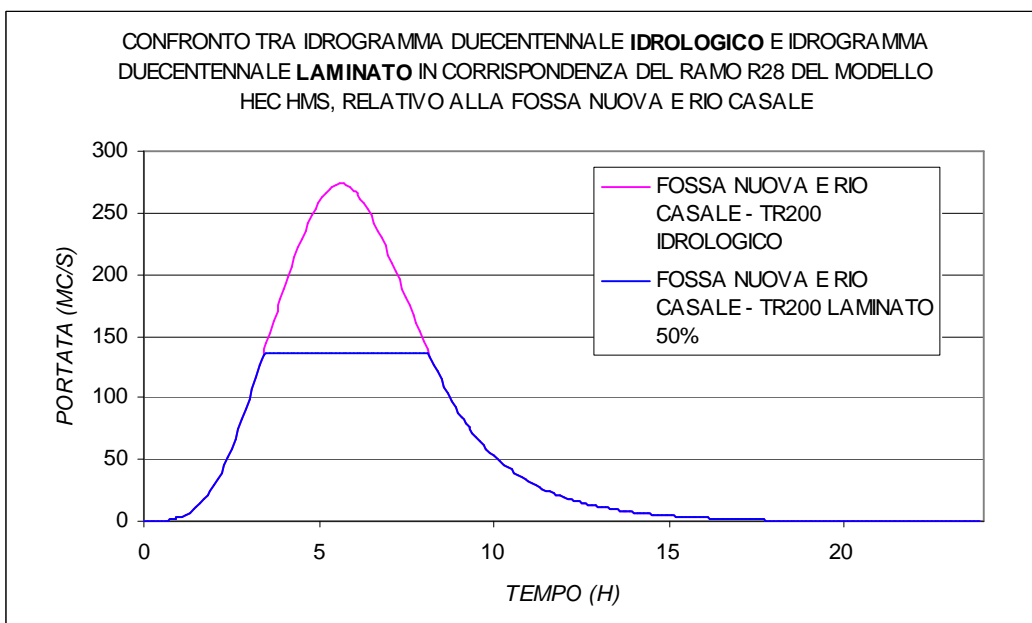


Fig. 15 - Confronto tra idrogrammi idrologico e “laminato” al 50% (TR200 - Fossa Nuova e Rio Casale)

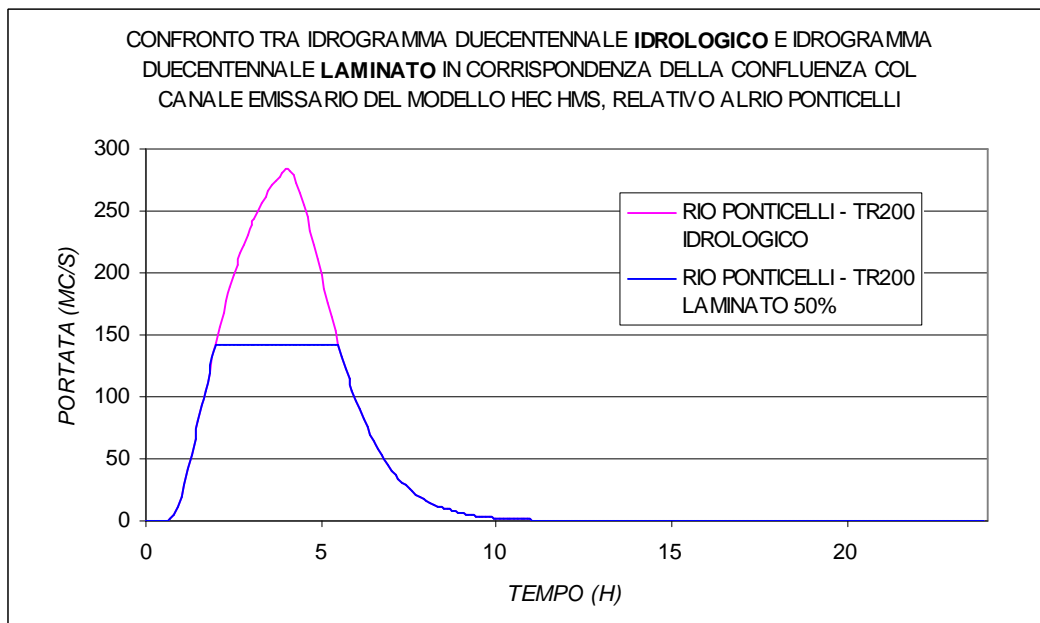


Fig. 16 - Confronto tra idrogrammi idrologico e “laminato” al 50% (TR200 - Rio Ponticelli)

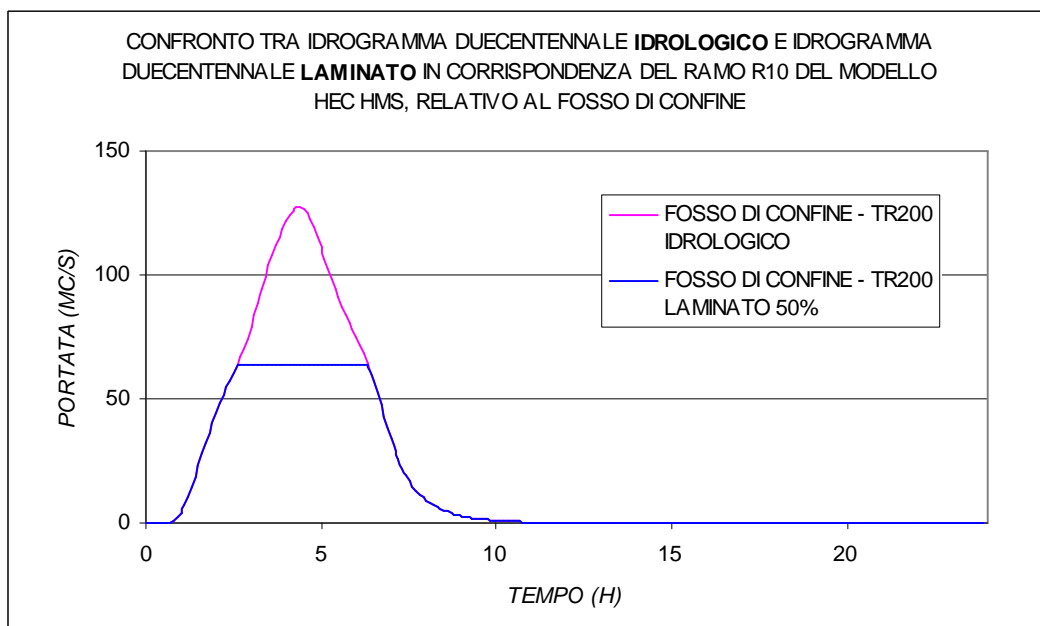


Fig. 17 - Confronto tra idrogrammi idrologico e “laminato” al 50% (TR200 - Fosso di Confine)

La tabella seguente mostra, a conclusione, i picchi di portata “laminati” al 50% per i corsi d’acqua considerati (e al 30% per il Canale Rogio) per l’evento critico con tempo di ritorno di 200 anni.

Picchi di portata duecentennale (mc/s)	Fosso di Confine (alla confluenza col Canale Emissario)	Rio Vaiano (alla confluenza col Canale Emissario)	Rio Ponticelli (alla confluenza col Canale Emissario)	Torrente Visona di Compito (alla confluenza col Canale Rogio)	Canale Rogio (a monte della confluenza col Visona)	Rio Leccio (alla confluenza col Rio Navareccia)	Fossa Nuova e Rio Casale (alla confluenza col Rio Navareccia)	Rio Navareccia (a monte dei principali affluenti)	Torrente Tazzera e Rio San Gallo (alla confluenza col Rio Navareccia)
<b>Idrologica</b>	127	70	283	109	258	121	273	154	86
<b>Effettiva (con relative percentuali di portata transitante)</b>	63.7 (50%)	35.2 (50%)	141.6 (50%)	54.5 (50%)	170 (70%)	60.7 (50%)	136.8 (50%)	77.3 (50%)	42.9 (50%)

Tab. 7 - Picchi di portata del modello idrologico “laminato”

Una volta determinati gli idrogrammi laminati in uscita dai sottobacini dei suddetti corsi d’acqua, si è passati a modificare il modello idrologico di HMS inserendo detti idrogrammi come “Source”, by-passando i sottosistemi idrologici a monte.

In questo modo è stato possibile completare l’elaborazione idrologica complessiva ed ottenere l’idrogramma “laminato” di monte al nodo C6.

Questo idrogramma, confrontato con l’idrogramma idrologico duecentennale originale (Fig. 7), è mostrato nella seguente figura.

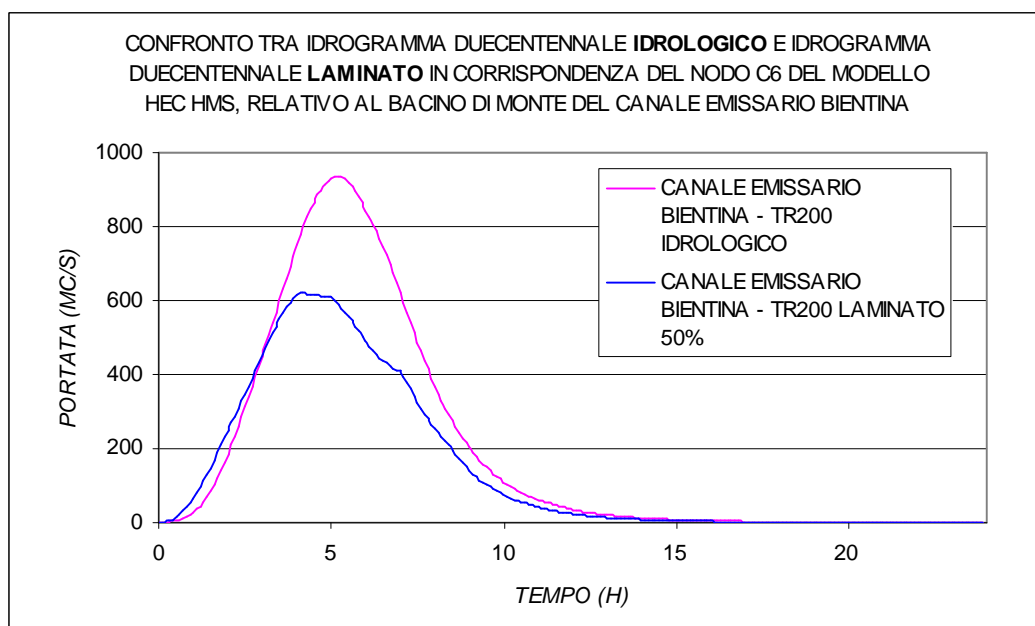


Fig. 18 - Confronto tra idrogrammi idrologico e “laminato” al 50% (TR200 - Canale Emissario Bientina)

Il picco dell’idrogramma duecentennale in ingresso passa, dunque, da 964.65 mc/s a 618.96 mc/s.

