

Università degli Studi di Ferrara – Dipartimento di Ingegneria

**LA CARATTERIZZAZIONE DEL RISCHIO
IDRAULICO NELLA STESURA DEL PIANO
STRUTTURALE COMUNALE ASSOCIATO
DELL'ALTO FERRARESE:
IL QUADRO CONOSCITIVO**

Ferrara, luglio 2007

Convenzione tra:

COMUNE DI BONDENO

e

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

Responsabile Scientifico: Prof. Ing. Marco Franchini

Responsabile Scientifico:

Prof. Ing. Marco Franchini

Collaboratori:

Ing. Stefano Alvisi

Ing. Anna Malagò

INDICE	
PREMESSA	1
1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
1.1 I sei comuni dell'Alto Ferrarese	5
1.2 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap	9
2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO	11
2.1 Introduzione	11
2.2 Evoluzione geomorfologica ed idrografica generale	11
3 TOPOGRAFIA DEL TERRITORIO	25
3.1 Introduzione	25
3.2 Punti appartenenti a linee/reti di livellazione geometrica	25
3.3 Punti quotati isolati da CTR5000	26
3.4 Il modello altimetrico del terreno	27
3.5 Interpretazione del TIN: la ricostruzione geomorfologica	30
3.6 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap	35
4 LA SUBSIDENZA	37
4.1 Introduzione	37
4.2 Rilievo della subsidenza	37
4.3 La subsidenza sui sei comuni dell'Alto Ferrarese: le velocità di abbassamento e le cause	41
5 IL SISTEMA DELLA BONIFICA	43
5.1 Introduzione	43
5.2 Area di studio	46
5.3 Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno	47
5.3.1 I confini geografici del territorio gestito dal Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno	47

5.3.2	Storia del territorio gestito dal Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno	50
5.3.3	La struttura idraulica del Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno	51
5.4	Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara	57
5.4.1	I confini geografici della zona Diamantina gestita dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara	57
5.4.2	Storia del territorio della zona Diamantina gestita dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara	60
5.4.3	La struttura idraulica della zona della Diamantina gestita dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara	62
5.5	Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro	66
5.5.1	I confini geografici della zona di Bassa Pianura gestita dal Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro	66
5.5.2	Storia della zona di Bassa Pianura gestita dal Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro	68
5.5.3	La struttura idraulica del territorio di Bassa Pianura gestito dal Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro	69
5.6	Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap	75
6	I TRATTI DEI FIUMI PRINCIPALI CHE ATTRAVERSANO IL TERRITORIO IN ESAME	77
6.1	Introduzione	77
6.2	Il fiume Reno	77
6.2.1	Inquadramento geografico ed idrologico	77
6.2.2	Le caratteristiche fisiche del tratto vallivo del fiume Reno	79
6.2.3	Il regime idraulico del tratto di interesse e le aree a rischio idraulico	80
6.2.4	Le piene significative del Reno	101
6.3	Il Cavo Napoleonico	105
6.3.1	La questione del Reno: un “rompicapo idraulico”	105
6.3.2	Le caratteristiche fisiche del Cavo Napoleonico	109
6.4	Il Canale Emiliano Romagnolo	127
6.4.1	La scarsità d’acqua nell’Emilia orientale e Romagna: la costruzione del C.E.R	127

6.4.2	Le caratteristiche fisiche del CER	131
6.5	Il Canale di Cento	143
6.5.1	Cenni storici	143
6.5.2	Le caratteristiche fisiche del Canale di Cento	147
6.6	Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap	171
7	ANALISI PLUVIOMETRICA	173
7.1	Introduzione	173
7.2	Pluviometria per eventi di pioggia estremi	173
7.2.1	Introduzione	173
7.2.2	Metodologia	174
7.2.3	Il modello probabilistico	176
7.2.4	I dati utilizzati	177
7.2.5	Stima regionale della pioggia di assegnata durata e tempo di ritorno	185
7.2.6	Metodo di stima della grandezza indice	191
7.3	Pluviometria per gli eventi in continuo	197
7.3.1	Introduzione	197
7.3.2	L'evento del maggio 1996	197
7.3.3	L'evento dell'ottobre 2005	203
7.3.4	Calcolo della pioggia areale	209
7.4	Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap	211
8	CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO AI FINI IDROLOGICI	217
8.1	Premessa	217
8.2	Descrizione del metodo CN del Soil Conservation Service	217
8.3	Applicazione del metodo CN-SCS alla zona di interesse	223
8.3.1	Introduzione	223
8.3.2	Dalla carta della litologia alla definizione del tipo idrologico di suolo	223
8.3.3	Dalla carta dell'uso del suolo ai valori corrispondenti del CN	237
8.4	Calcolo del CN medio pesato per ogni bacino di scolo	258
8.5	Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap	265

9	LO STUDIO DEGLI ALLAGAMENTI STORICI	271
9.1	Introduzione	271
9.2	Raccolta delle aree inondate dal 1949 al 2005	272
9.2.1	Allagamenti ottobre 2005	272
9.2.2	Allagamento 2001	275
9.2.3	Allagamenti dicembre 1996	275
9.2.4	Allagamenti maggio 1996	280
9.2.5	Allagamento 1982	283
9.2.6	Allagamento 1966	283
9.2.7	Allagamento 1961	284
9.2.8	Le rotte del Reno del 1949 e 1951	285
9.3	Gli allagamenti storici e l'altimetria, la permeabilità dei terreni e l'altezza della falda freatica	309
9.3.1	Gli allagamenti storici e l'altimetria del territorio	309
9.3.2	Gli allagamenti e la permeabilità	313
9.3.3	Gli allagamenti e le isobate della falda freatica	322
9.4	Gli allagamenti riscontrati più volte negli stessi punti	328
9.5	Conclusioni	339
9.6	Gli elaborati grafici del progetto ArcMap	341
10	L'INVARIANZA IDRAULICA	343
10.1	Premessa	343
10.2	La teoria dell'invaso lineare per la stima della portata in una rete fognaria	344
10.3	L'invarianza idraulica	350
10.4	Stima dei coefficienti di afflusso e delle frazioni di superficie impermeabile prima e dopo l'urbanizzazione	353
10.4.1	Stima della frazione impermeabile IMP	353
10.4.2	Stima del coefficiente di afflusso	360

INDICE

APPENDICE A	365
A.1 Il “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd”	367
A.2 Come aprire il “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd”	368
A.3 L’interfaccia di ArcMap i dati associati ed alcuni comandi utili	370
A.4 I tematismi/layers	373
A.5 Esplorare in ArcMap i dati associati all’informazione spaziale	375
A.6 Le proprietà dei layers	376
A.7 Richiamare i grafici realizzati nel progetto	378
APPENDICE B	379
B.1 Definizione del rischio idraulico	381
B.2 Un esempio di valutazione del rischio idraulico	382
APPENDICE C	385
C.1 La distribuzione GEV	387
C.2 Stima dei parametri u' , α' e k'	387
C.3 Rappresentazione della distribuzione GEV sul piano di Gumbel	389
BIBLIOGRAFIA	391
SITOGRAFIA	394

PREMESSA

Il presente lavoro ha come fine quello di realizzare un quadro conoscitivo per la caratterizzazione del rischio idraulico del territorio dell'Alto Ferrarese, a cui appartengono i comuni di Cento, Vigarano Mainarda, Bondeno, Mirabello, Poggio Renatico e Sant'Agostino.

Questo lavoro può essere scomposto nelle seguenti cinque tematiche:

- “Inquadramento territoriale”;
- “Pluviometria”;
- “Caratterizzazione del suolo ai fini idrologici”;
- “Allagamenti”;
- “L’invarianza idraulica connessa all’utilizzo del suolo”.

Queste tematiche si articolano in nove capitoli e tre appendici (A, B, C).

La prima tematica riassume tutti gli aspetti essenziali caratterizzanti il territorio. Inizialmente si descrive la geografia del territorio oggetto di studio (capitolo 1) e si pone l’attenzione sulla sua evoluzione geomorfologica (capitolo 2), strettamente legata alla complesse vicende idrauliche che ne hanno caratterizzato la storia. In particolare, nel capitolo 3 si descrivono le principali forme morfologiche: i paleoalvei, le rotte fluviali e le colmate delle valli, che sono individuabili in base all’esame dell’altimetria.

Nel capitolo 4 si descrive invece il fenomeno della subsidenza, mentre nel capitolo 5 vengono altresì caratterizzati i Consorzi di Bonifica: Valli Vecchio Reno, I Circondario Polesine di Ferrara e Burana Leo Scoltenna Panaro. Essi sono delineati in termini geografici, storici ed idraulici, evidenziando le caratteristiche fondamentali dei bacini di scolo, i collettori principali e tutti gli impianti dislocati sul territorio, compresi degli elementi necessari alla loro ubicazioni in termini di coordinate X ed Y UTM (Universal Transverse Mercator).

A completare l’inquadramento territoriale, nel capitolo 6, segue un approfondimento storico-tecnico di quattro corsi d’acqua di specifica importanza sul territorio in esame: il Reno, il Cavo Napoleonico, il Canale Emiliano Romagnolo ed il Canale di Cento.

Il tema della pluviometria viene trattato nel capitolo 7. Questo, a sua volta, si divide in due parti.

La prima riguarda l'analisi statistica delle piogge estreme, con l'obiettivo di realizzare, tramite il metodo della grandezza indice, una curva di crescita che associata ad opportune leggi regionali consente di stimare le altezze di pioggia di assegnato tempo di ritorno per durate comprese tra 1 ora e 1 giorno.

La seconda parte s'incentra sull'elaborazione di due eventi di pioggia reali: 9-13 maggio 1996 e 2-8 ottobre 2005. Per entrambi, dopo aver realizzato gli ietogrammi di ciascuna stazione di misura e realizzati i poligoni di Thiessen, si sono ottenuti gli ietogrammi areali di ogni bacino di scolo, fornendo così una descrizione della dinamica-spazio temporale dei due eventi.

La caratterizzazione del suolo ai fini idrologici è affrontato nel capitolo 8 (terza tematica). Oggetto dello studio è la caratterizzazione della risposta idrologica del terreno mediante il parametro CN (Curve Number). Utilizzando congiuntamente l'informazione sulla litologia (per definire i gruppi di suolo A, B, C, D) e su l'uso del suolo, si perviene ai valori adimensionali di CN(I), CN(II) e CN(III) medi pesati per ogni bacino di scolo. Questa informazione costituisce la base di partenza comune e solida per un qualsiasi studio che voglia quantificare la portata di progetto di assegnato tempo di ritorno in merito alla quale dimensionare opere idrauliche quali reti fognarie o canali di scolo.

La quinta tematica trattata s'incentra sul tema degli allagamenti (capitolo 9). L'obiettivo è quello di realizzare una memoria degli allagamenti dal più recente (ottobre 2005) al più lontano (1949), cercando di mettere in evidenza le cause, i punti di crisi, l'estensione e la persistenza di queste zone allagate, il tutto accompagnato da foto che testimoniano l'entità dei danni sui territori dell'Alto Ferrarese.

Infine si affronta il tema dell'invarianza idraulica (capitolo 10). In particolare, viene delineata una procedura che consente di stimare l'invaso specifico che si deve prevedere a seguito di una nuova urbanizzazione ed inoltre le modalità di stima del coefficiente d'afflusso e dell'area impermeabile. L'obiettivo che si vuole conseguire con questa parte dello studio è quello di formulare una metodica solida da applicare sistematicamente in modo da evitare l'arbitrarietà dei singoli ed avere quindi un

metodo che le amministrazioni possono utilizzare per confrontare in modo coerente i risultati di vari studi che a fronte di nuove urbanizzazioni o di interventi sul territorio vengono commissionati.

Alla presente relazione viene allegato anche un progetto in ArcMap, intitolato “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd”.

Esso, si articola in cinque blocchi logici (group layer):

- Inquadramento territoriale;
- Pluviometria;
- Caratterizzazione del suolo ai fini idrologici;
- Allagamenti;
- Cartografia.

Questa applicazione è di sintesi per gli studi sopra citati in termini di allegati grafici, di dati forniti dai tre Consorzi di Bonifica e dei risultati ottenuti nell’ambito dello studio pluviometrico e della caratterizzazione del suolo ai fini idrologici. In particolare, il blocco logico “Inquadramento Territoriale” è di integrazione alla prima tematica omonima, lo stesso dicasi per gli altri blocchi logici.

Al fine di collegare le tematiche trattate nei vari capitoli con quanto raccolto nel progetto in ArcMap, al termine di ogni capitolo si riporta un paragrafo (“Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap”) in cui si richiamano e descrivono i tematismi/layers che visualizzano tutti gli aspetti trattati nel corrispondente capitolo.

Prima di concludere si riporta una sintesi del contenuto delle appendici e degli allegati. Questi ultimi non sono forniti in formato cartaceo, a causa della mole di dati, ma vengono forniti nel CD allegato.

In APPENDICE A si fornisce il manuale del “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd”.

In APPENDICE B si definisce il rischio idraulico (R) e, come esempio di valutazione, si descrive la procedura adottata nella redazione del PSAI (Piano Stralcio Assetto Idrogeologico) da parte dell’Autorità di Bacino del Reno.

PREMESSA

In APPENDICE C si riporta la descrizione della distribuzione GEV ed il metodo per la stima dei parametri che la caratterizzano.

In allegato 1 vengono riportati i listati Matlab creati per lo studio statistico delle piogge estreme.

In allegato 2 si riportano i dati pluviometrici in forma tabellare e gli ietogrammi di ogni stazione pluviometrica.

In allegato 3 si riportano i pesi, i dati delle piogge areali e gli ietogrammi di ogni bacino di scolo relativi agli eventi pluviometrici considerati (maggio 1996 e ottobre 2005).

In allegato 4 si forniscono le tabelle utilizzate per la stima del CN medio pesato per ogni bacino di scolo.

1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

1.1 I sei comuni dell'Alto Ferrarese

L'area di interesse per questo studio comprende i sei comuni dell'Alto Ferrarese: Cento, Vigarano Mainarda, Sant'Agostino, Poggio Renatico, Bondeno e Mirabello. Nella tabella seguente si riporta l'estensione di questi comuni, ed in Figura 1-1 si osserva la loro localizzazione nella provincia di Ferrara.

<i>Comuni Alto Ferrarese</i>	<i>Area (ha)</i>
BONDENO	17513
CENTO	6474
MIRABELLO	1625
POGGIO RENATICO	8071
SANT'AGOSTINO	3487
VIGARANO MAINARDA	4193
<i>Totale</i>	<i>41363</i>

Tabella 1-1. Estensione dei sei comuni dell'Alto Ferrarese

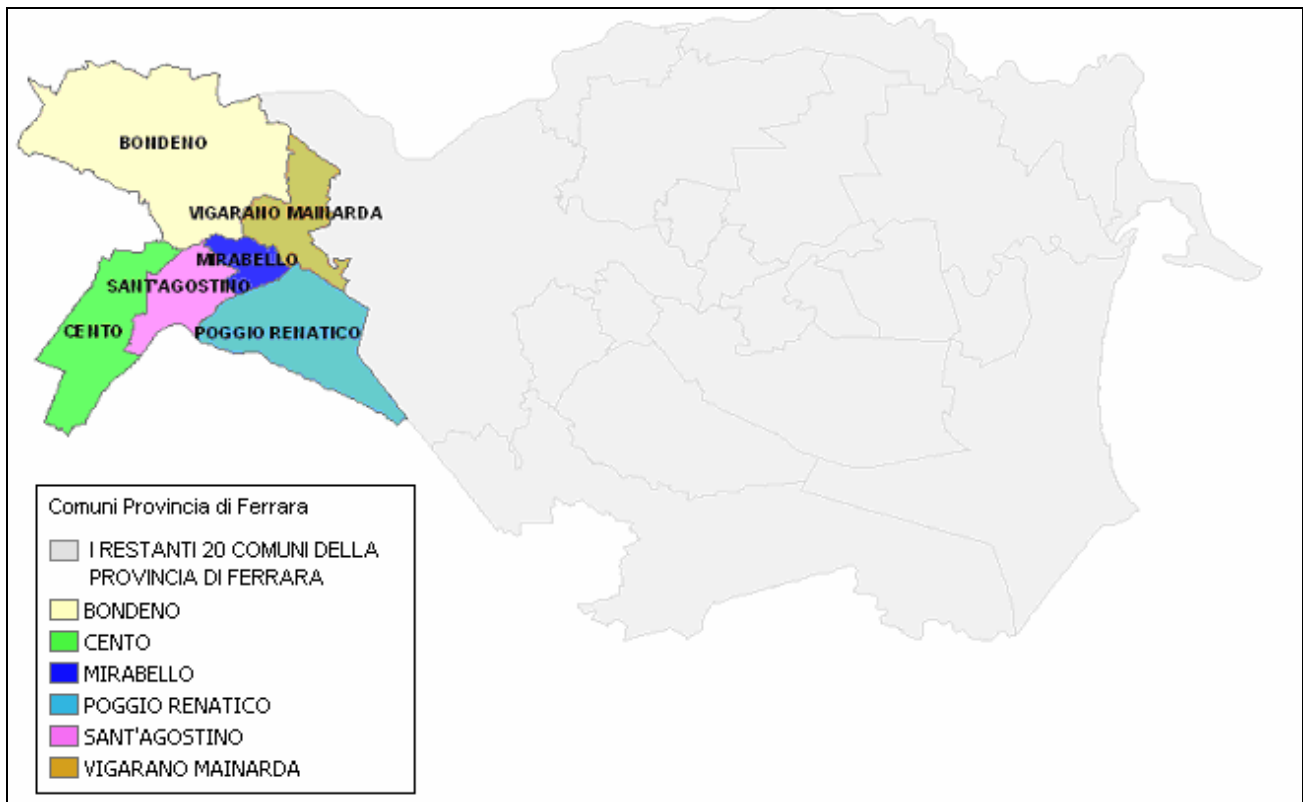


Figura 1-1. I sei comuni dell'Alto Ferrarese

I confini amministrativi dei sei comuni di interesse sono evidenti sulla cartografia 1:250000 (Figura 1-2), e in maggior dettaglio sulla Carta Tecnica regionale 1:5000 (Capitolo 3). In particolare, gli “elementi” della CTR 1:5000 ricadenti nella zona in questione sono evidenziati in Figura 1-3 ed elencati in Tabella 1-2.

Il Comune di Poggio Renatico è situato a sud-est tra quelli considerati e confina a sud interamente con il fiume Reno per circa 16.7 km, a nord in parte con lo scolo Madonna dei Boschi, ad ovest con lo scolo Consorziale Principale Rioso e lo scolo Ladino, mentre ad est è possibile individuare il confine seguendo in parte la via Confine Strada Comunale fino al Condotto F e G.

Meno intuibili attraverso il tracciato dei canali e strade sono i confini del comune di Vigarano Mainarda: a sud segue in buona parte la S.S. Correggio e poi lo scolo Madonna dei Boschi; ad est, dopo un breve tratto dello scolo Diramazione Maria, si prosegue per la campagna sino allo scolo scolo Mazzetti. Ad ovest la separazione tra il comune di Cento e Bondeno è descritta da due tratti: uno del Canale di Cento e l'altro dello scolo Savenuzza; infine parte del Burana e scolo Gallo disegnano il confine nord.

Il comune di Mirabello, posizionato centralmente tra i sei comuni di interesse, ha come confine nord la S.S. Correggio e a sud lo scolo Principale Superiore; ad est, lo scolo Ladino Inferiore e ad ovest lo scolo Canalazzo Superiore e San Carlo.

Il comune più esteso, Bondeno, è delimitato ad est dal comune di Ferrara, e spostandosi gradualmente a sud, dal comune di Vigarano Mainarda, Mirabello, S. Agostino e Cento per un totale di 23 km.

Il comune di Cento è interamente costeggiato a nord dalla S.S. di Correggio, ed a est segue il canale Chiodarolo Vecchio e Nuovo, il Canale di Cento sino al fiume Reno a sud, limite tra la provincia di Ferrara e quella di Bologna, mentre ad ovest il limite, e quindi la separazione tra la provincia di Ferrara e Modena, è data dalla via Rega Provinciale.

Infine, per il comune di Sant'Agostino basta ricordare che si trova internamente ai sei comuni d'interesse ed è delimitato a nord dal Comune di Bondeno, ad ovest da Cento, ad est da Mirabello e Poggio Renatico, mentre a sud dal Fiume Reno.

CAPITOLO 1

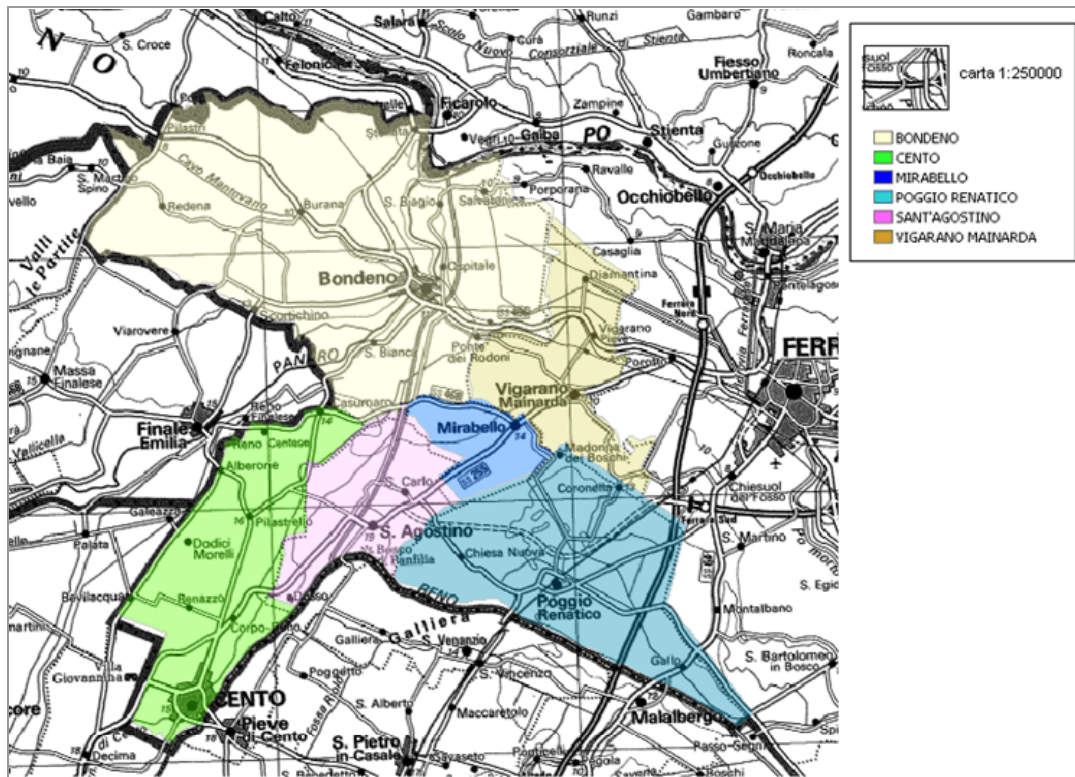


Figura 1-2. I sei comuni dell'Alto Ferrarese in riferimento alla cartografia 1:250000

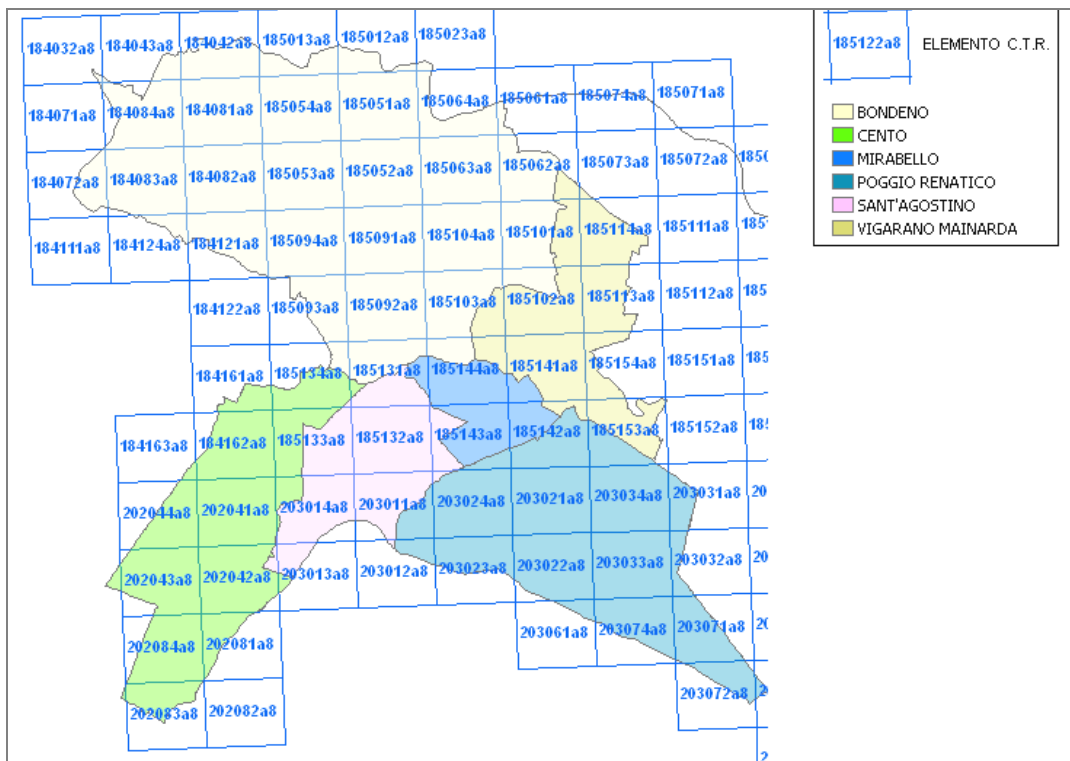


Figura 1-3. Gli "elementi" di interesse della CTR 1:5000

CAPITOLO 1

<i>CTR</i>					
<i>Bondeno</i>	<i>Vigarano Mainarda</i>	<i>Mirabello</i>	<i>Poggio Renatico</i>	<i>Sant'Agostino</i>	<i>Cento</i>
128084	185062	185144	185142	185131	185134
184081	185101	185141	185143	185133	185131
185054	185114	185131	185153	185143	184161
185051	185102	185143	203011	203014	184162
185064	185103	185142	203024	203011	184133
184043	185113		203021	203013	184163
184042	185144		203034	202042	202044
185013	185141		203031		202041
185012	185154		203012		203014
185023	185153		203023		202043
185061	185142		203022		202042
184072			203033		203013
184083			203032		202084
184082			203061		202081
185053			203074		202083
185052			203071		
185063			203072		
185062			203083		
184124					
184121					
185194					
185091					
185104					
185101					
185093					
185092					
185103					
185134					
185131					
185144					

Tabella 1-2. Gli elementi della CTR 1:5000 sui sei comuni dell'Alto Ferrarese

1.2 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap

Come indicato in premessa, nel progetto in ArcMap sono stati creati tematismi/layer che permettono di descrivere geograficamente il territorio dell'Alto Ferrarese.

L'informazione descritta nel precedente paragrafo può essere ritrovata nei blocchi logici "Inquadramento Territoriale" e "Cartografia" (Figura 1-4).

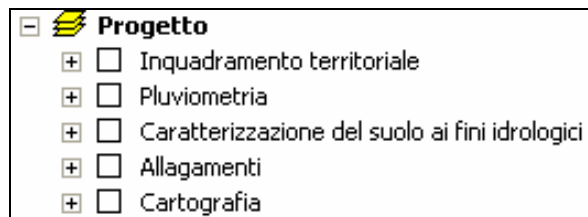


Figura 1-4. I sei blocchi logici del progetto in ArcMap

Nella seguente tabella si riporta il titolo di ogni tematismo/layer così come definito nel progetto in ArcMap, il nome originale dello shape file corrispondente ed una breve descrizione (Tabella 1-3).

<i>"Inquadramento territoriale"</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
Regione Emilia Romagna	regione.shp	Copertura della Regione Emilia Romagna
Limite Comuni Provincia	limiti_comuni.shp	Limiti geografici dei comuni della provincia di Ferrara
Limite Comuni Alto Ferrarese	comuni_alto_ferrarese.shp	Limiti geografici dei 6 comuni di interesse
<i>"Cartografia"</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
CTR 5000: <ul style="list-style-type: none"> ▪ raster ▪ 184032a8.tif ▪ ▪ 203083.a8.tif 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ raster.shp ▪ 184032a8.tif ▪ ▪ 203083.a8.tif 	Si riporta il quadro d'unione delle CTR (raster.shp) e tutte le CTR elencate in Tabella 1-2
CTR 250000: <ul style="list-style-type: none"> ▪ reg_250000.tif 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ reg_250000.tif 	Si riporta la carta tecnica regionale in scala 1:250000 su tutta la regione

Tabella 1-3. I tematismi/layers per l'inquadramento geografico

Accendendo il tematismo/layer “Regione Emilia Romagna” secondo la procedura descritta nel manuale del progetto (APPENDICE A), si visualizza la Regione in color grigio. Analogamente, accendendo i layers “Limite Comuni Provincia” e “Limite Comuni Alto Ferrarese”, si vedono chiaramente i 26 comuni della provincia di Ferrara in un unico colore grigio chiaro, delineati da una linea di tono più marcato che ne evidenzia i confini, ed i limiti amministrativi dei sei comuni dell’Alto Ferrarese (linea rossa).

A tale informazione è possibile sovrapporre la Carta Tecnica Regionale 1:5000 sull’area d’interesse, o quella 1:250000 della Regione. Per visualizzare gli elementi della CTR 1:5000 elencati in Tabella 1-2 è necessario selezionare il sottogruppo di layers “CTR 5000”, mentre per la carta 1:250000 il sottogruppo “CTR 250000”.

2 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

2.1 Introduzione

La morfologia del territorio dell'Alto Ferrarese si è venuta determinando nel corso dei millenni in stretta dipendenza con le complesse vicende idrauliche che ne hanno caratterizzato la storia. Nel seguito si è ricostruita l'evoluzione della Bassa Pianura Padana, fino al mare, legata da un lato al progressivo spostamento verso nord dei successivi apparati deltizi del Po e, dall'altra, all'incerto corso dei torrenti appenninici che, dal Reno verso oriente, non hanno mai mantenuto un alveo stabile.

2.2 Evoluzione geomorfologica ed idrografica generale

Dal punto di vista geologico i sei comuni dell'Alto Ferrarese rientrano nel settore meridionale della Pianura Padana (Bassa Padana). Essa è in termini planimetrici simile ad un triangolo isoscele con il vertice in direzione di Pavia, la base lunga poco più di 200 km coincidente grosso modo con la linea di spiaggia fra la foce dei fiumi Tagliamento e Marecchia e l'altezza orientata in direzione Est-Ovest estesa per circa 200 km.

La Bassa Padana è costituita dai depositi alluvionali, per uno spessore di 100-350 m, fini e finissimi (sabbie, limi, argille) tipici della media e bassa valle del Po, dei suoi affluenti e dei fiumi che solcano le pianure venete e romagnole. Tale conformazione è conseguenza della successione delle grandi glaciazioni dell'ultimo milione di anni e delle oscillazioni climatiche, sia pur più ridotte, degli ultimi 10.000 anni che hanno certamente influenzato l'evoluzione geomorfologica del territorio (Bondesan, 1990).

Le oscillazioni climatiche sono praticamente costituite dall'alternarsi di intervalli, di pochi secoli, di clima relativamente più freddo o piovoso a intervalli di clima mite o caldo (Figura 2-1); i primi sono fattori della tendenza dei fiumi a intasare gli alvei e a straripare, creando paludi e rapidi accrescimenti deltizi; invece, i secondi sono accompagnati da relativa stabilità della rete fluviale e di parziali invasioni di acque marine nelle aree costiere.

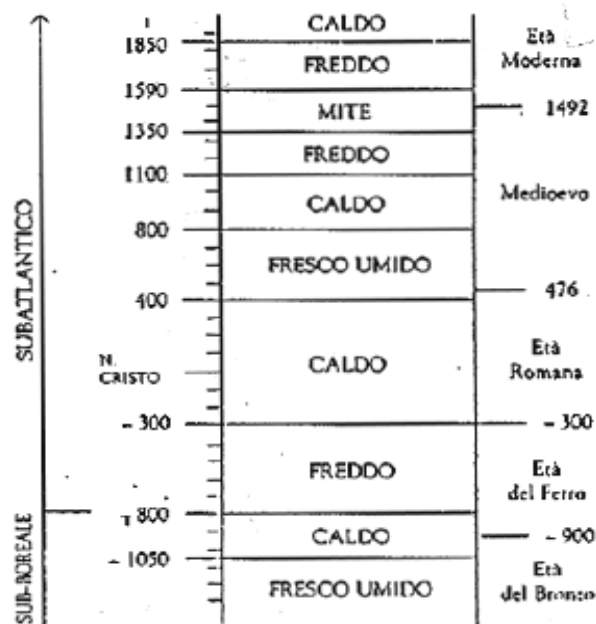


Figura 2-1. Principali variazioni climatiche avvenute nel corso degli ultimi 3000 anni (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese, 1990*)

Il territorio della bassa Pianura Padana ha una nascita ed una evoluzione recentissime, legate da un lato al progressivo spostamento verso nord dei successivi apparati deltizi del Po e dall'altra all'incerto corso dei torrenti appenninici che, dal Reno verso oriente, non hanno mai mantenuto un alveo stabile (Roversi, 1990). Sono proprio le alluvioni particolarmente ricche di torbide di questi torrenti che costringono il tracciato del Po primordiale ad allontanarsi dalla catena appenninica.

Plinio riferisce di un antico ramo del XX sec. a.C., denominato Messenico, che trovava foce nei pressi di Longastrino, lungo una linea di costa che allora era ancora molto arretrata

Sul finire dell'età del Bronzo e all'inizio dell'età del Ferro le maggiori linee di deflusso del Po, nella Bassa Padana, erano principalmente due: la più settentrionale era rappresentata dal Po di Adria che, dopo aver toccato Castelmassa, Fratta Polesine ed Adria, raggiungeva il mare presso Loreo; alla più meridionale apparteneva una serie di alvei tra Guastalla ed il Bondenese e, oltre Bondeno, il Primitivo Po di Ferrara, con le sue diramazioni di cui si trova ancora traccia nel Ferrarese orientale (Veggiani, 1972), (Figura 2-2).

In Figura 2-2 si evidenzia (riquadro rosso) la zona di interesse e si riporta la legenda valida per tutte le immagini dalla Figura 2-2 alla Figura 2-11.

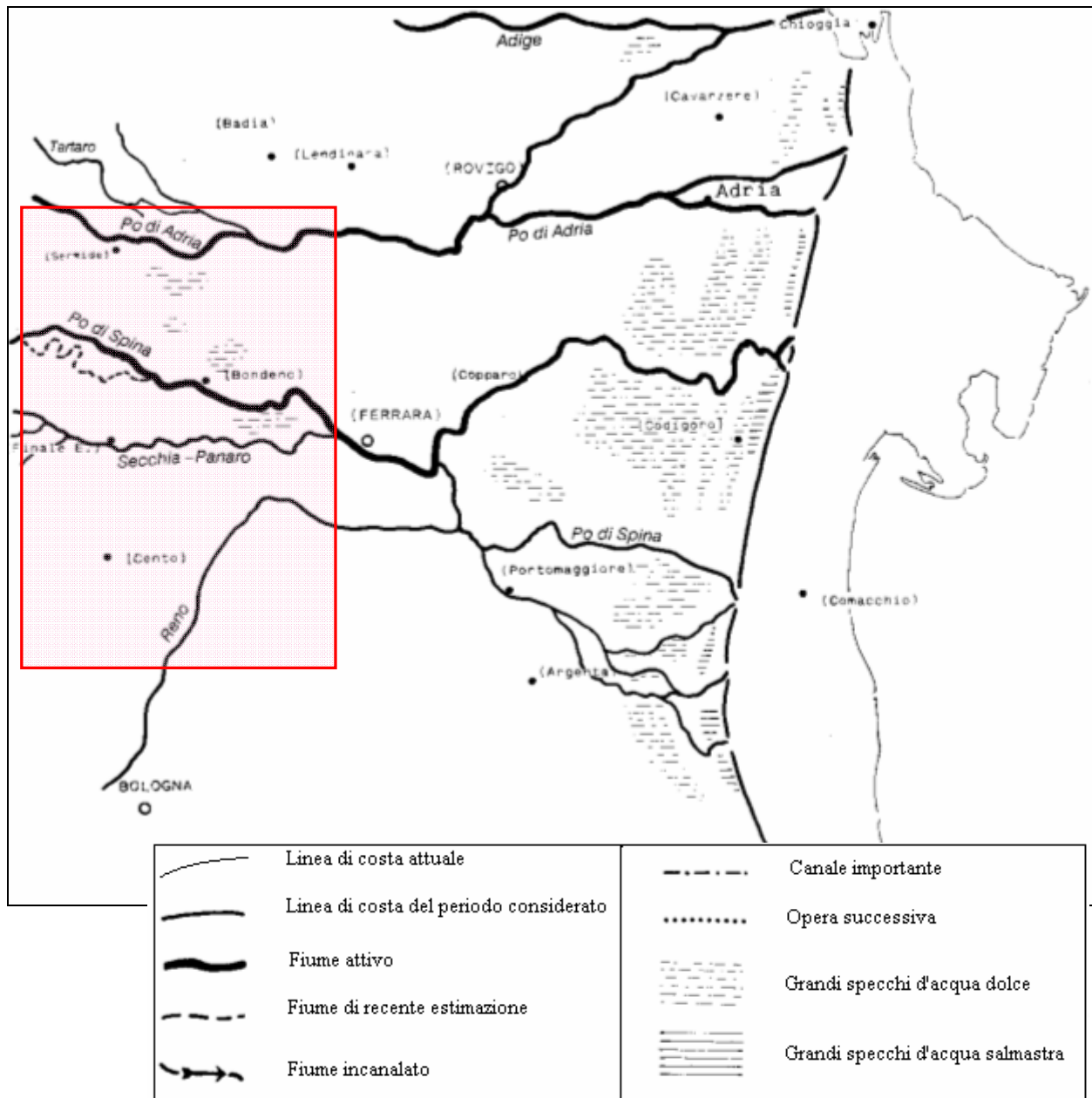


Figura 2-2. Il territorio alla fine dell'età del bronzo (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese, 1990*)

Intorno all'ottavo secolo a.C. si producono numerosi mutamenti idrografici; una rotta avvenuta presso Sermide (Ferri, 1985) segna l'inizio della decadenza del Po di Adria e la nascita di un nuovo corso per Calto e Stellata (Poazzo) confluyente nel Po di Ferrara presso Senetica (Figura 2-3).

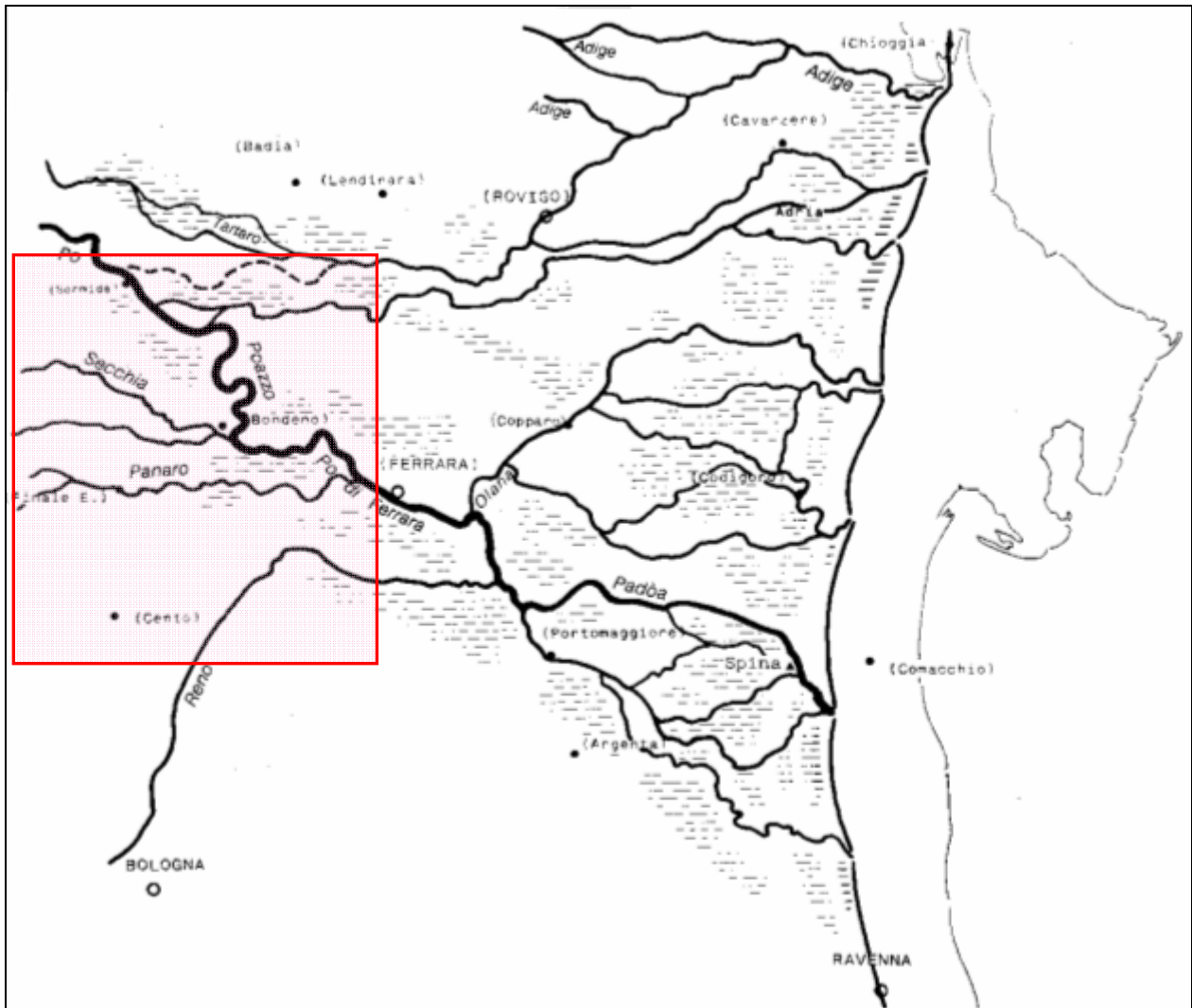


Figura 2-3. Il territorio intorno all'ottavo secolo a.C (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

L'età romana è caratterizzata da un miglioramento del clima e delle condizioni di stabilità del territorio. Il ramo principale del Po è lo stesso Po di Ferrara che, “saltati” i meandri del Poazzo, ormai scende diretto fra Ficarolo, Bondeno e Cassana (Figura 2-4).

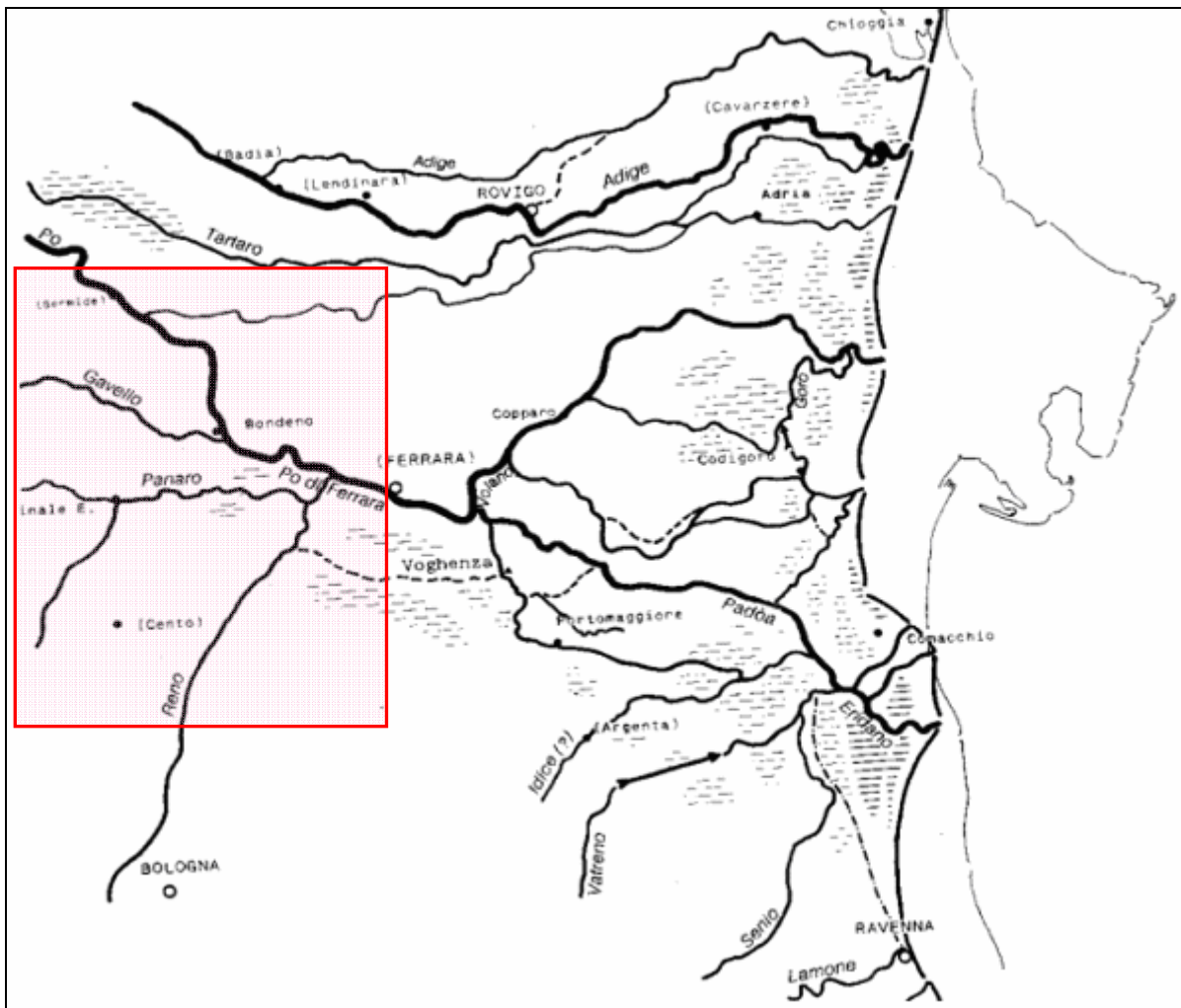


Figura 2-4. Il territorio in età romana (circa III sec. d.C.) (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

Dopo il VI secolo d.C., in relazione a una nuova fase di intensa piovosità con dissesti idrologici, si produce una ulteriore diffusione delle paludi, e riprende l'accrescimento del delta di Massenzatica, per lo più attribuito all'attività di una diramazione dello stesso Volano, il Gaurus, forse già aperto in età classica. Per completezza è importante ricordare che nell'Alto Medioevo tale delta arriva a protendersi fino oltre la posizione di Mesola, condizionando la geometria del grande cordone litoraneo che diviene sede della via Romea e su cui ben presto sorgerà Pomposa.

Fra i secoli VII e VIII si estingue il ramo del Po per Voghenza-Ostellato, poi ricordato come Padovetere (Alfieri, 1966).

Volano e Primaro sono a questo punto i principali rami del Po (Franceschini, 1986); alla loro biforcazione nasce la città di Ferrara (Patitucci, 1982). L'intervallo climatico caldo del IX-XI secolo porta ad un lieve innalzamento del livello marino (Reggiani, 1974), con ingressione di acque salmastre nelle aree orientali della provincia di Ferrara più ribassate dalla subsidenza (Figura 2-5).

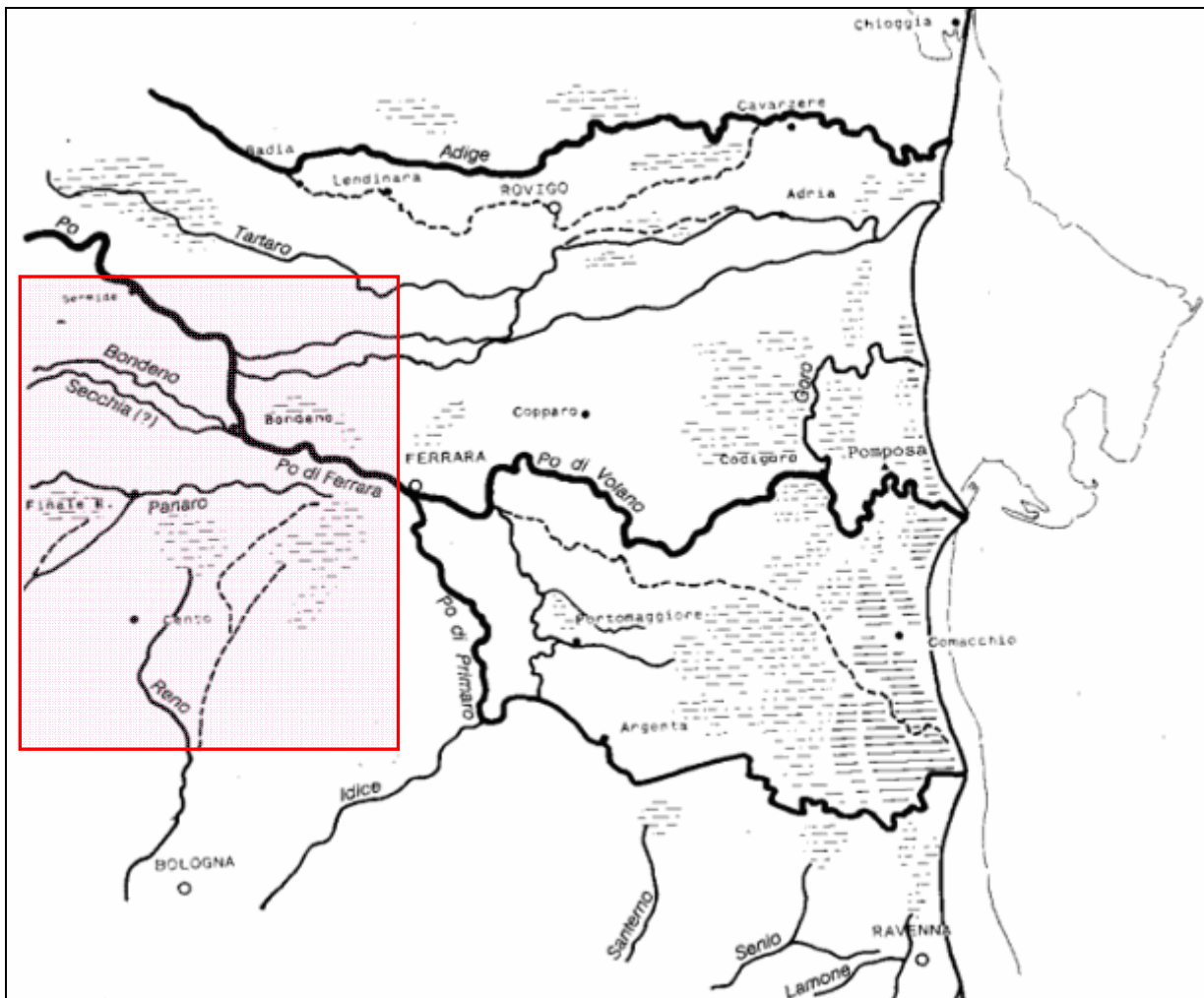


Figura 2-5. Il territorio intorno al IX-X sec.d.C. (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

Fino a tutto il I millennio d.C. il Reno ed il Panaro riescono ancora a sfociare regolarmente nel Po di Ferrara, richiamati da una cadente sufficiente (Figura 2-6), ma la tendenza in atto si rivela irreversibile e nel XII secolo, all'inizio di un nuovo ciclo piovoso, si verifica un importante sconvolgimento nella idrografia del Po: in seguito alla memorabile rotta di Ficarolo (1152), detta di "Siccarda", le acque del Po prendono a defluire nell'alveo che ancor oggi le convoglia, per trovare

sbocco a mare presso Fornaci, a nord di Donada, ove comincia ben presto a formarsi una nuova cuspidè deltizia (Figura 2-8). La sua diramazione per Ariano si divide a sua volta in due rami: Po di Goro e Po dell'Abate.

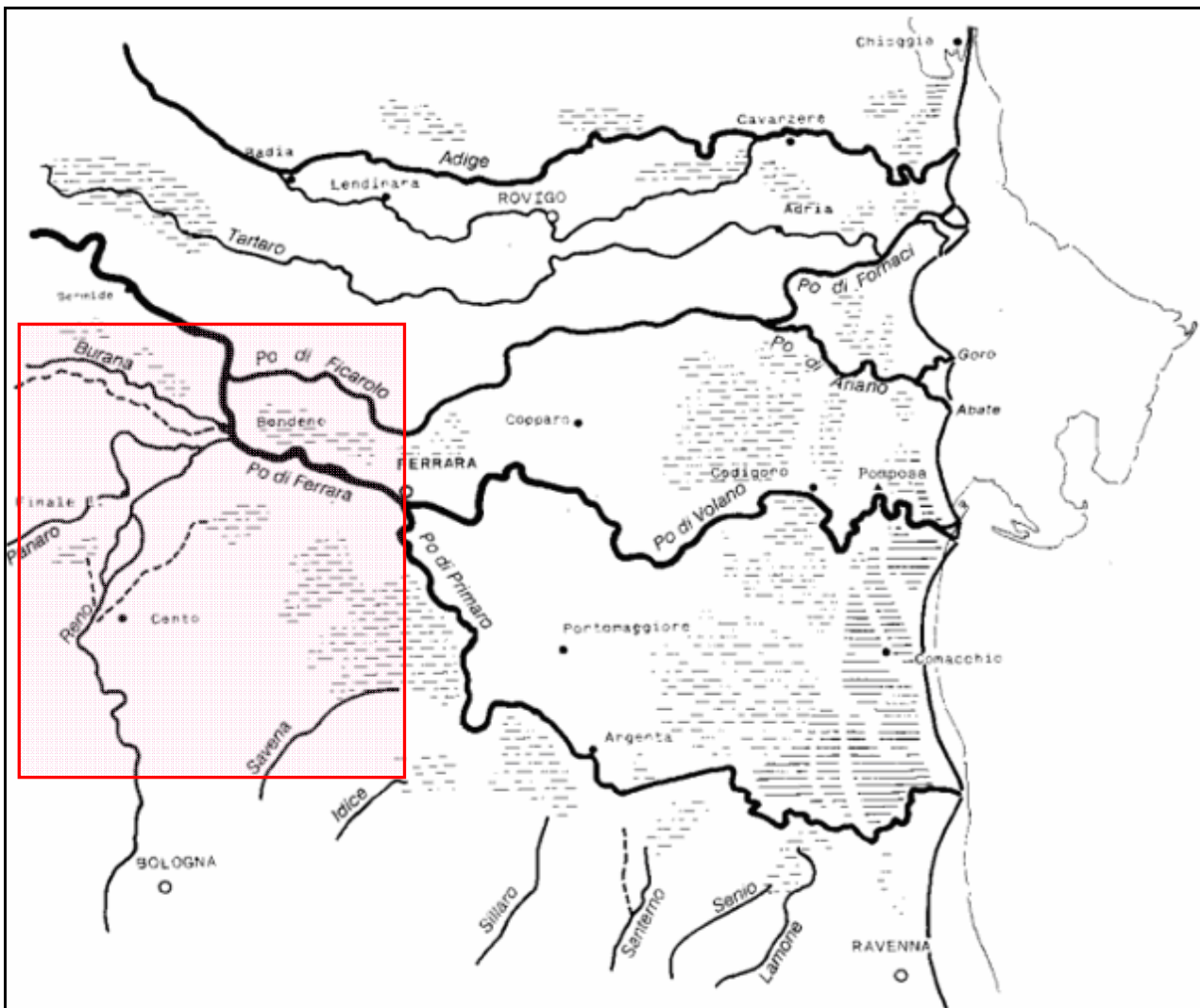


Figura 2-6. Il territorio a metà del XIV secolo (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

Lo spostamento a nord del corso principale del Po (Po Grande o Po di Venezia) è destinato a condizionare fortemente l'assetto idraulico e la stessa formazione (o evoluzione) dei territori ferraresi per tutto il secondo millennio, fino ai giorni nostri. Da allora si manifesta, con sempre maggiore evidenza nei secoli, la tendenza dell'esaurimento del Po di Ferrara e dei suoi due rami deltizi principali, il Po di Volano ed il Po di Primario.

L'allontanamento del recapito pone progressivamente forti difficoltà di confluenza in Po anche al Panaro ed al Reno, tanto che nel XIII e XIV secolo essi spandono le loro alluvioni nelle valli di S. Giovanni, Cento e Finale insieme alla locale idrografia minore, andando ad interessare anche i torrenti bolognesi.

Ancor oggi è riconoscibile l'area interessata dall'antico alveo del Reno, rimasta nettamente emergente rispetto alle campagne latitanti per la sedimentazione delle granulometrie più grossolane, meno compressibili, presso le principali linee d'alveo, fenomeno favorito anche dalle opere di contenimento erette dall'uomo nel tentativo di difendersi dalle esondazioni: tale area si estende con regolarità dal punto di attuale confluenza del Samoggia nel Reno, prosegue poi verso nord, a ovest di Cento, e dirige infine verso il Panaro, nei pressi di Finale Emilia, dopo aver attraversato i territori di Renazzo, Bevilacqua, XII Morelli e Alberane (Roversi, 1990), (si veda anche "Interpretazione del TIN: la ricostruzione geomorfologica" paragrafo 3.5)

Nel 1459 il fiume Reno non trovando più una cadente sufficiente lungo il vecchio alveo, rompe le difese a monte, presso la confluenza del Samoggia, attratto da un nuovo corso più favorevole ad est della città di Cento, che rimane così divisa dalla Pieve.

Tuttavia il nuovo alveo del fiume Reno non riesce più a raggiungere il Po di Ferrara, ma disegna un ampio arco a sud della città estense, tra Vigarano e Buttifredo (Figura 2-7), piegando a ritroso, come respinto dai rami meridionali del Po, e suddividendosi in "riazzi" (Riazzo Cervella, verso Marrana, e Riazzo del Gallo); esaurisce infine la propria cadente spandendo nei territori vallivi di Poggio e Malalbergo, della Sammartina e marrana, da cui inizia la colmata affiancato da numerosi altri corsi d'acqua minori, fra i quali Riolo, lo Scorsero, il Savena, il fiumicello, la Zena; similmente il fiume Idice sfocia nelle valli di Argenta e Marmorta, insieme al Sillaro.

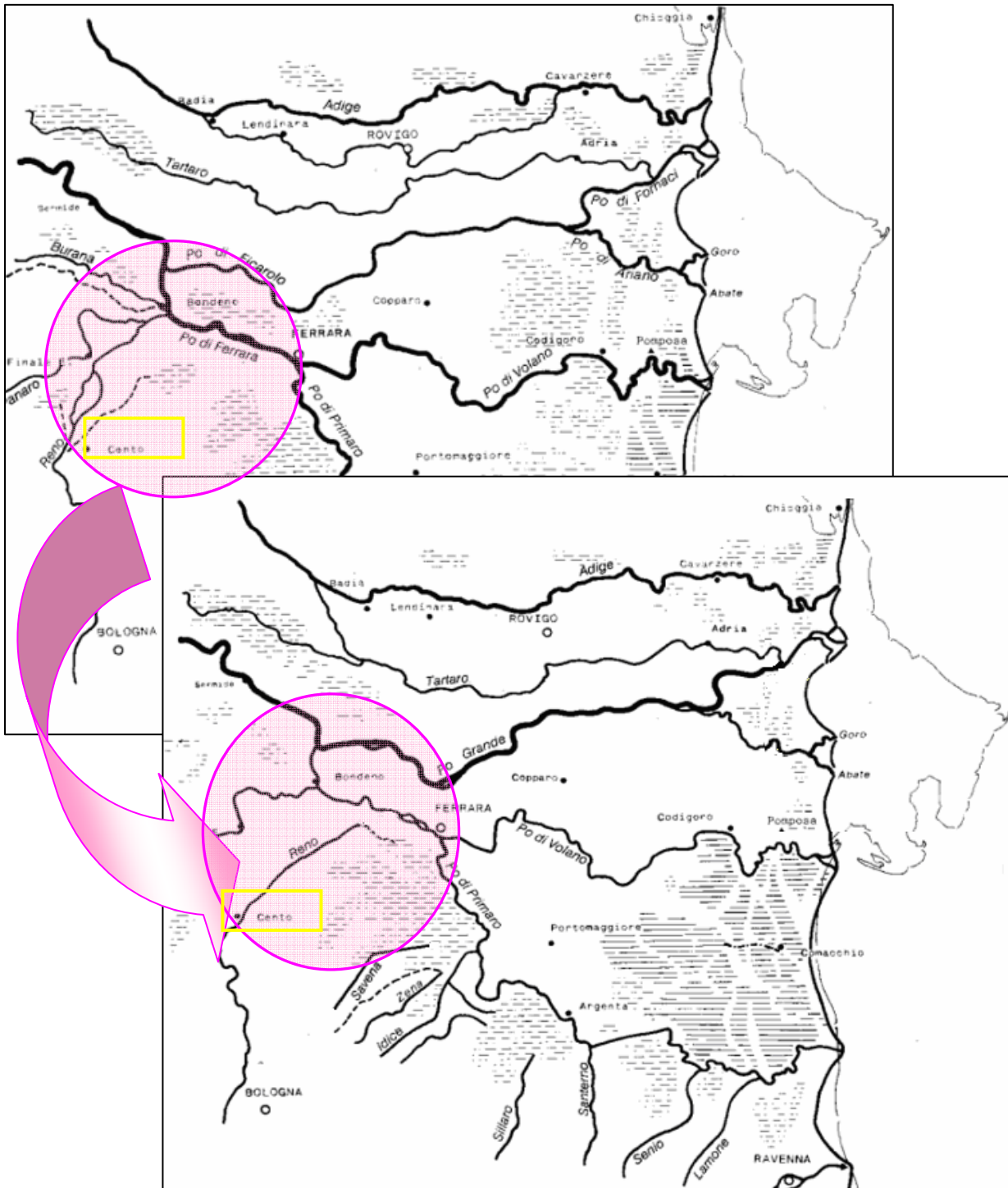


Figura 2-7. Migrazione del fiume Reno dopo la rotta di “Siccarda” e divisione di Cento dalla Pieve dopo la rotta del Reno nel 1459 (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

La situazione si è aggravata ulteriormente soprattutto dagli interventi volti a ricondurre forzatamente in Po di Ferrara il Santerno (1460) e il Reno (1526); una serie di catastrofiche rotte provoca un sempre più vasto allagamento del Ferrarese sud-orientale.

Attorno alla metà del Quattrocento si era ormai consolidato il dominio dei Marchesi d'Este che realizzò importanti opere di bonifica, tra cui è di gran lunga la più memorabile quella attuata fra il 1564 e il 1580 con il prosciugamento e la sistemazione idraulica dell'ampio territorio compreso tra il Po di Ferrara, Po di Volano ed il Po Grande, a valle di Copparo (Grande Bonifica Estense) (Figura 2-8).

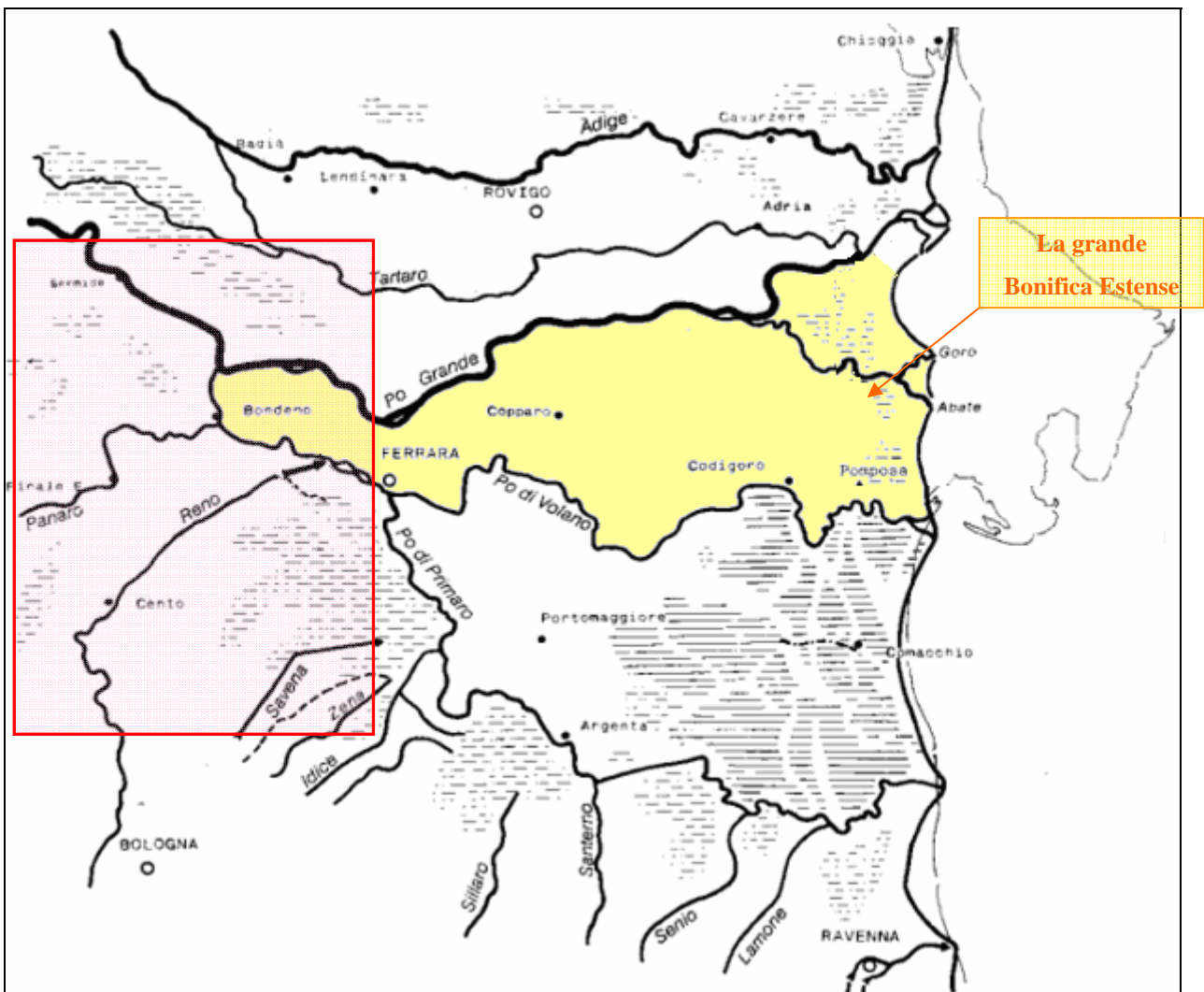


Figura 2-8. La grande Bonifica Estense e l'antico alveo del Reno (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologica ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

La fine del XVI secolo segna anche la definitiva estinzione del Po di Ferrara: esso è ormai talmente ingombro da sedimenti che non riesce più a convogliare neppure le acque del Panaro, le quali sempre più di frequente, ne risalgono l'alveo, fra Bondeno e Ficarolo, per trovar recapito nel Po Grande (Bottoni, 1873). Il nuovo corso del Po oltre Fornaci, aveva intanto formato un complesso apparato deltizio, ed è proprio il timore che i sedimenti recati alla costa dalle foci più settentrionali di tale delta possano provocare l'occlusione delle bocche della laguna, che induce i tecnici veneziani a realizzare, fra il 1598 e il 1604, la deviazione verso sud-est del corso terminale del Po. Con questa grandiosa opera, detta "Taglio di Porto Viro" o "Taglio Novo" inizia la costruzione del Delta Moderno (Figura 2-9).

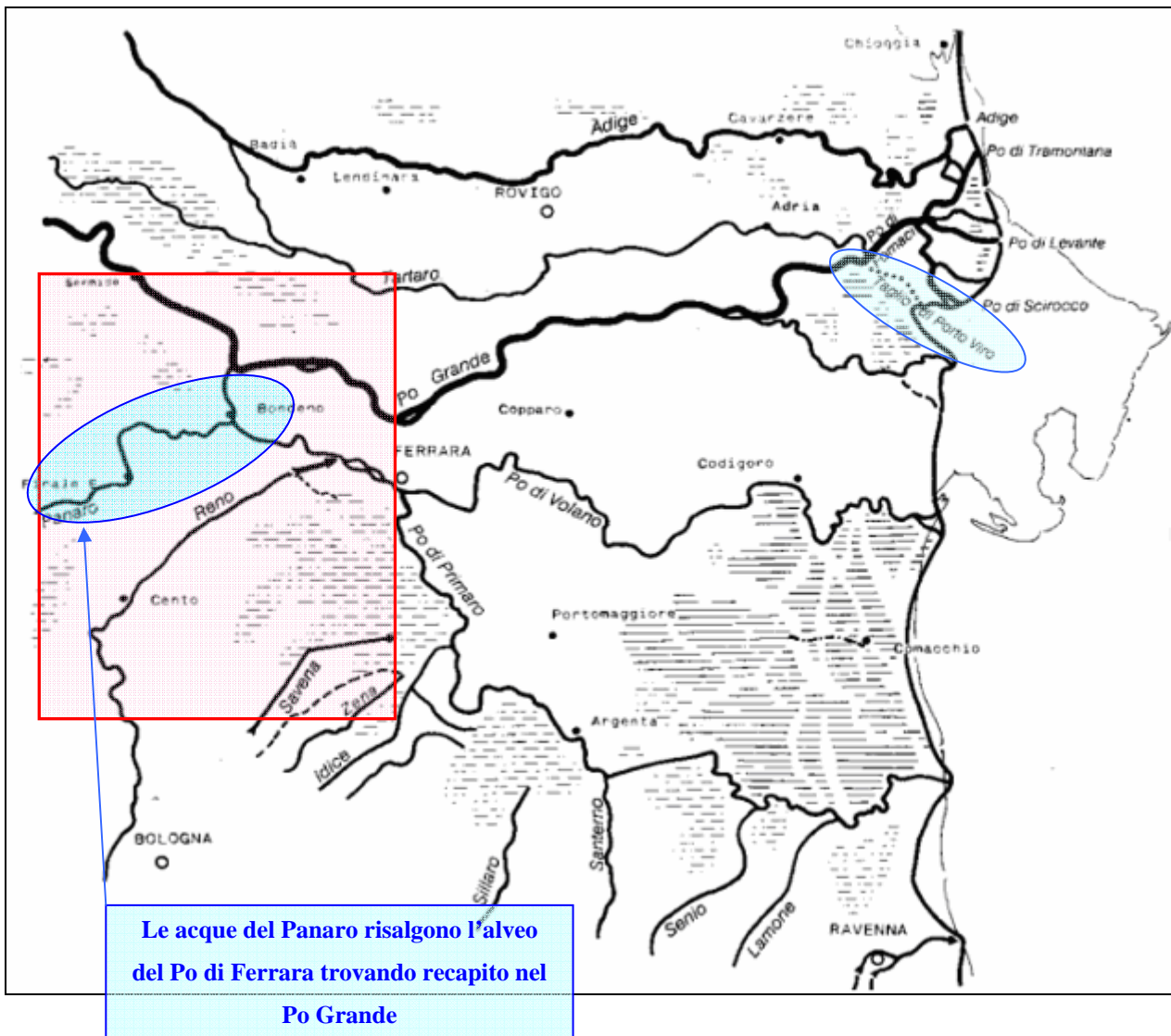


Figura 2-9. Il territorio alla fine del XVI secolo (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

Sotto il governo pontificio il Reno viene staccato dall'ormai inefficiente Po di Ferrara ricondotto nelle paludi a sud della città di Ferrara. Le alluvioni di questo fiume e di altri torrenti appenninici vengono sfruttate per ottenere la "colmata"¹ delle ampie depressioni allagate individuate ai margini dei territori di Ferrara, Bologna e Ravenna. Viene così realizzata, in questa zona, soprattutto nei secoli XVII e XVIII, una grande opera di bonifica.

Resta il problema di assegnare a tali fiumi, a colmata avvenuta, un deflusso stabile a mare. Per il Reno questa sistemazione viene affrontata tra il 1740 e il 1775, con l'escavo dell'alveo artificiale fra Sant'Agostino ed il tratto inferiore del Po di Primaro (Figura 2-10).

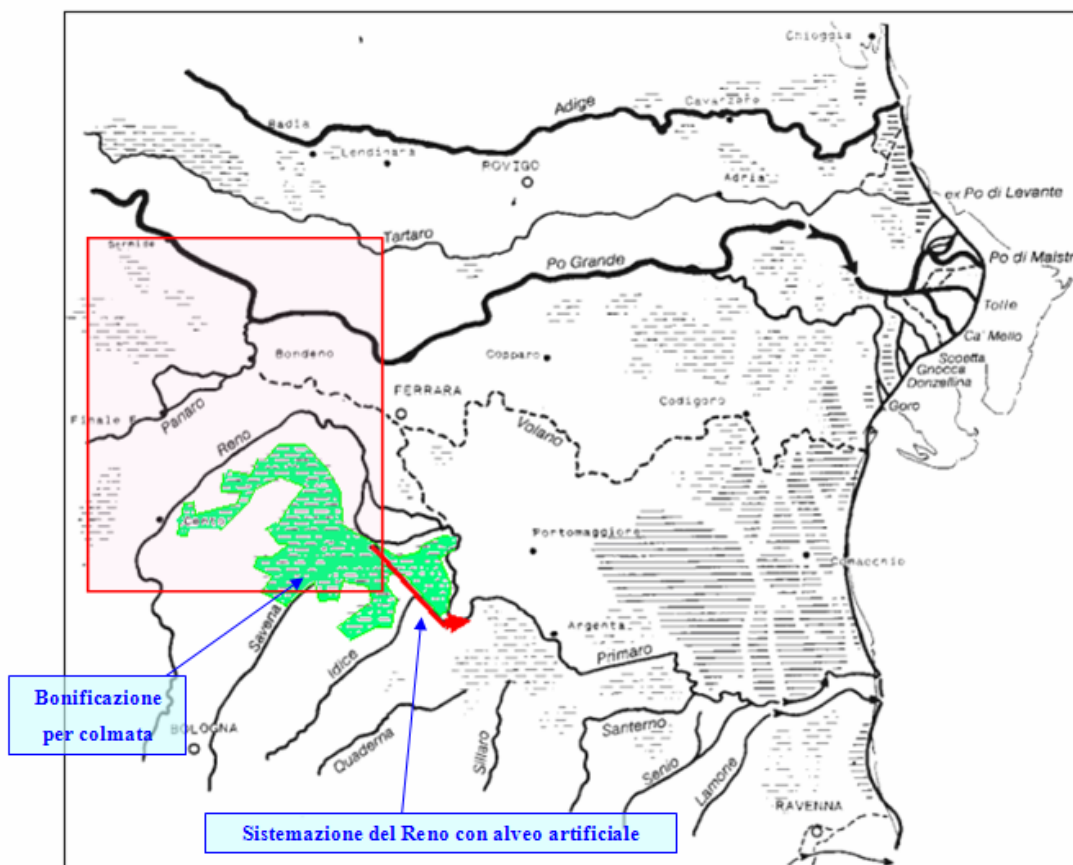


Figura 2-10. Il territorio intorno al 1740 (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese, 1990*)

¹ Bonifiche per colmata: si tratta di bonifiche di terreni vallivi e pianeggianti che hanno problemi di scolo e che restano permanentemente o periodicamente paludosi. La bonifica consiste nel sollevare il livello del terreno rispetto a quello delle acque sfruttando i trasporti solidi dei corsi d'acqua favorendo o accentuando, mediante apposite opere, il processo naturale di colmatazione che porta alla formazione delle pianure alluvionali.

Nel secolo XIX la rete fluviale ha ormai assunto la geometria attuale, ma il panorama idraulico del territorio è ancora caratterizzato da molti problemi irrisolti e resta notevole l'estensione di paludi e valli salmastre (Figura 2-11).

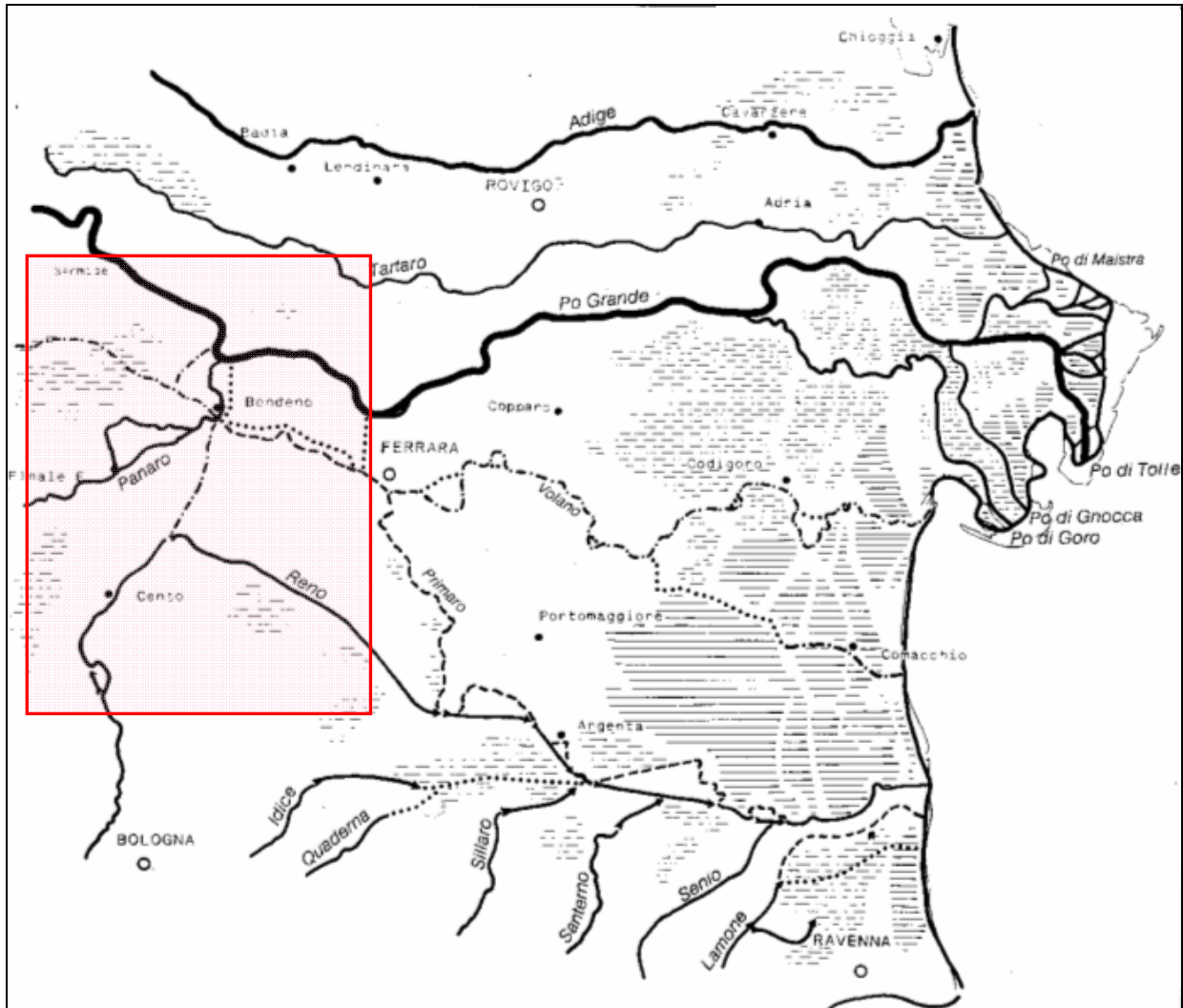


Figura 2-11. Il territorio prima dell'introduzione della bonifica meccanica (situazione intorno al 1860) (Fonte: Marco Bondesan, *Evoluzione geomorfologia ed idrografica della pianura ferrarese*, 1990)

L'allontanamento di queste acque è reso possibile dall'introduzione delle pompe idrovore: la bonifica moderna prende avvio a partire dal 1872, proprio nell'area dove era fallito il grande disegno degli Estensi, proseguendo con l'opera di prosciugamento per cento anni.

3 TOPOGRAFIA DEL TERRITORIO

3.1 Introduzione

Per il territorio oggetto di questo studio le informazioni altimetriche disponibili sono sostanzialmente di due tipi:

- punti appartenenti a linee/reti di livellazione geometrica tecnica, di precisione e di alta precisione;
- punti quotati riportati sulla Carta Tecnica Regionale CTR in scala 1:5000 (CTR5000).

Poiché queste informazioni permettono di acquisire una conoscenza altimetrica in maniera localizzata, per descrivere con continuità l'intero territorio è necessario utilizzare un modello continuo tridimensionale del terreno (DTM, Digital Terrain Model), che è stato quindi realizzato per l'intero territorio della provincia di Ferrara.

Nel seguito verranno riportate le principali caratteristiche dei due tipi di informazione per poi descrivere l'altimetria del terreno effettuata mediante un modello numerico.

3.2 Punti appartenenti a linee/reti di livellazione geometrica

Sull'intero territorio nazionale, come è ben noto, sono presenti numerosi punti (caposaldi) opportunamente materializzati su manufatti il più possibile stabili e duraturi nel tempo. Tali punti, fanno parte di linee e reti geodetiche altimetriche (di vari ordini di precisione) che rappresentano la materializzazione, sull'intero territorio, del Datum altimetrico nazionale¹. Per l'Italia, il livello medio mare è stato misurato e fissato a Genova nel periodo 1939-45, anno di riferimento 1942 (mareografo di Genova).

Le reti di livellazione, partendo dal caposaldo di riferimento di Genova, in pratica, trasportano la quota riferita al livello medio mare sull'intero territorio nazionale. Tali reti sono state rilevate con la tecnica della livellazione geometrica dal mezzo di precisione e di alta precisione (errore medio di 1 mm/km sulla misura del dislivello tra caposaldi posti ad una distanza media di 1 Km).

¹ Superficie equipotenziale del campo gravitazionale della Terra che coincide con il livello medio del mare in un determinato punto.

Le linee fondamentali sono quelle dell'IGM che costituiscono la Rete Geodetica Nazionale Altimetrica, ad esse si collegano tutte le altre linee/reti di altri Enti (Catasto, Agenzie Regionali, Comuni, ecc.) con precisioni equivalenti o minori.

In generale, i caposaldi appartenenti a queste reti sono punti per i quali è nota la quota riferita al livello medio mare con precisione variabile da alcuni mm ad alcuni cm, ed il loro insieme rappresenta il dato di più alta precisione altimetrica sul territorio.

Nell'ambito del territorio in esame i caposaldi di livellazione presenti possono appartenere a:

- linee di livellazione di alta precisione dell'IGM;
- linee di livellazione di alta precisione dell'ARPA Emilia-Romagna;
- linee di livellazione di precisione dei Consorzi di Bonifica;
- linee di altri Enti (AGIP, reti locali comunali, ecc.).

A volte la posizione e la quota di questi caposaldi viene riportata (oltre che su apposite monografie redatte dagli Enti di istituzione) anche sulle principali fonti cartografiche (per esempio sulla Carta Tecnica Regionale 1:5000).

3.3 Punti quotati isolati da CTR5000

La Carta Tecnica Regionale in scala 1:5000 è stata realizzata tramite volo aerofotogrammetrico negli anni 1977/1979 con quota di volo di circa 2000 m (scala media fotogrammi 1:13000, focale della camera aerofotogrammetria di 152 mm) con inquadramento altimetrico derivato dai caposaldi delle linee di livellazione dell'IGM o di altri Enti purché comunque riferite alla rete IGM.

Sulla CTR le informazioni altimetriche sono riportate tramite:

- punti quotati isolati, con una tolleranza altimetrica di ± 1.20 m (con un intervallo di confidenza del 95% pari a 2σ , e quindi con una precisione σ di ± 0.60 m), ed in numero medio di 5 punti ogni 25 ettari di superficie fisica;
- curve di livello con equidistanza di 5 m ed una tolleranza altimetrica di ± 2.20 m (2σ). Nelle zone pianeggianti, come nel caso del territorio dell'Alto Ferrarese, il numero dei punti quotati isolati viene triplicato (15 ogni 25 ettari) ma non vengono più disegnate le curve di livello.

I punti quotati isolati possono rappresentare punti terreno, ma anche punti singolari come il centro di un incrocio tra due strade, le sommità arginali, o generici punti di mezzzeria delle strade, soprattutto, quando queste ultime risultano in rilevato rispetto al terreno circostante.

La CTR5000 dalla sua stesura alla fine degli anni 70 (anni dei voli fotogrammetrici di impianto) ha subito diversi step di aggiornamento, con diverse tecniche: dai voli fotogrammetrici speditivi del 1985 (quota di volo 5500 m, scala media fotogrammi 1:35000), alle ortofoto del volo Italia IT2000, fino alle ortofoto satellitari del satellite ad alta risoluzione QuickBird 2003. In ogni caso, sono sempre stati esclusivamente realizzati aggiornamenti planimetrici (relativi solo a edifici e viabilità), mentre, non sono mai state aggiornate le informazioni altimetriche (punti quotati isolati e curve di livello se presenti) che pertanto sono rimaste quelle della fine degli anni 70. Da allora, l'assetto altimetrico del territorio oggetto di questo studio è cambiato a causa del fenomeno della subsidenza (Capitolo 4) ma è cambiato soprattutto a causa delle nuove infrastrutture e vie di comunicazione o comunque a causa degli interventi dell'uomo realizzati negli ultimi 30 anni (la conoscenza dell'altimetria delle nuove opere dell'uomo, soprattutto se in rilevato rispetto al terreno circostante, potrebbe risultare fondamentale in una modellistica idraulica ai fini, per esempio, dello studio del deflusso delle acque).

3.4 Il modello altimetrico del terreno

I punti quotati isolati presenti sulla CTR5000 rappresentano esclusivamente la quota del terreno o comunque del particolare cartografico in corrispondenza della posizione planimetrica del punto quotato stesso. Ai fini di una modellistica idraulica è però necessario descrivere con continuità anche dal punto di vista altimetrico (non solo planimetrico) l'intero territorio oggetto di studio. A tal fine, utilizzando i raster georeferenziati della CTR5000 (a 800 dpi), i punti quotati isolati sono stati digitalizzati in ambiente GIS e, tramite opportuni algoritmi di interpolazione, è stato possibile costruire un modello continuo tridimensionale del terreno (DTM, Digital Terrain Model) per l'intero territorio della provincia di Ferrara.

In generale, un DTM può essere realizzato in due diversi modi a seconda del criterio che si utilizza per suddividere lo spazio in regioni, TIN e DEM:

- TIN (Triangulation Irregular Network, Rete di Triangoli Irregolari); il TIN è un modello in cui la superficie del terreno viene espressa mediante un insieme di triangoli irregolari

tridimensionali i cui vertici coincidono con i punti di quota nota (punti quotati isolati) o con punti appartenenti alle curve di livello; la scelta dei triangoli è normalmente basata sulla triangolazione di Delauney (il cerchio circoscritto ad ogni triangolo non deve contenere nessun altro punto di quota nota; si creano triangoli il più possibile equiangoli); la quota per un punto qualunque all'interno del triangolo può essere ottenuta per interpolazione bilineare o bicubica dalle quote dei vertici del triangolo stesso (Figura 3-1);

- DEM (Digital Elevation Model) o GRID (grigliato); un Modello Digitale dell'Elevazione è un modello in cui lo spazio viene suddiviso in regioni tipicamente quadrate (dette celle) a cui è associato un unico valore di quota ottenuto tramite procedure interpolative; il DEM è quindi in pratica costituito da un grigliato a passo regolare, spesso denominato GRID (il termine GRID può essere a tutti gli effetti considerato sinonimo di DEM) (Figura 3-2).

La scelta dell'uno o dell'altro approccio (TIN o DEM) è legata a varie considerazioni: la distribuzione, la densità e la quantità dei punti di quota nota, la metodologia di acquisizione dei dati, le applicazioni che si intendono realizzare basandosi sul modello digitale del terreno, ed altro ancora. In generale, il modello TIN consente una più fedele riproduzione della morfologia del terreno, anche grazie alla più semplice introduzione delle eventuali linee di discontinuità o di frattura (breaklines) presenti nel terreno stesso (un rilevato stradale od arginale può essere considerato, ai fini della realizzazione di un DTM, come una o più breaklines).

Per contro, il DEM presenta come vantaggio una struttura molto più "snella", facilmente riproducibile ed esportabile.

Nel caso di punti quotati digitalizzati da cartografia esistente la procedura normalmente adottata è quella di utilizzare i punti di quota nota per creare un TIN e quindi, successivamente, di estrarre dal TIN creato uno o più DEM di passo opportuno.