Allo stesso modo, nel modello idrologico “laminato”, sono adesso elaborati, e disponibili, tutti gli idrogrammi relativi agli affluenti del Canale Emissario a valle della sezione di apertura (confluenza Canale Rogio e Rio Navareccia - nodo C6 HEC HMS - sez. 20 HEC RAS); in particolare, gli idrogrammi del Fosso di Confine, del Rio Ponticelli e del Rio Vaiano risultano, come detto, laminati, mentre i



contributi dei restanti sottobacini più a valle non risultano variati rispetto al modello idrologico originale.

Questa riduzione, senza dubbio rilevante, rende assolutamente più realistico il fenomeno e consegna, nella sezione del modello idraulico descritto nel prossimo capitolo (Tav. 3 allegata), un idrogramma duecentennale più congruo.

L'effetto di laminazione così simulato non può dirsi tale se si considera che gli idrogrammi sono stati "tagliati" e non effettivamente laminati.

Però questa "sparizione" di volumi è giustificata dalle dinamiche reali, che dimostrano la tendenza delle aree del Padule ad allagarsi e invasare ingenti quantitativi d'acqua anche per giorni, prima di restituirli mediante un lento deflusso naturale o attraverso gli impianti idrovori presenti.

La verifica della portata transitante attraverso le opere antropiche presenti lungo i principali corsi d'acqua di monte è stata condotta, come detto, sulla base dell'evento critico duecentennale.

Per tempi di ritorno inferiori (20, 30 e 200 anni) e superiori (500 anni) sono stati presi come riferimento i picchi duecentennali e pertanto i relativi idrogrammi idrologici sono stati tagliati sui valori di Tab. 7.

Questa procedura ha portato ad avvicinare, sia in termini di portata di picco, sia in termini di volumi idrici complessivi, gli idrogrammi ventennali e trentennali a quelli con tempi di ritorno maggiori.

La Fig. 19 mostra gli idrogrammi definitivi risultanti dal modello idrologico laminato in corrispondenza del nodo C6, ovvero relativi al bacino di monte del Canale Emissario Bientina, per i vari tempi di ritorno studiati.

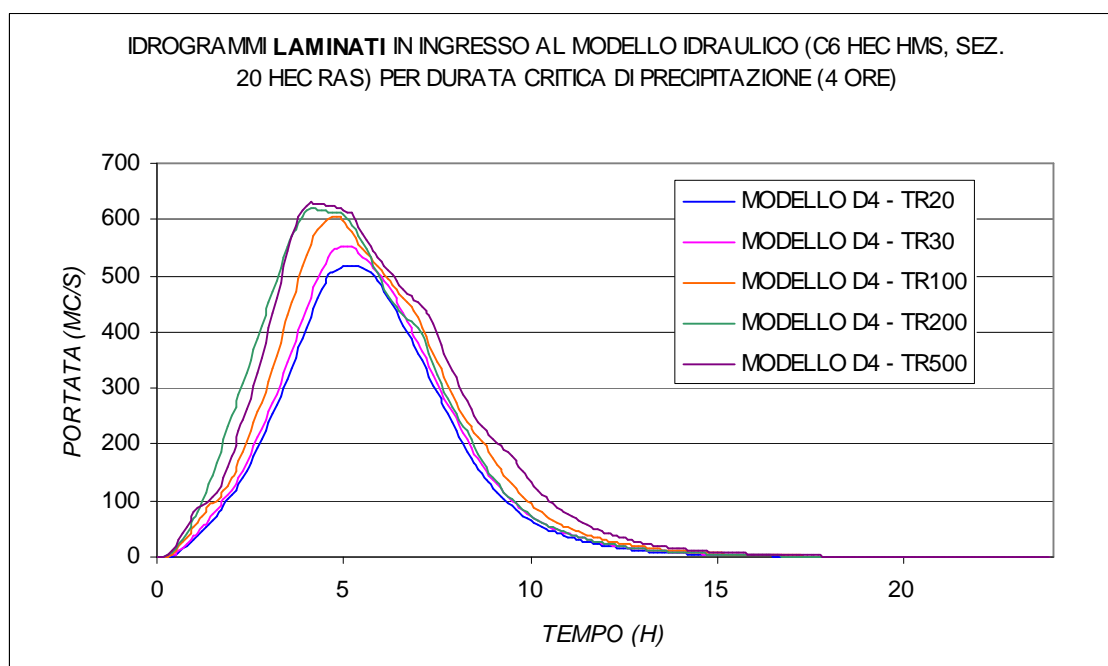


Fig. 19 - Idrogrammi laminati per tempi di ritorno pari a 20, 30, 100, 200 e 500 anni, in corrispondenza del nodo C6 del modello HMS

La leggera irregolarità nell'andamento di questi idrogrammi, e la parziale sovrapposizione di curve con tempi di ritorno diversi, è spiegabile con fatto che tali idrogrammi sono esito di modifiche agli idrogrammi di monte non proporzionali per i vari tempi di ritorno, perciò l'influenza di tali modifiche sull'idrogramma finale al nodo C6 risulta variabile.

Le divergenze, in ogni caso, sono assolutamente trascurabili.

La Tab. 8 mostra i picchi di piena risultanti dal modello idrologico "laminato".

<i>Picchi di portata nodo C6</i>	<i>TR 20</i>	<i>TR30</i>	<i>TR100</i>	<i>TR200</i>	<i>TR500</i>
<i>Q (MC/S)</i>	517.52	552.96	605.64	618.96	629.81

Tab. 8 - Picchi di portata del modello idrologico laminato

#### 4.6 Modello idrologico Fosso Fungaia

Gli idrogrammi appena mostrati, e tutti gli altri idrogrammi relativi agli affluenti destri e sinistri, i cui bacini sono rappresentati nella Tav. 3 allegata al presente lavoro, costituiscono direttamente gli input del modello idraulico in moto vario del Canale Emissario Bientina (Cap. 5).

Anche gli idrogrammi relativi al bacino della Fossa Nuova risultanti dalla modellazione idrologica sono stati direttamente utilizzati quali input idrologici nel modello idraulico in moto vario del corso d'acqua medesimo, come descritto nel successivo paragrafo.

Invece, nel caso del Fosso Fungaia, il bacino rappresentato in Tav. 2 e assegnato a tale fosso non coincide esattamente col bacino reale.

Nell'ambito del modello idrologico questa approssimazione può essere accettata; peraltro è già stato riferito che alcuni bacini del modello idrologico non si riferiscono necessariamente ad un unico corso d'acqua (ad esempio i bacini indicati con gli acronimi ABB SX1 e ABB SX 2), ma sono costituiti da più fosso minori che non sono stati modellati singolarmente dal punto di vista idrologico, in quanto ciò avrebbe appesantito enormemente la complessità del modello HMS.

Allo stesso modo, il bacino del Fosso Fungaia necessita di un approfondimento per definire l'esatta superficie drenante e quindi ricavare, direttamente con ALTO, inserendo il file \*.idr modificato, gli idrogrammi di piena per la durata critica di precipitazione.

La figura seguente mostra un particolare del reticolo di acque basse nell'area a Nord dell'abitato di Bientina, tra cui si evidenzia il Fosso Fungaia col suo esatto bacino idrografico.

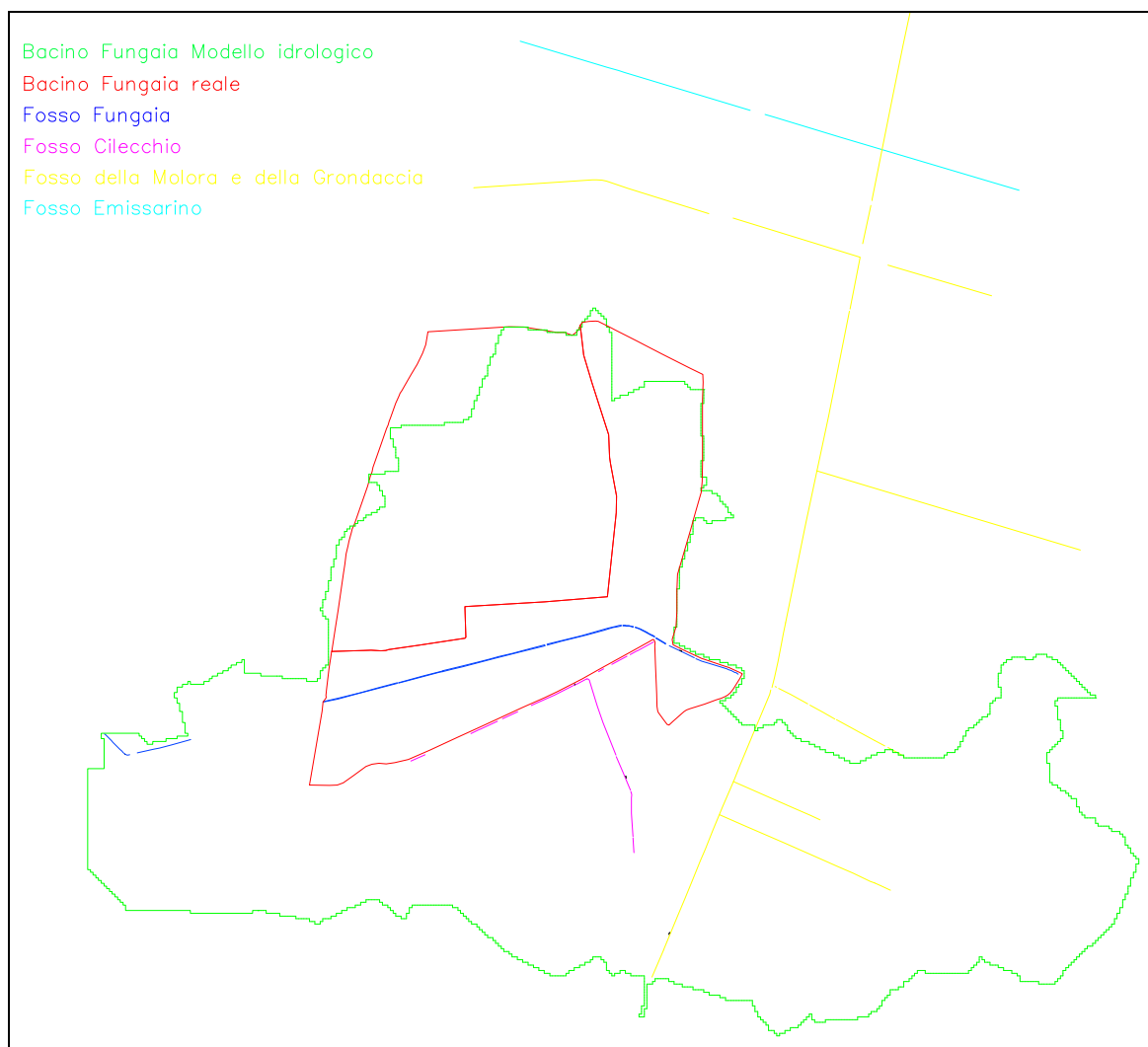


Fig. 20 - Particolare del bacino del Fosso Fungoia e del reticolo circostante

La Fig. 20 evidenzia, in rosso, il bacino reale del Fosso Fungoia, fino alla sezione di intubamento, diviso in due aree (coincidenti con i due input idrologici del modello idraulico relativo), che risulta assai diverso, ed inferiore in termini di superficie rispetto a quello, mostrato in verde, del bacino introdotto nel modello idrologico di HMS.

Rispetto al bacino idrografico inserito in HMS (4.88 kmq), il bacino reale del Fosso Fungoia presenta una superficie pari a circa 1.75 kmq.

Questa divergenza, se del tutto trascurabile nel caso del modello idrologico del bacino del Canale Emissario, non poteva invece essere ignorata nel modello del Fosso Fungoia.

Gli idrogrammi dei due sottobacini sono stati valutati, come detto, tramite l'elaborazione con ALTo dei file \*.idr modificato.

La durata critica è risultata pari a 1.33 h.

L'idrogramma complessivo è rappresentato dalla somma dei singoli idrogrammi, in quanto non sono state considerate, date le ridottissime dimensioni del bacino, differenze temporali tra i due "sottoeventi".

<i>Picchi di portata degli idrogrammi dei 2 sottobacini del Fosso Fungaia</i>	<i>TR 20</i>	<i>TR30</i>	<i>TR100</i>	<i>TR200</i>	<i>TR500</i>
<b>BACINO "MONTE"</b>	6.88	7.34	8.88	9.9	11.42
<b>BACINO "VALLE"</b>	7.62	8.13	9.83	10.95	12.64

Tab. 9 - Picchi di portata degli idrogrammi di piena per il Fosso Fungaia

#### 4.7 Modello idrologico Fossa Nuova

Per la Fossa Nuova, come già anticipato, non è stato eseguito alcun approfondimento idrologico, bensì è stato considerato lo stesso bacino inserito nel modello idrologico complessivo.

Ciò si è tradotto nell'inserimento, come input in ingresso al modello idraulico, dell'idrogramma corrispondente alla sezione di chiusura, ovvero di confluenza col Canale Emissario.

Questa approssimazione risulta del tutto a favore di sicurezza; basti pensare che il bacino di monte della Fossa Nuova presenta una superficie di circa 3.5 kmq, rispetto ai 6.7 kmq dell'intero bacino.

La durata critica di precipitazione per la Fossa Nuova risulta pari a 1.5 h.

La figura seguente mostra gli idrogrammi della Fossa Nuova per i 5 tempi di ritorno esaminati, relativi alla durata critica.

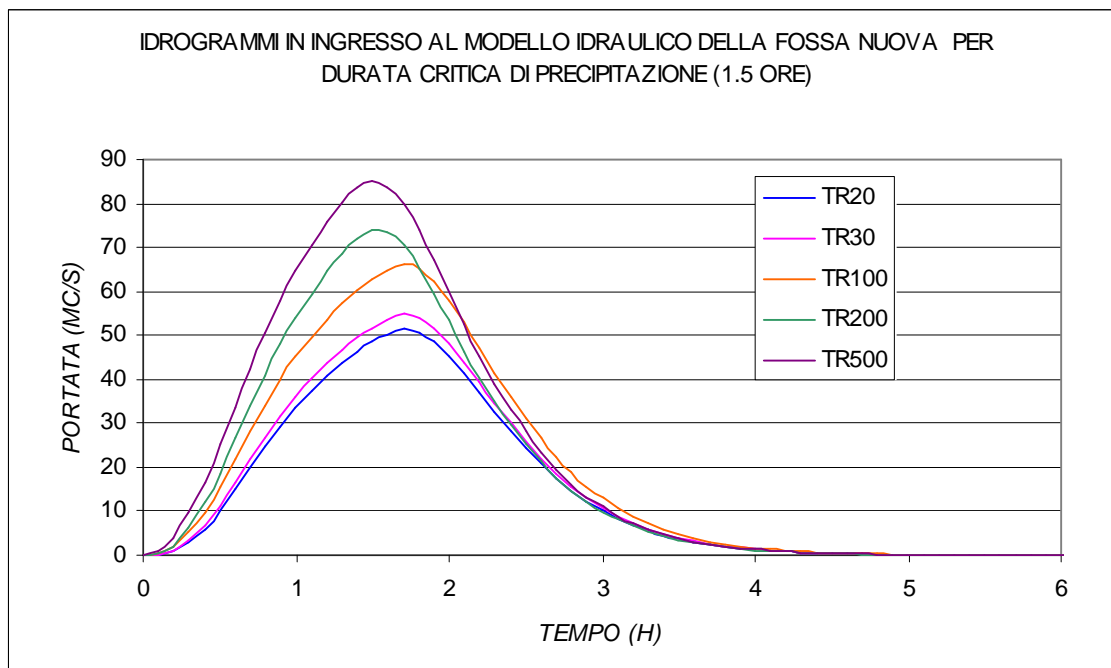


Fig. 21 - Idrogrammi di piena Fossa Nuova

## 5. MODELLISTICA IDRAULICA

Il presente lavoro si basa su un approccio metodologico condiviso e di diffuso impiego.

I modelli idraulici relativi Canale Emissario Bientina, al Fosso Fungaia e alla Fossa Nuova sono stati realizzati in moto vario, secondo lo schema operativo di seguito descritto.

Nei paragrafi che seguono sono state approfondite le tematiche legate al moto vario, affrontate dal punto di vista della struttura operativa del codice di calcolo Hec-Ras, versione 4.0., utilizzato per la modellazione.

### 5.1 IL MOTO VARIO

#### 5.1.1 Approccio metodologico

La modellazione comunemente definita in “moto vario” si esprime attraverso l’utilizzo di modelli indipendenti nella descrizione della dinamica d’alveo e delle aree contigue inondate, opportunamente connessi da un sistema analitico in grado di descrivere lo spostamento dei volumi straripati; questo schema permette di rappresentare in ambito spazio-temporale la dinamica di propagazione e laminazione delle onde di piena quantificando gli effettivi scambi di massa tra alveo ed aree inondate.

Pertanto si tratta di una schematizzazione del moto alveato di tipo monodimensionale vario e una schematizzazione delle aree laterali non direttamente connesse al corso d’acqua con un classico sistema a celle; le celle laterali definite in funzione della morfologia del territorio e caratterizzate ciascuna da una propria legge di invaso, vengono connesse tra loro e con l’alveo mediante elementi idraulici, quali luci a stramazzo o a battente.

La soluzione delle equazioni che governano il moto monodimensionale vario è ottenuta attraverso un metodo numerico alle differenze finite per la discretizzazione spaziale ed un metodo implicito per l’avanzamento temporale tramite successive iterazioni di calcolo (discretizzazione temporale).

La discretizzazione spaziale del modello è determinata dal numero di sezioni geometriche rilevate e dalla densità e ampiezza delle celle laterali introdotte, mentre la scansione temporale è quella scelta nella descrizione dei fenomeni tempo-varianti, come gli idrogrammi, e dal passo temporale adottato nelle simulazioni.

Il grado di accuratezza ottenuto dipende, dunque, dal livello di dettaglio nella riproduzione geometrica (densità delle sezioni fluviali rilevate e delle celle), e dalla scansione temporale utilizzata.

La modellazione delle aree adiacenti al corso d’acqua potenzialmente allagabili, e la descrizione delle dinamiche che all’interno di esse si sviluppano, rappresenta il punto nodale di una modellazione idraulica indirizzata a valutare l’entità del fenomeno esondativo in termini di battenti idrici e la sua estensione.

La schematizzazione a celle interconnesse, che in seguito verranno chiamate “Aree di Potenziale Esondazione”, individuate con l’acronimo APE, o, in

alternativa, “*Storage Area*”, secondo la dicitura del codice di calcolo Hec-Ras, è comunemente definita come “quasi-bidimensionale” perché consente di studiare il deflusso in alveo mediante la risoluzione delle equazioni del moto e di continuità e la propagazione dei livelli idrici nelle celle utilizzando la sola equazione di continuità; pertanto l’allagamento di ciascuna cella, ogni qualvolta venga superata la capacità di contenimento degli argini fluviali, avviene in modo istantaneo, e l’aumento del battente sul territorio segue la legge di invaso caratteristica della cella stessa.

Anche il trasferimento dei volumi di esondazione tra cella e cella avviene in modo sincrono, regolato da appositi sfioratori o sottopassi (tombini), disposti in base alle caratteristiche del territorio.