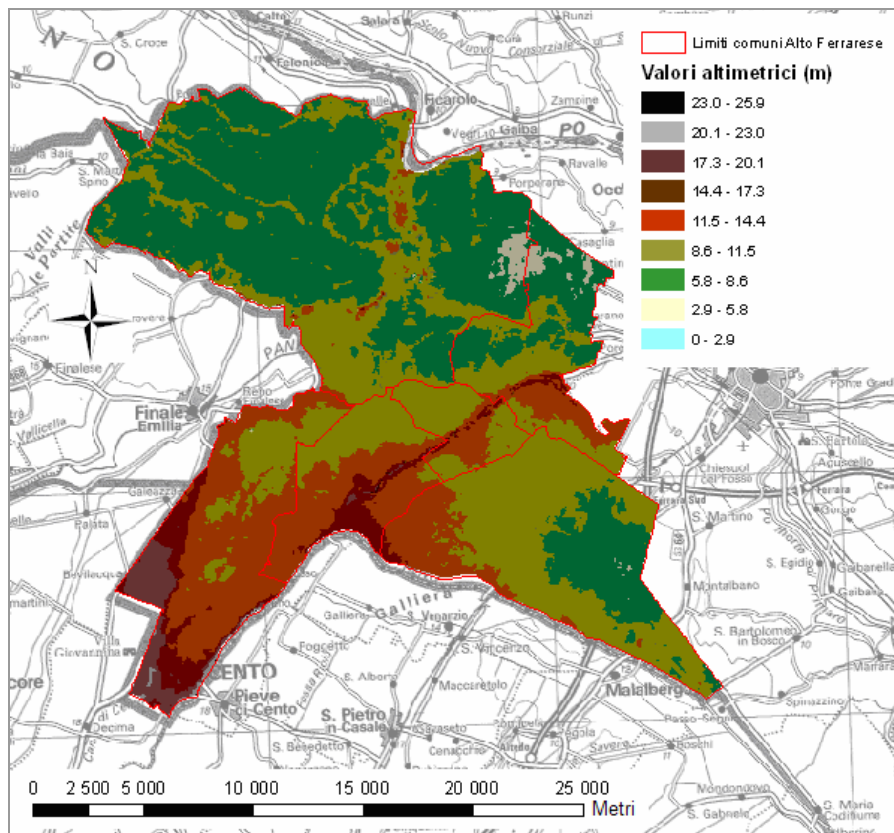


Figura 3-1. Modello Altimetrico Digitale del territorio in studio (TIN)

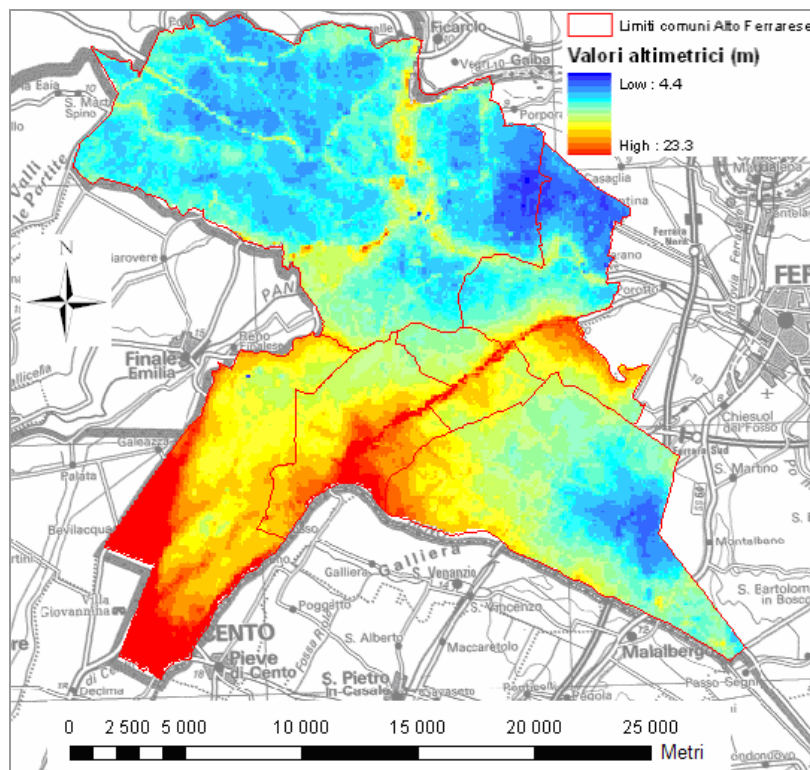


Figura 3-2. Modello Altimetrico Digitale del territorio in studio (DEM)

3.5 Interpretazione del TIN: la ricostruzione geomorfologica

L'esame dell'altimetria della zona di interesse, così come dell'intera zona bassa pianura emiliano-romagnola, rileva lo stretto legame con le complesse vicende idrauliche del territorio.

Pertanto, il Modello Digitale del Terreno precedentemente illustrato è in qualche modo assimilabile ad una "fotografia" dei vari processi geomorfologici avvenuti nel passato.

Infatti, a causa dei meccanismi della sedimentazione nella pianura alluvionale, agli alvei attivi di antica origine e ai paleoalvei, da tempo esauriti, corrispondono di norma i dossi, che si trovano in condizioni altimetriche di rilievo e che sono caratterizzati da terreni di tessitura granulometrica più grossolana; diversamente, alle zone un tempo vallive e ai bacini di colmata corrispondono di norma aree in condizioni di depressione, che sono caratterizzate da terreni di tessitura granulometrica più fine. Pertanto, la morfologia della pianura rivela con estrema chiarezza la sua storia idraulica.

Dal punto di vista geomorfologico si afferma che nel territorio in esame le principali forme riscontrabili nel territorio sono pertanto costituite da:

- paleoalvei dossivi;
- paleoalvei non dossivi (secondari);
- ventagli e canali di rotta;
- catini interfluviali;

e varie forme esclusivamente antropiche quali argini fluviali, tratti artificiali d'alveo, argini e terrapieni interni al territorio, canali attuali e canali abbandonati (G.B. Castiglioni e G.B. Pellegrini, 2001), (Tavola 3-1).

TAVOLA 3-1

I principali paleoalvei dossivi (vedi Tavola 3-1) sono costituiti dal ²:

- paleoalveo del Po di Ferrara, che rappresentava il corso principale del Po fino al XII secolo d.C. (data a cui viene comunemente riferita la rotta del Po a Ficarolo, che ha modificato l'idrografia della pianura ferrarese spostando a Nord il corso principale del fiume Po); questa forma ha un andamento digradante da NO verso E-SE; le sue golene arrivano a oltre 9 m s.l.m. e il suo argine destro (Argine Ducale) supera anche i 10 m;
- paleoalveo del Po di Volano, prosecuzione del Po di Ferrara, attualmente percorso dal Volano anch'esso con quote digradanti, da Ovest verso SE; per completezza si ricorda che il suo argine destro, di età rinascimentale, presenta quote di 10.5-11 m s.l.m. in corrispondenza di S.Giorgio e di circa 8 m s.l.m. in corrispondenza di Cona;
- paleoalveo del Po Morto di Primaro, diramatosi anch'esso dal Po di Ferrara e che insieme al Volano costituiva uno dei maggiori rami deltizi padani fino al XII secolo d.C., attualmente percorso dal Primaro, con quote arginali digradanti da Nord verso Sud da 9.5-10 m s.l.m. in zona S.Giorgio fino a quota di circa 8 m s.l.m. in zona Torre Fossa. Questo paleoalveo è l'unica brusca discontinuità altimetrica di tutto il territorio ferrarese ed è assimilabile ad una sorta di "gradino" territoriale che nei secoli ha sempre preoccupato gli interessati del Polesine San Giorgio, che temevano per la loro condizione soggiacente: per esempio, in meno di tre chilometri, dagli 8-6 m s.l.m. nei pressi di Traghetto, si precipita ai 2 m s.l.m. della campagna subito a est di Primaro (Roversi, 1990);
- paleoalveo, o per meglio dire "paleodelta", del cosiddetto "Vecchio Reno" formato dal paleo-fiume Reno tra il XVII e il XVIII nei territori a Sud di Ferrara; questo elemento geomorfologico si estende da Nord a Sud nella parte centrale dell'area di studio e supera i 10 m s.l.m. Come già accennato nel paragrafo 2.2, è anche riconoscibile l'area interessata

² Questa analisi geomorfologica riporta le informazioni di interesse per il territorio dell'Alto Ferrarese in riferimento a quanto scritto nel "Supporto tecnico geologico-idrogeologico alla procedura di valutazione e sostenibilità ambientale per il nuovo piano regolatore del comune di Ferrara", ottobre 2003.

dal Reno in epoca ancora più remota (XIII e XIV): essa si estende con regolarità dal punto di attuale confluenza del Samoggia nel Reno, prosegue poi verso nord, a ovest di Cento, e dirige infine verso il Panaro, nei pressi di Finale Emilia, dopo aver attraversato i territori di Renazzo, Bevilacqua, XII Morelli e Alberani (Roversi, 1990).

- paleoalveo dossivo del Canal Ladino, situato a Sud di Porotto, forse formato dal Reno (o dal Panaro) in età antica.

Per il resto l'area è composta da una vasta parte del bacino interfluviale della Sammartina, che rappresenta una conca chiusa tra i dossi del Canal Ladino e del Vecchio Reno, del Po di Ferrara, del Po di Primaro e dell'argine di S.Martino (tratto meridionale dell'antico argine della Sammartina). Tale bacino presenta quote digradanti da ONO e ESE, da 11 m nella parte occidentale fino a 5-5.5 m s.l.m. in località C. Branesa vicino alla superstrada Ferrara-Mare (va però tenuto presente che il bacino idraulico attualmente detto della Sammartina ha come margine NO lo scolo Rinaldi, le cui spalle presentano quote di poco superiori a 9 m).

Verso SO, oltre il dosso del Vecchio Reno, si ha anche il lembo marginale del grande bacino interfluviale delle ex Valli del Poggio, che ha centro presso Poggio Renatico; qui le quote scendono verso SO dagli 11 m del dosso del Vecchio Reno ai 9,5 m dei terreni prossimi al casello autostradale di Ferrara Sud.

Comunque, si precisa che nel territorio sono riscontrabili anche vari paleoalvei secondari non dossivi, ventagli e canali di rotta, che si dipartono dai paleoalvei principali.

Concludendo, la zona dell'Alto Ferrarese è attraversata da sud fino alla zona centrale da una complessa rete di dossi, spesso molto pronunciati, legati in prevalenza alle continue diversioni dell'alveo del Reno succedutesi nei secoli, ed intervallati da aree di depressione relativa; invece la parte nord ed est è caratterizzata da zone di altitudine media con una depressione pronunciata di 6 m sul l.m.m nel bacino del Betto appartenente alla Cella Diamantina in parte sul territorio comunale di Bondeno ed in parte su quello di Vigarano Mainarda.

3.6 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap

Le informazioni altimetriche riportate nel progetto in ArcMap sono:

- la CTR 1:5000;
- Il modello digitale del terreno in formato TIN e DEM;

La prima rientra nel blocco logico “Cartografia” come già citato nel paragrafo 1.2, mentre il TIN ed il DEM rientrano nell’ “Inquadramento Territoriale” (Figura 3-3).

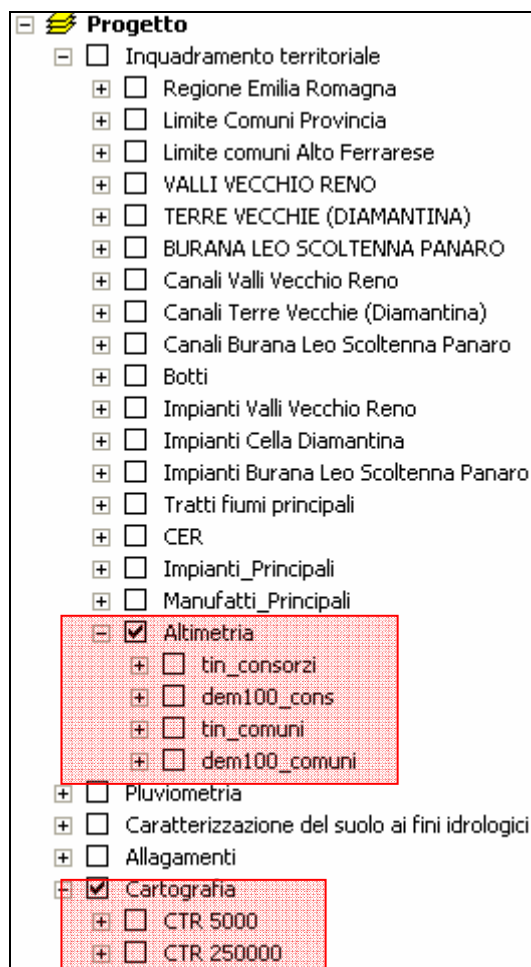


Figura 3-3. I blocchi logici di interesse per lo studio dell’altimetria del territorio

Per quanto riguarda questi ultimi, nella tabella seguente si riporta il titolo del tematismo/layer, il nome originale del file corrispondente ed una breve descrizione (Tabella 3-1).

<i>“Inquadramento territoriale”</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
tin_alto_ferrarese	TIN Dataset: tin_alto_ferrarese	Modello di elevazione digitale .tin dei sei comuni dell’Alto Ferrarese
dem100_alt_fe	Raster: dem100_alt_fe	Modello di elevazione digitale mediante il formato raster dei sei comuni dell’Alto Ferrarese
tin_consorzi	TIN Dataset: tin_consorzi	Modello di elevazione digitale .tin del territorio dei tre Consorzi di Bonifica
dem100_cons	Raster: dem100_cons	Modello di elevazione digitale mediante il formato raster del territorio dei tre Consorzi di Bonifica

Tabella 3-1. I tematismi/layers per l’altimetria

Per esempio, accendendo il layer tin_comuni (APPENDICE A) è possibile visualizzare nella finestra-mappa il modello digitale del terreno TIN dei sei comuni in esame, la cui legenda compare sulla destra nella tabella dei contenuti. Nello stesso modo, se si vuole visualizzare il DEM dei sei comuni di interesse basta far riferimento al tematismo/layers dem100_cons, realizzato dal TIN suddetto con celle di 100 m x 100 m.

Inoltre, si forniscono i modelli digitali del terreno TIN e DEM del territorio composto dal comprensorio del consorzio di bonifica Valli Vecchio Reno, dalla Cella Dimantina (parte ovest del comprensorio I Circondario Polesine di Ferrara) e dall’area del Burana Leo Scotenna Panaro ricadenti sul comune di Bondeno.

4 LA SUBSIDENZA

4.1 Introduzione

Per subsidenza si intende ogni movimento di abbassamento verticale della superficie terrestre, dovuti sia a cause naturali che antropiche e che pertanto contribuiscono a modificare nel tempo l'assetto altimetrico di un territorio. Al fine di controllare queste variazioni e trarre dati concreti sul fenomeno nel territorio in esame, si descrivono inizialmente le reti geometriche effettivamente utilizzabili (IGM e ARPA) e le tecniche relativamente nuove (Interferometria radar), e successivamente si analizza l'attuale conoscenza del fenomeno sui sei comuni di interesse, in riferimento anche alle cause innescanti. In conclusione, si ritiene importante sottolineare che questi abbassamenti, raggiunta una certa entità, possono danneggiare anche le opere di bonifica presenti sul territorio, la cui analisi induce ad una riflessione sulle scelte idrauliche future.

4.2 Rilievo della subsidenza

Per la valutazione diretta della subsidenza è necessario confrontare le quote di punti appartenenti a reti di livellazione geometrica ripetute nel tempo. Naturalmente, si deve trattare di livellazioni di precisione o di alta precisione (secondo le norme a suo tempo redatte dalla Commissione Geodetica Italiana): le uniche compatibili con l'entità dei movimenti verticali del suolo tipicamente dovuti alla subsidenza.

Per l'area in esame, purtroppo, le reti di livellazione geometrica effettivamente utilizzabili si riducono sostanzialmente a:

- Rete Geodetica Altimetrica Nazionale dell'Istituto Geografico Militare (IGM), Linea 6: "Bologna-Ferrara", rilevata negli anni: 1943, 1973, 1990;
- Rete dell'ARPA Emilia-Romagna per il controllo della subsidenza¹ rilevata nel 1999 e ripetuta (solo in parte) nel 2005.

¹ sito Web: <http://rete-subsidenza-er.arpa.emr.it/retesub/subsidenza/index.htm>

Per quanto riguarda i dati IGM la linea 6, come si vede in Figura 4-1, attraversa il territorio del comune di Poggio Renatico, e quindi può fornire informazioni sulla subsidenza solo inerenti ad una porzione di questa area.

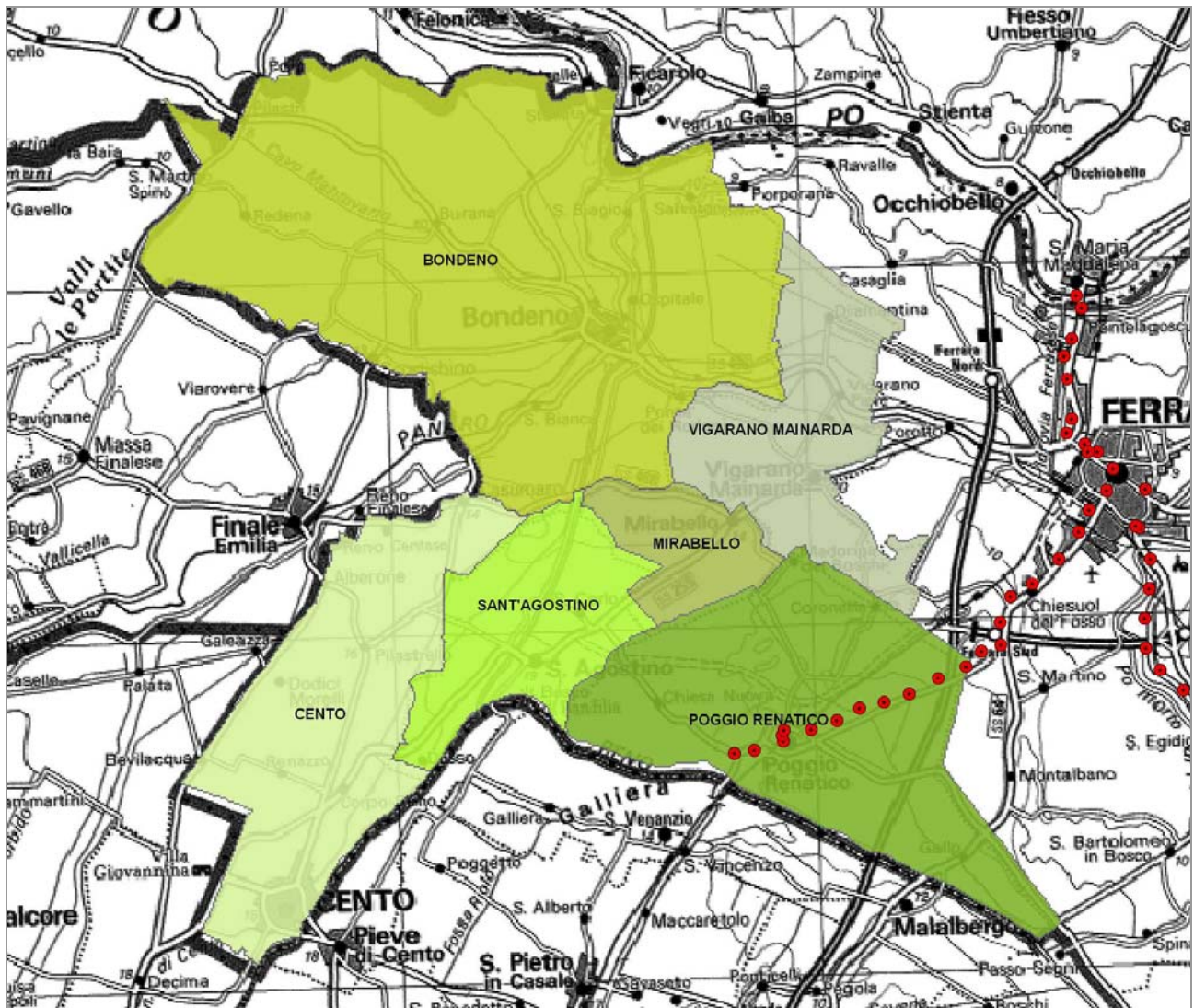


Figura 4-1. Linee IGM sul territorio in esame, la posizione dei caposaldi IGM è riportata con un cerchietto rosso.
Come si vede la linea dell'IGM interessa solo il territorio del comune di Poggio Renatico

Ben diverso è il discorso per quanto riguarda la rete per il controllo della subsidenza dell'ARPA (Figura 4-2): si tratta di una rete costituita da circa 2200 caposaldi ben distribuiti sul territorio di pianura della regione Emilia-Romagna.

Le linee utilizzate dall'ARPA in molti casi coincidono con linee di livellazioni istituite e rilevate anche da altri Enti (come ad esempio l'IGM, il Catasto, i Consorzi di Bonifica, l'AGIP, ecc.).

Questo ha consentito fin dall'inizio (applicando opportuni coefficienti di omogeneizzazione atti ad uniformare la quota del caposaldo di riferimento) di confrontare direttamente sugli stessi caposaldi le quote rilevate dall'ARPA nel 1999 con quelle ottenute nei rilievi precedenti dagli altri Enti. In pratica, per ogni caposaldo riquotato è possibile costruire un diagramma quota-tempo che ci fornisce l'andamento nel tempo della subsidenza del caposaldo.

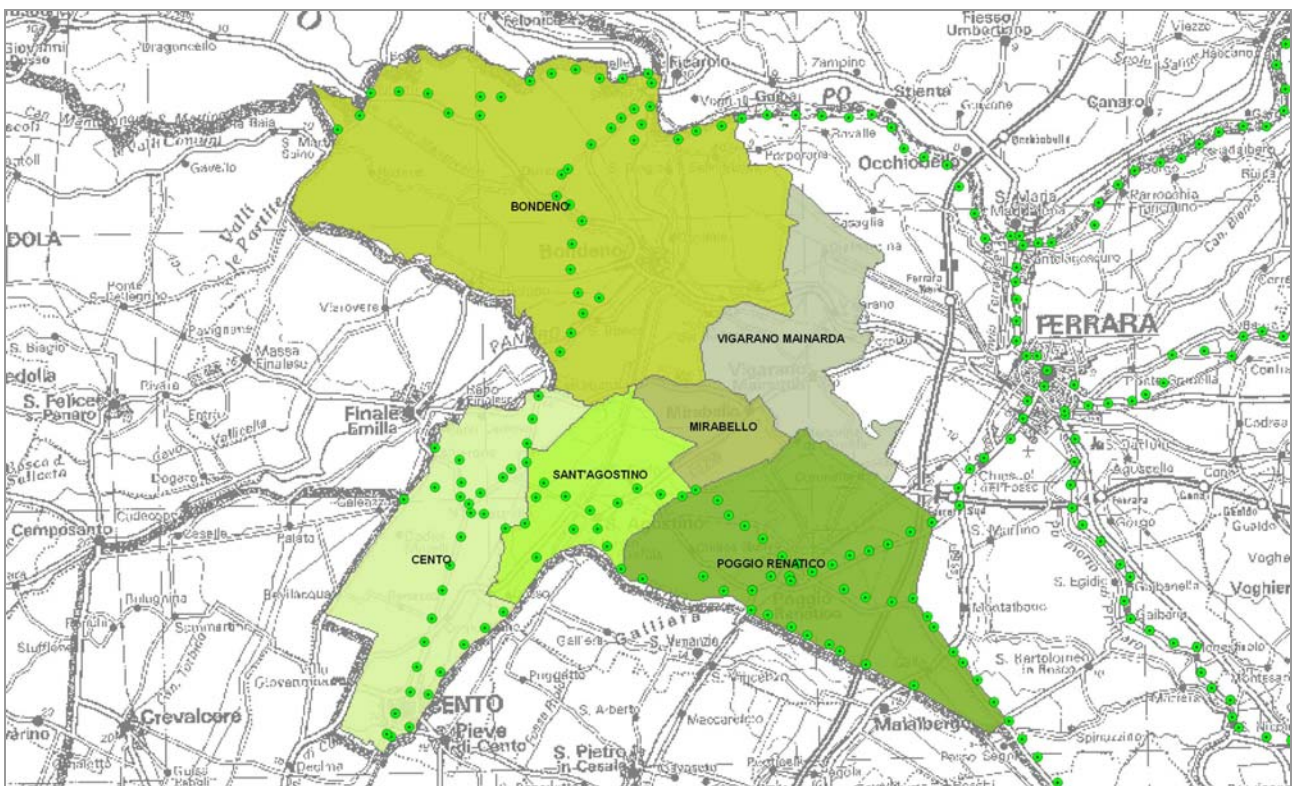


Figura 4-2. Linee ARPA Emilia-Romagna sul territorio in esame: la posizione dei caposaldi ARPA è riportata con un cerchietto verde

Naturalmente il dato della subsidenza ha validità solo per il caposaldo stesso e per il manufatto in cui esso è materializzato (informazione puntuale), mentre, estendere questa informazione ad un'area circostante (in modo da passare, attraverso opportuni algoritmi di interpolazione, da un'informazione esclusivamente puntuale ad una diffusa sull'intero territorio) è molto "delicato", e si può fare solo quando la densità dei caposaldi riquotati è sufficientemente elevata (almeno uno

ogni 2-3 kmq), ed anche in questo caso si possono commettere errori significativi (legati a situazioni singolari che possono venire trascurate).

In effetti, l'ARPA Emilia Romagna, con le dovute cautele sopramenzionate (come correttamente spiegato anche nella documentazione descrittiva delle rete), dopo i rilievi eseguiti nel 1999, ha analizzato tutte le linee riquotate ed è pervenuta ad una carta a curve di ugual velocità di abbassamento del suolo (isocinetiche). Questo documento, rappresenta allo stato attuale il più aggiornato modello descrittivo del fenomeno della subsidenza per il territorio di pianura della Emilia-Romagna. In particolare, per il territorio interessato in questo studio, la carta delle isocinetiche per il periodo 1970/1999 (in cm/anno) è riportata nella Figura 4-3.

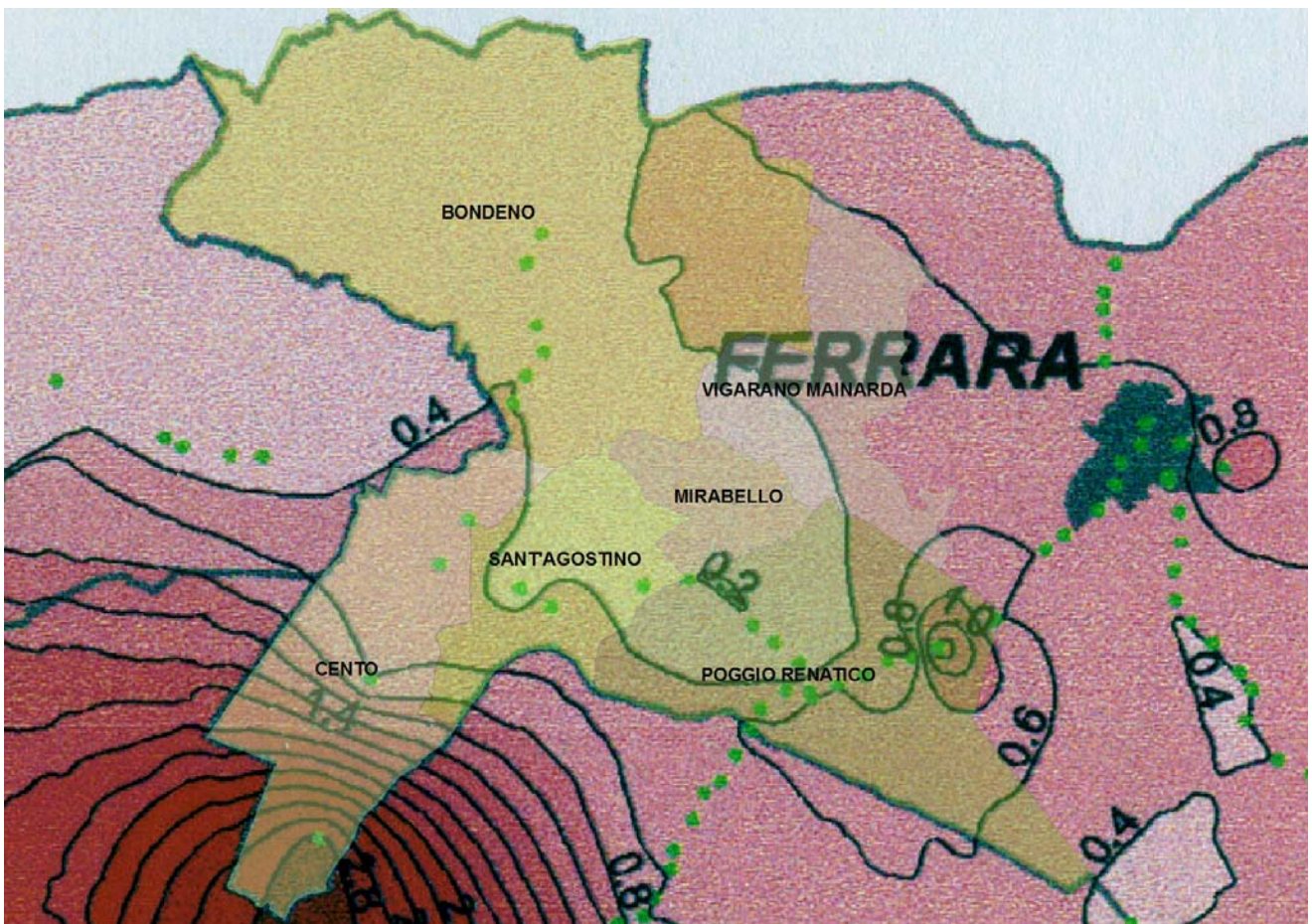


Figura 4-3. Carta a curve di ugual velocità di abbassamento (cm/anno) per il territorio in studio; elaborata dall'ARPA Emilia-Romagna

Per studiare il fenomeno della subsidenza, insieme ai rilievi ripetuti nel tempo sui caposaldi delle reti di livellazione, negli ultimi 5-10 anni, è possibile utilizzare anche una tecnica relativamente nuova, basata su elaborazioni di immagini satellitari di tipo radar².

Acquisendo due o più immagini radar della stessa porzione di territorio a distanza di alcuni anni l'una dall'altra, ed attraverso un'analisi interferometrica, è possibile monitorare il movimento verticale del suolo o di un manufatto con elevate precisioni (alcuni mm/anno).

L'interferometria radar è particolarmente indicata quando si vuole determinare l'andamento generale della subsidenza in territori molto estesi, presenta però l'inconveniente che necessita l'individuazione di targets non affetti dal fenomeno della subsidenza nel periodo analizzato o perlomeno con un dato di subsidenza nota.

L'ARPA della Regione Emilia-Romagna nel 2005, nell'ambito del progetto "Rilievo della subsidenza nella pianura emiliano-romagnola", ha finanziato uno studio sulla subsidenza regionale per mezzo di immagini radar ed analisi interferometrica. A supporto e verifica delle elaborazioni radar, sempre nel 2005, l'ARPA ha realizzato una nuova campagna di livellazione geometrica di alta precisione su circa 900 Km della rete ARPA rilevata nel 1999. Al momento (aprile 2007) non sono ancora usciti i risultati ufficiali relativi all'analisi interferometrica, mentre, è già stato fatto un confronto preliminare sulle quote dei caposaldi riquotati nel 2005 ottenendo un dato iniziale sulla subsidenza nel periodo 1999-2005. Le prime pubblicazioni dei risultati di sintesi sono consultabili sul sito dell'ARPA all'indirizzo http://www.arpa.emr.it/ingamb/rr_subsidenza.htm, i cui aspetti principali sono descritti nel paragrafo 4.3 seguente, ed ulteriori e più dettagliate indicazioni potranno essere ricavate dalla pubblicazione definitiva dei risultati dell'analisi interferometrica.

4.3 La subsidenza sui sei comuni dell'Alto Ferrarese: le velocità di abbassamento e le cause

L'area in esame, come in generale il territorio ferrarese, è soggetta a subsidenza ed i primi valori rappresentativi del fenomeno si hanno dall'analisi delle isocinetiche per il periodo 1970/1999 (Figura 4-3), da cui si evince che l'Alto Ferrarese è per la gran parte interessato da subsidenza di scarsa entità compresa tra 0.2 e 0.6 cm/anno (l'intero territorio dei comuni di Bondeno, Mirabello, Vigarano Mainarda, Sant'Agostino). Per il comune di Poggio Renatico si ha invece una zona (per

² Si tratta non di immagini ottiche, ma di immagini ottenute tramite sensori attivi radar montati su satellite

quanto sostanzialmente limitata) con una subsidenza di circa 1 cm/anno. In particolare, si suppone che l'entità del fenomeno a Poggio Renatico sia essenzialmente legata agli abbassamenti indotti nella falda freatica per fini di bonifica: la Sammartina, come illustrato nel paragrafo 5.3.2, era stata sottoposta già dagli Estensi ad una totale bonifica per scolo naturale e i riallagamenti, verificatesi dopo il 1604 con la deviazione del Reno, sono stati progressivamente prosciugati ed infine totalmente eliminati dalla bonifica meccanica, con la costruzione dell'idrovora di Torre Fossa. Inoltre il prosciugamento delle ex Valli del Poggio è stato integrato con la costruzione dell'idrovora Torniano, presso Poggio Renatico.

Diversa è invece la causa dell'abbassamento sul territorio del comune di Cento. Infatti, quest'area risente della subsidenza presente nell'area metropolitana di Bologna che raggiunge anche i 4 cm/anno ed è pertanto evidente l'aumento della velocità di abbassamento da nord verso sud, con una punta di circa 2.8 cm/anno nel territorio confinante con la provincia di Bologna.

Questi valori di abbassamento sull'area di interesse sono confermati nei risultati di sintesi del confronto preliminare delle quote dei caposaldi riquotati nel 2005, e si ritrovano valori praticamente uguali a quelli attribuiti al periodo precedente 1970-1999.

Infine, si precisa che oltre alle escursioni del livello della falda freatica (fenomeno molto probabilmente intervenuto nelle fasi più antiche della sistemazione idraulica delle aree in esame), possono essere causa di subsidenza anche gli abbassamenti dei livelli piezometrici di falde di bassa e media profondità, per emungimenti di acqua in quantità eccessiva rispetto alla capacità di ricarica spontanea delle falde stesse (Bondesan e Talassi 1987), ed anche le variazioni del chimismo delle acque nel momento in cui sono in grado di indurre, per fenomeni elettrochimici, riduzioni di volume dei minerali argillosi (particolarmente abbondanti nella zona considerata – si veda a tal proposito il capitolo 8). Pertanto, poiché non è possibile prevedere ulteriori sensibili attenuazioni del fenomeno per il futuro, appare indispensabile controllare e limitare le attività che potrebbero produrre ulteriori abbassamenti, quali eccessive estrazioni d'acqua dal sottosuolo, forti e prolungate modificazioni della falda freatica, estrazioni da falda da mediamente a molto profonda, ed estrazioni di altri fluidi.

5 IL SISTEMA DELLA BONIFICA

5.1 Introduzione

I sei Comuni dell'Alto Ferrarese si estendono su un area complessiva di 41359 ettari sui comprensori di tre consorzi di bonifica idraulica: il consorzio di bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro, il comprensorio I Circondario Polesine di Ferrara e il consorzio di bonifica Valli Vecchio Reno. La principale attività di questi Consorzi è l'esercizio di scolo e derivazione delle acque, comprendente la regimazione dei deflussi di scolo e servizi di piena, il prelievo e la distribuzione delle acque per l'irrigazione e per usi diversi, la sorveglianza e la manutenzione delle reti e dei manufatti. Essi hanno inoltre il compito istituzionale di provvedere alla manutenzione delle opere di bonifica, progettare ed eseguire nuove opere di bonifica volte alla realizzazione ed al mantenimento di un assetto territoriale idraulicamente sicuro ed efficiente, alla valorizzazione del territorio, allo sviluppo dell'agricoltura, e alla tutela e conservazione delle risorse naturali.

Per avere un'idea del lungo lavoro di bonifica effettuato negli anni, si osservino le immagini dalla Figura 5-1 alla Figura 5-4 che riportano la successione, negli anni dal 1860 ad oggi, degli interventi realizzati sul territorio dell'intera provincia di Ferrara ed in particolare per la zona in esame.

E' importante pertanto definire, per i consorzi di bonifica suddetti, gli elementi caratterizzanti dal punto di vista idrologico, quali: storia del territorio, perimetrazione dei bacini di scolo, lo sviluppo dei canali, la presenza dei vari manufatti idraulici e l'altimetria del territorio.

Per questo motivo si effettua un'analisi della struttura idraulica dei tre consorzi di bonifica in esame. Questa analisi consiste nello studio delle caratteristiche principali dei bacini di scolo, con particolare attenzione alla loro esatta perimetrazione, nella descrizione del reticolo idraulico e nella localizzazione degli impianti idraulici principali.

Le carte in formato shape dei bacini di scolo, della rete dei canali e le informazioni sugli impianti sono state fornite dai rispettivi Consorzi di Bonifica.

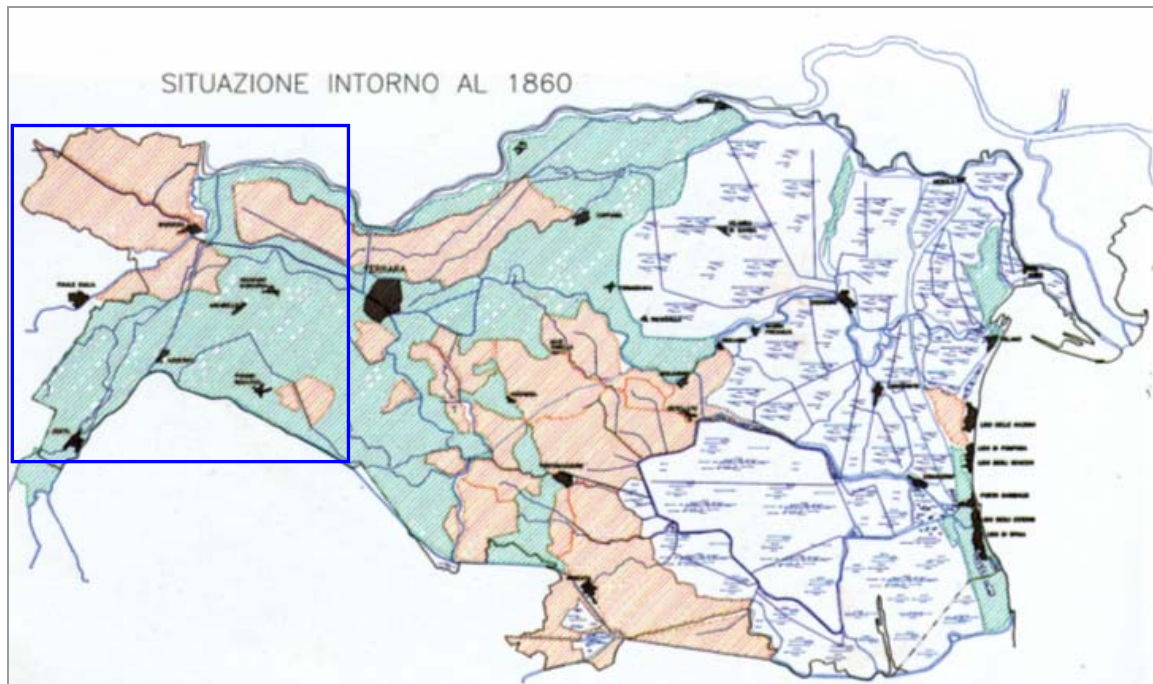


Figura 5-1. Situazione 1860 (Fonte: Maurizio Aragrande, *Le bonifiche ferraresi fra le due guerre (1915-1945)*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

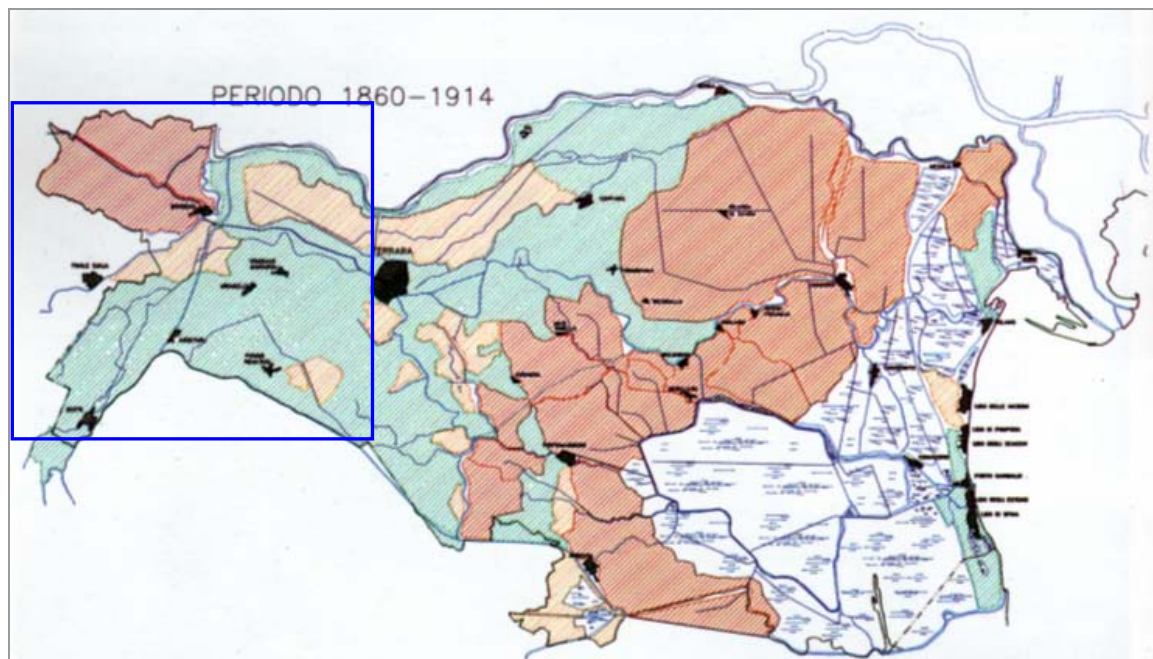


Figura 5-2. Situazione 1860-1915 (Fonte: Maurizio Aragrande, *Le bonifiche ferraresi fra le due guerre (1915-1945)*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | Aree già sistemate con significativi interventi di bonifica in periodi precedenti |  | Aree oggetto di significativi interventi di bonifica (miglioramento idraulico o prosciugamento) conclusi nel periodo |
|  | Aree particolarmente sofferenti per insufficienza di scolo delle acque |  | Aree ancora sommerse durante il periodo |

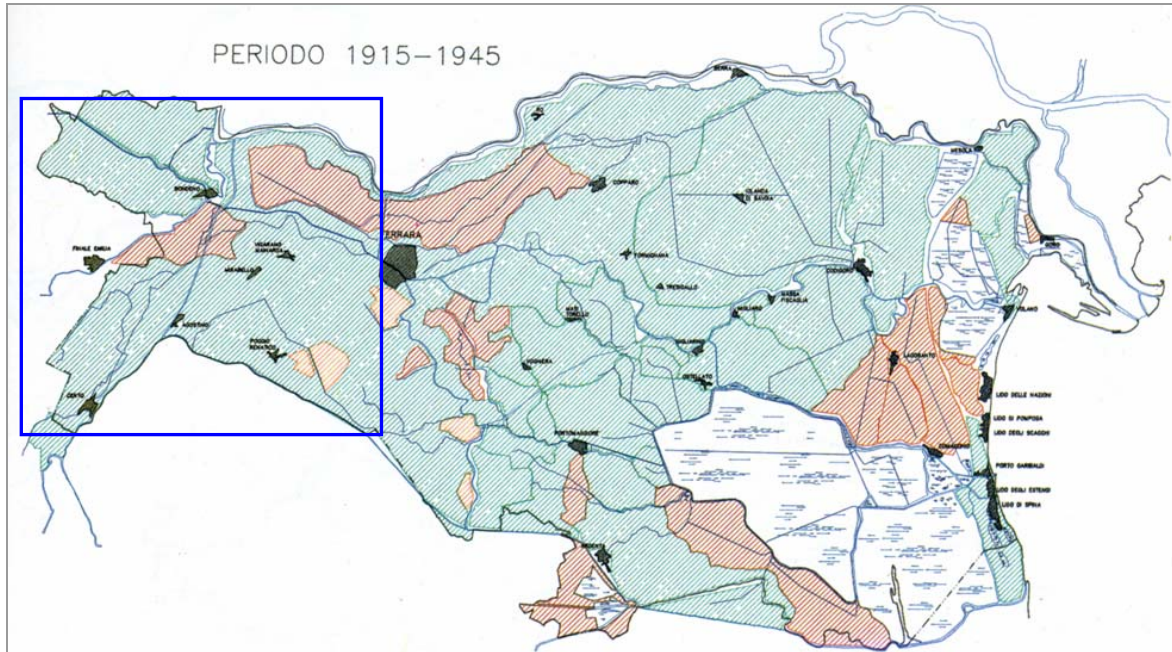


Figura 5-3. Situazione 1915-1945 (Fonte: Maurizio Aragrande, *Le bonifiche ferraresi fra le due guerre (1915-1945)*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

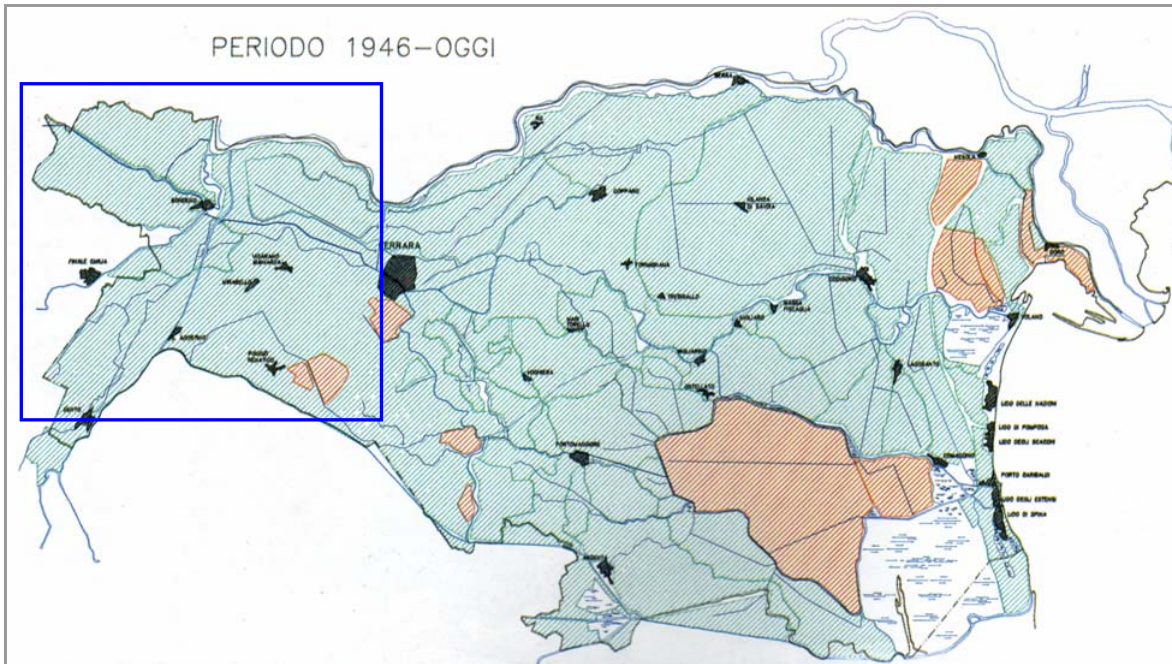


Figura 5-4. Situazione 1946-Oggi (Fonte: Maurizio Aragrande, *Le bonifiche ferraresi fra le due guerre (1915-1945)*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

- | | | | |
|---|---|---|--|
|  | Aree già sistemate con significativi interventi di bonifica in periodi precedenti |  | Aree oggetto di significativi interventi di bonifica (miglioramento idraulico o prosciugamento) conclusi nel periodo |
|  | Aree particolarmente sofferenti per insufficienza di scolo delle acque |  | Aree ancora sommerse durante il periodo |

5.2 Area di studio

I sei comuni dell'Alto Ferrarese si estendono complessivamente su aree gestite da tre consorzi di Bonifica (Figura 5-5):

- Valli Vecchio Reno
- Diamantina (Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara)
- Burana-Leo-Scoltenna-Panaro

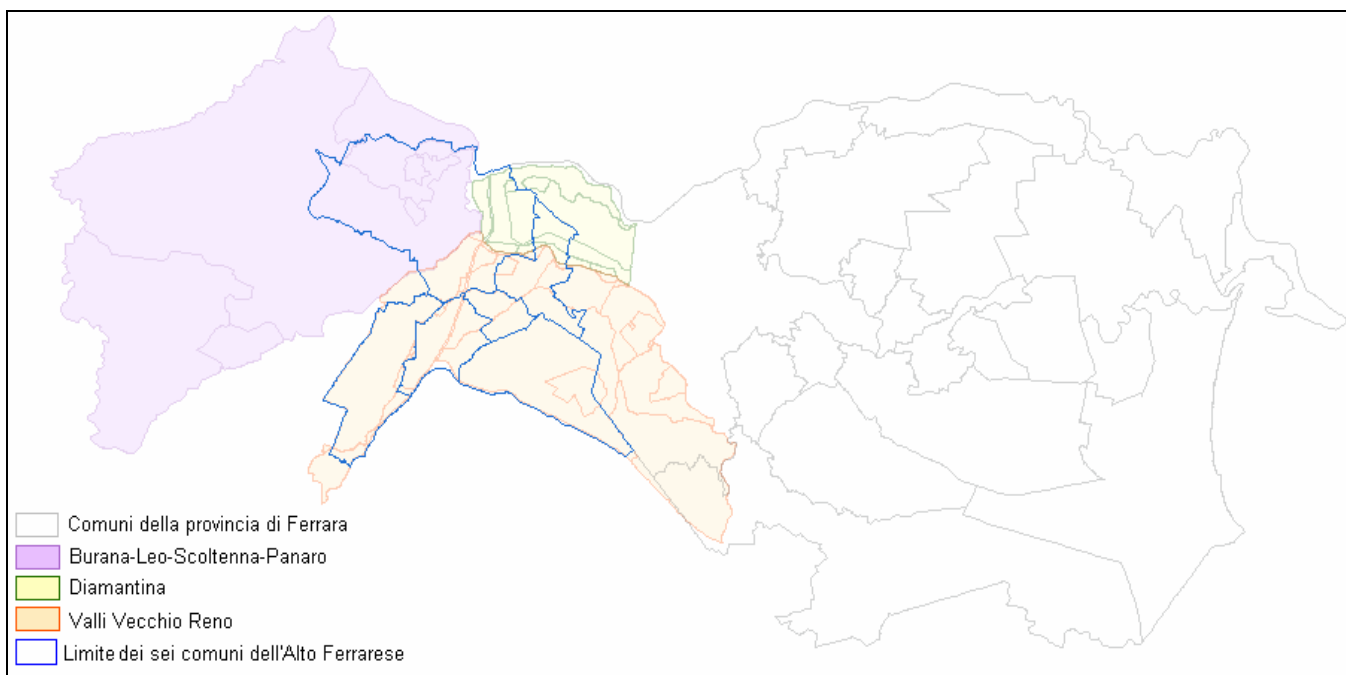


Figura 5-5. I tre consorzi di Bonifica interessati dai comuni dell'Alto Ferrarese

Come è evidente dalla Figura 5-5, i comuni di Cento, Mirabello, Sant'Agostino e Poggio Renatico rientrano completamente nel territorio gestito dal consorzio di bonifica Valli Vecchio Reno, al contrario i comuni di Vigarano Mainarda e Bondeno risultano suddivisi sui i vari consorzi: il comune di Vigarano Mainarda si estende per 1169 ettari nel territorio della Diamantina e per i restanti 3024 nel Valli Vecchio Reno, mentre il comune di Bondeno ricade per:

- 2880 ettari sulla Diamantina;
- 2553 ettari sul Valli Vecchio Reno;
- 12079 ettari ricadono nel Comprensorio gestito dal consorzio di bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro.

5.3 Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno

5.3.1 I confini geografici del territorio gestito dal Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno

Il Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno è l'erede diretto del Consorzio di Bonifica dell'Alto Ferrarese, dal quale deriva a seguito del riordino istituzionale operato dalla Regione Emilia Romagna in materia di Enti di Bonifica. Infatti i quattro precedenti consorzi esistenti: 3° Circondario (20000 ha), 4° Circondario (7000 ha), Cavo Tassone (4000 ha) e 6° Circondario (10000 ha), furono aggregati in esso (41000 ha) ed è denominato attualmente Valli Vecchio Reno, (Aragrande 1990). Si vedano a tal proposito la Figura 5-6 e Figura 5-7. Attualmente il Valli Vecchio Reno comprende interamente quello del precedente consorzio, a cui però si aggiungono due aree minori: la superficie territoriale è ora di 43093 ha ed in Tabella 5-1 si riportano le parti di territorio ricadente sulle varie province.

<i>Comprensorio consortile: regioni e province di interesse</i>				
Regione Emilia - Romagna	Modena		ha	781
	Ferrara		ha	40996
	Bologna		ha	1316
		Totale complessivo	ha	43093

Tabella 5-1. Estensione del Consorzio di Bonifica sulle diverse province

Il comprensorio consorziale confina :

- a Nord con la strada statale Virgiliana, da Bondeno alla frazione di Mizzana, quindi con il tratto terminale dell'Emissario di Burana e il Po di Volano fino alla diramazione del Po di Primaro;
- ad Est con il Po di Primaro da Ferrara al fiume Reno, presso la località Traghetto;
- a Sud con il fiume Reno da Traghetto alla confluenza del fiume Samoggia, poi con un breve tratto di quest'ultimo, quindi la strada comunale Samoggia Vecchio e alcune linee di campagna fino al Canale di Cento presso S. Matteo Decima;
- ad Ovest con il Canale di Cento da Decima fino alla zona Morando, delimitata da alcune brevi linee di campagna; poi con il confine provinciale, prima fra Ferrara e Bologna, poi fra

Ferrara e Modena, fino nei pressi di Reno Centese; infine con alcune linee di campagna fino a raggiungere il fiume Panaro, che poi segue fino a Bondeno.

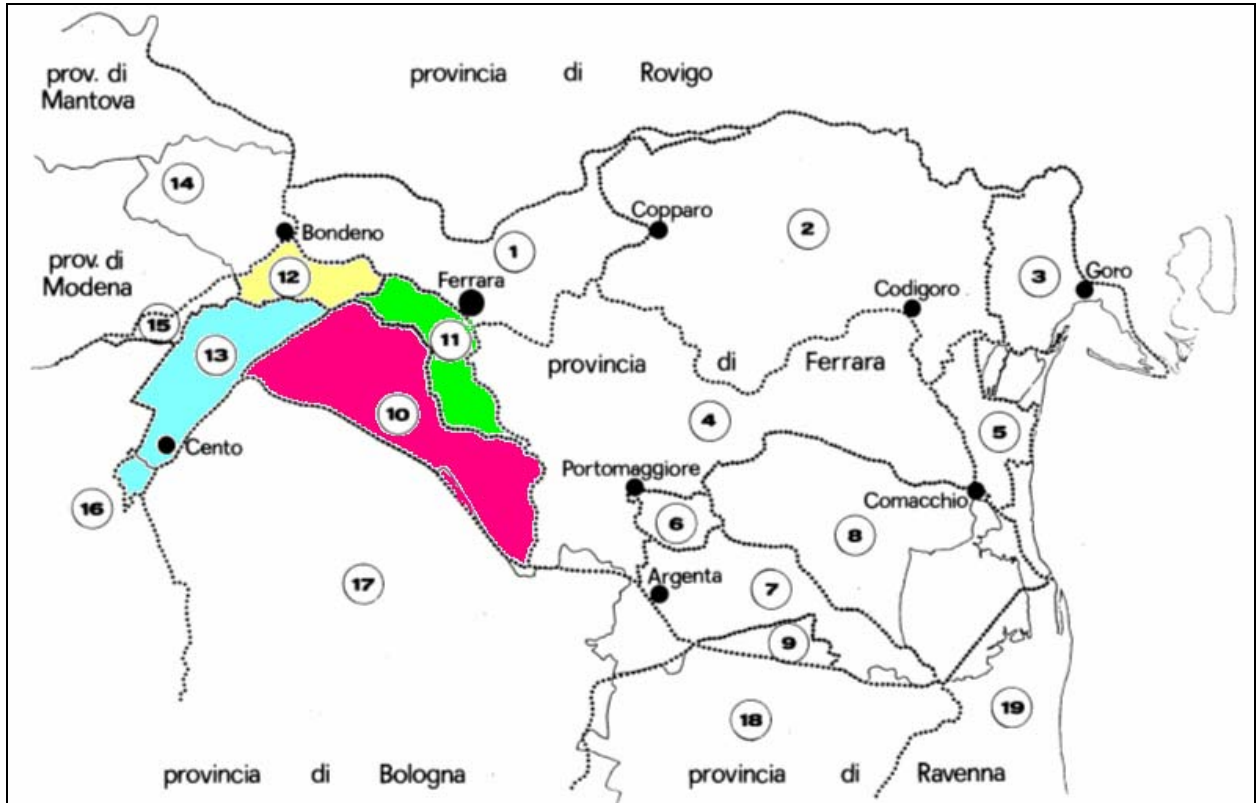


Figura 5-6. Consorzi di Bonifica nella provincia di Ferrara negli anni '60

(Fonte: Elisabetta Mantovani, *Le bonifiche e l'ambiente naturale nel Ferrarese*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

- 1 Terre Vecchie
- 2 Grande Bonificazione Ferrarese
- 3 Bonifica di Mesola (ERSA)
- 4 2° Circondario - Polesine di S. Giorgio
- 5 Valle Isola e minori
- 6 Forcello
- 7 Argentane
- 8 Bonifica delle Valli di Comacchio (ERSA)
- 9 Filo e Longastrino
- 10 3° Circondario
- 11 4° Circondario
- 12 Cavo Tassone
- 13 6° Circondario
- 14 Burana
- 15 Consorzi idraulici minori
- 16 Palata Reno
- 17 Bonifica Renana
- 18 Bassa Pianura Ravennate
- 19 Bonifica di Ravenna

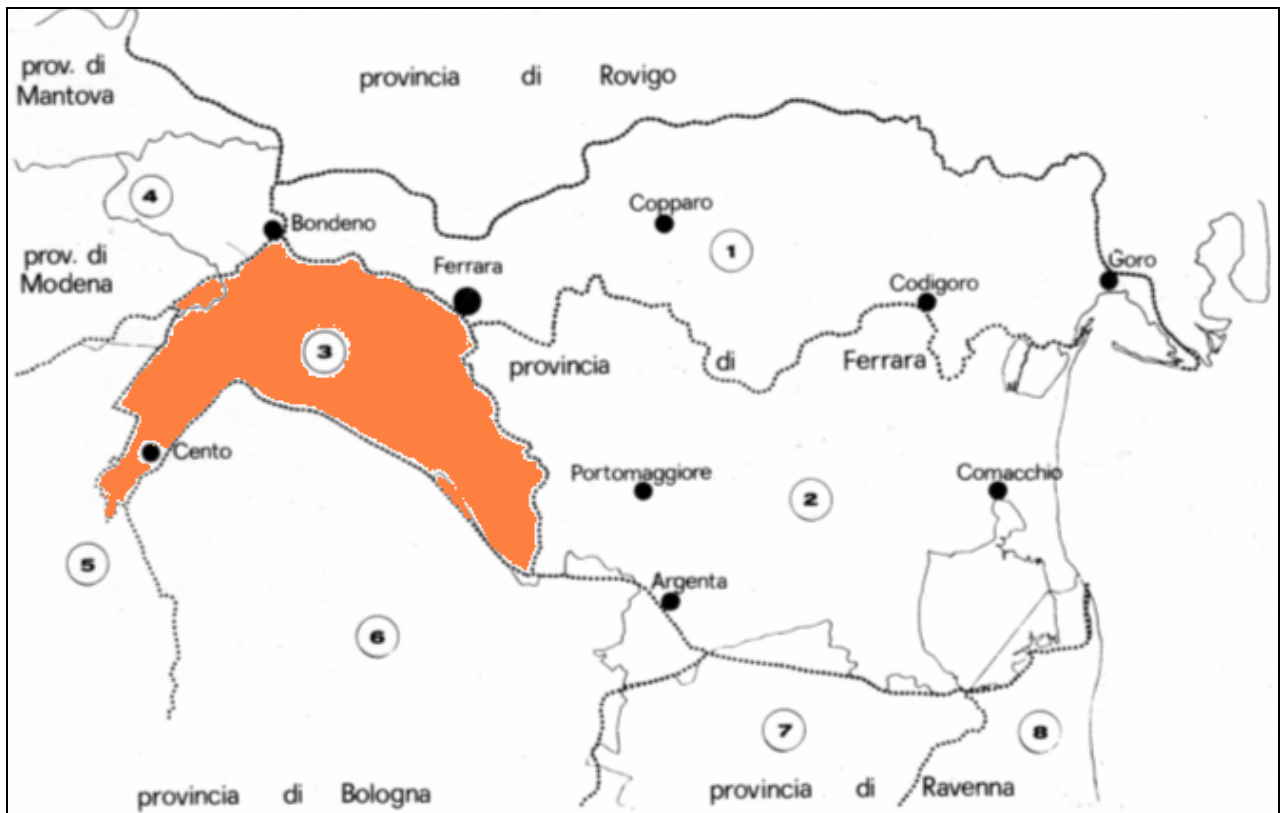


Figura 5-7. Consorzi di Bonifica nella Provincia di Ferrara dal 1 Gennaio 1988

(Fonte: Elisabetta Mantovani, *Le bonifiche e l'ambiente naturale nel Ferrarese*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

- 1 1° Circondario - Polesine di Ferrara
- 2 2° Circondario - Polesine di S. Giorgio
- 3 Valli di Vecchio Reno
- 4 Burana - Leo - Scoltenna - Panaro
- 5 Reno Palata
- 6 Bonifica Renana
- 7 Romagna occidentale
- 8 Romagna Centrale

5.3.2 Storia del territorio gestito dal Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno

La formazione e l'evoluzione di questo territorio consorziale sono strettamente legate alle storiche divagazioni e alluvioni del Fiume Reno: infatti a partire dal II° millennio il progressivo spostamento a nord dei successivi apparati deltizi del Po non consentiva più un recapito soddisfacente dei torrenti appenninici, che spandevano le loro acque in questo territorio di colmata, l'antica Padusa.

Era proprio in quest'ultima che il Po si perdeva come in un enorme stagno; era una sorta di arcipelago nel quale le isole più o meno vaste (i dossi) create da detriti trasportati dai fiumi, si alternavano con le depressioni invase dalle acque precedendo lo sbocco nell'Adriatico.

Un primo importante passo nella bonifica delle zone più depresse del Valli Vecchio Reno risale all'epoca estense. Ercole I° d'Este, nell'intento di valorizzare il territorio ferrarese, si impegna nella bonifica della Sammartina, vasto complesso di terre paludose che si estende a sud della città di Ferrara (Figura 5-8). Il comprensorio da prosciugare è delimitato e difeso da un argine circondario che si stacca dalla riva destra del Po a Porotto e, seguendo il corso del Ladino, raggiunge Torre del Fondo, sul confine bolognese, e successivamente San Martino della Pontonara, posta sul canale navigabile per Bologna. Nel 1501 viene ampliato il perimetro della zona di bonifica, fino a comprendere le terre di S. Martino, S. Egidio e Marrara. Separando con un nuovo argine le terre più depresse da quelle di gronda lungo il Po di Primaro, Ercole raccoglie tutte le acque basse dei terreni ricadenti nel nuovo comprensorio in un nuovo canale collettore in fregio all'argine circondario: è il Cavo Ducale o Fossa Marchesana. Esso convoglia le acque di scolo della bonifica fino a Traghetto immettendole nel Primaro.

Per quanto riguarda la parte sud del Comprensorio, soltanto alla fine del XVIII° secolo venne scelto l'attuale tracciato artificiale del fiume Reno, che dalla Panfilia, piegando verso est, tocca Traghetto e da qui raggiunge il mare Adriatico, riutilizzando l'antico alveo del Po di Primaro.

Si è venuto così a caratterizzare un territorio morfologicamente omogeneo, altimetricamente più elevato dei territori più ad est della provincia di Ferrara (si veda capitolo 3), delimitato verso l'esterno da Panaro, Poatello, Volano, Primaro e Nuovo Reno, idraulicamente aperto solo verso monte, in direzione di S.Giovanni in Persiceto, dove il Canale di Cento attraversa la dorsale di un paleoalveo fra Reno e Panaro.

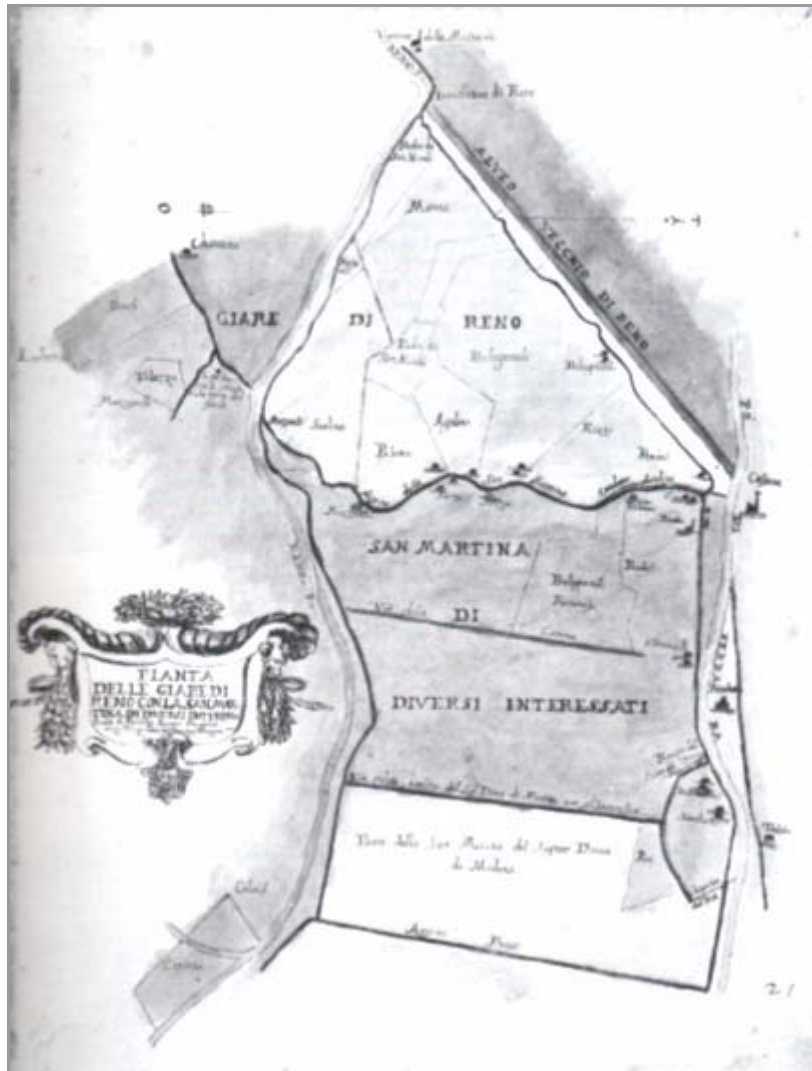


Figura 5-8. La “SanMartina” (Fonte: Franco Cazzola, *La Terra costruita: Ferrara e la bonifica*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

5.3.3 La struttura idraulica del Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno

L'idrografia del comprensorio del Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno è caratterizzata da una certa complessità, dovuta essenzialmente alla diversità dei recapiti esterni del reticolo dei canali e allo stretto legame con l'assetto altimetrico. L'attuale assetto idrografico del Comprensorio in esame è il risultato finale delle vicende idrauliche che hanno interessato questo territorio, in particolare nel secondo millennio (come richiamato nel capitolo 2).

I fiumi come il Po, il Reno e il Panaro ne definiscono i confini, scorrendo pensili e arginati ai suoi margini, tanto che le acque interne non vi trovano di norma recapito, ma vengono avviate verso il Mare Adriatico attraverso il sistema del Canale di Burana - Po di Volano, che rappresenta il collettore principale del Comprensorio.

Di fondamentale importanza è anche il Canale di Cento, collettore di bonifica che ha origine a monte di S.Giovanni in Persiceto (Bologna). Questo canale, che da Cento percorre oltre 44 km attraverso tutta la parte ovest del comprensorio fino nel Po di Volano, raccoglie le acque di scolo di un totale di 14073 ha ricadenti nei comuni di S. Giovanni in Persiceto, Cento, Sant'Agostino, Bondeno, Mirabello, Vigarano Mainarda e Ferrara (si veda paragrafo 6.5). In particolare, i bacini che scolano in Canale di Cento sono ben 12 come riportato in Tabella 5-2.

I territori a Nord di Casumaro, tra Santa Bianca e Ponte Rodoni, scolano invece direttamente nel Burana attraverso il collettore Santa Bianca, mentre l'asta del Po di Primaro è il recapito della zona sud orientale del consorzio, precisamente ad Est della strada Statale che collega Ferrara con Mirabello e Sant'Agostino.

Osservando la Tabella 5-2, si nota che la maggior parte dei bacini scola naturalmente, ciò è conseguenza diretta delle condizioni altimetriche e morfologiche del comprensorio, fatta eccezione per i bacini del Torniano, Torre Fossa e Sant'Egidio che si trovano in aree depresse, e le cui acque vengono smaltite tramite gli impianti idrovori rispettivamente denominati Torniano, Sammartina e Sant'Egidio.

Un altro impianto idrovoro importante è quello di San Nicolò: esso permette di sollevare la portata eccedente ai 10.5 m³/s dello Scolo Principale Inferiore che naturalmente passano in Botte sotto il Primaro.

<i>I Bacini Di Scolo</i>	<i>Collettore Principale</i>	<i>Punto Di Scolo</i>	<i>Tipo Di Scolo</i>	<i>Area (ha)</i>
Bagnetto	Scolo Bagnetto	Scola in punti differenti	Naturale	1163
Nuovo Scolo	Scolo Principale Inferiore	Canale Circondariale	Naturale	7081
Torniano	Scolo Diramazione Morgosa-Allac.Morgosa Torniano- Canale Torniano	Idrovoro Torniano	Meccanico	1246
Sant'Egidio	Canale Princ. Sant'Egidio	Idrovoro Sant'Egidio	Meccanico	564

CAPITOLO 5

Condotto Generale Destro	Canale Pievese e Canale Banche Superiore	Canale Di Cento	Naturale	447
Oppio	Scolo Oppio	Scola in punti differenti	Naturale	2326
Canale di Cento Piccolo	Area afferente direttamente al Canale di Cento	Canale Di Cento	Naturale	47
Torre Fossa	Scolo Zagagnona-Scolo Boldrini	Idrovoro Sammartina	Meccanico	765
Chiodarolo Vecchio	Chiodarolo Vecchio	Canale Di Cento	Naturale	66
Condotto Generale Sinistro	Condotto Generale	Canale Di Cento	Naturale	5633
Angelino	Angelino	Canale Di Cento	Naturale	1693
Savenuzza	Savenuzza	Canale Di Cento	Naturale	1402
Cembalina Acque Alte	Canale Principale Superiore - Cembalina	Canale Cembalina	Naturale	11229
Sammartina Acque Alte	Scolo Tesoriere- Baiona Scolo Civetta –Scolo San Martino	Scola in punti differenti	Naturale	1715
Santa Bianca 2	Canale Valle Piana e Arienti	Collettore Santa Bianca	Naturale	65
Porotto Piccoli	Area afferente direttamente al Canale di Cento	Scola in punti differenti	Naturale	150
Porotto Grande	Graziadei -Ladino Porotto- Scolo Rinaldi	Scola in punti differenti	Naturale	1845
Santa Bianca 3	San Giovanni Orientale	Collettore Santa Bianca	Naturale	766
Tassone Grande	Cavo Tassone	Canale Di Cento	Naturale	1171
Tassone Piccolo	Area afferente direttamente al Canale di Cento	Po Di Volano	Naturale	80
Santa Bianca 1	Cantalupo-Nicolino-Collettore Santa Bianca	Canale di Burana	Naturale	114
Bondeno Est	Area afferente direttamente al Canale di Burana	Canale di Burana	Naturale	68
Santa Bianca 4	San Giovanni Orientale	Collettore Santa Bianca	Naturale	274
Cavo Bondesano	Cavo Bondesano	Canale Di Cento	Naturale	67

Tabella 5-2. I bacini di scolo del Valli Vecchio Reno

Per le lunghezze dei canali principali di scolo si rimanda alle tabelle degli attributi (“attribuite table”) del tematismo/layer “ Canali Valli Vecchio Reno” (si veda progetto ArcMap), mentre di seguito (Tabella 5-3 e Tabella 5-4) si riportano le caratteristiche degli impianti idrovori e delle botti,

comprese degli elementi necessari alla loro ubicazioni in termini di coordinate X ed Y UTM (Universal Transverse Mercator).

<i>Impianti idrovori</i>	<i>Caratteristiche</i>	<i>Tipo</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
Torniano	Potenza=165 kW, Portata=4.19 m ³ /s	Scolo	700292	959274
Sammartina	Potenza=140 kW, Portata=3 m ³ /s	Scolo	707371	964340
Sant' Egidio	Potenza=82 kW, Portata=1.79 m ³ /s	Scolo	709459	959403
Bagnetto	Potenza=34 kW, Portata=0.3 m ³ /s	Irriguo	679555	951821
Campodoso	/	Irriguo	687782	970074
Porotto	Potenza=90 kW	Irriguo	704408	968836
Chiesuol Del Fosso	Potenza=66 kW, Portata=0.8 m ³ /s	Irriguo	704182	964664
Buttifredo	Potenza=4 kW, Portata=0.3 m ³ /s	Scolo	704435	961400
Favalla	Potenza=45 kW, Portata=0.89 m ³ /s	Irriguo	706692	958502
Rena	/	Irriguo	704643	955486
Spinazzino	Potenza=125 kW, Portata=1.79 m ³ /s	Irriguo	707758	953906
Leona	Potenza=22 kW, Portata=0.6 m ³ /s	Irriguo	708924	949970
Coronella	Potenza=9 kW, Portata=0.1 m ³ /s	Irriguo	699714	964563
Mirasole	Potenza=30 kW, Portata=0.6 m ³ /s	Irriguo	702620	966677
Gorghì	/	Irriguo	684004	962477
Fondo Reno	Potenza=8 kW	Irriguo	700943	965825
Cascina	/	Irriguo	703155	961562
Bosconuovo	/	Irriguo	702374	966240
Ciarle	Portata=0.2 m ³ /s	Irriguo	689734	962730
Bevilacqua	/	Irriguo	678309	958589
Zambotta	/	Irriguo	711907	957287
S.Agostino	Potenza=396 kW, Portata=6.09 m ³ /s	Irriguo	687944	962430
Gallo	Potenza=18 kW,	Irriguo	698764	957191
Schiavona	Portata 0.3 m ³ /s	Irriguo	692191	972257
S.Nicolo'	Portata=12 m ³ /s	Scolo	714544	954936

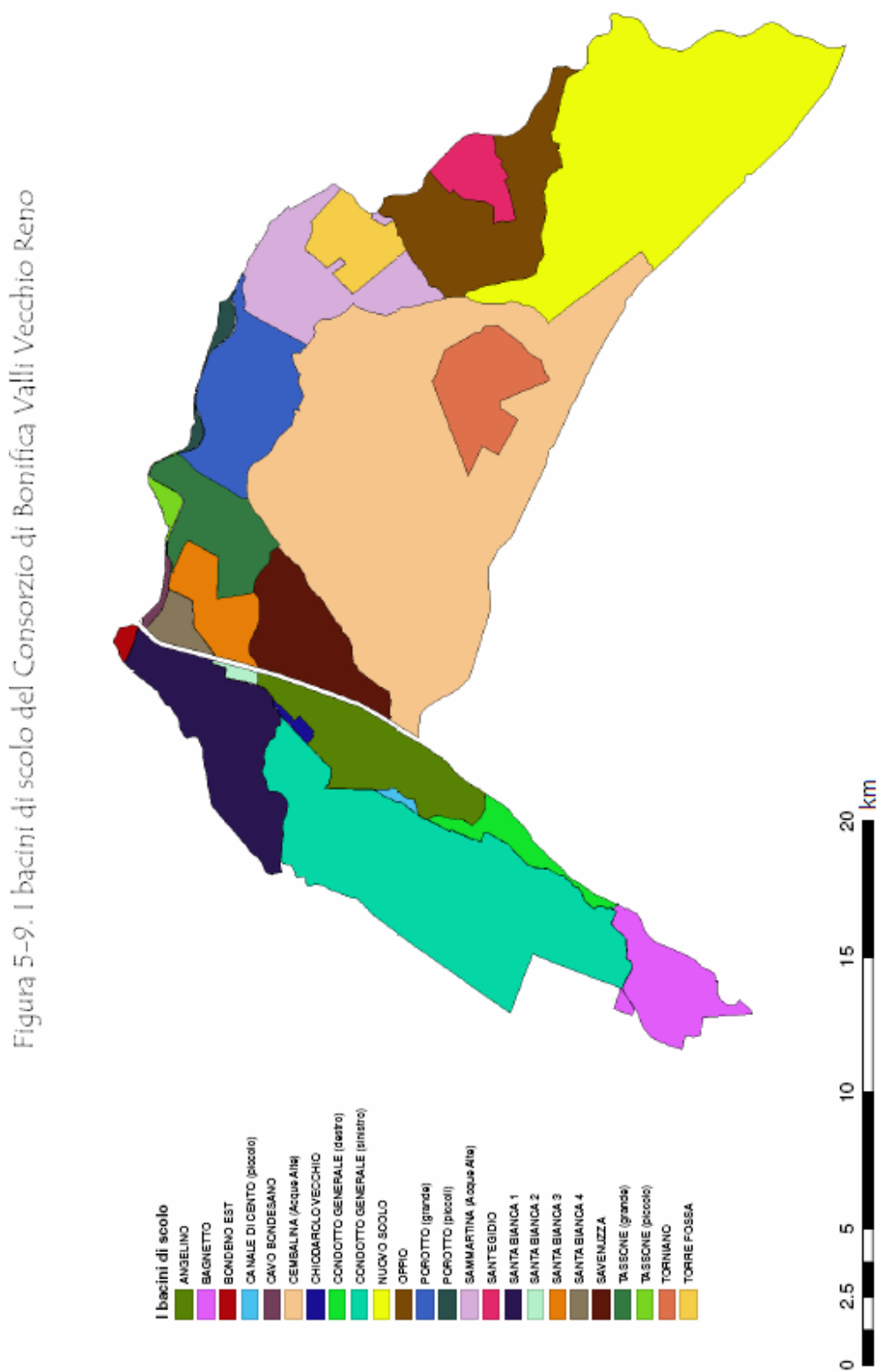
Tabella 5-3. Gli impianti idrovori sul territorio del Valli Vecchio Reno

<i>Botti</i>	<i>Caratteristiche</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
Generale Vecchio	Acque della punta nord del bacino c.generale dx in botte sotto c.Cento, poi fluiscono in c.generale vecchio e a sua volta in condotto generale	684582	960913
Botte Canale Di Cento	Canale di Cento in Botte sotto il Cavo Napoleonico	690806	969681
S.Giovanni	Canale S.Giovanni Orentale in botte sotto Cavo Napoleonico	691092	970827
Burana	Emissari di Burana in botte sotto il Cavo Napoleonico	691994	972371
Pievese	Pievese in botte sotto C.Cento	684434	959489
Renocanale	Reno Canale in botte sotto C.Cento	683028	957139
S.Rondone	Scolo Rondone in botte sotto Cavo Tassone	695083	969812
Zagagnona	Lo Zagagnona è collegato al Boldrini da una Botte	705767	964785
S.Nicolo'	Scolo Principale Inferiore in Botte sotto il Primario; $Q \approx 10.5 \text{ m}^3/\text{s}$	714641	954980
Parziale	Scolo Parziale in Botte sotto il Cembalina	707791	953960

Tabella 5-4. Le botti presenti sul territorio del Valli Vecchio Reno

Nel seguito si riporta la carta dei bacini di scolo del Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno (Figura 5-9).

Figura 5-9. I bacini di scolo del Valli Vecchio Reno



5.4 Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine Di Ferrara

5.4.1 I confini geografici della zona Diamantina gestita dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara

Il comprensorio del consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara occupa una superficie di circa 91000 ha, compresa tra il Po di Venezia-Po di Goro a nord e l'antico Po di Volano a sud, estendendosi dalla confluenza del Panaro nel Po fino al litorale Adriatico.

Prima del 1988 questo territorio era suddiviso fra il Consorzio di Bonifica di Terre Vecchie¹, il I Circondario-Canal Bianco (23000 ha), il Consorzio della Grande Bonificazione Ferrarese (56600 ha) e il Comprensorio di Bonifica di Mesola, gestito dall'Ente Regionale e di Sviluppo Agricolo (11400 ha). I primi due consorzi costituivano un tempo il I Circondario di Scoli della Provincia di Ferrara, ma la loro divisione fu sancita con Decreto del Ministero dei LL.PP. nel 1983 (Aragrande, 1990). Si vedano a tal proposito la Figura 5-10 e Figura 5-11.

La zona di interesse del presente studio rientra nel vecchio consorzio di Terre Vecchie, ed in particolare di una frazione di esso: la Cella della Diamantina.

La Cella della Diamantina ha dei limiti geografici ben precisi:

- a Nord con il fiume Po;
- ad Est con il Canale Boicelli;
- a Sud con la strada statale Virgiliana, da Bondeno alla frazione di Mizzana, quindi il tratto terminale dell'Emissario di Burana e il Po di Volano fino alla diramazione del Po di Primaro;
- ad Ovest con la via San Biagio in parte e poi seguendo il fiume il Panaro fino al Po.

¹ Nell'accezione corrente le "terre vecchie" sono i territori già emersi e appoderati prima della campagna di bonifiche avviata nella seconda metà dell'Ottocento

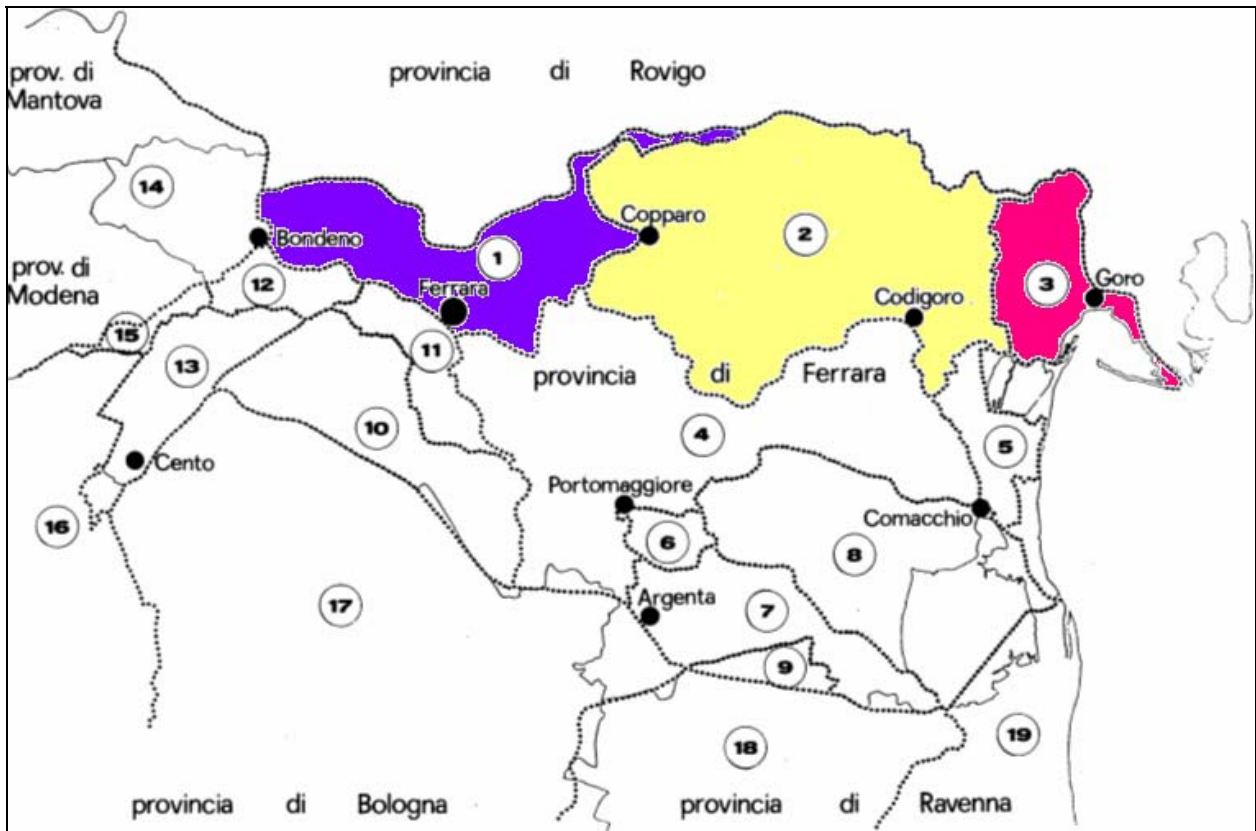


Figura 5-10. Consorzi di Bonifica nella provincia di Ferrara negli anni '60 (Fonte: Elisabetta Mantovani, *Le bonifiche e l'ambiente naturale nel Ferrarese*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

- | | |
|----|--|
| 1 | Terre Vecchie |
| 2 | Grande Bonificazione Ferrarese |
| 3 | Bonifica di Mesola (ERSA) |
| 4 | 2° Circondario - Polesine di S. Giorgio |
| 5 | Valle Isola e minori |
| 6 | Forcello |
| 7 | Argentane |
| 8 | Bonifica delle Valli di Comacchio (ERSA) |
| 9 | Filo e Longastrino |
| 10 | 3° Circondario |
| 11 | 4° Circondario |
| 12 | Cavo Tassone |
| 13 | 6° Circondario |
| 14 | Burana |
| 15 | Consorzi idraulici minori |
| 16 | Palata Reno |
| 17 | Bonifica Renana |
| 18 | Bassa Pianura Ravennate |
| 19 | Bonifica di Ravenna |

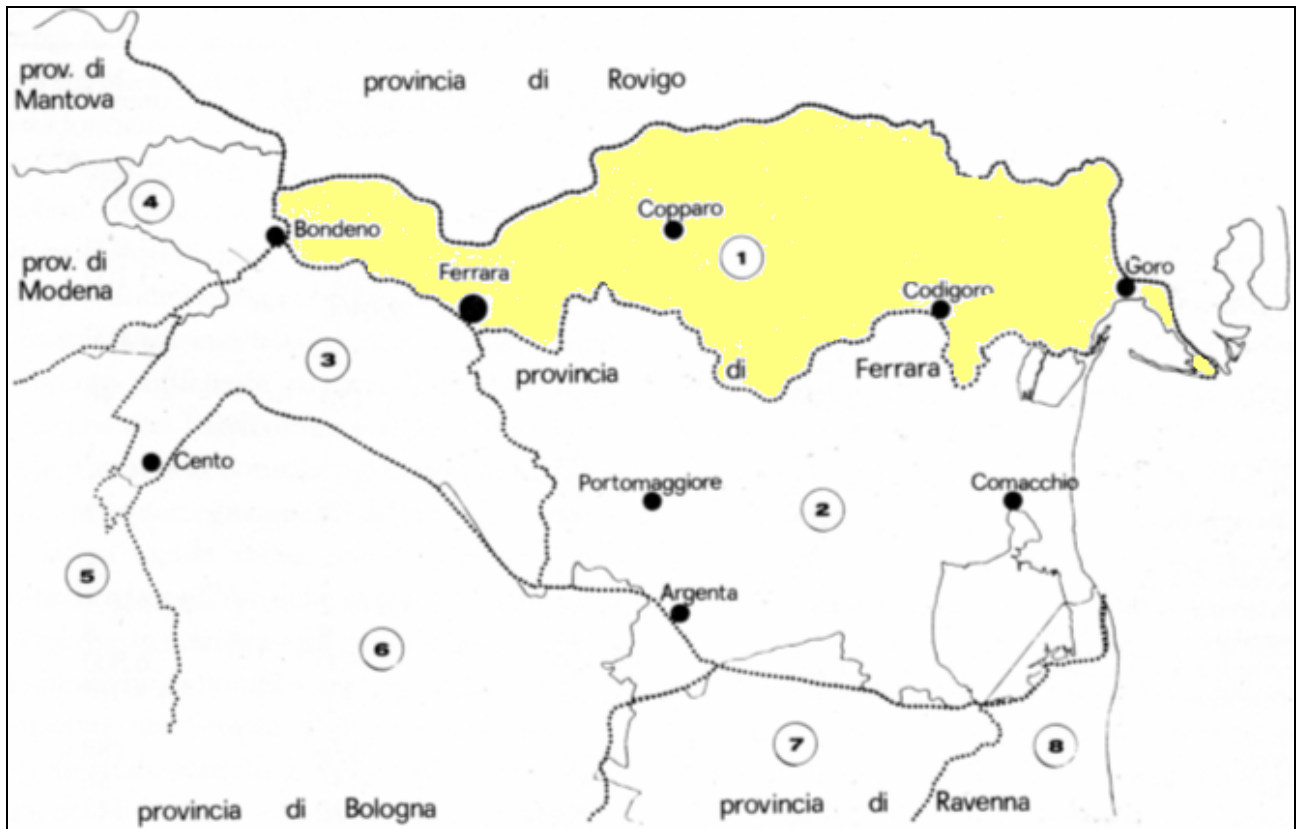


Figura 5-11. Consorzi di Bonifica nella Provincia di Ferrara dal 1 Gennaio 1988 (Fonte: Elisabetta Mantovani, *Le bonifiche e l'ambiente naturale nel Ferrarese*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

- | | |
|---|---|
| 1 | 1° Circondario - Polesine di Ferrara |
| 2 | 2° Circondario - Polesine di S. Giorgio |
| 3 | Valli di Vecchio Reno |
| 4 | Burana - Leo - Scoltenna - Panaro |
| 5 | Reno Palata |
| 6 | Bonifica Renana |
| 7 | Romagna occidentale |
| 8 | Romagna Centrale |

5.4.2 Storia del territorio della zona Diamantina gestita dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara

Come illustrato precedentemente, la “Cella Diamantina” fa parte del territorio delle “Terre Vecchie”, le terre di più antica bonifica dell’attuale comprensorio del I Circondario Polesine di Ferrara.