L’approssimazione che inevitabilmente porta a trascurare gli effetti della non stazionarietà e bidimensionalità connessi al fenomeno di propagazione dei volumi d’acqua esondati, principalmente legati alla morfologia, anche di origine antropica, del territorio, può essere ridotta attraverso la realizzazione di un modello fortemente discretizzato, con un alto numero di celle laterali di ridotte dimensioni.

Le leggi fisiche che governano il moto di una corrente in un canale in condizioni non stazionarie sono rappresentate dal principio di conservazione della massa (legge di continuità) e dal principio di conservazione del momento della quantità di moto.

Il codice di calcolo Hec-Ras risolve le due equazioni così espresse:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(VQ)}{\partial x} + gA \left( \frac{\partial z}{\partial x} + S_f + S_h \right) = 0$$

in cui:

$t$  = tempo, [s]

$x$  = distanza lungo il canale, [m]

$Q$  = portata, [m<sup>3</sup>/s]

$A$  = superficie della sezione che contribuisce al deflusso, [m<sup>2</sup>]

$q_l$  = portata uscente lateralmente, per unità di lunghezza, [m<sup>2</sup>/s]

$V$  = velocità, [m/s].

$g$  = accelerazione di gravità, [m/s<sup>2</sup>]

$z$  = carico totale della corrente [m]

$S_f$  = tasso di perdita di carico per attrito

$S_h$  = tasso di perdita di carico per contrazione/espansione tra sezioni idrauliche successive.

Si osserva come le perdite di carico vengano conteggiate all’interno dell’equazione del moto nei termini che includono  $S_f$  e  $S_h$ .

Il primo è definito secondo l’equazione di Manning, come:

$$S_f = \left( \frac{Q}{K} \right)^2$$

$$\text{con } K = \frac{1,486}{n} AR^{\frac{2}{3}}, \text{ [m}^3/\text{s]},$$

in cui  $n$  = coefficiente di attrito di Manning, [s/m<sup>3</sup>]  
 $A$  = superficie bagnata, [m<sup>2</sup>]  
 $R$  = raggio idraulico, [m],

e il secondo come:

$$S_h = \frac{\partial \left( \frac{CV^2}{2g} \right)}{\partial x}$$

in cui  $C$  rappresenta il coefficiente di contrazione/espansione, al quale sono assegnati i valori di 0,1 e 0,3, rispettivamente.

Le equazioni appena mostrate vengono risolte attraverso un metodo numerico alle differenze finite, e, in quanto non lineari, per la loro soluzione viene adottata una tecnica di linearizzazione.

Nell'ottica della descrizione mediante differenze finite, ad ogni passo temporale è risolto un sistema di equazioni lineari del tipo  $Ax = b$ , che necessita dell'assegnazione delle opportune condizioni al contorno.

La scelta delle condizioni al contorno costituisce un elemento determinante nella realizzazione di un modello in moto vario; generalmente come condizione di monte è utilizzato l'input idrologico ricavato mediante la modellistica idrologica descritta nel precedente Cap. 4, ovvero un'idrogramma di piena.

A valle, tra le varie opportunità, si predilige solitamente adottare un idrogramma dei livelli, *Stage Hydrograph*, o delle portate, *Flow Hydrograph*, una relazione livelli-portata, detta scala di deflusso o *Rating Curve*, o un semplice *Normal Depth*, ovvero la pendenza di moto uniforme.

(Nel caso specifico del modello idraulico del Canale Emissario Bientina, data la presenza de "la Botte", è risultato opportuno individuare l'idrogramma transitante dalla medesima e porlo come condizione di valle; come descritto in seguito, l'andamento dei livelli in alveo, lungo tutto il tratto studiato, rivela un profilo interamente rigurgitato.)

Lo scambio di massa tra il fiume e le aree adiacenti è conteggiato aggiungendo un termine all'equazione di continuità per un canale in condizioni di moto monodimensionale vario, precedentemente riportata.

Adesso l'equazione di continuità si scrive come:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial S}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} - q_l = 0$$



in cui  $S$  [m<sup>2</sup>] rappresenta la superficie della sezione che contribuisce all'accumulo nelle aree inondabili adiacenti.

Grazie a questa relazione è possibile quantificare la portata in uscita verso le aree laterali.

L'accumulo di volume all'interno di ciascuna APE è governato dalla sola legge di invaso, che lega il livello idrico con il volume contenuto, in relazione agli scambi di portata con il fiume o con le celle contigue.

Tali scambi sono regolati da elementi idraulici come gli sfioratori, i quali funzionano secondo la legge di stramazzo in parete grossa e simulano la tracimazione al di sopra di argini, rilevati etc., o da tombini e sottopassi, regolati dalla caratteristica legge delle luci a battente.

Lo stramazzo in parete grossa è espresso secondo la seguente relazione:

$$Q = C_d L H^{\frac{3}{2}}$$

dove con  $L$  [m] è indicata la larghezza della soglia, con  $H$  [m] l'altezza della vena stramazante e con  $C_d$  il coefficiente dimensionale di stramazzo [m<sup>1/2</sup>/s] che corrisponde al termine  $\mu\sqrt{2g}$  [m<sup>1/2</sup>/s] di uso comune.

### 5.1.2 Caratterizzazione geometrica del modello

La ricostruzione geometrica dell'asta fluviale e delle aree di potenziale esondazione modellate viene effettuata avvalendosi dei rilievi a disposizione e delle informazioni contenute nella cartografia ufficiale.

Lo sviluppo longitudinale del corso d'acqua è riprodotto attraverso opportune sezioni fluviali rilevate ("*River Station*", secondo la dicitura di Hec-Ras), poste a distanza variabile l'una dall'altra, comunque sufficientemente vicine da poter rappresentare compiutamente il percorso fluviale; laddove si riscontri un'eccessiva distanza tra due sezioni, è consigliabile provvedere ad un infittimento mediante un criterio di interpolazione.

(Nel caso del Canale Emissario, la sezione idraulica mostra, a partire da monte, una certa regolarità, pertanto è stato possibile rappresentare compiutamente il corso d'acqua anche con un numero limitato di sezione, rispetto alla lunghezza del tratto complessivamente analizzato.)

Ciascuna sezione è caratterizzata, nel modello, da una propria scabrezza, espressa tramite il coefficiente  $n$  di Manning [s/m<sup>1/3</sup>], individuata sulla base dell'osservazione delle reali condizioni della stessa e dello stato di manutenzione del corso d'acqua.

Lungo il corso d'acqua possono essere presenti manufatti quali ponti, viadotti e tombamenti; la schematizzazione adottata è funzionale agli obiettivi della simulazione, ovvero si incentra su una riproduzione sommaria dei manufatti che definisca principalmente la quota dell'intradosso, la larghezza delle pile e la larghezza dell'intera opera d'arte. In pratica viene rappresentata l'ampiezza delle luci e la loro profondità.

Un analogo schematizzazione può essere adottata per la rappresentazione delle opere che garantiscono la trasparenza idraulica di rilevati stradali o ferroviari, come i tombini.

Il codice di calcolo Hec-Ras definisce “*Bridge*” i ponti e gli attraversamenti fluviali, e “*Culvert*” i tombini.

Possono essere presenti, lungo un corso d’acqua, anche briglie o traverse, che nella modellazione vengono identificate con le “*Inline Structure*”.

Le aree di potenziale esondazione sono definite come quelle porzioni di territorio adiacenti al corso d’acqua coinvolte, eventualmente, dal fenomeno esondativo, e il cui comportamento è sia quello di invadere volumi d’acqua, sia quello di essere interessate dal trasporto dei volumi stessi.

La stazionarietà delle dinamiche fuori alveo fa sì che il fenomeno del trasferimento di volumi esondati sul piano campagna debba essere correttamente interpretato, in quanto ciò rappresenta il punto nodale e il maggior limite della modellazione “quasi-bidimensionale”.

Le strutture che permettono la quantificazione dei volumi esondati sono definite “*Lateral Structure*”, e corrispondono agli argini fluviali, o alle “teste” di sponda. Esse sono modellate come veri e propri sfioratori di superficie, che seguono la legge dello stramazzo in parete grossa.

Il fenomeno del trasferimento di volumi all’interno delle “*Storage Area*” e soprattutto verso le aree contigue è simulato soltanto attraverso l’individuazione dei tratti di confine che, per proprie caratteristiche morfologiche, contribuiscono a suddetto trasferimento, in entrambi i sensi.

Queste connessioni tra “*Storage Area*”, come le suddette connessioni tra esse ed il corso d’acqua (“*Lateral Structure*”), sono, come detto, modellate mediante sfioratori di superficie o luci a battente, ricostruiti in base al reale andamento plano-altimetrico di rilevati, argini e di ogni altro elemento urbanistico e morfologico, ivi compresi archi viari e ferroviari, che, pur non essendo propriamente barriere idrauliche, consentono il contenimento e la delimitazione di ciascuna cella e della fascia fluviale; il codice di calcolo assegna a questi elementi idraulici il nome di “*S.A. Connection*”.

E’ dunque comprensibile l’esigenza di conoscere attentamente le caratteristiche geometriche del territorio in esame, anche al fine di operare una corretta suddivisione in celle elementari, in particolar modo laddove, come nel presente caso, debba essere modellata una porzione di territorio anche fortemente urbanizzata.

Per tutto il territorio posto sotto esame è stato costruito un modello digitale del terreno sulla base dei dati acquisiti dalla cartografia ufficiale a disposizione; il DTM così realizzato, costituito da maglie di 10×10 metri, ha permesso di calcolare la curva di invaso di ciascuna APE, valutata per incrementi di battente dai 20 ai 40 centimetri.

### 5.1.3 Input idrologici, condizioni al contorno e opzioni di calcolo

Le sollecitazioni idrologiche al sistema, intese come gli eventi meteorici di intensità e durata variabili che intervengono sul bacino, sono costituiti dagli idrogrammi di piena, relativi agli eventi desiderati, secondo quanto descritto nel precedente capitolo sulla modellistica idrologica.