Le più importanti opere di sistemazione idraulica di questo territorio risalgono all'epoca estense.

Il primo intervento sistematico di bonifica riguardò le bassure paludose di Casaglia, cioè gli oltre 1000 ettari di terra che gli Estensi possedevano nell'omonimo Polesine, ubicata in gran parte fra i due antichi scoli del Nicolino e della Fossa Crespana. L'avvio dei lavori di bonifica Casaglia é databile addirittura al 1447-48. Ma la vera e propria trasformazione delle terre paludose di Casaglia avviene comunque dopo il 1450 per volontà di Borso d'Este (Cazzola,1990).

All'inizio del Cinquecento Sigismondo d'Este, un fratello del duca Ercole, si impegna per realizzare la bonifica della Diamantina (Figura 5-12) ed il deflusso delle acque da tali bacini denominati di Terre Vecchie venne assicurato prolungando verso est quel "Canale Blancum", già esistente all'epoca comunale, che poi verrà portato a confluire nel mare con la successiva bonifica dei territori orientali tra "la villa di Guarda" e la "Marina".

E' pertanto possibile riconoscere con chiarezza, all'interno del contesto delle Diamantina, tra la statale Virgiliana a sud e la strada provinciale Bondeno-Ferrara, il segno unitario della bonifica cinquecentesca, che ha pianificato e trasformato i terreni acquitrinosi interni. Essa è costituita dal sistema che ha come asse centrale il canal Bianco al quale si affiancano una serie di canali secondari in direzione del Po a nord, e in direzione del canale di Burana a sud.

In realtà, solo con la bonifica meccanica si è riusciti a migliorare l'aspetto paludoso della Cella Diamantina. Infatti, allo scopo di prosciugare le fosse che circondavano la città di Ferrara, verso il 1870 fu costruito l'impianto idrovoro di Baura che, scaricando nel Volano un volume di acqua di 4,73 m³/s, contribuì in modo determinante a migliorare la condizione idraulica.

Negli anni dal 1927 al 1933 furono progettati ed eseguiti i lavori per la costruzione dell'impianto idrovoro Betto per scaricare inizialmente nel Canale Boicelli 5 m³/s di acque pompate dall'omonimo bacino di scolo. Fu inoltre allargato e risagomato il Canal Bianco, dall'origine fino all'impianto idrovoro suddetto e fu infine sistemato l'intero scolo di Casaglia fino al suo sbocco nel Canal Bianco (Orienti, 1979).

Un altro piccolo impianto idrovoro, denominato Valletta, e la sistemazione di alcuni canali minori hanno completato l'opera di bonifica della zona depressa al centro ovest della Diamantina. Infine, di più recente costruzione è l'impianto idrovoro del Cittadino, realizzato per smaltire la portata eccedente i $5 \text{ m}^3/\text{s}$, passanti in botte sotto il Boicelli.



Figura 5-12. La “Diamantina” (Fonte: Franco Cazzola, *La Terra costruita: Ferrara e la bonifica*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

5.4.3 La struttura idraulica della zona della Diamantina gestita dal Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara

Come illustrato in figura 5.13, il territorio della Diamantina si suddivide in sette bacini di scolo.

I canali principali in cui confluiscono le loro acque sono: il Canal Bianco, il Canale Cittadino, il Nicolino, il Collettore Valletta e il Canale Emissario di Burana.

Il Canal Bianco e Cittadino attraversano tutta la lunghezza del comprensorio e scolano rispettivamente le acque dei due bacini con estensione maggiore: il Betto ed il Cittadino. Il Canal Bianco si dirama dal Canal Cittadino in località Sette Polesini fino a SE, dove raggiunge la Botte Betto e sottopassa il Canale Boicelli. Da qui prosegue verso il mare dove le sue acque vengono sollevate, mediante l'impianto Romanina, nella Sacca di Goro.

Il Canal Cittadino si estende per 21.7 km dalla zona Nord Ovest della Diamantina fino alla botte sotto il Boicelli. Da questo punto in poi prende il nome di Canale Gramicia.

Sia il Canal Bianco che il Cittadino passano in botte con una portata massima di $5 \text{ m}^3/\text{s}$. Nel caso in cui le portate superino questo valore vengono messi in funzione gli impianti di sollevamento omonimi che scaricano nel Boicelli. Si ricorda che l'impianto idrovoro Betto risale agli anni '20-'30 ed era dotato di quattro pompe (due elettriche e due diesel), aventi una portata complessiva di $5.5 \text{ m}^3/\text{s}$ alla prevalenza di 1.80 m, oggi invece arriva a sollevare $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$.

Il canale Nicolino, secondo per lunghezza al Cittadino, scola le acque del bacino Nicolino e sottopassa in botte il Canale Boicelli con una portata di $4 \text{ m}^3/\text{s}$.

Oltre gli impianti idrovori Betto e Cittadino, vi è anche l'impianto idrovoro Valletta, sui cui s'incentra il sistema di scolo del bacino omonimo. Questo permette di sollevare le acque del Collettore Valletta nella Fossa Tintora (1.5 km), e da qui vengono convogliate nel Canal Bianco.

In alternativa, l'impianto permette lo scolo di parte delle acque nel Roncagallo (4.8 km) tramite l'apertura di una valvola apposita.

Si citano, infine, i bacini di scolo Burana Est, Burana Ovest e Vigarano Pieve, che scaricano direttamente nel Burana.

Nelle Tabella 5-5, Tabella 5-6 e Tabella 5-7 si riporta in maniera riassuntiva rispettivamente le caratteristiche dei bacini di scolo, degli impianti idrovori e delle botti sopra menzionati.

<i>I Bacini Di Scolo</i>	<i>Collettore Principale</i>	<i>Punto Di Scolo</i>	<i>Tipo Di Scolo</i>	<i>Area (ha)</i>
Cittadino (1+2)	Canale Cittadino	Idrovora Cittadino e Botte sotto Boicelli	Meccanico e naturale	2449
Valletta	Collettore Valletta	Idrovoro Valletta	Meccanico	226
Nicolino	Canale Nicolino	Botte sotto il Boicelli	Naturale	1664
Betto	Canal Bianco	Idrovoro Betto e Botte sotto Boicelli	Meccanico e naturale	4439
Burana est	Area afferente direttamente al Burana	Burana	Naturale	118
Vigarano Pieve	Area afferente direttamente al Burana	Burana	Naturale	413
Burana ovest	Area afferente direttamente al Burana	Burana	Naturale	193

Tabella 5-5. I bacini di scolo della Diamantina

<i>Impianti idrovori</i>	<i>Caratteristiche</i>	<i>Tipo</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
Valletta	Portata 0.62 m ³ /s	Scolo	697115	976700
Capodargine	Portata 1 m ³ /s	Irriguo	692057	977738
Betto	Portata 7.5 m ³ /s	Scolo	705420	972014
Cittadino	Portata 6 m ³ /s	Scolo	705225	970124
Schiavona Vecchio	Portata 0.31 m ³ /s	Irriguo	691975	973092

Tabella 5-6. Gli impianti presenti sul territorio della Diamantina

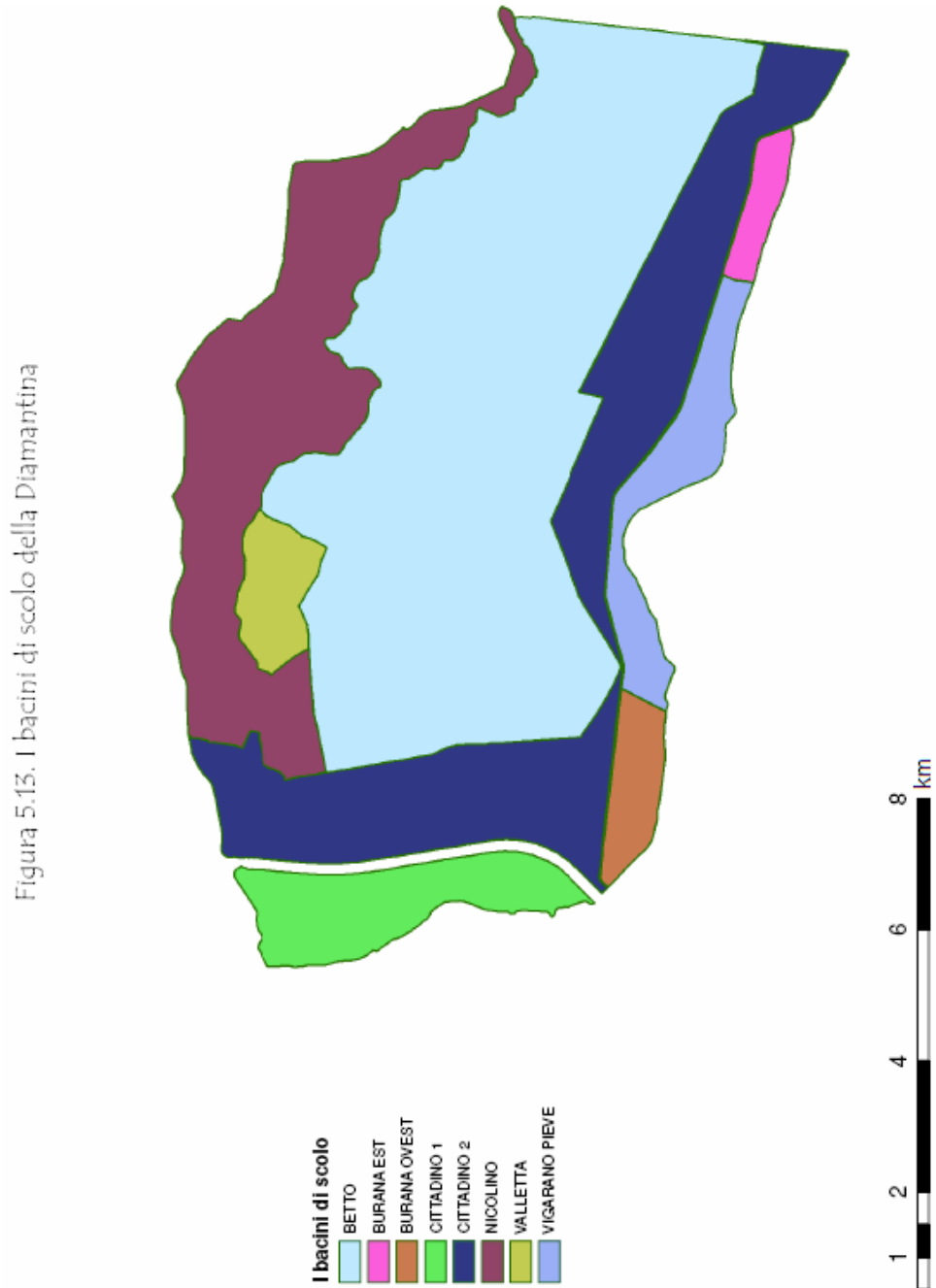
Per ulteriori informazioni sulle pompe installate si veda la tabella degli attributi (“attributes table”) del tematismo “Impianti_idrovori_TV” (Progetto Alto Ferrarese.mxd).

<i>Botti</i>	<i>Caratteristiche</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
Betto	Canal Bianco in botte sotto il Boicelli; $Q \approx 5 \text{ m}^3/\text{s}$	705472	972249
Cittadino 2	Canal Cittadino in botte sotto il Boicelli; $Q \approx 5 \text{ m}^3/\text{s}$	705249	970173
Nicolino	Nicolino in botte sotto il Boicelli; $Q \approx 4 \text{ m}^3/\text{s}$	705677	973744
Cittadino 1	Cittadino in botte sotto il Cavo Napoleonico	692592	977642
S.Ortigale	Scolo Ortigale in botte sotto il Cavo Napoleonico	692858	973770

Tabella 5-7. Le botti presenti sul territorio della Diamantina

Per le lunghezze dei canali principali di scolo si rimanda alle tabelle degli attributi (“attributes table”) del tematismo/layer “Canali Terre Vecchie”.

Figura 5-13. I bacini di scolo della Diamantina



5.5 Il Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro

5.5.1 I confini geografici della zona di Bassa Pianura gestita dal Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro

La porzione del comprensorio di bonifica di Burana-Leo-Scoltenna-Panaro di interesse nel presente studio coincide con una delle quattro macro aree in cui è suddiviso idraulicamente il vasto territorio di tale consorzio. In particolare, la zona di interesse rientra nell'area di bonifica cosiddetta Bassa Pianura Sinistra Panaro. Essa si distingue dalle altre tre zone (Montagna e Collina, Alta Pianura e Area in destra Panaro) che hanno diverse caratteristiche ambientali (Figura 5-14).

Questa parte di territorio considerato nel presente studio è delimitato:

- a Nord dal fiume Po;
- ad Ovest dal fiume Secchia;
- a Sud dalla strada provinciale Bastiglia – Comporto;
- ad Est dal fiume Panaro.

Essa si estende su un territorio di 72500 ettari, dei quali 45700 ettari in provincia di Modena, 10800 ettari in provincia di Ferrara e 16000 ettari in provincia di Mantova, come riportato in Tabella 5-8.

<i>Comprensorio consortile: regioni e province di interesse</i>				
Regione Emilia - Romagna	Modena		ha	45700
	Ferrara		ha	10800
	Mantova		ha	16000
		Totale complessivo	ha	72500

Tabella 5-8. Estensione della porzione di interesse del Consorzio di Bonifica Burana Leo Scoltenna Panaro sulle diverse province

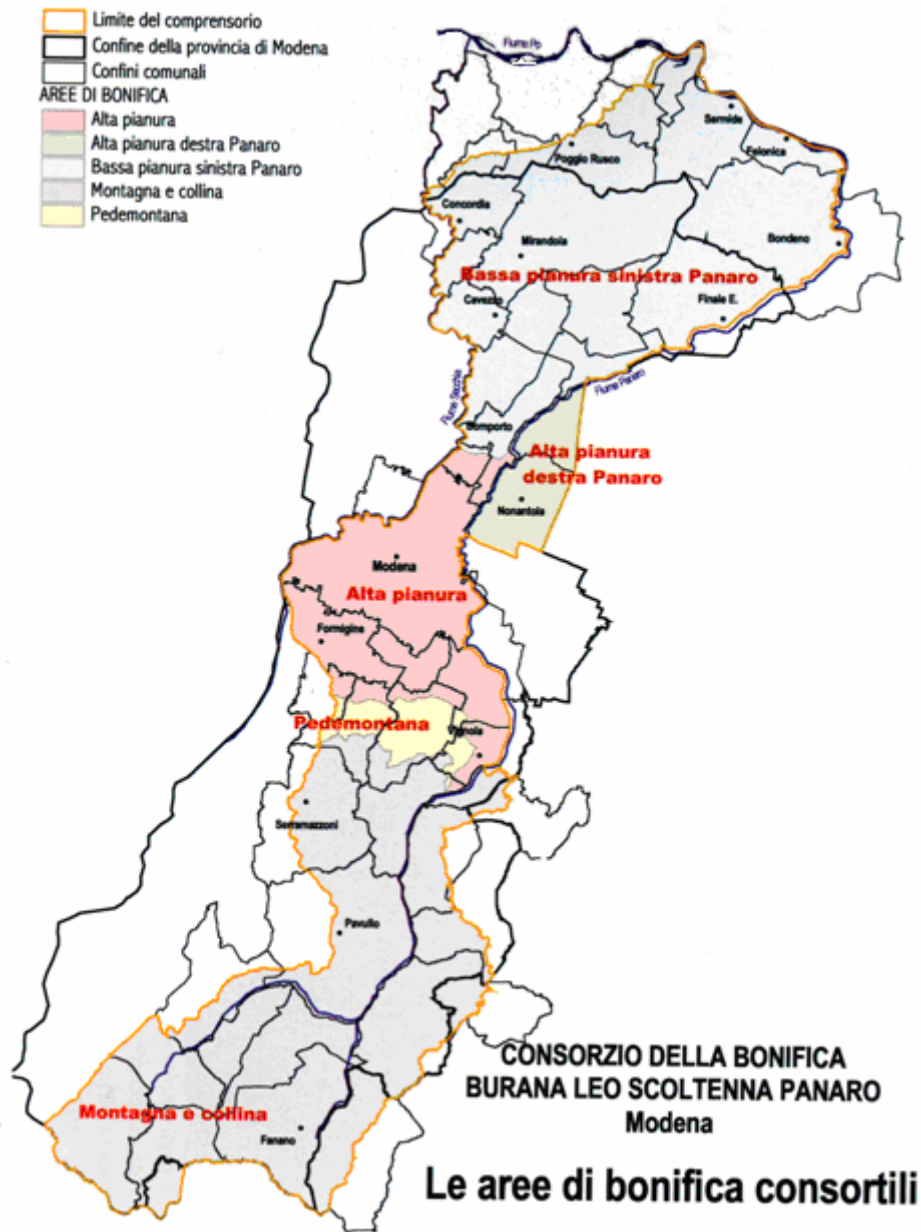


Figura 5-14. Inquadramento dell'area di interesse per il presente studio: la Bassa Pianura Sinistra Panaro

5.5.2 Storia della zona di Bassa Pianura gestita dal Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro

La parte di comprensorio del consorzio di bonifica considerato nel presente studio è quella in cui confluivano le acque di Secchia e Panaro, formando uno stagno chiamato “Bondeno”, attraversato dal canale Burana: questi corsi d’acqua scorrevano per un certo tratto parallelamente al fiume Po, dove si immettevano presso Bondeno.

Nel 1152, a seguito della Rotta di Ficarolo, il Po abbandonava il ramo di Ferrara proseguendo la propria migrazione millenaria verso Nord, invece, il Secchia e Panaro, a causa della diminuzione della forza dragante del Po di Ferrara e del conseguente interrimento dei loro alvei, deviarono il loro corso verso Ovest, lasciando soltanto a Burana il compito di raccogliere e recapitare nel fiume Panaro le acque di territori modenesi, mantovani e ferraresi.

E’ proprio da qui che maturarono i primi studi per l’alleggerimento dell’apporto idrico di Burana, attraverso la costruzione di canali diversivi e nuove chiaviche, per separare le acque "alte", per le quali era possibile lo scolo naturale, da quelle "basse", che avrebbero continuato ad essere raccolte da Burana (D.I.S.T.A.R.T, 2001).

All’epoca estense risale l’istituzione del primo Serraglio Bondesano a cui gli Estensi concessero ampi poteri per la gestione di un territorio, circondato da argini e regolato da scoli e chiaviche interni, che proteggevano i terreni dalle acque esterne, scaricando quando era possibile le acque interne in Burana. Su progetto dell’Aleotti, tra il 1560 ed il 1613, anche le acque dei Serragli di Carbonara e Pilastri furono recapitati direttamente in Po attraverso le antiche chiaviche Pilastresi.

Qualche secolo dopo, durante il periodo napoleonico, precisamente nel 1810, venne approvato il progetto per la costruzione di una botte (Botte Napoleonica) che consentisse alle acque di Burana di sottopassare il fiume Panaro e, attraverso il Po di Volano, di raggiungere il mare Adriatico.

In realtà, la Botte Napoleonica venne inaugurata ed attivata solo nel 1899 mentre si progettavano nuovi canali all’interno del comprensorio ad integrazione del sistema scolante (Figura 5-15).

Successivamente, fu effettuata la divisione del comprensorio in due bacini che facevano capo rispettivamente all’impianto Santa Bianca, progettato per lo scolo meccanico delle acque alte, e al sistema formato dalla Botte Napoleonica e dall’impianto Pilastresi. Quest’ultimo, originariamente concepito per il sollevamento meccanico della parte in esubero delle acque che la Botte Napoleonica non riusciva a far defluire naturalmente, fu in seguito rivisto anche in funzione della

derivazione per provvedere alla provvista idrica della parte orientale della provincia ferrarese. In merito all'approvvigionamento idrico, oltre all'impianto Pilastresi, venne realizzata la derivazione dal fiume Secchia attraverso l'omonima Chiavica a Bomporto, la costruzione dell'impianto sussidiario alla Bozzala in comune di S. Prospero e, ultimo solo in ordine di tempo, la derivazione dal fiume Po attraverso l'impianto Sabbioncello a Quingentole (Mn), ultimato nel 1957, che consente l'irrigazione di terreni modenesi per un totale di 60.000 ettari.



Figura 5-15. La Botte Napoleonica (costruita negli anni 1811-1813): è qui ripresa in occasione della sua entrata in funzione avvenuta il 25 Febbraio 1899

5.5.3 La struttura idraulica del territorio di Bassa Pianura gestito dal Consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro

Il consorzio di bonifica di Burana è suddiviso in due macrobacini: le Acque Basse e le Acque Alte con estensione rispettivamente pari a 54600 ha e 17880 ha (Figura 5-16).

Il bacino delle Acque Basse ha come collettore principale il canale Collettore di Burana che, dalla Fossa Mozza in località Confine di Pilastri, dirigendosi a Sud Est, raggiunge Bondeno; qui il

collettore sottopassa la Botte Napoleonica per proseguire fuori dal comprensorio con il nome di Emissario di Burana.

Oltre la Botte Napoleonica, l'altro impianto di chiusura del bacino delle Acque Basse è l'idrovora Pilastresi. Questo impianto, situato a Stellata di Bondeno sull'omonimo canale che funge da raccordo tra il Canale Collettore di Burana ed il Po, fu in primo momento concepito per le sole necessità di riversare nel Fiume 40 m³/s provenienti dal bacino delle Acque Basse, anche nell'eventualità di una concomitanza tra la massima piena del Po e quella dei canali di bonifica. In seguito il progetto venne rivisto in funzione della derivazione a scopo irriguo ed industriale.

Si ricordano anche le idrovore Cipollette e Moretta che servono per scolare le acque di terreni particolarmente depressi denominati sottobacino Acque Basse in Sinistra ed in Destra del Canale Collettore.

Il sistema di scolo delle Acque Alte si incentra sulla presenza di due impianti principali, quello di Santa Bianca e quello del Dogato. Entrambi entrano in azione solo in occasione di eventi di piena particolarmente gravosi che coinvolgano contemporaneamente sia la rete consortile che il fiume Panaro. La rete delle Acque Alte assicura lo scolo di questo parte di Comprensorio, posta a quote superiori rispetto ai livelli dei canali e dei fiumi riceventi, tramite il Canale Diversivo di Burana (37.6 km), del Diversivo di Cavezzo (17.2 km) e del Cavo Vallicella (15.7 km).

E' importante sottolineare che l'area presenta un'estesa rete di canali minori ad uso promiscuo che scaricano le acque o direttamente nel Diversivo di Burana.

Nelle Tabella 5-9, Tabella 5-10 e Tabella 5-11 si riporta in maniera riassuntiva rispettivamente le caratteristiche dei bacini di scolo, degli impianti idrovori e delle botti sopra menzionati.

Per quanto riguarda le lunghezze dei canali principali di scolo e la visualizzazione delle posizioni delle varie opere si rimanda alle tabelle degli attributi ("attributes table") del tematismo/layer "Canali Burana Leo Scoltenna Panaro".

<i>I Bacini Di Scolo</i>	<i>Collettore Principale</i>	<i>Punto Di Scolo</i>	<i>Tipo Di Scolo</i>	<i>Area (ha)</i>
Bacino Acque Basse	Canale Collettore di Burana	Botte Napoleonica	Naturale e meccanico	49777
Sottobacino Acque Basse in dx	Allacciante di Felonica	Canale delle Pilastresi	Meccanico	245
Sottobacino Acque Basse in sx.	Cavo Riminalda	Cavo Cavalletta	Meccanico	6466
Bacino Acque Alte	Canale Diversivo di Burana	Fiume Panaro	Naturale e meccanico	17433
Sottobacino del Dogaro	Cavo Dogaro	Cavo Vallicella	Meccanico	1837

Tabella 5-9. I bacini di scolo del Burana

<i>Impianti idrovori</i>	<i>Caratteristiche</i>	<i>Tipo</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
S. Bianca	Portata 24 m ³ /s	Scolo	688931	971335
Dogaro	/	Scolo	673574	965456
Moretta	/	Scolo	686402	974191
Ubertosa	/	Irriguo	657245	978385
Concordia Sud	8 pompe di cui 6 da 228 Kw, 1 da 110 Kw, 1 da 55 Kw	Pluvirriguo	659712	971345
Camurana	/	Irriguo	663608	970796
Montalbano	/	Irriguo	662360	968493
Castello	/	Pluvirriguo	674016	968279
Bottegone Del Bosco	/	Pluvirriguo	666996	961655
Bosco Della Saliceta	/	Pluvirriguo	666537	964557
Bozzala Vecchio	/	Derivazione Irrigua	658572	963332
Picozza	/	Derivazione Irrigua	665647	959200
Dragonzo	/	Scolo	679071	980916
Moscardina	/	Irriguo	659459	961081
Gesso	/	Irriguo	659711	962582
Barbieri	/	Irriguo	659621	959732
Badia	/	Irriguo	659199	959657
Rovere	/	Irriguo	658564	959055
San Lorenzo	/	Irriguo	658361	958428

CAPITOLO 5

Zoccolo	/	Irriguo	658561	957529
Redena	/	Irriguo	679783	976941
Chiavica Regina	/	Irriguo	676460	975065
Ponte Salto	/	Irriguo	670809	968969
Corradi	/	Irriguo	658957	966376
Bozzala Nuovo	/	Pluvirriguo	659085	962026
Chiavica Secchia	/	Derivazione Irrigua	658040	956407
Botte Napoleonica	Portata 40 m ³ /s	Scolo	690744	972986
Pilastresi	4 gruppi di sollevamento, ciascuno costituito da pompe centrifughe ad asse orizzontale; possono essere azionate da un motore diesel da 2000 HP o da un motore elettrico da 640 HP	Misto	690508	978878
Cipollette	Potenza 110 kW; Portata 13.2 m ³ /s	Scolo	687735	976667

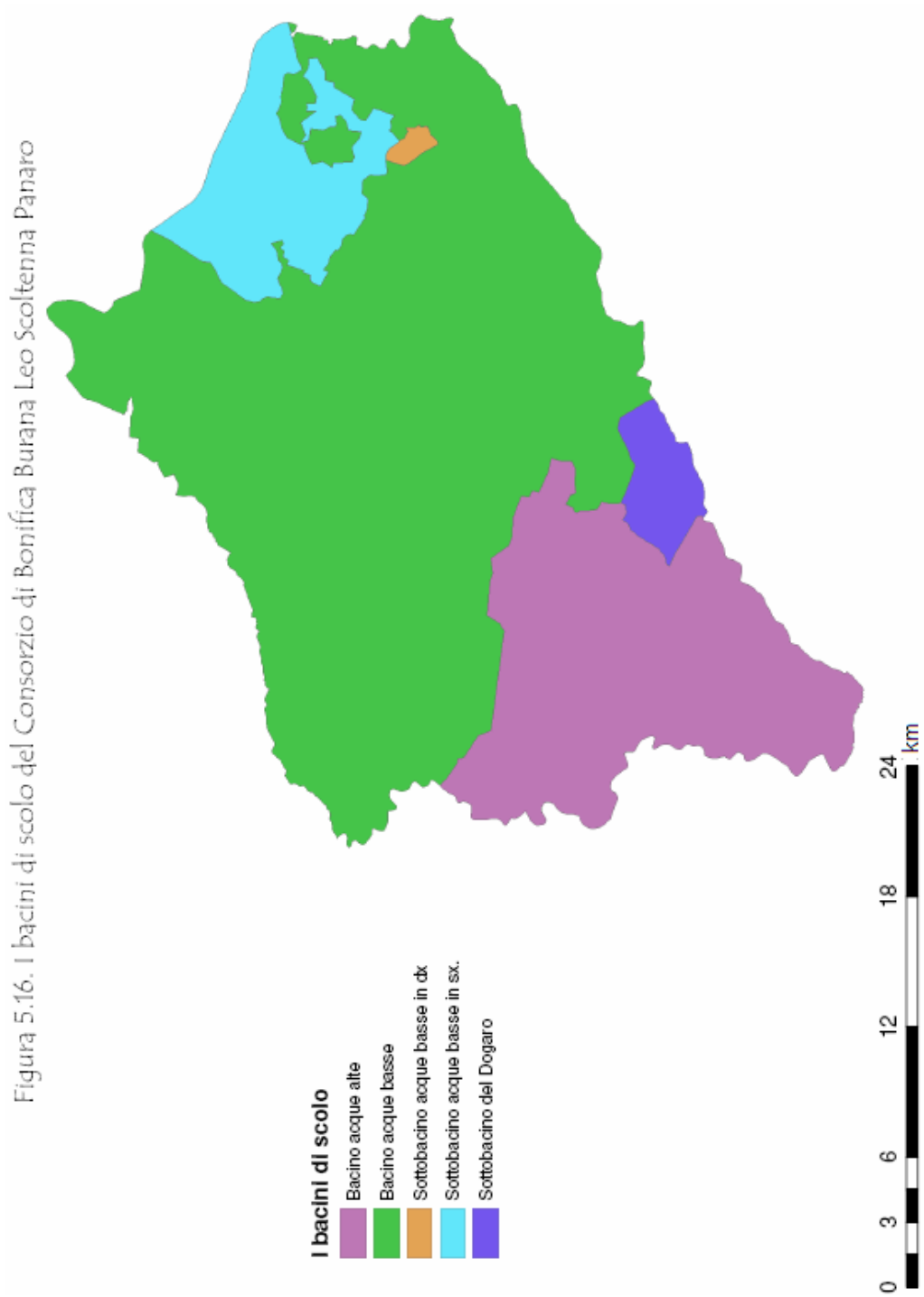
Tabella 5-10. Gli impianti idrovori presenti sul territorio del Burana

<i>Botti</i>	<i>Caratteristiche</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
Botte Napoleonica	Collettore di Burana sotto il Panaro: successivamente cambia nome in Canale Emissario di Burana; Q= 40 m ³ /s	690698	972972
Botte Bonoris	Allacciante di Felonica sottopassa il Canale di Fossalta	684359	981011
Fusegno1	Nuovo Fusegno sotto Cavo Fossa Lata	687107	977516
Fusegno2	Nuovo Fusegno sotto Cavo Terre Vecchie	689040	979551
Pietro	Cavo Pietro sotto Cavo Cavalletta	685153	973485
Canalazzo1	Cavo Canalazzo sotto Canale Bagnoli	679230	972551
Sermide	Canale di Sermide sotto il Canale di Fossalta	678804	981322
Reggiana	Fossa Reggiana sotto Canale Gavello	678186	977793
Facchina	Facchina sotto Diversivo di Fossalta	690063	979816
Pietro	Diversivo di Cavezzo sotto il Fossa Viazza	659496	961152
Villafranca	Fossetta di Villafranca sotto il Diversivo di Cavezzo	661868	967547
Canalino	Cavo Canalino sotto il Diversivo di Cavezzo	662310	968400
Lungo	Fosso Lungo sotto il Canale Diversivo di Burana	672352	968375
Canalazzo2	Cavo Canalazzo sotto il Diversivo di Burana	675447	968194
Beniamina	Fossa Beniamina sotto il Cavo Vallicella	676820	967668
Molinari	Fosso Molinari sotto il Canale Diramatore	671182	971529
Cavallini	Fosso Cavallini sotto il Canale Diramatore	670381	971683
Benatti-Gardioli	Allacciante Benatti - Gardioli sotto il Canale Diramatore	668817	972297

Morena	Fossa Morena - Gardioli sotto il Canale Diramatore	668666	972345
Capra	Fosso Capra sotto il Canale Gavello	666598	974000
Sotto	Cavo di Sotto sotto il Canale Gavello	667007	974590
Bagiullo1	Dugale Bagiullo sotto il Canale Gavello	667140	975484
Bagiullo2	Dugale Bagiullo sotto il Canale Gavello	665535	974384
Bruino	Dugale Bruino sotto il Canale Gavello	664518	974384
Zalotta	Dugale Zalotta sotto il Canale Gavello	661547	975946
Bernardi	Fossa Bernardi sotto il Canale Sabbioncello	658318	973570
Cavana	Fossa Cavana sotto il Canale Sabbioncello	657362	975252
Primo2	Fossa Cavana sotto il Canale Sabbioncello	657317	976943
Primo1	Dugale Primo sotto il Canale Concordia	656997	976348
Ubertosa	Dugale Ubertosa sotto il Canale Concordia	655163	977055
Rame1	Dugale Rame sotto il Canale Concordia	654520	977669
Boscarole	Fosso Boscarole sotto il Canale Concordia	654667	978524
Bergamasco	Dugale Bergamasco sotto il Canale Sabbiancello	657058	978884
Rame2	Dugale Rame sotto il Canale Sabbiancello	656835	979499

Tabella 5-11. Le botti presenti sul territorio del Burana

Figura 5-16. I bacini di scolo della porzione di interesse del consorzio di Bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro



5.6 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap

Nella tabella seguente si elencano i tematismi realizzati per descrivere il sistema della bonifica dell'Alto Ferrarese. Questi rientrano nel primo blocco logico definito "Inquadramento Territoriale". In particolare nella tabella seguente si riporta il titolo del tematismo/layer riportato nel progetto, il nome originale dello shape file corrispondente ed una breve descrizione.

<i>Inquadramento territoriale</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
VALLI VECCHIO RENO	Bacini_VVR.shp	Copertura che rappresenta i singoli bacini di scolo del consorzio di bonifica Valli Vecchio Reno
TERRE VECCHIE (DIAMANTINA)	Bacini_TV.shp	Copertura che rappresenta i singoli bacini di scolo del territorio della Diamantina
BURANA LEO SCOLTENNA PANARO	Bacini_BLSP.shp	Copertura che rappresenta i singoli bacini di scolo del consorzio di bonifica Burana-Leo-Scoltenna-Panaro
Canali Valli vecchio Reno	Canali_VVR.shp	Reticolo di polilinee (polyline) rappresentative dei canali presenti sul territorio di Valli Vecchio Reno
Canali Terre Vecchie (Diamantina)	Canali_TV.shp	Reticolo di polilinee (polyline) rappresentative dei canali presenti sul territorio della Diamantina
Canali Burana Leo Scoltenna Panaro	Canali_BLSP.shp	Reticolo di polilinee (polyline) rappresentative dei canali presenti sul territorio del Burana-Leo-Scoltenna-Panaro
Impianti_idrovori_VVR	Impianti_VVR.shp	Shape file di punti che localizzano gli impianti sul territorio di Valli Vecchio Reno
Impianti_idrovori_TV	Impianti_TV.shp	Shape file di punti che localizzano gli impianti sul territorio della Diamantina
Impianti_idrovori_BLSP	Impianti_BLSP.shp	Shape file di punti che localizzano gli impianti sul territorio del Burana-Leo-Scoltenna-Panaro
Botti	Botti.shp	Shape file di punti che localizzano le Botti su tutti e tre i consorzi di bonifica

Tabella 5-12. I tematismi /layers per il sistema della bonifica

Accendendo i tematismi VALLI VECCHIO RENO, TERRE VECCHIE (DIAMANTINA) e BURANA LEO SCOLTENNA PANARO è possibile visualizzare i comprensori di loro competenza, ognuno contraddistinto da un colore e con evidenti i limiti dei bacini di scolo.

Le informazioni relative ai suddetti consorzi sono sintetizzate nella tabella degli attributi (vedi APPENDICE A per il manuale di utilizzo del progetto in ArcMap) dove si riporta: il nome del bacino, il punto di scolo, l'alternativa di scolo, le aree (m²) ed i valore dei CN (Curve Number) medi pesati, determinati come illustrato nel capitolo 8.

I canali dei bacini di scolo e gli impianti idrovori sono distinti rispettivamente in tre tematismi/layers, uno per ognuno dei tre consorzi di bonifica considerati nel presente studio. Per quanto riguarda i canali, nella tabella degli attributi vengono forniti: il prenome (canale/scolo/derivatore), il nome, uso (promiscuo/irriguo/scolo), la lunghezza (m) e alcune note; mentre gli impianti idrovori sono descritti fornendo in generale: il nome, la tipologia (scolo/irriguo), la prevalenza (m), la potenza (kw), la portata sollevata (m³/s) e le coordinate X ed Y UTM (m).

Questi ultimi sono rappresentati nella finestra mappa con un pallino rosso nella posizione correttamente georeferenziata.

Infine, se si considera il tematismo “botti” è possibile visualizzare tutte queste opere presenti e, analogamente agli impianti idrovori, sono fornite le coordinate X e Y UTM, il comprensorio di appartenenza (TV= Terre Vecchie (Diamantina)/ VVR= Valli Vecchio Reno/ BLSP= Burana Leo Scoltenna Panaro) ed alcune note.

6 I TRATTI DEI FIUMI PRINCIPALI CHE ATTRAVERSANO IL TERRITORIO IN ESAME

6.1 Introduzione

Sul territorio dell'Alto Ferrarese vi sono fiumi e canali di grande importanza soprattutto per quel che riguarda la loro interazione con il territorio.

Il Reno delimita il tratto del basso bacino, assumendo una rilevanza particolare sui sei comuni di interesse. Nel seguito sono descritti gli aspetti caratteristici, tra cui il regime idraulico, le piene significative e le zone limitrofe a rischio esondazione.

Vi è poi il Cavo Napoleonico, definito anche Attenuatore delle piene del Reno per la funzione primaria per cui è stato concepito.

In riferimento al Cavo Napoleonico, è necessario parlare anche del CER (Canale Emiliano Romagnolo), oggi in grado di risolvere i problemi di approvvigionamento idrico delle province orientali della regione Emilia Romagna (Ravenna, Forlì-Cesena e Rimini).

Infine, un altro corso d'acqua da tenere in considerazione è il Canale di Cento, per la sua importanza storica nell'evoluzione economica del Comune di Cento e come canale di scolo del Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno.

6.2 Il fiume Reno

6.2.1 Inquadramento geografico ed idrologico

Il Reno nasce tra i colli Castello e Piagette, nell'Appennino settentrionale della provincia di Pistoia, ad una altitudine di 1010 metri sul l.m.m., col nome di Reno di Prudette; ha un percorso di 210 km ed un bacino imbrifero che varia da Casalecchio (dove cioè termina la parte collinare) al Passo del Gallo, a Bastia, fino alla foce, in corrispondenza dei vari tributari, i più importanti dei quali sono l'Idice, il Sillaro, il Santerno e il Senio. Quasi tutto il bacino appartiene alla provincia di Bologna, le sorgenti a quella di Pistoia, mentre gli affluenti toccano anche quelle di Firenze e di Ravenna (Figura 6-1).

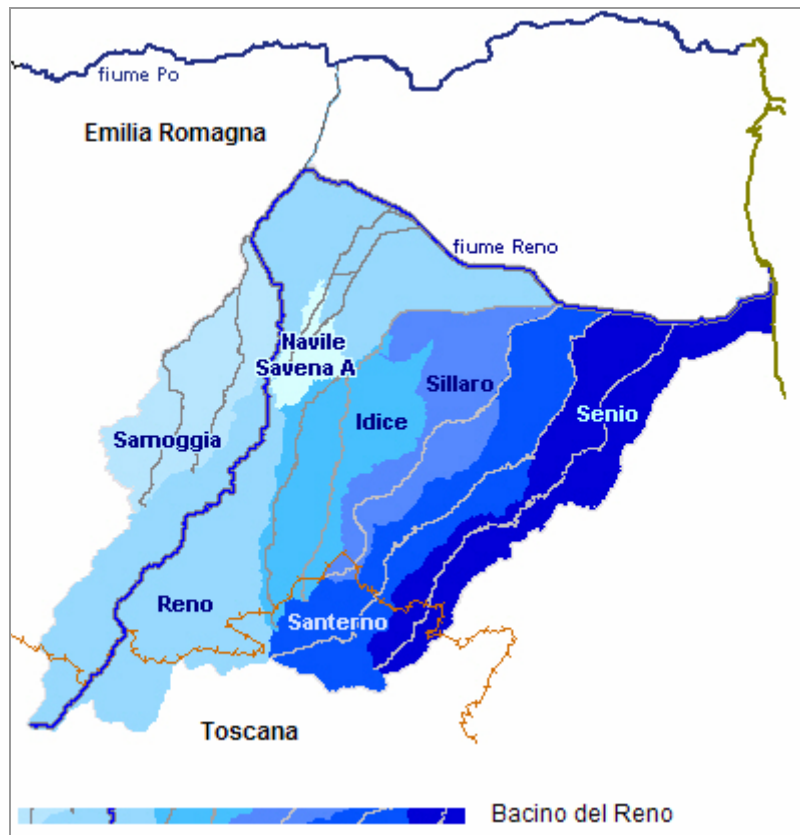


Figura 6-1. Il Bacino del fiume Reno

(Fonte: Autorità di Bacino del Reno, *Piano Stralcio Assetto Idrogeologico*, dicembre 2002)

Il suo bacino ha un'area totale di 5040 km² e si suddivide in montano e vallivo. Il bacino montano, a monte della Chiusa di Casalecchio, corrisponde a quella porzione di territorio in cui le acque di pioggia scorrono sui versanti e si raccolgono in rii e fossi fino a formare i deflussi dei corsi d'acqua più importanti, mentre, il bacino vallivo si estende dalla chiusa di Casalecchio fino alla Foce e corrisponde al territorio rimanente.

Dal punto di vista idrologico, il bacino del Reno, nel suo complesso, ha un massimo di piovosità di 200 mm giornalieri ed essendo il bacino impermeabile, la portata massima è piuttosto alta (il valore maggiore è stato riscontrato nel 1893 a Casalecchio, con 2300 m³/s) e si riscontra più nella parte alta che in quella di pianura. In quest'ultima, la portata più alta fu riscontrata nel 1940 (il 18 ottobre) con 900 m³/s; questo perché il fiume ha ampi invasi che neutralizzano la quantità d'acqua condotta dagli immissari (Orienti, 1979).

Sempre dal punto di vista fisico è da sottolineare che i caratteri salienti del Reno riguardano:

- la notevole entità del trasporto solido, peraltro stabilizzata da parecchi anni a questa parte;

- il rialzo delle golene, che è stato preoccupante all'inizio del secolo e solo in parte è stato temperato dall'innalzamento degli argini;
- la relativa esilità degli argini stessi.

La quantità del trasporto solido può essere spiegata anche con la composizione dei terreni delle regioni attraversate dal Reno: geologicamente si può distinguere una zona alta del bacino, nella quale prevalgono marne e arenarie dell'eocene¹, ma non mancano anche argille scagliose e argillose del cretaceo; una parte collinare in cui troviamo marne grigiastre, arenarie e calcari, con presenza di argille, ma vi compaiono pure lenti gessose e calcarifere. Si tratta di terreni in genere ad alta erodibilità (Toschi U.,1961).

6.2.2 Le caratteristiche fisiche del tratto vallivo del fiume Reno

Il tratto di fiume di interesse rientra nel corso di *pianura del Reno*, che si estende dalla sez.² 0A a Casalecchio sino alla 236S presso la foce. In particolare il tratto di interesse per l'alto Ferrarese è compreso tra la sez. **44b** in località Predio Trombetta e la sez. **107S** in località Passo Segni (Tabella 6-1), interessando i comuni di Cento, Sant'Agostino e Poggio Renatico (Figura 6-2).

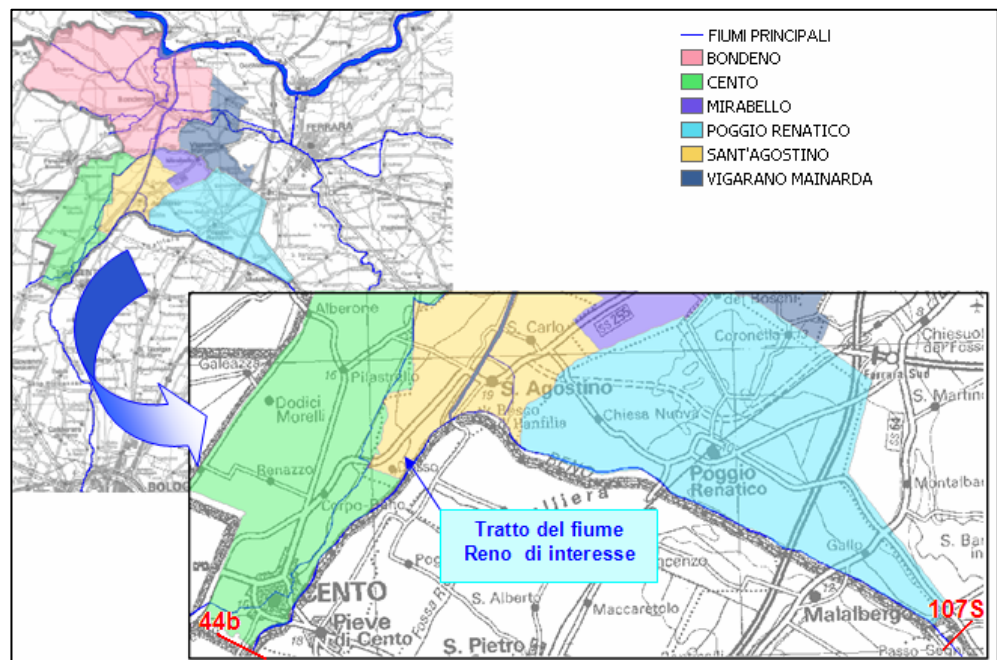


Figura 6-2. Tratto di interesse del fiume Reno

¹ Epoca del periodo Paleogene che va dai 55 ai 34 milioni di anni fa circa

² La sezioni citate sono relative ai rilievi effettuati dal 1993 al 2002 per la redazione del PSAI (Piano Stralcio Assetto Idrologico) a cura dell'Autorità di Bacino del Reno. Rischio idraulico e assetto della rete idrografica, 2002.

In generale, il tratto vallivo del fiume Reno presenta caratteristiche variabili, dipendenti dalle passate vicende idrauliche, che hanno determinato l'attuale situazione di fatto.

Esso si suddivide in un'asta con opere idrauliche di 3° categoria (Casalecchio-Ponte della via Emilia) di 5.5 km e ed un'asta con opere idrauliche di 2° categoria che si sviluppa per circa 124 km dal ponte delle FF.SS. della linea Milano Bologna allo sfocio in mare.

In riferimento a quest'ultima asta, il Reno presenta un primo tratto con andamento marcatamente tortuoso e grandi estensioni golenali (100-150 m) che in fase di piena si comportano da veri e propri bacini di trattenuta, attenuando verso valle i valori della portata.

Più a valle, dopo la lunga strettoia compresa fra il Ponte di Bagno e Cento, si giunge alla vasta golena della Panfilia, subito a monte della quale si innesta a sinistra, lo scolmatore di Reno.

Si ha poi un tratto con alveo particolarmente stretto (85 km), che ripercorre il tracciato del cosiddetto "Cavo Benedettino", dove si ha carenza di sagoma arginale e di sezione dell'alveo. Infatti, come sarà dimostrato nel paragrafo successivo, esso risulta del tutto inadeguato a sopportare in condizioni di sicurezza il deflusso delle massime portate del Reno, anche nell'ipotesi dello scolmo della piena del Cavo Napoleonico (Paragrafo 6.2.3).

Infine, si ricorda che il dislivello fra le sommità arginali ed i piani di campagna latitanti arrivano a punte massime di circa 13 m.

6.2.3 Il regime idraulico del tratto di interesse e le aree a rischio idraulico

In Tabella 6-1 si riportano i risultati ottenuti negli studi idraulici³ realizzati per il PSAI (Piano Stralcio Assetto Idrologico) del bacino del Reno. In particolare, per il tratto oggetto di studio (dalla sez. 44b alla 107S) si forniscono:

³ "Studio idraulico del fiume Reno dalla Chiusa di Casalecchio a ponte del Gallo e dei torrenti Samoggia da Bazzano a sfocio Reno e Lavino da Ponte Rivabella a sfocio Samoggia. Verifica delle condizioni di deflusso in piena e proposte di intervento". Università degli Studi di Bologna, Facoltà di Ingegneria, DISTART per l'Autorità di bacino del Reno, Febbraio 1997;

"Studio idraulico del fiume Reno a valle del ponte del Gallo". Ing. G. Menna per l'Autorità di bacino del Reno, Giugno 1999.

- i livelli (L_{max25} e L_{max100}) e portate (Q_{max25} e Q_{max100}), relativi alle piene ad alta ($T_R = 25$ anni) e moderata ($T_R = 100$ anni) probabilità di inondazione; in particolare, per il tratto da Longara a Dosso sono inserite le quote arginali derivanti dall'esecuzione dei lavori di risagomatura arginale realizzati nel 2002 (quote fra parentesi).
- la morfologia delle sezioni (quota argine sinistro e destro, quota fondo).
- i profili idraulici nelle Tavole dalla 6-1 alla 6-5.

E' importante precisare che questi studi idraulici si basano sull'ipotesi di un funzionamento a pieno regime del Cavo Napoleonico ($Q_{max} = 500 \text{ m}^3/\text{s}$, si veda paragrafo 6.3.2). Inoltre, il PSAI specifica che i livelli idrici indicati in Tabella 6-1 sono il risultato dell'involuppo massimo delle simulazioni idrauliche in relazione ai tempi di ritorno prima indicati.

A questo punto è necessario sintetizzare i risultati esposti nel PSAI per il tratto in esame.

Questo si può suddividere in tre sottotratti (Figura 6-3).

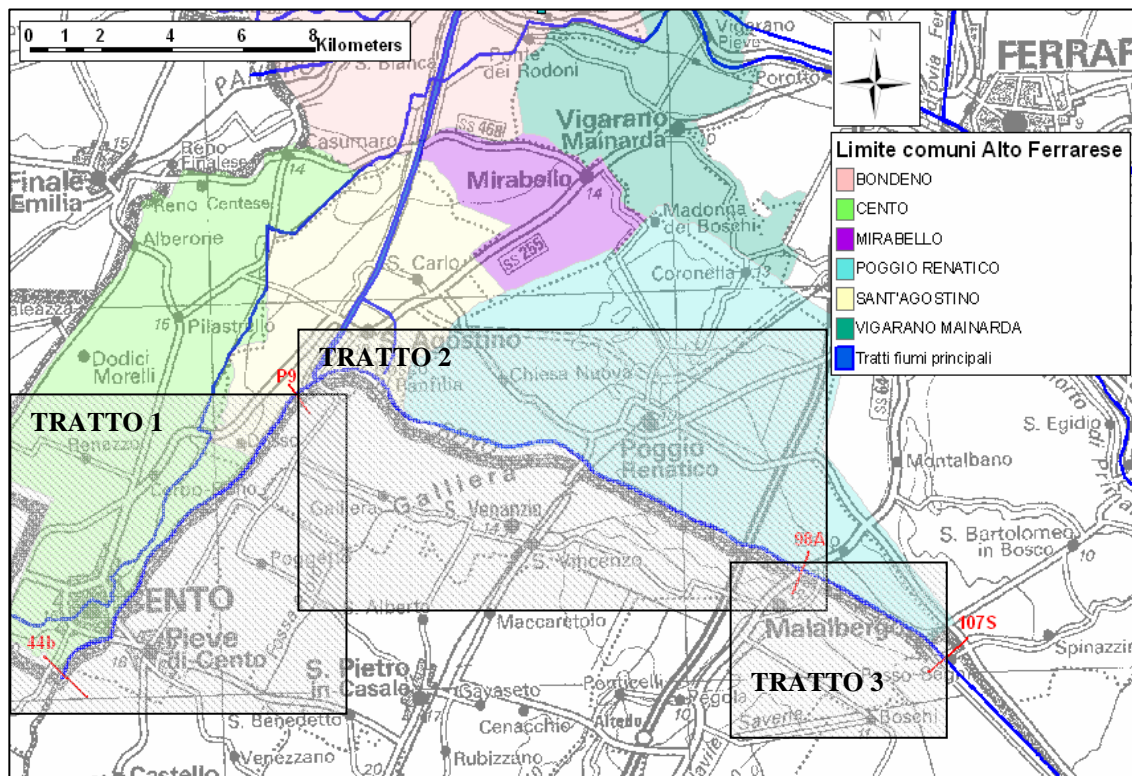


Figura 6-3. I tre sottotratti di interesse

TRATTO 1: dalla sezione 44b alla sezione P9

Dall'analisi dei valori in Tabella 6.1 e dai profili idraulici, è evidente che, nel tratto dalla sezione 44b sino all'opera di presa dello scolmatore in Po, gli interventi di rialzo arginale del 2002 garantiscono il transito della piena con tempo di ritorno di 25 anni, mentre il tratto è critico per quanto riguarda le piene con tempo di ritorno 100 anni. In particolare, secondo il PSAI, la portata passa da $1067 \text{ m}^3/\text{s}$ per $T_R=25$ anni (1504 per $T_R=100$ anni) a $999 \text{ m}^3/\text{s}$ per $T_R=25$ anni ($1366 \text{ m}^3/\text{s}$ per $T_R=100$ anni) in corrispondenza rispettivamente della sezione 44b e P9.

Nella Tabella 6-2 si nota chiaramente che nel tratto 1, per la piena con $T_R=100$ anni si ha un battente medio sopra l'argine⁴ di $0,45 \text{ m s.l.m.m.}$, mentre la piena venticinquennale si mantiene mediamente al di sotto degli argini di 1.13 m s.l.m.m.

TRATTO 2: dalla sezione P10A alla sezione 98A

Dalla sezione P9 al Ponte del Gallo, la portata di piena relativa a $T_R=25$ anni passa da 997 a $408 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre per $T_R=100$ anni si hanno rispettivamente 1366 e $672 \text{ m}^3/\text{s}$.

In tutto questo tratto, sia osservando i profili idraulici longitudinali che i valori dei livelli massimi, si nota che con la piena monosecolare si ha il sormonto degli argini con un battente medio di $0,52 \text{ m}$ (Tabella 6-2).

Per quanto riguarda la piena venticinquennale si calcola un battente medio sotto l'argine di $1,78 \text{ m s.l.m.m.}$. Pertanto, in base a questi dati non sembrerebbero esserci problemi per piene con $T_R=25$ anni. In realtà, il PSAI mette in evidenza due importanti aspetti da tenere in considerazione:

- a) *l'efficienza idraulica del tratto 2;*
- b) *la potenzialità effettiva del Cavo Napoleonico;*

In particolare, secondo il PSAI, il tratto 2 ha una *efficienza idraulica* molto ridotta, valutata attorno a $500 \text{ m}^3/\text{s}$. Quindi, l'unico presidio a *salvaguardia del tratto* è il *Cavo Napoleonico*. Infatti, l'evento con tempo di ritorno di 25 anni all'opera Reno P10A ha un picco pari a $997 \text{ m}^3/\text{s}$ e la riduzione a $500 \text{ m}^3/\text{s}$ è totalmente a carico del Cavo.

⁴ I battenti medi sopra/sotto argine sono stati calcolati come media dei valori ottenuti facendo la differenza in ogni sezione tra il valore massimo delle sommità arginali e la quota della piena per $T_R=25$ anni e 100 anni.

Il PSAI sottolinea che le conoscenze attuali non assicurano una tale efficienza dello Scolmatore delle piene del Reno, sostanzialmente per tre fattori:

- la quota ed i volumi di invaso sono limitati per la permeabilità dovuta a terreni sabbiosi sotto il canale nel tratto terminale da Bondeno a Po;
- l'interazione con la falda, a quota più alta del canale;
- il deposito avvenuto all'inizio del suo funzionamento per il frequente invaso di piene anche di piccole entità.

Alla luce di queste considerazioni, il PSAI ha identificato le sezioni dalla P18 alla 98B, secondo la procedura riassunta in APPENDICE C, come area a *rischio idraulico molto elevato*⁵. Questa zona è evidenziata nelle tavole 6-6 e 6-7, tratte dagli elaborati grafici B.3 e B.4 "Aree passibili di inondazione e sezioni trasversali di riferimento" del PSAI.

Esse mettono in evidenza che la parte suddetta del tratto 2 è caratterizzato dalla presenza di aree ad alta probabilità di inondazione relativamente a piene con tempo di ritorno di 25 anni, e si evidenziano anche i tratti passibili di sormonto arginale per piene con $T_R=100$ anni.

Le esondazioni lungo quest'asta, oltre all'impatto devastante sulla fascia ad alta probabilità di inondazione, secondo il PSAI, possono provocare l'allagamento di vaste aree di territorio dei comuni di S. Agostino, Galliera, Poggio Renatico e Ferrara, *ma per valutarne l'estensione è necessario procedere a studi specifici*.

Inoltre, il PSAI ha messo in evidenza che la maggior parte dei ponti nel tratto 2 possono presentare condizioni di crisi, in particolare:

- il Ponte S.P. Galliera (sez. 83Am-83Bv) potrebbe presentare un comportamento in pressione per piene venticinquennali, gravi problemi alla struttura e condizioni di sormonto si possono avere per piene centennali;

⁵ Rischio idraulico molto elevato: il danno atteso è sempre grave in riferimento ad aree inondabili per eventi con $T_R < 30$ anni.

- Il Ponte FS Bologna-Padova (sez. 83Bm-83Bv), subito a valle, è in condizioni di sicurezza per piene venticinquennali, mentre è passibile di sormonti per piene centennali;
- Il Ponte del Gallo (sez. 98Am-98Av) per piene centennali può essere soggetto a sormonti;
- Il Ponte della S.S. Ferrarese (Poretana, sez. 98Bm-98Bv) può avere problemi per la piena centennale.

TRATTO 3: dalla sezione 98Bm alla sezione 107S

Quest'ultimo tratto è quello che presenta meno problemi rispetto ai precedenti. Per quanto riguarda la piena venticinquennale il battente medio sotto l'argine è pari a 2,55 m s.l.m.m. (Tabella 6-2), invece le piene monosecolari si mantengono ad un livello di guardia.

CAPITOLO 6

CODICE	SEZIONI			PORTATE E LIVELLI				MORFOLOGIA DELLA SEZIONE		
	Distanza Progr. [m]	Localizzazione	Descrizione	Lmax25 [m s.l.m.]	Qmax25 [m³/s]	Lmax100 [m s.l.m.]	Qmax100 [m³/s]	Quota sommità argine sx [m s.l.m.]	Quota del fondo [m s.l.m.]	Quota sommità argine dx [m s.l.m.]
44b	114400			26.6	1067	28.1	1504	27.7	13.2	27.6
44c	114763			26.4	1065	27.9	1503	27.6	13.1	27.6
46	115022			26.3	1064	27.8	1500	27.4	12.1	27.4
47	115542			26.2	1060	27.7	1496	27.1	12.5	27.2
48	115992	Centò		26.1	1056	27.6	1490	26.9	12.2	27.0
48a m	116292	Ponte S.P. Centese	m. ponte	26.0	1055	27.5	1488	26.9	11.0	26.9
48a v	116302	Ponte S.P. Centese	v. ponte	26.0	1055	27.5	1488	26.9	11.0	26.9
49	116402	Centò		26.0	1053	27.5	1485	26.8	11.2	26.9
49A m	116967	Centò	m. ponte	25.7	1051	27.2	1483	26.8	12.3	26.8
49A v	116977	Centò	v. ponte	25.7	1051	27.1	1483	26.8	12.3	26.8
50	117062	Centò		25.7	1049	27.1	1480	26.7	10.8	26.7
51	117577	Centò		25.6	1043	27.1	1470	26.6	11.0	26.6
52	117997	Centò		25.5	1037	27.0	1461	26.5	11.2	26.5
53	118497	Centò		25.5	1033	26.9	1453	26.4	10.1	26.4
54	119127			25.4	1028	26.9	1444	26.3	11.5	26.3
55	119597			25.3	1025	26.8	1439	25.5 (26.2)	11.8	26.2
56	120087			25.1	1024	26.7	1434	25.2 (26.0)	10.5	26.1
57	120617			25.0	1021	26.5	1429	25.3 (25.9)	10.2	25.2 (26.0)
58	121127			24.8	1019	26.4	1423	25.3 (25.7)	9.8	25.5 (25.8)
59	121622			24.7	1016	26.3	1416	24.5 (25.6)	9.8	25.3 (25.7)
60	122112			24.6	1013	26.2	1408	24.5 (25.4)	10.0	24.9 (25.6)
61	122592			24.4	1011	26.1	1403	24.4 (25.3)	11.2	24.7 (25.5)
62	123072	Dosso		24.3	1009	25.9	1397	25.2 (25.2)	11.0	24.4 (25.4)
P1Am	123604	Dosso	m. ponte	24.1	1008	25.8	1394	26.3	11.4	25.9
P1Av	123614	Dosso	v. ponte	24.1	1008	25.8	1393	26.3	11.4	25.9
63	123679	Dosso		24.0	1007	25.7	1390	25.0	11.4	24.7(25.29)
P4	124229	Dosso		23.8	1004	25.5	1382	24.8	11.2	25.2
P6	124667			23.5	1001	25.4	1374	24.8	10.6	24.9
P9	125197			23.1	999	25.1	1366	24.6	10.0	24.4
P10A	125592	Cavo Napoleonico		22.6	997	24.8	1362	24.4	12.5	24.6
P11 m	125775	Opera Reno	m. sbarramento	22.4	507	24.6	865	24.7	12.7	24.7
P11 v	125785	Opera Reno	v. sbarramento	22.3	506	24.5	864	24.7	12.7	24.7
P12	125905	Bosco Panfilia		22.3	505	24.5	861	24.8	10.7	24.2
P13	126200	Bosco Panfilia		22.3	496	24.5	841	23.3	9.2	23.3
P15	126631	Bosco Panfilia		22.3	483	24.5	813	23.7	10.3	23.7
P17	127070	Bosco Panfilia		22.3	470	24.4	789	23.4	8.4	23.8
P18	127610	Bisana		22.2	466	24.4	780	23.0	13.0	23.8
P20	128031	Bisana		22.1	463	24.3	773	23.3	9.4	23.7
P22	128606			22.0	458	24.2	766	23.2	9.3	23.3
P24	129311	Il Morellazzo		21.8	455	24.1	759	23.1	9.0	23.1
P26	129937	Il Morellazzo		21.7	453	23.9	754	23.0	9.6	22.9
76	130322			21.6	450	23.9	750	22.9	8.1	22.6
77	130840			21.5	448	23.7	745	22.8	8.5	22.6
78	131335			21.3	445	23.6	738	22.7	8.3	22.7
80	132299	Casette del Reno		21.0	440	23.3	729	22.4	8.3	22.5
82	133326	San Prospero		20.8	436	23.1	721	22.3	8.7	22.2
83A m	134141	Ponte S.P. Galliera	m. ponte	20.5	434	22.8	718	23.9	7.4	23.9
83B v	134151	Ponte S.P. Galliera	v. ponte	20.5	434	22.8	717	23.9	7.4	23.9
83B m	134366	Ponte FS Bologna-Padova	m. ponte	20.4	434	22.7	716	21.9	8.8	21.9
83B v	134376	Ponte FS Bologna-Padova	v. ponte	20.4	433	22.7	716	21.9	8.8	21.9
84	134429			20.4	432	22.7	712	22.1	7.1	22.2
86	135340	La Sanguettola		20.1	428	22.4	706	21.6	7.5	21.7
88	136327			19.7	425	22.1	698	21.5	6.9	21.3
90	137343	Reno Sabbioni		19.5	418	21.8	688	21.1	7.0	21.1
92	138305	Reno Sabbioni		19.2	413	21.7	680	21.0	8.1	20.9
93A m	139140	Ponte A13	m. ponte	19.1	412	21.5	677	20.8	9.0	20.8
93A v	139150	Ponte A13	v. ponte	19.1	411	21.5	676	20.8	9.0	20.8
94	139228			19.1	410	21.5	674	20.8	7.1	20.9
96	140337	Gallo Ferrarese		18.8	408	21.3	672	20.7	6.2	20.4
98	141345	Gallo Ferrarese		18.6	408	21.1	672	20.1	5.7	20.6
98A m	141523		m. ponte	18.5	408	21.0	672	18.5	5.8	20.6
98A v	141533		v. ponte	18.5	408	21.0	672	18.5	5.8	20.6
98B m	141698	Ponte s.s. Porrettana	m. ponte	18.5	408	21.0	672	21.2	6.5	21.3
98B v	141708	Ponte s.s. Porrettana	v. ponte	18.5	408	21.0	672	21.2	6.5	21.3
98B vv	141782	Malalbergo		18.4	407	20.6	670	21.2	6.5	21.3
100	142432	Malalbergo		18.2	404	20.5	666	20.4	6.4	20.4
102S	143409			18.0	402	20.2	662	20.5	5.4	20.1
103S	143905			17.9	401	20.1	660	20.2	5.6	19.9
104S	144419			17.7	398	19.9	655	20.5	5.4	19.9
105S	144983			17.6	397	19.8	653	20.1	5.7	20.0
106S	145336	Passo Segni		17.5	393	19.8	648	19.7	6.3	19.8
107S	145792	Passo Segni	Confluenza Navile	17.5	392	19.7	646	19.9	5.4	19.8

Tabella 6-1. Livelli e portate per T_R 25 e 100 anni per le sez. d'interesse per l'Alto Ferrarese (PSAI-
Piano Stralcio Assetto Idrogeologico, dicembre 2002)

CAPITOLO 6

	Sezioni	Quota fondo	Quota massima argini	Lmax25	Lmax100	Differenza tra quota massima argini e Lmax25	Differenza tra quota massima argini e Lmax100	Valore medio del battente sopra/sotto argine per piene con $T_R=25$ anni	Valore medio del battente sopra/sotto argine per piene con $T_R=100$ anni
		m	m	m	m	m	m	m	m
TRATTO 1	44b	13,20	27,7	26,6	28,1	1,1	-0,4	1,13	-0,45
	44c	13,10	27,6	26,4	27,9	1,2	-0,3		
	46	12,10	27,4	26,3	27,8	1,1	-0,4		
	47	12,50	27,2	26,2	27,7	1	-0,5		
	48	12,20	27	26,1	27,6	0,9	-0,6		
	48a m	11,00	26,9	26	27,5	0,9	-0,6		
	48a v	11,00	26,9	26	27,5	0,9	-0,6		
	49	11,20	26,9	26	27,5	0,9	-0,6		
	49A m	12,30	26,8	25,7	27,2	1,1	-0,4		
	49A v	12,30	26,8	25,7	27,1	1,1	-0,3		
	50	10,88	26,7	25,7	27,1	1	-0,4		
	51	11,00	26,6	25,6	27,1	1	-0,5		
	52	11,20	26,5	25,5	27	1	-0,5		
	53	10,10	26,4	25,5	26,9	0,9	-0,5		
	54	11,50	26,3	25,4	26,9	0,9	-0,6		
	55	11,80	26,2	25,3	26,8	0,9	-0,6		
	56	10,50	26,1	25,1	26,7	1	-0,6		
	57	10,20	26	25	26,5	1	-0,5		
	58	9,80	25,8	24,8	26,4	1	-0,6		
	59	9,80	25,7	24,7	26,3	1	-0,6		
	60	10,00	25,6	24,6	26,2	1	-0,6		
	61	11,20	25,5	24,4	26,1	1,1	-0,6		
	62	11,00	25,4	24,3	25,9	1,1	-0,5		
	P1Am	11,40	26,3	24,1	25,8	2,2	0,5		
	P1Av	11,40	25,9	24,1	25,8	1,8	0,1		
	63	11,40	25,29	24	25,7	1,29	-0,41		
	P4	11,20	25,2	23,8	25,5	1,4	-0,3		
	P6	10,60	24,9	23,5	25,4	1,4	-0,5		
P9	10,00	24,6	23,1	25,1	1,5	-0,5			
TRATTO 2	P10A	12,50	24,6	22,6	24,8	2	-0,2	1,78	-0,52
	P11 m	12,70	24,7	22,4	24,6	2,3	0,1		
	P11 v	12,70	24,7	22,3	24,5	2,4	0,2		
	P12	10,70	24,8	22,3	24,5	2,5	0,3		
	P13	9,20	23,3	22,3	24,5	1	-1,2		
	P15	10,30	23,7	22,3	24,5	1,4	-0,8		
	P17	8,40	23,8	22,3	24,4	1,5	-0,6		
	P18	13,00	23,8	22,2	24,4	1,6	-0,6		
	P20	9,40	23,7	22,1	24,3	1,6	-0,6		
	P22	9,30	23,3	22	24,2	1,3	-0,9		
	P24	9,00	23,1	21,8	24,1	1,3	-1		
	P26	9,60	23	21,7	23,9	1,3	-0,9		
	76	8,10	22,9	21,6	23,9	1,3	-1		
	77	8,50	22,8	21,5	23,7	1,3	-0,9		
	78	8,30	22,7	21,3	23,6	1,4	-0,9		
	80	8,30	22,5	21	23,3	1,5	-0,8		
	82	8,70	22,3	20,8	23,1	1,5	-0,8		
	83A m	7,40	23,9	20,5	22,8	3,4	1,1		
	83B v	7,40	23,9	20,5	22,8	3,4	1,1		
	83B m	8,80	21,9	20,4	22,7	1,5	-0,8		
	83B v	8,80	21,9	20,4	22,7	1,5	-0,8		
	84	7,10	22,2	20,4	22,7	1,8	-0,5		
	86	7,50	21,7	20,1	22,4	1,6	-0,7		
	88	6,90	21,5	19,7	22,1	1,8	-0,6		
	90	7,00	21,1	19,5	21,8	1,6	-0,7		
	92	8,10	21	19,2	21,7	1,8	-0,7		
	93A m	9,00	20,8	19,1	21,5	1,7	-0,7		
	93A v	9,00	20,8	19,1	21,5	1,7	-0,7		
	94	7,10	20,9	19,1	21,5	1,8	-0,6		
	96	6,20	20,7	18,8	21,3	1,9	-0,6		
	98	5,70	20,6	18,6	21,1	2	-0,5		
	98A m	5,80	20,6	18,5	21	2,1	-0,4		
98A v	5,80	20,6	18,5	21	2,1	-0,4			
TRATTO 3	98B m	6,50	21,3	18,5	21	2,8	0,3	2,55	0,27
	98B v	6,50	21,3	18,5	21	2,8	0,3		
	98B vv	6,50	21,3	18,4	20,6	2,9	0,7		
	100	6,40	20,4	18,2	20,5	2,2	-0,1		
	102S	5,40	20,5	18	20,2	2,5	0,3		
	103S	5,60	20,2	17,9	20,1	2,3	0,1		
	104S	5,40	20,5	17,7	19,9	2,8	0,6		
	105S	5,70	20,1	17,6	19,8	2,5	0,3		
	106S	6,30	19,8	17,5	19,8	2,3	0		
	107S	5,40	19,9	17,5	19,7	2,4	0,2		

Tabella 6-2. Battenti sopra o sotto argine per piene venticinquennali e monosecolari

Tavola 6-1

Tavola 6-2

Tavola 6-3

Tavola 6-4

Tavola 6-5

Tavola 6-6

Tavola 6-7

6.2.4 Le piene significative del Reno

Un utile strumento conoscitivo sulle piene storiche del fiume Reno è l' "Archivio delle piene del bacino del fiume Reno" registrate in telemisura quale supporto per il Servizio di Piena⁶ (sito web: www.regione.emilia-romagna.it/bacinoreno/pioggia_2000/Piene_mar_2005/presentazione.htm).

In questo archivio sono state registrate tutte le piene del bacino a partire dal 1981 fino al 31 dicembre 2004, per un totale di 108 eventi di piena. Sulla base di questa serie di piene è stato determinato il valore di livello della "piena ordinaria"⁷ almeno in alcune stazioni di rilevamento particolarmente significative.

Di seguito si riporta la Tabella 6-3 che definisce l'altezza di piena ordinaria con i dati aggiornati al 31 gennaio 2004, evidenziando i dati dei teleidrometri di Cento e Gallo di interesse per il presente studio.

<i>n°</i>	<i>Bacino</i>	<i>Teleidrometri</i>	<i>Altezza idrometrica della piena ordinaria</i>	<i>Max altezza idrometrica d'archivio</i>	<i>Δ tra piena d'archivio e ordinaria</i>
			m	m	m
1	Reno	Vergato	2.74	5.47	2.73
2		Casalecchio Chiusa	1.49	2.55	1.06
3		Cento	7.41	8.72	1.31
4		Gallo	11.14	13.32	2.18
5	Setta	Sasso Marconi	1.75	2.61	0.86
6	Samoggia	Bazzano	1.00	1.59	0.59
7		Forcelli	11.71	14.00	2.29
8	Lavino	Lavino di Sopra	9.56	10.47	0.91
9	C.Navile	Castelmaggiore	9.90	11.42	1.52

⁶ Il servizio di piena consiste nell'attivazione di un servizio di guardia ripartito a sua volta in più stadi coordinati da una centrale operativa del Servizio di Piena. Le norme che regolano il servizio di piena sono contenute nel R.D. 06.12.1937, n. 2669 "Regolamento sulla tutela delle opere idrauliche di prima e seconda categoria e delle opere di bonifica".

⁷ Secondo la definizione data dal Servizio Idrografico Nazionale al XV Congresso Internazionale di Navigazione (Venezia, 1931), si definisce la *piena ordinaria* nel seguente modo: "L'altezza di piena ordinaria, in una sezione fornita di idrometro, e per un lungo periodo di osservazione (parecchie decine di anni), è il livello superato o uguagliato dalle massime altezze annuali verificate nella sezione in $\frac{3}{4}$ degli anni di osservazione (durata 75%)".

10	Savena abb.	Dozza	11.93	13.17	1.24
11	Savena vivo	Pianoro	1.15	1.78	0.63
12	Idice	Pizzocalvo	0.68	1.02	0.34
13		Castenaso	10.06	12.11	2.05
14	Sillaro	Castel S.Pietro	1.37	2.26	0.89
15	Santerno	Codrignano	1.20	1.55	0.35
16	Senio	Castel Bolognese	4.97	6.33	1.36

Tabella 6-3. Altezza di piena ordinaria confrontata con i dati di archivio

Questa tabella è utile per capire quando la piena che si sta osservando supera il livello di piena ordinaria e quando comincia ad essere pericolosa, cioè quando supera il livello di massima altezza registrata.

Infine, si riporta uno stralcio del lavoro "Le piene più significative del fiume Reno nel XX secolo" a cura di Enrico Cerioni, al fine di fornire una memoria storica delle piene del Reno, caratterizzate ognuna da una singolarità che l'ha contraddistinta.

" ...

- La piena del marzo 1934 ha prodotto alti livelli nel tronco vallivo per la saldatura di quattro colmi in una unica onda al Gallo e per la concomitanza del colmo di Reno alla Bastia con quello degli affluenti.
- La piena dell'ottobre 1937 ha generato un nubifragio nell'alta vallata del Reno assorbito in parte dal basso livello (per manutenzione) del bacino di Suviana che ha consentito l'accumulo dell'afflusso dei 77 kmq del bacino tributario. Allagamenti a Pavana.
- La piena del maggio 1939 ha avuto la particolarità di una laminazione quasi nulla fra Casalecchio e Cento, dovuta al concomitante contributo del Samoggia; grosso apporto d'Idice e Sillaro alla Bastia, quindi alti livelli nella parte terminale di Reno derivati più al contributo degli affluenti romagnoli che a quello del solo Reno.
- La piena del novembre 1940 ha prodotto alti livelli nel bacino montano e lungo l'asta arginata fin quasi alla Bastia (superiori a quelli precedentemente registrati), scarso l'apporto del Samoggia; il bacino di Suviana ha avuto la funzione di contenimento con un volume

trattenuto pari al 7,7% di quello defluito a Casalecchio. Tracimazioni e rotte al Boschetto ed al Ponte di Bagno.

- La piena del novembre 1949 ha evidenziato il sovrapporsi del 4° colmo sul 3° a monte di Cento e lo sfasamento di sole 2 – 3 ore delle punte massime di Reno con quelle di Samoggia, quindi alti livelli a valle di Cento fino al massimo livello di piena registrato al Gallo, superiore a quello max precedentemente registrato nel 1851. 1^rotta al Gallo.
- La piena del gennaio 1951 ha prodotto effetti che non si sarebbero verificati se non fosse arrivata dopo la rotta del 27 novembre 1949 con le arginature di fresca impostazione e imbevute dalle piogge del precedente mese di dicembre. 2^rotta al Gallo.
- La piena febbraio 1951 è stata particolarmente imponente e rapida con alti livelli nel bacino montano e con valori mai prima raggiunti nell'alta valle del Reno e lungo l'asta arginata fino alla Panfilia da dove i livelli hanno iniziato a risentire l'effetto di chiamata della rotta; il bacino di Suviana ha avuto funzione di contenimento tanto da trattenere l'8,7% del volume defluito a Casalecchio. 3^, e più drammatica, rotta al Gallo.
- La piena del dicembre 1959 è da considerarsi, per il Reno, piena di normale sviluppo fino al Gallo ove i tre colmi si sono ravvicinati nel tempo esaltando il livello al terzo colmo; lo stesso fenomeno si è ripetuto alla Bastia, ovviamente in maniera più accentuata dati i contributi di Sillaro e di Idice; nel Sillaro si è verificata una situazione critica da Sesto Imolese a Passo del Signore; nel Santerno a fronte di franchi elevati nella parte di monte delle opere arginate, si sono verificati sormonti nella zona di Bagnara e del Ducato di Fabriago. Rotta sul Santerno al Ducato di Fabriago.
- La piena del novembre 1966 ha avuto la peculiarità della persistenza del livello idrometrico, alla Chiusa di Casalecchio, sopra 2,50 per quasi 5 ore (circa 27.000.000 di mc); questo volume d'acqua notevolissimo ha prodotto il sormonto delle arginature nelle zone delle grandi golene con conseguenti rotte; in tutti i corsi d'acqua del bacino si sono registrate situazioni di pericolo; primo reale utilizzo del Cavo Napoleonico come scolmatore di piena del Reno. Rotte di Reno a Castel Campeggi ed al Boschetto; rotte di Samoggia ai Forcelli e a Lorenzatico; rotta di Senio a Passo Donegallia.
- La piena del dicembre 1966 ha prodotto livelli idrometrici notevolmente alti se raffrontati alle piogge e, come nel 1951, a distanza di un mese esondazione in corrispondenza della coronella appena costruita. Sormonto di coronella ed esondazione a Castel Campeggi.

- La piena del novembre 1990, sul Reno ha avuto deflussi regolari fino al verificarsi del fontanazzo e della conseguente rotta dell'argine destro nei pressi del (pil. 91); è stata effettuata una manovra di eccezionale impegno sullo sbarramento di Reno e sul Cavo, con scolmo in Po di circa 73 milioni di metri cubi, effettuato in circa nove giorni, al fine di ridurre il deflusso altrimenti incontenibile sulla rotta. Rotta in corrispondenza del metanodotto SNAM al pil. 91.
- La piena del settembre 1994 ha avuto deflussi regolari per il Reno fino quasi alla confluenza del Samoggia, ma a Cento, il livello è risultato di soli 4 cm inferiore a quello raggiunto nella precedente piena del novembre 1990, senz'altro per l'effetto del maggior contributo di Samoggia; la manovra sul Cavo, con scolmo in Po di circa 15 milioni di metri cubi effettuata in 15 ore, ha prodotto una eccessiva riduzione del franco allo sfioratore del Gallo, 2,00 metri circa; e alla Bastia, per effetto della scarsa portata d'Idice e di Sillaro nonché di quella di Reno, decisamente scolmata in Cavo, ha fatto registrare un livello di tutta tranquillità.

...”

6.3 Il Cavo Napoleonico

6.3.1 La questione del Reno: un “rompicapo idraulico”

Come già accennato nel capitolo 2, la storia del Reno è tutta una alternanza di piene e di progetti per cercare di risolvere il problema, la cui data di inizio può essere stabilita al 1152, quando cioè il Po ruppe gli argini a Ficarolo e si determinò l’abbandono progressivo dei rami di Primaro e Volano (Giandotti M. et al., 1931). Da allora il Reno costituì un grosso problema, diventando un “rompicapo idraulico” (Giovanni Tocci, 1980) per Ferraresi e Bolognesi.

Questi ultimi volevano riportare in Po il Reno attraverso un nuovo alveo, per toglierlo dai loro territori di bassa pianura, mentre i Ferraresi si opponevano a tale soluzione e preferivano che il Reno continuasse a versare in Padusa, temendo nuovi pericoli di inondazione e l’interrimento ulteriore del Po di Ferrara, così vitale per gli interessi commerciali dei Ferraresi.

Nel 1526, quando ormai cominciava a decadere il potere politico degli Estensi, i Bolognesi riuscirono a strappare al duca Alfonso I la concessione di convogliare il Reno in Po di Ferrara, realizzando un alveo artificiale da Vigarano Mainarda a Cassana; anche il Panaro, nel 1535, venne reimpresso nel Po di Ferrara Presso Bondeno (Roversi, 1990).

Queste soluzioni portarono a conseguenze drammatiche: il Reno cominciò ad arricchire il Primaro con le sue torbide ed in occasione delle piene del Po, il Panaro ed il Reno si avviavano a ritroso verso Ficarolo.

Frattanto nel 1558 venne realizzato il Canale di Cento che portava in Po di Ferrara, a ponte Rodoni, le acque dei territori del Centese, di bonifica recente, e quelle delle zone pedecollinari dell’area a sud di San Giovanni in Persicelo (Roversi, 1990).

Al principio del XVII secolo era ormai la situazione idraulica è largamente compromessa: solo nel 1604 le istanze ferraresi riescono a prevalere su quelle bolognesi, cioè quando il Ducato di Ferrara era già passato tra i possedimenti del Papa Clemente VIII. Egli ordinò che il Reno fosse provvisoriamente deviato nella “Valle” della Sammartina (o Valle S. Martina come citata dal Gambi), per consentire alcuni lavori nel Po di Ferrara e restituirgli la perdita importanza. Secondo la disposizione papale il Reno doveva poi essere di nuovo immesso in Po, ma in realtà non fu così e ripresero le opere di ricostruzione dei terreni a sud di Ferrara, periodicamente sommersi dalle sue alluvioni. Sia l’inutilità degli sforzi di richiamare il Po nel ramo di Ferrara, sia gli allagamenti ad opera del Reno nelle campagne bolognesi (Poggio, Malalbergo, Pegola, Altedo, Baricella, Durazzo

e Medicina), convinsero i bolognesi a chiedere la rimozione del fiume dalla “Valle” Sammartina e la sua reimmissione nel Po Grande.

Le richieste indussero il Papa nel 1610 ad inviare una commissione capeggiata dal Cardinale Gaetano, il quale visitò le zone con l’accompagnamento dei deputati delle province di interesse; venne così proposta la immissione in Po a Lagoscuro, secondo la direttrice chiamata “Gaetana”, ma la proposta non passò perché ancora vi era la speranza di riattivare il Po di Ferrara.

Questa speranza impedì l’esecuzione di due altri progetti: il primo del cardinale Capponi ed il secondo di Monsignor Corsini, che prevedevano la rimozione del Reno dalle Valli e l’immissione nel Po di Venezia, attraverso lo sbocco, unitamente al Panaro, a Stellata (Orienti, 1979).

Una ripresa dello stesso progetto venne fatta, nel 1694, con una relazione presentata ad Innocenzo XI dai cardinali Barberini e D’Adda. Affianca i due cardinali il celebre Domenico Guglielmini che nel 1709 si farà promotore del progetto di inalveazione del Reno in Po Grande (Figura 6-4).

La relazione suddetta scomparve misteriosamente fino al 1715, quando Clemente XI la riportò alla luce. In essa si parlava di cinque possibili soluzioni:

- l’immissione di “valle” in “valle”;
- condurre il Reno nel Volano;
- condurre il Reno in Trebbo, due miglia sotto Bologna, parallelamente alla via Emilia intersecando i torrenti Savena, Idice, Centonara, Quaderna e Sillaro e portandoli tutti nel Primaro all’imboccatura del Savio;
- condurre il Reno da Vigarano al mare per l’alveo di Primaro
- l’immissione nel Po Grande.

Quest’ultima è quella che doveva essere approvata.

Il Papa pareva convinto a dare il via all’esecuzione, quando intervennero i Principi degli stati confinanti con il Po, dal Ticino fino al mare, i quali diedero una sospensione ulteriore.

Negli anni successivi Benedetto XIII sanzionò la sospensione definitiva di tutti i progetti e convocò a Faenza un congresso che non portò a nessuna soluzione concreta (Giovanni Tocci, 1980).

Si dovette attendere l’azione riformatrice di Benedetto XIV, per vedere realizzata nel 1750 un’opera, il Cavo Benedettino, attorno a cui trovarono un essenziale terreno di verifica le varie intenzioni bonificatorie, rimaste sino ad allora inoperanti. Questo Cavo, da Passo Segni fino a

Traghetto, doveva favorire lo smaltimento nel Primaro delle acque delle Valli del Poggio, ove spandevano le loro acque Reno, Idice e Savena, e l'ennesima rotta del Reno nello stesso anno, sempre più a monte, alla Panfilia, suggeriscono la soluzione per il nuovo tracciato del fiume: da questa località, piegando a destra d'angolo retto, il fiume Reno doveva congiungersi al cavo Benedettino per mezzo di un nuovo alveo artificiale che tagliava trasversalmente l'idrografia minore della bassa pianura bolognese, poi da qui doveva proseguire nell'alveo del Primaro fino al mare Adriatico.

I lavori iniziarono nel 1766 ed il collegamento fra Reno e Primaro venne aperto nel 1775.

Il Reno nel nuovo alveo cominciò subito a cercar di raggiungere un profilo di equilibrio accentuando, con l'innalzamento del fondo calcolato in 1,33 m i un secolo a monte della Panfilia, le sue condizioni di pensilità, rendendo inutili l'opera realizzata e sempre più difficili le immissioni dei vari corsi d'acqua. Infatti, venne chiusa ben presto il collegamento presso traghetto fra Reno e Primaro, tanto che quest'ultimo da allora si è ridotto ad un tronco cieco, lontano ricordo dell'antico ramo del delta del Po.

Pertanto, ritornò in campo l'idea di riportare il Reno in Po, sostenuta dai Bolognesi, che riescono ad imporla grazie al mutamento politico a cavallo del 1800 con la venuta dei Francesi: con decreto del 25 giugno 1805 fu ordinata l'immissione del Reno da S. Agostino al Po-Panaro, con un percorso di 13 km, presso Bondeno, secondo il progetto che fu poi redatto dall'ing. Assalini nel 1807.

Il lavori del Cavo, denominato Napoleonico, iniziarono nel 1808 e proseguirono per tre anni, venendo interrotti per le vicende politiche che riportarono le terre della bassa Padana sotto il governo dei restaurati pontefici (Orienti, 1979).

Durante tutto il XIX secolo il restaurato Stato Pontificio, in un primo tempo, così come il Regno d'Italia, più tardi, si impegnarono alla conservazione delle nuove inalveazioni del Reno e degli altri torrenti appenninici nel letto dell'antico Po di Primaro, mediante una costante opera di manutenzione. Nonostante il Reno avesse raggiunto nel 1875 la stabilità del suo alveo, la ricorrenza delle piene e delle rotte manteneva l'urgenza di una definitiva sistemazione: su richiesta, a varie riprese, del Ministero dei Lavori Pubblici, furono di nuovo prese in esame le varie ipotesi di riassetto del bacino renano.

Nel 1930 il ministro Crollalanza nominò una commissione composta dagli ingegneri Giandotti, Dardanelli e Fornari, che presentarono la loro relazione il 29 novembre dello stesso anno con la conclusione che il Reno doveva mantenere il suo corso per diverse ragioni, tra le quali la non

convenienza economica di attivazione del Cavo Napoleonico, sia per la stabilizzazione del livello del fiume che per la pericolosità della concomitanza di piene del Po e del Reno stesso.

Altre soluzioni proponevano di nuovo la immissione dell'intera portata o lo scarico parziale del Reno nel Po: alla fine prevalse l'idea della parziale immissione.

Nel 1946 lo stesso Giandotti riprese il progetto di uso del Cavo Napoleonico, adattandolo a nuove esigenze: lunghezza 18 km, sbocco non più in Panaro ma nel Po a Palantone.

La sequenza drammatica delle tre rotte del Reno a Gallo nel 1949 e 1951, ripetutesi attraverso la stessa bocca dell'argine sinistro, dimostrò che a distanza di poco meno di due secoli dalla sua inalveazione artificiale in Primaro, il Reno non aveva raggiunto una stabilità soddisfacente.

Pertanto, nel 1951 gli organi governativi procedettero alla costituzione dell'Ufficio Speciale del Genio Civile per il Reno, con l'affidamento all'ufficio predetto dello studio e della esecuzione delle opere; inoltre con legge speciale dello stesso anno si provvide a finanziare i lavori previsti per la sistemazione del Cavo come scolmatore del Reno.

Il Reno può così convogliare acque nel suo vecchio alveo per una portata massima di $700 \text{ m}^3/\text{s}$ (Leoni, 1994), mentre l'eccedenza, calcolata in circa $500 \text{ m}^3/\text{s}$, secondo i dati della massima piena del 1951, è prelevata dal cavo, scaricata nel Po o mantenuta nell'invaso, qualora il Po non sia in condizioni di riceverla.

La costruzione fu ultimata, dopo oltre 10 anni di lavori, nel 1964, con il collaudo delle opere costruite, ma tutt'oggi non è possibile sfruttarne pienamente la potenzialità, a causa della permeabilità dell'alveo, specie nel tratto da Bondeno al Po (documentazione fornita dal Consorzio di bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo).