Il codice di calcolo Hec-Ras richiede l'immissione di un "Flow Hydrograph", e di tutti i "Lateral Inflow Hydrograph" relativi ai vari affluenti.

Negli studi idraulici oggetto del presente lavoro sia gli idrogrammi principali, sia quelli degli affluenti presentano una scansione temporale di 6 minuti.

Generalmente viene assegnata, all'istante zero della simulazione idraulica, una portata minima ai corsi d'acqua, affluenti compresi.

Anche le "Storage Area" necessitano di un livello iniziale minimo, che coincide con la quota minima dell'area stessa.

Dal momento che la gran parte degli spostamenti di volumi idrici sono definiti dalle "Lateral Structure" o dalle "S.A. Connection", e pertanto avvengono attraverso sfioratori di superficie, un altro parametro geometrico di rilevante influenza è rappresentato dal coefficiente di stramazzo  $\mu$  che, nella formulazione del codice di calcolo Hec-Ras, è inglobato nel termine  $Cd$ .

In questo lavoro  $Cd$  assume il valore di 1.11 per le connessioni fiume-APE e di 1.66 per le connessioni fra APE contigue; la differenziazione tra i due valori è dettata dal fatto che la corrente, in alveo, possiede una componente di velocità prevalente in direzione longitudinale e quindi il superamento delle arginature avrà una dinamica differente da quella del trasferimento di volume tra celle adiacenti.

In precedenza è stato sottolineato come la discretizzazione temporale incida sul livello di accuratezza complessivo di un modello di questo tipo.

Le simulazioni idrauliche in moto vario sono state effettuate con una scansione temporale di 5 secondi, e la restituzione dei risultati con scansione di 10 minuti.

Tra le altre opzioni di calcolo, è stato deciso di assegnare a  $\theta$ , *implicit weighting factor*, parametro che determina la modalità di avanzamento temporale della procedura alle differenze finite, il valore di 1; le tolleranze ammesse sui livelli idrici risultanti sul corso d'acqua e nelle aree adiacenti sono state, rispettivamente, pari a 0.006 m e 0.015 m; infine il numero massimo di iterazioni oltre il quale il sistema sarebbe divenuto instabile è stato fissato a 20.

## **6. MODELLI IDRAULICI**

In questo capitolo sono descritti in serie i singoli modelli idraulici realizzati per i 3 corsi d'acqua di interesse.

Per ciascuno di essi viene riportata una breve introduzione di inquadramento e di dettaglio, successivamente analizzato il relativo modello idraulico attraverso una descrizione sintetica mediante tabelle riepilogative delle caratteristiche geometriche del corso d'acqua, delle aree adiacenti, degli input idrologici e delle condizioni al contorno adottate, ed infine analizzati i risultati delle elaborazioni fino alla definizione delle aree allagabili allo stato attuale, supportati dall'individuazione delle criticità e dall'approfondimento delle dinamiche idrauliche in atto.

Questa schematizzazione consente una sintetica ma esaustiva illustrazione delle modellazioni compiute, e ne garantisce una lettura intuitiva ed immediata, se affiancata dall'analisi delle tavole e degli allegati al presente lavoro.

## 6.1 CANALE EMISSARIO BIENTINA

### 6.1.1 *Introduzione*

Lo studio idrologico-idraulico del Canale Emissario Bientina rappresenta il fulcro di tutto il lavoro.

Come anticipato, tale corso d'acqua presenta una lunghezza pari a circa 10.9 km, tra la confluenza col Canale Rogio e "la Botte", per un bacino, a monte, di circa 173 kmq, e complessivamente pari a circa 319 kmq.

Non sono risultate disponibili verifiche idrauliche sul Canale Emissario eseguite da enti sovra comunali o comuni limitrofi, pertanto il presente studio, sia dal punto di vista idrologico, come anticipato, sia dal punto di vista idraulico rappresenta il primo approfondimento vero e proprio di questo corso d'acqua.

E' stato realizzato un modello idraulico del Canale Emissario Bientina in moto vario; nella modellazione è stata ricostruita la geometria del fiume grazie all'utilizzo delle sezioni fluviali messe a disposizione dalla Provincia di Pisa (risalenti agli anni Settanta ma di cui sono state recentemente verificate le sommità arginali ed eventualmente modificate), e l'andamento plano-altimetrico del territorio circostante mediante l'acquisizione della sola Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000 in formato *dxf*, in particolare dei fogli 273040, 273080 e 273120.

Nella modellazione è stata studiata solo l'asta del Canale Emissario, ma sono stati computati anche tutti i contributi laterali degli affluenti, sia in sinistra che in destra idraulica, sulla base dei risultati e della suddivisione in sottobacini del modello idrologico.

L'elenco degli affluenti con i relativi contributi è riportato nel Par. 6.1.2.2, e ciascuno di essi è mostrato nella Tav. 3 allegata.

Tutti gli idrogrammi di ingresso derivano dal modello idrologico di HMS di cui al precedente Cap. 4.

Le elaborazioni eseguite hanno permesso di ottenere i dati necessari per la perimetrazione delle aree allagabili allo stato attuale per i tempi di ritorno considerati (20, 30, 100, 200 e 500 anni).

L'analisi dei risultati e l'interpretazione conclusiva delle dinamiche idrauliche ha, infine, consentito di predisporre anche le carte dei battenti idraulici e la proposta di aggiornamento del quadro conoscitivo del P.A.I., nonché di definire alcune prescrizioni idrauliche per la fattibilità delle previsioni urbanistiche nelle U.T.O.E. comunali.

## 6.1.2 *Modello idraulico Canale Emissario Bientina*

### 6.1.2.1 *Caratterizzazione geometrica del modello*

Il modello idraulico ricostruito attraverso l'utilizzo del codice di calcolo Hec-Ras 4.0 si fonda su un'accurata descrizione geometrica del tracciato fluviale studiato e degli elementi geometrici caratteristici, come già segnalato nel Cap. 5.

Le sezioni idrauliche utilizzate sono riportate nell'Allegato 3 al presente lavoro (sono riportati anche i livelli idrometrici cinquecentennali, duecentennali, centennali, trentennali e ventennali).

La descrizione delle caratteristiche fisiche del corso d'acqua e del territorio modellati è affidata alla seguente tabella riepilogativa; i dati riportati trovano esatto riscontro nelle tavole allegate al presente lavoro e nelle tabelle dei risultati output di Hec-Ras.

In particolare lo schema idraulico con le APE e l'andamento delle sezioni fluviali è riportato nelle Tav. 3.

Ciascuna area di potenziale esondazione, o "*Storage Area*", è definita da una propria curva di invaso estratta, mediante un'apposita "*routine*" di calcolo accessoria di ArcView 3.2, dal D.T.M. creato su base cartografia 1:10.000.

<i>Corso d'acqua</i>	CANALE EMISSARIO BIENTINA	
<i>Modellazione</i>	MOTO VARIO	
<i>Lunghezza totale tratto studiato</i>	[m]	10.923,16
<i>Sezioni idrauliche "River Station"</i>	[n°]	20
<i>Ponti ("Bridge")</i>	[n°]	3
<i>Traverse ("Inline Structure")</i>	[n°]	0
<i>Aree di Potenziale Esondazione ("Storage Area") - destra idraulica</i>	[n°]	6
<i>Aree di Potenziale Esondazione ("Storage Area") - sinistra idraulica</i>	[n°]	14
<i>Sfioratori / Argini ("Lateral Structure") - destra idraulica</i>	[n°]	4
<i>Sfioratori / Argini ("Lateral Structure") - sinistra idraulica</i>	[n°]	9
<i>Connessioni tra APE ("S.A. Connection")</i>	[n°]	26
<i>Scabrezza (coefficiente n di Manning)</i>	$[s/m^{1/3}]$	0.035-0.03-0.035

Tab. 10 - Caratteristiche geometriche del modello idraulico del Canale Emissario

Si sottolinea che la modellazione delle aree di potenziale esondazione adiacenti al corso d'acqua si è limitata alle aree interessate da fenomeni esondativi o immediatamente prossime ad aree esondate; quindi, in sinistra idraulica la modellazione arriva, fino a monte del capoluogo, in destra, invece, a cavallo del confine comunale tra Bientina e Buti.

Inoltre, si sottolinea che alcuni attraversamenti più a valle non sono stati modellati, in quanto, visti i livelli idrometrici nelle sezioni corrispondenti, non avrebbero interferito con gli eventi di piena considerati; in ogni caso, tali attraversamenti sono mostrati nella Tav. 11 delle sezioni idrauliche del Canale Emissario.

### 6.1.2.2 Input idrologici e condizioni al contorno

Al modello geometrico appena descritto sono stati applicati gli idrogrammi in ingresso per ciascuno dei 5 tempi di ritorno analizzati, già riportati nella Fig. 19. Unitamente a tali idrogrammi sono stati inseriti, come anticipato, anche i contributi dei vari affluenti.

La seguente tabella individua i picchi di portata sia per l'idrogramma di monte ("Flow Hydrograph") sia per i contributi laterali degli affluenti ("Lateral Inflow Hydrograph").

Corso d'acqua	Sezione di immissione	Picco di portata - TR500	Picco di portata - TR200	Picco di portata - TR100	Picco di portata - TR30	Picco di portata - TR20
	[n°]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]	[m <sup>3</sup> /s]
<b>Canale Emissario Bientina</b>	20	629.81	618.96	605.64	552.96	517.52
<i>Rio Ponticeli</i>	16 (sx)	141.63	141.63	141.63	141.63	141.63
<i>Rio Vaiano</i>	15 (sx)	35.19	35.19	35.19	35.19	35.19
<i>ABB SX 1</i>	14 (sx)	20.61	17.44	15.37	12.35	11.62
<i>Fosso ci Confine</i>	13 (dx)	63.74	63.74	63.74	63.74	63.74
<i>ABB SX 2</i>	12 (sx)	35.36	29.79	26.26	20.87	19.34
<i>Fosso Fungaia</i>	9 (sx)	42.71	35.91	31.49	25.08	23.22
<i>Fossa Nuova</i>	8 (sx)	59.83	50.01	44.03	35.00	32.38
<i>Fosso Campomaggio</i>	4 (dx)	186.02	154.12	133.48	103.09	94.68
<i>ABB SX 3</i>	2 (sx)	40.50	34.03	29.38	23.73	21.97

Tab. 11 - Portate di picco del Canale Emissario Bientina ed i vari affluenti valutati per l'evento critico di durata pari a 4 ore.