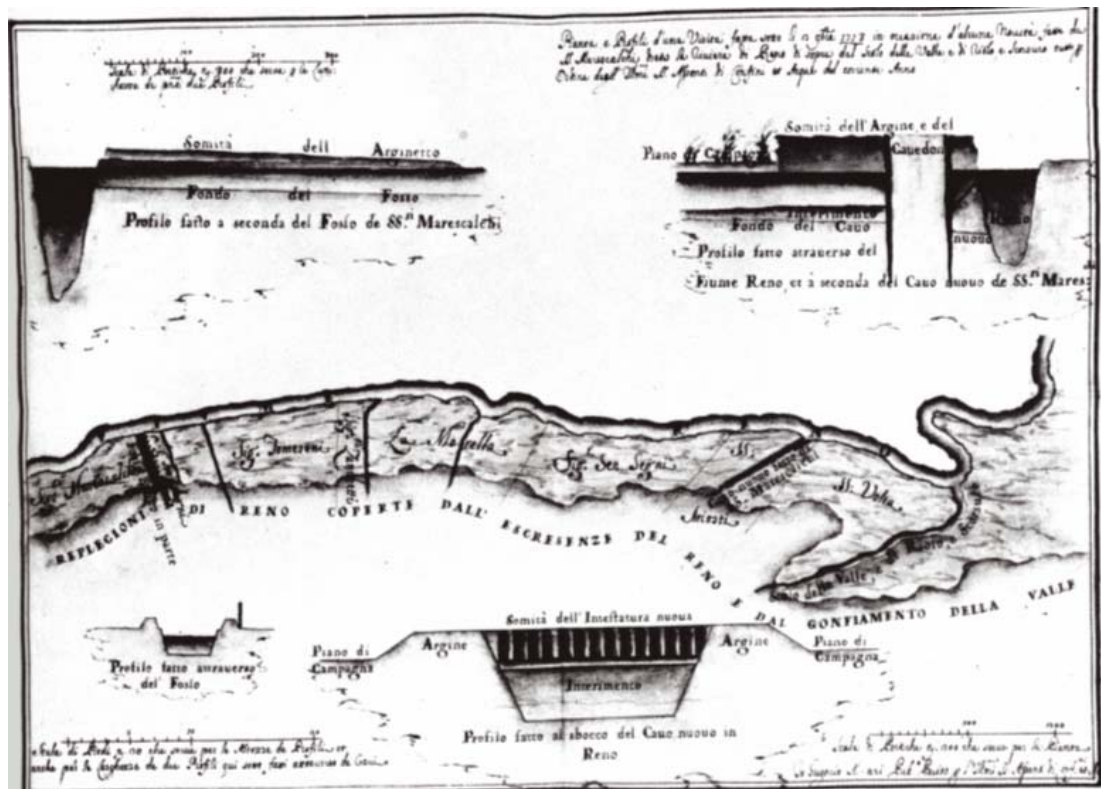


Figura 6-4. Pianta e profilo del Reno (1713)

(I settant'anni del Consorzio della Bonifica Renana, Arnaldo Forni Editore, 1980)

6.3.2 Le caratteristiche fisiche del Cavo Napoleonico

Il Cavo Napoleonico ora esistente non è la stessa opera inizialmente progettata. Allora infatti il Cavo fu concepito come un canale che facesse deviare il Reno in Panaro, mentre oggi per Cavo Napoleonico s'intende un canale scolmatore, che accoglie una parte delle acque del Reno durante il periodo di piena, alleggerendolo di un certo volume di acqua (Figura 6-5).

Questa è la funzione PRIMARIA attribuita al Cavo Napoleonico.

Oltre alla funzione primaria di scolmatore delle piene del Reno, il Cavo Napoleonico ha una funzione SECONDARIA ed una TERZIARIA (documentazione fornita dal Consorzio di bonifica di secondo grado per il Canale Emiliano Romagnolo). La secondaria è quella di primo vettore delle acque di Po immesse per caduta o per sollevamento nell'impianto di pompaggio a Palantone del CER (paragrafo 6.4) mentre quella terziaria riguarda lo scarico in Po delle acque di piena della Bonifica Renana. Questo è possibile solo se il canale artificiale non è in utilizzo quale scolmatore delle piene del Reno; perciò, durante le piene derivate dalle precipitazioni sulla pianura bolognese e

sul ravennate, quando il Cavo non è in funzione come scolmatore, è possibile far defluire parte delle acque del Consorzio di Bonifica Renana, utilizzando il Canale della Botte ed il C.E.R., in Po attraverso il Cavo.

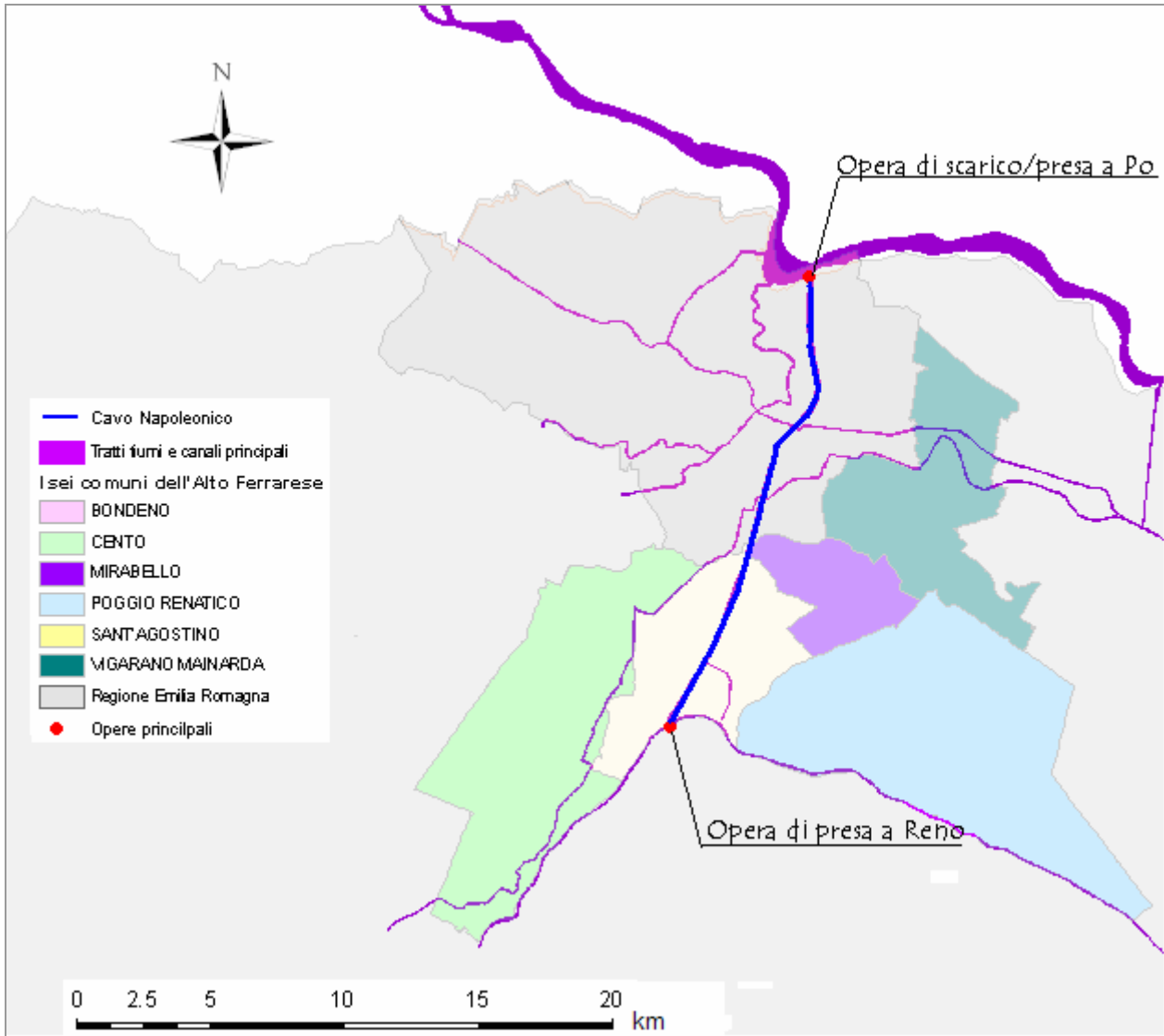


Figura 6-5. Il Cavo Napoleonico e le opere principali

Le caratteristiche fisiche del Cavo sono quelle di un ampio canale della lunghezza complessiva di 18 km, che unisce il Reno al Po nel tratto in cui i due fiumi hanno la distanza minore, attraverso le campagne dei comuni dell' Alto Ferrarese in esame.

La capienza teorica del canale artificiale è pari a 18 milioni di metri cubi d'acqua, nel periodo da marzo a ottobre.

I manufatti principali (si veda tematismo/layers “manufatti_ principali” del progetto in ArcMap) sono l’opera di presa (Figura 6-6, Figura 6-8 e Figura 6-9) a Reno e l’opera di scarico a Po (Figura 6-10 e Figura 6-15). La prima è suddivisa in due parti:

- lo sbarramento sul Reno formato da due spalle e quattro pile di 3 m di spessore; le luci sono pari a 16 m per le paratoie laterali e pari a 12.75 m per la paratoia centrale, il tutto completato da un ponte carraio;
- la diga tracimante formata da due spalle a due pile di 3.50 m di spessore, le tre luci hanno larghezza pari a 17 m ed è completata da una passerella pedonale.

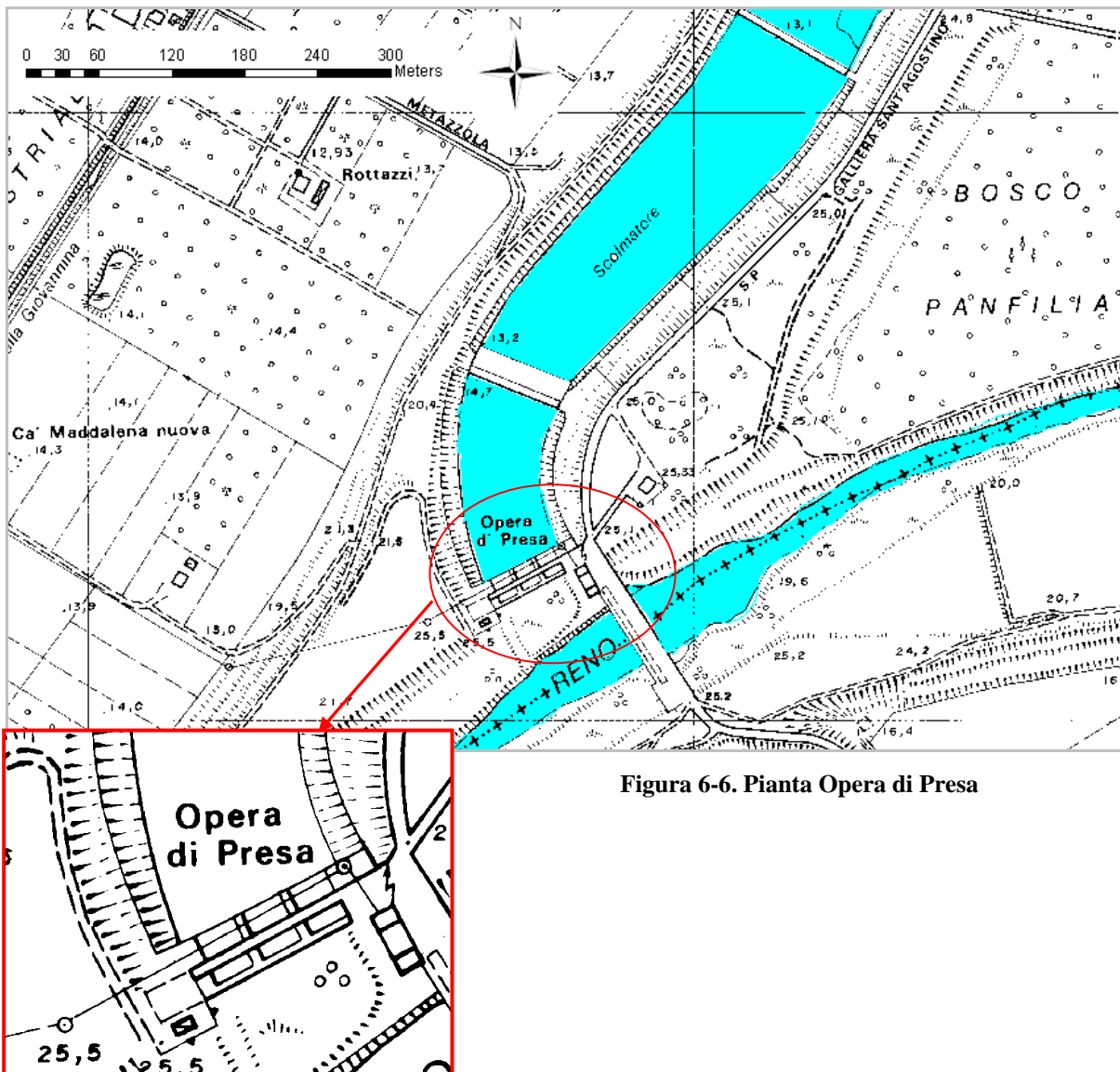


Figura 6-6. Pianta Opera di Presa

Come accennato precedentemente, attraverso la diga, durante le piene, è possibile immettere nello scolmatore una parte delle acque del Reno (circa $500 \text{ m}^3/\text{s}$ secondo i dati di massima piena del 1951) per alleggerirne la portata e contenerla entro i limiti di sicurezza .

L'opera di scarico a Po (Figura 6-10 e Figura 6-15) è costituita anch'essa da due parti: la chiavica e la controchiavica, che hanno il compito di costituire una doppia tenuta delle acque del Po nei periodi di piena. In particolare è formato da:

- una paratoia piana centrale a due elementi sovrapposti, di luce pari a 12.75 m, con un'altezza di ritenuta pari a 10 m e con l'elemento superiore abbassabile di 3.50 m rispetto alla massima ritenuta;
- due paratoie piane laterali e due elementi sovrapposti, di luce pari a 16 m, con le medesime caratteristiche di quelle sopra descritti.

Il manufatto secondario è lo scaricatore di Burana che permette in caso di emergenza, di vuotare il Cavo, attraverso il canale del consorzio di bonifica di Burana, sottopassante il Cavo Napoleonico e di fornire acqua al consorzio sopra citato nel periodo irriguo (Figura 6-7).

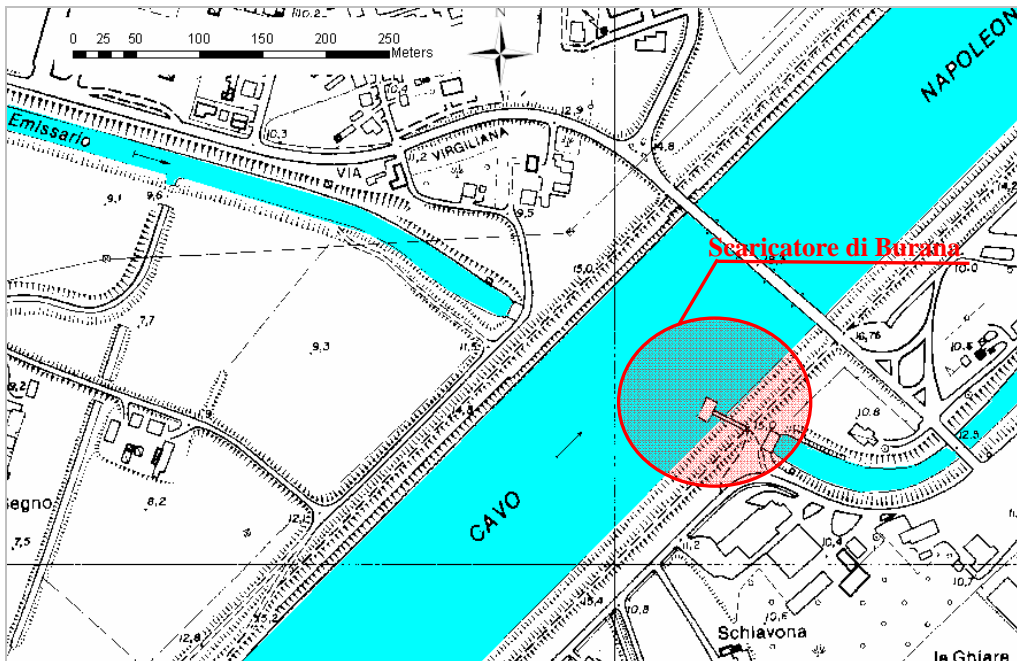


Figura 6-7. Pianta del manufatto secondario in Burana

E' importante precisare che si ha lo scarico diretto delle acque scolmate del Reno solo nel caso in cui la quota del fiume Po non supera i 9 m sul l.m.m, altrimenti si procede all'invaso del Cavo fino ad una quota massima di 14.5 m s.l.m.m..

Fra le opere accessorie, ma indispensabili, occorre citare la botte del canale di Burana sottopassante il Cavo e le opere di presa del CER, poste su entrambe le arginature in località Sant'Agostino (Paragrafo 6.4.2).

La costruzione del Cavo ha intersecato infatti i canali di bonifica e la viabilità esistente.

I canali di bonifica (Cittadino, Poazzo, Orticale, Cento, Tassone) sottopassano il canale artificiale mediante botti a sifone (si veda tematismo/layer "botti"), mentre per il mantenimento della viabilità sono stati costruiti i seguenti Ponti: Sant'Agostino, San Carlo, Mirabello, Bondeno, della Pioppa, Palantone ed il ponte della ferrovia Suzzara-Mantova.

Il fondo del cavo è orizzontale, 5 m s.l.m.m., ad esclusione della zona di presa del Reno presso Panfilia, ove una serie di gradonature consente di superare il dislivello di circa di circa 10 m esistente fra la quota suddetta e la platea di valle della traversa tracimante (si veda il profilo longitudinale nelle tavole che seguono).



Figura 6-8. Attenuatore delle Piene del fiume Reno (Cavo napoleonico): opera di scarico da Reno (Fonte: Bruno Cassarini, *La difesa del territorio dalle piene del Po e del Reno*, Gabriele Corbo Editore, 1990)



Figura 6-9. Attenuatore delle piene del fiume Reno in esercizio

(Fonte: Bruno Cassarini, *La difesa del territorio dalle piene del Po e del Reno*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

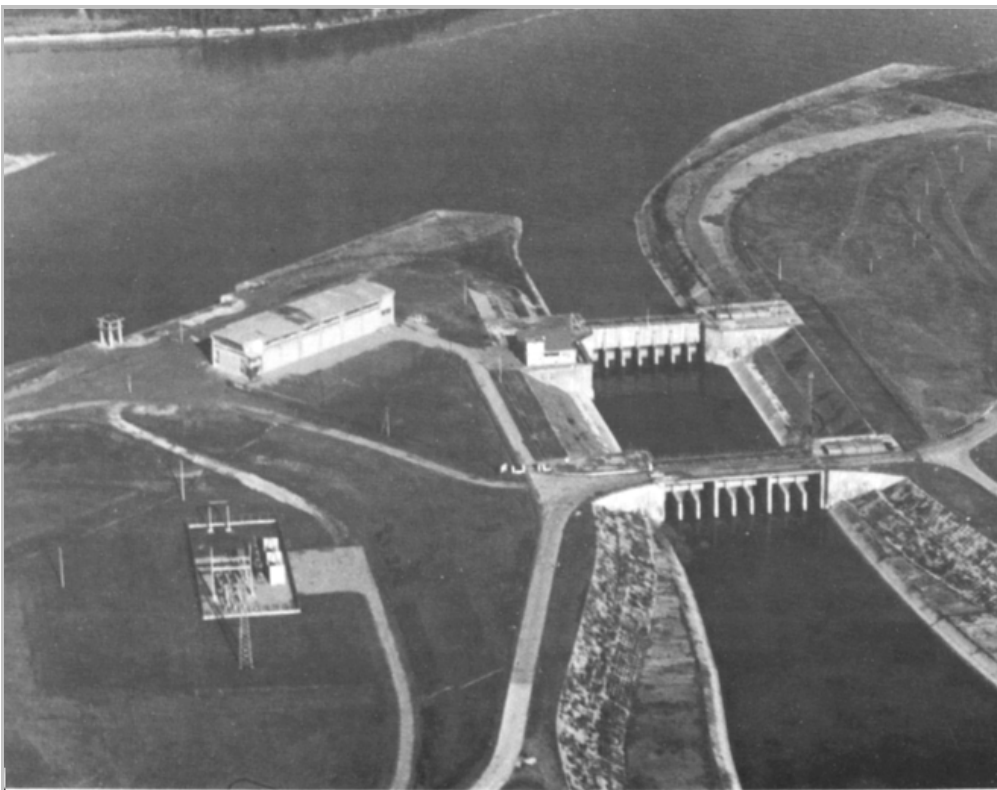


Figura 6-10. Attenuatore delle piene del fiume Reno. Opere di scarico a Po

(Fonte: Bruno Cassarini, *La difesa del territorio dalle piene del Po e del Reno*, Gabriele Corbo Editore, 1990)

Di seguito si riassumono le caratteristiche geometriche del canale e si riportano nelle tavole 6-8, 6-9, 6-10 e 6-11 il profilo longitudinale ed alcune sezioni significative.

- Lunghezza del canale 18 km.
- Larghezza media del canale 170 m (misurata fra gli argini maestri).
- Quota media della sommità arginale 16 m s.l.m.m..
- Quota minima della sommità arginale 15.5 m s.l.m.m..
- Quota media della golena 8.2 m s.l.m.m..
- Quota del fondo del canale artificiale 5 m s.l.m.m..
- Sezione media utile 1000 m².
- Quota di invaso di progetto 14.50 m s.l.m.m..
- Quota media di invaso attuale, mantenuta nei mesi estivi, 9.80 m s.l.m.m. (tale valore è condizionato dalla necessità di mantenere un tirante d'acqua limitato, al fine di ridurre le perdite d'acqua per l'infiltrazione attraverso la cunetta di fondo del canale, nel tratto sabbioso a valle di Bondeno).
- Quota media di invaso attuale, mantenuta nei mesi invernali, 7.5 m s.l.m.m. (per mesi invernali si intende il periodo di minima richiesta d'acqua da parte del C.E.R. ossia da ottobre a marzo).
- Quota massima raggiungibile attualmente 9.7 -10 m s.l.m.m. (questo valore viene raggiunto quando il Cavo funziona come scolmatore e scarica le acque di piena in Po).
- Capacità massima di invaso di progetto 18 milioni di metri cubi (per una quota di invaso pari a 14.5 m s.l.m.m.).
- Capacità utile effettiva di invaso 16 milioni di metri cubi.
- Capacità di invaso attualmente raggiungibile 4-6 milioni di metri cubi.
- Quota media del piano campagna 7-7.8 m s.l.m.m..
- Quota media della falda 6.5-7 m s.l.m.m..
- Quota di fondo del fiume Reno in corrispondenza dell'opera di sfioro 13.5 m s.l.m.m..
- Quota di bassa golena del Reno 14.9 m s.l.m.m. (corrispondente alla soglia dello scaricatore di fondo della diga tracimante ossia alla quota minima di derivazione dal fiume Reno).
- Quota della massima piena del Reno 23.5 m s.l.m.m. (valutata alla Panfilia).

- Quota della sommità arginale del Reno e dei piazzali dell'opera Reno 25.5 m s.l.m.m..
- Quota delle soglie della diga tracimante 19.57 m s.l.m.m..
- Tempo di corrivazione Reno-Po 6-8 ore.
- Il fondo e le basse sponde sono impermeabilizzate con rivestimento continuo in lastre di conglomerato cementizio semiarmato.
- Le golene e le scarpate arginali fino a quota 11.00 s.l.m.m. sono impermeabilizzate con rivestimenti in materassi metallici con pietrisco da 50-70 mm e sigillati con mastice bituminoso.

Tavola 6-8

Tavola 6-9

Tavola 6-10

Tavola 6-11

6.4 Il Canale Emiliano Romagnolo

6.4.1 La scarsità d'acqua nell'Emilia orientale e Romagna: la costruzione del C.E.R.

Il Canale Emiliano Romagnolo è destinato a fornire acqua irrigua ad un vasto comprensorio delimitato dal fiume Reno a Nord, dal litorale adriatico a Est, dal fiume Panaro a Ovest e dalla via Emilia a Sud (Figura 6-11).

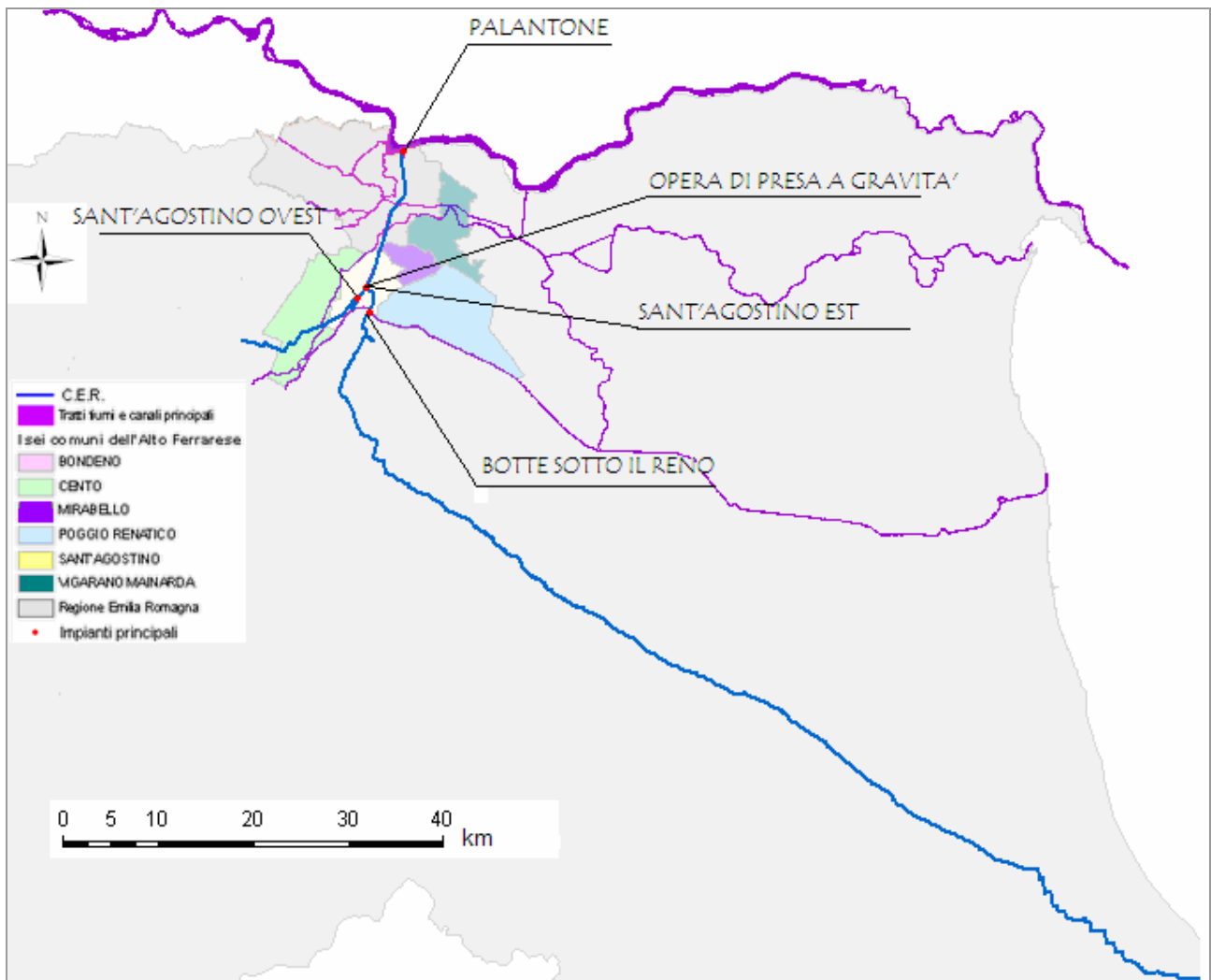


Figura 6-11. Il C.E.R. ed i sei comuni dell'Alto Ferrarese

Questa parte della pianura risente di una cronica scarsità d'acqua. Il clima è di tipo sublitoraneo appenninico ed il rifornimento idrico, il regime dei corsi d'acqua appenninici (Reno, Savena, Idice, Quaderna, Sillaro, Santerno, Senio, Lamone, Montoone, Ronco, Savio, Rubiconde ed Uso), e la

falda acquifera sono legate all'andamento delle precipitazioni, relativamente modeste, che variano in volume annuo, da NE a SO: la piovosità massima si rileva in autunno e primavera e quella minima nel trimestre estivo da giugno ad agosto; a ciò si aggiunge una notevole variabilità da anno in anno (Fabbri, 1979).

Pertanto, la scarsità d'acqua è da sempre particolarmente sentita, in questa parte di pianura, proprio nei mesi estivi, quando maggiori sono le esigenze idriche di molte coltivazioni.

I primi studi per risolvere questo problema furono fatti tre secoli fa dall'idraulico abate Raffaello Tirelli, che propose di derivare l'acqua dal Po a monte di Piacenza e la costruzione di un canale con sbocco terminale nel territorio bolognese. Un secondo progetto detto del "Canale Emiliano", fu proposto nel 1865 da Annibale Certani, ingegnere e agricoltore bolognese, proprietario di un'azienda di 500 ha a Mezzolara di Budrio. Il canale proposto da Certani aveva origine a Bassisagna, vicino ad Alessandria, aveva una lunghezza di 322 km e trovava sbocco nel Bevano in Romagna. Il progetto, benché supportato da pareri favorevoli, non venne approvato perché mancavano studi precisi e sicuri sulla disponibilità estiva del Po, soprattutto dopo l'entrata in vigore del Canale Cavour, che sottraeva all'altezza di Chiasso 110 m³/s.

Il progetto Certani, con alcune varianti, venne riproposto dal Tacchini nel 1885 e successivamente da Maganzini (1892). Le varianti riguardavano principalmente l'ubicazione dell'opera di presa e, rispetto alla proposta di Certani, prevedevano tutte lo sbocco del canale nel T.Marecchia.

Il fallimento di queste proposte progettuali è dovuto questa volta all'opposizione convinta dei piemontesi e dei lombardi, che vedevano la realizzazione dell'opera il pericolo di compromettere la sicurezza delle proprie derivazioni idriche dalla sponda sinistra del Po (Leoni, 1994).

Una soluzione del tutto nuova per il progetto del canale venne da Mario Giandotti nel 1939, illustre idraulico, progettista fra l'altro della bonifica Parmigiana-Moglia e dello Scolmatore Reno.

Nello stesso anno, sull'onda di una legislazione in materia di bonifica ormai compiutamente disegnata, venne istituito per regio decreto il Consorzio di II grado per il Canale Emiliano Romagnolo, diretto dall'ing. Giandotti, a cui fu affidato il compito di studiare, eseguire ed esercitare le opere irrigue di interesse comune ai consorzi della pianura emiliano romagnola. Il primo progetto Giandotti prevedeva la derivazione di 100 m³/s a Boretto e la costruzione di un canale fino al Rubicone, con andamento NO-SE; gli eventi bellici ne impedirono l'attuazione.

Nell'immediato dopoguerra i Consorzi dei comprensori ad ovest del Panaro, intenzionati a trovare soluzioni autonome per l'irrigazione dei propri territori, uscirono dal consorzio di II grado. La situazione di stallo che si era creata, a seguito di questa scissione, fu sbloccata dallo stesso Giandotti che, in qualità di presidente della Seconda Sezione Superiore dei Lavori Pubblici, nel 1946, suggerì di utilizzare il cavo scolmatore delle acque del Reno, che egli stesso stava progettando come vettore irriguo. Nel febbraio 1947 fu quindi approvato il secondo progetto Giandotti, che prevedeva la realizzazione di un canale di soli 130 km con opera di presa a Palantone, presso Bondeno, (derivazione di $68 \text{ m}^3/\text{s}$), una serie di sollevamenti per poter raggiungere le quote topografiche della media pianura bolognese e lo scarico terminale nel T.Usò (Figura 6-12).

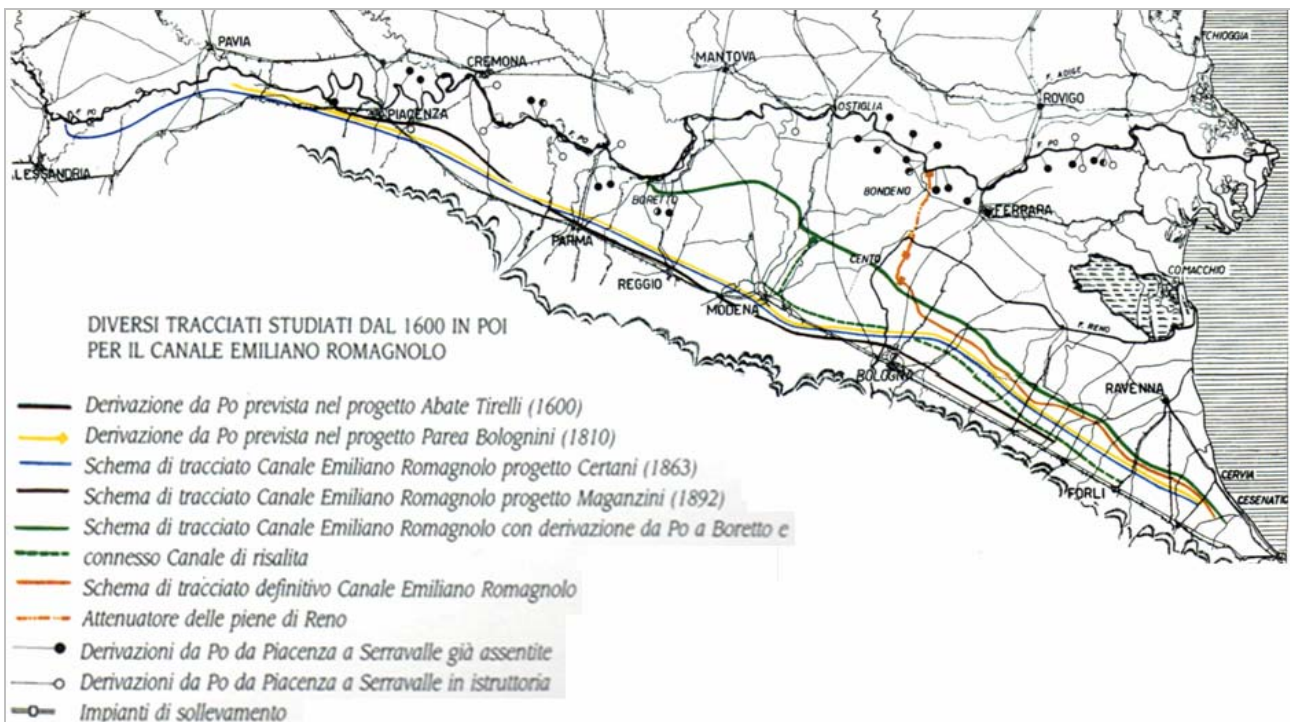


Figura 6-12. Ricostruzione dei tracciati studiati dal 1600 in poi per il canale irriguo che avrebbe preso il nome di Canale Emiliano Romagnolo (Antonio Saltini, *Dove l'uomo separò la terra dalle acque*, DIABASIS, 2005)

I lavori di costruzione del Canale Emiliano Romagnolo propriamente detto iniziarono intorno al 1955. Gli anni del boom economico coincisero con il decollo dell'opera, ma solo nel 1980 il CER superò il km 100 ed entrò nel territorio romagnolo. Con l'inizio del nuovo millennio il CER, varcato il Rubicone, si apprestò ad entrare nel riminese e a raggiungere il limite estremo del territorio regionale (Figura 6-13 e Figura 6-14).



Figura 6-13. Primo tronco del Canale Emiliano Romagnolo: una fase di costruzione in prossimità della chiavica di derivazione dell'attenuatore delle piene del Reno (1960) (Alessandro Denaro e Giorgio Vighi, *Dalla ricostruzione postbellica ai giorni nostri*, Gabriele Corbo Editore, 1990)



Figura 6-14. Attenuatore delle piene del Fiume Reno: costruzione della chiavica per lo scarico in Po (1958). Si notano sulla sinistra le **tre bocche di scarico del vicino impianto di sollevamento da Po di Palantone, per l'utilizzazione ai fini irrigui dell'attenuatore (Alessandro Denaro e Giorgio Vighi, *Dalla ricostruzione postbellica ai giorni nostri*, Gabriele Corbo Editore, 1990)**

6.4.2 Le caratteristiche fisiche del CER

Il primo tronco del CER (da Palantone alla botte sotto il Reno) è quello taglia da nord a sud il territorio dei sei comuni di interesse (Figura 6-11).

L'alimentazione principale del sistema del Canale Emiliano Romagnolo viene assicurata mediante derivazione dalla sponda destra del Po, in località Salvatonica di Bondeno, in prossimità dell'opera di scarico nel fiume dell'Attenuatore delle Piene nel fiume Reno.

Quest'ultima svolge oggi la duplice funzione di scolmatore di piena del Reno e di primo vettore del sistema CER, grazie all'andamento orizzontale mantenuto dal fondo nel tratto di circa 16 km compreso tra il fiume Po e l'abitato di Sant'Agostino, nei pressi dei quali partono i due adduttori del CER (si veda profilo longitudinale in Tavola 6.14).

L'immissione nell'Attenuatore delle acque derivate dal Po avviene mediante l'impianto di sollevamento del Palantone, progettato per la portata massima assentita di $68 \text{ m}^3/\text{s}$ dal periodo 16 maggio al 15 settembre, (attualmente dotato di una portata installata pari a $58 \text{ m}^3/\text{s}$) e $25 \text{ m}^3/\text{s}$ dal 16 settembre al 15 maggio (Figura 6-15).

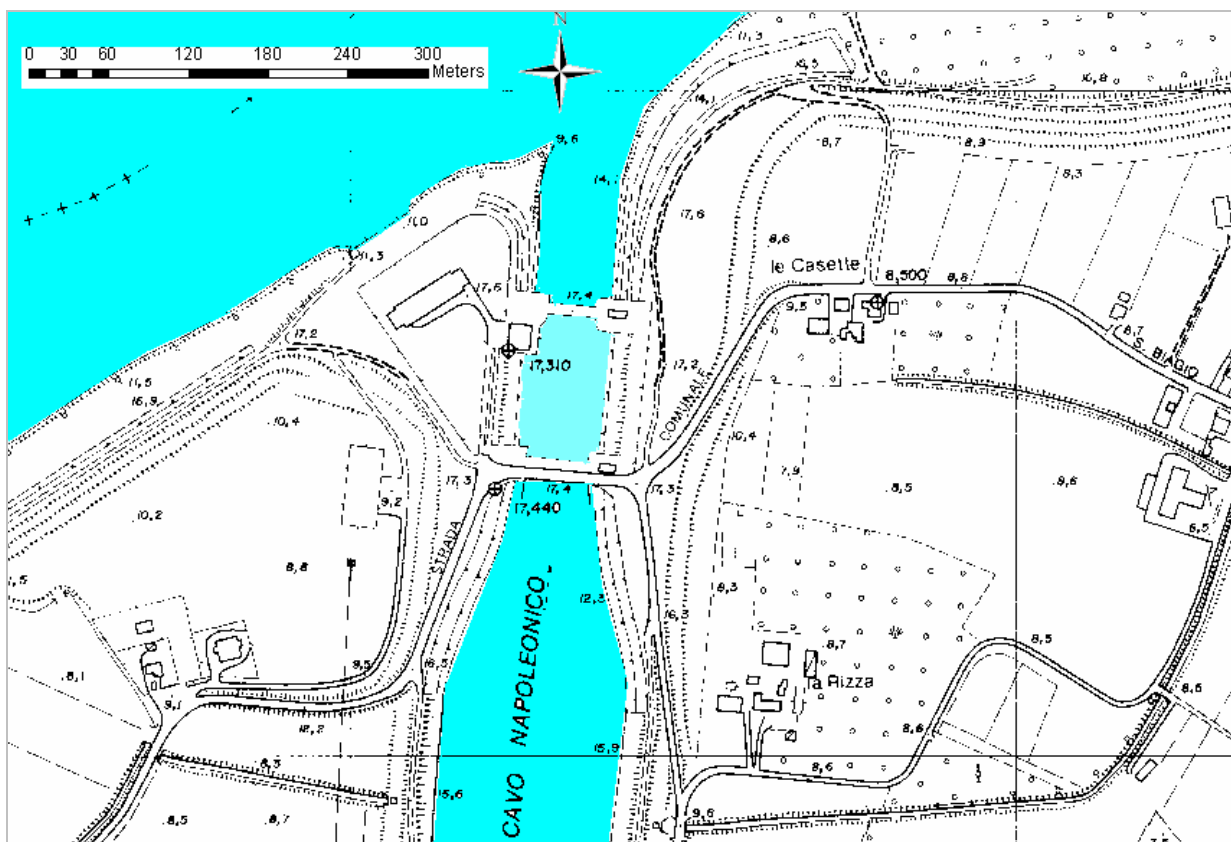


Figura 6-15. Pianta dell'opera di presa in Po

Le acque derivate dal Po defluiscono verso sud lungo l'Attenuatore a quota 10.70 m s.l.m.m..

A Dosso di S. Agostino, sulla sponda ovest dell'Attenuatore, un altro impianto di sollevamento ("S. Agostino ovest") alimenta, con una portata di $7 \text{ m}^3/\text{s}$, il ramo minore del CER ("canalino", anni di realizzazione 1961-1967) a servizio dei comprensori dei Consorzi Valli di Vecchio Reno e Reno Palata, lungo 16,5 km (Figura 6-16).

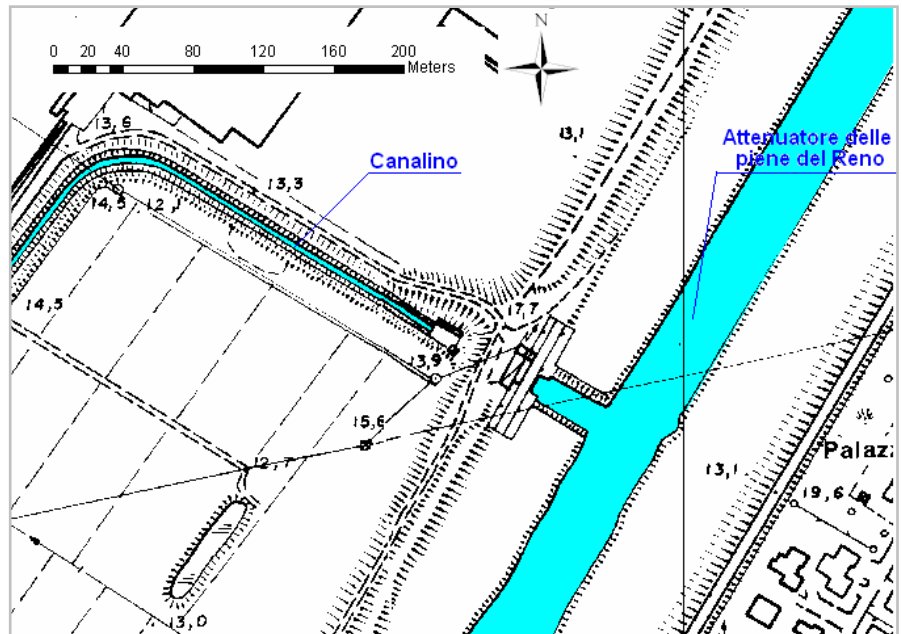


Figura 6-16. Pianta della sponda ovest dell'Attenuatore presso l'impianto S. Agostino ovest

Il canale attraversa l'alta pianura ferrarese e, nelle vicinanze di Cento, conosce un altro sollevamento (impianto "Cento") per una portata di $4,5 \text{ m}^3/\text{s}$ destinata ai territori bolognesi in sinistra del Reno.

Sempre a Sant'Agostino, sulla sponda est dell'Attenuatore, ha inizio l'asta principale (CER), lunga 133 km e destinata all'approvvigionamento idrico dei territori ubicati in destra del fiume Reno (anni di realizzazione, 1957-1963).

Il canale, a sezione trapezia interamente rivestita in conglomerato cementizio (Tavola 6-12 e 6-13), si stacca dalla sponda orientale dell'Attenuatore con un'opera di regolazione a gravità dimensionata per una portata iniziale di $60 \text{ m}^3/\text{s}$ (Figura 6-17). E' importante precisare che l'alimentazione a gravità del canale principale adduttore a servizio dei territori in destra Reno è possibile a partire da una quota d'invaso dell'Attenuatore pari a 9.20 m s.l.m.m..

Nella sezione iniziale del CER è presente un impianto di sollevamento ausiliario destinato a consentire l'alimentazione del canale anche in presenza dei bassi livelli d'invaso imposti all'Attenuatore durante la stagione invernale (7.70 m in luogo dei 10.70 m s.l.m.m.) in relazione

alla funzione di difesa dalle piene del Reno. Tale impianto denominato “S. Agostino est” dispone di una dotazione impiantistica di $7.5 \text{ m}^3/\text{s}$ adeguata a coprire, nel medio periodo, i fabbisogni invernali dei territori in destra del Fiume Reno.

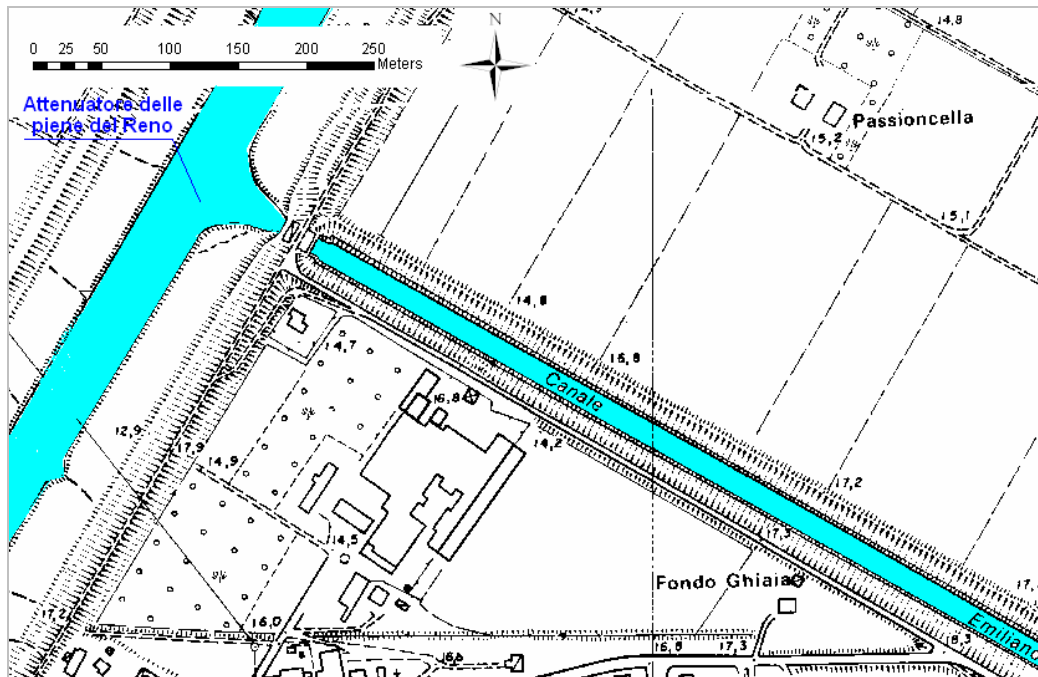


Figura 6-17. Pianta dell'opera a gravità sulla sponda est dell'Attenuatore

Il C.E.R. passa poi in territorio bolognese attraverso la botte sotto il Reno (Figura 6-18), costituita da un grande sifone in cemento armato e due canne di sezione interna $5,00 \times 3,85 \text{ m}$, ed è dimensionata per una portata di $60 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dopo aver sottopassato il Reno, il canale prosegue con un andamento nord-sud sino in prossimità dell'abitato di Galliera (Bologna) ove, a mezzo dell'impianto di partizione e sollevamento della Crevenzosa, la portata viene suddivisa in due frazioni:

- $13 \text{ m}^3/\text{s}$ nei canali Riolo Botte del Consorzio della Bonifica Renana e si immette nel Reno, in località Bastia (località Beccara Nova);
- $47 \text{ m}^3/\text{s}$ proseguono lungo il CER.

Quest'ultima viene sollevata una prima volta alla quota $14,70 \text{ m s.l.m.}$ dall'impianto Crevenzosa e, dopo 8 km , da un secondo impianto posto a est di Pieve di cento, che ne innalza ulteriormente la quota a $18,80 \text{ m s.l.m.}$. Dall'impianto di Pieve di Cento il canale principale si sviluppa per circa 90 km , con deflusso a gravità e con portata via via decrescente, mantenendo un andamento nord-ovest-sud est parallelo alla via Emilia sino a Savio (si veda il profilo longitudinale in Tavola 6-14).

Sulla sponda sinistra di Savio, in località Mensa di Ravenna, un ultimo impianto recentemente realizzato provvede al sollevamento finale, da quota 14.20 a 16.10 m s.l.m., della portata residua (9 m³/s) destinata al tronco terminale del CER che si spinge sino alla sonda destra del torrente Uso, soglia del territorio riminese.

In conclusione si riporta una tabella riassuntiva delle portate erogabili a regime dal sistema CER (Tabella 6-4).

<i>CER in sinistra Reno</i>		<i>CER in destra Reno</i>		
<i>Località</i>	<i>Portata (m³/s)</i>	<i>Località</i>	<i>Portata (m³/s) ESTIVA</i>	<i>Portata (m³/s) INVERNALE</i>
S.Agostino Ovest	7	S.Agostino Est	60	7.5
		Imola	30	
		Faenza	23	
		Forlì	17	
		Cesena	9	
		Rimini	4	

Tabella 6-4. Le portate del sistema CER

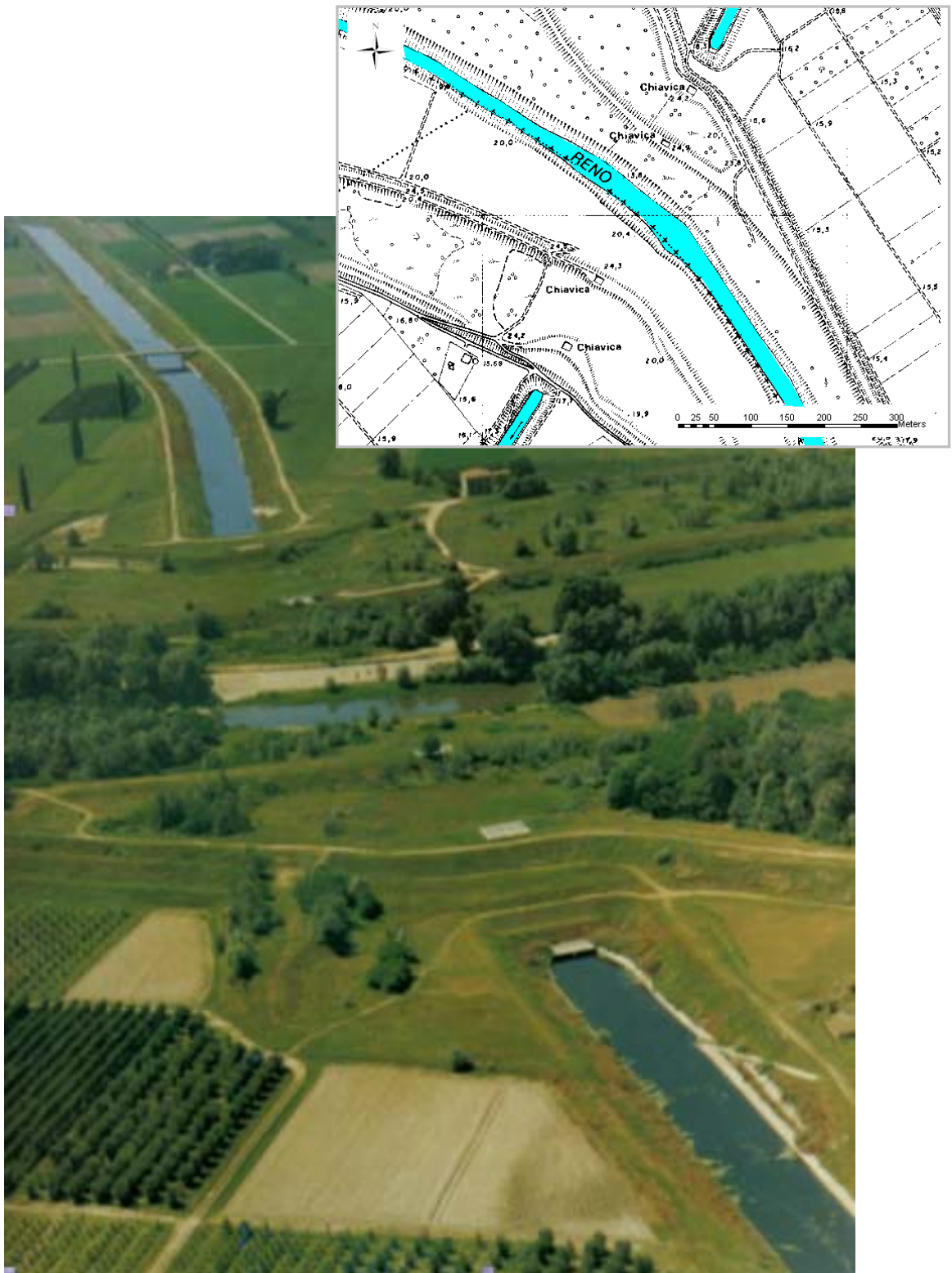


Figura 6-18. Il CER in corrispondenza della botte sottopassante il Reno in località Panfilia (Sant'Agostino)
(A cura di Anna Maria Visser Travagli e Giorgio Vighi,
Terre ed acqua. Le bonifiche ferraresi nel delta del Po, Gabriele Carbo Editore, 1990)

Tavola 6-12

Tavola 6-13

Tavola 6-14

6.5 Il Canale di Cento

6.5.1 Cenni storici

Il Canale di Cento è la continuazione del Canale di S.Giovanni, che forma con questo un unico canale diviso in due tratti: quello a monte, il S. Giovanni è lungo 25 km, l'altro a valle è lungo 44 km. La netta separazione dei due tronchi dello stesso canale è dovuta al fatto che il S.Giovanni è un canale naturale con vita remotissima, che scaricava nelle valli persicetane, mentre il Canale di Cento è un canale artificiale realizzato nel XVI secolo, che raccoglie le acque di scolo provenienti dai Comuni di S. Giovanni in Persiceto, Cento, S. Agostino, Bondeno, Mirabello, Vigarano Mainarda e Ferrara, con scarico nel Po di Volano presso la periferia di Ferrara (Figura 6-19).

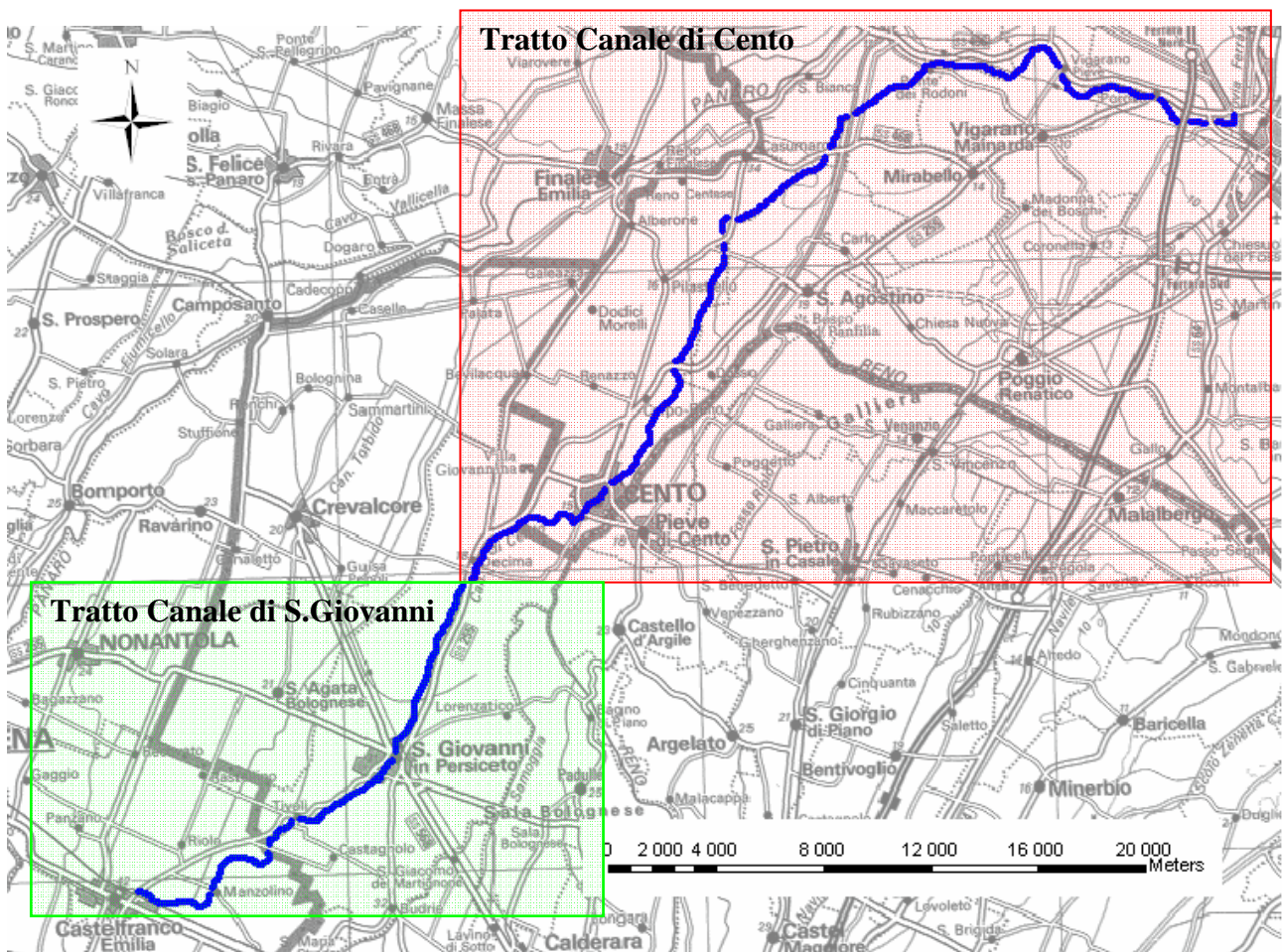


Figura 6-19. Il Canale di S. Giovanni e la sua continuazione come Canale di Cento

Il Canale di San Giovanni ha origine da antichi alvei torrentizi e già nell'Alto Medioevo ne era stato definito il corso ad opera della popolazione locale. Essi avevano raccolto le acque delle risorgive e dei fontanazzi di Castelfranco e Manzolino che impaludavano nelle valli di Castelvecchio e Crevalcore da dove si navigava agevolmente verso il Primaro.

Il Canale costituiva la forza motrice dei mulini su di esso impiantati, alimentava la fossa circondariale a difesa del castello di San Giovanni in Persiceto, regolava l'igiene urbana tramite la pulizia delle cloache interne, favoriva l'irrigazione dei campi circostanti e permetteva la navigazione dopo l'abitato persicetano.

Negli anni 1508 e 1509 il Duca Alfonso d'Este ottenne il permesso di prostrarre il percorso originario del Canale di San Giovanni in direzione di Cento (il Canale di Cento), entrata a far parte dei domini estensi.

Il duca fece così erigere a sue spese una chiavica, un semplice muro, detta "mora di Castelvecchio". Essa bloccava l'accesso del Canale di San Giovanni nel vecchio alveo, denominato Condotto di Castelvecchio. Questo condotto era alimentato da un foro praticato nel muro che derivava minime quantità d'acqua. Il diametro della "mora" diede luogo a frequenti liti tra i due centri.

Altri contrasti sorsero per la regolazione degli afflussi nel periodo di magra del Canale, quando il corso dell'acqua veniva temporaneamente deviato nei vicini scoli per le opere di manutenzione del Canale San Giovanni fino al ponte della Sparadella (Giacomelli, 1983).

Il Canale di Cento era così costantemente alimentato e lungo il suo corso vennero realizzate chiuse e conche di navigazione che consentirono per lungo tempo un discreto traffico di barconi; in corrispondenza di esse sorgevano numerosi mulini che potevano utilizzare i salti d'acqua (Roversi, 1990).

Pertanto, il Canalino di Cento può essere considerato il protagonista primario nella nascita, in secoli andati, dell'economia centese. Un filo d'acqua, conteso da molti come linfa vitale: chi per muovere pale di mulini e opifici, chi per irrigare i campi, chi per impinguare maceratoi da canapa, chi per sorreggere i convogli di barche che conducevano a Ferrara, a Pontelagoscuro, a Ostiglia e a Mantova, o più oltre ancora, la canapa raccolta e lavorata nelle campagne e nella città di Cento (Cazzola, 1980). Ciò è evidente anche nelle stampe del 1600, in particolare si osservi il Territorio di Cento secondo Giovanni Battista Aleotti (Figura 6-20): il Canalino di Cento esce dalla città omonima alla chiavica del Ramedello, abbandonando il vecchio alveo dell'Angelino ed un Canalino di Cento vecchio va nel Panaro presso Dozze nel Bondenese. Giova rilevare che la

navigazione lungo il Canalino di Cento fu resa possibile dalle livellazioni e dai suggerimenti pratici dell'Aleotti al Duca di Ferrara nel 1593 e dalle verifiche del 1618 (Figura 6-21 e Figura 6-22).



Figura 6-20. Territorio di Cento, Giovanni Battista Aleotti detto l'Argenta, 1629 (Roberto Fregna, *Atlante Contese*, Cooperativa Libraria Universitaria Editrice Bologna, 1980)

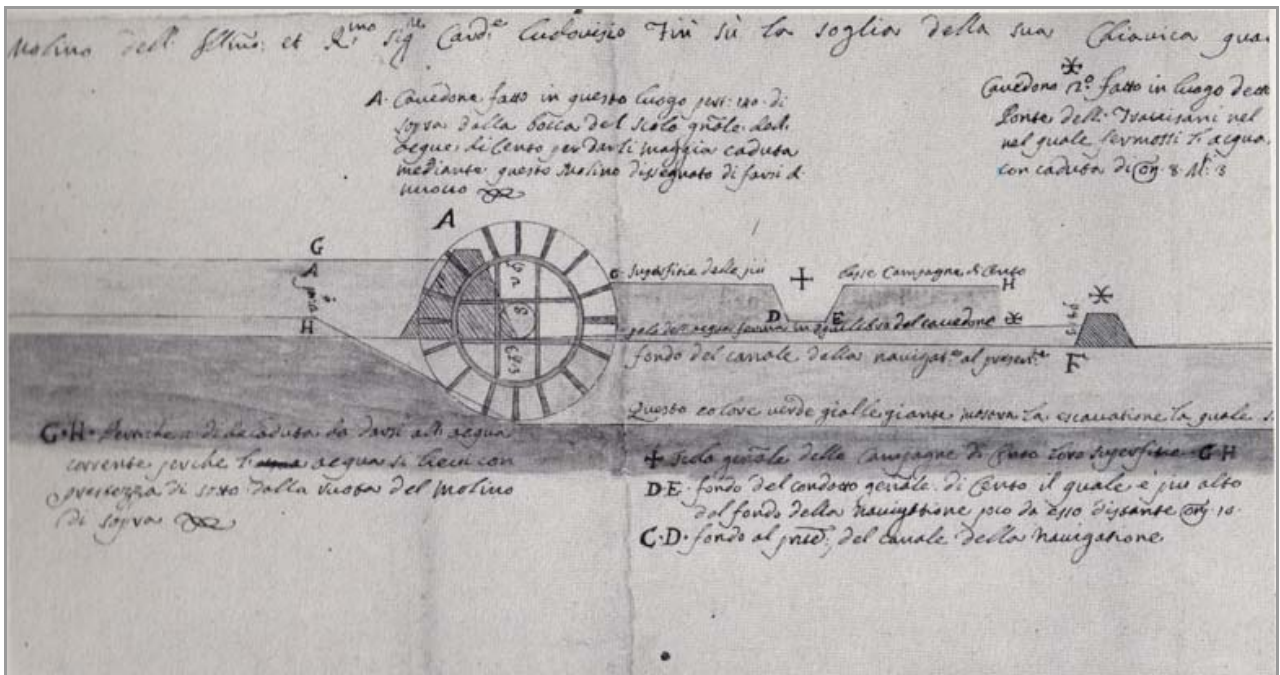


Figura 6-21. Livellazione del fondo del Canalino, che serve per la navigazione da Cento fino all'alveo nel Po di Ferrara, dal di sotto delle ruote dell'acqua del mulino dell'Ill.mo R.mo Sig. Cardinale Ludovico fin sulla soglia della sua chiavica (Roberto Fregna, *Atlante Contese*, Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna, 1980)

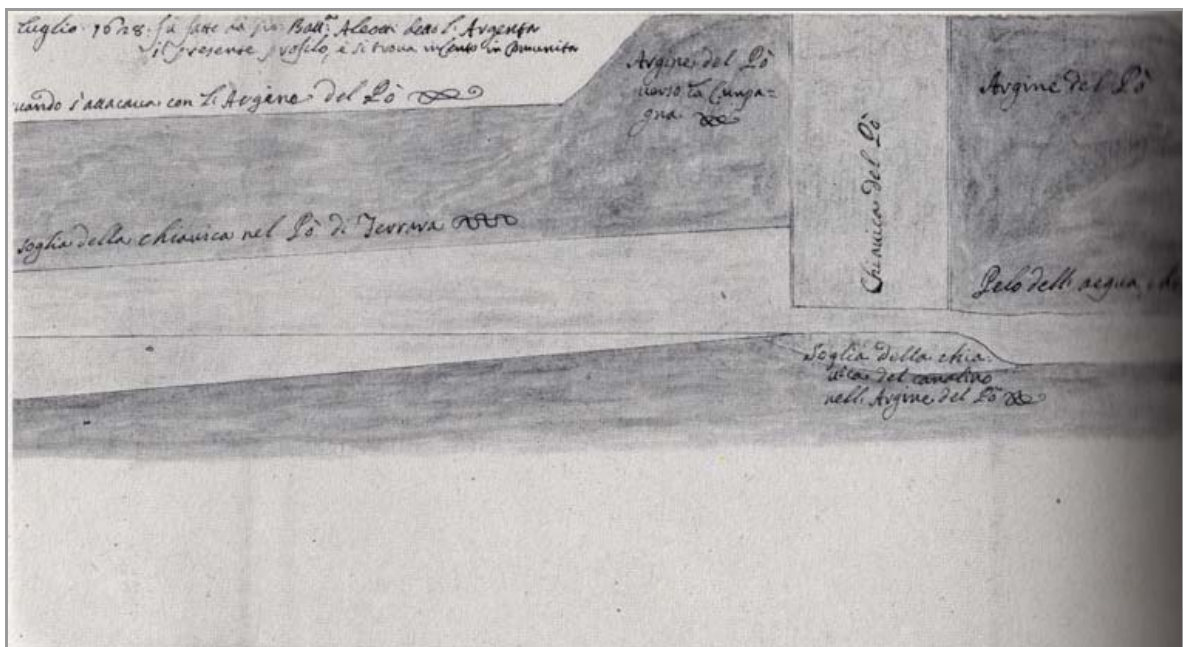


Figura 6-22. Altra immagine sulla livellazione del fondo del canalino (Roberto Fregna, *Atlante Contese*, Cooperativa Libreria Universitaria Editrice Bologna, 1980)

6.5.2 Le caratteristiche fisiche del Canale di Cento

Come accennato precedentemente il Canale di Cento è un importantissimo collettore di bonifica che ha origine a monte di S. Giovanni in Persicelo (con il nome di Canale di S.Giovanni), in provincia di Bologna, nel Comprensorio del Consorzio di Bonifica Reno Palata, e raggiunge poi il comprensorio del Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno a sud di Cento.

Il canale di San Giovanni raccoglie le acque di scolo di un bacino di forma pressoché triangolare compreso tra Castelfranco Emilia e San Giovanni in Persiceto, ritagliato all'interno del bacino del Canale Collettore delle Acque Alte. Immediatamente a valle del centro urbano di San Giovanni in Persiceto, in località Accatà, il canale sovrappassa il Canale Collettore delle Acque Alte e prosegue, senza ricevere ulteriori tributari, fino a San Matteo della Decima dove, assunta la denominazione di Canale di Cento raccoglie gli apporti di 12 bacini di scolo del Consorzio di Bonifica Valli di Vecchio Reno (Paragrafo 5.3.3) e confluisce, per caduta naturale, nel Canale Emissario di Burana-Po di Volano a monte della città di Ferrara.

A seconda delle condizioni idrometriche del tronco interessante il Consorzio Valli di Vecchio Reno, parte dei deflussi di piena, superiori cioè ad un valore di soglia definito in accordo con il Consorzio Valli di Vecchio Reno (indicativamente dell'ordine dei $5.70 \text{ m}^3/\text{s}$ – Montanari, 1963), sono immessi per sfioro nel Canale Collettore delle Acque Alte in corrispondenza del manufatto botte-sifone di Accatà. Infatti, in corrispondenza del sovrappasso del Canale Collettore delle Acque Alte, sono presenti due paratoie, una sul canale di S.Giovanni stesso ed una a monte in sponda sinistra in corrispondenza del Canale Collettore delle Acque Alte la cui regolazione consente di ridurre i deflussi fluenti a valle verso il successivo tratto del Canale gestito dal Consorzio Valli di Vecchio Reno (Canale di Cento) deviandone parte nel sottostante Canale Collettore delle Acque Alte, compatibilmente con la capacità di deflusso di quest'ultimo (Figura 6-23).

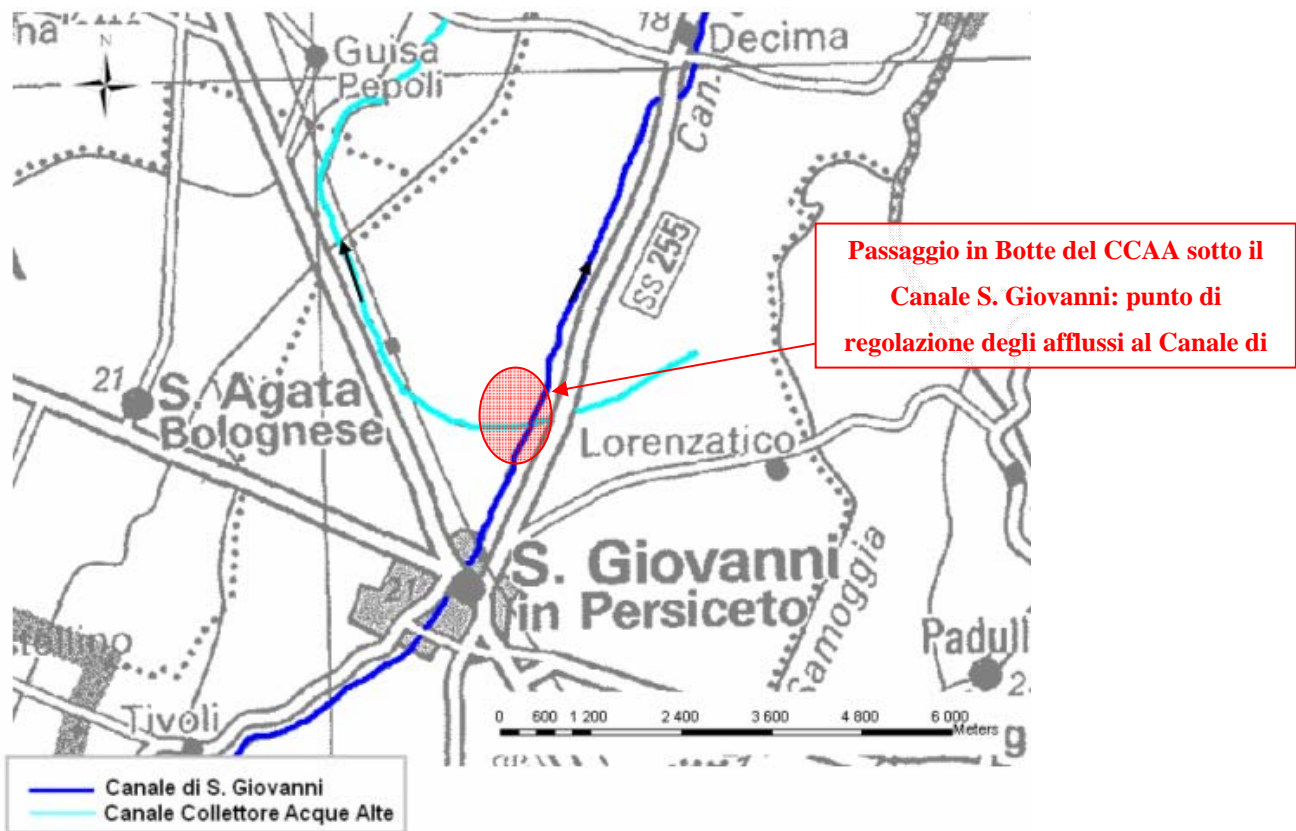


Figura 6-23. Punto chiave nella regolazione dei deflussi tra Canale di S.Giovanni e Canale di Cento

Si precisa che attualmente la portata transitante nel Canale di Cento è nettamente inferiore a quella concordata tra i consorzi di Bonifica Reno Palata e Valli Vecchio Reno e si attesta attorno a 500-600 l/s.

Merita di essere citata anche la cassa di espansione, ubicata in località Manzolino di Castelfranco Emilia (superficie: 32 ha, volume totale di invaso: 820000 m³), che provvede a laminare le piene del Canale di San Giovanni, concorrendo, in tal modo, a garantire la sicurezza idraulica del centro urbano di San Giovanni in Persiceto.

Nel seguito si riporta il profilo longitudinale del Canale di Cento. Le Tavole dalla 6-15 alla 6-18 e le Tavole 6-24 e 6-25, che riportano il tratto dal Ponte via Rondona al Tombinamento Porotto, si riferiscono alle sezioni rilevate nel 2004. Mentre, per il tratto dal Ponte Molino Boschetti al Ponte via Rondona (Tavole 6-19 - 6-24), non soggetto a lavori recenti, si fornisce il profilo longitudinale riportato nel "Progetto di massima per la sistemazione idraulica del comprensorio consorziale" del 1963.

Tavola 6-15

Tavola 6-16

Tavola 6-17

Tavola 6-18

Tavola 6-19

Tavola 6-20

Tavola 6-21

Tavola 6-22

Tavola 6-23

Tavola 6-24

Tavola 6-25

6.6 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap

Per inquadrare geograficamente il fiume Reno, il Cavo Napoleonico, il CER e il Canale di Cento sono stati creati nel progetto ArcMap i tematismi di Tabella 6-5. In particolare, si riportano due layers puntuali: “Impianti_principali” e “Manufatti Principali”, utilizzati per localizzare le opere e sintetizzare i dati relativi al sistema Attenuatore delle piene del Reno - CER .

<i>“Inquadramento territoriale”</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
Tratti fiumi principali	Tratti_fiumi_principali.shp	Reticolo dei fiumi e canali (tipo polygon) di primaria importanza sul territorio in esame
CER	cer.shp	Shape file (tipo polyline) del canale C.E.R.
Impianti_Principali	Impianti_Principali.shp	Shape file di punti che localizzano gli impianti principali connessi al funzionamento dei Fiumi Principali citati precedentemente
Manufatti_Principali	Manufatti_Principali.shp	Shape file di punti che localizzano i manufatti principali connessi al funzionamento dei Fiumi Principali citati precedentemente

Tabella 6-5. I tematismi /layers per la descrizione del fiume Reno, il CER, il Canale di Cento ed il Cavo napoleonico

Il tematismo/layer “Tratti fiumi principali” permette di visualizzare lo scheletro del sistema idraulico dell’Alto Ferrarese:

- il tratto del Po da Sacchetta al Mare Adriatico;
- il tratto del canale Emissario di Burana ricadente nel comune di Bondeno;
- il canale Pilastresi;
- il Canale di Cento;
- il Canale Boicelli;
- il Po di Volano;
- il Po di Primaro;
- il tratto del fiume Reno da Pieve di Cento al Mare Adriatico;
- il Cavo Napoleonico;
- il tratto del CER dalla presa al cavo fino alla botte sotto il Reno.

Mentre, con il tematismo “CER” si può seguire il percorso del canale omonimo sino al mare.

In particolare, per il CER ed il Cavo Napoleonico sono riportate, nella tabella degli attributi, alcune caratteristiche fisiche ed informazioni sulle portate transitate, precedentemente ampiamente descritte.

Infine, utilizzando i tematismi “Impianti_Principali” e “Manufatti_Principali” si localizzano e descrivono:

- i tre impianti di sollevamento: Sant’Agostino Est, Sant’Agostino Ovest e Palantone, riportando nella tabella degli attributi tipo di impianto (Irriguo/Scolo), Prevalenza (m), Potenza (kw), Portata sollevata (m^3/s) e l’anno di costruzione;
- le quattro opere principali: l’opera di presa dal Reno, l’opera di regolazione a gravità in destra al Cavo Napoleonico, l’opera di scarico a Po (o presa per l’alimentazione del CER) e la Botte del CER sotto il Reno. Anche in questo caso nella tabella degli attributi si riportano alcune informazioni sulle portate transitate, e per quanto riguarda il CER distinguendo il periodo 1 (16 maggio-15 settembre) dal periodo 2 (16 maggio-15 settembre).

7 ANALISI PLUVIOMETRICA

7.1 Introduzione

La quantità di acqua che cade al suolo durante un evento di pioggia costituisce il forzante principale per la formazione delle portate di piena dei canali e dei sistemi idrici di raccolta. Per questo motivo lo studio statistico delle precipitazioni giornaliere ed orarie dei massimi annuali costituisce un elemento conoscitivo fondamentale per valutare il grado di rischio idraulico che contraddistingue una rete idrografica.

A tal proposito, nel paragrafo 7.2 si è proceduto all'analisi statistica degli eventi di pioggia estremi utilizzando i dati di pioggia di durata compresa tra 1 e 24 ore e durata 1 giorno.

Utilizzando la metodologia della grandezza indice (cfr. Franchini e Galeati, 1994) si è ottenuta la curva di crescita sulle varie durate che, unitamente alle mappe delle altezze di precipitazione medie orarie di durata 1 ora e 24 ore, consente di stimare l'altezza di pioggia di assegnato tempo di ritorno sulla generica durata in qualunque punto dell'area coperta dei sei comuni fin qui studiati.

Per arricchire il quadro sulla caratterizzazione della pluviometria nella zona in esame, sono stati esaminati, l'evento 9-13 Maggio 1996 e quello dell'2-8 ottobre 2005. Per entrambi si sono ricercati i valori di pioggia oraria, determinati gli ietogrammi di pioggia in ogni stazione pluviometrica e quindi sono stati realizzati i poligoni di Thiessen e calcolati gli ietogrammi areali per ogni bacino di scolo.

7.2 Pluviometria per eventi di pioggia estremi

7.2.1 Introduzione

Lo studio della regionalizzazione delle precipitazioni estreme nell'area dell'Alto Ferrarese è stata svolta al fine di definire valori di altezza di precipitazione di assegnato tempo di ritorno su qualsiasi durata in un qualsiasi punto. E' infatti questo il primo passo necessario per la stima della portata in base alla quale dimensionare una qualsiasi opera idraulica.

Data la natura della stessa procedura di regionalizzazione, l'analisi delle piogge estreme è stata effettuata sull'intera provincia di Ferrara.

La metodologia seguita, in accordo con quanto riportato in letteratura scientifica, ha previsto prima lo studio delle precipitazioni massime annue sulla durata di 1 giorno: una volta ricostruita la curva di crescita relativamente a questa durata, si è eseguita la verifica della sua rappresentatività sulle durate 1, 3, 6, 12 e 24 ore. Nel caso in cui tale rappresentatività non sussista, si è proceduto ad una stima diretta della curva di crescita per ciascun valore di durata. Lo studio è stato completato con la realizzazione delle mappe che descrivono la variabilità spaziale della pioggia di durata di 1 ora e 24 ore¹, che consentono di definire il fattore di dimensionalizzazione delle curve di crescita nel generico punto di interesse secondo le modalità di seguito descritte.

7.2.2 Metodologia

La tecnica utilizzata per la regionalizzazione delle precipitazioni massime consiste nell'individuare:

- una relazione (curva di crescita) che descriva il legame tra il fattore di crescita e la probabilità;
- una relazione che descriva la variabilità sulla regione della grandezza indice.

L'analisi di frequenza delle altezze di pioggia massime annue X_d , relative alle varie durate considerate (d=1 giorno, 1, 3, 6, 12 e 24 ore), è stata sviluppata nell'ipotesi che la distribuzione di probabilità di X_d siano tra loro identiche a meno di un fattore di scala (pioggia indice). E' stata allora ipotizzata un'unica distribuzione di frequenza adimensionale o *curva di crescita*, relativamente alla variabile adimensionale:

$$X' = \frac{X_d}{m_d} \quad [7.1]$$

¹ Per la realizzazione di queste mappe è stata utilizzata la tecnica di interpolazione del kriging in quanto dotata di una buona flessibilità.

$X'(T)$ rappresenta il quantile adimensionale avente probabilità annua di superamento pari a $1/T$, essendo T il tempo di ritorno in anni; di conseguenza l'altezza di assegnato tempo di ritorno $X_d(T)$ sulla durata d , si stima tramite il semplice rapporto:

$$X_d(T) = X'(T) \cdot m_d . \quad [7.2]$$

Questo schema metodologico, utilizzando tutta l'informazione disponibile nelle stazioni di misura dislocate su un'area *omogenea* rispetto alla grandezza idrologica considerata, consente di compensare la limitata informazione presente in ciascuna di esse, come ampiamente descritto nella letteratura scientifica.

Come grandezza di riferimento o grandezza "indice" per un generico punto all'interno del territorio in esame e per un definito tempo di pioggia, viene assunto il corrispondente valore medio m_d dell'altezza massima annuale di precipitazione (Cunnane, 1989).

La dipendenza di m_d da d , coerentemente con la usuale forma monomia della curva di possibilità climatica, viene espressa con la seguente relazione:

$$m_d = m_{1h} \cdot d^\theta \quad \text{con } d \text{ in ore} \quad [7.3]$$

dove:

m_d grandezza indice per durate orarie

m_{1h} media delle altezze di precipitazione massime annue per la durata di 1 ora

θ parametro che è possibile definire nel seguente modo:

$$\theta = \frac{\ln(m_{24h}) - \ln(m_{1h})}{\ln(24)} \quad [7.4]$$

con:

m_{24h} media delle altezze di precipitazione massime annue di 24 ore.

Quindi dall'espressione [7.3] si trova:

$$m_d = m_{1h} \cdot d^{\frac{\ln(m_{24h}) - \ln(m_{1h})}{\ln(24)}} \quad [7.5]$$

per precipitazioni massime annue su durate comprese tra 1 e 24 ore.

La relazione [7.6] mostra come la grandezza indice per le durate intermedie sia deducibile dalle medie relative alle durate di 1 ora e 24 ore.

Sostituendo [7.5] nella [7.2], nel caso delle piogge orarie l'altezza di precipitazione $X_d(T)$ di assegnato tempo di ritorno T e durata d , si stima attraverso la seguente espressione:

$$X_d(T) = X'(T) \cdot m_{1h} \cdot d^{\frac{\ln(m_{24h}) - \ln(m_{1h})}{\ln(24)}} \quad [7.7]$$

7.2.3 Il modello probabilistico

Per quanto attiene la scelta del modello probabilistico da utilizzare per la definizione della curva di crescita si fa ricorso alla distribuzione *GEV* (Generalized Extreme-Value), introdotta da Jenkinson nel 1955. La sua funzione di probabilità cumulata ha la seguente espressione:

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{k \cdot (x - u)}{\alpha}\right]^{1/k}\right\} \quad [7.8]$$

dove:

- x variabile casuale;
- u parametro di posizione;
- α parametro di scala;
- k parametro di forma.

Maggiori dettagli possono essere trovati in APPENDICE C.

7.2.4 I dati utilizzati

Nel presente studio si vuole caratterizzare su base regionale la distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge di durata d inferiore o pari al giorno, pertanto è necessario conoscere le altezze di pioggia massima annuale di durata 1 giorno e $d=1, 3, 6, 12$ e 24 ore.

Nelle Tabella 7-2 e Tabella 7-3 si riportano le caratteristiche delle stazioni pluviometriche considerate, comprensive degli elementi necessari alla loro ubicazione in termini di coordinate X e Y UTM, quota e numerosità campionaria.

In particolare, sono stati reperiti dati di pioggia giornalieri ed orari rispettivamente per un totale di 54 e 37 stazioni pluviometriche distribuite su tutta la provincia di Ferrara ed anche fuori. Fra tutte queste stazioni pluviometriche si sono prese in considerazione solo quelle con un numero sufficiente di anni di osservazioni (10 anni), pertanto sono state trascurate le stazioni di:

- Gorino Sullam;
- Mesola;
- Goro;
- Galliera;
- Minerbio.

In definitiva, la consistenza dell'informazione pluviometrica utilizzata è indicata in Tabella 7-1 e nelle figure seguenti si evidenzia la loro dislocazione abbastanza uniforme su tutta la provincia.

	Dati Giornalieri	Dati orari
<i>n. stazioni</i>	49	35
<i>n. dati</i>	2100	1014 per $d=1, 6, 12$ e 24 ore; 1015 per $d=3$ ore

Tabella 7-1. I dati utilizzati

La marcata differenza tra la numerosità campionaria dei dati a livello giornaliero rispetto a quelli orari giustifica la scelta di considerare *inizialmente* solo le piogge giornaliere per l'individuazione della curva di crescita e di procedere successivamente ad una verifica della rappresentatività della curva di crescita per le piogge orarie.

CAPITOLO 7

<i>Stazioni pluviometriche Giornaliere</i>								
<i>Codice stazione</i>	<i>Stazione</i>	<i>Provincia</i>	<i>Comune</i>	<i>Bacino imbrifero</i>	<i>XUTM</i>	<i>YUTM</i>	<i>Quota (m s.l.m.)</i>	<i>Anni di dati</i>
1906.0	MONDINE	Mantova	Moglia	Fra Crostolo e Secchia	654036	977539	19	29
1911.0	BOTTE SOTTO SECCHIA	Mantova	San Benedetto Po	Fra Crostolo e Secchia	657661	990597	16	44
1949.1	SOLARA	Modena	Bomporto	Fra Secchia e Panaro	666187	959693		5
1950.0	CAVEZZO	Modena	Cavezzo	Fra Secchia e Panaro	660889	966593	24	35
1953.0	S. FELICE SUL PANARO	Modena	S.Felice Sul Panaro	Fra Secchia e Panaro	668794	966799	21	34
1954.0	MIRANDOLA	Modena	Mirandola	Fra Secchia e Panaro	664747	970397	19	51
1955.0	FINALE NELL'EMILIA	Modena	S.Felice Sul Panaro	Fra Secchia e Panaro	678066	965200		32
1956.0	POGGIO RUSCO	Mantova	Poggio Rusco	Fra Secchia e Panaro	668404	981611	12	48
1958.0	MOGLIA DI SERMIDE	Mantova	Sermide	Fra Secchia e Panaro	678762	987455	12	56
1960.0	PASSO DEI ROSSI	Mantova	Poggio Rusco	Fra Secchia e Panaro	673761	978050	11	23
1962.0	CHIAVICHETTA	Mantova	Finale Emilia	Fra Secchia e Panaro	679177	972643	9	28
1963.0	CUCCA-RANGONA	Ferrara	Bondeno	Fra Secchia e Panaro	684229	980200	8	37
1994.5	BONDENO	Ferrara	Bondeno	Fra Po e Reno	690385	973762	13	14
1995.0	RAVARINO	Modena	Ravarino	Panaro	666494	953770	23	27
1996.0	ADRIA	Rovigo	Adria	Fissero-Tartaro-Canal Bianco	742893	995158	4	22
2207.0	FERRARA	Ferrara	Ferrara	Fra Po e Reno	706792	968787	15	66
2207.1	SALVATONICA	Ferrara	Salvatonica	Fra Po e Reno	693484	977658	10	14
2211.0	CENTO	Ferrara	Cento	Fra Po e Reno	681225	955252	15	26
2212.0	SANT' AGOSTINO	Ferrara	S. Agostino	Fra Po e Reno	688491	962721	15	42
2213.0	MARRARA	Ferrara	Ferrara	Fra Po e Reno	712489	955970	9	25
2216.0	COPPARO	Ferrara	Copparo	Fra Po e Reno	723331	975372	2	51
2217.0	CORNACERVINA	Ferrara	Migliarino	Fra Po e Reno	731027	962886	1	46
2218.0	IOLANDA DI SAVOIA	Ferrara	Iolanda di Savoia	Fra Po e Reno	735036	974774	-2	48
2219.0	BERRA	Ferrara	Berra	Fra Po e Reno	734763	985209	2	47
2220.0	ARIANO	Ferrara	Mesola	Fra Po e Reno	746302	981691	0	48
2221.0	CODIGORO	Ferrara	Codigoro	Fra Po e Reno	745417	969295	2	70
2222.0	MAROZZO	Ferrara	Lagosanto	Fra Po e Reno	746692	964709	1	46
2223.0	COMACCHIO	Ferrara	Comacchio	Fra Po e Reno	752166	954168	1	22
2224.0	VALLE PEGA	Ferrara	Comacchio	Fra Po e Reno	751366	952066	-1	20
2225.0	IDROVORA DI GUAGNINO	Ferrara	Comacchio	Fra Po e Reno	754619	953431	1	42
2226.0	BEVILACQUA	Ferrara	Portomaggiore	Fra Po e Reno	728269	956916	1	54
2227.0	MONTESANTO	Ferrara	Portomaggiore	Fra Po e Reno	716171	956495	4	25
2228.0	DENORE	Ferrara	Ferrara	Fra Po e Reno	723758	968187	1	60
2229.0	PORTOMAGGIORE	Ferrara	Portomaggiore	Fra Po e Reno	722271	953306	3	33
2230.0	MARTINELLA	Ferrara	Portomaggiore	Fra Po e Reno	728312	954445	1	29
2231.0	BENVIGNANTE	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	716777	951572	2	58
2232.0	ARGENTA	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	725025	944442	4	40
2233.0	BANDO	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	728820	947574	3	60
2234.0	UMANA	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	746981	938144	1	26
2275.0	BAGNO DI PIANO	Bologna	Sala Bolognese	Reno (Samoggia)	680891	946750	24	57
2285.0	ARGELATO	Bologna	Argelato	Reno (Savena-Idice)	686094	945973	25	28
2286.0	SAN PIETRO IN CASALE	Bologna	S. Pietro in Casale	Reno (Savena-Idice)	690528	952589	17	33
2288.0	MALALBERGO	Bologna	Malalbergo	Reno (Savena-Idice)	700539	955058	12	62
2294.0	ALBERINO	Bologna	Molinella	Reno (Savena-Idice)	709618	948091	10	56
2295.0	SAIARINO	Ravenna	Argenta	Reno (Savena-Idice)	723296	944692	12	45
2314.0	SANT' ANTONIO	Bologna	Medicina	Reno (Sillaro)	715983	937738	10	43
2317.0	PORTONOVO	Bologna	Medicina	Reno (Sillaro)	718673	934585	8	48
2338.0	ALFONSINE	Ravenna	Alfonsine	Canale in destra Reno	741957	932452	7	69
2350.0	MARINA DI RAVENNA	Ravenna	Ravenna	Canale Corsini	760815	930963	3	57

Tabella 7-2. Le stazioni pluviometriche giornaliere

CAPITOLO 7

<i>Stazioni pluviometriche Orarie</i>								
<i>Codice</i>	<i>Stazione</i>	<i>Provincia</i>	<i>Comune</i>	<i>Bacino</i>	<i>XUTM</i>	<i>YUTM</i>	<i>Quota</i>	<i>Anni</i>
<i>stazione</i>				<i>inbrifero</i>			<i>(m s.Lm.)</i>	<i>di dati</i>
1949.1	SOLARA	Modena	Bomporto	Fra Secchia e Panaro	666187	959693		6
1954.0	MIRANDOLA	Modena	Mirandola	Fra Secchia e Panaro	664747	970397	19	6
1956.0	POGGIO RUSCO	Mantova	Poggio Rusco	Fra Secchia e Panaro	668404	981611	12	17
1958.0	MOGLIA DI SERMIDE	Mantova	Sermide	Fra Secchia e Panaro	678762	987455	12	19
1960.0	PASSO DEI ROSSI	Mantova	Poggio Rusco	Fra Secchia e Panaro	673761	978050	11	3
1995.0	RAVARINO	Modena	Ravarino	Panaro	666494	953770	23	7
1996.0	ADRIA	Rovigo	Adria	Fissero-Tartaro-Canal Bianco	742893	995158	4	22
2207.0	FERRARA	Ferrara	Ferrara	Fra Po e Reno	706792	968787	15	55
2207.1	SALVATONICA	Ferrara	Salvatonica	Fra Po e Reno	693484	977658	10	6
2213.0	MARRARA	Ferrara	Ferrara	Fra Po e Reno	712489	955970	9	29
2216.0	COPPARO	Ferrara	Copparo	Fra Po e Reno	723331	975372	2	34
2217.0	CORNACERVINA	Ferrara	Migliarino	Fra Po e Reno	731027	962886	1	46
2218.0	IOLANDA DI SAVOIA	Ferrara	Iolanda di Savoia	Fra Po e Reno	735036	974774	-2	62
2219.0	BERRA	Ferrara	Berra	Fra Po e Reno	734763	985209	2	34
2220.0	ARIANO	Ferrara	Mesola	Fra Po e Reno	746302	981691	0	36
2221.0	CODIGORO	Ferrara	Codigoro	Fra Po e Reno	745417	969295	2	68
2222.0	MAROZZO	Ferrara	Lagosanto	Fra Po e Reno	746692	964709	1	13
2224.0	VALLE PEGA	Ferrara	Comacchio	Fra Po e Reno	751366	952066	-1	8
2225.0	IDROVORA DI GUAGNINO	Ferrara	Comacchio	Fra Po e Reno	754619	953431	1	42
2226.0	BEVILACQUA	Ferrara	Portomaggiore	Fra Po e Reno	728269	956916	1	16
2227.0	MONTESANTO	Ferrara	Portomaggiore	Fra Po e Reno	716171	956495	4	16
2228.0	DENORE	Ferrara	Ferrara	Fra Po e Reno	723758	968187	1	44
2230.0	MARTINELLA	Ferrara	Portomaggiore	Fra Po e Reno	728312	954445	1	16
2231.0	BENVIGNANTE	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	716777	951572	2	37
2232.0	ARGENTA	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	725025	944442	4	18
2233.0	BANDO	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	728820	947574	3	22
2234.0	UMANA	Ferrara	Argenta	Fra Po e Reno	746981	938144	1	20
2275.0	BAGNO DI PIANO	Bologna	Sala Bolognese	Reno (Samoggia)	680891	946750	24	46
2285.0	ARGELATO	Bologna	Argelato	Reno (Savena-Idice)	686094	945973	25	20
2288.0	MALALBERGO	Bologna	Malalbergo	Reno (Savena-Idice)	700539	955058	12	68
2294.0	ALBERINO	Bologna	Molinella	Reno (Savena-Idice)	709618	948091	10	38
2295.0	SAIARINO	Ravenna	Argenta	Reno (Savena-Idice)	723296	944692	12	27
2314.0	SANT' ANTONIO	Bologna	Medicina	Reno (Sillaro)	715983	937738	10	38
2338.0	ALFONSINE	Ravenna	Alfonsine	Canale in destra Reno	741957	932452	7	15
2350.0	MARINA DI RAVENNA	Ravenna	Ravenna	Canale Corsini	760815	930963	3	61

Tabella 7-3. Le stazioni pluviometriche orarie

Si precisa che per le stazioni di Solara e Finale nell'Emilia non si è reperita con precisione la quota sul livello medio mare e pertanto sono omesse.

Tavola 7.1. Ubicazione stazioni pluviometriche giornaliere

Tavola 7.2 . Ubicazione stazioni pluviometriche orarie

7.2.5 Stima regionale della pioggia di assegnata durata e tempo di ritorno

a) Piogge massime giornaliere

Assunta come variabile aleatoria il valore massimo annuale adimensionale di precipitazione di durata 1 giorno (dove il fattore di adimensionalizzazione è la precipitazione media annua sulla durata di 1 giorno), l'idea di base per la regionalizzazione su un'area pluviometricamente omogenea, è che tutti i valori provenienti da registrazioni in diverse stazioni, possano essere ritenuti come appartenenti ad un *unico campione* (anno-stazione).

In questo modo si può direttamente stimare, su un campione di dati con elevata numerosità, la legge di distribuzione di probabilità per l'intera zona considerata.

La validità di questo metodo è legata all'ipotesi fatta che la variabile aleatoria scelta sia analogamente distribuita in tutti i punti della regione, e che gli eventi storici registrati nelle diverse stazioni di misura siano tra loro indipendenti.

Come già accennato, si è assunto che l'altezza di pioggia adimensionale (fattore di crescita), per un fissato tempo di durata dell'evento (in questo caso pari ad 1 giorno), possa essere distribuita secondo la legge GEV (Generalized Extreme Values) a tre parametri e ciò è in accordo agli studi sviluppati dal GNDCI sulla zona in esame.

La curva di crescita giornaliera, ottenuta considerando un unico campione di dati di 49 stazioni per un totale di 2100 valori di osservazioni di altezza di pioggia adimensionale, è riportata in Figura 7.1 dove è posta a confronto con la curva di frequenza campionaria.

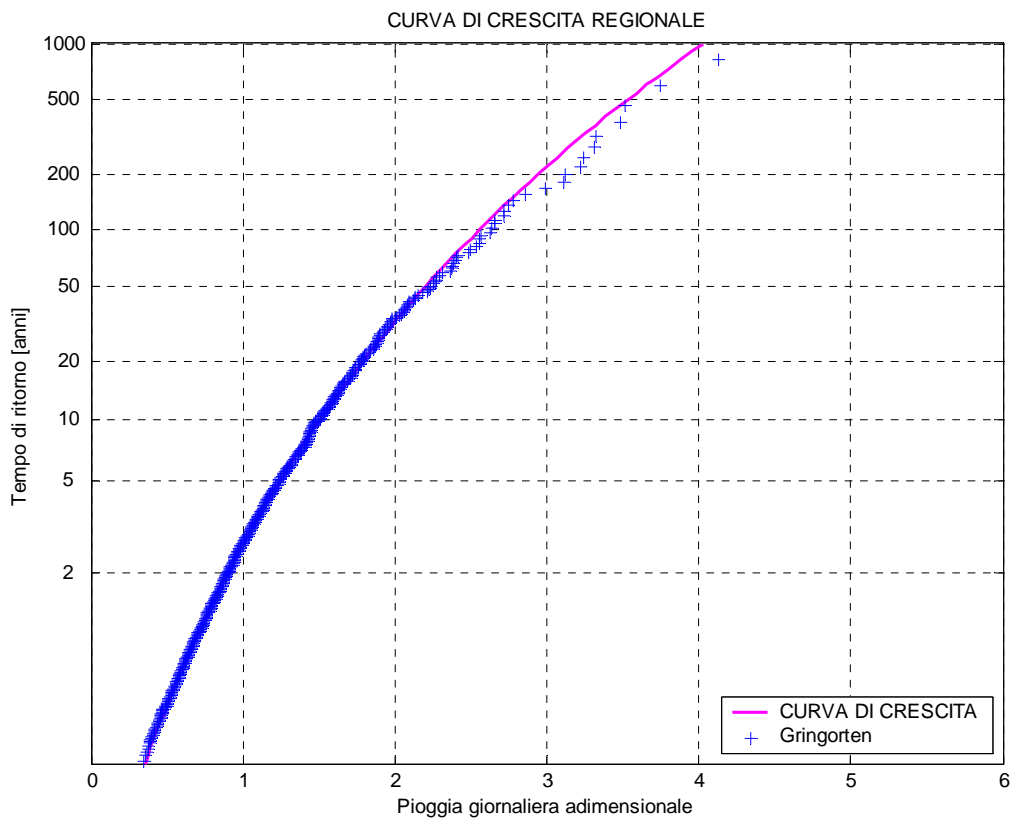


Figura 7-1. Curva di crescita regionale giornaliera confrontata con la curva di frequenza campionaria

Per completezza, di seguito si riportano i parametri che caratterizzano la curva di crescita regionale ottenuta:

<i>Parametri della curva di crescita regionale giornaliera</i>		
<i>Parametri</i>	<i>simbologia</i>	<i>valori</i>
Parametro di posizione	u	0.8026
Parametro di scala	α	0.2608
Parametro di forma	k	-0.1553
L-moment 1	l_1	1
L-moment 2	l_2	0.2133
L-moment 3	l_3	0.0583
L-moment	t_3	0.2732

Tabella 7-4. Parametri della curva di crescita regionale giornaliera

In ALLEGATO 1 si include il listato del programma in Matlab creato per realizzare la curva di crescita regionale.

b) Piogge massime orarie

La rappresentatività della curva di crescita stimata sui dati di precipitazione massima giornaliera si effettua verificando che i dati osservati di 1, 3, 6, 12 e 24 ore, rientrino in buona parte nella fascia di confidenza o fascia di variabilità (sempre in ALLEGATO 1 si includono i listati del programma in Matlab creati per realizzare la fascia di confidenza ed il confronto tra la distribuzione di frequenza teorica, dedotta dai dati giornalieri, ed osservata per ciascuna delle cinque durate).

Nelle figure seguenti vengono mostrati i grafici di confronto.

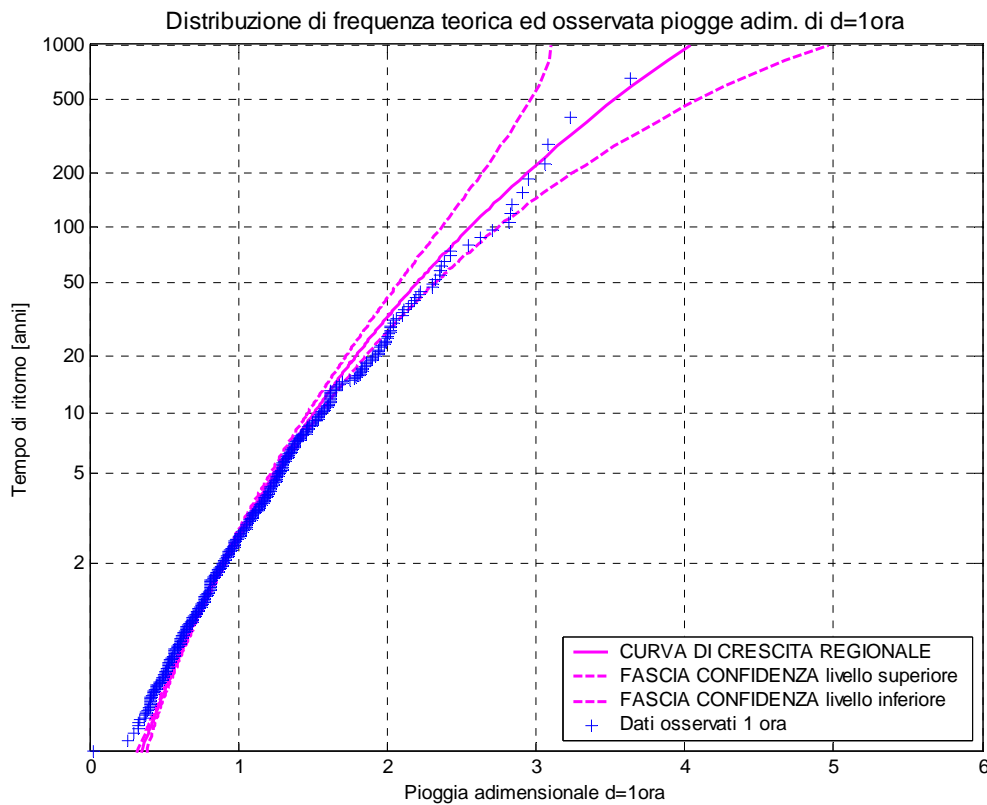


Figura 7-2. Distribuzione di frequenza teorica e campionaria della pioggia adim. di 1ora e fascia di confidenza

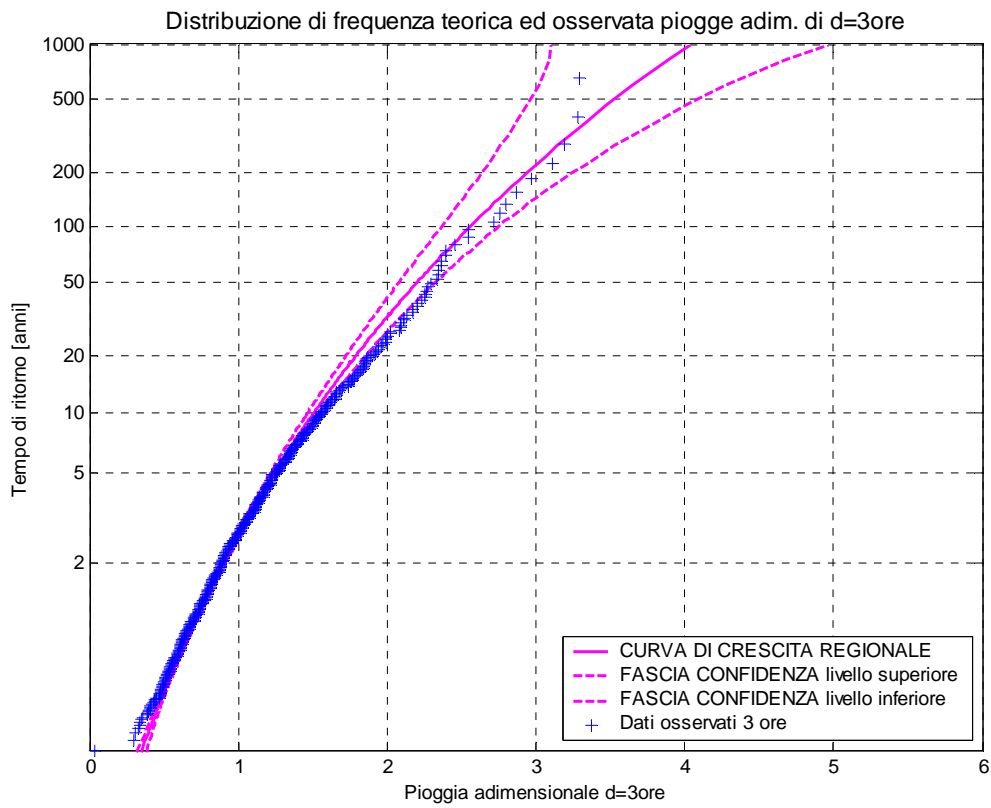


Figura 7-3. Distribuzione di frequenza teorica e campionaria della pioggia adim. di 3 ore e fascia di confidenza

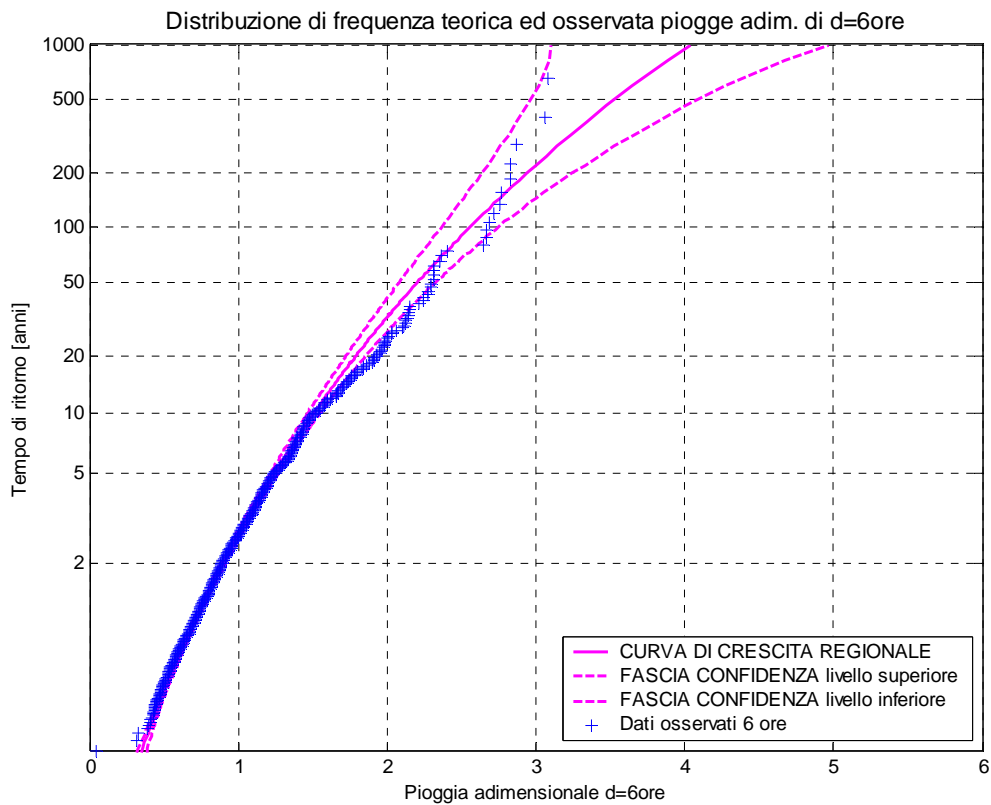


Figura 7-4. Distribuzione di frequenza teorica e campionaria della pioggia adim. di 6 ore e fascia di confidenza

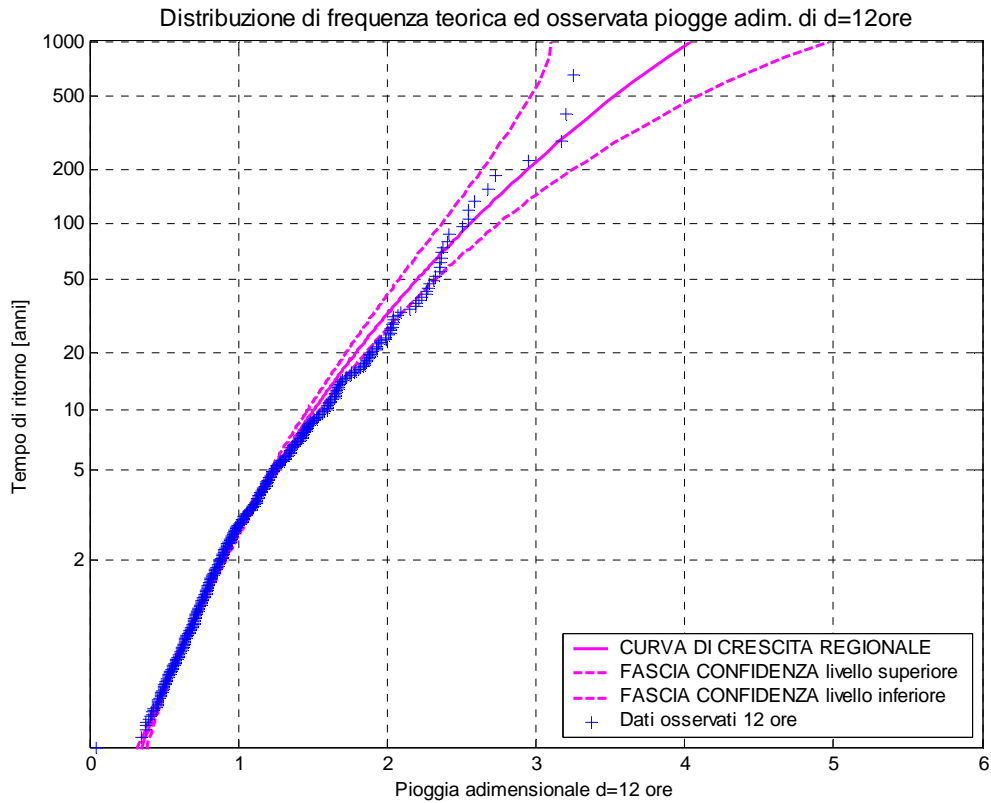


Figura 7-5. Distribuzione di frequenza teorica e campionaria della pioggia adim. di 12 ore e fascia di confidenza

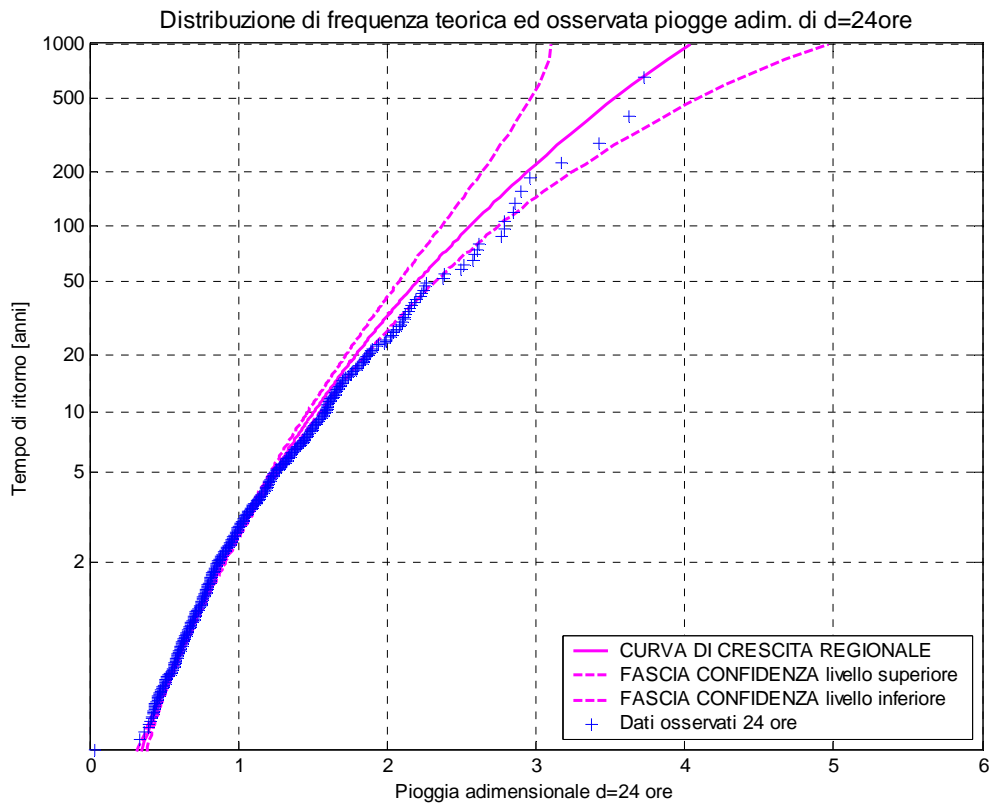


Figura 7-6. Distribuzione di frequenza teorica e campionaria della pioggia adim. di 24 ore e fascia di confidenza

I grafici precedenti mostrano che la curva di crescita stimata sui dati di precipitazione massima annua ha una rappresentatività limitata del comportamento probabilistico delle precipitazioni massime annue sulle altre durate. Per questo è stato ritenuto opportuno ristimare i parametri del fattore di crescita sulle singole durate, ottenendo i seguenti parametri della distribuzione GEV.

<i>Parametri della distribuzione GEV sulle singole durate</i>						
<i>Parametri</i>	<i>simbologia</i>	<i>1 ora</i>	<i>3 ore</i>	<i>6 ore</i>	<i>12 ore</i>	<i>24 ore</i>
Parametro di posizione	u	0.7885	0.7900	0.7949	0.7931	0.7834
Parametro di scala	α	0.2980	0.2789	0.2744	0.2599	0.2647
Parametro di forma	k	-0.1191	-0.1523	-0.1483	-0.1830	-0.1981
L-moment 1	l_1	1	1	1	1	1
L-moment 2	l_2	0.2335	0.2273	0.2225	0.2201	0.2285
L-moment 3	l_3	0.0580	0.0616	0.0597	0.0644	0.0693
L-moment	t_3	0.2484	0.2712	0.2684	0.2926	0.3032

Tabella 7-5. Parametri della distribuzione GEV per le varie durate

7.2.6 Metodo di stima della grandezza indice

Come già osservato nel paragrafo 7.2.2, il valore medio indicato con m_d nel generico punto di interesse si riconduce a quello di m_{1h} e m_{24h} .

Per valutare queste due grandezze in un punto qualsiasi del territorio in esame, si potrebbe in linea di principio fare ricorso a legami del tipo:

$$m_{1h} = f(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n) \quad [7.9]$$

$$m_{24h} = f(p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n) \quad [7.10]$$

essendo p_i l'i-esimo parametro morfoclimatico caratteristico del punto considerato.

Queste relazioni non possono essere costruite se non per tentativi ed in a costo di un'elevata frammentazione della zona considerata. Una possibile strada alternativa, come quella adottata in questo caso, consiste nel tracciare mappe delle isolinee m_{1h} e m_{24h} , mediante tecniche di interpolazione (kriging, spline, inverse distance weighed ecc.).

Queste isolinee sono state ricostruite utilizzando il pacchetto software SURFER 8.0 (Golden Software, 2002), dove come dato di input sono state fornite le medie dei massimi orari di pioggia di durata 1 ora e 24 ore di ogni stazione pluviometrica considerata e fra le diverse tecniche di interpolazione geostocastiche esistenti è stato scelto il metodo del *kriging*.

Attraverso tali mappe è possibile ricavare i valori di m_{1h} e m_{24h} in un qualunque punto dell'area esaminata, e quindi, tramite la [7.5], calcolare il valore medio dell'altezza di precipitazione m_d relativo alla durata di interesse.

Le carte contenenti le isolinee delle statistiche m_{1h} e m_{24h} sono rispettivamente riportate nelle Tavole seguenti.

Tavola 7.3. Isoleee delle medie dei massimi annuali di pioggia di durata 1 ora

Tavola 7.4. Isolinee delle medie dei massimi annuali di pioggia di durata 24 ore

7.3 Pluviometria per gli eventi in continuo

7.3.1 Introduzione

I disastrosi eventi alluvionali del 1996 e successivamente quelli del 2005 hanno interessato in maniera sostanzialmente omogenea tutta l'area dell'Alto Ferrarese, portando ad una crisi generalizzata del sistema scolante di tutti e tre i Consorzi di bonifica considerati.

Nella loro globalità questi due eventi di pioggia, che hanno caratterizzato rispettivamente i giorni del 9-13 maggio 1996 e la settimana dal 2 all'8 ottobre 2005, possono essere definiti certamente non comuni sia per durata (5 giorni per l'evento di maggio e 7 per l'evento di ottobre) che per altezza di pioggia totale (una media di 98 mm per l'evento del 1996 - trascurando la stazione di Cipollette – e una media di 102 mm per l'evento del 2005).

Nel seguito verranno descritti questi due eventi sottolineando le caratteristiche delle stazioni pluviometriche utilizzate, i dati registrati in ognuna di esse, la creazione delle isolinee dei totali di pioggia e calcolo della pioggia areale su ogni bacino dei tre consorzi di bonifica tramite la costruzione dei poligoni di Thiessen.

7.3.2 L'evento del maggio 1996

La ricostruzione dell'evento meteorico, manifestatosi nei giorni dal 9 al 13 maggio 1996 su tutta l'area pertinente ai tre consorzi di bonifica, è imperniata sulle misure di pioggia puntuale effettuate a terra in 16 stazioni pluviometriche.

Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche principali di queste stazioni, evidenziando in particolare il tipo, la gestione ed il passo con cui sono stati forniti i dati registrati.

<i>Nome</i>	<i>Tipo</i>	<i>Passo</i>	<i>Periodo</i>	<i>Gestione</i>
Cipollette	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Passo Dei Rossi	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Canaletto	Pluviometro	8 ore	1991-1999	Burana
Dogaro	Pluviometro	8 ore	1991-1999	Burana
Montalbano	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Fossa Mozza	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Santa Bianca	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Botte Napoleonica	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Sant'Agostino	Pluviografo meccanico (SIAP)	1giorno	1995-2007	Valli Vecchio Reno
Ponte Rodoni	Pluviografo meccanico (SIAP)	1giorno	1995-2007	Valli Vecchio Reno
Torniano	Telecontrollo (ETG)	30 min	2002-2007	Valli Vecchio Reno
Spinazzino	Pluviografo meccanico (SIAP)	1giorno	1995-2007	Valli Vecchio Reno
Sant'Antonino	Pluviografo	1 giorno	/	II Circondario
Betto	Pluviografo	30 min	1981-2006	Cella Diamantina
Capodargine	Pluviografo	30 min	1994-2006	Cella Diamantina

Tabella 7-6. I pluviometri utilizzati e le loro caratteristiche

Dai dati forniti dalle stazioni di Sant'Agostino, Ponte Rodoni, Spiazino e Sant'Antonino sono state dedotti direttamente, con l'utilizzo di un foglio di calcolo, gli ietogrammi di altezza di pioggia oraria per il periodo dal 9 al 13 Maggio 1996, ovviamente ipotizzando una distribuzione uniforme nell'arco della durata pari al tempo di scansione dei dati.

Per la stazione in telecontrollo di Torniano, che fornisce la misurazione di altezza di pioggia ogni mezz'ora, sono stati calcolati i cumulativi orari e lo ietogramma corrispondente.

Invece, per le stazioni di Cipollette, Passo dei Rossi, Cataletto, Dogato, Montalbano, Fossa Mozza, Santa Bianca e Botte Napoleonica, di cui si dispone di misure di altezza di pioggia cumulata su intervalli di otto ore (letture avvenute alle ore 7:00-15:00-23:00 di ogni giorno), si è ricavato il corrispondente valore di intensità di pioggia oraria distribuendo uniformemente l'altezza totale sulle otto ore.

In ALLEGATO 2 si riportano le tabelle e gli ietogrammi di ciascuna stazione pluviometrica descritta in Tabella 7-6.

Dallo studio di queste tabelle si può affermare che la pioggia ha avuto inizio nel pomeriggio del 9 maggio '96, con picchi nella giornata del 12 e come si osserva nella seguente tabella, se si trascura la stazione di Cipollette, l'evento è caratterizzato da precipitazioni particolarmente intense con altezze di pioggia variabili dai 60 ai 130 mm; l'unico valore anomalo si ha in corrispondenza della stazione sopra citata (Cipollette: 33.8 mm).

<i>Stazioni pluviometriche</i>	<i>Totali (mm)</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
Cipollette	33.8	686986	976437
Passo Dei Rossi	115.5	673922	979699
Canaletto	111.1	677490	968055
Chiavica Secchia	57.4	656062	954724
Dogaro	111.0	673524	964918
Montalbano	75.2	662774	970007
Fossa Mozza	114.2	678537	980580
Santa Bianca	115.0	687782	970074
Botte Napoleonica	107.9	690690	972989
Sant'Agostino	70.4	687943	962430
Ponte Rodoni	123.8	693450	971116
Torniano	70.8	700292	959274
Spinazzino	69.2	707758	953906
Betto	129.8	705424	972012
Sant'Antonino	80.8	713112	965140
Capodargine	120.8	692156	977684

Tabella 7-7. I valori di pioggia totale dell'evento maggio '96 (per ogni stazione si riportano anche le coordinate X ed Y UTM per la loro localizzazione sul territorio)

In effetti, i 33.8 mm di Cipollette sono discutibili in quanto palesemente in contrasto con quelli degli altri pluviometri (peraltro lo strumento posizionato in Cipollette sembra “coperto” da strutture e quindi soggetta ad una sottostima della precipitazione). Per questo si è ritenuto opportuno non considerare questa stazione nel momento in cui si sono tracciate le isolinee descriventi i totali di pioggia sulle varie stazioni pluviometriche (Tavola 7-5).

Tavola 7.5. Isoleee dei totali di pioggia: 9-13 Maggio 1996

7.3.3 L'evento dell'ottobre 2005

Rispetto all'evento del maggio 1996, la ricostruzione dell'evento meteorico dell'ottobre 2005 è imperniata sulle misure di pioggia puntuale di ben 18 stazioni pluviometriche, dislocate prevalentemente sui territori gestiti dai consorzi di bonifica Valli Vecchio Reno e Cella Diamantina. Nella tabella seguente sono riportate le caratteristiche principali di queste stazioni, evidenziando in particolare il tipo, la gestione ed il passo con cui sono stati forniti i dati registrati (la stazione di Cipollette per quanto già osservato con riferimento all'evento del maggio 1996 non viene trattata in quanto considerata non attendibile).

<i>Nome</i>	<i>Tipo</i>	<i>Passo</i>	<i>Periodo</i>	<i>Gestione</i>
Sant'Agostino	Pluviografo meccanico (SIAP)	1 giorno	1995-2007	Valli Vecchio Reno
Ponte Rodoni	Pluviografo meccanico (SIAP)	1 giorno	1995-2007	Valli Vecchio Reno
Torniano	Telecontrollo (ETG)	30 min	2002-2007	Valli Vecchio Reno
Spinazzino	Pluviografo meccanico (SIAP)	1 giorno	1995-2007	Valli Vecchio Reno
Sant'Egidio	Telecontrollo (ETG)	30 min	06/10/2002	Valli Vecchio Reno
Torre Fossa	Telecontrollo (ETG)	30 min	2002 -2007	Valli Vecchio Reno
Betto	Pluviografo	30 min	1981-2006	Cella Diamantina
Capodargine	Pluviografo	30 min	1994-2006	Cella Diamantina
Pontisette	Telepluviometro	30 min	2004-2006	Cella Diamantina
Sette Polesine	Telepluviometro	30 min	2004-2006	Cella Diamantina
Valletta	Telepluviometro	30 min	1997-2006	Cella Diamantina
Cipollette	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Passo Dei Rossi	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Chiavica Vallazza	Pluviometro	1 ora	2000-luglio 2007	Burana
Montalbano	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana
Fossa Mozza	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana

Pilastresi	Pluviometro	1 ora	2000-luglio 2007	Burana
Santa Bianca	Pluviometro	8ore dal '91 al '99; 1ora dal '99 al '07;	1991-luglio 2007	Burana

Tabella 7-8. I pluviometri utilizzati e le loro caratteristiche

I dati forniti dalle stazioni di Ponte Rodoni, Sant'Agostino e Spinazzino sono state dedotti direttamente dal supporto cartaceo custodito dal consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno.

Dai dati forniti dalle stazioni che riportano la misura ogni ora, sono state dedotti direttamente, con l'utilizzo di un foglio di calcolo, gli ietogrammi di altezza di pioggia oraria per il periodo dal 2 al 8 ottobre 2005.

Per le stazioni gestite dal consorzio di bonifica Burana-Leo Scoltenna-Panaro, esclusa Chiavica Vallazza, per cui si hanno i dati cumulativi ogni 8 ore, tramite foglio di calcolo sono state ricavate le altezze di pioggia registrata ogni ora; mentre per le stazioni di Betto, Capodargine, Valletta, Settepolesini, Pontisette, Sant'Egidio, Torre Fossa e Torniano, che forniscono la misurazione di altezza di pioggia ogni mezz'ora, sono stati calcolati i cumulativi orari.

In ALLEGATO 2 si riportano le tabelle e gli ietogrammi di ciascuna stazione pluviometrica descritta in Tabella 7-8.

Procedendo analogamente all'evento del maggio 1996, dallo studio di queste tabelle si può affermare che la pioggia ha avuto inizio il pomeriggio di domenica 2 ottobre '05 e nuove precipitazioni sono avvenute il lunedì pomeriggio del 3, la sera e la notte fra il martedì 4 e mercoledì 5 ottobre, raggiungendo intensità eccezionale dalla tarda serata di giovedì 6 ottobre soprattutto in corrispondenza del comune di Cento.

Come si osserva nella seguente tabella l'evento è caratterizzato da precipitazioni intense con altezze di pioggia anche maggiori del maggio '96 e variabili dai 70 ai 130 mm.

<i>Stazioni pluviometriche</i>	<i>Totali (mm)</i>	<i>X utm</i>	<i>Y utm</i>
Sant'agostino	99.6	687943	962430
Ponte Rodoni	83.2	693450	971116
Torniano	118.8	700292	959274
Spinazzino	99.0	707758	953906
Sant'Egidio	75.4	709459	959403
Torre Fossa	115.2	707371	964340
Betto	98.4	705360	972018
Capodargine	91.4	692156	977684
Pontisette	106.6	701242	972023
Sette Polesine	97.4	694108	974532
Valletta	111.4	697119	976709
Passo Dei Rossi	129.4	673922	979699
Chiavica Vallazza	90.0	677389	983595
Montalbano	118.8	662774	970007
Fossa Mozza	111.8	678537	980580
Pilastresi	88.2	690508	978878
Santa Bianca	108.0	687782	970074

Tabella 7-9. I valori di pioggia totale dell'evento ottobre 2005 (per ogni stazione si riportano anche le coordinate X ed Y UTM per la loro localizzazione sul territorio)

Se si considerano le isolinee (Tavola 7-6) realizzate analogamente all'evento del maggio '96 si nota un aumento dei totali di pioggia da nord est a sud ovest e ciò è coerente con gli allagamenti verificatesi nel contese descritti successivamente nel Capitolo 9.

Tavola 7.6. Iso linee dei totali di pioggia: 2-8 Ottobre 2005

7.3.4 Calcolo della pioggia areale

Calcolati gli ietogrammi di ogni stazione, si è proceduto ad assegnare ad ogni bacino di scolo il proprio ietogramma: si parla pertanto di un ietogramma areale, rappresentativo della pioggia oraria caduta in ogni bacino di scolo dei consorzi di bonifica Valli Vecchio Reno e I Circondario Polesine di Ferrara (Cella della Diamantina).

La suddivisione delle aree di influenza di ciascun pluviometro, realizzata con la costruzione dei Poligoni di Thiessen è riportata per ogni consorzio di bonifica nei tematismi/layers “Poligoni di thiessen Maggio 1996” e “Poligoni di Thiessen Ottobre 2005” (in questo caso si considerano i poligoni realizzati senza la stazione di Cipollette).

I poligoni di Thiessen sono stati creati a partire dalla posizione delle stazioni pluviometriche attraverso una procedura automatica *Create Thiessen Polygons-v2.6* in ArcGIS 3.2.

Sovrapponendo le aree così ottenute ai bacini di scolo, per esempio sul comprensorio del consorzio di bonifica Valli Vecchio Reno (Figura 7-7), si è giunti alla determinazione dell’area di influenza dei vari pluviometri su ciascun bacino di scolo (Figura 7-8).

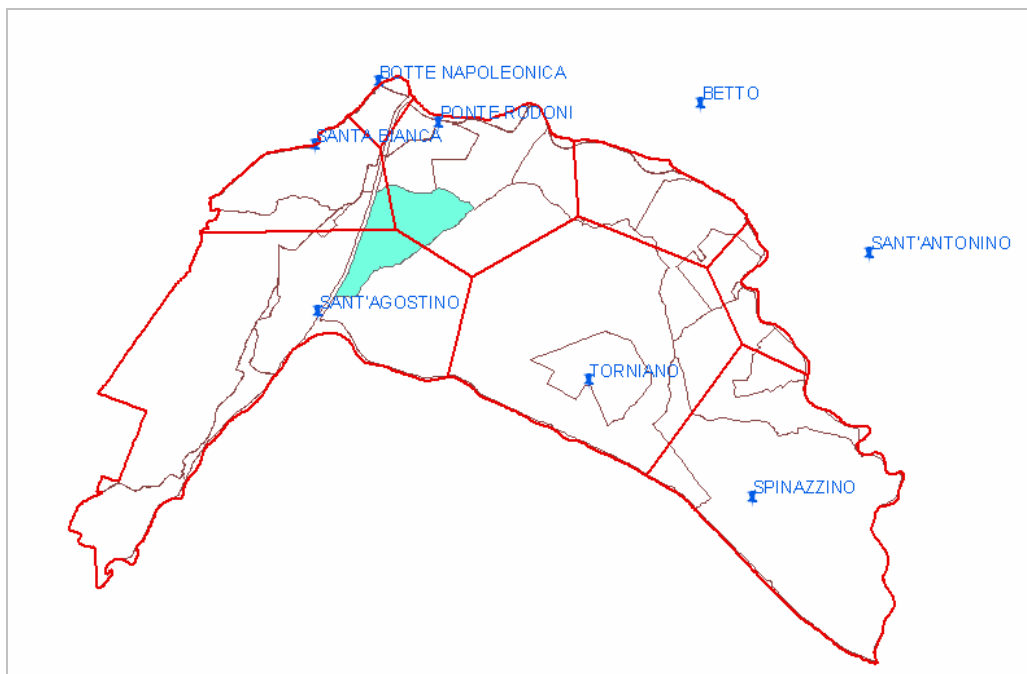


Figura 7-7. Poligoni di Thiessen sull’area del consorzio VVR per l’evento del Maggio 1996.

Evidenziato il bacino Savenuzza.



Figura 7-8. Area di competenza di ogni pluviometro sul bacino Savenuzza

In questo modo è possibile assegnare un peso ad ogni pluviometro W_i e calcolare tramite la [7.11] il valore di pioggia areale oraria.

$$P = \sum_i W_i P_i \quad [7.11]$$

con

$$W_i = \frac{A_{THSNi}}{A} \quad [7.12]$$

- P altezza di precipitazione areale per il sottobacino;
 W_i peso del pluviometro i -esimo;
 P_i altezza di precipitazione registrata al pluviometro i -esimo;
 A area totale del sottobacino;
 A_{THSNi} area della parte del poligono di Thiessen ricadente sul bacino considerato.

Il procedimento adottato in occasione dei due eventi è il medesimo, ottenendo per ciascuno gli ietogrammi rappresentativi di ogni bacino. In ALLEGATO 3 si riportano i pesi, i grafici e le tabelle relative ad ogni singolo bacino.

7.4 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap

Nelle tabelle seguenti si elencano i tematismi realizzati per il secondo blocco logico definito “Pluviometria”, che si divide in due gruppi di layers: “Pluviometria per eventi di pioggia estremi” e “Pluviometria per gli eventi in continuo” (Figura 7-9). In particolare in Tabella 7-10 e Tabella 7-11 si riportano: il titolo del tematismo/layer realizzati nel progetto, il nome originale dello shape file corrispondente ed una breve descrizione.

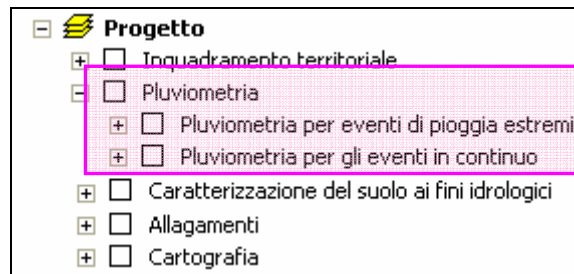


Figura 7-9. I sei gruppi di layers (blocchi logici) ed in particolare i due sottogruppi della “Pluviometria”

<i>Pluviometria</i>		
<i>a) Pluviometria per eventi di pioggia estremi</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
stazioni SIMN giornaliere (evidenziate h medie max d=1giorno)	stazionigiornaliere.shp	Denominazione, coordinata X e Y UTM e valore medio massimo annuale di altezza di pioggia per ogni stazione
Poligoni di Thiessen per le stazioni giornaliere	thiessen_giornaliere.shp	Poligoni di Thiessen creati in base alle stazioni giornaliere
stazioni SIMN orarie (evidenziate h medie max d=1ora)	stazioniorarie.shp	Denominazione, coordinata X e Y UTM e valore medio massimo annuale di altezza di pioggia d=1ora per ogni stazione oraria
Isolinee dei valori medi dei massimi annuali di d=1ora	isoline_1h.shp	Isolinee dei valori medi dei massimi annuali di durata 1 ora realizzate con SURFER 8
stazioni SIMN orarie (evidenziate h medie max d=24ore)	stazioniorarie.shp	Denominazione, coordinata X e Y UTM e valore medio massimo annuale di altezza

		di pioggia d=24ore per ogni stazione oraria
Isolinee dei valori medi dei massimi annuali di d=1ora (passo 2 mm)	isoline_24h.shp	Isolinee dei valori medi dei massimi annuali di durata 24 ore realizzate con SURFER 8
Poligoni di Thiessen per le stazioni orarie	thiessen_orarie.shp	Poligoni di Thiessen creati in base alle stazioni orarie

Tabella 7-10. I tematismi/layers per lo studio pluviometrico degli eventi estremi

<i>b) Pluviometria per gli eventi in continuo</i>		
PLUVIOMETRI_MAGGIO96	PLUVIOMETRI_MAGGIO96.shp	Denominazione dei pluviometri utilizzabili per lo studio dell'evento 9-13 maggio'96, coordinate X ed Y UTM, gestione e totali di pioggia (mm)
isolinee evento maggio 1996	isolinee_maggio96.shp	Isolinee dei totali di pioggia dell'evento 9-13 maggio'96 realizzate con SURFER 8
Poligoni di Thiessen evento maggio 1996	thiessen_maggio96.shp	Poligoni di Thiessen creati in base alle stazioni PLUVIOMETRI_MAGGIO96
PLUVIOMETRI_OTTOBRE05	PLUVIOMETRI_OTTOBRE05.shp	Denominazione dei pluviometri utilizzabili per lo studio dell'evento 2-8 ottobre '05, coordinate X ed Y UTM, gestione e totali di pioggia (mm)
isolinee evento ottobre 2005	isolinee_ottobre05.shp	Isolinee dei totali di pioggia dell'evento 2-8 ottobre '05 realizzate con SURFER 8
Poligoni di Thiessen evento ottobre 2005	thiessen_ottobre05.shp	Poligoni di Thiessen creati in base alle stazioni PLUVIOMETRI_OTTOBRE05

<p>Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Caratteristiche stazioni pluviometriche gestite dal VVR ▪ Pluviometri Maggio 1996 ▪ Poligoni di Thiessen Maggio 1996 ▪ Pluviometri Ottobre 2005 ▪ Poligoni di Thiessen Ottobre 2005 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stazioni pluvio VVR.shp ▪ Pluviometri maggio96_VVR.shp ▪ Poligoni Thiessen_maggio96_VVR.shp ▪ Pluviometri ottobre05_VVR.shp ▪ Poligoni Thiessen_ottobre05_VVR.shp 	<p>Per il Consorzio di Bonifica in questione si riportano le caratteristiche delle stazioni pluviometriche appartenenti allo stesso, i pluviometri relativi ai poligoni di Thiessen sul territorio in esame ed il perimetro di questi ultimi.</p>
<p>Consorzio di Bonifica Terre Vecchie</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Caratteristiche stazioni pluviometriche gestite dal TV ▪ Pluviometri Maggio 1996 ▪ Poligoni di Thiessen Maggio 1996 ▪ Pluviometri Ottobre 2005 ▪ Poligoni di Thiessen Ottobre 2005 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stazioni pluvio TV.shp ▪ Pluviometri maggio96_TV.shp ▪ Poligoni Thiessen_maggio96_TV.shp ▪ Pluviometri ottobre05_TV.shp ▪ Poligoni Thiessen_ottobre05_TV.shp 	<p>Per il Consorzio di Bonifica in questione si riportano le caratteristiche delle stazioni pluviometriche appartenenti allo stesso, i pluviometri relativi ai poligoni di Thiessen sul territorio in esame ed il perimetro di questi ultimi.</p>
<p>Consorzio di Bonifica Burana Leo Scotenna Panaro</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Caratteristiche stazioni pluviometriche gestite dal BLSP ▪ Pluviometri Maggio 1996 ▪ Poligoni di Thiessen 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Stazioni pluvio BLSP.shp ▪ Pluviometri maggio96_BLSP.shp ▪ Poligoni Thiessen_maggio96_BLSP.shp ▪ Pluviometri ottobre05_BLSP.shp ▪ Poligoni Thiessen_ottobre05_BLSP.shp 	<p>Per il Consorzio di Bonifica in questione si riportano le caratteristiche delle stazioni pluviometriche appartenenti allo stesso, i pluviometri relativi ai poligoni di Thiessen sul territorio in esame ed il perimetro di questi ultimi.</p>

Maggio 1996		
▪ Pluviometri Ottobre 2005		
▪ Poligoni di Thiessen Ottobre 2005		

Tabella 7-11. I tematismi/layers per lo studio pluviometrico degli eventi in continuo

Si consideri la “Pluviometria per eventi di pioggia estremi”. Accendendo il primo tematismo “stazioni SIMN giornaliere (evidenziate h medie max d=1giorno)”, si visualizzano immediatamente nel View (si veda APPENDICE A) le stazioni giornaliere contraddistinte da una certa simbologia (cerchio azzurro) e dal loro nome (Labels), inoltre, spuntando i “Poligoni di Thiessen per le stazioni giornaliere” si rendono visibili i poligoni ad essi associati.

Le stazioni orarie, invece, sono rappresentabili con associati i valori medi dei massimi annuali di 1ora e di 24 ore (layers: “stazioni SIMN orarie (evidenziate h medie max d=1ora)” e “stazioni SIMN orarie (evidenziate h medie max d=24ore)”, in modo tale che vi sia una corrispondenza immediata con le isolinee (layers: “Isolinee dei valori medi dei massimi annuali di d=1ora” e “Isolinee dei valori medi dei massimi annuali di d=24ore”). Infatti, quest’ultime sono contraddistinte da un “label” che riporta il valore associato alla isolinea stessa. E’ possibile comunque, al posto dei valori numerici, mettere il nome della stazione, o addirittura entrambi, secondo la procedura riportata in APPENDICE A. Inoltre, come per le stazioni giornaliere, sono stati realizzati i poligoni di Thiessen, visualizzabili accendendo il layer “Poligoni di Thiessen per le stazioni orarie”.

Il secondo sottogruppo, “Pluviometria per gli eventi in continuo”, comprende le informazioni relative ai due eventi di pioggia studiati nel paragrafo 7.3: 9-13 Maggio1996 e 2-8 Ottobre 2005.

Esso si divide essenzialmente in due parti: una più generale, in cui si descrivono i due eventi suddetti sull’intero territorio occupato dai tre Consorzi di Bonifica, descritti nel Capitolo 5; l’altra più dettagliata, in cui si focalizza l’attenzione su ogni Consorzio di Bonifica (Figura 7-10).

Nella prima parte per ogni evento sono stati realizzati gli shape file puntuali dei pluviometri e quelli lineari delle isolinee dei valori dei totali di pioggia (mm) e dei poligoni di Thiessen.

Come nel caso delle stazioni orarie nella “Pluviometria per eventi di pioggia estremi”, accendendo i layers:

- PLUVIOMETRI_MAGGIO96
- PLUVIOMETRI_OTTOBRE05

compariranno nel View i suddetti pluviometri contraddistinti da un “label” che riporta il valore associato alla isolina stessa (totali di pioggia in mm) e come già visto, è possibile, al posto dei valori numerici, mettere il nome della stazione (APPENDICE A).

Ad ognuno di questi tematismi puntuali seguono, nell’ordine, le isolinee dei totali di pioggia ed i poligoni di Thiessen, visualizzabili analogamente come sopra descritto.

Interessante è la caratterizzazione dei due eventi per ogni Consorzio di Bonifica. Per ognuno di essi è stato realizzato un ulteriore blocco logico (riquadro verde di Figura 7-10), in cui si riportano i tematismi di Tabella 7-11. Accendendo le “Caratteristiche delle stazioni pluviometriche” si visualizzano nel View i pluviometri a seconda del tipo (SIAP/ETG/DIGITECO o più in generale Pluviografo/Telepluviometro, ecc.), inoltre nella tabella degli attributi (si veda APPENDICE A), oltre all’informazione sul tipo di strumento utilizzato, sono indicati i nomi, il passo di acquisizione (1 ora, 30 min, ecc), il periodo di registrazione ed alcune note. Infine, con i tematismi “Pluviometri Maggio 96” e “Poligoni di Thiessen Maggio 96” si possono visualizzare le aree dei poligoni di Thiessen ed i pluviometri ad essi associati su ogni consorzio di bonifica, mettendo in evidenza anche i pluviometri esterni al comprensorio in esame, che hanno comunque influenza sulla determinazione della pioggia areale per ogni bacino di scolo.

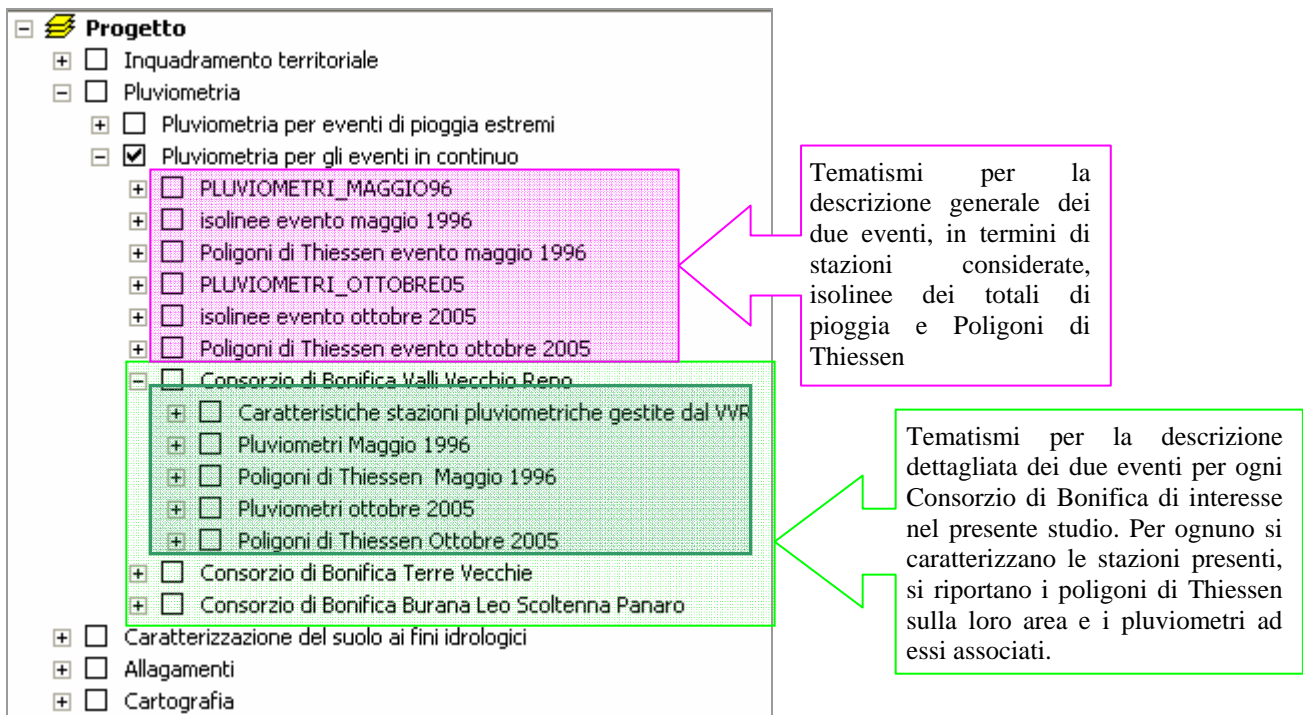


Figura 7-10. I layers del blocco logico "Pluviometria per gli eventi in continuo"

8 CARATTERIZZAZIONE DEL SUOLO AI FINI IDROLOGICI

8.1 Premessa

Gli afflussi meteorici su di un bacino, in parte, rimangono immagazzinati sulla superficie ed in parte si infiltrano nel terreno. Ciò che non si infiltra rimane immagazzinato superficialmente oppure lascia il bacino per scorrimento superficiale, mentre ciò che si infiltra lo lascia per scorrimento sotterraneo o per evaporazione. Sicuramente, il contributo più importante ai fenomeni di piena è dato dal deflusso superficiale ed è pertanto necessario avere uno strumento adeguato per la stima della pioggia netta essendo questa la componente della pioggia che dà luogo a tale deflusso.

La finalità di questo capitolo e di quello precedente è dunque quella di fornire una metodica unificante per la stima della portata di progetto di una qualsiasi opera idraulica da realizzarsi sul territorio dell'alto ferrarese.

Nel presente lavoro per la stima della pioggia netta si fa riferimento al metodo del CN (Curve Number) del SCS (Soil Conservation Service). Nel seguito è delineata la procedura ed i dati necessari (la carta della litologia e dell'uso del suolo) per determinare il valore adimensionale CN.

8.2 Descrizione del metodo CN del Soil Conservation Service

Il metodo CN-SCS consente di stimare la pioggia netta che dà origine al deflusso superficiale, attraverso il calcolo delle perdite dovute all'infiltrazione ed all'intercettazione prodotta dalla vegetazione e dagli avvallamenti superficiali.

Questo metodo si basa su una semplice equazione di bilancio tra i valori cumulati nel tempo a partire dall'inizio dell'evento di pioggia:

$$Pn = \frac{(P - Ia)^2}{(P - Ia + S)} \quad [8.1]$$

essendo:

- Pn = valore pioggia netta (mm);
- P = pioggia totale caduta (mm);
- Ia = perdite iniziali, date dall'altezza di pioggia che viene intercettata dalla vegetazione e dalle depressioni superficiali (mm), solitamente assunto pari a $0,20 S$.
- S = capacità massima di ritenzione del suolo.

Il parametro S dipende dal tipo di suolo, dal suo uso e dalle condizioni di imbibizione iniziali (sintetizzate attraverso l'acronimo AMC - Antecedent Moisture Conditions).

La capacità di ritenzione S viene espressa tramite il parametro dimensionale CN secondo la seguente equazione:

$$S = 25,4 \cdot \left[\frac{100}{CN} - 1 \right] \quad [8.2]$$

con S in mm. Il parametro CN varia fra 1 e 100. Per $CN = 100$, la capacità di ritenzione è nulla e quindi il terreno risulta perfettamente impermeabile, mentre per $CN = 1$ la capacità di ritenzione risulta massima e rappresenta la situazione di un terreno fortemente permeabile.

La determinazione del CN , secondo il metodo CN-SCS, viene effettuata mediante tabelle quali quelle riportate in Tabella 8-1 e Tabella 8-2, dove le righe rappresentano il diverso utilizzo del suolo mentre le ultime quattro colonne sono relative ai quattro diversi tipi di suolo (A, B, C, D) definiti in base alla classificazione prevista da questo metodo. In particolare, con riferimento alla Tabella 8-1, relativa essenzialmente a terreni agricoli, la “*condizione idrologica*” indica l'effetto della sistemazione del suolo nei riguardi delle condizioni di deflusso superficiale. Per condizione idrologica buona si intende quindi una sistemazione del suolo che tende a rallentare il deflusso superficiale, mentre per condizione idrologica cattiva, si intende una sistemazione del suolo che tende a favorire lo scorrimento superficiale.

Per quanto riguarda il tipo di suolo, il metodo ne prevede, come già accennato, quattro tipi (nel seguito definiti tipi idrologici di suolo) caratterizzati in base alla capacità di assorbimento ed alla capacità di dare luogo a deflusso superficiale, come evidenziato in Tabella 8-3.

<i>Tipo di copertura</i>			<i>Classe del suolo</i>			
<i>Uso del suolo</i>	<i>Trattamento o pratica</i>	<i>Condizione idrologica</i>	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Maggesi	a solchi diritti	-	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi diritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi diritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi diritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi diritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi diritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi diritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli		cattiva	68	79	86	89
		discreta	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		-	59	74	82	86
Strade sterrate		-	72	82	87	89
Strade pavimentate		-	74	84	90	92

Tabella 8-1. Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura per aree agricole e boschive
 (Fonte: Ugo Moisello, *Idrologia tecnica*, La Goliardica Pavese, 1999)

<i>Tipo di copertura</i>	<i>Classe del suolo</i>			
	<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
Aree residenziali ⁽¹⁾				
Area media dei lotti				
Area impermeabile (%)				
1/8 acro o meno	65	77	85	90
1/4 acro	38	61	75	83
1/3 acro	30	57	72	81
1/2 acro	25	54	70	80
1 acro	20	51	68	79
Parcheggi pavimentati, tetti, viali d'accesso ⁽²⁾	98	98	98	98
Strade urbane ed extraurbane pavimentate, a dorso di mulo o con fognatura ⁽³⁾	98	98	98	98
in ghisa	76	85	89	91
sterrate	72	82	87	89
Aree commerciali e professionali (impermeabili per l'85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabili per i 72%)	81	88	91	93
Spazi aperti, prati, campi da golf, cimiteri etc. in buone condizioni: copertura erbosa sul 75% o più	39	61	74	80
in discrete condizioni: copertura erbosa sul 50÷75%	49	69	79	84
(1) Si assume che il deflusso dalla casa e dal viale di accesso sia diretto verso la strada, con una minima quantità di acqua del tetto diretta al prato, dove potrebbe aver luogo una infiltrazione addizionale. (2) Si assume che le rimanenti aree permeabili (prato) si trovino nelle condizioni di un buon pascolo. (3) In alcuni climi particolarmente caldi degli Stati Uniti CN si può assumere pari a 95.				

Tabella 8-2. Valori del parametro CN per diverse combinazioni di suolo e copertura per aree urbane e assimilabili (Fonte: Ugo Moisélo, *Idrologia tecnica*, La Goliardica Pavese, 1999)

<i>Tipo</i>	<i>Descrizione</i>
A	<i>(Suolo a basso potenziale di deflusso). I suoli di questo gruppo presentano un tasso di infiltrazione elevato anche quando sono completamente bagnati. Sono costituiti principalmente da sabbie e ghiaie o ghiaie di notevole spessore, con drenaggio da buono a eccessivo.</i>
B	<i>I suoli di questo gruppo presentano un tasso di infiltrazione moderato quando sono completamente bagnati. Sono principalmente suoli di spessore moderatamente elevato o elevato, con drenaggio da moderatamente buono a buono e con tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana.</i>
C	<i>I suoli di questo gruppo presentano un tasso di infiltrazione basso quando sono completamente bagnati. Sono principalmente suoli con uno strato che impedisce il movimento discendente dell'acqua, oppure suoli con tessitura da moderatamente fine a fine.</i>
D	<i>(Suoli ad alto potenziale di deflusso). I suoli di questo gruppo presentano un tasso di infiltrazione bassissimo quando sono completamente bagnati. Sono principalmente suoli argillosi con un lato potenziale di rigonfiamento, suoli con una falda permanentemente alta, suoli con uno strato di argilla alla superficie o presso la superficie e suoli sottili giacenti sopra materiale pressoché impermeabile.</i>

Tabella 8-3. I quattro gruppi secondo cui si classificano i suoli dal punto di vista della possibilità di infiltrazione secondo SCS (Fonte: Ugo Moisello, *Idrologia tecnica*, La Goliardica Pavese, 1999)

I valori di *CN* riportati nelle Tabella 8-1 e Tabella 8-2 si riferiscono ad una condizione di media umidità del terreno all'inizio della precipitazione (corrispondente ad AMC2), ma è possibile prendere in considerazioni anche situazioni diverse da quelle medie, tenendo conto della precipitazione cumulata nei 5 giorni precedenti l'evento di pioggia. La Tabella 8.4 mostra le tre diverse condizioni di AMC: AMC1 – terreno asciutto; AMC2 – terreno mediamente umido; AMC3 – terreno fortemente imbibito.

<i>AMC Categoria</i>	<i>Descrizione</i>	<i>Altezza di precipitazione antecedente di 5 giorni</i>	
		<i>Stagione fredda/invernale</i>	<i>Stagione calda/estiva</i>
		[mm]	[mm]
<i>I</i>	Potenziale di scorrimento superficiale minimo. I suoli sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o una coltivazione soddisfacente	< 12,7	<35.6
<i>II</i>	Condizione media	12,7 ÷ 27,9	35,6 ÷ 53,3
<i>III</i>	Potenziale di scorrimento superficiale massimo. Il terreno è completamente saturato dalle piogge precedenti	>27,9	>53,3

Tabella 8-4. Individuazione della condizione di umidità antecedente (AMC) in funzione della precipitazione antecedente di 5 giorni (Fonte: Ugo Moisello, *Idrologia tecnica*, La Goliardica Pavese, 1999)

Pertanto, una volta determinata la condizione iniziale di umidità del suolo, per mezzo dell'ammontare di pioggia registrato nei cinque giorni immediatamente precedenti all'evento di interesse, il relativo *CN* può essere ricavato tramite le seguenti formule:

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)} \quad [8.3]$$

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)} \quad [8.4]$$

8.3 Applicazione del metodo CN-SCS alla zona di interesse

8.3.1 Introduzione

Come descritto nel precedente paragrafo, la determinazione del parametro *CN* richiede la conoscenza del tipo del suolo e dell'uso del suolo. A tal fine si sono reperite le carte descriventi la litologia del suolo ed il suo utilizzo. Tali carte sono state fornite dai tre consorzi di bonifica ricadenti nell'area di studio.

8.3.2 Dalla carta della litologia alla definizione del tipo idrologico di suolo

a) La carta della litologia

Per la determinazione dei tipi idrologici di suolo A, B, C e D si è fatto uso della carta litologica riportata in Tavola 8-1. In questa carta i terreni sono distinti in argillosi, limosi, sabbiosi e nelle rispettive combinazioni, sulla base della loro tessitura granulometrica, secondo la classificazione di Shepard illustrata in figura seguente.

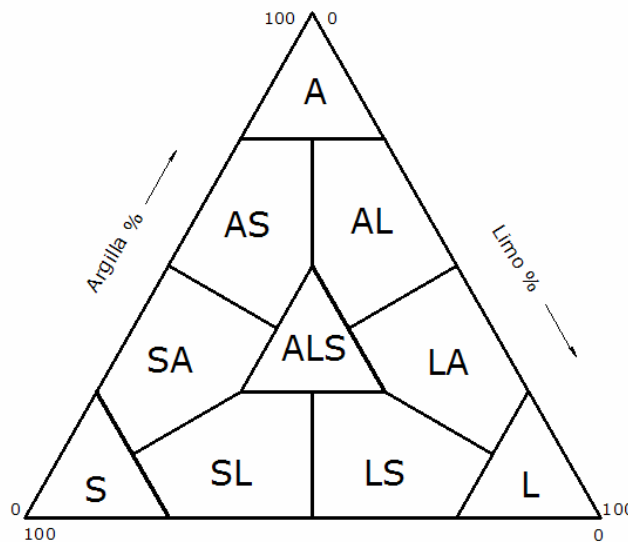


Figura 8-1. Triangolo di Shepard, (Fonte: carta di permeabilità del consorzio Valli Vecchio Reno, sito web www.cbvvr.it)

Come è evidente dalla Tavola 8.1 e dalla Tabella 8-5, l'intera area considerata è costituita in prevalenza da depositi alluvionali fini e finissimi tipici della media e bassa valle del Po, dei suoi affluenti e dei fiumi che solcano le pianure veneta e romagnola.

In effetti, la classe AL (argilla limosa) insieme ad ALS (argilla limo sabbiosa) è quella più estesa, rispettivamente 21195 ha e 29877 ha totali, contrariamente alle classi S (sabbia), SA (sabbia argillosa) e SL (sabbia limosa) decisamente meno estese.

<i>Simbologia Classe</i>	<i>Nome classe</i>	<i>Tessitura¹</i>	<i>Valli Vecchio Reno</i>	<i>Cella Diamantina</i>	<i>Burana (territorio sul Comune di Bondeno)</i>
			Area (ha)		
A	Argilla	argillosa	3715.1	51.5	298.4.
AL	Argilla Limosa	medio argillosa	10810	1254.6	6933.2
ALS	Argilla Limo Sabbiosa	medio impasto	18920	6197	2106.6
AS	Argilla sabbiosa	medio impasto	5256.1	1006.6	2245.0
L	Limo	medio sabbiosa	38.6	4.5	1.3
LA	Limo Argilloso	medio impasto	56.8	Non presente	Non presente
LS	Limo Sabbioso	medio sabbiosa	243.3	52.6	Non presente
S	sabbia	sabbiosa	293.2	207.3	19.9
SA	Sabbia Argillosa	medio sabbiosa	2235.2	363.8	28.9
SL	Sabbia Limosa	sabbiosa	1568.3	468.3	17.9

Tabella 8-5. Le classi del territorio in esame secondo la classificazione Shepard

¹ La tessitura o grana è la proprietà fisica del terreno che lo identifica in base alla composizione percentuale delle sue particelle solide distinte per classi granulometriche. Essa viene determinata in laboratorio dopo aver separato, mediante setacciatura, lo scheletro.

Tavola 8-1 La carta della litologia

b) Determinazione dei gruppi idrologici di suolo A, B, C, D

Dopo aver definito le classi di terreno secondo Shepard, si pone il problema di associarle ai gruppi di suolo A, B, C e D utilizzate nel metodo CN.

A tal fine si consideri la Tabella 8-3 e la seguente Tabella 8-6, tratta dal Ven Te Chow, David R. Maidment, Larry W. Mays, *Applied Hydrology*, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS, 1988.

<i>HSG</i> ²	<i>Descrizione</i>	<i>Terminologia italiana</i>
A	Deep sand, deep loess, aggregated silts	Strati profondi di sabbia, depositi sedimentari, limi aggregati (permeabilità a suolo saturo maggiore di 0.76 cm/h)
B	Shallow loess, sandy loam	Depositi sedimentari fini (strutture limose) di piccolo spessore, terre sabbiose (permeabilità a suolo saturo compresa fra 0.38 e 0.76 cm/h)
C	Clay loams, shallow sandy loam, soils low in organic content, and soils usually high in clay	Terre argillose, strati sabbiosi di piccolo spessore, suoli poveri in materia organica, e suoli generalmente ricchi di argilla (permeabilità a suolo saturo compresa fra 0.13 e 0.38 cm/h)
D	Soils that swell significantly when wet, heavy plastic clays, and certain saline soils	Suoli che rigonfiano significativamente quando bagnati, argille molto plastiche ed alcuni suoli salini (permeabilità a suolo saturo minore di 0.13 cm/h)

Tabella 8-6. Definizione dei tipi idrologici di suolo secondo CN-SCS

Dall'analisi congiunta delle due tabelle si deduce che:

- al tipo idrologico di suolo A appartengono i terreni con *scarsa* potenzialità di deflusso e pertanto in esso sono compresi tutti i suoli costituiti prevalentemente da sabbia e da sabbia con scarsa percentuale di limo. Di conseguenza, al gruppo A si associano le classi S (sabbia) e SL (sabbia limosa);

² HSG: Hydrologic Soil Groups

- al tipo idrologico di suolo B appartengono i suoli caratterizzati da una potenzialità di deflusso *media*. In particolare, esso comprende sia terre sabbiose meno profondo del gruppo A e sia strutture limose, quindi ad esso si associano le classi LS (limo sabbioso) e L (limo);
- al tipo idrologico di suolo C appartengono i suoli con una potenzialità di deflusso *moderatamente alta*, ovvero suoli contenenti un certo quantitativo di argilla che riduce la capacità d'infiltrazione quando sono completamente bagnati. Pertanto, a questo gruppo si associano le classi di terreno che presentano una certa frazione argillosa quali la SA (sabbia argillosa), il LA (limo argillosa) e le terre³ miste come ALS (argilla limo sabbiosa).
- al tipo idrologico di suolo D appartengono esclusivamente suoli con un alto potenziale di scorrimento superficiale e quindi suoli prevalentemente argillosi come le classi: A (argilla), AS (argilla sabbiosa) ed AL (argilla limosa).

In sintesi, in Tabella 8-7 e Figura 8-2 si riportano i risultati ottenuti.

Gruppi	A	B	C	D
classi	S	L	LA	A
	SL	LS	SA	AS
			ALS	AL

Tabella 8-7. Corrispondenza tra le classi litologiche secondo Shepard e i quattro tipi idrologici di suolo considerati nel metodo CN-SCS

³ “terre” è la traduzione della parola inglese “loams” che propriamente indica una terra di composizione mista.

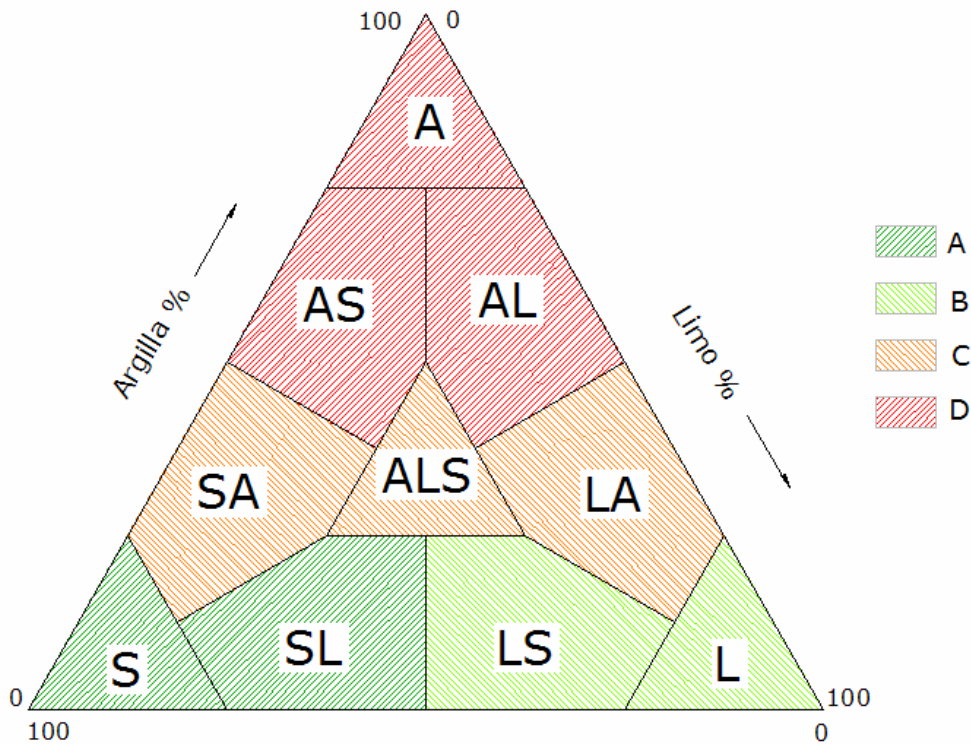


Figura 8-2. Il triangolo di Shepard ed i tipi idrologici di terreno

Questi risultati trovano una sostanziale conferma nella lettura della Tabella 8-8 combinata con il triangolo di classificazione dei terreni predisposta da USDA (Figura 8-3).

Infatti, per quanto detto in precedenza (si veda Tabella 8-6), i terreni di tipo A sono caratterizzati da una conduttività idraulica a saturazione maggiore di 0,76 cm/h e quindi in base alla Tabella 8-8 rientrano in tale tipo idrologico di suolo i terreni nominati “Sand”, “Loamy Sand”, “Sandy Loam” e “Loam”.

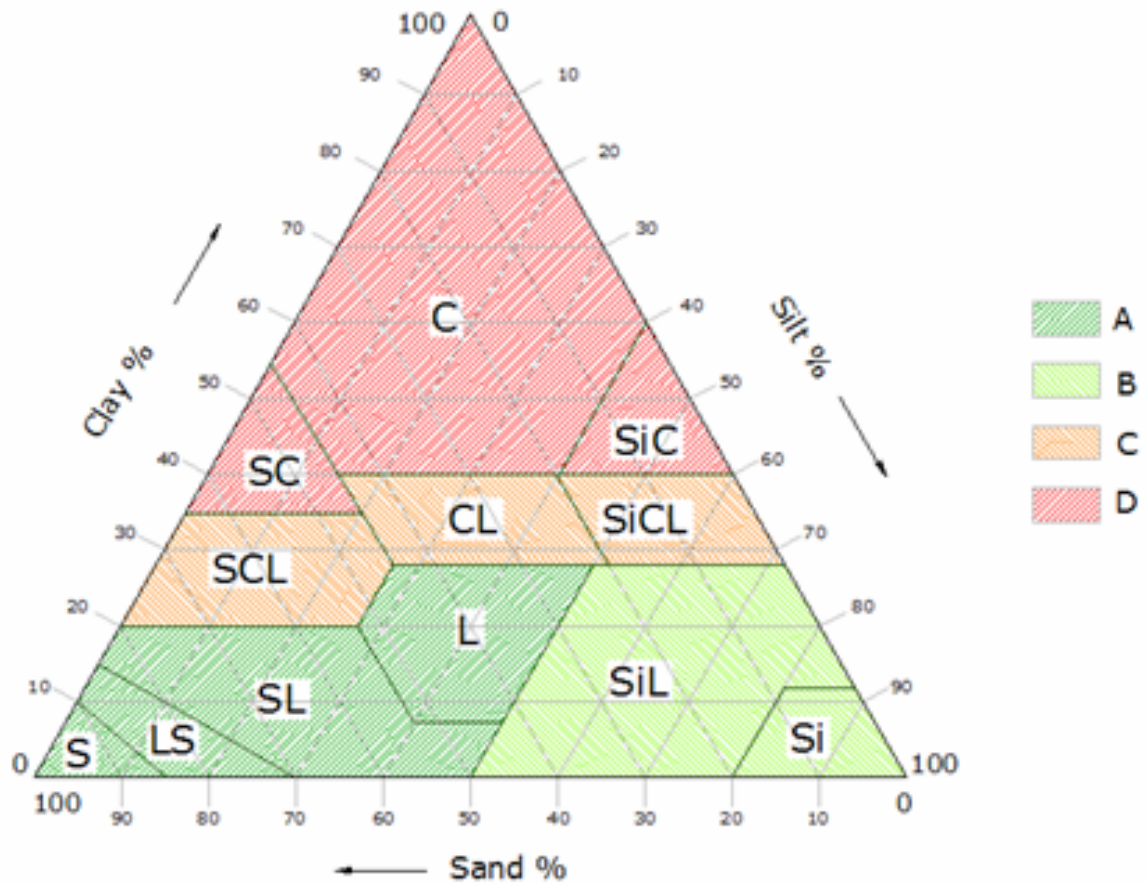
Invece, i terreni di tipo B sono caratterizzati da una permeabilità a saturazione compresa tra 0.38 e 0.76 cm/h e quindi, sempre in base alla Tabella 8-8, rientra in questo gruppo il terreno nominato “Silt Loam”. Analogamente, i suoli di tipo C sono caratterizzati da una conduttività idraulica a saturazione compresa fra 0.13 e 0.38 cm/h e quindi si associano a questo tipo idrologico di suolo i terreni nominati “Sandy Clay Loam”, “Clay Loam” e “Silty Clay Loam”.

Infine, i terreni di tipo D sono contraddistinti da una conduttività idraulica a saturazione inferiore a 0.13 cm/h; di conseguenza rientrano in esso i terreni nominati: “Sandy Clay”, “Silty Clay” e “Clay”.

Facendo ora riferimento alla Figura 8-3 si vede che nel triangolo USDA, i terreni rientranti nel tipo idrologico di suolo D occupano la punta alta del triangolo, mentre i terreni rientranti nel tipo idrologico di suolo C occupano la fascia centrale. Inoltre, i terreni rientranti nel tipo idrologico B ed A occupano rispettivamente il vertice inferiore destro ed il vertice inferiore sinistro. Il confronto fra la Figura 8-2 e Figura 8-3 mostra una piena coerenza nella disposizione dei tipi idrologici di suolo nei due sistemi di classificazione (Shepard ed USDA).

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

Tabella 8-8. Parametri della legge di Green-Ampt per diversi tipi di suolo (Fonte: David R. Maidment, Handbook of Hydrology, Editor in Chief, 1992)



<i>Classe di suolo Terminologia americana</i>	<i>Simbolo</i>	<i>Classe di suolo Terminologia italiana</i>
Sand	S	Sabbia
Loamy Sand	LS	Sabbia Limosa
Sandy Loam	SL	Terra a medio impasto sabbiosa
Loam	L	Terre miste/Medio impasto
Silt Loam	Si	Terre a medio impasto limoso
Sandy Clay Loam	SCL	Terre a medio impasto sabbioso-argilloso
Clay Loam	CL	Terre a medio impasto argilloso
Silty Clay Loam	SiCL	Terre a medio impasto limoso-argilloso
Sandy Clay	SC	Argilla sabbiosa
Silty Clay	SiC	Argilla limosa
Clay	C	Argilla

Figura 8-3. Classificazione dei terreni in base alla tessitura, secondo USDA (Fonte: Ugo Moisello, Idrologia tecnica, La Goliardica Pavese, 1999)

c) La carta dei tipi idrologici di suolo

Partendo dalla Tabella 8-9 e sfruttando l'informazione mostrata nella Tavola 8-1 è stato possibile ricostruire la carta dei tipi idrologici di suolo (Tavola 8-2). Nella Tabella 8-9 si riassumono i risultati ottenuti per ogni consorzio di bonifica.

<i>Tipo idrologico di terreno</i>	<i>Consorzi di Bonifica</i>		
	<i>Valli Vecchio Reno</i>	<i>Diamantina</i>	<i>Burana-Leo Scoltenna-Panaro (parte presente sul territorio di Bondeno)</i>
	Area (ha)		
<i>A</i>	186.1	675.6	37.82
<i>B</i>	281.8	57.13	1.3
<i>C</i>	21212.1	6560.8	2135.5
<i>D</i>	19781.2	2312.7	9476.6

Tabella 8-9. Estensione dei tipi idrologici di suolo per i tre Consorzi di Bonifica

Per completezza, osservando i risultati ottenuti sui singoli comuni (Figura 8-4 e Figura 8-5) si nota la predominanza dei gruppi C e D. Il tipo idrologico di suolo B è presente in minima parte, ed è assente sul territorio gestito dal comune di Cento.

Tavola 8-2. La carta dei tipi idrologici di suoli

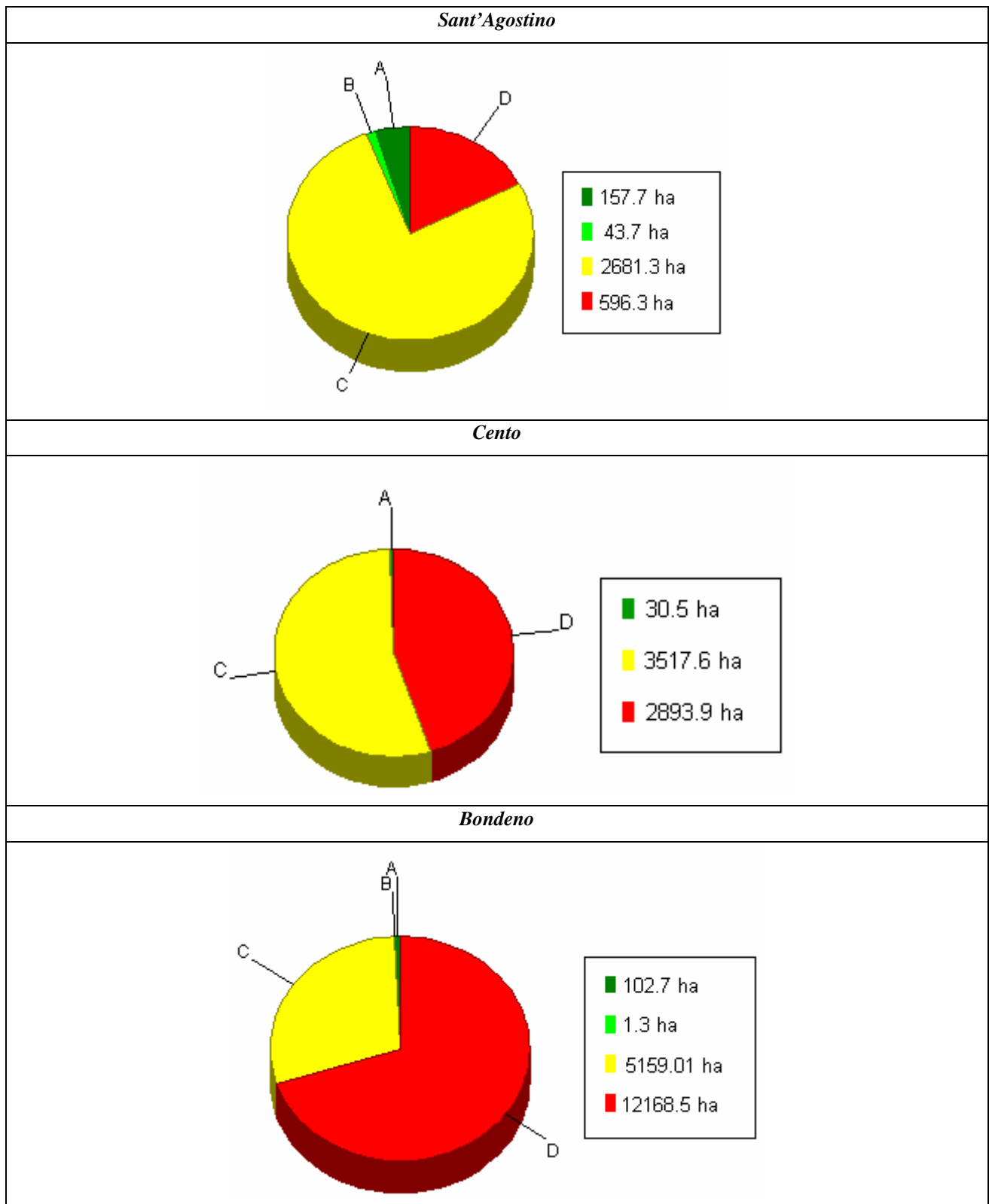


Figura 8-4. I tipi idrologici di suolo A, B, C, D nei comuni di interesse

CAPITOLO 8

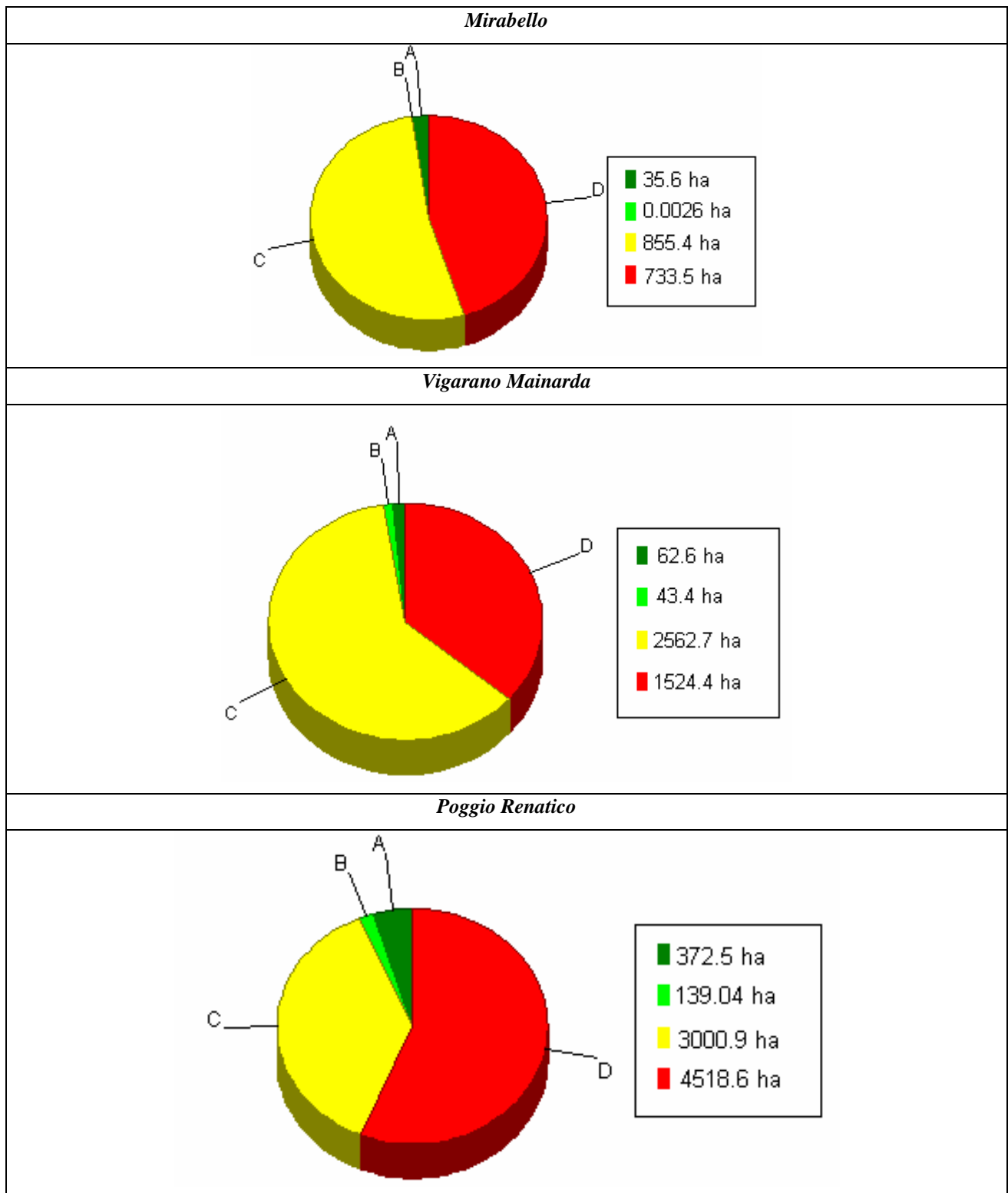


Figura 8-5. I tipi idrologici di suolo A, B, C, D nei comuni di interesse

8.3.3 Dalla carta dell'uso del suolo ai valori corrispondenti del CN

a) La classificazione Corine

Come spiegato nel paragrafo 8.2, dopo aver ricondotto le diverse classi di terreno ai quattro tipi idrologici di suolo è possibile definire il valore del CN(II), una volta stabilito l'uso del suolo. Quest' ultima informazione è fornita dalla carta dell'uso del suolo (Tavola 8-3) in cui si riportano le porzioni di terreno interessate dalle diverse tipologie di uso del suolo secondo la classificazione CORINE (CoORDination of INformation on the Environment). E' importante precisare che le carte dell'uso del suolo CORINE sono carte in formato digitale ad una risoluzione di circa 266 m x 266 m, ricavate da immagini satellitari LandSAT e presentano un notevole grado di affidabilità ed una sufficiente precisione per gli scopi e la scala del lavoro.