Nella precedente tabella sono colorati in grigio gli spazi relativi ai 3 corsi d'acqua oggetto di "laminazione" nell'ipotesi di cui al Cap. 4.



La condizione al contorno di valle adottata nella modellazione dei 4 scenari di rischio corrisponde al “*Flow Hydrograph*” che descrive l’effettiva portata transitante da “la Botte”.

Questo idrogramma, di cui la seguente Fig. 22 mostra il caso di evento ventennale, è stato ricavato applicando dapprima una simulazione utilizzando come condizione di valle la pendenza di moto uniforme (“*Normal Depth*”) pari a 0.00023, e successivamente ricostruendo detto idrogramma da quello risultante alla sezione di chiusura (Sez. 1) dalla precedente simulazione.

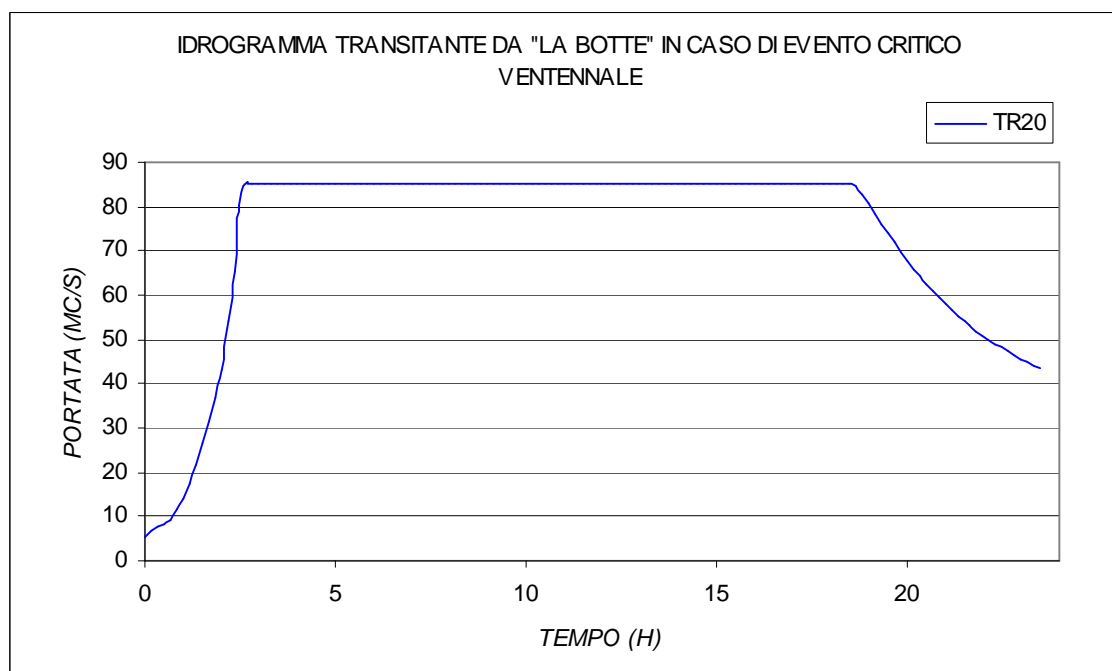


Fig. 22 - Condizione al contorno di valle (Sez. 1) nel caso ventennale

Il valore di 85 mc/s di portata quale valore limite di deflusso attraverso “la Botte”, è stato prelevato dalla documentazione messa a disposizione dalla Provincia di Pisa relativa a “la Botte” e al progetto di raddoppio della stessa (anni '70).

Di seguito si riportano due estratti di suddetti documenti, che mostrano la sezione de “la Botte” e i concetti idraulici applicati per la definizione della massima portata transitante.

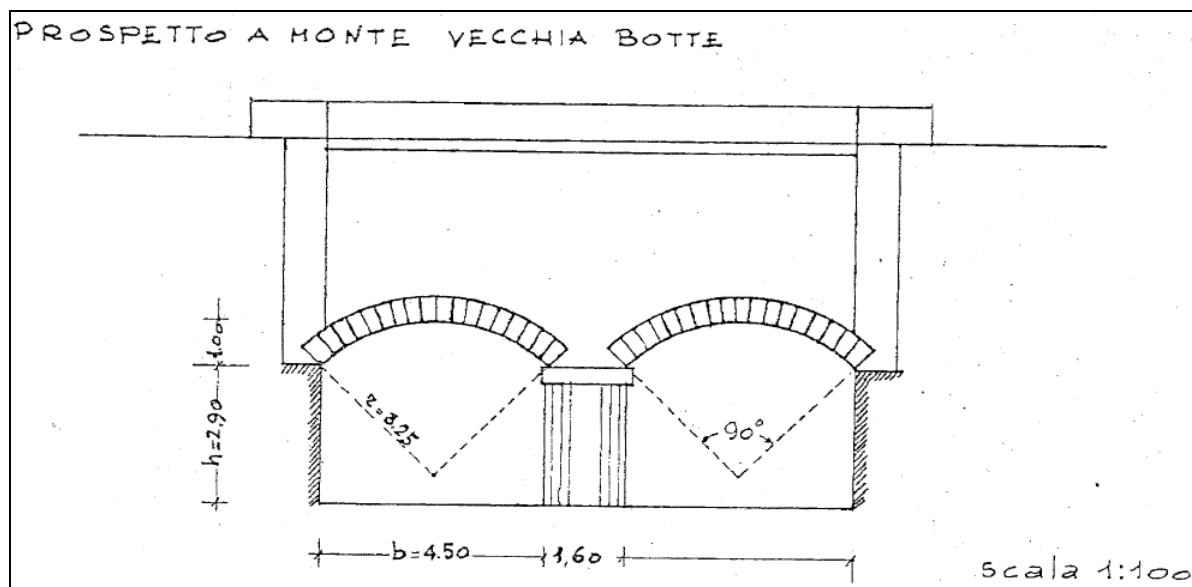


Fig. 23 - Schema della sezione attuale de "la Botte"



Fig. 24 - Immagine de "la Botte" allo stato attuale

Sulla base dei precedenti valori calcolati, al variare della portata, si compila la seguente tabella:

Portata globale $Q$ (mc/sec)	Altezza di moto unif. $h_u$ (mt)	Carico disponibile $H_d$ (mt)	Carico necessario $H_n$ (mt)
60	3,30	1,475	0,71
70	3,52	1,460	0,97
80	3,71	1,440	1,26
90	3,90	1,430	1,60
100	4,07	1,410	1,98

Si costruisce pertanto il grafico di figura 5 nel quale sono riportate le due curve  $H_d = f(Q)$  [curva b] e  $H_n = f(Q)$  [curva a], relative rispettivamente alle perdite di carico, nella struttura attuale, disponibili e necessarie, senza che si verificino esondazioni nel tratto a monte nel canale emissario.

L'intersezione di tali curve (vedi figura 5) permette di determinare la portata massima che potrebbe defluire nell'attuale botte (con  $\gamma$  del Bazin uguale ad 1), a canale sistemato sia a monte che a valle, secondo il progetto dell'Ente Maremma.

Essa risulta :

$Q_{max} = 85,70 \text{ mc/sec}$

Fig. 25 - Estratto dello studio finalizzato al raddoppio de "la Botte" (Ente Maremma, '73), da cui si evince la valutazione della portata massima di deflusso pari a 85.70 mc/s.

### 6.1.3 *Definizione delle aree allagate*

Una volta eseguite le elaborazioni idrauliche col codice di calcolo Hec-Ras del modello appena descritto, sono stati acquisiti i dati di output relativi alle sezioni e alle “Storage Area” (Allegato 2 - Studio idraulico Canale Emissario Bientina) e tracciate le perimetrazioni delle aree allagate allo stato attuale per i 5 tempi di ritorno considerati.

La modalità di tracciamento delle aree allagate consiste nella connessione, APE per APE, delle curve di livello corrispondenti al massimo livello idrometrico raggiunto in ciascuna di esse, risultante dalle simulazioni idrauliche (Allegato 2). I perimetri dei livelli risultanti, presentando spesso contorni irregolari e poco realistici, sono poi stati rimodellati e “smussati”, anche sulla base dei vincoli morfologici del territorio.

La Tav. 4 mostra l'estensione delle aree allagate del Canale Emissario Bientina allo stato attuale su tutto il territorio comunale, in scala 1:10.000.

E' opportuno ricordare che le aree allagate, per tutti i tempi di ritorno considerati, coinvolgono anche porzioni di territori comunali limitrofi.

### 6.1.4 *Considerazioni sui risultati della modellazione*

Come già anticipato, la graficizzazione delle aree allagate conferma come il fondovalle il Padule, limitato, in questo studio, alla porzione ricadente sul comune di Bientina, sia in sinistra idraulica che in destra, risulti attualmente soggetto ad inondazione anche per tempi di ritorno relativamente brevi.

Tutto ciò è confermato anche dalla memoria storica e, per di più, è risaputo che nelle aree occupate dall'Oasi di Tanali, quasi regolarmente, in caso di pioggia, si hanno esondazioni con ristagno di acqua anche per giorni (anche se questi fenomeni sono principalmente dovuti all'inadeguatezza delle sezioni del Fosso di Confine e del reticolo minore).

Gli allagamenti in destra risultano assai ingenti, e si calcolano milioni di metri cubi di volumi esondati; nell'Allegato 2 si riportano le tabelle di output del modello idraulico.

In sinistra idraulica il fenomeno appare leggermente meno marcato, in virtù della quota arginale sinistra più alta, e tende a coinvolgere maggiormente aree più distanti dal corso d'acqua, caratterizzate da quote del piano campagna più basse.

Complessivamente il perimetro delle aree esondate ripercorre in modo abbastanza fedele quello che un tempo era il contorno del Lago di Bientina.

Il territorio adiacente al Canale Emissario, in pratica, si comporta come una grande cassa di espansione naturale.