La classificazione CORINE prevede 57 classi di nomenclatura, ciascuna con dettagliata descrizione, come riportato nella Tabella 8-10.

Tavola 8-3. La carta dell'uso del suolo

<i>Sigla Corine</i>	<i>Descrizione della classe</i>
1	TERRENI MODELLATI ARTIFICIALMENTE
11	<i>Zone urbanizzate</i>
	<i>Tessuto urbano continuo.</i> Spazi strutturati dagli edifici e dalla viabilità. Gli edifici, la viabilità e le superfici ricoperte artificialmente occupano più dell'80% della superficie totale. La vegetazione non lineare e il suolo nudo rappresentano l'eccezione. Sono qui compresi i cimiteri senza vegetazione.
111	Problema particolare degli abitati a sviluppo lineare (villes-rue): anche se la larghezza delle costruzioni che costeggiano la strada, compresa la strada stessa, raggiunge solo 75 m, a condizione che la superficie totale superi 25 ha, queste aree saranno classificate come tessuto urbano continuo (o discontinuo se le aree non sono congiunte).
	<i>Tessuto urbano discontinuo.</i> Spazi caratterizzati dalla presenza di edifici. Gli edifici, la viabilità e le superfici a copertura artificiale coesistono con superfici coperte da vegetazione e con suolo nudo, che occupano in maniera discontinua aree non trascurabili. Gli edifici, la viabilità e gli edifici ricoperti artificialmente coprono dal 50% all'80% della superficie totale. Si dovrà tenere conto di questa densità per le costruzioni localizzate all'interno di spazi naturali (foreste o spazi erbosi). Questa voce non comprende: le abitazioni agricole sparse nelle periferie delle città o nelle zone di coltura estensiva comprendenti edifici adibiti a impianti di trasformazione e ricovero; le residenze secondarie disperse negli spazi naturali o agricoli. Comprende invece i cimiteri senza vegetazione.
112	
12	<i>Zone industriali, commerciali e reti di comunicazione</i>
	<i>Aree industriali o commerciali.</i> Aree a copertura artificiale (in cemento, asfaltate o stabilizzate, per esempio terra battuta), senza vegetazione, che occupano la maggior parte del terreno (coprono più del 50% della superficie totale). La zona comprende anche edifici e/o aree con vegetazione. Le zone industriali e commerciali ubicate nei tessuti urbani continui e discontinui sono da considerare solo se si distinguono nettamente dall'abitato (insieme industriale di aree superiore a 25 ha con gli spazi associati: muri di cinta, parcheggi, depositi, ecc..). Le stazioni centrali delle città fanno parte di questa categoria, ma non i grandi magazzini integrati in edifici di abitazione, i sanatori, gli stabilimenti termali, gli ospedali, le case di riposo, le prigioni, ecc..
121	
	<i>Reti stradali e ferroviari e spazi accessori.</i> Larghezza minima da considerare è 100m. Autostrade, ferrovie, comprese le superfici annesse (stazioni, binari, terrapieni, ecc..) e le reti ferroviarie più larghe di 100 che penetrano nella città. Sono qui compresi i grandi svincoli stradali e le stazioni di smistamento, ma non le linee elettriche ad alta tensione con vegetazione bassa che attraversano le aree forestali.
122	

123 **Aree portuali.** Infrastrutture delle zone portuali compresi i binari, i cantieri navali e i porti da diporto. Quando i moli hanno meno di 100 m di larghezza. La superficie dei bacini (d'acqua dolce e salata) delimitata dagli stessi è da comprendere nel calcolo dei 25 ha.

124 **Aeroporti.** Infrastrutture aeroportuali: piste edifici e superfici associate. Sono da considerare solo le superfici che sono interessate dall'attività aeroportuale (anche se alcune parti di queste sono utilizzate occasionalmente per agricoltura-foraggio). Di norma queste aree sono delimitate da recinzioni o strade. In molti casi, l'area aeroportuale figura sulle carte topografiche a grande scala (1:25.000 e 1:50.000). Non sono compresi i piccoli aeroporti da turismo (con piste consolidate) ed edifici da dimensioni molto piccole.

13 **Zone estrattive, discariche e cimiteri**

131 **Aree estrattive.** Estrazione di materiali inerti a cielo aperto (cave di sabbia e di pietre) o di altri materiali (miniere a cielo aperto). Ne fanno parte le cave di ghiaia, eccezion fatta, in ogni caso, per le estrazioni nei letti dei fiumi. Sono qui compresi gli edifici e le installazioni industriali associate. Rimangono escluse le cave sommerse, mentre sono comprese le superfici abbandonate e sommerse, ma non recuperate, comprese in aree estrattive. Le rovine, archeologiche e non, sono da includere nelle aree ricreative.

132 **Discariche.** Discariche e depositi di miniere, industrie e collettività pubbliche.

133 **Cantieri.** Spazi in costruzione, scavi e suoli rimaneggiati.

14 **Zone verdi artificiali non agricole**

141 **Aree verdi urbane.** Spazi ricoperti di vegetazione compresi nel tessuto urbano. Ne fanno parte i cimiteri con abbondante vegetazione e parchi urbani.

142 **Aree sportive e ricreative.** Aree utilizzate per camping, attività sportive, parchi di divertimento, campi da golf, ippodromi, rovine archeologiche e non, ecc. Ne fanno parte i parchi attrezzati (aree dotate intensamente di attrezzature ricreative, da picnic, e...), compresi nel tessuto urbano. N.B. sono escluse le piste da sci.

2

TERRENI AGRICOLI

21

Seminativi superfici coltivate regolarmente arate e generalmente sottoposte a un sistema di rotazione

211 **Seminativi in aree non irrigue.** Sono da considerare perimetri irrigui solo quelli individuabili per foto interpretazione, satellitare o aerea, per la presenza di canali e impianti di pompaggio. Cereali, leguminose in pieno campo, colture foraggere coltivazioni industriali, radici commestibili e maggesi. Vi sono compresi i vivai e le colture orticole, in pieno campo, in serra e sotto plastica, come anche gli impianti per la produzione di piante medicinali, aromatiche e culinarie. Vi sono comprese le colture foraggere (prati artificiali) ma non i prati stabili.

2111 ***Vivai e colture protette.*** Vi sono compresi i vivai, in serra e in pieno campo, e le colture ortive in serra e sotto plastica.

2112 ***Altri seminativi.***

212 ***Seminativi in aree irrigue.*** Colture irrigate stabilmente e periodicamente grazie a un'infrastruttura permanente (canale di irrigazione, rete di drenaggio). La maggior parte di queste colture non potrebbe realizzarsi senza l'apporto artificiale dell'acqua. Non vi sono comprese le superfici irrigate sporadicamente.

213 ***Risaie.*** Superfici utilizzate per la coltura del riso. Terreni terrazzati e dotati di canali d'irrigazione. Superfici sporadicamente inondate.

22 ***Colture Permanenti***

221 ***Vigneti.*** Superfici piantate a vigna.

2211 ***Colture permanenti miste con leggera prevalenza di vigneti.*** Mosaico di appezzamenti a vigneto, oliveto e/o frutteto in parti pressoché uguali ma con una leggera prevalenza dei vigneti.

2212 ***Altri vigneti.***

222 ***Frutteti e frutti minori.*** Impianti di alberi o arbusti fruttiferi: colture pure o miste di specie produttrici di frutta o alberi da frutto in associazione con superfici stabilmente erbate. Ne fanno parte i castagneti da frutto e i nocioleti. I frutteti di meno di 25 ha compresi nei terreni agricoli (prati stabili o seminativi) ritenuti importanti sono da comprendere nella classe 2.4.2. I frutteti con presenza di diverse associazioni di alberi sono da includere in questa classe.

2221 ***Colture permanenti miste con leggera prevalenza di frutteti.*** Mosaico di appezzamenti a vigneto, oliveto e/o frutteto in parti pressoché uguali ma con leggera prevalenza di oliveti.

2222 ***Frutteti che ricadono in aree irrigue.***

2223 ***Castagneti da frutto.***

2224 ***Altri frutteti.***

223 ***Oliveti.*** Superfici piantate a olivo, comprese particelle a coltura mista di olivo e vite.

2231 ***Colture permanenti miste con leggera prevalenza di oliveti.*** Mosaico di appezzamenti a vigneto, oliveto e/o frutteto in parti pressoché uguali ma con leggera prevalenza dei frutteti.

2232 ***Altri oliveti.***

23 ***Prati stabili***

231 ***Prati stabili.*** Superfici a copertura erbacea densa a composizione floristica rappresentata principalmente da graminacee, non soggette a rotazione, sono per lo più pascolate ma il foraggio può essere raccolto meccanicamente. Ne fanno parte i prati permanenti e temporanei e le marcite. Sono comprese le aree con siepi. Le colture foraggiere (prati artificiali inclusi in brevi rotazioni) sono da classificare come seminativi (2111).

24

Zone agricole eterogenee

241 ***Culture annuali associate a culture permanenti.*** Colture temporanee: seminativi o prati in associazione con colture permanenti sulla stessa superficie, quando le particelle a frutteto (o altro) comprese nelle colture annuali non associate, rappresentano meno del 25% della superficie totale.

242 ***Sistemi colturali e particellari complessi.*** Mosaico di piccoli appezzamenti con varie colture annuali, prati stabili e colture permanenti, occupanti ciascuno meno del 75% della superficie totale dell'unità. Vi sono compresi gli "orti per pensionati" e simili. Eventuali lotti superanti i 25 ha sono da includere nelle zone agricole.

243 ***Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con spazi naturali.*** Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali (formazioni vegetali naturali, boschi, lande, cespugliati, bacini d'acqua, rocce nude) importanti. Le colture agrarie occupano più del 25 e meno del 75% della superficie totale dell'unità.

244 ***Aree agroforestali.*** Colture annuali o pascolo sotto copertura arborea composta da specie forestali.

3

TERRITORI BOSCATI E AMBIENTI SEMINATURALI

31

Zone boscate

311 ***Boschi di latifoglie.*** Formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi ma anche da cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali a latifoglie. La superficie a latifoglie deve coprire almeno il 75% dell'unità, altrimenti è da classificare bosco misto. N.B.: vi sono compresi pioppeti e gli eucalitteti.

3111 ***Culture arboree*** di specie a rapido accrescimento (pioppeti ecc..).

3112 ***Altri boschi di latifoglie.***

312 ***Boschi di conifere.*** Formazioni vegetali costituite principalmente da alberi ma anche da cespugli e arbusti, nelle quali dominano le specie forestali conifere. La superficie a conifere deve coprire almeno il 75% dell'unità, altrimenti è da classificare bosco misto. N.B.: non vi sono comprese le conifere a rapido accrescimento.

313 ***Boschi misti.*** Formazioni vegetali, costituite principalmente da alberi ma anche da cespugli e arbusti, dove non dominano né le latifoglie né le conifere.

32

Zone caratterizzate da vegetazione arbustiva e/o erbacea

321 ***Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota.*** Aree foraggere a bassa produttività. Sono spesso situate in zone accidentate. Interessano spesso superfici rocciose, roveti e arbusteti. Sulle aree interessate dalla classe non sono di norma presenti limiti di particelle (siepi, muri, recinti).

322 ***Brughiere e cespuglietti.*** Formazioni vegetali basse e chiuse, composte principalmente di cespugli arbusti e piante erbacee (eriche, rovi, ginestre dei vari tipi, ecc...). Vi sono comprese le formazioni a pino mungo.

- Aree a vegetazione sclerofilla.** Ne fanno parte macchie e garighe. Macchie associazioni vegetazioni dense composte da numerose specie arbustive miste su terreni silicei acidi in ambiente mediterraneo.
- 323 Garighe: associazioni cespugliose discontinue delle piattaforme calcaree mediterranee. Sono spesso composte da quercia coccifera, corbezzolo, lavanda timo, cisto bianco, ecc. Possono essere presenti rari alberi isolati.
- Aree a vegetazione boschiva e arbustiva in evoluzione.** Vegetazione arbustiva o erbacea con alberi sparsi. Formazioni che possono derivare dalla degradazione della foresta o da una rinnovazione della stessa per ricolonizzazione di aree non forestali
- 324
- 33 **Zone aperte con vegetazione rada o assente**
- Spiagge dune e sabbie.** Le spiagge, le dune e le distese di ambienti litorali e continentali (più larghe di 100m), compresi i letti sassosi dei corsi d'acqua a regime torrentizio. Le dune ricoperte di vegetazione (erbacea o legnosa) devono essere classificate nelle voci corrispondenti: boschi (311,312 e 313), prati (231) o aree a pascolo naturale (321).
- 331
- 332 **Rocce nude, falesie, rupi, affioramenti.**
- 333 **Aree con vegetazione rada.** Comprende steppe xerofile, le steppe alofile, le tundre e le aree calanchive in senso lato.
- 334 **Aree percorse da incendi.** Superfici interessate da incendi recenti. I materiali carbonizzati sono ancora presenti.
- 335 **Ghiacciai e nevi perenni.** Superfici coperte da ghiacciai o da nevi perenni.

4

ZONE UMIDE

- 41 **Zone umide interne, zone non boscate saturate parzialmente temporaneamente o in permanenza di acqua stagnante o corrente**
- 411 **Paludi interne.** Terre basse generalmente inondate in inverno o e più o meno saturate d'acqua durante tutte le stagioni.
- 412 **Torbiere,** terreni spugnosi umidi nei quali il suolo è costituito principalmente da muschi e materiali vegetali decomposti. Torbiere utilizzate o meno.
- 42 **Zone umide marittime. Zone non boscate , saturate parzialmente temporaneamente o in permanenza da acqua salmastra o salata**
- 421 **Paludi salmastre.** Terre basse con vegetazione, situate al di sotto del livello di alta marea, suscettibili pertanto di inondazione da parte delle acque del mare. Spesso in via di riempimento, colonizzate a poco a poco da piante alofite.
- 422 **Saline, saline attive o in via di abbandono.** Parti di paludi salmastre utilizzate per la produzione di sale per evaporazione. Sono nettamente distinguibili dal resto delle paludi per la forma regolare delle particelle e il loro sistema di argini.

423	<i>Zone intertidali.</i> Superfici limose, sabbiose o rocciose generalmente prive di vegetazione comprese fra il livello delle alte e delle basse maree.
5	CORPI IDRICI
51	<i>Acque continentali</i>
511	<i>Corsi d'acqua, canali e idrovie.</i> Corsi d'acqua naturali o artificiali che servono per il deflusso delle acque. Larghezza minima da considerare 100 m.
512	<i>Bacini d'acqua.</i> Superfici naturali o artificiali coperte da acque.
52	<i>Acque marittime</i>
521	<i>Lagune.</i> Aree coperte da acque salate o salmastre, separate dal mare da barre di terra o altri elementi topografici simili. Queste superfici idriche possono essere messe in comunicazione col mare in certi punti particolari, permanentemente o periodicamente.
522	<i>Estuari.</i> Parte terminale dei fiumi, alla foce, che subisce l'influenza delle acque
523	<i>Mari e oceani.</i> Aree al di là del limite delle maree più basse.

Tabella 8-10. La classificazione Corine (Fonte: Prof. Ing. Marco Mancini, Ing. Claudio Meroni, Ing. Sergio Bavagnoli, *Rischio idraulico in considerazione di aree antropiche con particolare riguardo alla verifica di ponti e ponticelli posti lungo la rete viaria Provinciale*, 2003, sito web: www.provincia.lecco.it)

Quanto mostrato nella Tavola 8-3 (fornita dal Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno) viene quantificato nella seguente Tabella 8-11, dove si nota che nell'area in esame l'uso del suolo maggiormente presente è il seminativo non irriguo seguito dai sistemi colturali complessi⁴.

<i>Uso del suolo classificazione CORINE (Tavola 8.3)</i>	<i>Codice CORINE</i>	<i>Valli Vecchio Reno</i>	<i>Cella Diamantina</i>	<i>Burana (territorio sul Comune di Bondeno)</i>
		Area (ha)		
Aeroporti	124	62.2	/	/
Aree industriali commerciali	121	261.9	571.6	71.8
Aree sportive ricreative	142	15.5	/	/
Bacini d'acqua	512	11.5	21.1	19.4
Boschi in evoluzione	324	67.9	/	/
Boschi di latifoglie	311	92.8	35.1	0.3
Sistemi colturali complessi	242	15162.8	1827.0	903.6
Corsi d'acqua	511	127.8	122.6	0.7
Frutteti	222	2553.6	318.4	/
Pascolo Naturale	321	92.8	/	/
Seminativi non irrigui	211	22821.5	6592.7	10464.5
Urbano continuo	111	36.1	/	/
Urbano discontinuo	112	1635.1	63.5	253.1
Aree estrattive	131	/	16.9	/
Brughiere e cespuglietti	322	/	30.4	/
Cantieri	133	/	27.8	/
Spiagge	331	/	0.4	/

Tabella 8-11. Estensione dei diversi usi del suolo sui tre Consorzi di Bonifica considerati

⁴ Nel progetto ArcMap, lo shape file fornito dalla Provincia definisce l'uso del suolo *Sistemi Colturali Complessi* in maniera sintetica con la terminologia "*Colturale Complesse*"; quindi, nel "Progetto_Alto_Ferrarese.mxd", è quest'ultima dizione che compare nella legenda dei tematismi relativi all'uso.

Occorre precisare che la dizione “Cantieri”, presente nella Tabella 8-11, deriva dall’interpretazione dell’immagine satellitare acquisita nel 1999. Ovviamente tali aree soggette ad attività cantieristiche sono da ritenere assenti alla data attuale. Pertanto, i 27,8 ha della categoria “Cantieri” sono stati attribuiti all’uso caratterizzante la zona limitrofa.

Per quanto riguarda i “Corsi d’acqua”, osservando la Tavola 8-3 si nota che questa zona occupa una fascia coincidente con il Cavo Napoleonico. Pertanto nelle considerazioni successive riguardanti la definizione del CN da attribuire ad ogni suolo in ragione del suo uso, questa fascia è stata trascurata.

Lo stesso dicasi per i “Bacini d’acqua”: infatti, anche questi risultano non contribuenti al deflusso superficiale e pertanto vengono trascurati nella definizione sia del CN di singola area sia di CN medio pesato a livello di bacino.

Infine, per quanto riguarda la dizione “Spiagge” vale la pena sottolineare che in base alla classificazione CORINE questo termine viene usato per indicare anche zone sabbiose in prossimità dei corsi d’acqua. É in questo senso che deve essere letta tale tipologia di uso del suolo, che infatti si riferisce ad una piccola area in prossimità del fiume Po.

Le informazioni riportate in Tabella 8-11 sono riprodotte nelle seguenti figure in riferimento ai sei comuni dell’Alto Ferrarese.

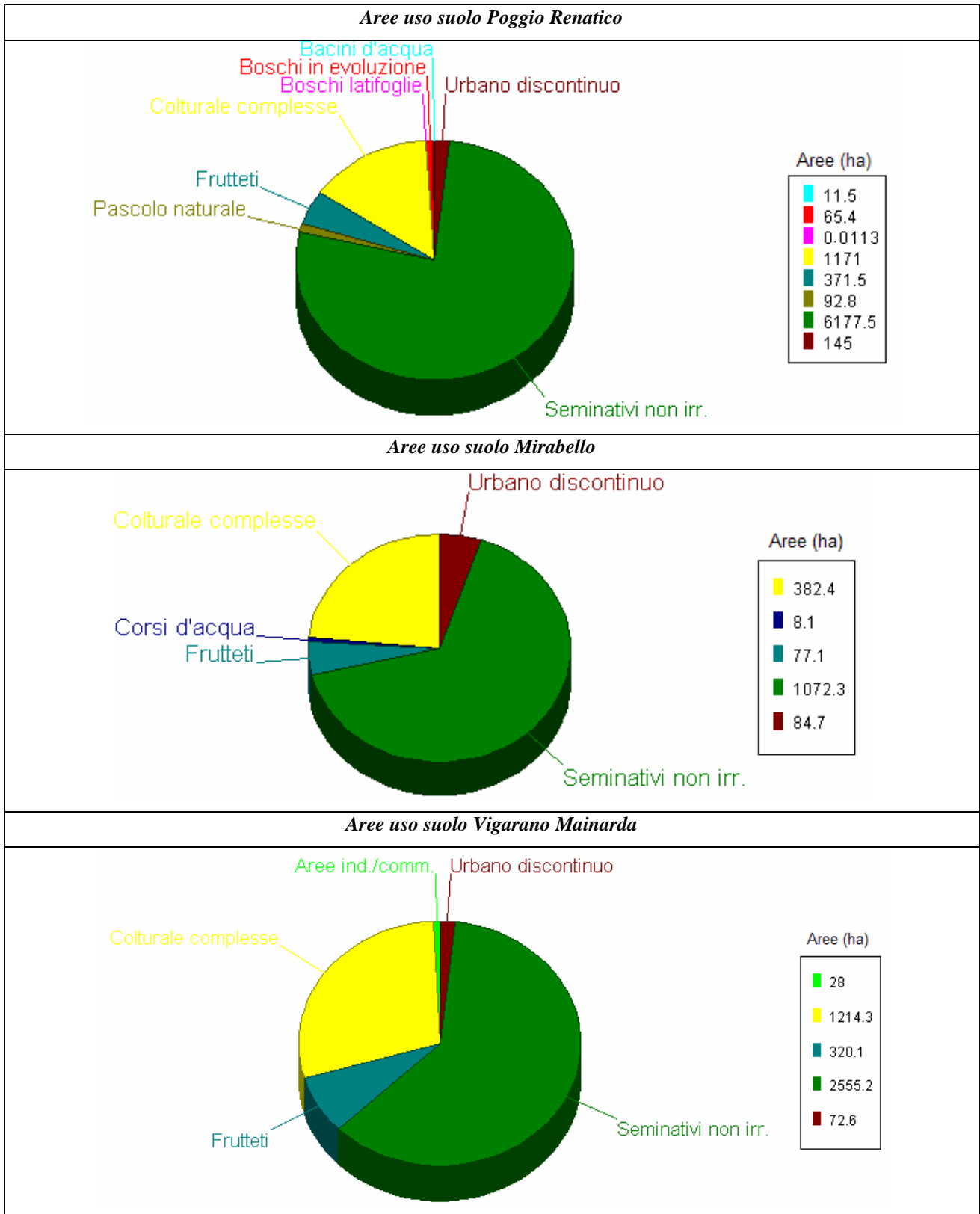


Figura 8-6. Uso del suolo per i comuni di interesse

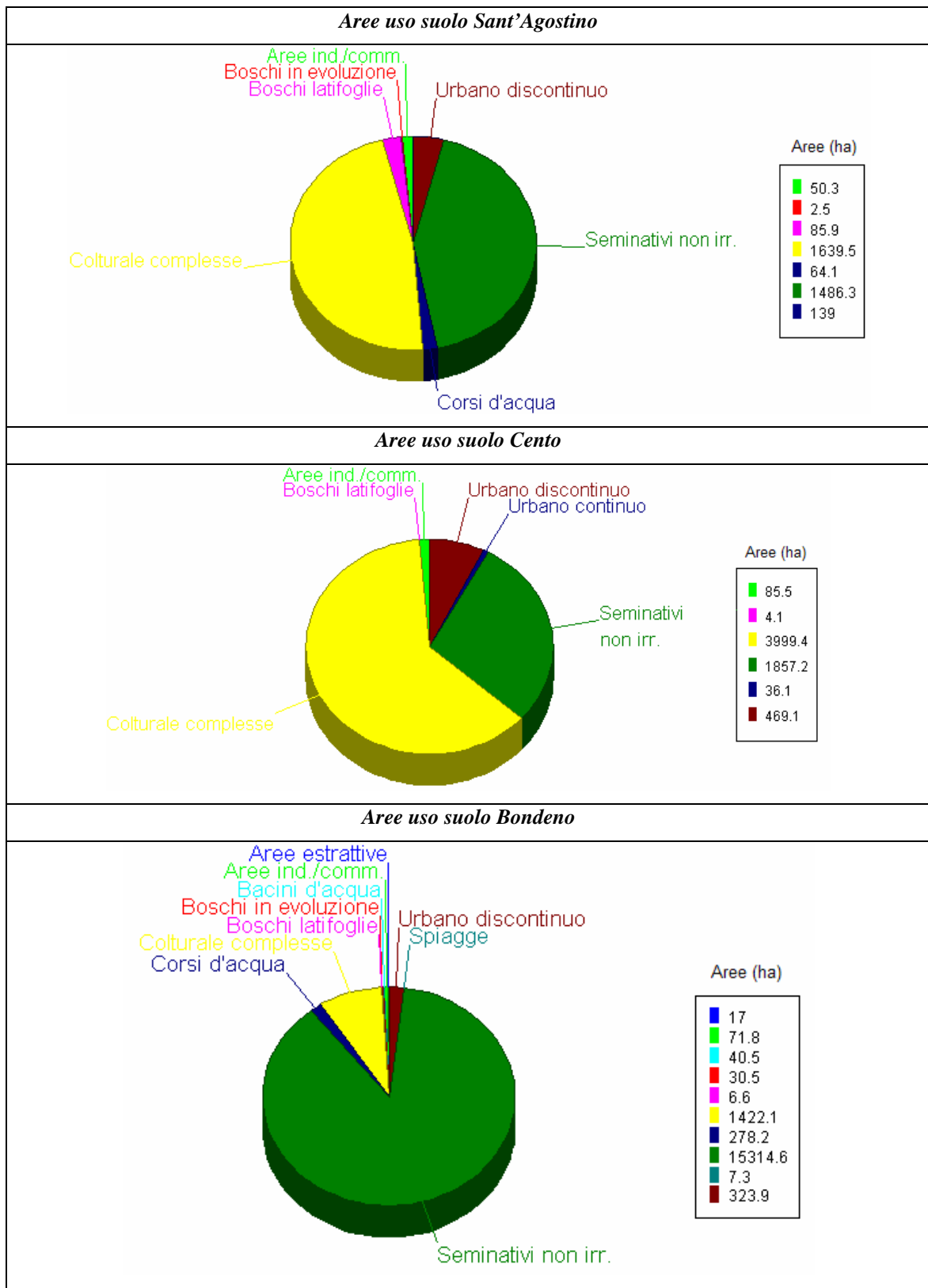


Figura 8-7. Uso del suolo per i comuni di interesse

b) Determinazione del CN per ogni uso del suolo

A questo punto per giungere alla definizione del CN(II) si è proceduto ad associare la classificazione CORINE alle tipologie di uso del suolo riportate in Tabella 8-1 e Tabella 8-2. In questo modo, si è pervenuti per ogni uso del suolo alla definizione di quattro CN(II), a seconda del tipo idrologico di suolo A, B, C e D.

<i>Uso del suolo secondo CORINE</i>	<i>Uso del suolo secondo il metodo CN-SCS</i>	<i>Codice CORINE</i>	<i>CN (II) per Tipo idrologico di Suolo</i>			
			<i>A</i>	<i>B</i>	<i>C</i>	<i>D</i>
<i>Aeroporti</i>	Area residenziale con superficie impermeabile attorno al 20 %	124	51	68	79	84
<i>Aree ind/comm</i>	Distretti industriali	121	81	88	91	93
<i>Aree sport/ricr.</i>	Spazio aperto: in buone condizioni, copertura erbosa sul 75% o più	142	39	61	74	80
<i>Boschi in evoluzione</i>	Boschi: condizione idrologica buona	324	25	55	70	77
<i>Boschi di latifoglie</i>	Boschi: condizione idrologica buona	311	25	55	70	77
<i>Sistemi colturali complessi</i>	Legumi seminati folti o prati in rotazione: trattamento a solchi diritti condizione idrologica buona	242	51	67	76	80
<i>Frutteti</i>	Bosco-combinazione di erbe (presenza di frutteto o alberi in genere) condizione idrologica buona	222	32	58	72	79

CAPITOLO 8

<i>Pascolo naturale</i>	Pascoli: condizione idrologica buona	321	39	61	74	80
<i>Seminativi non irrigui</i>	Piccoli grani: condizione idrologica buona	211	59	70	78	81
<i>Urbano continuo</i>	Aree residenziali a media copertura impermeabile	111	57	72	81	86
<i>Urbano discontinuo</i>	Aree residenziali a bassa copertura impermeabile	112	51	68	79	84
<i>Aree estrattive</i>	Spazio aperto: buone condizioni	131	39	61	74	80
<i>Brughiere e cespuglietti</i>	Boscaglia: condizione idrologica buona	322	30	48	65	73
<i>Spiagge</i>	/	331	30	-	-	-

Tabella 8-12. Usi del suolo presenti sul territorio in esame e il corrispondente CN(II) secondo le tabelle del SCS (le condizioni idrologiche buone stanno ad indicare che l'uso del suolo tende ad ostacolare il deflusso mentre le condizioni idrologiche cattive stanno ad indicare che l'uso del suolo tende a favorire il deflusso)

Con riferimento a ciascun Consorzio di Bonifica, le tabelle seguenti riassumono i valori di CN(II) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno.

VALLI VECCHIO RENO					
<i>Uso del suolo</i>	<i>Cod. CORINE</i>	<i>CN (II) per Tipo di Suolo</i>			
		A	B	C	D
<i>Aeroporti</i>	124	51	68	79	84
<i>Aree ind/comm</i>	121	81	88	91	93
<i>Aree sport/ricr.</i>	142	39	61	74	80
<i>Boschi in evoluzione</i>	324	25	55	70	77
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	25	55	70	77
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	51	67	76	80
<i>Frutteti</i>	222	32	58	72	79
<i>Pascolo naturale</i>	321	39	61	74	80
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	59	70	78	81
<i>Urbano continuo</i>	111	57	72	81	86
<i>Urbano discontinuo</i>	112	51	68	79	84

Tabella 8-13. Valori del CN(II) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

CELLA DIAMANTINA					
<i>Uso del suolo</i>	<i>Cod. CORINE</i>	<i>CN (II) per Tipo di Suolo</i>			
		A	B	C	D
<i>Aree estrattive</i>	131	39	61	74	80
<i>Aree ind/comm</i>	121	81	88	91	93
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	25	55	70	77
<i>Brughiere e cespuglieti</i>	322	30	48	65	73
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	51	67	76	80
<i>Frutteti</i>	222	32	58	72	79
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	59	70	78	81
<i>Spiagge</i>	331	30			
<i>Urbano discontinuo</i>	112	51	68	79	84

Tabella 8-14. Valori del CN(II) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

BURANA LEO SCOLTENNA PANARO					
Uso del suolo	Cod. CORINE	CN(II) per Tipo di Suolo			
		A	B	C	D
<i>Aree ind/comm</i>	121	51	68	79	84
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	25	55	70	77
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	51	67	76	80
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	59	70	78	81
<i>Urbano discontinuo</i>	112	51	68	79	84

Tabella 8-15. Valori del CN(II) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

Determinati i valori del CN(II), si calcolano i valori del CN(I) e CN(III) corrispondenti ad ogni uso del suolo e tipo idrologico di suolo, utilizzando le formule [8.3] e [8.4] descritte nel paragrafo 8.2 . I valori così ottenuti del CN(I) e CN(III) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico A, B, C e D sono riportati nelle tabelle seguenti.

VALLI VECCHIO RENO					
Uso del suolo	Cod. CORINE	CN (I) per Tipo di Suolo			
		A	B	C	D
<i>Aeroporti</i>	124	30	47	61	69
<i>Aree ind/comm</i>	121	64	75	81	85
<i>Aree sport/ricr.</i>	142	21	40	54	63
<i>Boschi in evoluzione</i>	324	12	34	49	58
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	12	34	49	58
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	30	46	57	63
<i>Frutteti</i>	222	17	37	52	61
<i>Pascolo naturale</i>	321	21	40	54	63
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	38	49	60	64
<i>Urbano continuo</i>	111	36	52	64	72
<i>Urbano discontinuo</i>	112	30	47	61	69

Tabella 8-16. Valori del CN(I) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

VALLI VECCHIO RENO					
Uso del suolo	Cod. CORINE	CN (III) per Tipo di Suolo			
		A	B	C	D
<i>Aeroporti</i>	124	71	83	90	92
<i>Aree ind/comm</i>	121	91	94	96	97
<i>Aree sport/ricr.</i>	142	60	78	87	90
<i>Boschi in evoluzione</i>	324	43	74	84	89
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	43	74	84	89
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	71	82	88	90
<i>Frutteti</i>	222	52	76	86	90
<i>Pascolo naturale</i>	321	60	78	87	90
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	77	84	89	91
<i>Urbano continuo</i>	111	75	86	91	93
<i>Urbano discontinuo</i>	112	71	83	90	92

Tabella 8-17. Valori del CN(III) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

CELLA DIAMANTINA					
Uso del suolo	Cod. CORINE	CN (I) per Tipo di Suolo			
		A	B	C	D
<i>Aree estrattive</i>	131	21	40	54	63
<i>Aree ind/comm</i>	121	64	75	81	85
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	12	34	49	58
<i>Brughiere e cespuglieti</i>	322	15	28	44	53
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	30	46	57	63
<i>Frutteti</i>	222	17	37	52	61
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	38	49	60	64
<i>Spiagge</i>	331	15			
<i>Urbano discontinuo</i>	112	30	47	61	69

Tabella 8-18. Valori del CN(I) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

CELLA DIAMANTINA					
Uso del suolo	Cod. CORINE	CN (III) per Tipo di Suolo			
		A	B	C	D
<i>Aree estrattive</i>	131	60	78	87	90
<i>Aree ind/comm</i>	121	91	94	96	97
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	43	74	84	89
<i>Brughiere e cespuglieti</i>	322	50	68	81	86
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	71	82	88	90
<i>Frutteti</i>	222	52	76	86	90
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	77	84	89	91
<i>Spiagge</i>	331	50			
<i>Urbano discontinuo</i>	112	71	83	90	92

Tabella 8-19. Valori del CN(III) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

BURANA LEO SCOLTENNA PANARO					
Uso del suolo	Cod. CORINE	CN (I) per Tipo di Suolo			
		A	B	C	D
<i>Aree ind/comm</i>	121	30	47	61	69
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	12	34	49	58
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	30	46	57	63
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	38	49	60	64
<i>Urbano discontinuo</i>	112	30	47	61	69

Tabella 8-20. Valori del CN(I) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

BURANA LEO SCOLTENNA PANARO					
Uso del suolo	Cod. CORINE	CN (III) per Tipo di Suolo			
		A	B	C	D
<i>Aree ind/comm</i>	121	71	83	90	92
<i>Boschi di latifoglie</i>	311	43	74	84	89
<i>Sistemi colturali complessi</i>	242	71	82	88	90
<i>Seminativi non irrigui</i>	211	77	84	89	91
<i>Urbano discontinuo</i>	112	71	83	90	92

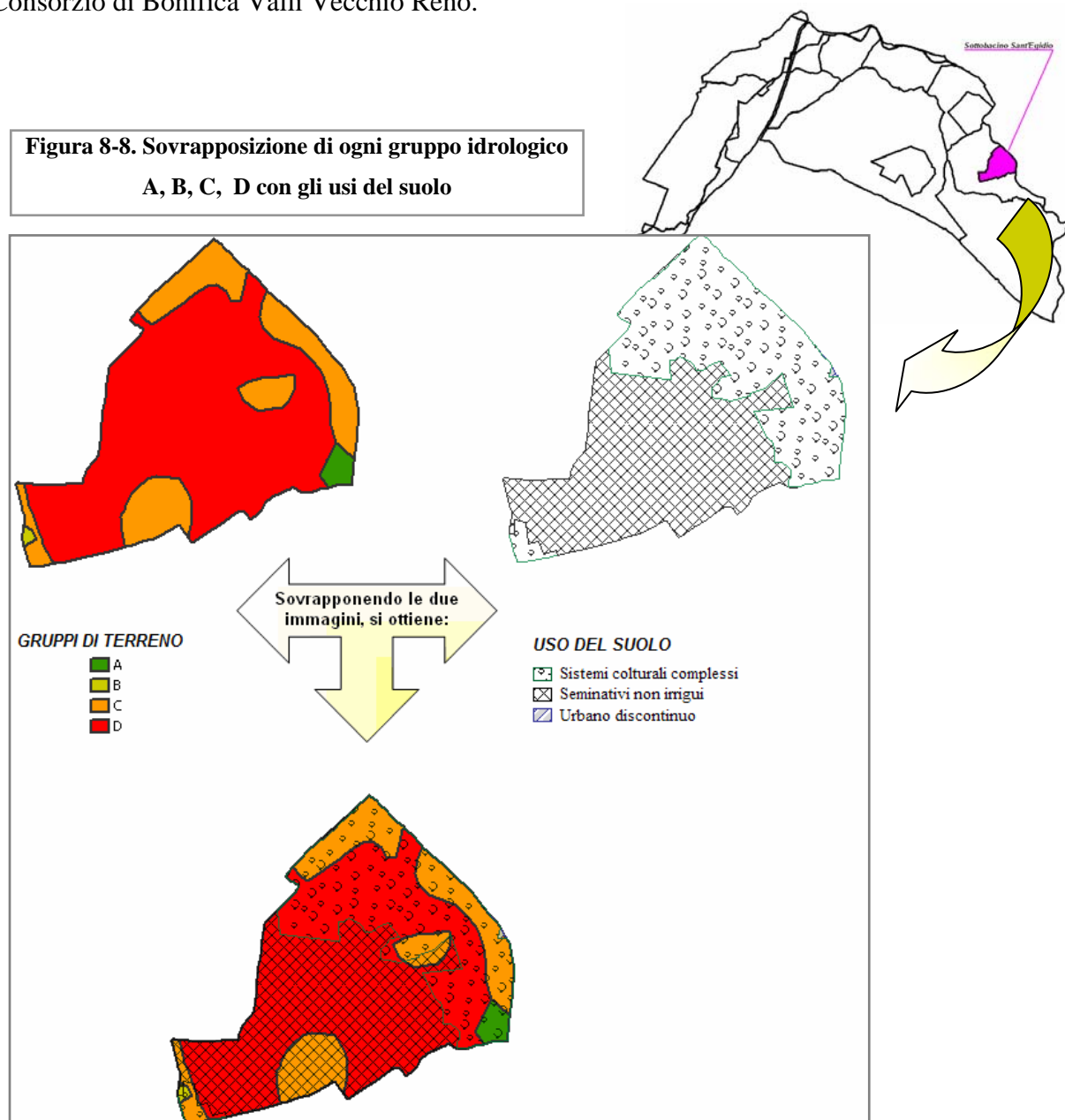
Tabella 8-21. Valori del CN(III) per ogni uso del suolo e gruppo idrologico di terreno A, B, C e D

8.4 Calcolo del CN medio pesato per ogni bacino di scolo

Utilizzando le tabelle precedentemente calcolate nel paragrafo 8.3.3, si è determinato il valore del CN medio pesato, dove i pesi sono le aree degli usi del suolo per ogni gruppo idrologico di terreno secondo il metodo SCS.

Al fine di determinare le aree di ogni uso del suolo ricadente in un determinato gruppo di terreno, è necessario procedere alla sovrapposizione delle informazioni del tipo idrologico di suolo (Tavola 8-2) e dell'uso del suolo (Tavola 8-3).

Per esempio, in Figura 8-8, si riporta la procedura eseguita con ArcGIS 9 sul bacino Sant'Egidio del Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno.



Come si nota dalla Figura 8-8, per il bacino di Sant'Egidio si sovrappongono le carte che riportano rispettivamente i tipi idrologici di suolo e l'uso del suolo. Il valore del CN medio pesato per ogni bacino di scolo si ottiene semplicemente con la seguente equazione:

$$CN_{\text{medioPesato}} = \frac{\sum (CN_i \cdot A_i)}{A_{\text{totale}}} \quad [8.5]$$

dove:

CN_i = valori del CN corrispondenti ad ogni uso del suolo e gruppo idrologico di suolo;

A_i = area in m² corrispondente ad ogni uso del suolo e gruppo idrologico di suolo;

A_{totale} = area totale, ovvero area del bacino di scolo.

Nella Tavola 8-4 si mostra il dettaglio della procedura di calcolo del CN medio pesato con riferimento al bacino di S.Egidio.

Tavola 8-4. Valori del CN medio pesato per il Bacino Sant'Egidio

In conclusione si riportano i risultati ottenuti per ognuno dei Consorzi di Bonifica considerati:

VALLI VECCHIO RENO				
<i>Bacino di scolo</i>	<i>Area</i> ha	<i>CN(I)</i>	<i>CN(II)</i>	<i>CN(III)</i>
BAGNETTO	1163	55.6	74.4	86.8
NUOVO SCOLO	7081	57.8	75.9	87.5
TORNIANO	1246	64.0	80.9	90.7
SANTEGIDIO	564	61.6	79.1	89.6
CONDOTTO GENERALE (destra)	447	58.8	77.1	88.5
OPPIO	2326	60.32	78.2	89.1
CANALE DI CENTO (piccolo)	47	58.3	76.9	88.4
TORRE FOSSA	765	64.2	81	90.7
CHIODAROLO VECCHIO	66	61.8	79.1	89.6
CONDOTTO GENERALE (sinistra)	5633	61.1	78.8	89.5
ANGELINO	1693	58.9	77	88.3
SAVENUZZA	1402	59.7	77.8	88.9
CEMBALINA (Acque Alte)	11229	59.7	77.7	88.7
SAMMARTINA (Acque Alte)	1715	61.6	78.6	89
SANTA BIANCA 2	65	64.2	81	90.7
POROTTO (grande)	1845	56.9	75.2	87.1
POROTTO (piccoli)	150	56.7	75.1	87.1
SANTA BIANCA 3	766	63.2	80.3	90.4
TASSONE (grande)	1171	59.7	77.8	88.9
TASSONE (piccolo)	114	60.4	78.4	89.3
SANTA BIANCA 1	2156	61.2	78.8	89.5
BONDENO EST	71	64.5	81.1	90.8
SANTA BIANCA 4	274	62.7	80	90.2
CAVO BONDESANO	67	60.2	78.3	89.2

Tabella 8-22. Valori medi pesati del CN per ogni bacino di scolo

CELLA DIAMANTINA				
<i>Bacino di scolo</i>	<i>Area</i> ha	<i>CN(I)</i>	<i>CN(II)</i>	<i>CN(III)</i>
CITTADINO 2	1929	61.5	78.8	89.4
CITTADINO 1	520	60.9	78.7	89.5
VALLETTA	226	57.1	75.6	87.5
BETTO	4439	61.0	78.5	89.3
BURANA OVEST	193	58.3	76.7	88.3
VIGARANO PIEVE	413	57.7	76.1	87.8
BURANA EST	118	52.7	71.3	84.5
NICOLINO	1664	55.6	74.2	86.5

Tabella 8-23. Valori medi pesati del CN per ogni bacino di scolo

BURANA (parte sul territorio di Bondeno)				
<i>Bacino di scolo</i>	<i>Area</i> ha	<i>CN(I)</i>	<i>CN(II)</i>	<i>CN(III)</i>
ACQUE BASSE	8381	63	80.2	90.3
ACQUE BASSE IN DESTRA	245	64.2	81.0	90.7
ACQUE BASSE IN SINISTRA	2802	63.7	80.7	90.6

Tabella 8-24. Valori medi pesati del CN per ogni bacino di scolo

8.5 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap

Nella tabella seguente si elencano i tematismi realizzati per il terzo blocco logico (caratterizzazione del suolo ai fini idrologici), che si divide ulteriormente in due ulteriori blocchi logici “Curve Number (CN)” e “Tipi idrologici di suolo”.

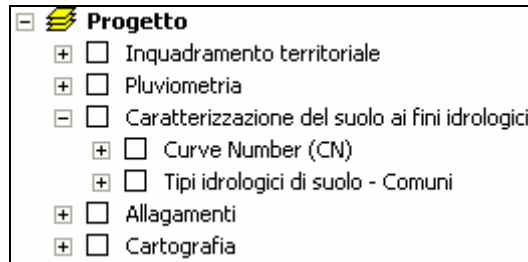


Figura 8-9. Il blocco logico “Caratterizzazione del suolo ai fini idrologici”

Nel primo sotto-blocco si riportano tutti i dati di input ed i risultati ottenuti dall’applicazione della metodologia esposta nel paragrafo 8.3 per ogni bacino di scolo, mentre nel secondo si punta l’attenzione sui comuni, al fine di fornire un’informazione sui tipi idrologici di suolo.

In particolare si riporta il titolo del tematismo/layer mostrato nel progetto, il nome originale dello shape file corrispondente ed una breve descrizione.

<i>Caratterizzazione del suolo ai fini idrologici</i>		
<i>Curve Number (CN)</i>		
<i>a) Carte di input</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
Carta uso del suolo VVR (1999)	Usodelsuolo_VVR.shp	Copertura che riporta l’uso del suolo sul consorzio Valli Vecchio Reno completo delle aree corrispondenti
Carta uso del suolo I Circ. (Diamantina) (1999)	Usodelsuolo_TV.shp	Copertura che riporta l’uso del suolo sul territorio della Cella Diamantina completo delle aree corrispondenti
Carta uso del suolo Comune Bondeno (1999)	Usodelsuolo_Bondeno.shp	Copertura che riporta l’uso del suolo sul territorio del Comune di Bondeno completo delle aree corrispondenti
Carta Litologica VVR	Litologia_VVR.shp	Copertura che riporta la litologia secondo il


		triangolo di Shepard sul consorzio Valli Vecchio Reno completo delle aree corrispondenti
Carta Litologica I Circ. (Diamantina)	Litologia_TV.shp	Copertura che riporta la litologia secondo il triangolo di Shepard sul territorio della Cella Diamantina completo delle aree corrispondenti
Carta Litologica Comune Bondeno	Litologia_Bondeno.shp	Copertura che riporta la litologia secondo il triangolo di Shepard sul territorio del Comune di Bondeno completo delle aree corrispondenti
<i>b) Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno</i>		
<p>Sono riportati tutti i bacini di scolo con l'informazione sul CN. Per ognuno di essi, nella tabella degli attributi sono riportate le seguenti informazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ usi del suolo, ▪ HSG (Tipo idrologico di suolo) a cui appartiene sul territorio il corrispondente uso del suolo, ▪ l'area di ogni uso del suolo presente, ▪ CN(I), CN(II), CN(III) per ogni uso del suolo, ▪ CN medio pesato per le tre condizioni di imbibizione del suolo. 		
<i>c) Consorzio di Bonifica I Circondario Polesine di Ferrara (Diamantina)</i>		
<p>Sono riportati tutti i bacini di scolo con l'informazione sul CN. Per ognuno di essi, nella tabella degli attributi sono riportate le seguenti informazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ usi del suolo, ▪ HSG (Tipo idrologico di suolo) a cui appartiene sul territorio il corrispondente uso del suolo, ▪ l'area di ogni uso del suolo presente, ▪ CN(I), CN(II), CN(III) per ogni uso del suolo, ▪ CN medio pesato per le tre condizioni di imbibizione del suolo. 		
<i>d) Consorzio di Bonifica Burana Leo Scoltenna Panaro</i>		
<p>Sono riportati la parte dei bacini di scolo ricadente sul territorio del comune di Bondeno e le corrispondenti informazioni sul CN. Per ognuna di esse, nella tabella degli attributi sono riportate le seguenti informazioni:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ usi del suolo, ▪ HSG (Tipo idrologico di suolo) a cui appartiene sul territorio il corrispondente uso del suolo, ▪ l'area di ogni uso del suolo presente, ▪ CN(I), CN(II), CN(III) per ogni uso del suolo, ▪ CN medio pesato per le tre condizioni di imbibizione del suolo. 		

<i>Tipi idrologici di suolo - Comuni</i>		
CENTO	HSG_Cento.shp	Copertura in termini di tipi idrologici di suolo del comune in esame completo delle aree corrispondenti
MIRABELLO	HSG_Mirabello.shp	Copertura in termini di tipi idrologici di suolo del comune in esame completo delle aree corrispondenti
POGGIO RENATICO	HSG_PoggioRenatico.shp	Copertura in termini di tipi idrologici di suolo del comune in esame completo delle aree corrispondenti
SANT'AGOSTINO	HSG_S.Agostino.shp	Copertura in termini di tipi idrologici di suolo del comune in esame completo delle aree corrispondenti
VIGARANO MAINARDA	HSG_S.Agostino.shp	Copertura in termini di tipi idrologici di suolo del comune in esame completo delle aree corrispondenti
BONDENO	HSG_Bondeno.shp	Copertura in termini di tipi idrologici di suolo del comune in esame completo delle aree corrispondenti

Tabella 8-25. I tematismi/layers per la caratterizzazione del suolo ai fini idrologici

Come riportato nella tabella precedentemente illustrata, il primo blocco logico “Curve Number (CN)” è alquanto articolato, in quanto riassume sia i dati di input che i risultati dello studio della caratterizzazione idrologica del suolo. Infatti, sono subito fruibili nel sottogruppo “Carte di input” le carte della litologia e dell’uso del suolo per il consorzio di bonifica Valli Vecchio Reno, per la Cella Diamantina e per la parte di territorio del Burana Leo Scotenna Panaro ricadente sul comune di Bondeno. Dall’utilizzo congiunto di queste informazioni, per ogni bacino di scolo dei suddetti Consorzi di Bonifica, si è proceduto alla determinazione del CN medio pesato.

Nella figura seguente si mostra come è configurata nel progetto l’informazione per ogni Consorzio di Bonifica (Figura 8-10). Come si può notare, i layers corrispondenti ad ogni bacino di scolo sono già accesi, pertanto basta solo spuntare la casella in testa al nome del Consorzio per vedere visualizzati sul View (si veda APPENDICE A) i quattro gruppi idrologici di suolo A, B, C e D secondo SCS. In realtà l’informazione che si fornisce è molto più ricca se si utilizza il comando

Identify; infatti, come illustrato in APPENDICE A, se si clicca con  in un qualunque punto sulla mappa appena visualizzata si acquisisce il tipo di uso del suolo seguito dalla sua estensione, il tipo idrologico di suolo e quindi lo specifico valore del CN(I), CN(II), CN(III).

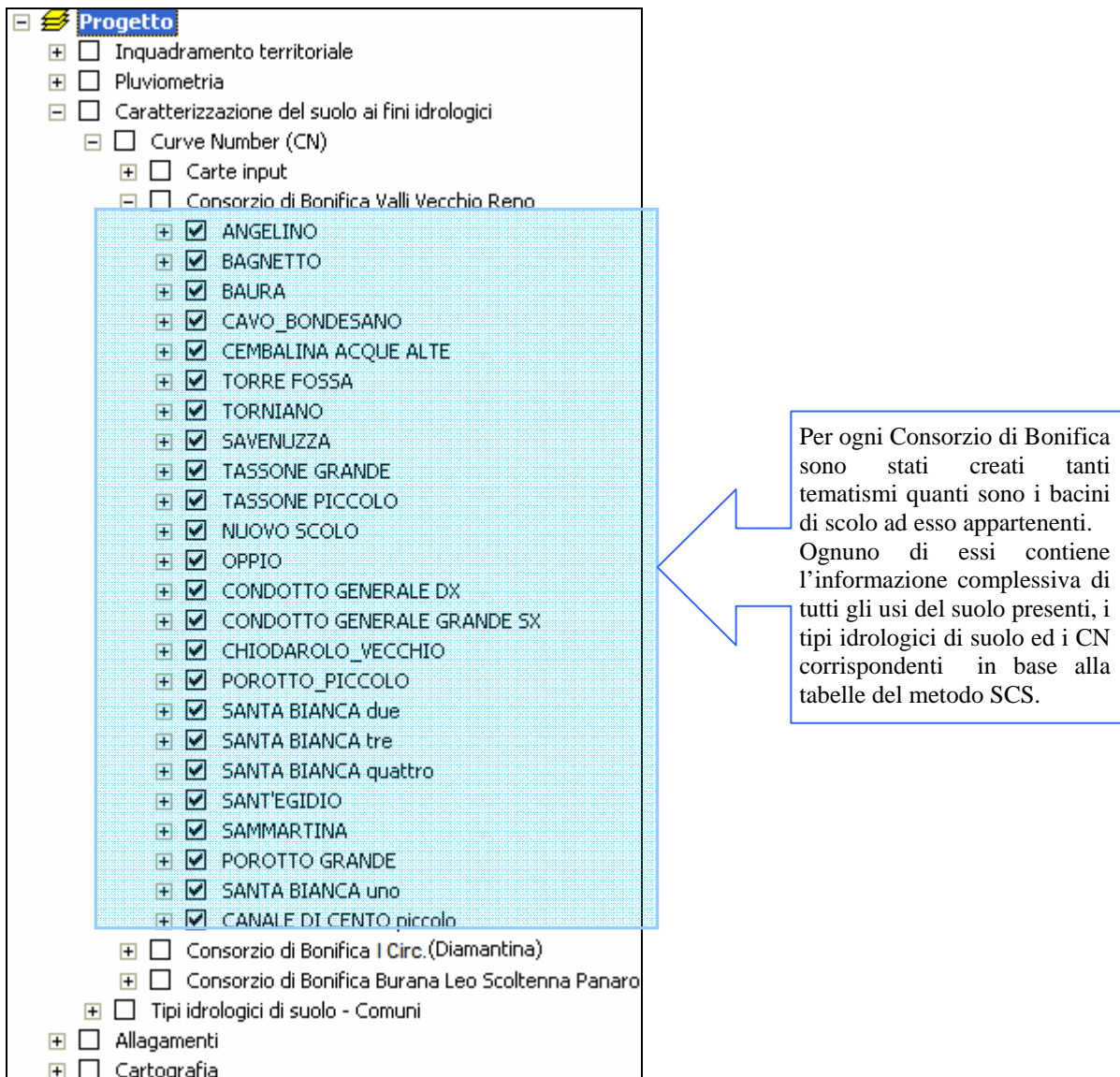


Figura 8-10. Visualizzazione dei layers creati per ogni Consorzio di Bonifica

E' importante sottolineare che le informazioni visualizzate sul View, tramite il comando suddetto, sono strettamente collegate alla tabella degli attributi. Per esempio, la tabella degli attributi del tematismo Angelino è riportata in Tabella 8-26 con la spiegazione riassuntiva di quanto illustrato in precedenza.

Attributes of ANGELINO		TESTO	HSG	CIL_I	CIL_II	CIL_III	AREA	CIL_IxAREA	CIL_IIxAREA	CIL_IIIxAREA
FID	Shape'									
0	Polygon	Colturale complesse	A	30.417	51	70.535	676348.7	303668056.6	34493783.7	47706255.6
1	Polygon	Seminativi non irr.	A	37.671	59	76.797	25691.2	1097014.2	1515780.8	1973007.1
2	Polygon	Aree ind./comm.	C	80.94	91	95.877	470714.4	40858009.9	42835010.4	45130684.5
3	Polygon	Colturale complesse	C	57.082	76	87.928	8327811.7	586277943.7	632913689.2	732247827.2
4	Polygon	Seminativi non irr.	C	59.825	78	89.076	3019170.8	202888277.8	235495322.4	268935658.2
5	Polygon	Urbano discontinuo	C	61.24	79	89.64	45656.8	3611452.9	3606887.2	4092675.6
6	Polygon	Colturale complesse	D	62.687	80	90.196	1079407.1	83438168.8	86352568	97358202.8
7	Polygon	Seminativi non irr.	D	64.164	81	90.745	3263411.1	235291940.3	264336299.1	296138240.3
8	Polygon	Urbano discontinuo	D	68.799	84	92.352	18737.6	1551473.3	1573958.4	1730454.8

Ogni colonna riporta il prodotto tra il CN(I), CN(II) e CN(III) per l'area corrispondente dell'uso del suolo (Si tratta dei medesimi risultati ottenuto con il foglio di calcolo nel paragrafo 8.6). Se si calcola la somma (comando *Statistics*) di ogni colonna e la si divide per la somma dei valori nella colonna AREA si ottiene immediatamente il CN medio pesato (I, II o III a seconda della colonna considerata) medio pesato per il bacino in esame. Questi valori sono comunque riportati nei tematismi "VALLI VECCHIO RENO", "TERRE VECCHIE (DIAMANTINA)" e "BURANA LEO SCOLTENNA PANARO". Si veda paragrafo 8.4.

Area di ogni uso del suolo elencato in m² calcolata in ambiente GIS.

Ogni colonna riporta i valori dei CN dedotti dall'utilizzo delle tabelle dell'SCS: per esempio il valore del CN(I)=44,9 si trova entrando in queste con l'informazione uso del suolo "colturale complesse" o più propriamente "sistemi colturali complessi" e Hydrologic Soil Group (tipo idrologico di suolo) A. Si veda paragrafo 8.3.3

Dalla sovrapposizione della carta dell'uso del suolo e della carta del tipo idrologico di suolo si ricavano queste due colonne: nella prima si riportano tutti gli usi del suolo presenti, mentre nella seconda il tipo idrologico di suolo su cui si estende.

Tabella 8-26. Tabella degli attributi del bacino Angelino

Sempre al terzo blocco logico si riferisce il tematismo “Tipi idrologici di suolo - Comuni”, che si suddivide a sua volta in sei sotto-tematismi, uno per ogni comune dell’Alto Ferrarese. Questi riassumono essenzialmente quali sono e quanto si estendono i gruppi A, B, C e D su ogni comune, come messo in evidenza in Tabella 8-27 .

The screenshot shows a GIS application interface. On the left, a project tree under 'Progetto' includes several layers, with 'CENTO' selected. Below 'CENTO', a legend shows four soil types: A (green), C (orange), and D (red). On the right, a table titled 'Attributes of CENTO' displays the following data:

FID	Shape*	CLASSE	AREA	HSG
0	Polygon	A	81785,1	D
1	Polygon	AL	28144928,3	D
2	Polygon	ALS	28884247,1	C
3	Polygon	AS	712898,8	D
4	Polygon	SA	6291856	C
5	Polygon	SL	304833,3	A

Tabella 8-27. Esempio di informazione contenuta nella tabella degli attributi del tematismo “CENTO”

9 LO STUDIO DEGLI ALLAGAMENTI STORICI

9.1 Introduzione

In questa parte del lavoro si è realizzata una banca dati delle aree storicamente allagate in base alla cartografia fornita dall'Amministrazione Provinciale di Ferrara e dai Consorzi di Bonifica Valli Vecchio Reno e Burana-Leo-Scoltenna-Panaro.

In particolare, le aree allagate vengono descritte sottolineandone l'estensione e classificandole a seconda della durata:

- fino a 24 ore (colore arancione chiaro);
- fino a 48 ore (colore blu)
- comprese tra 48 e 96 ore (colore fucsia)
- oltre 96 ore (colore rosso).

Le aree allagate per cui non è stato possibile effettuare una caratterizzazione in termini di durata sono segnate con il colore azzurro.

Successivamente, è stato studiato il legame con l'altimetria del territorio, la permeabilità, il livello della falda freatica descritto tramite le isobate, mettendo inoltre in evidenza eventuali somiglianze tra gli allagamenti avvenuti in epoche diverse.

Infine si è realizzata una tabella che riassume per ogni allagamento il legame con i suddetti parametri fisici od altre cause, in modo da trarne conclusioni sulle effettive ragioni che hanno portato alla loro formazione e persistenza sul territorio.

9.2 Raccolta delle aree inondate dal 1949 al 2005

Gli allagamenti verranno descritti partendo dai più recenti e andando quindi indietro nel tempo. Come è infatti intuibile, la maggiore informazione la si ha sugli allagamenti che si sono manifestati negli ultimi anni mentre per gli anni precedenti le informazioni risultano più carenti.

9.2.1 Allagamenti ottobre 2005

Nell'ottobre 2005 si è verificata una perturbazione che ha interessato l'intera regione Emilia Romagna per il periodo dal 2 ottobre 2005 all'8 ottobre 2005, generando episodi di pioggia ogni giorno, culminati poi nell'evento degli ultimi tre giorni.

Come è evidente dalla figura a fianco, nel Comune di Cento si sono verificati innumerevoli allagamenti in prossimità del centro abitato e a sud nel bacino di scolo Bagnetto del Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno (Figura 9-1).

Secondo quanto riportato nella relazione tecnica "Elementi di sintesi relativi all'evento meteorico dei giorni 6,7,8 Ottobre 2005" del Dott. Ing. Riccardo Roversi, l'allagamento in prossimità del centro del comune di Cento (Figura 9-2), è dovuto essenzialmente alla crisi del sistema fognario. Il reticolo delle fognature della città inizialmente è riuscito ad assorbire abbastanza regolarmente la parte iniziale dell'evento meteorico, ma esso ha cominciato ad entrare in crisi quando i deflussi in uscita dalle

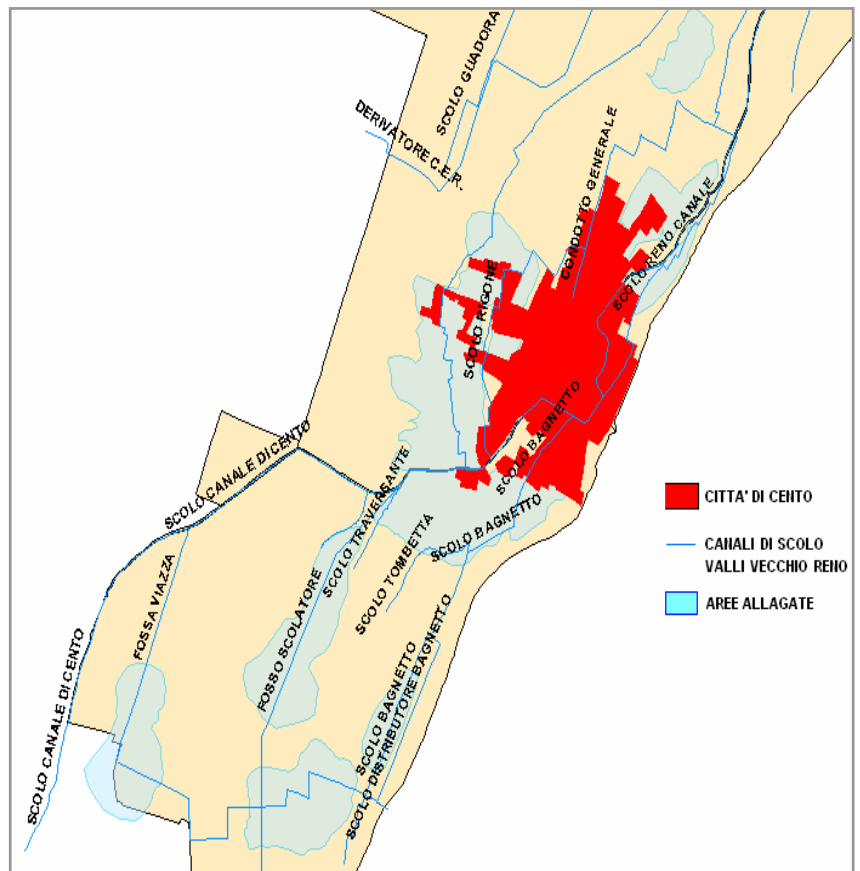


Figura 9-1. Allagamenti nel comune di Cento

stesse fognature hanno determinato il riempimento del canale ricevente, il Condotto Generale.



Figura 9-2. Via Rigone (Cento)

Di conseguenza, il sistema fognario è entrato in pressione per rigurgito: nelle prime ore di venerdì 7 ottobre 2005 hanno così avuto inizio gli allagamenti nel centro urbano, come illustrato nelle foto di seguito riportate.

Nell'area a sud di Cento, interessata da piogge ancora più intense, è pervenuta una quantità enorme di acqua che non era contenibile nell'alveo ricevente del Canale di Cento a cielo aperto e nemmeno nella canna che costituisce il tombinamento del canale stesso; pertanto si sono determinate esondazioni sempre più estese, sia in destra che in sinistra idraulica nell'area a sud del centro storico.

Il tombinamento del Canale di Cento è entrato ben presto in pressione e l'acqua ha trovato sfogo fuoriuscendo con notevole spinta attraverso una serie di passaggi; in questo modo le acque si sono riversate sul più basso sistema fognario urbano già in crisi, aggravando la situazione (Figura 9-3).



Figura 9-3. Canale di Cento a valle del Tombinamento

Merita di essere citata anche la rotta dell'argine del Canale di Cento in sinistra idraulica, subito a monte della botte sottopassante dello Scolo Pievese. Di conseguenza una quota della portata di piena del Canale di Cento si è riversata nello Scolo Pievese, il quale poi affluisce più a valle al Condotto Generale (Figura 9-4).



Figura 9-4. Rotta Canale di Cento

In ultimo, nella tavola 9-1 si osservino le zone allagate a sud del primo tratto del Canale di Cento; queste si trovano in corrispondenza di Fossa Mozza, Fosso Scolatore, Scolo Bagnetto e lo Scolo Distributore Bagnetto e sono indice dell'impossibilità dei canali di smaltire una portata eccezionale, conseguente all'evento meteorico dell'ottobre 2005, oltre che della situazione di "saturazione" che si è manifestata nel sistema fognario cittadino e dei tratti tombinati che l'attraversano.

In sintesi, si riporta la tabella riassuntiva dell'estensione totale dell'allagamento.

<i>Comune</i>	<i>Area</i>
	ha
Cento	646,13

Tabella 9-1. Estensione degli allagamenti sul comune di Cento

9.2.2 Allagamento 2001

L'allagamento del 2001 ha un'estensione di 11.7 ha in corrispondenza della sponda destra del Canale Nogarotto (Figura 9-5) nel comune di Bondeno. Il canale è esondato in conseguenza dell'evento meteorico sviluppatosi nella giornata del 4 Maggio 2001. Si veda Tavola 9-2.

Data la localizzazione assai ristretta dell'evento di allagamento, si può ritenere che esso derivi da uno scroscio localizzato combinato ad una insufficienza della sezione idraulica del canale.



Figura 9-5. Lo straripamento del Canale Nogarotto nel 2001

9.2.3 Allagamenti dicembre 1996

Nei giorni 7 e 8 ottobre 1996 si sono verificate intense precipitazioni su tutta l'intera regione Emilia Romagna, ma ancor più nel periodo 9-15 dicembre 1996, un nuovo eccezionale evento meteorologico, di frequenza cinquantennale¹, ha colpito le zone di pianura delle province di Ferrara. Come è evidente dalla carta "ZONE ALLAGATE DICEMBRE 1996" (Tavola 9-3) la precipitazione, caduta su terreni già saturi d'acqua, ha provocato la tracimazione di molti canali di scolo nei comuni di Cento, Sant'Agostino, Mirabello, Vigarano Mainarda e Poggio Renatico. Si precisa che per quanto riguarda il comune di Bondeno, ricadente su tutti i tre consorzi di bonifica

¹ Fonte: www.assogeologici.it/Documenti/ProtCivile/Operativa.htm

considerati, e per la parte del comune di Vigarano Mainarda, ricadente sul territorio del I Circondario, non si dispone di una cartografia degli allagamenti del periodo dicembre 1996.

Nella seguente tabella si riassumono le estensioni degli allagamenti sopra citati in relazione alla persistenza sui sei comuni dell'Alto Ferrarese.

<i>Comune</i>	<i>Durata</i>		
	<i>48 ore</i>	<i>da 48 a 96 ore</i>	<i>oltre 96 ore</i>
	ha	ha	ha
Bondeno	Non disponibile	Non disponibile	Non disponibile
Cento	251,8	612,2	60,1
Mirabello	/	26,58	41,8
Poggio Renatico	363,2	495,8	479,5
Sant'Agostino	181,2	34,9	/
Vigarano Mainarda	/	203,9	/

Tabella 9-2. L'estensione e la persistenza delle aree allagate nel dicembre 1996 sui sei comuni dell'Alto Ferrarese

E' evidente che gli allagamenti sono risultati su tutto il territorio, ed in particolare nel comune di Poggio Renatico, 1338.5 ha di territorio sono stati inondati interessando in gran parte il bacino di scolo Torniano. Infatti, le foto seguenti mettono in evidenza le condizioni in cui si è trovato l'impianto omonimo ed il canale con un tirante idrico prossimo all'azzeramento del franco di sicurezza.



Figura 9-6. L'impianto Torniano



Figura 9-7. Il Canale Torniano a Monte dell'impianto

Molte zone allagate si sono avute anche nel comune di Cento, in prossimità dello scolo Bagnetto, dello scolo Guadora, del Condotto Generale, dello scolo Canalizzo Inferiore ed in corrispondenza di due piccole zone in sponda destra del Canale di Cento: una presso Dosso e l'altra a Fornasazza di Sopra.

Appena ad est, nel comune di Sant'Agostino, i punti critici si manifestano attorno allo scolo Fossa e a Mirabello presso il Fosso Mantovani, mentre nel comune di Vigarano Mainarda, si riscontrano due modesti allagamenti in sponda destra e sinistra dello scolo Rondone e uno più rilevante in sinistra del Cavo Tassone (Figura 9-8).

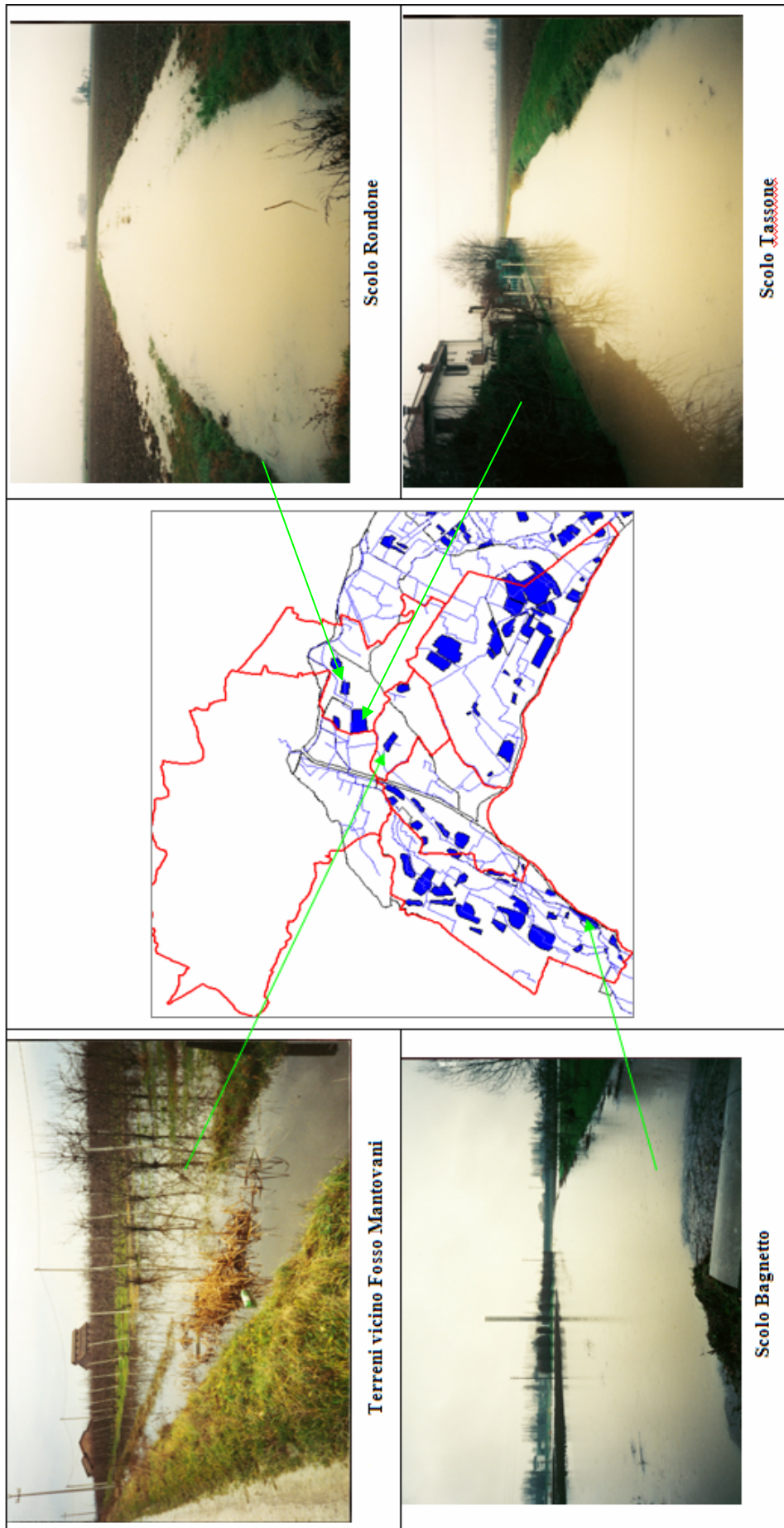


Figura 9-8.
Immagini
degli
allagamenti

Le immagini riportate in Figura 9-8 mettono in evidenza che la maggior parte degli allagamenti sono dovuti all'impossibilità dei canali di smaltire la portata, mentre vi sono molte piccole zone, non in corrispondenza dei canali, in cui si sono verificati ristagni d'acqua per periodi dai due ai quattro giorni (Figura 9-9). Per capire le cause di questi ultimi allagamenti si è reso necessario procedere ad un'analisi approfondita, tenendo presente l'influenza dell'altimetria, della permeabilità dei suoli, dell'altezza della falda freatica e la struttura della rete terziaria (si vedano il paragrafo 9.5).

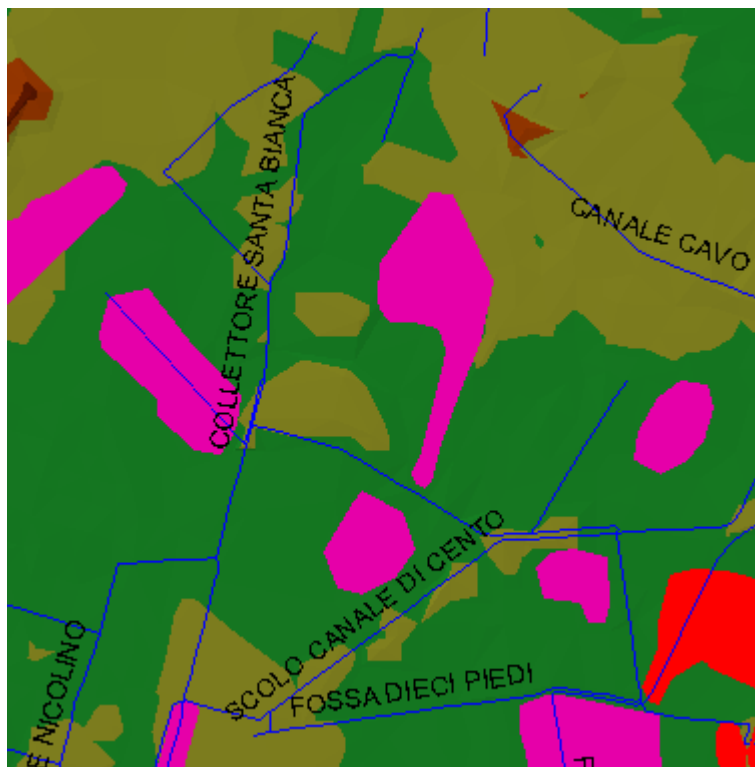


Figura 9-9. Ristagni d'acqua

9.2.4 Allagamenti maggio 1996

Osservando la Tavola 9-4 si può affermare che l'evento del Maggio 1996 per i sei comuni dell'Alto Ferrarese è stato di eccezionale disagio: infatti si sono verificate esondazioni diffuse soprattutto nella parte nord est, sul territorio del comune di Bondeno. In effetti gli allagamenti in questa zona, oltre ad essere molto estesi, hanno perdurato nelle campagne per un giorno e 48 ore in destra del Canale Quarantoli.

In particolare le aree più estese sono essenzialmente tre: la prima di 1182 ettari, interessa il canale Bagnoli, il Fiume Luce, il Fosso Puglia ed il Fosso Cinoso e pertanto si suppone sia dovuta all'impossibilità degli stessi di accogliere e far defluire la grande quantità d'acqua piovuta nel periodo 9-13 maggio 1996.

Lo stesso dicasi della zona appena più a nord di circa 600 ettari che interessa l'area a destra del Canale Collettore di Burana per circa 7750 metri.

In sponda sinistra del Collettore di Burana si ha una zona allagata di 355 ettari che si unisce con l'ulteriore area inondata di competenza del Canale Diversivo Destro Del Bondiolo.

Sempre a causa dell'impossibilità di smaltire le abbondanti piogge di questo evento, tra i numerosi allagamenti si evidenziano quelli in corrispondenza del Diversivo Sinistro del Bondiolo (157 ha), Scolo Campo Destro e Scolo Campo Sinistro (342 ha), Cavo Cagnette, Cavo Cavalletta (454 ha) e Cavo Campanella (358 ha) interessando parte dell'abitato di Scottichino e l'allagamento dell'intero bacino delle Acque Basse in Destra per un totale di 224 ha.

Le aree allagate che vanno ad interessare parte dell'abitato del comune di Bondeno sono: in corrispondenza del Cavo Reghizza (120 ha), 132 ha in destra del Cavo Rondone Primo ed in destra e sinistra del Cavo Rondone Secondo. Inoltre, in prossimità di Ponti di Spagna si hanno 114 ettari inondata dovuti essenzialmente alla completa saturazione del terreno.

Spostandosi più a sud, sulla parte del comune di Bondeno ricadente sul comprensorio di Valli Vecchio Reno, si hanno allagamenti di modesta entità di durata dai due ai quattro giorni, che interessano la zona in destra del Derivatore S. Bianca, lo scolo Cantalupo e scolo Dodici Apostoli e le campagne circostanti. Queste ultime sono probabilmente dovute all'impossibilità della rete

secondaria e terziaria di smaltire la parte di precipitazione defluita sul terreno, in concomitanza alla permeabilità dei terreni (si veda paragrafo 9.3.2)

Medesima situazione si ha nella parte sud del comune di Vigarano Mainarda, interessato da una vasta area allagata (durata oltre quattro giorni) in corrispondenza del canale Cavo Tassone e Scolo Rondone (Figura 9-10), mentre a nord si hanno 56 e 42 ha allagati rispettivamente adiacenti ai canali di Galanara Superiore e Galanara Inferiore, conseguenza diretta dell'impossibilità dei due canali di accogliere la quantità d'acqua piovuta con tanta intensità.



Figura 9-10. Lo scolo Rondone e le aree allagate in sponda destra e sinistra

Per quanto riguarda il comune di Mirabello si hanno solo due zone critiche: una di 22,5 ha nelle campagne sud est della città, e l'altro di 107,6 ha in destra allo scolo Madonna Boschi, mentre il comune di Sant'Agostino è quello meno interessato dagli allagamenti di durata fino a due giorni. Questi si hanno presso lo scolo Dosso, in destra allo scolo Fossa e 25 ha in destra al Canale di Cento.

Il comune di Poggio Renatico è interessato nel bacino del Tornino da un'area allagata di circa 30 ha in destra allo Scolo Seghedizzo Est ed un' altra di 72,8 ha in corrispondenza dello scolo Circondariale S.Martino.

E' significativo evidenziare che quest'ultime, insieme ai 40,4 ha allagati dallo scolo Carbonara, ai 76 ha nelle campagne a sud di Poggio Renatico e alle zone presso lo scolo Scorsuro, sono praticamente gli stessi punti allagati del dicembre '96 (si veda paragrafo 9.5).

Stessa considerazione si può fare anche per il Comune di Cento, dove per esempio i terreni in destra e sinistra idraulica dello scolo Guadora, dello scolo Alamari, del Condotto Generale e dello Scolo Banche Superiore sono le medesime zone interessate dagli allagamenti del dicembre 1996.



Figura 9-11. Scolo Arborselli a monte del ponte in via Piantoni

Nella seguente tabella si riassumono le estensioni degli allagamenti precedentemente illustrati e la loro persistenza sui sei comuni dell'Alto Ferrarese.

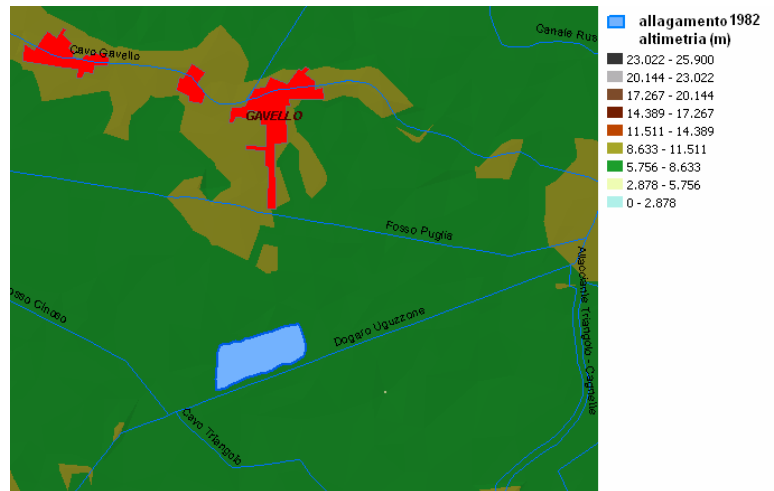
<i>Comuni</i>	<i>Durate</i>			
	<i>24 ore</i>	<i>48 ore</i>	<i>48-96 ore</i>	<i>Oltre 96 ore</i>
	ha	ha	ha	ha
Bondeno	4200.6	372.1	224.6	25.7
Cento	/	100.5	350.2	/
Mirabello	/	/	133.1	/
Poggio Renatico	/	50.4	361.8	/
Sant'Agostino	/	54.8	10.9	/
Vigarano Mainarda	/	102.6	53.2	216.04

Tabella 9-3. L'estensione e la persistenza delle aree allagate nel maggio 1996 sui sei comuni dell'Alto Ferrarese

9.2.5 Allagamento del 1982

L'allagamento del 1982 (Tavola 9-5), di 10.4 ha, di cui si ha memoria, si estende sulla sponda sinistra del Canale Dogato Uguzzone (Figura 9-12).

Figura 9-12. Allagamento del 1982



9.2.6 Allagamento del 1966

Nel 1966 si rileva una zona allagata di 9900 ha in prossimità del Cavamento Palata e dei canali di scolo del bacino Santa Bianca del Consorzio di Bonifica Valli Vecchio Reno (Tavola 9-6). La causa è ricercabile nella impossibilità dei vari canali di scolo di far defluire la portata alla sezione di chiusura del bacino, ovvero nel Canale Emissario di Burana. In effetti, si nota che l'allagamento si è verificato per la maggior parte a monte del collettore principale (Collettore Santa Bianca) (Figura 9-3).

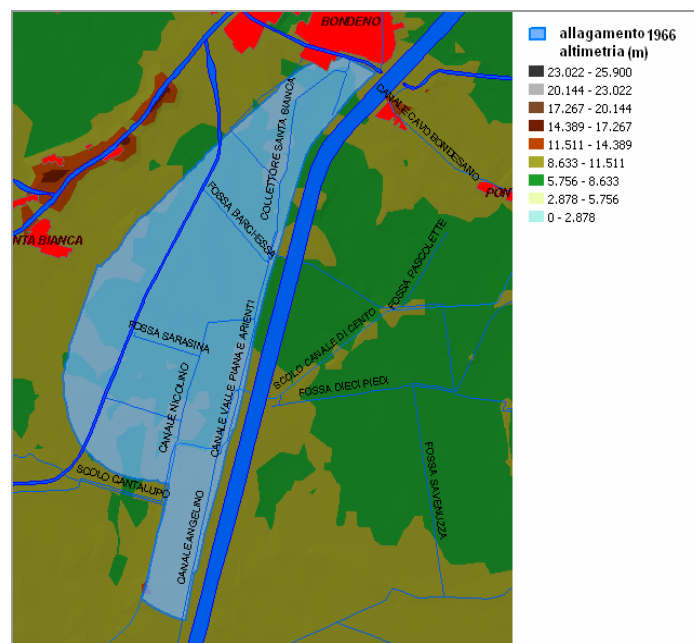


Figura 9-13. Allagamento 1966

9.2.7 Allagamento del 1961

Anche se non presente sul territorio dei sei comuni di interesse merita di essere citato l'allagamento del 1961 sul bacino Nuovo Scolo appartenente al consorzio di bonifica Valli Vecchio Reno (Tavola 9-7).

Esso è di 1550 ha ed ha interessato un numero considerevole di canali promiscui, come lo scolo Valliprove, scolo Principale Inferiore, Fossa Guglielmina, Condotto Fascinata, scolo Fornace, scolo Arginane, scolo Casagrande e scolo Fiumazzo (Figura 9-14).

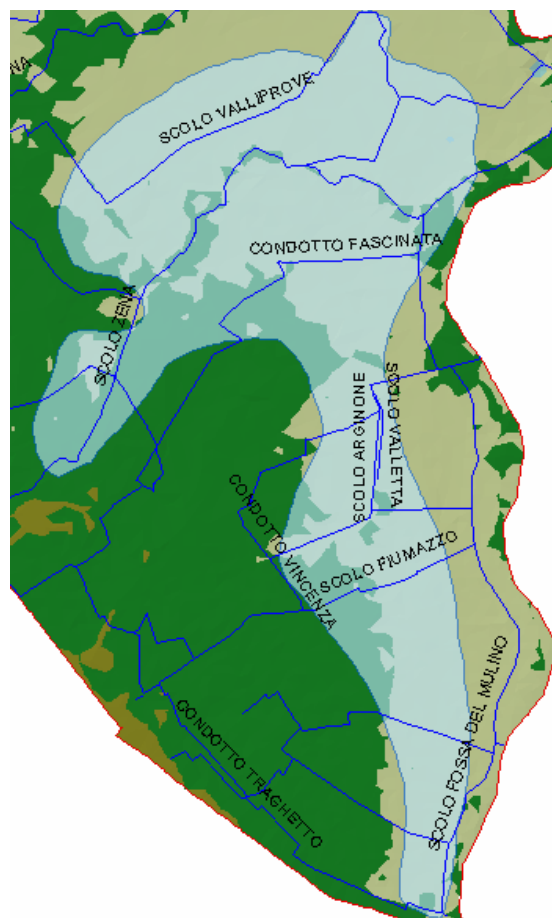


Figura 9-14. Allagamento del 1961

9.2.8 Le rotte del Reno del 1949 e 1951

Gli allagamenti riportati nel progetto ArcMap nei tematismi “Allagamenti 1949” e “Allagamenti 1951”, si riferiscono alle due rotte disastrose del fiume Reno rispettivamente nel 1949 e nel 1951 (Tavole 9-8 e 9-9), che nel seguito sono ricostruiti storicamente per comprenderne a pieno le dimensioni e l'intensità².

- **Allagamento 1949**

La prima piena risale al novembre 1949. Essa si è verificata al Passo del Gallo per sormonto e cedimento dell'argine sinistro del fiume Reno precisamente alle ore 00:30 del 27 novembre con allagamento di circa 6000 ettari della pianura ferrarese e degli abitati di Gallo, Poggio Renatico e Coronella.

L'evento meteorico causa della prima piena del Reno risale ai giorni dal 22 al 27 novembre, in particolare nei giorni 25, 26 e 27 novembre la distribuzione della pioggia risultava diffusa ed estesa con valori nettamente più bassi rispetto ai giorni 22, 23 e



Figura 9-15. La rotta dell'argine sinistro del fiume Reno in località Gallo (Poggio Renatico) nel novembre 1949

24: nelle 48 ore da un massimo di 130 mm si scendeva a 100 mm su una superficie di 1000 km² ed a 90 mm su una superficie di 2000 km².

² La fonte utilizzata per la descrizione della rotta del Reno del 1949 e 1951 è tratta da: “Le piene più significative del fiume Reno nel XX secolo” Autorità di Bacino del Reno (www.regione.emilia-romagna/bacinoreno/Piene/piene_fiume_reno.htm).

Le piene conseguenti questo evento meteorologico fecero registrare 4 colmi, il primo il giorno 23, il secondo il giorno 24, il terzo ed il quarto il giorno 26; questi ultimi risultarono particolarmente ravvicinati nel tempo (9 ore) e successivamente gravosi nei tronchi dove i livelli erano già sostenuti per effetto dei primi due colmi tanto da provocare altezze idrometriche eccezionali e il cedimento delle arginature del Reno al Gallo.

In effetti al Gallo, il livello idrometrico osservato era pari a metri 6,55 (massimo osservato dal 1851) e la portata al colmo, valutata in $900 \text{ m}^3/\text{s}$, come quella della precedente piena del novembre 1940 ove il livello idrometrico massimo era stato soltanto di metri 5,71, portò fatalmente al collasso arginale.

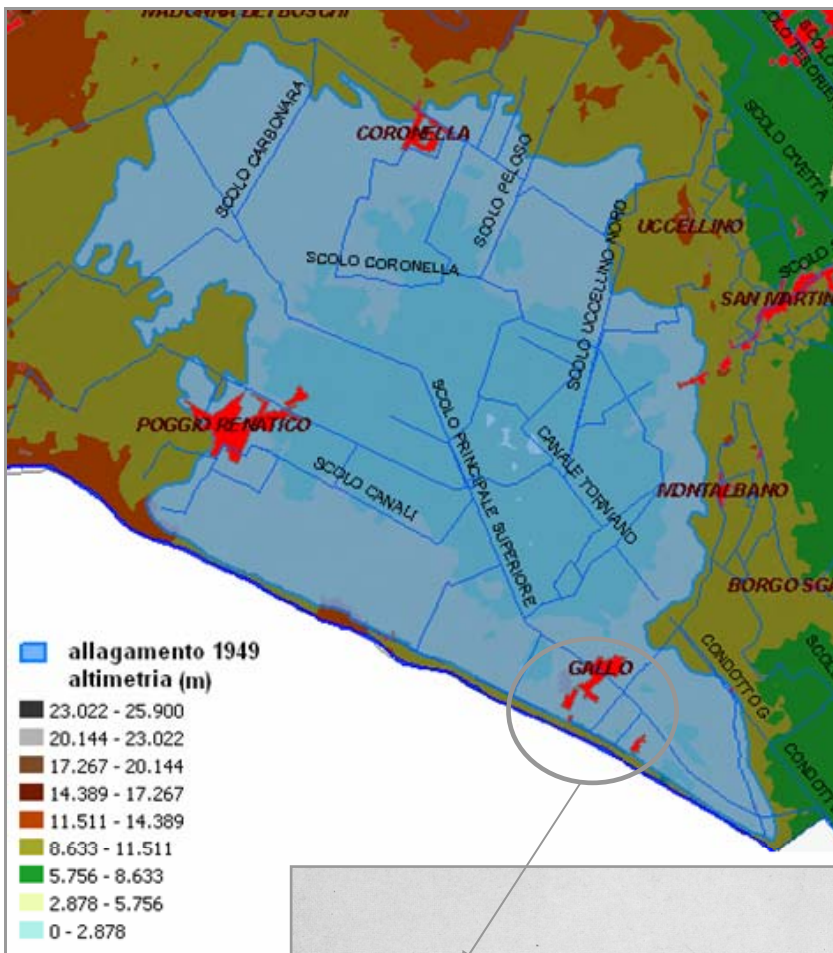


Figura 9-16. Rotta del Fiume Reno (1949). Le acque del fiume Reno in piena irrompono nelle campagne ferraresi



- **Allagamento 1951**

La piena del gennaio 1951 ha prodotto effetti che non si sarebbero verificati se le arginature non fossero state di fresca impostazione e imbevute dalle piogge del precedente mese di dicembre. In effetti, l'evento meteorico che interessò il bacino del Reno il 3 gennaio 1951 non presentò particolare eccezionalità sebbene preceduto da un mese di dicembre piuttosto piovoso.

Pertanto, l'evento fu interessante non tanto per il suo valore intrinseco ma per il fatto che diede luogo all'apertura di un'ampia falla nell'arginatura sinistra di Reno al Gallo, da poco ricostruita a seguito della rotta del 27 novembre 1949; il cedimento arginale e non la tracimazione avvenne alle ore 13 circa del 4 gennaio provocando un allagamento di circa 1700 ha della pianura ferrarese fra Gallo e Poggio Renatico, già interessata dalla precedente rotta.

Fu però la piena del febbraio 1951 che portò alla rotta più drammatica del Reno. Questa piena è stata particolarmente imponente e rapida con alti livelli nel bacino montano e con valori mai prima raggiunti nell'alta valle del Reno e lungo l'asta arginata fino alla Panfilia da dove i livelli hanno iniziato a risentire l'effetto di chiamata della rotta.

L'evento meteorico fu caratterizzato non da accentuate intensità orarie, ma da valori piuttosto elevati delle precipitazioni giornaliere e da un grado di saturazione del terreno conseguente alle piogge dei precedenti mesi di dicembre e gennaio che hanno consentito un favorevole e subitaneo deflusso delle acque pluviali originando un fenomeno di piena veramente eccezionale con valori al colmo in genere superiori a quelli registrati nel precedente periodo di osservazione (gennaio 1951).

Pertanto, si verificò fuoriuscita delle acque del Reno a Gallo, proprio dalla precedente falla del gennaio, con allagamento di circa 12.000 ettari della pianura ferrarese e degli abitanti di Gallo, Poggio Renatico, Coronella, Madonna dei Boschi, Mirabello, Montalbano, S. Bartolomeo in Bosco (Figura 9-17).

Nei punti che seguono è descritta cronologicamente l'alluvione oggetto di questo studio, seguendo i rapporti dal prefetto al Ministero degli Interni:

- **26 Gennaio:** Alle 2.30 del mattino crolla la coronella costruita per arginare le piene antecedenti. In una nota viene poi ricordato che la breccia nell'argine è ampia circa 120 m .
- **30 Gennaio:** Il livello del Reno continua ad aumentare minacciando Poggio Renatico.
- **1 Febbraio:** La portata di breccia viene indicata pari a $120 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre le zone allagate si estendono per circa 4000 ettari; le operazioni di soccorso sono affidate alle forze di Polizia ed ai Vigili del Fuoco. Le acque continuano ad estendersi verso le zone basse della

campagna, vengono sfollate 50 famiglie da Poggio Renatico.

- **2 Febbraio:** L'estensione delle zone alluvionate non cessano di estendersi arrivando a 4500 ettari, mentre le famiglie sfollate sono ora 300.
- **3 Febbraio:** Dopo 3 giorni di lavoro la coronella viene ricostruita nella speranza che questa possa contenere quanto meno le portate di magra.
- **5 Febbraio:** In seguito ad un nuovo aumento delle acque del Reno la coronella viene nuovamente distrutta e si riversano sulla campagna circa $300 \text{ m}^3/\text{s}$.
- **6 Febbraio ore 8.00:** Il maltempo persistente ingrossa i livelli nel Reno e nei suoi affluenti. A questo proposito il Prefetto afferma che livelli così alti non furono mai rilevati ed effettivamente guardando alla documentazione reperibile presso l'autorità di bacino del fiume Reno viene indicato a Casalecchio Chiusa un valore idrometrico di 3.12 m, superato nel XX secolo solo nel 1910. Contemporaneamente viene sormontata la statale 64 il cui rilevato ha giocato il ruolo di iniziale sbarramento per comprensorio di S. Bartolomeo in Bosco e Marrara.
- **6 Febbraio ore 13.00:** Il peggiorare della situazione porta il Reno a riversare in campagna una portata di $800 \text{ m}^3/\text{s}$, aumentando l'estensione dell'area allagata a 7000 ettari che si espande verso Porotto e Chiesuol del Fosso. La Ferrovia Bologna-Padova risulta interrotta a Poggio Renatico dal momento che le acque hanno sormontato i binari. Nello stesso momento continua lo sfollamento della popolazione dai comuni di Poggio Renatico, Coronella, Gallo, S. Martino e Montalbano. Le famiglie che hanno dovuto abbandonare le proprie case sono ora circa 750 per 2500 persone.
- **7 Febbraio:** L'estensione delle aree allagate raggiunge i 10000 ettari dando luogo a tiranti di tre metri. Sono completamente sommerse Gallo e Coronella, per metà Poggio Renatico, ed in parte S. Martino, Montalbano, Chiesuol del Fosso e Madonna Boschi. Le famiglie trasferite arrivano a 800.
- **8 Febbraio:** Le aree alluvionate aumentano del 10% estendendosi per circa 11000 ettari. In questo rapporto si paventa il travaso delle acque verso il comprensorio di S. Bartolomeo in Bosco. Allo stesso tempo si auspica un miglioramento delle condizioni meteorologiche che potrebbe consentire la ripresa dei lavori alla coronella (il che indica l'impossibilità di fermare il deflusso delle acque attraverso la breccia fino a questo momento). Sono state sfollate 2710 persone, 2850 quintali di masserizie, 190 capi di bestiame, con l'impegno continuo di 65 natanti.
- **10 Febbraio:** Una portata attraverso la breccia di $100 \text{ m}^3/\text{s}$ compensa la portata scolata attraverso la Cembalina e quindi l'estensione dell'allagamento di 11000 ettari resta stazionaria. Nelle sole giornate del 7 ed 8 Febbraio Polizia e Carabinieri hanno trasportato 14636 persone ed i 1334 quintali di cose, parallelamente i militari del Genio Pontieri hanno salvato in totale 3510 persone e 3950 quintali di masserizie. Nel medesimo rapporto viene anche sottolineato il comportamento delle popolazioni che in un momento di lieve miglioramento delle condizioni atmosferiche e di stasi dell'allagamento sono portate ad un "*ingiustificato ottimismo*" e di conseguenza resistono ad abbandonare le case.
- **11 Febbraio:** In questa fase il livello del fiume tende ad abbassarsi, il che consente, nel pomeriggio, di riprendere i lavori di ricostruzione della coronella. Questo significa che dal 5 Febbraio la breccia è rimasta aperta e che per quasi una settimana il fiume ha riversato le proprie acque nella pianura. Le persone sfollate sono 6181, le cose trasportate assommano a

9119 quintali, e i capi di bestiame portati in salvo sono 275.

- **12 Febbraio:** Continua il miglioramento della situazione che ha consentito il giorno precedente di riprendere il lavori di ricostruzione della coronella. L'allagamento prosegue verso il comprensorio di S. Bartolomeo senza destare però particolari preoccupazioni. Viene di seguito fatto notare che solo il 20% delle persone sfollate ha usufruito delle strutture assistenziali, mentre il restante 80% ha preferito recarsi presso parenti o conoscenti. Nella sola giornata dell'11 Febbraio sono state trasportate 1272 persone e 2500 quintali di cose.
- **18 Febbraio:** Nella giornata precedente è stato ultimato il lavoro di ricostruzione della coronella ed è cominciato il lavoro di rinforzo nella speranza che possa reggere nuove eventuali piene del fiume. La superficie sommersa è di circa 11500 ettari e le acque presentano dei tiranti che possono arrivare anche a 3 o 4 metri.
- **20 Febbraio:** Questo documento è particolarmente interessante in quanto il prefetto si fa carico delle richieste della popolazione e propone al Ministero la costituzione di un *Ufficio Speciale Reno* indipendente dagli uffici del Genio Civile. Questo documento pare essere "l'atto di nascita" dell'*Autorità di Bacino del Reno*.
- **22 Febbraio:** Alle quattro del mattino, di conseguenza all'alzarsi del livello del Reno in seguito alle piogge del 20 e 21, crolla la coronella ricostruita pochi giorni prima ed il Reno riversa in pianura una portata di $400 \text{ m}^3/\text{s}$. Nei paesi allagati aumentano i crolli parziali delle case, i tiranti infatti raggiungono anche i 6 metri.
- **24 Febbraio:** La situazione si aggrava a causa del crollo del rilevato della statale 64 nei pressi di Montalbano, le acque traversano dunque verso il comprensorio di S. Bartolomeo, S. Martino e Marrara allagando terreni prevalentemente coltivati a frutteto.
- **25 Febbraio:** Il livello del Reno continua ad essere alto a causa delle piogge. La Breccia sulla statale 64 continua ad aumentare di ampiezza. Al momento le nuove zone allagate si estendono per 700 ettari portando l'allagamento a superare i 12000 ettari. Continua intanto lo sfollamento dagli abitati di S. Bartolomeo, S. Martino e Marrara.
- **26 Febbraio:** La situazione non accenna a migliorare. Continuano i tentativi di chiudere la breccia a Gallo, si riversano ancora nella campagna $400 \text{ m}^3/\text{s}$, mentre a Montalbano i lavori di chiusura della breccia sulla statale sono ostacolati dalla popolazione che teme la rottura in altri punti ed i conseguenti danni che ne deriverebbero. La superficie allagata si estende supera al momento i 13000 ettari.
- **27 Febbraio:** Solo ora sono effettivamente ripresi i lavori di tamponamento della falla alla statale 64 la situazione nel frattempo è peggiorata. Sono stati raggiunti dalle acque S. Bartolomeo e Marrara, mentre sono ora minacciati Spinazzino, Tragheto, S. Maria Codifiume ed Ospital Monacale. Nel frattempo si fanno sempre più frequenti i crolli delle case da giorni invase dalle acque.
- **28 Febbraio:** Nuovamente completata la ricostruzione della coronella a Gallo, proseguono i lavori sulla statale 64. Continuano i timori per il crollo dell'argine della Cembalina con conseguente allagamento della zona di Tragheto e S. Maria Codifiume. Le persone tratte in salvo sono in totale sono 9738, le masserizie ammontano a 19869 quintali e sono stati trasportati 209 capi di bestiame
- **2 Marzo:** La situazione resta stazionaria, lento miglioramento nella zona di Poggio Renatico, continua invece l'estensione dell'alluvione nella zona di S. Bartolomeo, continua la preoccupazione per il comprensorio di Tragheto e S. Maria Codifiume. Allo scopo di alleggerire il carico d'acqua sulla Cembalina viene tagliato l'argine del Po di Primaro presso

Marrara.

- **6 Marzo:** In lieve miglioramento la situazione in zona Poggio Renatico, dove però nelle zone più depresse le acque raggiungono i 5 metri di profondità. Il taglio dell'argine del Po di Primaro ha determinato l'allagamento in terreni bassi sul lato sinistro verso Ferrara. Entro la mattina del 7 verranno completati i lavori alla statale 64, il che consentirà una maggiore disciplina nel deflusso delle acque.

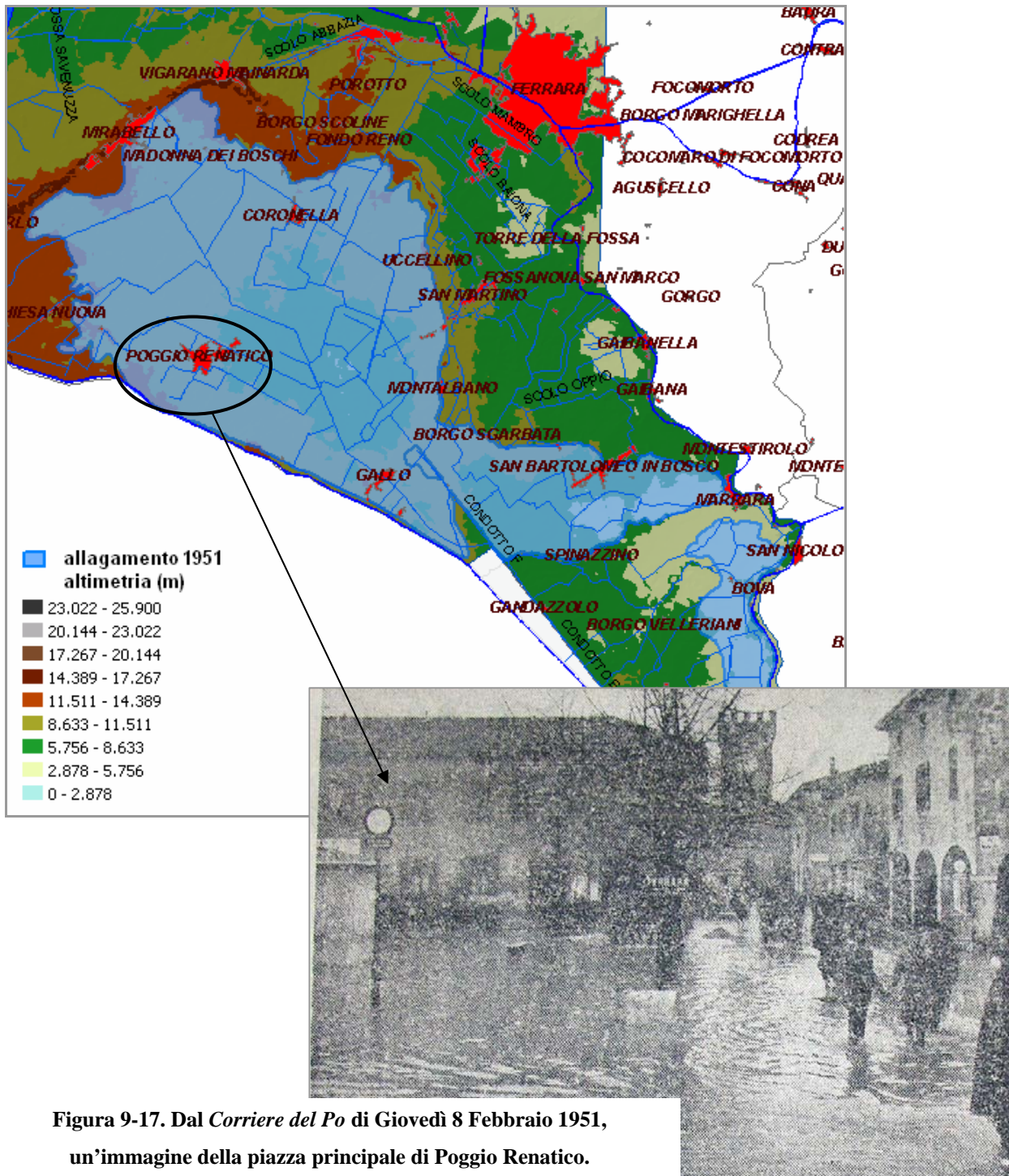


Figura 9-17. Dal *Corriere del Po* di Giovedì 8 Febbraio 1951, un'immagine della piazza principale di Poggio Renatico.

Tavola 9-1 Allagamento 2005

Tavola 9-2 Allagamento 2001

Tavola 9-3 Allagamento Dicembre 1996

Tavola 9-4 Allagamento Maggio 1996

Tavola 9-5 Allagamento 1982

Tavola 9-6 Allagamento 1966

Tavola 9-7 Allagamento 1961

Tavola 9-8 Rotta Reno 1951

Tavola 9-9 Rotta Reno 1949

9.3 Gli allagamenti storici e l'altimetria, la permeabilità dei terreni e l'altezza della falda freatica

Dopo una prima analisi dettagliata degli allagamenti susseguitesesi nel tempo in termini di estensione e persistenza sul territorio, si è proceduto poi allo studio dell'interazione di questi con:

- l'altimetria
- la permeabilità dei terreni
- l' altezze della falda freatica

per poter trarre conclusioni sul potenziale rischio a cui possono essere esposte alcune zone dell'area in esame. A tal proposito, si considerano esclusivamente gli allagamenti precedentemente descritti escluse però le aree allagate conseguenti alle rotte del Reno del 1949 e 1951, in quanto tali allagamenti derivano dal fatto eccezionale rappresentato dalla crisi arginale in sinistra Reno e non piuttosto da insufficienza delle rete drenante interna al territorio.

Inoltre, in ultima analisi, dove non sono riscontrabili possibili collegamenti tra le esondazioni e i tre aspetti fisici suddetti, si prendono in considerazione anche le caratteristiche proprie dei corsi d'acqua (insufficienza delle sezioni), l'inefficienza di alcuni impianti, il mal funzionamento delle botti, scarsa efficienza della rete terziaria e della rete fognaria.

9.3.1 Gli allagamenti storici e l'altimetria del territorio

Per una analisi, alla ricerca di una possibile corrispondenza tra gli allagamenti presi in esame e l'altimetria del territorio, sono state realizzate le mappe riportate di seguito (Figura 9-18 - Figura 9-23). Queste sono state tratte dal Progetto in ArcGis "Progetto_Alto_Ferrarese_mxd" utilizzando il TIN e gli shape file poligonali degli allagamenti.

Dalla loro osservazione si nota subito che queste aree hanno interessato negli anni quasi tutto il territorio in esame: sia le zone altimetricamente più elevate, come il territorio Centese, sia le regioni depresse, come la parte centrale di Poggio Renatico o il territorio di Bondeno.

In generale, in base alle considerazioni effettuate nei paragrafi precedenti, non si nota una marcata predisposizione all'allagamento delle zone sostanzialmente più depresse.

Comunque, passando dal Maggio al Dicembre 1996, si osserva che sono state interessate le seguenti *medesime zone*: la parte sud-ovest di Vigarano Mainarda fino sul territorio adiacente di Bondeno

(quote tra i 6-8 m s.l.m.m.), la zona del Torniano (5-7 s.l.m.m.), il bacino Nuovo Scolo e Sant'Egidio come risulta evidente dalla Figura 9-20 e Figura 9-21. Maggiori dettagli sono forniti nel paragrafo 9.4.

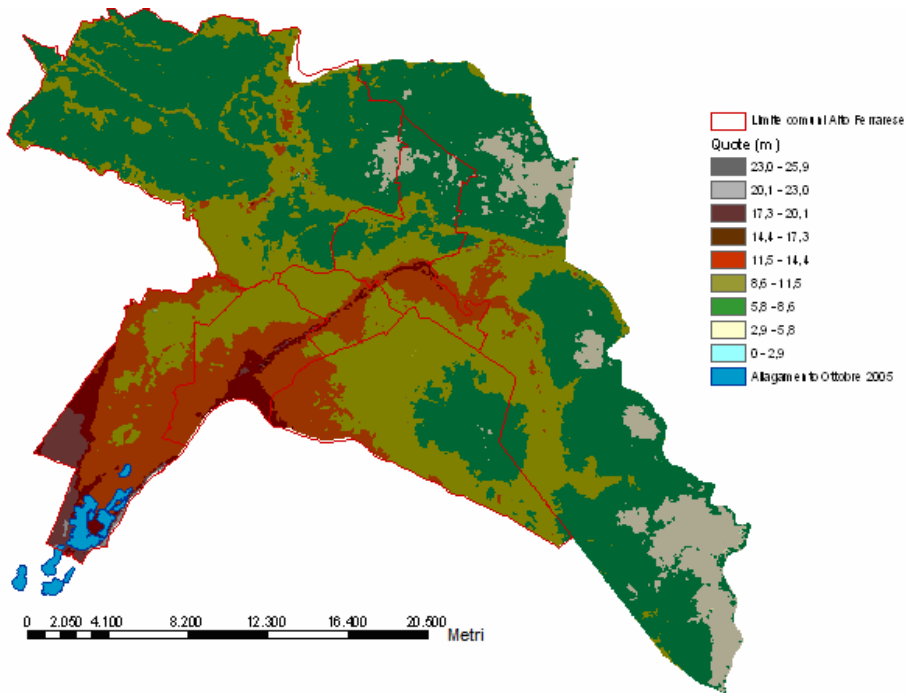


Figura 9-18. Il TIN e gli allagamenti dell'ottobre 2005

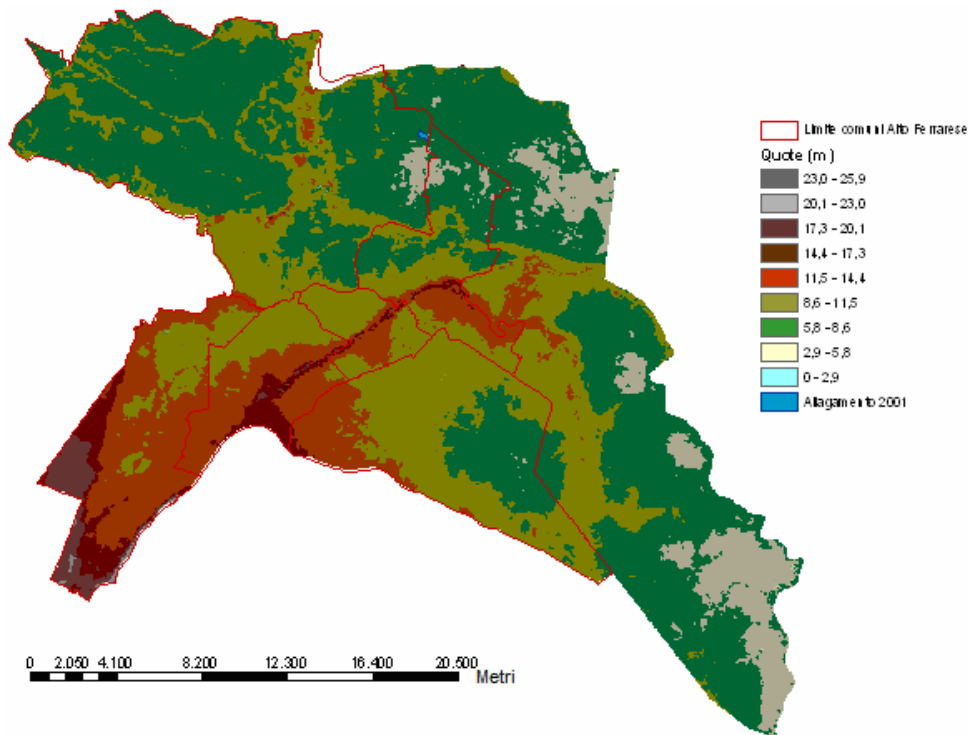


Figura 9-19. Il TIN e l'allagamento del 2001

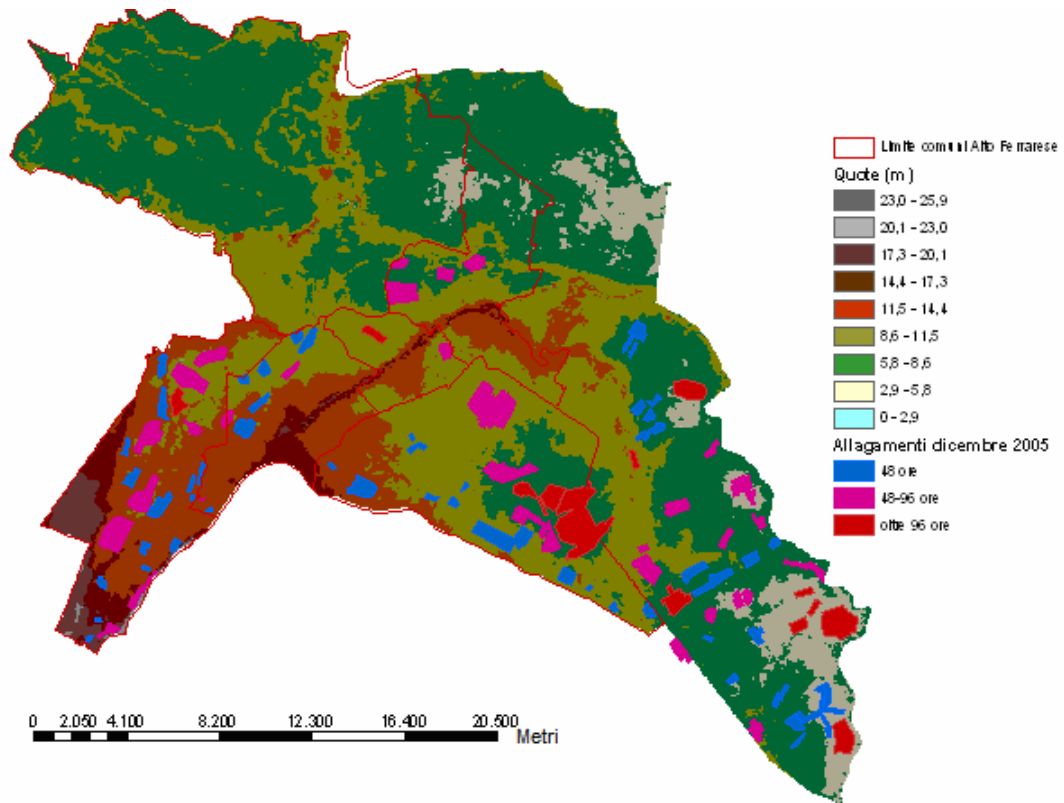


Figura 9-20. Il TIN e gli allagamenti del Dicembre 1996

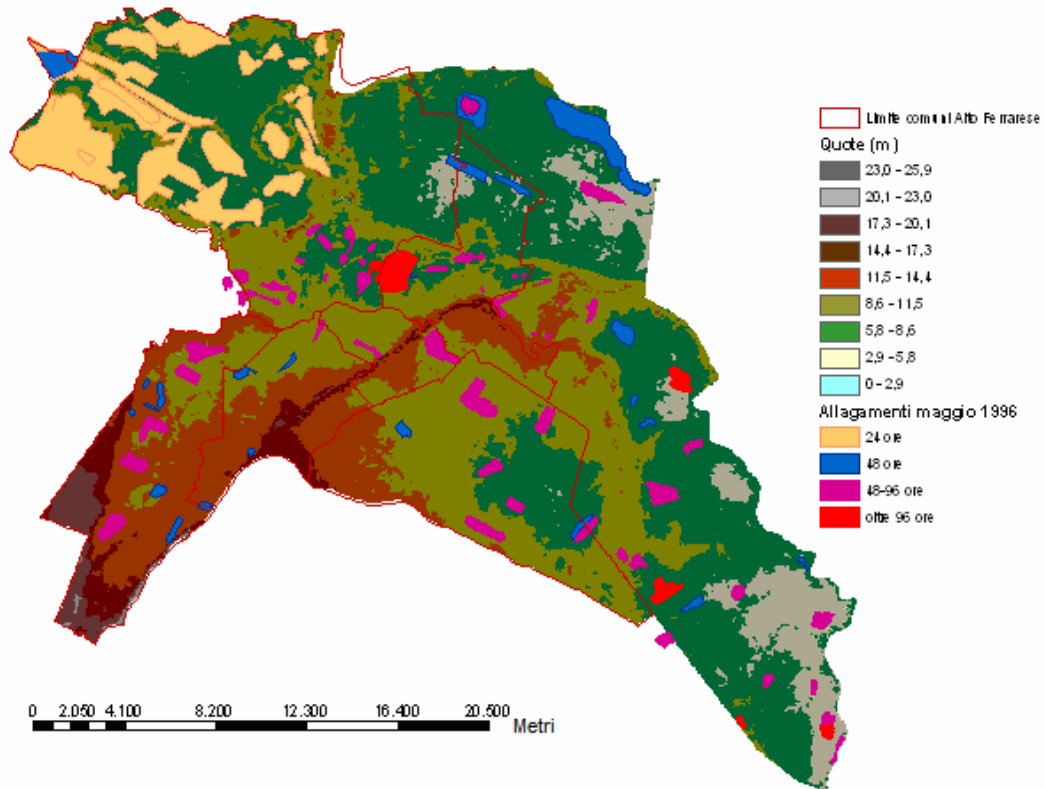


Figura 9-21. Il TIN e gli allagamenti del maggio 1996

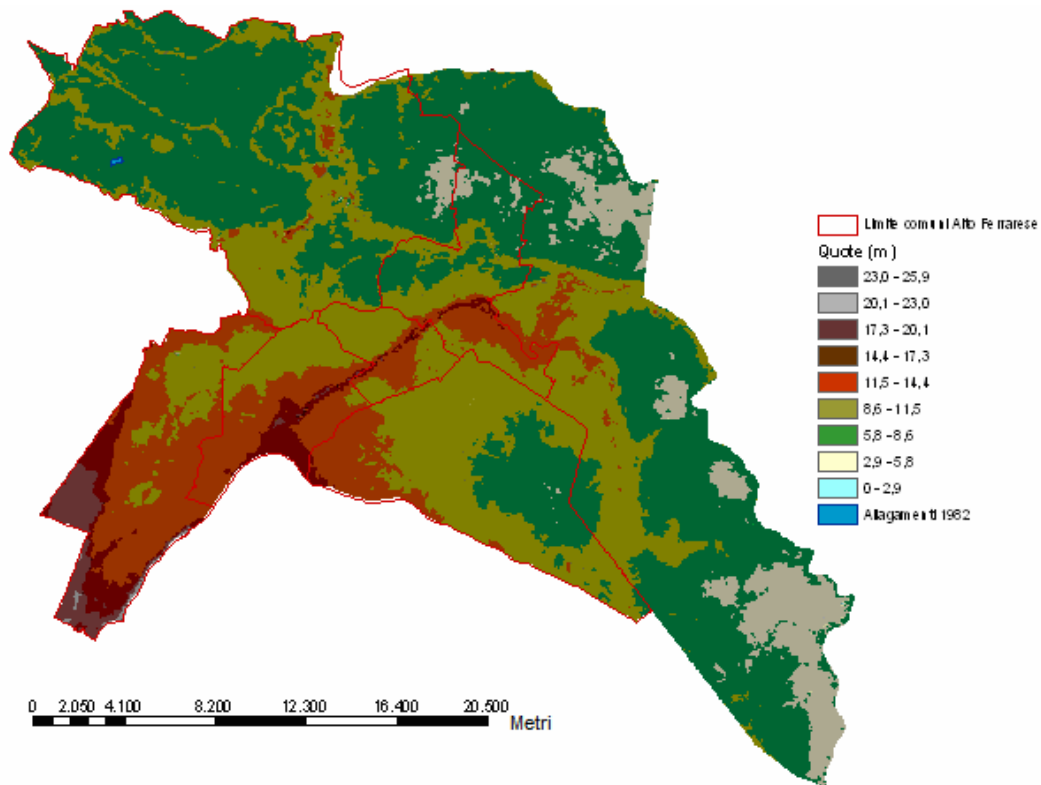


Figura 9-22. Il TIN e l'allagamento del 1982

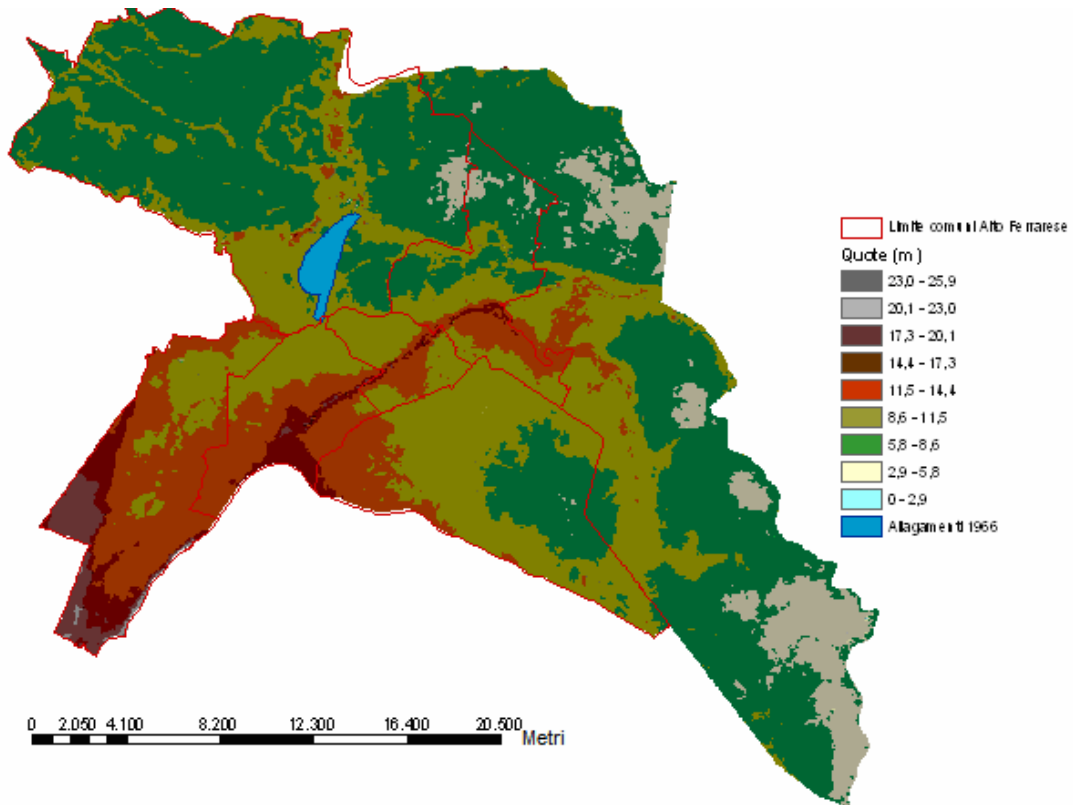


Figura 9-23. Il TIN e gli l'allagamento del 1966

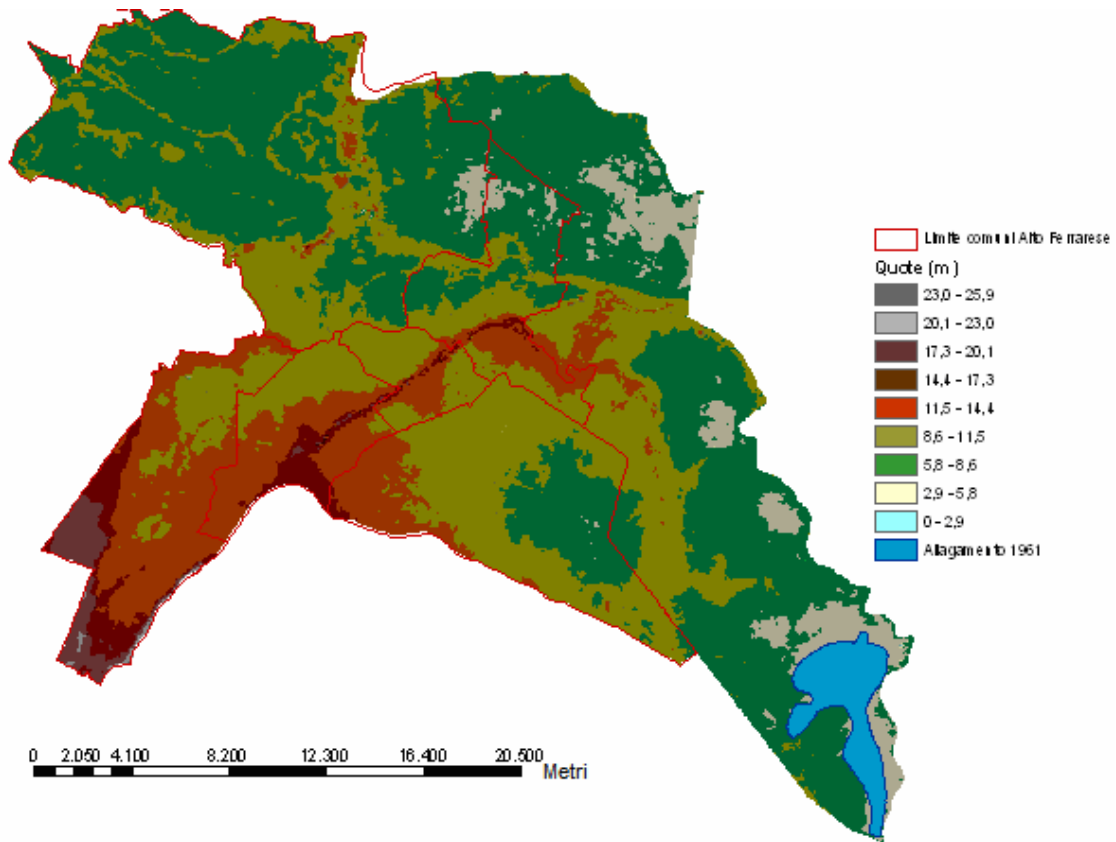


Figura 9-24. Il TIN e l'allagamento del 1961

9.3.2 Gli allagamenti e la permeabilità

Per capire se vi è corrispondenza tra le caratteristiche dei suoli e gli allagamenti, si è realizzata la carta di permeabilità dei terreni. Essa è stata costruita partendo dalla carta della litologia di superficie (Tavola 8-1). Quest'ultima è stata rivisitata raggruppando le classi litologiche in tre campi di permeabilità k (cm/s):

- terreni da mediamente a fortemente permeabili: $k > 10^{-3}$ (S, SL, LS)
- terreni da mediamente a scarsamente permeabili: $10^{-3} > k > 10^{-6}$ (L, LA, ALS, SA)
- terreni praticamente impermeabili: $k < 10^{-6}$ (A, AS, AL)

La carta della permeabilità dei terreni così ottenuta è riportata in Tavola 9-10.

La carta permeabilità Tavola 9-10

Come nel paragrafo precedente, sono state realizzate le mappe riportate di seguito (Figura 9-25 - Figura 9-31). Queste sono state tratte dal Progetto in ArcGis “Progetto_Alto_Ferrarese_mxd” utilizzando il blocco logico “Permeabilità” e gli shape file poligonali degli allagamenti.

Dall’osservazione di Figura 9-25 si vede che gli allagamenti del 2005 si estendono su una zona scarsamente permeabile ed impermeabile in corrispondenza dell’ abitato di Cento.

Fanno eccezione le due aree esondate in corrispondenza del Canale e dell’Allacciante Distributore Bagnetto (irriguo) che interessano parzialmente il terreno fortemente permeabile della parte sud del bacino Bagnetto (Valli Vecchio Reno).

Anche l’esondatazione del Nogarotto del 2001 (Figura 9-26) si trova in corrispondenza di una zona praticamente impermeabile, come anche le aree degli allagamenti del 1982, 1966 e buona parte della zona esondata del 1961.

Si consideri la Figura 9-27 relativa agli allagamenti del dicembre 1996. É evidente che le aree di durata maggiore (48-96 ore ed oltre 96 ore) si trovano in corrispondenza dei terreni da scarsamente permeabili a impermeabili. Qualche eccezione si ha per alcuni allagamenti di durata minore (massimo 48 ore) che lambiscono le aree permeabili, come quelle in sinistra del fiume Reno (zona sud-est PoggioRenatico) e vicino al condotto irriguo Condotto E (si veda paragrafo Conclusioni).

Quest’ultime si ripresentano con minore estensione ma durata maggiore (rispettivamente 48-96 ore ed oltre 96 ore) nel maggio 1996 (Figura 9-28).

Inoltre, le stesse considerazioni fatte per il dicembre 1996 valgono per gli altri allagamenti del maggio 1996. Infatti, tutte le aree allagate si ritrovano in corrispondenza dei terreni poco permeabili o impermeabili, come il Comune di Bondeno, su cui si sono verificate numerose esondazioni perdurate sul territorio per 24 ore e 48 ore.

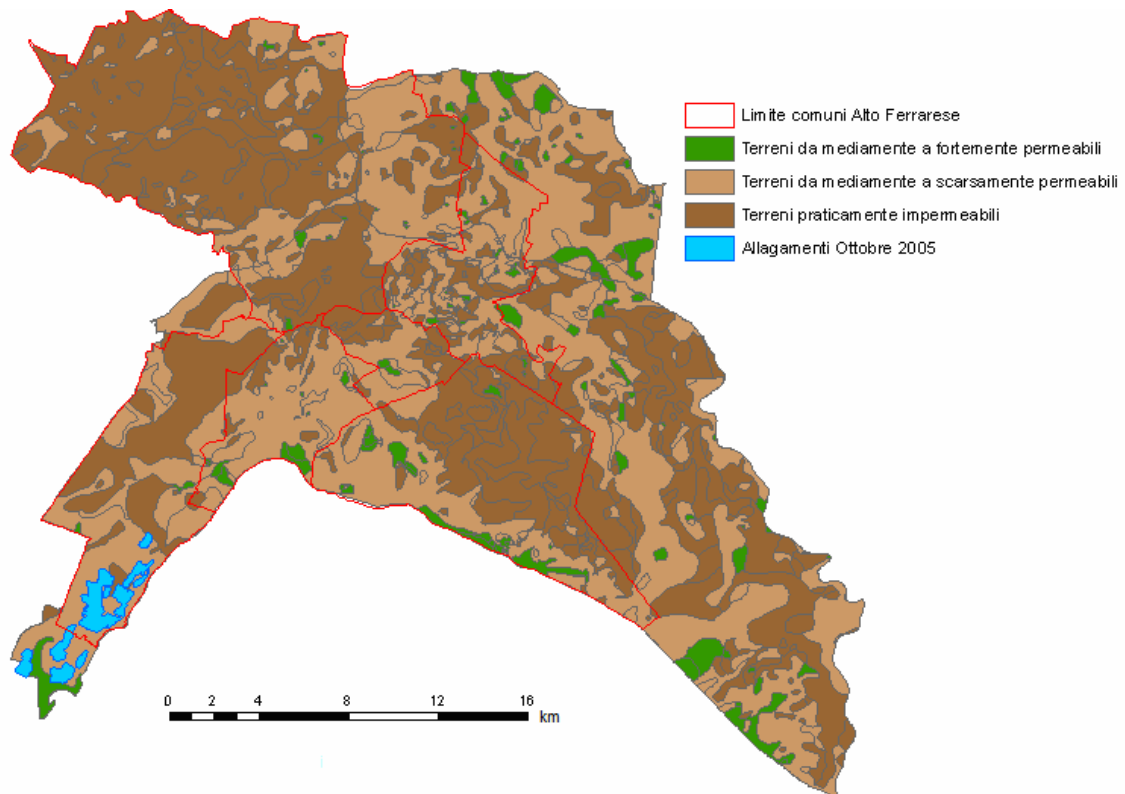


Figura 9-25. La carta della permeabilità e gli allagamenti dell'ottobre 2005

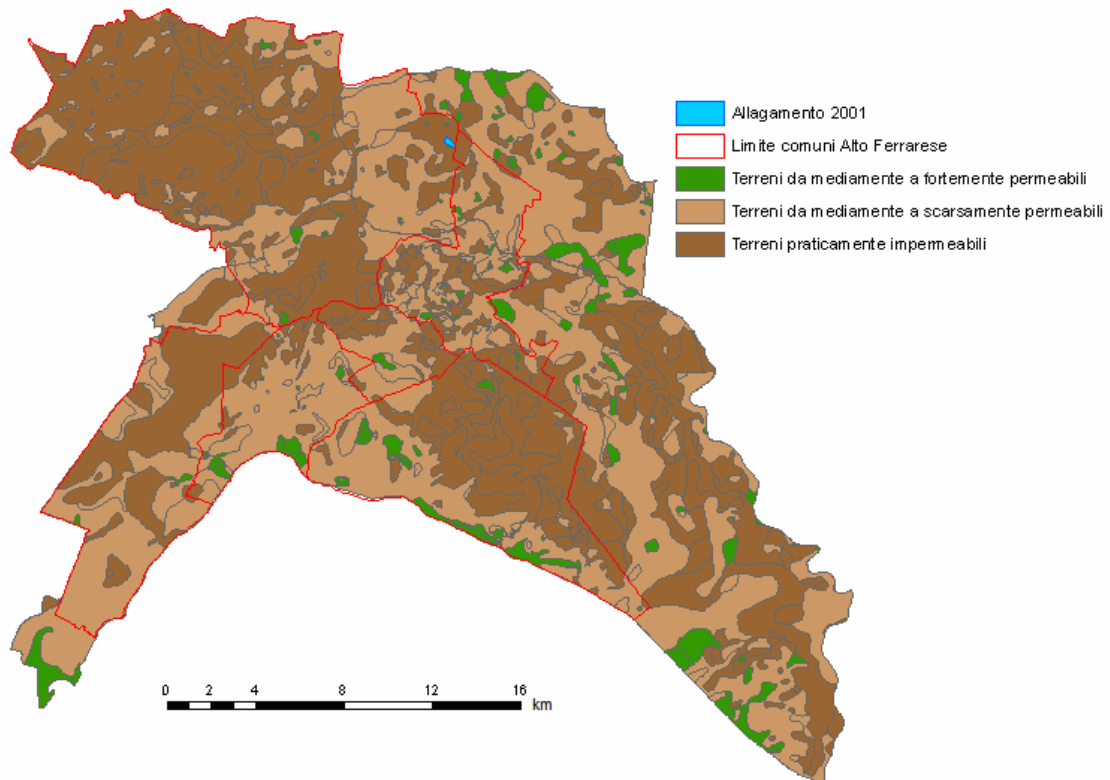


Figura 9-26. La carta della permeabilità e l'allagamento del 2001

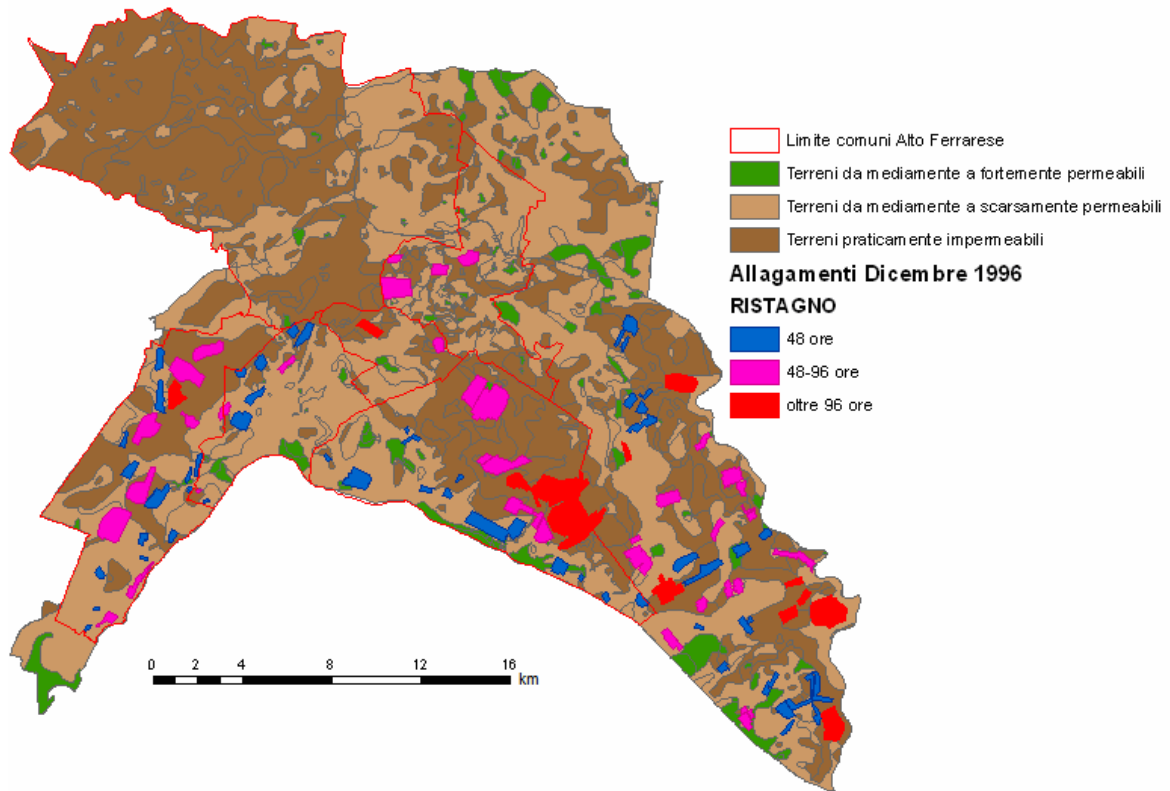


Figura 9-27. La carta della permeabilità e gli allagamenti del dicembre 1996

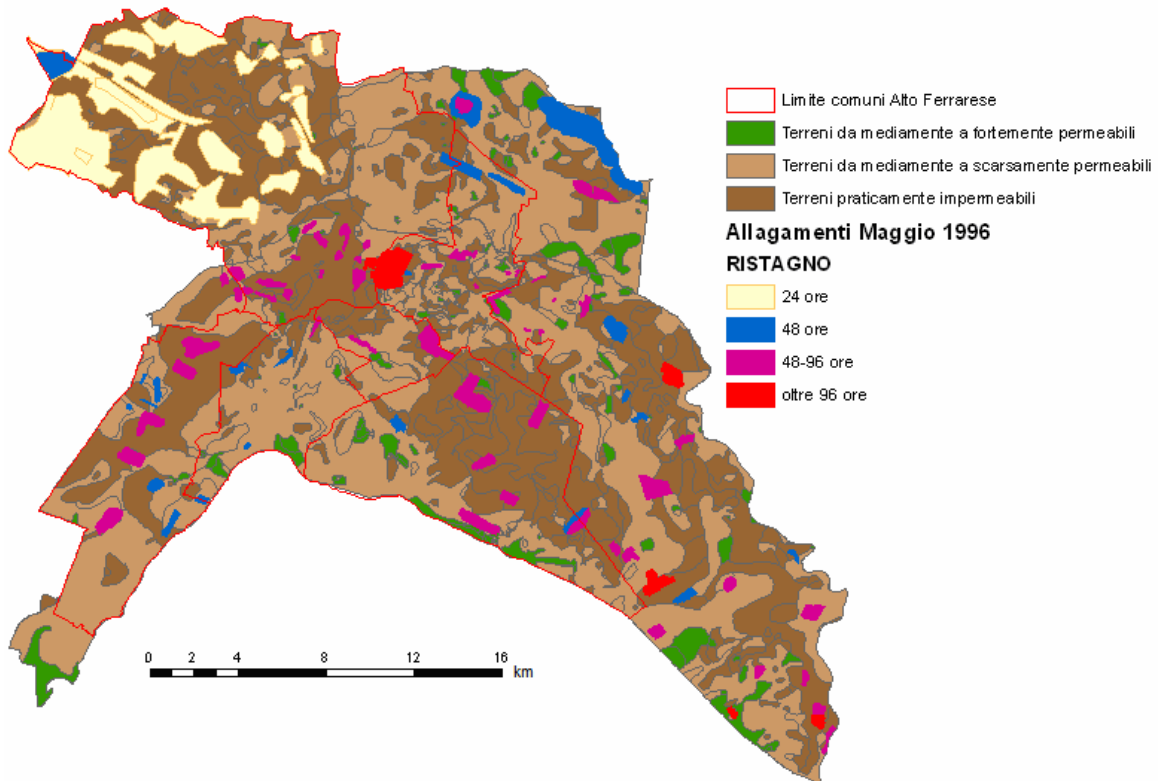


Figura 9-28. La carta della permeabilità e gli allagamenti del maggio 1996

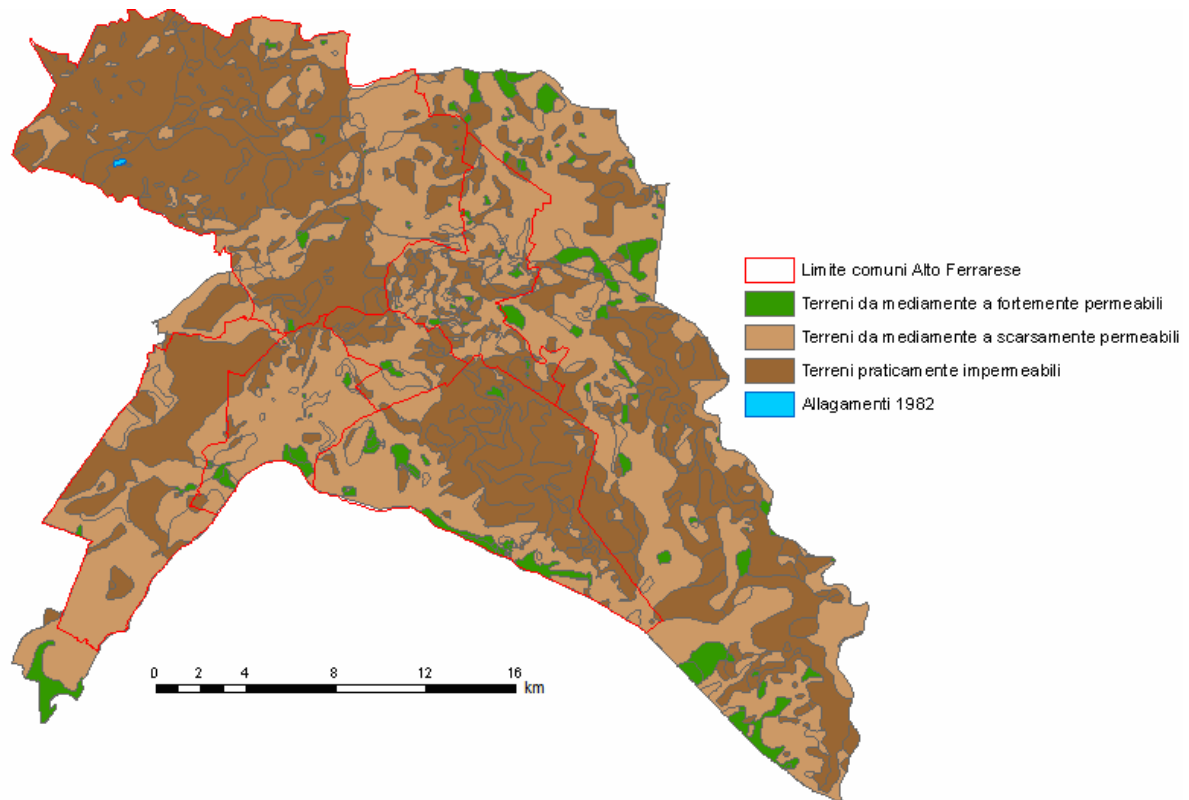


Figura 9-29. La carta della permeabilità e l'allagamento del 1982

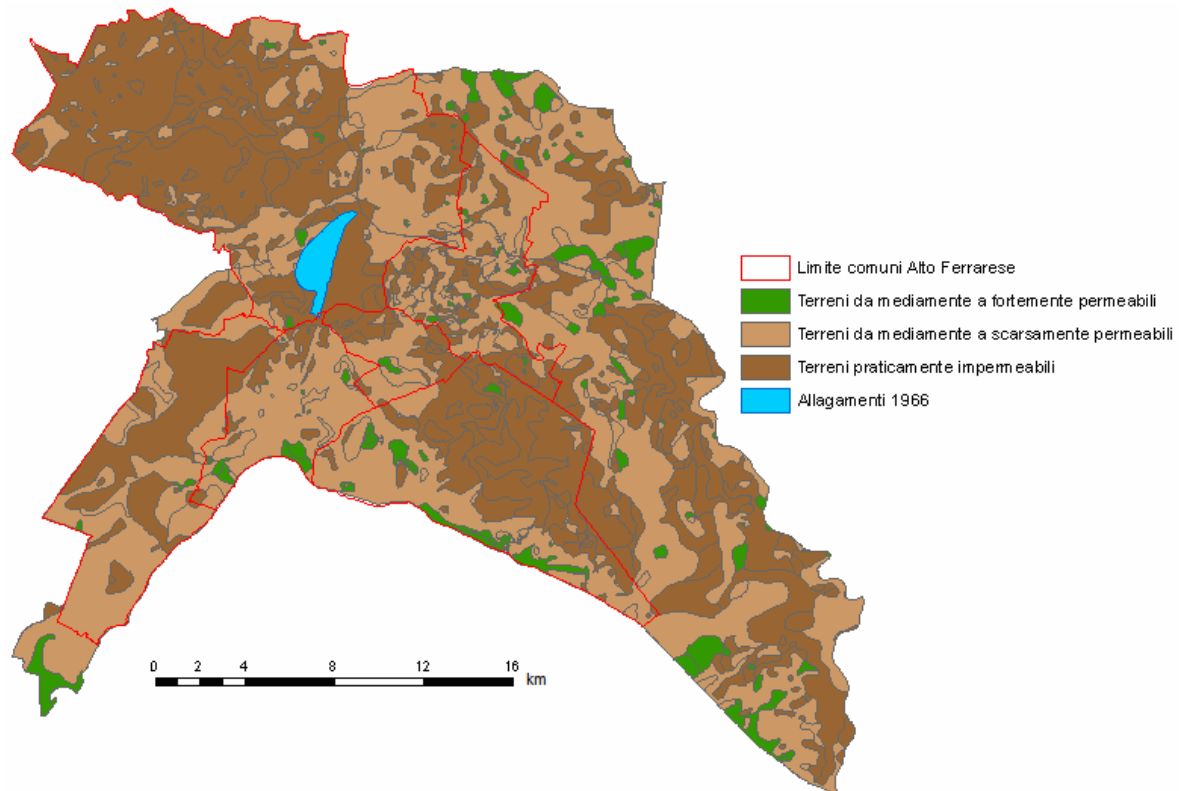


Figura 9-30. La carta della permeabilità e l'allagamento del 1966

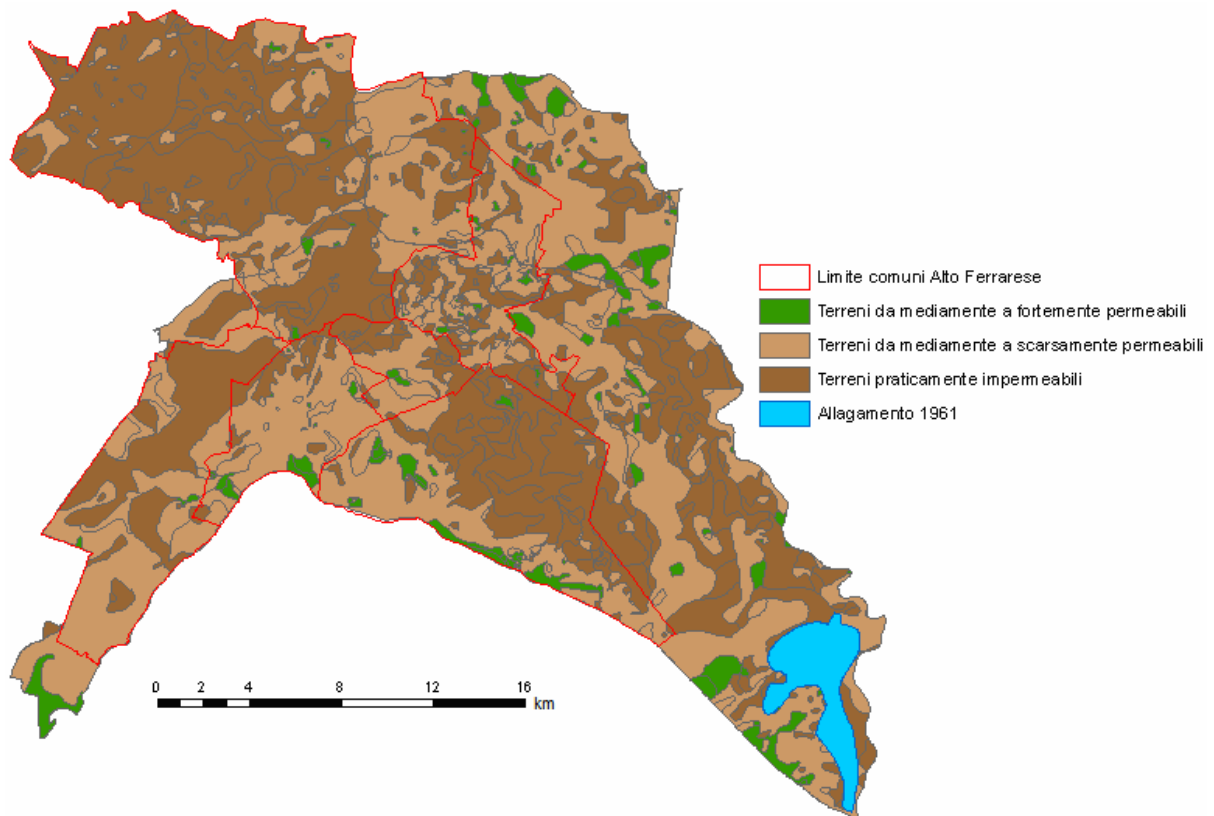


Figura 9-31. La carta della permeabilità e l'allagamento del 1961

9.3.3 Gli allagamenti e le isobate della falda freatica

Per il confronto tra gli allagamenti precedentemente illustrati ed i livelli della falda freatica nel territorio in esame è stata utilizzata la carta dei livelli della falda freatica riportata in Tavola 9-11 e sono state realizzate le carte di confronto mostrate nelle Figura 9-32 - Figura 9-38.

Dall'interpretazione di queste figure è evidente che non c'è una diretta corrispondenza tra il livello della falda freatica e gli allagamenti.

Si nota comunque una tendenza maggiore agli allagamenti delle zone in cui la freatica è a profondità bassa (0-1 m) e media (1-2 m), come nel caso del comune di Bondeno, Sant'Agostino e Mirabello.

Invece, nei comuni di Poggio Renatico, Bondeno e Vigarano Mainarda, gli allagamenti si ritrovano maggiormente in corrispondenza delle zone in cui la falda ha profondità tra i 2-4 m, essendo quest'ultima quella maggiormente presente sul territorio.

Tavola 9-11 la carta dei livelli di falda freatica

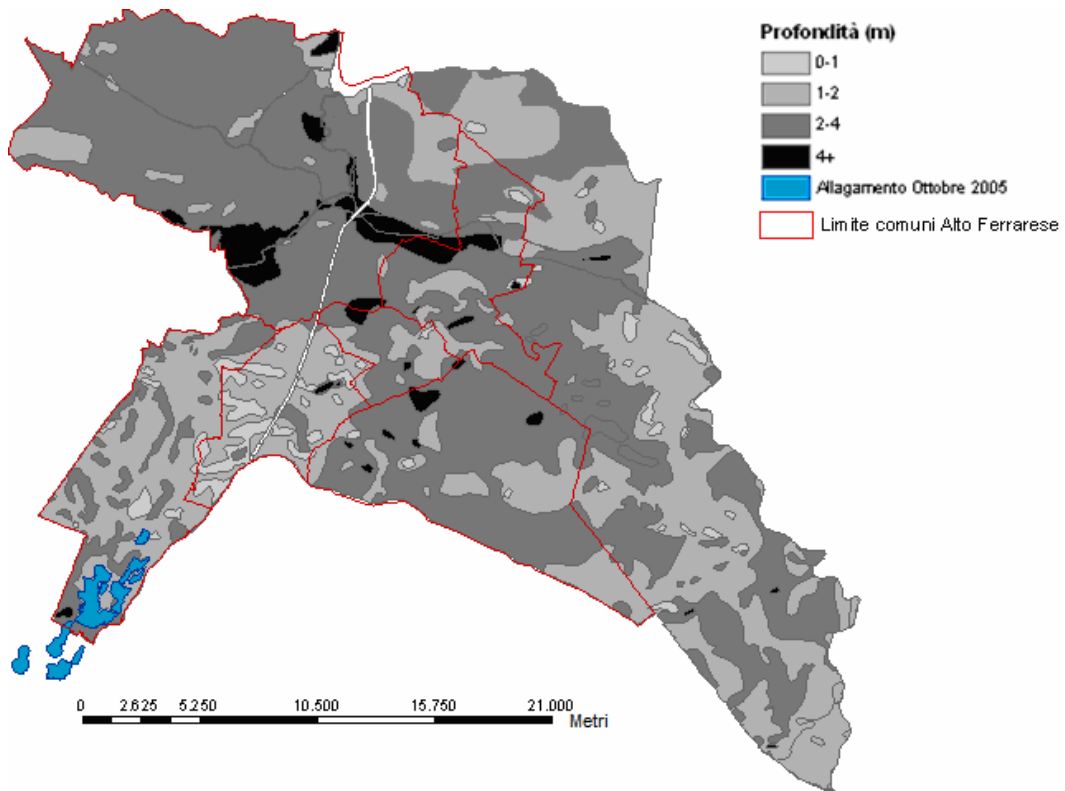


Figura 9-32. La carta della freatica e gli allagamenti del 2005

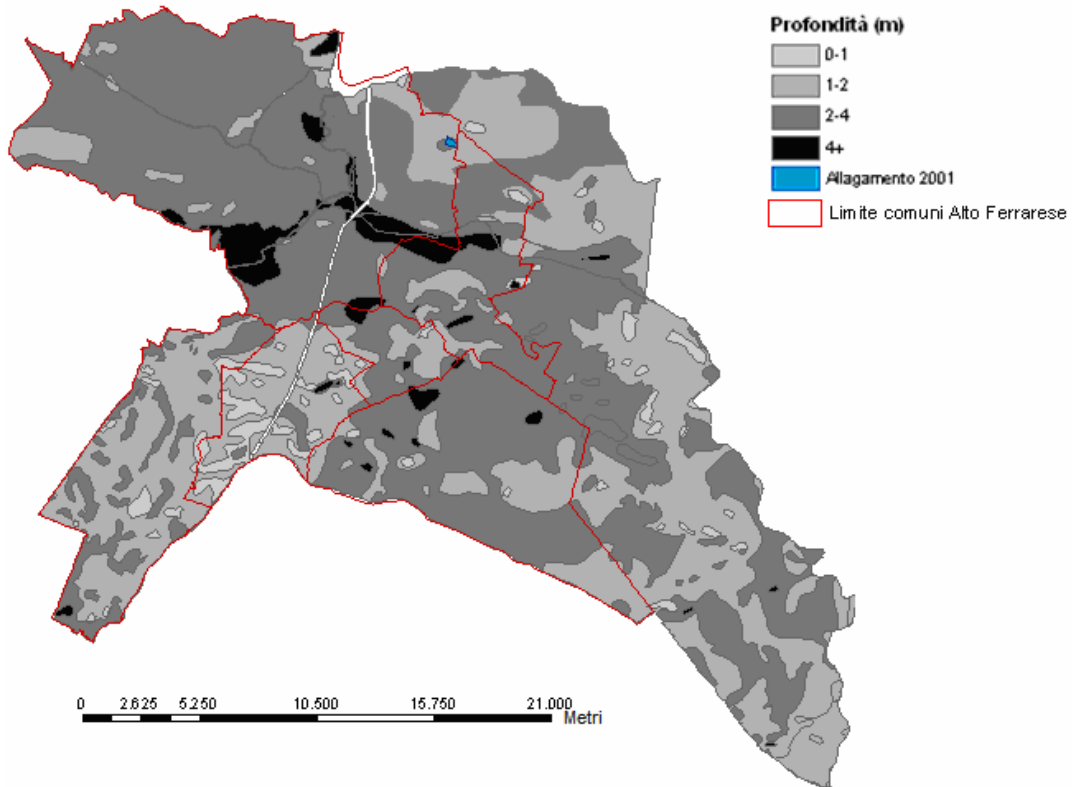


Figura 9-33. La carta della freatica e l' allagamenti del 2001

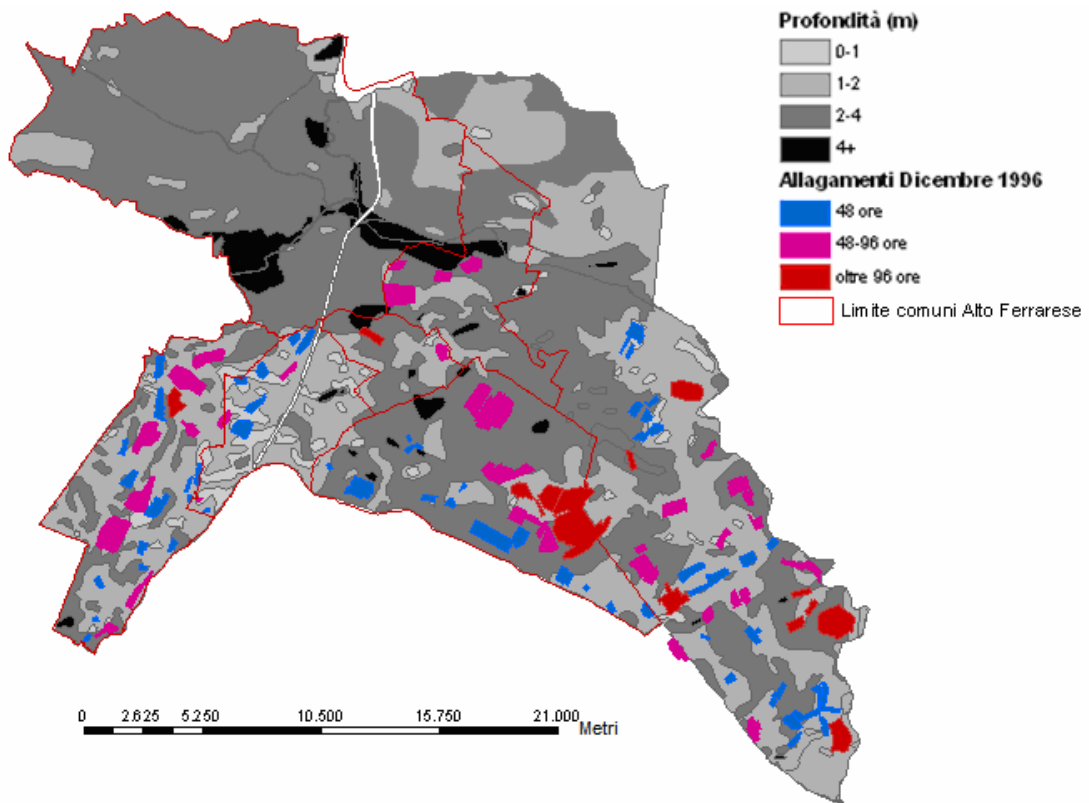


Figura 9-34. La carta della freatica e gli allagamenti del dicembre 1996

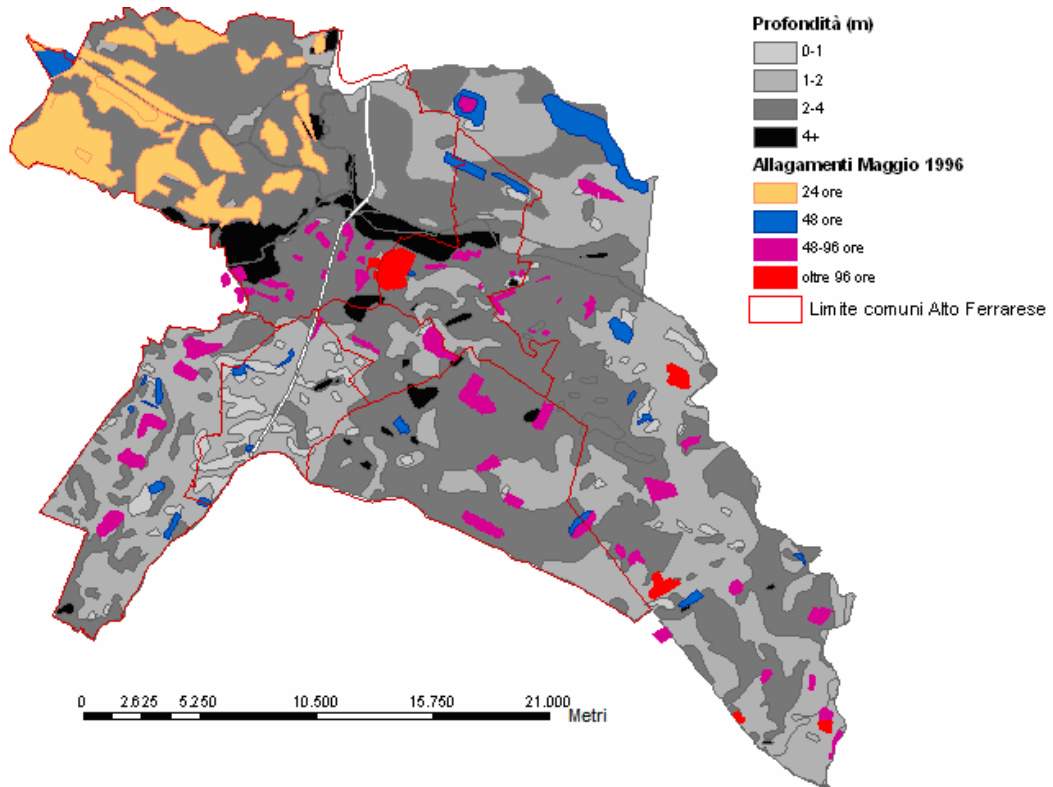


Figura 9-35. La carta della freatica e gli allagamenti del maggio 1996

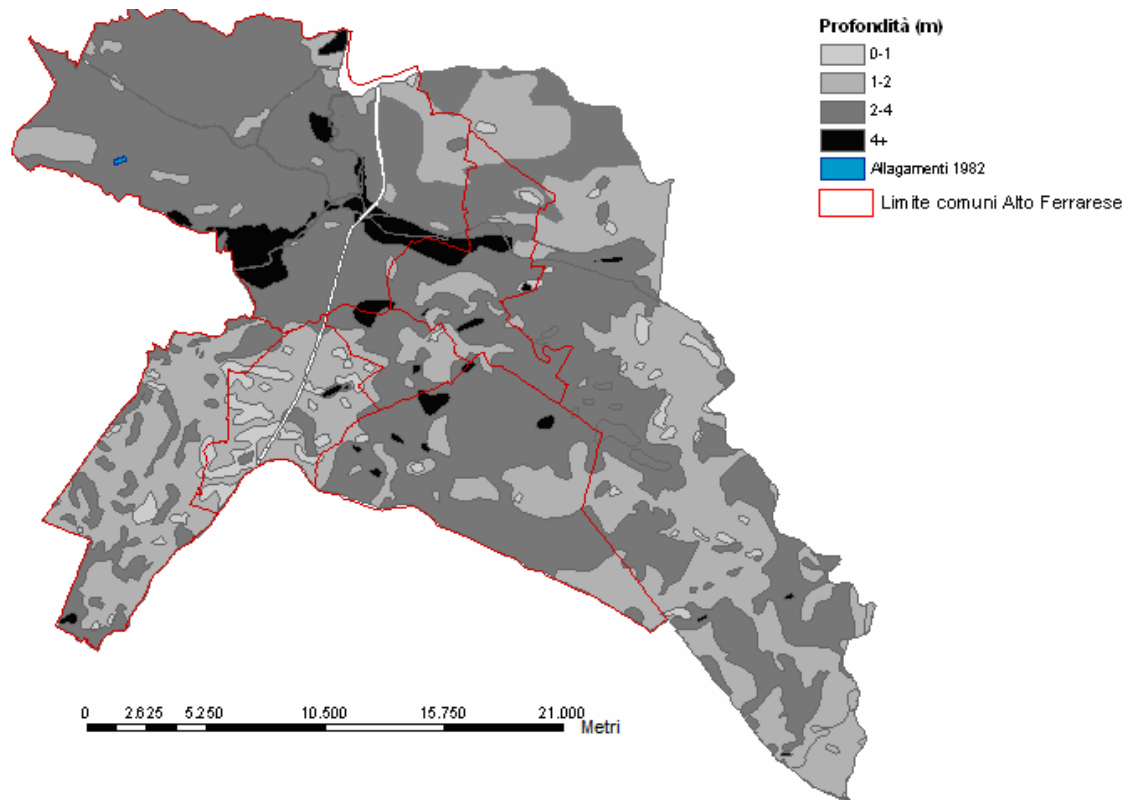


Figura 9-36. La carta della freatica e l'allagamento del 1982

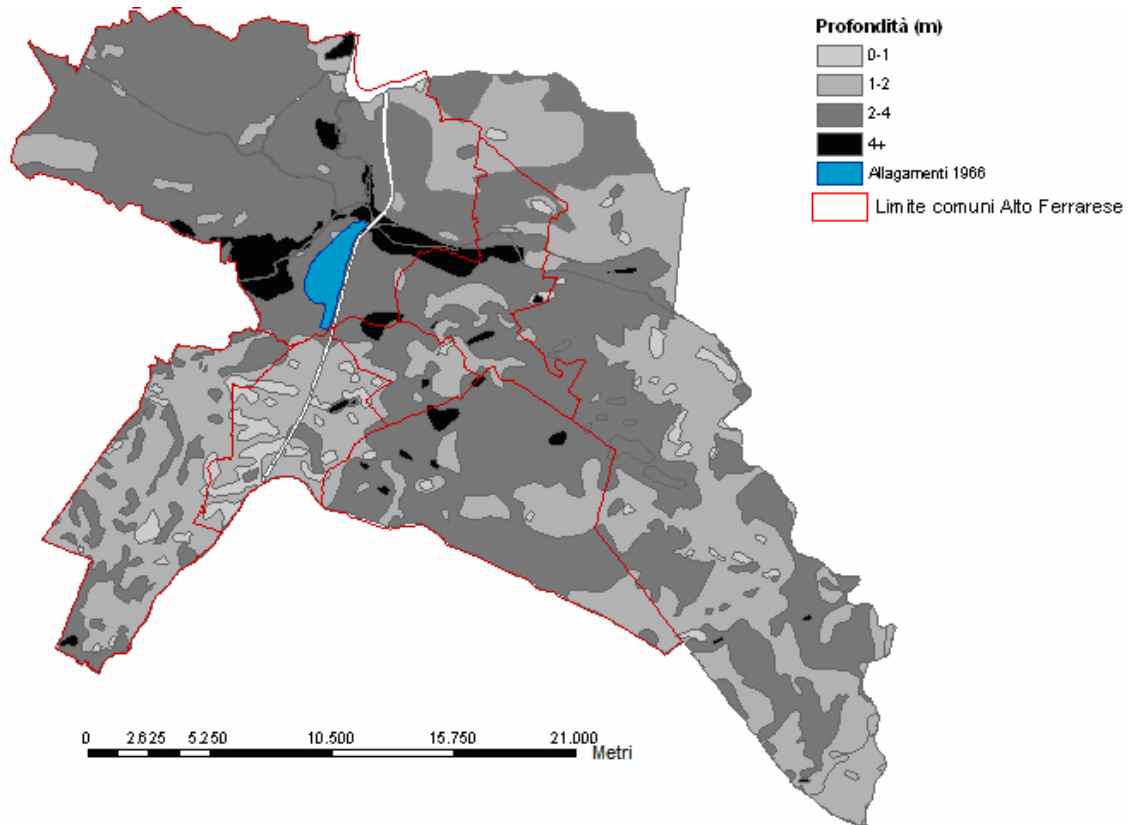


Figura 9-37. La carta della freatica e l'allagamenti del 1966

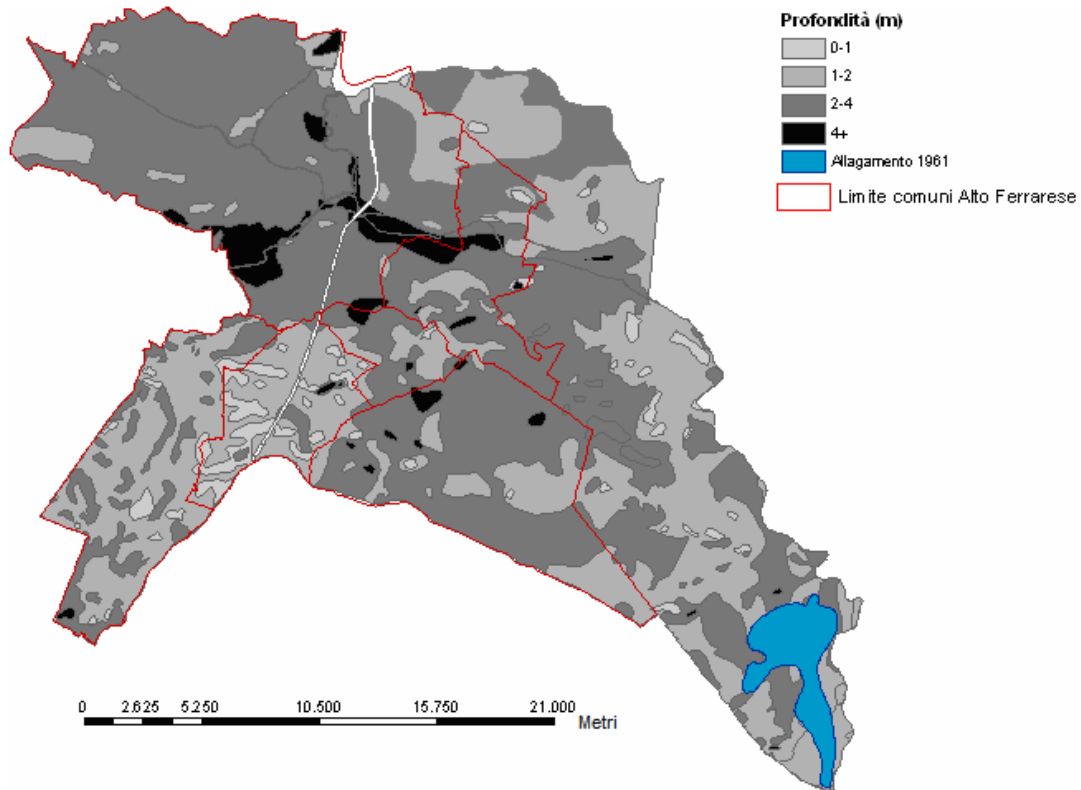


Figura 9-38. La carta della freatica e l'allagamento del 1961

9.4 Gli allagamenti riscontrati più volte negli stessi punti

Dopo lo studio delle possibili cause degli allagamenti precedentemente illustrati, si è passati alla ricerca dei punti critici, ovvero quelli interessati più volte dagli allagamenti nei diversi anni, della rete di scolo dell'Alto Ferrarese, che espongono il territorio circostante al rischio di esondazioni future. A tal scopo è stata realizzata la Tavola 9-12 che riporta tutti gli allagamenti susseguitesi nei vari anni nel territorio in esame.

Tavola 9-12. La carta degli allagamenti susseguitesi negli anni dal 1949 al 2005

Innanzitutto si consideri l'area a sud del Comune di Cento, interessata dagli allagamenti del 2005, Dicembre e Maggio 1996 (Figura 9-39).

In particolare, partendo dalla parte sud del comune di Cento, le medesime aree allagate si riscontrano in corrispondenza dello Scolo Tombetta, Scolo Bagnetto, Scolo Reno Canale e in due punti dello Scolo Canalizzo Inferiore.

Oltre alle aree allagate in destra e sinistra idraulica dei canali suddetti, appena più a nord vi sono due zone (Zona A e Zona B) interessate dagli allagamenti 2005 e dicembre 1996, probabilmente dovute alle condizioni di saturazione dei terreni scarsamente permeabili presenti in tale zona.

Da questo punto in poi si hanno zone interessate solo dagli allagamenti del maggio e dicembre 1996 in corrispondenza dello Scolo Guadora, Scolo Alamari, Scolo Pievese e Scolo Banche Superiore.

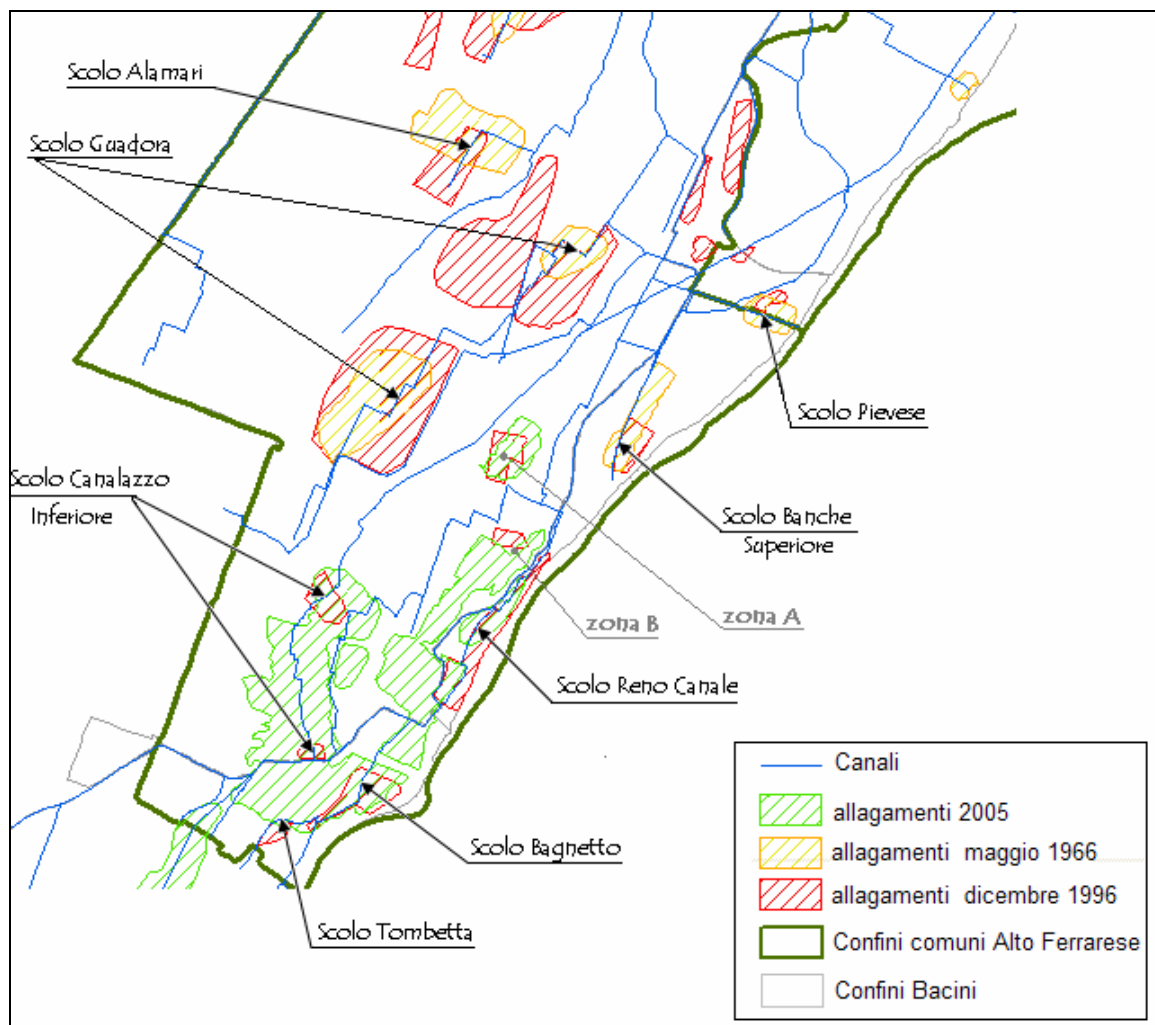


Figura 9-39. Gli allagamenti nei vari anni: zona sud comune di Cento

Spostandosi nella parte nord del comune di Cento e sul comune di Sant'Agostino si riscontrano ancora numerose zone interessate dagli allagamenti del maggio e dicembre 1996 (Figura 9-40).