Occorre ricordare, in ogni caso, che anche le aree non modellate a monte del Canale Emissario, parte delle quali ancora ricadenti su Bientina, sono parimenti soggette ad allagamento, come confermano anche le carte del P.A.I., pertanto, nel presente modello, nonostante l'ipotesi di laminazione al 50% degli affluenti di monte, l'entità del fenomeno appare ancora sovrastimata.

Anche rispetto all'attuale quadro conoscitivo del P.A.I., si segnalano, e si propongono, soltanto modifiche in aggravio (ciò è dovuto anche al fatto che non è stato modellato idraulicamente il reticolo minore, ma solo l'asta principale). Le considerazioni sull'aggiornamento del quadro conoscitivo sono rimandate al Cap. 9.

Nonostante le notevoli proporzioni del fenomeno esondativo, le aree comunali oggetto di previsioni risultano distanti dalle quelle maggiormente a rischio.

## 6.2 FOSSO FUNGAIA

### 6.2.1 *Introduzione*

Il Fosso Fungaia, nel tratto studiato, è un piccolo canale artificiale non arginato che scorre a Nord dell'abitato di Bientina fino all'intubamento in corrispondenza di Via Pacini. In destra idraulica il territorio non è urbanizzato, a meno di pochi edifici sparsi, in sinistra, invece, nel tratto a monte dell'intubamento, sono presenti alcuni complessi residenziali.

Anche in questo caso, si osserva una differenza tra la sommità della sponda sinistra (più alta) rispetto alla sponda destra (più bassa).

Anche per il Fosso Fungaia è stata realizzata una modellazione in moto vario col codice di calcolo Hec Ras 4.0, secondo i medesimi criteri adottati per il modello del Canale Emissario.

### 6.2.2 *Modello idraulico Fosso Fungaia*

#### 6.2.2.1 *Caratterizzazione geometrica del modello*

Il tratto fluviale di interesse del Fosso Fungaia risulta piuttosto ridotto; è stato eseguito un rilievo topografico ad hoc che ha permesso di rappresentare compiutamente il corso d'acqua e le opere di attraversamento presenti.

Le sezioni rilevate sono riportate nella Tav. 12 allegata.

La modellazione delle APE, con la relativa curva di invaso, è stata effettuata utilizzando come supporto 3D il DMT complessivo descritto in precedenza, acquisendo, e quotando, anche i punti della C.T.R. in scala 1:2.000.

Le celle di esondazione modellate sono mostrate in Tav. 5, unitamente alle aree allagate.

<i>Corso d'acqua</i>	FOSSO FUNGAIA	
<i>Modellazione</i>	MOTO VARIO	
<i>Lunghezza totale tratto studiato</i>	[m]	871,44
<i>Sezioni idrauliche "River Station"</i>	[n°]	15
<i>Ponti ("Bridge")</i>	[n°]	2
<i>Traverse ("Inline Structure")</i>	[n°]	0
<i>Aree di Potenziale Esondazione ("Storage Area") - destra idraulica</i>	[n°]	4
<i>Aree di Potenziale Esondazione ("Storage Area") - sinistra idraulica</i>	[n°]	2
<i>Sfioratori / Argini ("Lateral Structure") - destra idraulica</i>	[n°]	4
<i>Sfioratori / Argini ("Lateral Structure") - sinistra idraulica</i>	[n°]	1
<i>Connessioni tra APE ("S.A. Connection")</i>	[n°]	3
<i>Scabrezza (coefficiente n di Manning)</i>	[s/m <sup>3</sup> ]	0.03-0.03-0.03

Tab. 12 - Caratteristiche geometriche del modello idraulico del Fosso Fungaia

#### 6.2.2.2 Input idrologici e condizioni al contorno

Come anticipato nel Cap. 4, per il Fosso Fungaia è stato necessario approfondire la conoscenza del reticolo e definire l'esatto perimetro del bacino, rispetto a quanto introdotto nel modello idrologico del Canale Emissario.

Sono stati individuati due bacini (Fig. 20 e Tab. 9) e pertanto introdotti due idrogrammi distinti.

Quello relativo al "bacino monte" come "Flow Hydrograph" alla sezione 15 e quello del "bacino valle" come "Lateral Inflow Hydrograph" alla sezione 2.

Per la presenza dell'intubamento (Tav. 12 - Sez. 1), tubo circolare di diametro pari a 1.84 metri, si è reso necessario valutare dapprima la portata in ingresso al restringimento, stabilire se la luce libera fosse in grado di smaltirla e, eventualmente, modificare l'idrogramma di deflusso come condizione al contorno.

Per far ciò è stata inizialmente fatta una simulazione con condizione di valle “*Normal Depth*”, come per il modello del Canale Emissario.

Per tutti i 5 scenari studiati, la portata in ingresso al “tombino” è risultata inferiore a 9 mc/s, che corrisponde alla portata effluente da una luce a battente secondo la relazione:

$$Q = 0.62\sqrt{2gh}$$

in cui  $h$  rappresenta il massimo livello idrometrico in alveo rispetto al baricentro della luce.

Per questo motivo è risultato sufficiente inserire, nei modelli finali, come condizione al contorno l'idrogramma risultante alla Sez. 1 nei modelli preliminari con “*Normal Depth*”.

### 6.2.3 *Definizione delle aree allagate e considerazioni*

Il tracciamento delle aree allagate allo stato attuale è stato eseguito secondo la medesima metodologia del modello del Canale Emissario.

A differenza di quest'ultimo, però, il Fosso Fungaia, non essendo arginato e per la particolare morfologia del territorio circostante, pone maggiori problemi di tracciamento delle aree allagabili.

In particolare si osserva che, soprattutto in sinistra idraulica, le aree prospicienti il corso d'acqua presentano quote di piano campagna a volte maggiori rispetto alle aree più distanti; tutto ciò può determinare conflitto tra la dinamica reale e quella risultante dal modello.

Perciò, seppur il modello determina esondazione in sinistra, nella realtà ciò non può accadere per la presenza di sommità di sponda o quote più elevate in prossimità del corso d'acqua; quindi il contributo in sinistra è stato applicato alla destra idraulica, dove, in effetti, si possono verificare eventi esondativi, per quanto assai limitati e caratterizzati da battenti e volumi molto ridotti.

Anche per il Fosso Fungaia si ritiene che la procedura adottata sia a favore di sicurezza; in questo caso, a differenza del Canale Emissario, non si hanno esempi recenti di allagamenti per esondazione del fosso, come confermato anche dalle carte del P.A.I.

I risultati delle simulazioni di Hec-Ras nei 5 scenari studiati sono riportati nell'Allegato 3.

In Tav. 5 sono mostrate le aree allagate del Fosso Fungaia, per eventi cinquecentennali, duecentennali, centennali, trentennali e ventennali.

Le sezioni idrauliche utilizzate per la modellazione sono riportate in Tav. 12.

In definitiva, le porzioni di territorio soggette ad esondazione del Fosso Fungaia, si espandono in destra idraulica senza interferire con i due poderi presenti, e, soprattutto, senza interessare l'U.T.O.E. del capoluogo, in sinistra, protetta da quote di “testa” di sponda più elevate.

La superficie coinvolta si estende, ad esempio, per 5 ettari in caso di evento trentennale e 7 nel caso duecentennale, con battenti medi pari a circa 40 cm e 57 cm rispettivamente.

## 6.3 FOSSA NUOVA

### 6.3.1 *Introduzione*

In questo paragrafo viene sintetizzato il modello idraulico per la Fossa Nuova, corso d'acqua che presenta un bacino idrografico complessivo di circa 6.7 kmq, che attraversa il centro abitato di Bientina e che fa da principale collettore delle acque ricadenti sull'interno abitato.

Anche in questo caso è stata realizzata una modellazione in moto vario col codice Hec Ras 4.0, basata sulle sezioni idrauliche appositamente rilevate, comprensive dei numerosi attraversamenti e tombamenti presenti lungo il corso d'acqua, fino alla confluenza col Canale Emissario, e sulla C.T.R. in scala 1:10.000.

### 6.3.2 *Modello idraulico Fossa Nuova*

#### 6.3.2.1 *Caratterizzazione geometrica del modello*

Anche la modellazione della Fossa Nuova è stata eseguita, come anticipato, in moto vario.

Il tratto analizzato è piuttosto ampio e consente di valutare il rischio idraulico per tutte le porzioni di U.T.O.E. del capoluogo che costeggiano il corso d'acqua. Sono state rilevate 32 sezioni idrauliche e grazie ad esse è stato rappresentato l'esatto andamento della Fossa Nuova.

Tali sezioni sono riportate nelle Tavv. 13 e 14 allegate al presente lavoro.

Il territorio circostante, in particolare la parte a monte del centro abitato, storicamente più a rischio, è stato modellato attraverso il DTM realizzato nella modellazione del Canale Emissario.

Di ciascuna "*Storage Area*" è stata ricavata la curva di invaso e definita la geometria del modello, secondo lo schema già ampiamente descritto nei precedenti capitoli.

Alla luce dei risultati successivamente descritti, è stato sufficiente modellare soltanto la parte di monte, come mostra la Tav. 6 allegata, in quanto soltanto questa parte è risultata effettivamente interessata da fenomeni esondativi.



<i>Corso d'acqua</i>	FOSSA NUOVA	
<i>Modellazione</i>	MOTO VARIO	
<i>Lunghezza totale tratto studiato</i>	[m]	2.908,33
<i>Sezioni idrauliche "River Station"</i>	[n°]	32
<i>Ponti ("Bridge")</i>	[n°]	10
<i>Traverse ("Inline Structure")</i>	[n°]	0
<i>Aree di Potenziale Esondazione ("Storage Area") - destra idraulica</i>	[n°]	0
<i>Aree di Potenziale Esondazione ("Storage Area") - sinistra idraulica</i>	[n°]	3
<i>Sfioratori / Argini ("Lateral Structure") - destra idraulica</i>	[n°]	0
<i>Sfioratori / Argini ("Lateral Structure") - sinistra idraulica</i>	[n°]	2
<i>Connessioni tra APE ("S.A. Connection")</i>	[n°]	5
<i>Scabrezza (coefficiente n di Manning)</i>	[s/m <sup>1/3</sup> ]	0.03-0.03-0.03

Tab. 13 - Caratteristiche geometriche del modello idraulico della Fossa Nuova

### 6.3.2.2 Input idrologici e condizioni al contorno

Come anticipato nel Cap. 4, per la Fossa Nuova non è stato eseguito alcun approfondimento sul bacino, perciò, operando assolutamente a favore di sicurezza, sono stati introdotti gli idrogrammi di Fig. 21 in corrispondenza della sezione di apertura del modello (Sez. 32).

Come condizione di valle è stato adottato, indifferentemente per i 5 scenari, uno "Stage Hydrograph" relativo al livello del Canale Emissario Bientina in corrispondenza della sezione di confluenza (Sez. 8), pari a 8.59 m s.l.m., corrispondente al livello raggiunto dal Canale Emissario per un evento ventennale di durata pari a 1.5 ore.

### 6.3.3 *Definizione delle aree allagate allo stato attuale e considerazioni*

Il tracciamento delle aree allagate allo stato attuale è stato eseguito secondo la medesima metodologia del modello del Canale Emissario e del Fosso Fungaia.

Come già anticipato, e come confermano anche la memoria storica nonché le carte del P.A.I., l'area a monte del centro abitato, delimitata da rilevati stradali e arginelli protettivi, coincidente con l'area di potenziale esondazione S1, si comporta da cassa di espansione naturale, allagandosi completamente ed abbattendo la portata in ingresso al centro abitato.

La Tav. 6 allegata mostra l'estensione delle aree allagabili nei 5 scenari studiati. I risultati delle simulazioni idrauliche, in termini di output di Hec Ras, sono riportati nell'Allegato 4.

Complessivamente i volumi esondati sono notevoli, anche per eventi con tempi di ritorno più bassi; ad esempio, nel caso trentennale, il battente risulta pari a circa 1.74 m, nel caso duecentennale, invece, circa 1.82 m.

## **7. CONSIDERAZIONI FINALI SUL RISCHIO IDRAULICO PER LE SINGOLE U.T.O.E. COMUNALI E PRESCRIZIONI PER LA FATTIBILITA' DELLE PREVISIONI URBANISTICHE**

### **7.1 U.T.O.E. 1 "BIENTINA - CAPOLUOGO"**

L'U.T.O.E. 1 è attraversata dai corsi d'acqua Fosso Fungaia e Fossa Nuova, per ampi tratti intubati, e, tra la Sez. 11 e la Sez. 12, è fiancheggiata dal Canale Emissario.

I risultati delle verifiche idrauliche evidenziano l'assenza di rischio per esondazione diretta da parte dei suddetti corsi d'acqua.

In particolare le esondazioni del Canale Emissario si fermano molto più a monte del centro abitato, mentre quelle relative al Fosso Fungaia e alla Fossa Nuova non interessano direttamente porzioni di U.T.O.E., come mostrano le Tavv. 5 e 6 allegate.

Per questo motivo le previsioni urbanistiche all'interno dell'U.T.O.E. 1 non saranno soggette a particolari prescrizioni di natura idraulica.

In ogni caso, sia per le aree adiacenti al Fosso Fungaia, sia per quelle adiacenti alla Fossa Nuova, dovranno essere garantiti opportuni franchi di sicurezza di almeno 50 cm rispetto ai livelli duecentennali risultanti in alveo nelle sezioni corrispondenti.

Le aree ricadenti all'interno delle perimetrazioni con tempo di ritorno ventennale non potranno essere edificate se non attraverso la preliminare realizzazione di interventi di messa in sicurezza, quali ad esempio opere di laminazione e arginature, con la dimostrazione della riduzione del rischio idraulico e conseguente deperimetrazione delle aree allagate.

Le aree ricadenti all'interno delle perimetrazioni con tempo di ritorno compreso fra 20 anni e 200 anni potranno essere edificate a condizione che vengano garantiti franchi di sicurezza di almeno 50 cm rispetto al battente idraulico allo stato attuale e che vengano contestualmente realizzati interventi di compensazione dei volumi sottratti alla libera esondazione delle acque.

### **7.2 U.T.O.E. 3 "AREA INDUSTRIALE DI PRATOGRANDE"**

L'urbanizzazione dell'area industriale di Pratogrande rappresenta la principale previsione urbanistica del comune di Bientina.

Il presente studio idrologico-idraulico è stato realizzato, essenzialmente, per definire il rischio idraulico dell'U.T.O.E. 3 e verificare la fattibilità degli interventi in essa previsti.

Tale area costeggia il Canale Emissario Bientina, tra la Sez. 14 e la Sez. 11, e risulta, inoltre, attraversata da alcuni canali minori, come il Fosso della Grondaccia e il Fosso Nespolino; in più, allo stato attuale, è caratterizzata dalla presenza di una moltitudine di fossi di scolo, come del resto in tutto il Padule.

Lo studio idraulico del Canale Emissario ha confermato l'ottima scelta dell'Amministrazione, escludendo l'U.T.O.E. 3 dalle aree allagate, anche per tempo di ritorno di 500 anni.

Per di più, come accennato nella parte iniziale di questo lavoro, anche a fronte di valutazioni idrologiche che massimizzassero il fenomeno, ovvero senza ipotizzare l'effetto di laminazione di cui al Par. 4.5, l'area industriale di Pratogrande non sarebbe stata interessata da allagamenti del Canale Emissario Bientina.

Per le previsioni urbanistiche all'interno di detta area, anche tenuto conto della presenza di corsi d'acqua minori e per garantire ulteriori margini di sicurezza, sarà necessario mantenere una fascia di rispetto di 15 metri sia in sinistra che in destra idraulica tra le nuove edificazioni e i canali principali e applicare un rialzo del piano di posa dei nuovi fabbricati non inferiore a 30 cm.

Inoltre, in caso di realizzazione di ampie superfici scoperte impermeabilizzate (piazzali), dovrà essere garantito, attraverso un adeguato sistema di raccolta, il deflusso delle acque su di esse insistenti verso i fossi minori, previa verifica delle pendenze degli stessi e dell'adeguatezza delle sezioni idrauliche.

## **8. DEFINIZIONE DELLE CARTE DEI BATTENTI IDRAULICI**

La definizione delle carte dei battenti idraulici, limitatamente alle aree allagate del Canale Emissario Bientina, risulta necessaria per l'individuazione, secondo i criteri del P.A.I., delle aree a pericolosità idraulica.

Sono stati presi in considerazione gli eventi per tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni.

Le carte dei battenti sono rappresentate dalle Tavv. 7, 8 e 9.

Tali carte sono state elaborate ricavando, APE per APE, le curve di livello ad intervalli di 1 metro rispetto a quella relativa al massimo livello raggiunto ed assegnando alle sottoaree risultanti i battenti inferiori al metro, tra 1 e 2 metri, tra 2 e 3 metri, tra 3 e 4 metri e superiori a 4 metri.

## **9. PROPOSTA DI AGGIORNAMENTO DEL QUADRO CONOSCITIVO DEL P.A.I.**

I risultati delle modellazioni idrauliche descritte in questo studio hanno permesso, tra le altre cose, di elaborare una proposta di aggiornamento del quadro conoscitivo del P.A.I. dell'Autorità di Bacino del Fiume Arno.

Le Figg. 1 e 2 riportate ad inizio relazione mostrano le carte della pericolosità idraulica a livello di sintesi del P.A.I.

Alla luce dei risultati del presente lavoro vengono proposte delle modifiche, esclusivamente in aggravio.

Difatti, parte delle aree a pericolosità idraulica maggiore (P.I. 4 e P.I. 3) del P.A.I. derivano dal rischio congiunto del Canale Emissario Bientina e di altri corsi d'acqua, tra cui, ad esempio, il Rio Ponticelli e il Rio Vaiano in sinistra idraulica.

Non essendo stati questi ultimi studiati, la proposta di aggiornamento nasce dalla sovrapposizione delle aree nuove allagate dal Canale Emissario con le vecchie aree allagate, da cui scaturisce l'aggravio in destra e in sinistra (a monte), e il mantenimento dell'attuale livello di rischio per le altre aree non interessate da allagamento del Canale Emissario o degli altri corsi d'acqua studiati.

I nuovi perimetri a pericolosità molto elevata (P.I. 4) coincidono con le aree allagate per tempo di ritorno pari a 30 anni, esclusa la piccola porzione finale di territorio comunale in destra idraulica ai confini con Buti, per la quale è stato parzialmente adottato il criterio dei 30 cm, ovvero il perimetro della P.I. 4 corrisponde al perimetro trentennale con battenti superiori ai 30 cm.

Lo stesso criterio è stato adottato per le aree a pericolosità idraulica elevata (P.I. 3).

La Tav. 10 allegata al presente lavoro mostra l'estratto del nuovo quadro conoscitivo proposto, limitatamente alle aree soggette a modifica.

## 10. CONCLUSIONI

In conclusione, si può affermare che le aree comunali con previsioni urbanistiche risultano caratterizzate da un basso livello di rischio idraulico, per di più a seguito di modellazioni, sia idrologiche sia idrauliche, ampiamente cautelative, frutto di assegnazioni ai parametri in gioco di valori assolutamente a favore di sicurezza, tanto da rendere i fenomeni studiati probabilmente sovrastimati; l'aggravio dei livelli di pericolosità idraulica in molte aree ne è la dimostrazione effettiva.

Il modello idrologico del bacino del Canale Emissario Bientina può essere considerato come un primo approccio verso la definizione del rischio idraulico del Padule, che necessiterà di ulteriori approfondimenti ed integrazioni con studi di dettaglio anche dei corsi d'acqua secondari, magari a livello sovracomunale. In ogni caso, quanto realizzato è da considerarsi un importante contributo, anche in considerazione delle esigenze di partenza dello studio, ovvero il supporto al Regolamento Urbanistico del solo Comune di Bientina.

Alla luce dei risultati del presente lavoro, inoltre, potrebbe tornare di interesse la verifica della fattibilità degli interventi di laminazione previsti dalla Piano di Bacino.