Infatti, sul comune di Cento, si riscontrano i medesimi allagamenti in corrispondenza del Fosso Torre Spada e dello Scolo Salione Vecchio. Inoltre vi è un'estesa area che interessa sia lo Scolo Buonacompra, sia lo Scolo Arborselli ed il Condotto Generale.

Sul comune di Sant'Agostino le zone allagate che si ripresentano sia nel maggio e sia nel dicembre 1996 sono in destra idraulica del Chiodarolo Nuovo e dello Scolo Fossa.

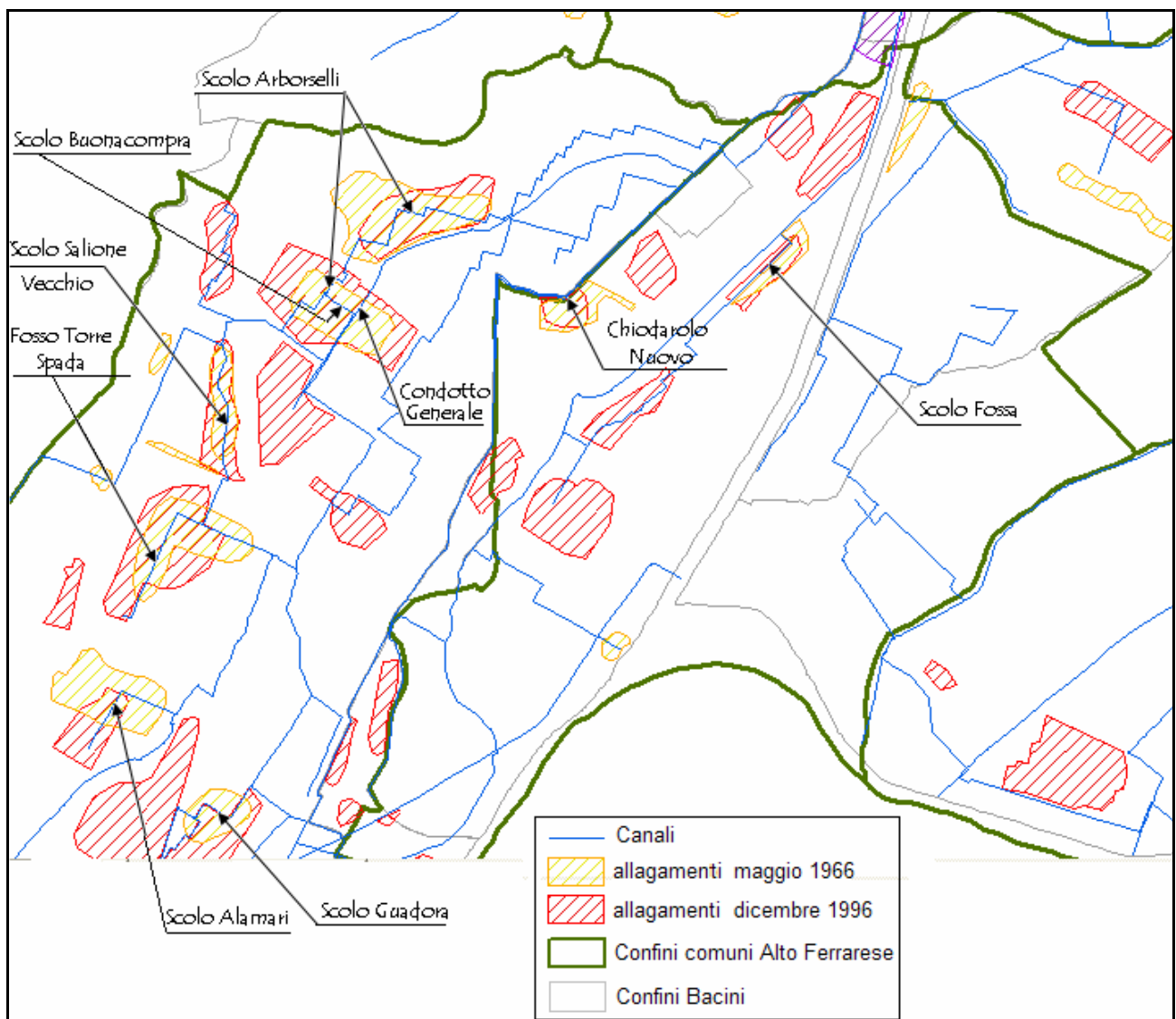


Figura 9-40. Gli allagamenti nei vari anni: zona nord comune di Cento e comune di Sant'Agostino

Altre zone critiche si riscontrano nella parte sud del comune di Bondeno ove, in corrispondenza della Fossa Barchessa e dell'area definita zona C in Figura 9-41, si riscontrano i medesimi allagamenti nel maggio 1996 e del 1966.

Per quanto riguarda il comune di Mirabello si ha solo la zona adiacente lo scolo Ladino Inferiore e la Diramazione Ladino interessata dall'allagamento del maggio 1996 e in maniera meno estesa nel dicembre 1996.

Ancora più evidenti è la corrispondenza delle zone allagate nel comune di Vigarano Mainarda. In particolare, ne sono interessate le aree in destra e sinistra idraulica dello Scolo Rondone, in destra del Canale Cavo Tassone e la vasta area in destra dello Scolo Nuovo Conduttore, dove si evidenzia la zona D in prossimità della Fossa Savenuzza.

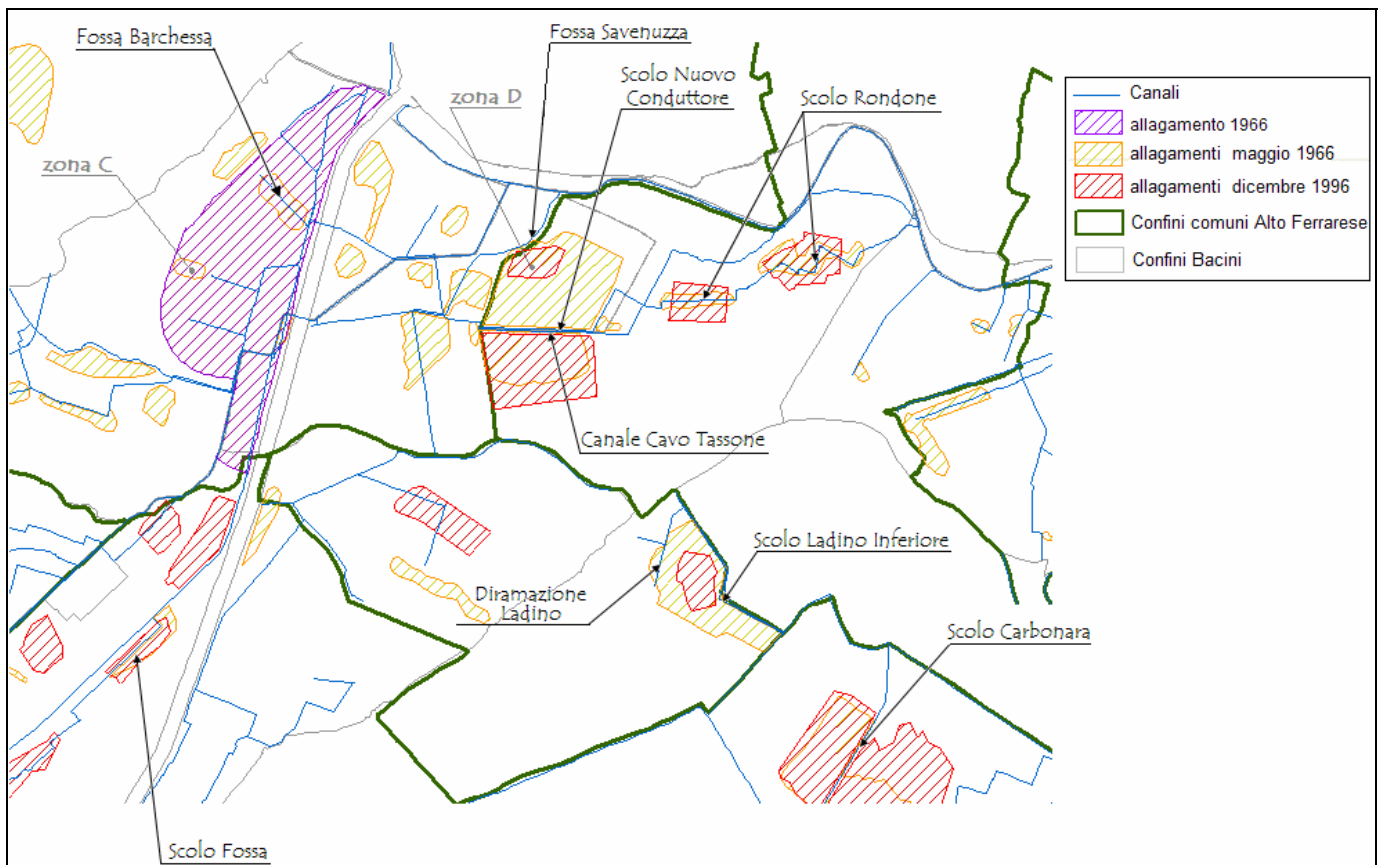


Figura 9-41. Gli allagamenti nei vari anni: zona sud comune di Bondeno, comune di Mirabello e Vigarano Mainarda

Altri punti in cui si hanno gli stessi allagamenti si riscontrano nel comune di Poggio Renatico (Figura 9-42), in particolare in corrispondenza dello scolo Carbonara, dello Scolo Scorsuro, dello Scolo Principale Superiore, in destra allo Scolo Seghedizzo Est ed in destra e sinistra idraulica dello Scolo Circondariale San Martino.

Si sottolinea anche la presenza dell'area a sud dell'abitato di Poggio (zona E) interessata dal ristagno delle acque sia nel dicembre che nel maggio 1996, essenzialmente per la crisi della rete terziaria.

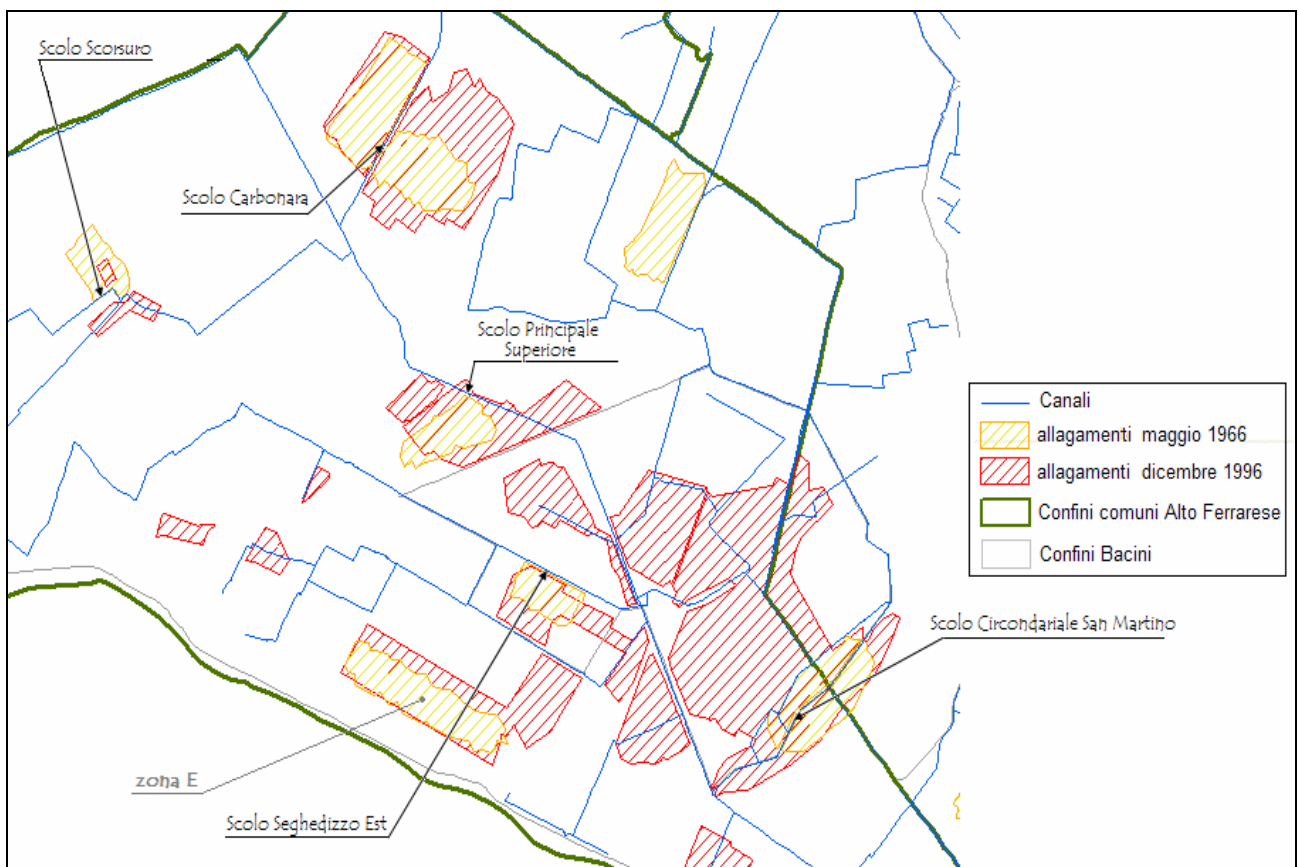


Figura 9-42. Gli allagamenti nei vari anni: zona sud comune di Bondeno, comune di Mirabello e Vigarano Mainarda

Al di là dei punti critici evidenziati nei comuni d'esame, si mettono in evidenza anche quelli ricadenti nel restante territorio dei consorzi di bonifica considerati.

Nel bacino di scolo Sammartina e Torre Fossa (Figura 9-43), vi sono tre zone investite dagli allagamenti sia nel maggio e sia nel dicembre 1996: per quanto riguarda la Sammartina si citano le aree in corrispondenza dello Scolo Baiona occidentale e dello Scolo Civetta; mentre, nel bacino di scolo Torniano è lo Scolo Boldrini che non è riuscito a smaltire la portata in eccesso nei due eventi piovosi.

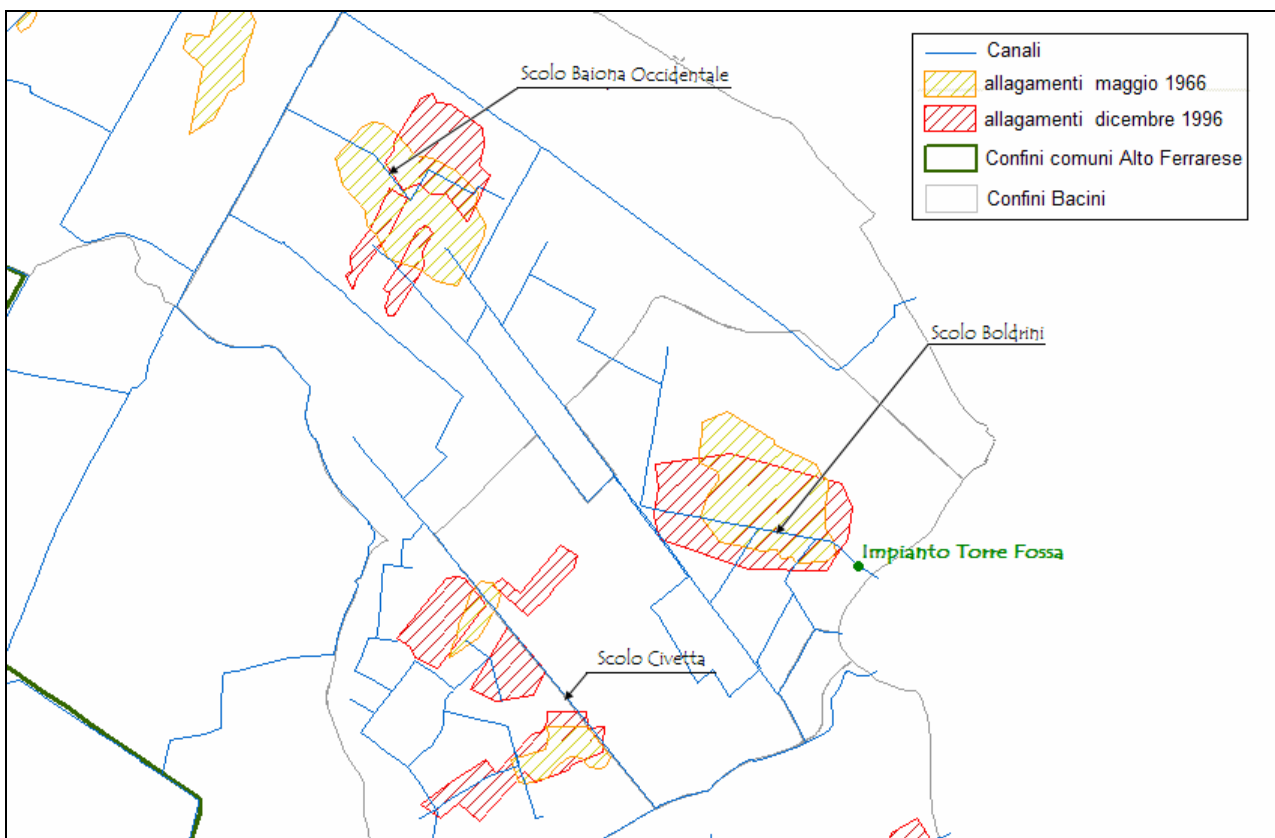


Figura 9-43. Gli allagamenti nei vari anni: bacino di scolo Sammartina e Torre Fossa (Valli Vecchio Reno)

Appena più a sud nel bacino Oppio e nella punta nord del Nuovo Scolo (Figura 9-43) si presentano allagamenti nel maggio e dicembre 1996 rispettivamente in sinistra dello Scolo Picchio Vecchio ed in destra e sinistra idraulica dello Scolo Parziale.

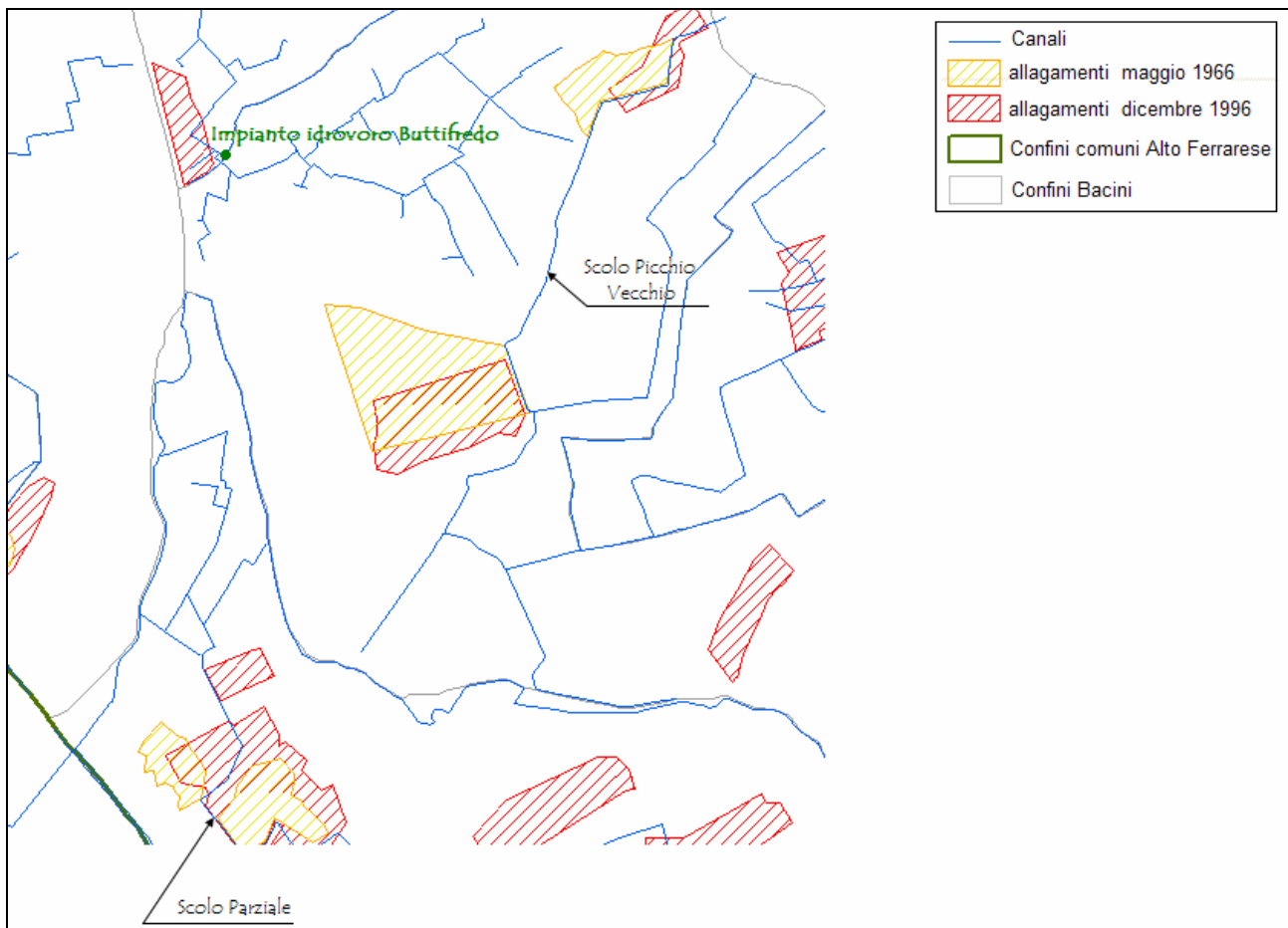


Figura 9-44. Gli allagamenti nei vari anni: bacino di scolo Oppio e parte nord del Nuovo Scolo (Valli Vecchio Reno)

Inoltre, sempre nel bacino Oppio in destra idraulica dello scolo Zambotta si ripresenta il medesimo allagamento nel periodo maggio e dicembre 1996. Anche in questo caso, quest'ultimo risulta più intenso coinvolgendo anche la sponda sinistra dello Scolo Riazzo Cervella (Figura 9-45).

Spostandosi nella parte centrale nel bacino Nuovo Scolo, è lo Scolo Parziale che presenta più di un punto di crisi lungo il suo percorso, presentando gli stessi allagamenti nei periodi maggio e dicembre 1996.

Anche la sponda destra del Condotto E (irriguo) è interessata dai medesimi allagamenti. Si suppone che la causa sia da ricercarsi nella crisi della rete terziaria, in quanto non si riscontrano collegamenti con l'altimetria, la permeabilità e nemmeno con la profondità della falda freatica.

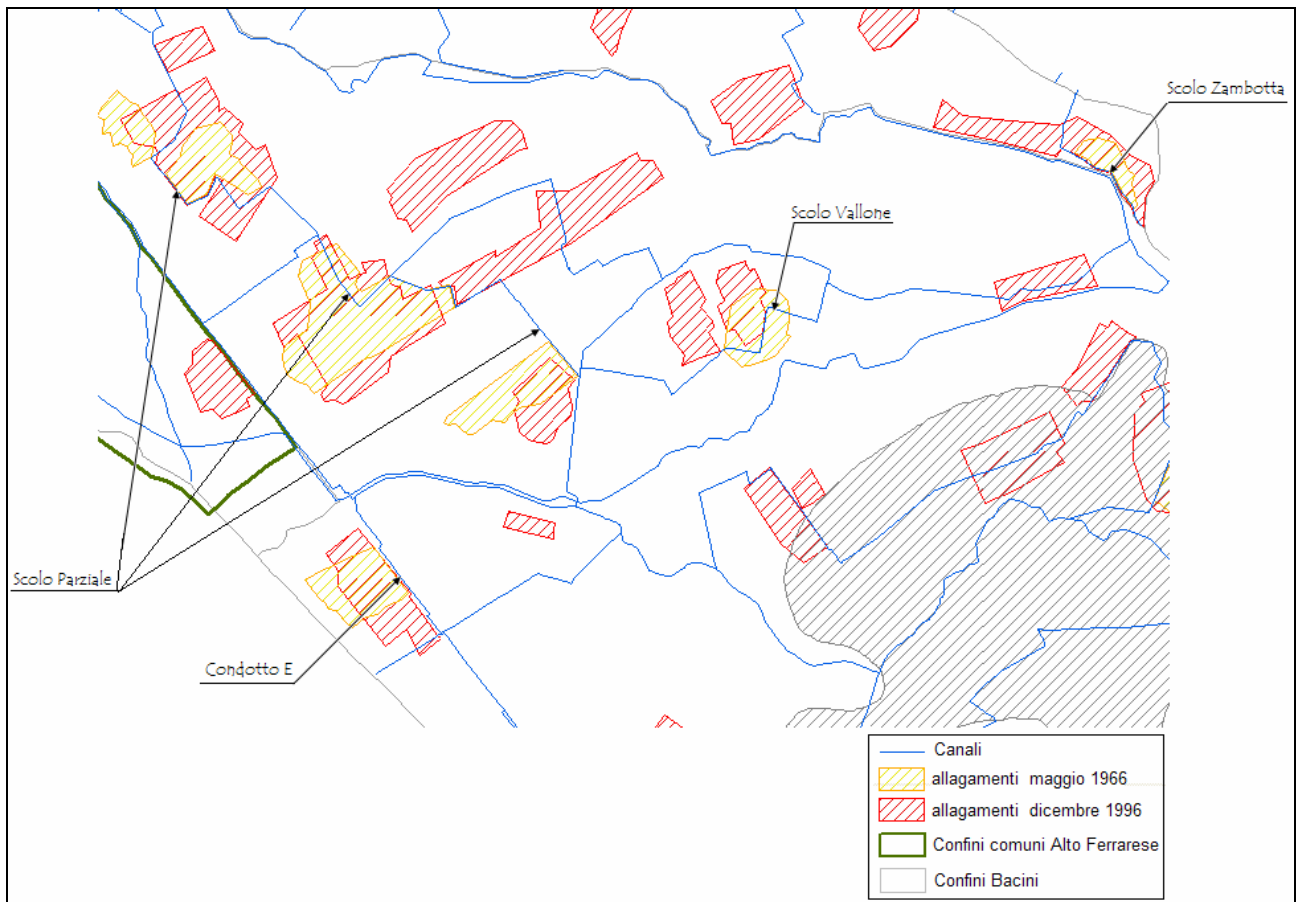


Figura 9-45. Gli allagamenti nei vari anni: parte sud del bacino di scolo Oppio e zona centrale del Nuovo Scolo (Valli Vecchio Reno)

In ultimo, si consideri la parte sud del bacino Nuovo Scolo (Figura 9-46), in cui si riscontrano numerosi punti di crisi interessati dagli allagamenti nel maggio e dicembre 1996 ed anche nel lontano 1961.

In particolare, le aree interessate da allagamenti in tutti e tre questi periodi sono in corrispondenza della Fossa Guglielmina, dello Scolo Valliprove, dello Scolo Fiumazzo ed in destra idraulica allo scolo Valletta.

Invece, vi sono zone in cui si sono riscontrati gli stessi allagamenti nei periodi dicembre 1996-maggio 1996 e dicembre 1996 e 1961. Per quanto riguarda i periodi dicembre 1996-maggio 1996, sono lo Scolo Munizze, il Condotto Fascinata, ed appena più a sud in destra il condotto E a presentare le medesime aree allagate.

Invece, nei periodi dicembre 1996 e 1961 sono interessati i canali promiscui Scolo Valliprove, lo Scolo Porto Canne e lo Scolo Arginone.

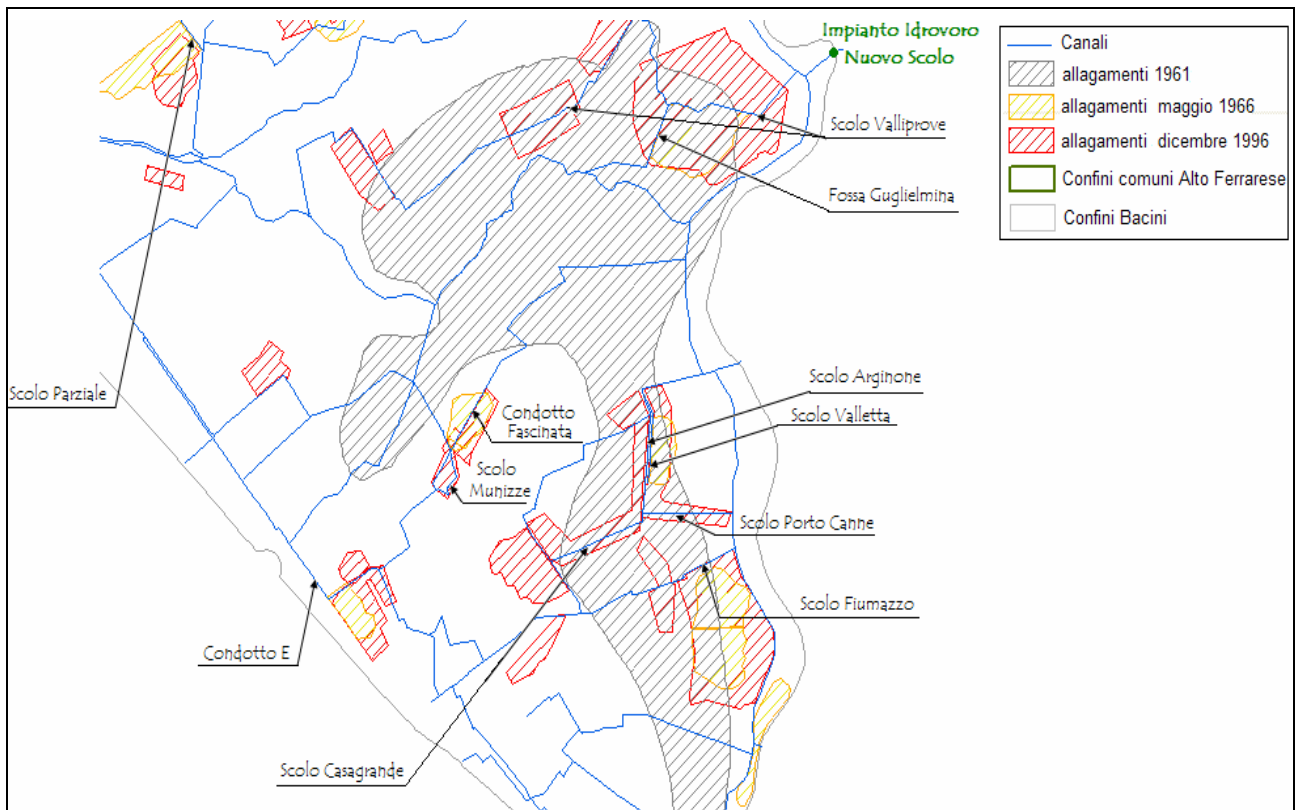


Figura 9-46. Gli allagamenti nei vari anni: parte sud del bacino Nuovo Scolo (Valli Vecchio Reno)

9.5 Conclusioni

Dalla descrizione generale degli allagamenti e dagli studi effettuati considerando l'altimetria del territorio, la permeabilità dei terreni e l'altezza della falda freatica si ottiene la tabella riassuntiva di seguito riportata:

<i>Allagamenti</i>	<i>Interazione con:</i>			
	<i>Altimetria</i>	<i>Permeabilità</i>	<i>Altezza falda freatica</i>	<i>Altre cause</i>
2005	Non ci sono aree allagate in zone depresse	Le zone allagate sono presenti su terreni da poco permeabili a praticamente impermeabili. Fanno eccezione le due aree allagate in corrispondenza del Canale e dell'Allacciante Distributore Bagnetto (irriguo) che interessano parzialmente il terreno fortemente permeabile della parte sud del bacino Bagnetto (Valli Vecchio Reno)	Gli allagamenti prevalentemente sono presenti su zone ove la profondità della falda freatica è bassa (0-1 m) e media (1-2 m)	Scarsa efficienza della rete fognaria della città di Cento. Insufficienza dei canali a monte della città di Cento e dei tratti tombinati.
2001	Non ci sono aree allagate in zone depresse	La zona allagata in destra del Canale Nogarotto si estende su terreni impermeabili, lambendo una piccola zona permeabile	In corrispondenza di questo allagamento la falda freatica ha una profondità da 2-4 m	Esondazione del Canale Nogarotto, presubilmente a seguito di uno scroscio concentrato.
Dicembre 1996	Le aree depresse interessate dagli allagamenti sono la zona del Torniano, la parte est del bacino Nuovo Scolo, la Sammartina e Sant'Egidio	Le zone allagate sono presenti su terreni poco permeabili e praticamente impermeabili. Fanno eccezione due aree: - 156 ha a sud di Poggio; - 31.8 ha in destra Condotto E (irriguo) che lambiscono aree permeabili.	I numerosi allagamenti si riscontrano su zone in cui la falda freatica ha una profondità che varia da bassa (0-1 m) a mediamente alta (2-4 m).	La maggior parte degli allagamenti sono dovute all'esonazione dei canali, i quali a seguito delle precipitazioni intense del periodo, non sono riusciti a smaltire la portata in eccesso. Ci sono comunque altre zone allagate non adiacenti ai canali dovute essenzialmente alla crisi della rete terziaria.
Maggio 1996	Le aree depresse interessate dagli allagamenti sono il bacino del Torniano, della Sammartina, la parte est del bacino Nuovo	Le zone allagate sono presenti su terreni poco permeabili ed impermeabili. Fanno eccezioni le medesime zone citate per l'allagamento del dicembre 1996	I numerosi allagamenti si riscontrano su zone in cui la falda freatica ha una profondità che varia da bassa (0-1 m) a mediamente alta (2-4 m). Fanno eccezione alcune porzioni di	La maggior parte degli allagamenti sono dovute all'esonazioni dei canali, i quali a seguito delle precipitazioni intense del periodo, non sono

CAPITOLO 9

	Scolo e Santa Bianca (3), nel territorio del Valli Vecchio Reno. Nella Diamantina le aree interessate sono il bacino Valletta, la parte centrale e nord est del Betto, e buona parte del territorio bondenese.		zone allagate, perdurate sul territorio da 48-96 ore, che lambiscono aree in cui la falda raggiunge e supera i 4 m di profondità.	riusciti a smaltire la portata in eccesso. Si evidenziano le medesime zone allagate nel Dicembre 1996 non adiacenti ai canali dovute essenzialmente alla crisi della rete terziaria.
1982	L'allagamento è presente su un terreno di quota media 7.6 m s.l.m.m.	L'allagamento è presente su un terreno impermeabile	In corrispondenza di questo allagamento la falda freatica ha profondità comprese tra 2-4 m.	/
1966	L'allagamento è presente su un terreno di quota compresa tra i 7.7-9.1 m s.l.m.m	L'allagamento è presente su un terreno impermeabile	In corrispondenza di questo allagamento la falda freatica ha profondità comprese tra 2-4 m.	Esondazione della rete secondaria del bacino Santa Bianca (1)
1961	L'allagamento è presente su un terreno di quota compresa tra i 4 - 6 m s.l.m.m	L'allagamento è presente su un terreno in gran parte impermeabile	In corrispondenza di questo allagamento la falda freatica ha profondità comprese tra 1-4 m.	Crisi rete promiscua

Tabella 9-4. Gli allagamenti e le cause

9.6 Gli elaborati grafici del progetto in ArcMap

Nella tabella seguente si elencano i tematismi realizzati per il blocco logico “Allagamenti”. Come per gli altri temi, si riporta il titolo del tematismo/layer riportato nel progetto, il nome originale dello shape file corrispondente ed una breve descrizione.

<i>Allagamenti</i>		
<i>Allagamenti storici</i>		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
Allagamenti Ottobre 2005	allagamenti 2005.shp	Copertura dell'area allagata completa di estensione (m ²), cause.
Allagamenti 2001	allagamenti 2001.shp	Copertura dell'area allagata completa di dati su: estensione (m ²), perimetro (m), cause, descrizione breve dell'evento.
Allagamenti Dicembre 1996	allagamenti dicembre 1996.shp	Copertura dell'area allagata completa di data (anno, mese) riferimento sulla durata (ristagno), estensione (m ²), perimetro (m), cause e informazioni sull'evento.
Allagamenti Maggio 1996	allagamenti maggio 1996.shp	Copertura dell'area allagata completa di data (anno, mese) riferimento sulla durata (ristagno), estensione (m ²), perimetro (m), cause e informazioni sull'evento.
Allagamenti 1982	allagamenti 1982.shp	Copertura dell'area allagata completa di data (anno), estensione (m ²), perimetro (m).
Allagamenti 1966	allagamenti 1966.shp	Copertura dell'area allagata completa di data (anno), estensione (m ²), perimetro (m).
Allagamenti 1961	allagamenti 1961.shp	Copertura dell'area allagata completa di data (anno), estensione (m ²), perimetro (m).

Allagamenti 1951	allagamenti 1951.shp	Copertura dell'area allagata completa di data (anno), estensione (m ²), perimetro (m).
Allagamenti 1949	allagamenti 1949.shp	Copertura dell'area allagata completa di data (anno), estensione (m ²), perimetro (m).
Carte per lo studio degli allagamenti storici		
<i>Tematismo/layer</i>	<i>file</i>	<i>Descrizione</i>
Permeabilità_VVR	Permeabilità_VVR.shp	Carta della permeabilità del comprensorio del Valli Vecchio Reno
Permeabilità_TV	Permeabilità_TV.shp	Carta della permeabilità del territorio della Diamantina
Permeabilità_BLSP su Bondeno	Permeabilità_BLSP su Bondeno.shp	Carta della permeabilità della parte del comprensorio di Burana Leo Scoltenna Panaro ricadente sul comune di Bondeno
Freatica_VVR	Freatica_VVR.shp	Carta delle isobate della falda freatica sul comprensorio del Valli Vecchio Reno
Freatica_TV	Freatica_TV.shp	Carta delle isobate della falda freatica sul territorio della Diamantina
Freatica_BLSP su Bondeno	Freatica_BLSP su Bondeno.shp	Carta delle isobate della falda freatica sulla parte del comprensorio di Burana Leo Scoltenna Panaro ricadente sul comune di Bondeno

Tabella 9-5. I tematismi /layers per la descrizione degli allagamenti verificatesi dal 1941 al 2005

Si precisa che accendendo ognuno dei temi riportati in Tabella 9-5 si visualizzano le aree allagate corrispondenti al periodo selezionato con colori diversi a seconda della durata. I valori delle aree e le corrispondenti durate sono riportate nella tabella degli attributi (APPENDICE A).

10 L'INVARIANZA IDRAULICA

10.1 Premessa

I maggiori effetti dell'urbanizzazione sono riconducibili ad un aumento dell'impermeabilizzazione dei suoli ed alla diminuzione complessiva dei volumi dei piccoli invasi superficiali¹, ovvero di tutti i volumi che le precipitazioni devono riempire prima della formazione del deflusso superficiale.

L'impermeabilizzazione delle superfici produce in generale un aumento del coefficiente di afflusso che si riflette in un conseguente aumento del contributo di portata per unità di superficie, ovvero del *coefficiente udometrico*.

Analogamente, la riduzione dei volumi dei piccoli invasi si ripercuote, sebbene con minore intensità, sul contributo di portata per unità superficie facendolo aumentare.

In Italia, ma anche in altri Paesi occidentali, si è assistito negli ultimi decenni a forti urbanizzazioni con incrementi notevolissimi delle superfici impermeabilizzate, senza che di pari passo siano stati sviluppati adeguati sistemi di attenuazione delle piene. Di conseguenza, spesso si riscontrano situazioni di notevole criticità idraulica per l'aumento dei deflussi di piena, che rendono inadeguate le dimensioni dei collettori, dei canali e dei corpi ricettori.

Vi è dunque la necessità di identificare procedure, anche a livello di piano regolatore, che portino a controllare e gestire l'effetto dell'urbanizzazione sulla risposta idraulica del terreno.

Queste procedure devono poter quantificare gli aspetti principali che incidono sul coefficiente udometrico tipico di una certa area, ovvero devono poter quantificare le conseguenze dell'urbanizzazione in termini di coefficiente di afflusso e di volume di invaso.

Nel seguito si descrive una procedura, a suo tempo in parte predisposta in seno all'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli, che consente di stimare quale sia l'invaso specifico² (indipendentemente della sue modalità costruttive) che si deve prevedere a seguito di un opera di urbanizzazione che comporta, come già sottolineato precedentemente, un'alterazione del

¹ I piccoli invasi, in terreni "naturali", sono costituiti dalle irregolarità della superficie e da tutti gli spazi delimitati da ostacoli casuali che consentono l'accumulo dell'acqua. Sotto determinate condizioni la presenza di un battente di alcuni mm d'acqua durante il deflusso costituisce un invaso che può avere effetti non trascurabili dal punto di vista idrologico.

² L'invaso specifico rappresenta l'invaso per unità di superficie considerata.

coefficiente di afflusso dell'intera area e al contempo una riduzione dell'ammontare degli invasi superficiali.

Per poter descrivere correttamente questa procedura è necessario richiamarne le sue basi teoriche. Per questo motivo nel successivo paragrafo si descrive la metodologia per la stima della portata in una sezione terminale di un sistema fognario basata sull'ipotesi dell'invaso lineare.

Successivamente verranno descritte le equazioni per la conservazione della così detta invarianza idraulica (ovvero il mantenimento del medesimo coefficiente udrometrico prima e dopo l'urbanizzazione) e le modalità di stima dei vari termini che essa implica.

10.2 La teoria dell'invaso lineare per la stima della portata in una rete fognaria

Si faccia riferimento ad un'area che rappresenta il bacino contribuente ad una rete fognaria (Figura 10-1). Si consideri quindi una sezione terminale di queste rete fognaria.

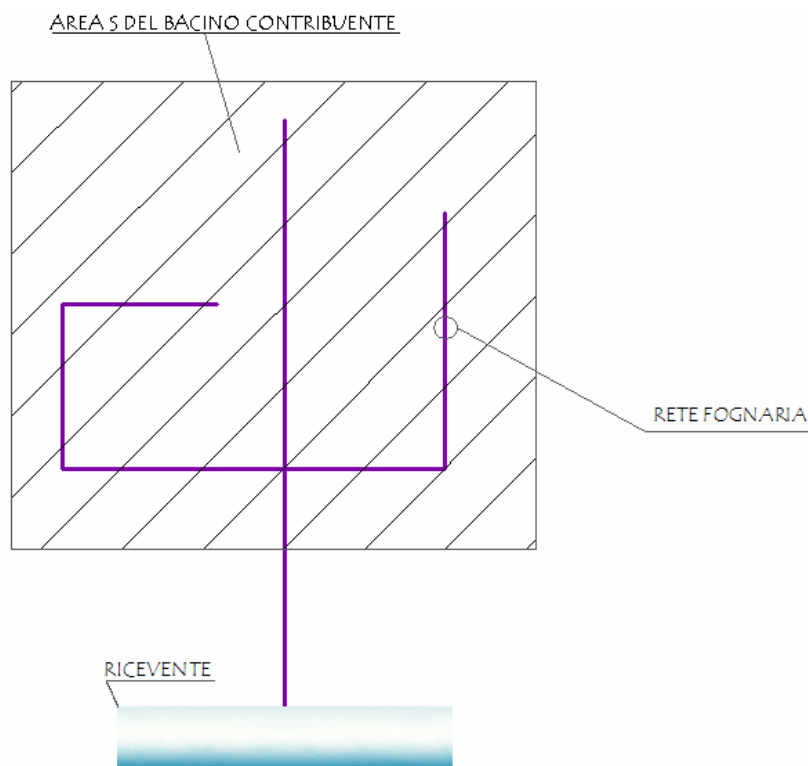


Figura 10-1. Schema di bacino contribuente ad una rete fognaria

A monte di questa sezione vi è un insieme di tubazioni caratterizzate da una propria dimensione e quindi da un proprio volume di invaso. Inoltre sul bacino superficiale contribuente alla rete fognaria

vi sono piccole depressioni e cunette che danno luogo ad una ulteriore capacità di invaso. Con $W(t)$ si rappresenta l'intero³ volume immagazzinato a in un generico istante a monte della sezione considerata da cui defluisce una portata $Q(t)$, mentre $I(t)$ rappresenta l'afflusso di *pioggia netta* al sistema drenante. Queste tre grandezze sono legate fra loro attraverso l'equazione della continuità:

$$\frac{dW(t)}{dt} = I(t) - Q(t) \quad [10.1]$$

Nell'ipotesi che la portata uscente $Q(t)$ sia legata in modo lineare con il volume di acqua $W(t)$ immagazzinato a monte della sezione considerata, ovvero:

$$k = \frac{W(t)}{Q(t)}; \quad \forall t \quad [10.2]$$

ne segue che l'equazione [10.1] può essere scritta come:

$$k \frac{dQ(t)}{dt} + Q(t) = I(t) \quad [10.3]$$

Nell'ipotesi che l'afflusso di pioggia netta $I(t)$ coincida con un impulso unitario, ovvero $I(t) = \delta(t)$ (dove $\delta(t)$ rappresenta il Delta di Dirac) e $Q(t=0) = 0$, la soluzione risulta:

$$Q(t) = u(t) = \frac{1}{k} e^{-\frac{t}{k}} \quad [10.4]$$

Per qualunque altra funzione di ingresso $I(t)$, la portata uscente può essere espressa in base all'integrale di convoluzione (si veda ad esempio, Ugo Moisello, "Idrologia Tecnica", La Goliardica Pavese, 1999)

³ $W(t)$ tiene conto del volume immagazzinato nella rete a monte della sezione considerata e nelle depressioni superficiali presenti nel bacino contribuente.

$$Q(t) = \int_0^t I(\tau) \cdot u(t - \tau) d\tau \quad [10.5]$$

Nell'ipotesi che la pioggia abbia intensità costante sulla durata θ su di un bacino di area S , quando il coefficiente di afflusso è φ , la pioggia netta, ovvero portata in ingresso nella rete, $I(t)$ risulta pari a $\varphi a' \theta^{n'-1} S$ (essendo a' e n' i coefficienti della curva di possibilità climatica) e quindi la precedente equazione diventa:

$$\begin{aligned} Q(t) &= \varphi a' \theta^{n'-1} S \cdot [g(t)]; & t \leq \theta \\ Q(t) &= \varphi a' \theta^{n'-1} S \cdot [g(t) - g(t - \theta)]; & t > \theta \end{aligned} \quad [10.6]$$

dove:

$$g(t) = \int_0^t u(\tau) d\tau = 1 - e^{-\frac{t}{k}} \quad [10.7]$$

La portata al colmo si forma nell'istante in cui smette di piovere (Figura 10-2), quindi quando $t = \theta$ e vale :

$$Q_c = \varphi a' \theta^{n'-1} S \cdot \left(1 - e^{-\frac{\theta}{k}}\right) \quad [10.8]$$

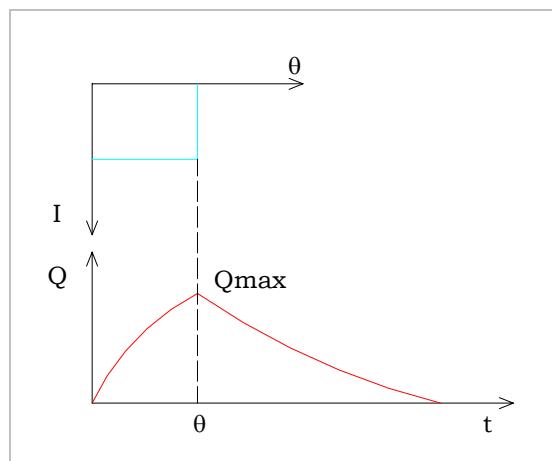


Figura 10-2. Q max in corrispondenza di $t = \theta$

Esiste una durata critica θ_{cr} che rende massima la portata al colmo, ovvero $Q_c = Q_{Max}$. Questa durata critica si ottiene derivando l'equazione precedente rispetto a θ ed uguagliando a zero. Posto:

$$\varepsilon = \left(1 - e^{-\frac{\theta}{k}}\right) \quad [10.9]$$

si può scrivere:

$$Q_c = \varphi \alpha' \theta^{n'-1} S \cdot \varepsilon \quad [10.10]$$

Derivando rispetto a θ ed uguagliando a zero, si ha:

$$\frac{dQ_c}{d\theta} = \varphi \alpha' \theta^{n'-1} S \left[(n'-1) \frac{\varepsilon}{\theta} + \frac{d\varepsilon}{d\theta} \right] = 0 \quad [10.11]$$

L'uguaglianza a zero è soddisfatta quando:

$$\frac{d\varepsilon}{d\theta} = (1 - n') \frac{\varepsilon}{\theta} \quad [10.12]$$

e quindi, una volta sviluppata la derivata $\frac{d\varepsilon}{d\theta}$, si ottiene:

$$n' = 1 - \frac{C e^{-C}}{(1 - e^{-C})} \quad [10.13]$$

con

$$C = \frac{\theta_{cr}}{k} \quad [10.14]$$

L'equazione [10.13] è rappresentata in Figura 10-3 da cui discende che una volta noto il coefficiente n' della curva di possibilità climatica tipica della zona in esame è possibile definire il valore del coefficiente C (per esempio, entrando con un qualsiasi valore di n si ottiene il corrispondente C (per esempio entrando con un certo valore di n'_1 si ottiene C_1)).

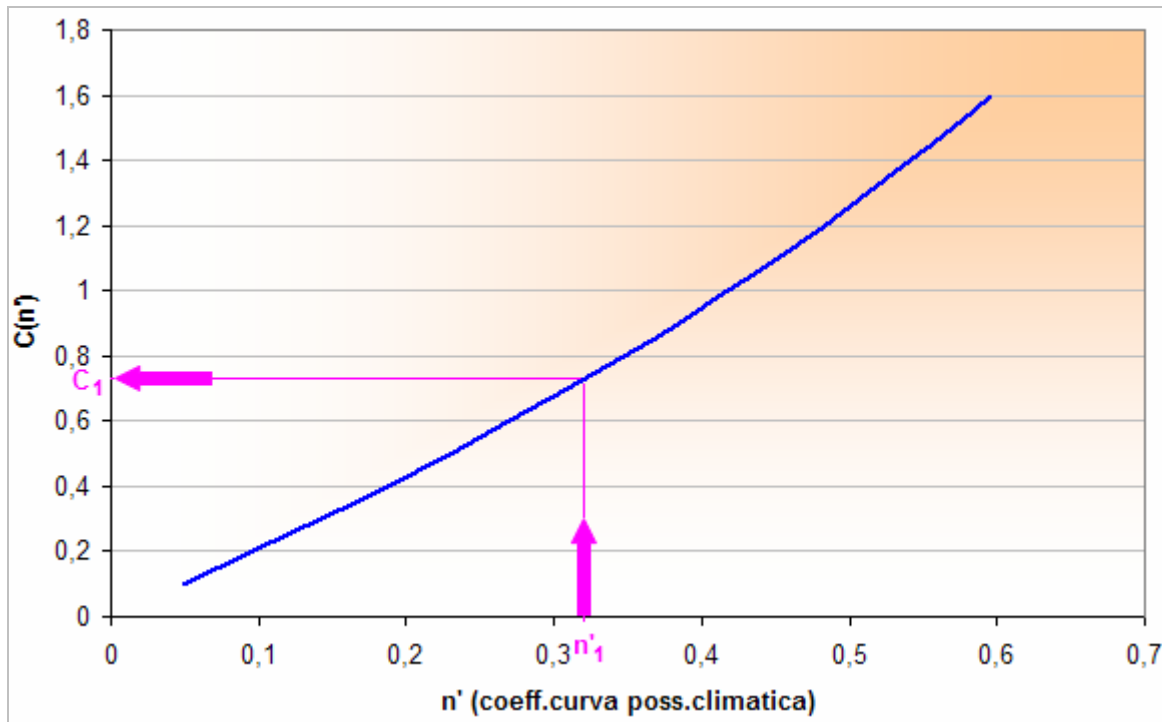


Figura 10-3. Determinazione del parametro C

Infine, noto che sia il coefficiente k (vedi oltre per le modalità da seguire per la sua stima) è possibile calcolare θ_{cr} che sostituito nell'equazione [10.8] produce la portata critica Q_{Max} :

$$\begin{aligned}
 Q_{Max} &= \varphi a' \theta_{cr}^{n'-1} S \cdot \left(1 - e^{-\frac{\theta_{cr}}{k}} \right) = \\
 &= \varphi a' S \cdot \left[\left(\frac{\theta_{cr}}{k} \right)^{(n'-1)} \left(1 - e^{-\frac{\theta_{cr}}{k}} \right) \right] k^{(n'-1)} = \varphi a' S \cdot \left[C^{(n'-1)} \left(1 - e^{-C} \right) \right] k^{(n'-1)} = D \varphi a' k^{(n'-1)} S
 \end{aligned}
 \tag{10.15}$$

Si osservi che il coefficiente D è funzione sia di n' , sia di C . Dato il campo di variazione di n' (0,3 – 0,6) e dati i valori corrispondenti di C (Figura 10-3), ne segue che il coefficiente D è pressoché costante e vale circa 0,65 (AA.VV., 1997).

Per quanto riguarda la stima del parametro k , si può ricorrere all'equazione [10.2] che esprime la costanza del rapporto fra la portata defluente nella sezione di chiusura considerata ed il volume accumulato nel bacino a monte (ovvero nella rete idrica e sulla superficie del terreno). Ovviamente

tale costanza vale anche nel momento in cui nella sezione considerata defluisca la portata di riempimento.

Ipotizzando, in accordo alle posizioni di Puppini (1932) e Supino (1929) che la portata di riempimento coincida con la portata critica, ovvero, in altre parole, che la portata critica Q_{Max} che si forma per $\theta = \theta_{cr}$ coincida con la portata di riempimento della rete nella sezione considerata, si può scrivere:

$$k = \frac{W_{Max}}{Q_{Max}} = \frac{w \cdot S}{Q_{MAX}} = \frac{w}{u_{Max}} \quad [10.16]$$

dove w rappresenta l'invaso specifico (ovvero per unità di superficie) a monte della sezione considerata quando in essa defluisce la portata Q_{Max} . Ne segue che dall'equazione [10.15] si ottiene:

$$\frac{Q_{Max}}{S} = u_{Max} = D\varphi a' k^{(n'-1)} = D\varphi a' \left(\frac{w}{u_{Max}} \right)^{(n'-1)} \quad [10.17]$$

da cui risulta, dopo alcuni semplici passaggi:

$$u_{Max} = n' \frac{D^{1/n'} (\varphi a')^{1/n'}}{w^{\frac{1}{n'} - 1}} \quad [10.18]$$

Tenendo presente che n' varia nell'intervallo 0,3–0,6, e che D è pressoché costante e vale 0,65, ne segue che il rapporto $D^{1/n'}/n'$ oscilla fra 0,78 e 0,8 ed è quindi abbastanza costante. Si può allora scrivere:

$$u_{Max} = Kn' \frac{(\varphi a')^{1/n'}}{w^{\frac{1}{n'} - 1}} \quad [10.19]$$

Il valore della costante K , esprimendo a' in $m/ora^{n'}$, w in m^3/m^2 e u_{Max} in $l/s \cdot ha$, risulta pari a 2168 pervenendo così alla nota formulazione (vedi ad esempio, AA.VV., 1997):

$$u_{Max} = 2168 \cdot n' \frac{(\varphi a')^{1/n'}}{w^{n'-1}} \quad [10.20]$$

Il coefficiente idrometrico u_{Max} esprime dunque la portata massima (critica) per unità di superficie che ci si deve aspettare (per assegnate condizioni climatiche sintetizzate tramite i due coefficienti a' e n') in una generica sezione di fognatura quando a monte di essa l'invaso specifico è pari a w ed il coefficiente di afflusso in rete è pari a φ .

10.3 L'invarianza idraulica

L'invarianza idraulica esprime il concetto che il contributo specifico u_{Max} rimanga costante all'aumentare del livello di urbanizzazione di una certa superficie S . Si osservi, infatti, che una operazione di urbanizzazione implica sempre un cambiamento (aumento) del coefficiente di afflusso φ (in particolare a seguito dell'impermeabilizzazione di una quota parte della superficie S), per cui, volendo far sì che il contributo per unità di superficie rimanga inalterato, diventa necessario intervenire sul valore dell'invaso specifico w , realizzando opportune opere di vaso.

Una stima del nuovo valore dell'invaso specifico w che occorre associare ad un intervento di urbanizzazione può essere fatta imponendo l'uguaglianza fra $u_{Max,1}$ prima dell'urbanizzazione (*ante operam*) e $u_{Max,2}$ dopo l'urbanizzazione (*post operam*), ovvero:

$$u_{Max,1} = 2168 \cdot n' \frac{(\varphi_1 a')^{1/n'}}{w_1^{n'-1}} = 2168 \cdot n' \frac{(\varphi_2 a')^{1/n'}}{w_2^{n'-1}} = u_{Max,2} \quad [10.21]$$

Dall'equazione precedente si ottiene:

$$w_2 = w_1 \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right)^{\frac{1}{1-n'}} \quad [10.22]$$

Da questa equazione, noto w_l e noti i coefficienti di afflusso *ante operam* (φ_1) e *post operam* (φ_2), si può stimare l'invaso specifico w_2 .

Si osservi adesso che l'invaso specifico può essere visto come somma di due termini. Infatti, tenendo presente che W_{Max} (equazione [10.16]) è in generale somma di due termini, ovvero:

$$W_{Max} = W_r + W_0 \quad [10.23]$$

dove W_r rappresenta il volume invasato nella rete, mentre W_0 rappresenta il volume invasato nei piccoli invasi superficiali, ne segue che l'invaso specifico w può essere scritto nel seguente modo:

$$w = \frac{W_r + W_0}{S} = w_r + w_0 \quad [10.24]$$

Il primo termine w_r rappresenta pertanto l'invaso specifico della rete fognaria vera e propria a monte della sezione considerata, mentre il secondo termine w_0 rappresenta l'invaso specifico dei piccoli invasi presenti sulla superficie del terreno (depressioni, ristagni, cunette, ecc.). L'equazione [10.22] può allora essere scritta come:

$$w_{2,r} + w_{2,0} = (w_{1,r} + w_{1,0}) \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right)^{\frac{1}{1-n'}} \quad [10.25]$$

da cui segue che il volume specifico della nuova rete $w_{2,r}$, dopo l'urbanizzazione, può essere stimato nel seguente modo:

$$w_{2,r} = (w_{1,r} + w_{1,0}) \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right)^{\frac{1}{1-n'}} - w_{2,0} \quad [10.26]$$

A sua volta l'invaso specifico dei piccoli invasi w_0 può essere espresso come somma di due termini:

$$w_0 = \frac{w_0^{IMP} S_{IMP} + w_0^{PERM} S_{PERM}}{S} = w_0^{IMP} IMP + w_0^{PERM} PERM \quad [10.27]$$

dove *IMP* e *PERM* rappresentano, rispettivamente, la frazione impermeabile e la frazione permeabile della superficie del terreno, mentre w_0^{IMP} e w_0^{PERM} rappresentano rispettivamente, l'invaso specifico dei piccoli invasi sulla frazione impermeabile del terreno e l'invaso specifico dei piccoli invasi sulla frazione permeabile del terreno.

L'equazione [10.26] diventa pertanto:

$$w_{2,r} = \left[w_{1,r} + \left(w_{0,1}^{IMP} IMP_1 + w_{0,1}^{PERM} PERM_1 \right) \right] \cdot \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right)^{\frac{1}{1-n'}} - \left(w_{0,2}^{IMP} IMP_2 + w_{0,2}^{PERM} PERM_2 \right) \quad [10.28]$$

Sulla base dei valori di letteratura (cfr. AA.VV., 1997), l'invaso specifico dei piccoli invasi relativi alla frazione impermeabile oscilla fra 10 e 15 m^3/ha di superficie impermeabile, mentre l'invaso specifico dei piccoli invasi relativi alla frazione permeabile, oscilla fra 30 e 50 m^3/ha di superficie permeabile.

A titolo esemplificativo, nel caso in cui la superficie soggetta ad urbanizzazione fosse inizialmente priva di rete fognaria ($w_{1,r} = 0$) e non vi fosse superficie impermeabile ($IMP_1 = 0$ e quindi $PERM_1 = 1$), la precedente equazione risulterebbe:

$$w_{2,r} = w_{0,1}^{PERM} \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right)^{\frac{1}{1-n'}} - \left(w_{0,2}^{IMP} IMP_2 + w_{0,2}^{PERM} PERM_2 \right) \quad [10.29]$$

Inoltre, nell'ipotesi che $w_{0,2}^{IMP} = 15 \text{ m}^3/ha$ e $w_{0,1}^{PERM} = w_{0,2}^{PERM} = w_0^{PERM}$ si può scrivere:

$$w_{2,r} = w_0^{PERM} \left(\frac{\varphi_2}{\varphi_1} \right)^{\frac{1}{1-n'}} - 15 IMP_2 - w_0^{PERM} PERM_2 \quad [10.30]$$

che coincide con quanto indicato dall'Autorità dei Bacini Regionali Romagnoli. In ogni caso, in generale risulta $w_{0,1}^{PERM} \geq w_{0,2}^{PERM}$, in quanto l'urbanizzazione si riflette anche in una risistemazione

delle zone permeabili (non impermeabilizzate), per cui è preferibile fare riferimento alla formulazione [10.29] o più in generale alla formulazione [10.28].

10.4 Stima dei coefficienti di afflusso e delle frazioni di superficie impermeabile prima e dopo l'urbanizzazione

Si pone adesso il problema di come stimare il coefficiente di afflusso φ *ante operam* e *post operam* e di conseguenza anche la frazione impermeabile *IMP*. Per quest'ultima si è cercato di riassumere le tecniche maggiormente utilizzate caratterizzandone la precisione, i tempi ed i costi che portano a preferire una metodologia rispetto all'altra.

Invece, per la determinazione del φ si propongono diverse formulazioni, da quelle più antiche fino a quelle utilizzate attualmente. In particolare tra quest'ultime, si pone l'attenzione sul metodo CN, il quale tenendo conto delle caratteristiche dell'evento, del tipo e uso del suolo, è stato utilizzato in tutta la trattazione della "Caratterizzazione dei suoli ai fini idrologici" (Capitolo 8) ed i cui valori del CN sono il dato di input per la stima del coefficiente di afflusso *ante operam* nelle zone non urbanizzate. Si precisa che la medesima procedura deve essere fatta anche per la stima del φ *post operam*, per cui i valori del CN saranno calcolati in base ai nuovi usi del suolo.

10.4.1 Stima della frazione impermeabile IMP

Per quanto riguarda la stima della frazione impermeabile IMP prima della (nuova) urbanizzazione, essa può essere fatta utilizzando diversi approcci elencati nel seguito:

1. interpretazione della Carta Tecnica Regionale (CTR) della Regione Emilia-Romagna in scala 1:5000.

La CTR5000 è una cartografia tecnica realizzata negli anni 1977-79 con i metodi tradizionali propri della aerofotogrammetria; essa fornisce una rappresentazione generale della morfologia del suolo, delle acque, della vegetazione e delle opere dell'uomo, secondo segni grafici convenzionali prescritti nel Capitolato di realizzazione della cartografia stessa. Avendo a disposizione la CTR5000 (su supporto cartaceo o come file raster opportunamente georeferenziato), un operatore può interpretare quanto riportato sulla carta e vettorializzare manualmente le aree ritenute impermeabili. Questa procedura richiede naturalmente tempi molto elevati (soprattutto per vaste porzioni di territorio) ma può essere considerata una delle

più attendibili anche se legata alla valutazione soggettiva dell'utente (Figura 10-4). Un problema è rappresentato dall'aggiornamento della carta: la CTR, dopo la sua realizzazione, è stata aggiornata con diverse tecniche "speditive", l'ultima delle quali, ancora parzialmente in corso, si basa su ortofoto satellitari (satellite QuickBird della Digital Globe) acquisite dalla Regione nel 2003; l'aggiornamento riguarda esclusivamente l'edificato e la viabilità principale;

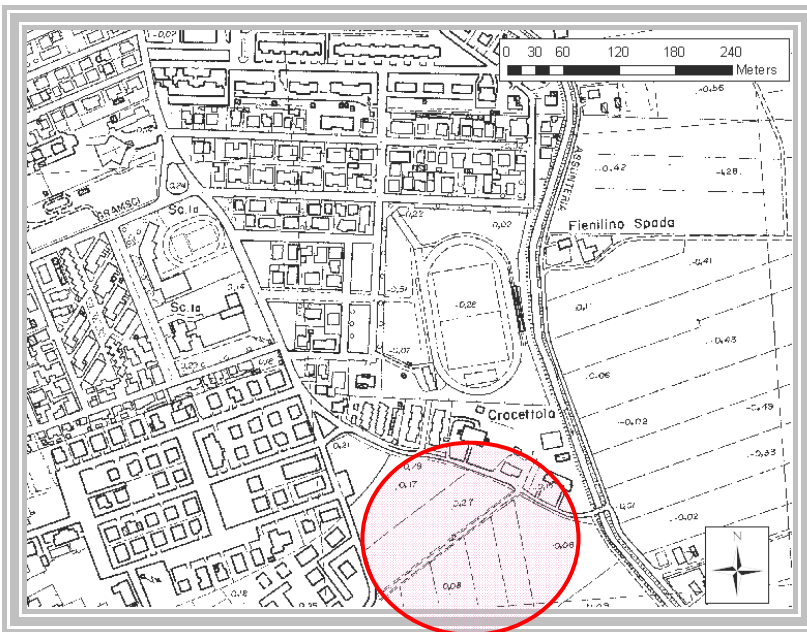


Figura 10-4.

Esempio di determinazione delle aree impermeabili dalla CTR 1:5000.

Si evidenzia una dimostrazione del problema di aggiornamento della CTR: prima nella CTR 1:5000 non sono riconoscibili le tre aree nel cerchio rosso, rilevabili invece dall'interpretazione dello stralcio dell'ortofoto risalente al 2003.



2. rilievo diretto sul terreno. In questo caso l'operatore, andando direttamente sul territorio, individua e classifica le porzioni di terreno da considerare impermeabile (Figura 10-5). In realtà, la tecnica basata sul rilievo diretto è normalmente da intendersi come una procedura di controllo, completamento ed aggiornamento della tecnica precedente: l'operatore, dopo aver fatto una prima interpretazione della CTR, esegue un rilievo diretto che consente, appunto, di completare ed aggiornare quanto già presente sulla carta. Si tratta naturalmente di una procedura che richiede tempi (e quindi costi) estremamente elevati ma che consente il più alto grado di attendibilità nella definizione delle aree impermeabili. Inoltre, per mezzo del rilievo diretto, è possibile rilevare caratteristiche peculiari delle aree stesse (si pensi, ad esempio, nel caso degli edifici, all'individuazione delle coperture direttamente connesse o non connesse ad un sistema fognario). Naturalmente, un simile grado di dettaglio nella definizione anche delle proprietà delle aree impermeabili, è importante solo nel caso di analisi molto raffinate a grande scala, e tipicamente viene affrontato per territori urbanizzati di limitate estensioni;

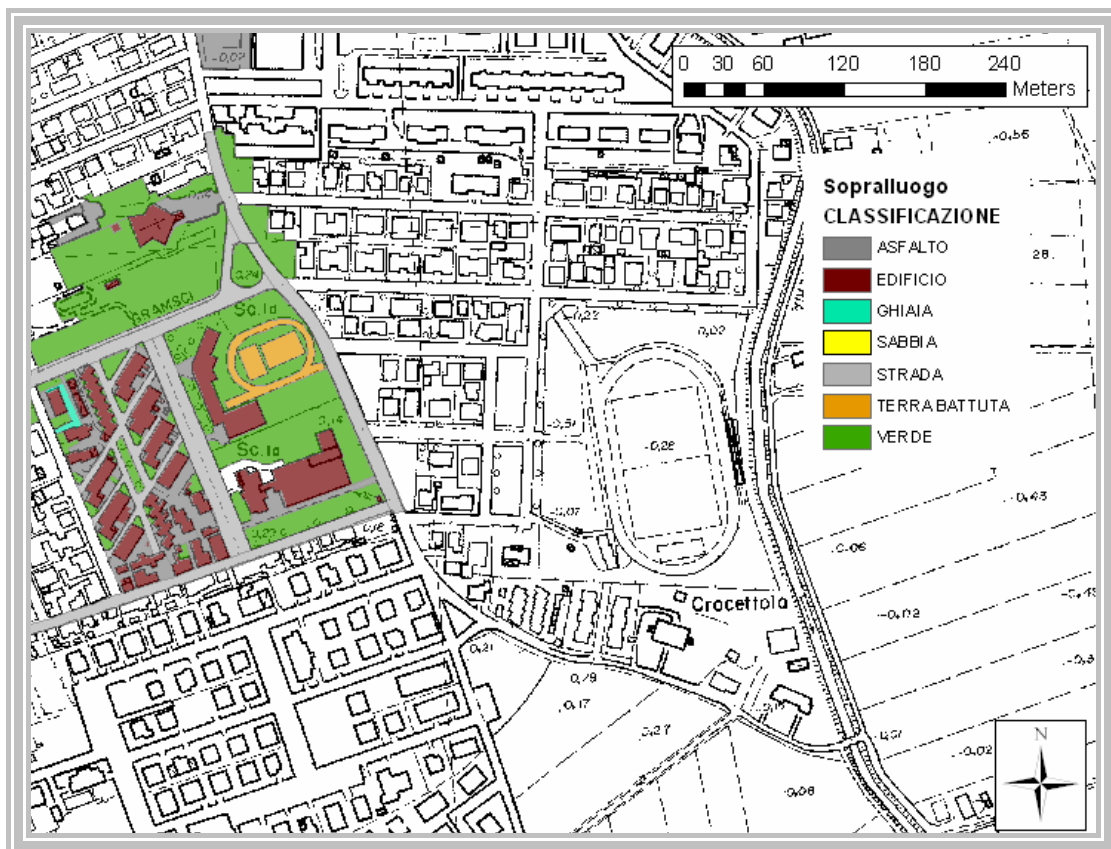


Figura 10-5. Esempio di rilievo diretto sul territorio

3. *elaborazione automatica di cartografia numerica esistente tramite operatori GIS.* In molti casi la Carta Tecnica Regionale è stata vettorializzata e strutturata secondo le logiche dei database numerici ottenendo, almeno per alcuni strati informativi, un primo nucleo di cartografia numerica. Nel caso dell'Emilia-Romagna, ed in particolare per il territorio ferrarese (la situazione è diversa per ogni provincia), tutti i Comuni si sono consorziati ed hanno realizzato, negli ultimi 5-10 anni, la vettorializzazione degli edifici (entità poligonali) e del grafo stradale (entità lineare, costituito da archi connessi), per l'intero territorio di loro competenza: si tratta di strati vettoriali che sono stati aggiornati almeno con le immagini satellitari QuickBird 2003 e talvolta sulla base anche delle richieste di concessione edilizia presentate ai Comuni. Considerando come aree impermeabili le aree di occupazione degli edifici e delle strade, ed utilizzando operatori GIS sui dati vettoriali sopradescritti, è semplice calcolare, per ogni zona di interesse, la somma delle aree di occupazione di edifici e strade (per queste ultime, partendo dal grafo stradale, si possono utilizzare operatori di buffer che consentono automaticamente di trasformare gli archi del grafo in poligoni, attribuendo ad ognuno di essi una larghezza che può essere ricavata dai parametri descrittivi delle strade stesse oppure può essere dedotta dalla CTR o ancora da immagini satellitari). Si tratta di una procedura, sostanzialmente automatica, basata su dati sufficientemente aggiornati, e che può essere applicata velocemente anche a territori molto vasti. Per contro, è limitata ovviamente ai soli strati vettoriali strade ed edifici, mancano completamente informazioni sulle aree verdi ma, soprattutto, mancano informazioni su eventuali aree impermeabili non comprese negli strati precedenti come, ad esempio: parcheggi, cortili asfaltati, ecc.; richiederebbe quindi un'integrazione con altre tecniche (rilievo diretto, CTR, ortofoto satellitari) per inserire gli strati mancanti;

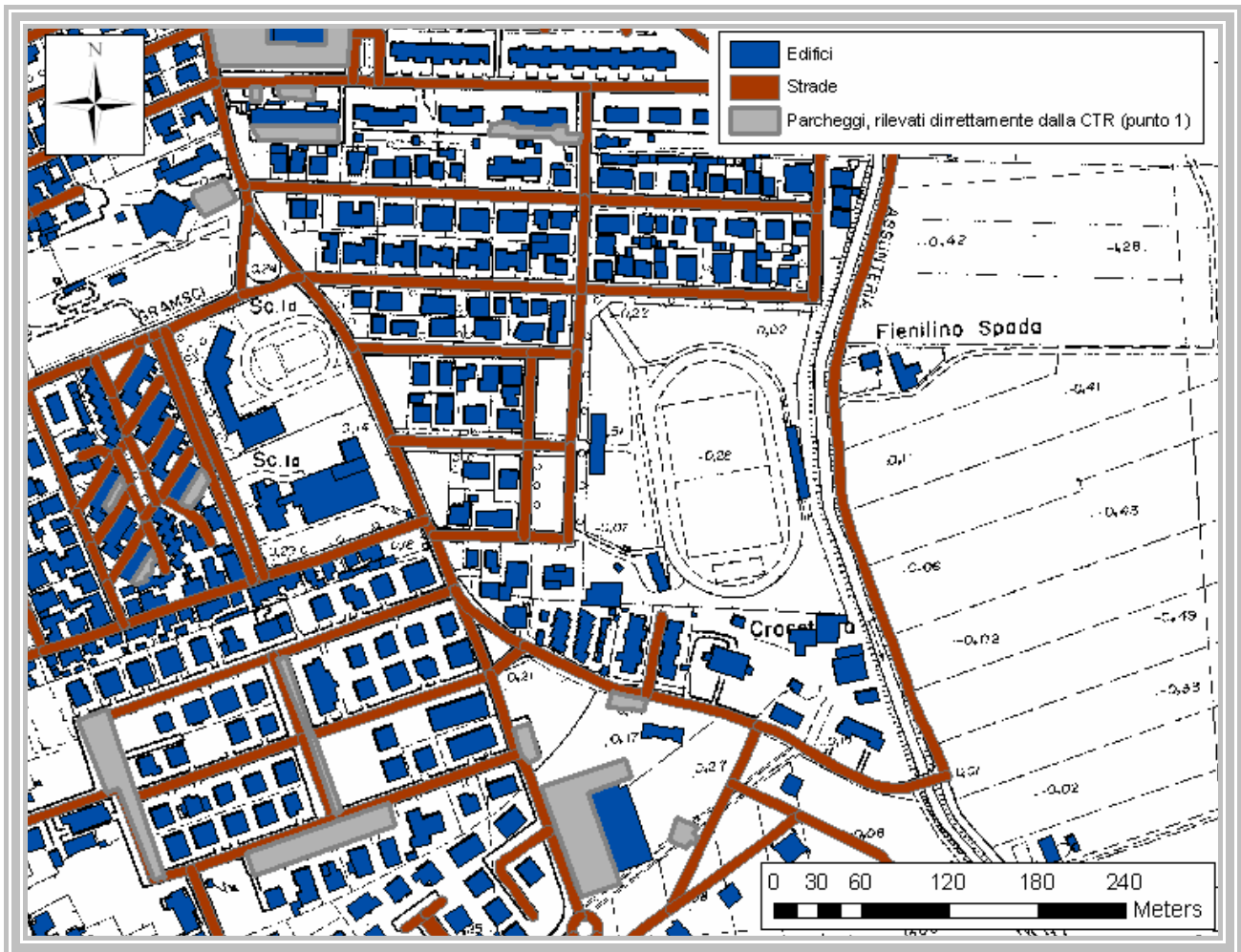


Figura 10-6. Esempio di vettorializzazione degli edifici e del grafo stradale ed aggiunta della vettorializzazione manuale delle aree ritenute impermeabili.

4. elaborazione automatica basata su immagini satellitari multispettrali ad alta risoluzione. Negli ultimi 6-7 anni è possibile acquisire, anche con un semplice ordine in Internet, scene satellitari multispettrali ad alta risoluzione del territorio di interesse. Per satelliti ad alta risoluzione si intendono piattaforme dotate di sensori a bordo in grado di acquisire un'immagine del territorio con una dimensione del pixel a terra (risoluzione geometrica) di pochi metri. Per satelliti multispettrali si intendono piattaforme dotate di sensori (almeno quattro) che hanno una sensibilità limitata in bande ristrette dello spettro elettromagnetico (sensibilità spettrale del sensore). I satelliti commerciali utilizzabili in tal senso sono sostanzialmente: i satelliti Ikonos ed OrbView-3 della GeoEye ed il satellite QuickBird della

Digital Globe. In particolare, quest'ultimo presenta attualmente le maggiori risoluzioni: risoluzione geometrica di 0.60 m in pancromatico e di 2.40 m in multispettrale, 11 bit (2048 possibili livelli) di risoluzione radiometrica, 4 bande per il sensore multispettrale (Blu 450-520 nm, Verde 520-600 nm, Rosso 630-690 nm, Infrarosso Vicino NIR 760-900 nm); risoluzione temporale da 1 a 5 giorni (tempo di rivisitazione). La disponibilità di sensori multispettrali ad alta risoluzione è di notevole interesse ai fini dell'individuazione delle aree permeabili ed impermeabili: sfruttando infatti la riflettività dei pixel al suolo nelle diverse regioni dello spettro elettromagnetico è possibile applicare algoritmi di classificazione relativa che consentono l'individuazione automatica delle diverse coperture del suolo (classi). Uno degli algoritmi più utilizzati è sicuramente quello di "massima verosimiglianza con modello gaussiano" (gaussian maximum likelihood) che rientra nella classe degli algoritmi supervisionati (l'operatore definisce manualmente sull'immagine pochi pixel per ognuna delle classi che l'algoritmo dovrà individuare automaticamente). L'applicazione di tale algoritmo si basa sull'ipotesi che ogni classe presente nell'immagine sia caratterizzata, nello spazio multispettrale n-dimensionale (con "n" il numero delle bande), da una funzione di distribuzione di tipo normale o gaussiano. Ogni pixel immagine viene assegnato alla classe per cui la probabilità a posteriori risulta maggiore. Questi algoritmi, applicati alle immagini QuickBird ad alta risoluzione, consentono la facile individuazione delle aree coperte da vegetazione (per le quali la riflettività nell'infrarosso vicino presenta un sensibile picco). Normalmente vengono classificate sempre con un buon grado di attendibilità (attorno al 90%) le coperture relative a strade, acque, edifici. Si possono presentare invece imprecisioni anche importanti nella classificazione di alcuni terreni nudi (senza alcuna coltura vegetativa) e nella separazione delle aree coperte da sabbia/ghiaia rispetto a quelle coperte da cemento. In sintesi, si tratta di una procedura quasi completamente automatica, molto rapida e facilmente aggiornabile (basta acquisire una nuova immagine), molto efficace per individuare tutte le aree coperte da vegetazione (anche i cortili interni degli edifici) ed in generale per le aree urbanizzate. Presenta invece alcuni problemi per le aree agricole con terreno nudo (un modo per eliminare tale inconveniente potrebbe essere quello di utilizzare più immagini satellitari acquisite in diverse stagioni dell'anno anche con diversi satelliti, ma siamo in un ambito di ricerca applicata) (Figura 10-7). In ogni caso, la tecnica basata su queste scene satellitari sarà

sicuramente da approfondire soprattutto considerando che nel prossimo futuro saranno messi in orbita nuovi satelliti anche con caratteristiche superiori a quelli attualmente disponibili;

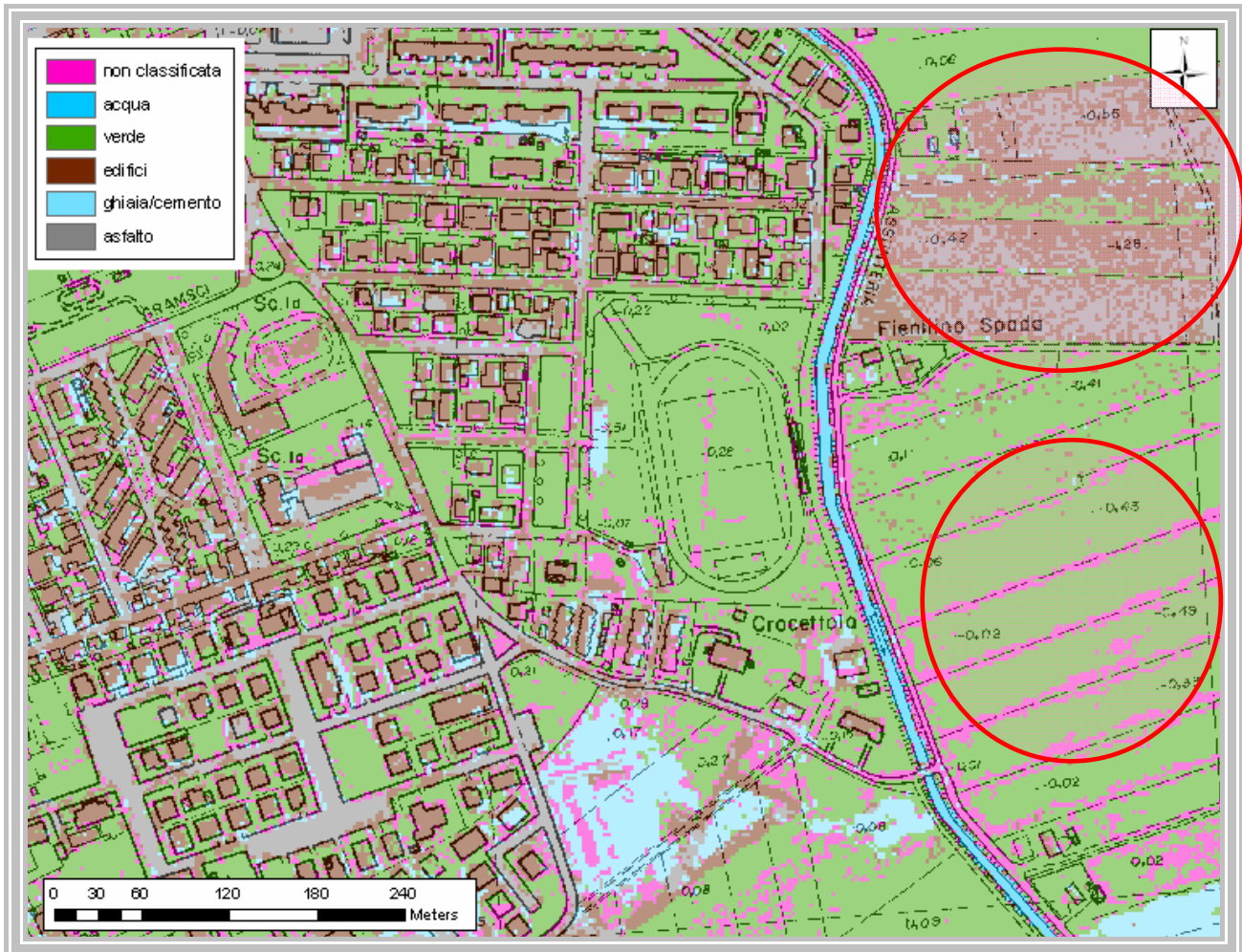


Figura 10-7. Esempio di sovrapposizione tra un' immagine satellitare multispettrale ed uno stralcio di CTR 1:5000. Sono ben evidenti le aree coperte da vegetazione e le aree urbanizzate, mentre le aree agricole con terreno nudo (cerchi in figura), presentano dei problemi: in alto, nel primo cerchio, al posto del campo si classifica la zona come EDIFICI e nel cerchio sottostante si evidenziano molte parti NON CLASSIFICATE.

- tecniche miste. Sulla base di quanto sopradescripto, appare evidente che la scelta della tecnica da utilizzare per l'individuazione delle aree impermeabili può dipendere da numerosi fattori, quali: dati a disposizione (cartografie numeriche, immagini satellitari, ecc), estensione dell'area da analizzare, grado di dettaglio (dimensione della più piccola area impermeabile da considerare), tipologia dell'area (urbana o extraurbana o mista), tempi e costi di elaborazione.

E' altresì evidente che spesso la soluzione “migliore” potrebbe essere un “mix” delle tecniche precedenti (come in parte detto nel punto 2). Per esempio, si può pensare di sfruttare le cartografie numeriche esistenti per il calcolo delle aree impermeabili dovute ad edifici e corpi stradali (punto 3) e la classificazione automatica delle immagini satellitari multispettrali ad alta risoluzione per l'individuazione delle aree verdi. Questo è solo uno degli esempi possibili.

Per contro, la frazione *IMP* dopo la nuova urbanizzazione può essere effettuata valutando esattamente le superficie coperte (impermeabili) previste nel progetto.

10.4.2 Stima del coefficiente di afflusso

Una delle prime formule di stima del coefficiente d'afflusso risale al 1975 ed è stata proposta dal NERC (National Environment Research Council, istituzione del Regno Unito). Essa esprime la dipendenza del coefficiente da alcuni indici particolari:

- indice di umidità del suolo (funzione della precipitazione antecedente di cinque giorni e del deficit di umidità del suolo);
- indice caratteristico della natura del suolo (ottenuto tenendo conto dell'appartenenza delle diverse parti del bacino a cinque classi di suolo);
- indice della frazione urbanizzata dell'area del bacino

e dall'altezza totale di precipitazione.

Successivamente, Jatou propose la seguente formula :

$$\varphi = 0.2 \cdot P + 101Q_0 - 3.81 \quad [10.31]$$

dove *P* è l'altezza totale di precipitazione (mm) e *Q*₀ la portata (m³/s).

Tale equazione è stata ricavata per il bacino rurale di Parimbot (3,8 Km²) ed il coefficiente d'afflusso è espresso in percentuale.

Nel 1989, Ciaponi e Papiri ricavarono :

$$\varphi = 0.25 \cdot (IMP)^{0.68} \cdot P^{0.34} \quad [10.32]$$

con:

P = altezza totale precipitazione (mm)

IMP = rapporto tra la somma delle aree impermeabili direttamente connesse alla rete di drenaggio e l'area totale del bacino.

Per esprimere la dipendenza del coefficiente d'afflusso dall'altezza totale di precipitazione P , Fantoli propose :

$$\varphi = k \cdot P^{1/3} \quad [10.33]$$

dove k è una costante che dipende dalle caratteristiche del bacino preso in esame.

In realtà sono tabulati dei valori di coefficiente d'afflusso φ_1 per la durata di 1 ora, che si riferiscono a comprensori composti da superfici di natura anche diversa, ma comunque paragonabili dal punto di vista urbanistico. Questi vengono supposti costanti assumendo, in maniera del tutto arbitraria, una corrispondenza biunivoca tra l'altezza di precipitazione e la durata.

Pertanto:

$$\varphi_1 = k \cdot (P_1)^{1/3} \quad [10.34]$$

P_1 = altezza di precipitazione corrispondente alla durata di 1 ora (mm).

Di conseguenza:

$$\varphi = \varphi_1 \cdot \left(\frac{P}{P_1} \right)^{1/3} \quad [10.35]$$

Più recentemente è stata proposta in Italia una formula che non tiene conto della durata della precipitazione (Gruppo Deflussi Urbani – AAVV 1997):

$$\varphi = \varphi_{IMP} \cdot IMP + \varphi_{PERM} \cdot (1 - IMP) \quad [10.36]$$

dove nuovamente IMP rappresenta la frazione impermeabile del bacino e φ_{IMP} e φ_{PERM} i coefficienti di afflusso delle aree impermeabili e delle aree permeabili. Mentre per quanto riguarda IMP vale quanto discusso nel paragrafo 0, secondo AA.VV., 1997 è possibile porre in relazione i coefficienti di afflusso φ_{IMP} e φ_{PERM} in funzione del tempo di ritorno della precipitazione considerata in seno al progetto di urbanizzazione, secondo la seguente tabella:

<i>Tempo di ritorno in anni</i>	φ_{PERM}	φ_{IMP}
< 2	0,00 – 0,15	0,60 – 0,75
2 – 10	0,10 – 0,25	0,65 – 0,80
> 10	0,15 – 0,30	0,70 – 0,90

Tabella 1. Valori dei coefficienti di afflusso delle aree impermeabili e permeabili a variare del tempo di ritorno della precipitazione di progetto.

In termini più rigorosi, se potrebbe fare una stima del coefficiente di afflusso tenendo conto delle caratteristiche dell'evento e delle condizioni di umidità dei suoli, utilizzando quindi il metodo del Curve Number dell'SCS.

Questa tecnica è stata utilizzata nel presente lavoro nella “Caratterizzazione del suolo ai fini idrologici” (Capitolo 8). Come già citato, è necessario identificare il tipo di suolo presente nell'area soggetta ad urbanizzazione (sabbioso, limoso, argilloso ecc.) e quindi definire il *gruppo* di appartenenza (*A, B, C, D*) previsto dalle tabelle *CN*. Solitamente, data la ridotta estensione che può avere il lotto soggetto ad urbanizzazione, ci si può aspettare che il tipo di suolo sia unico e quindi sia unico il *gruppo* di appartenenza. Successivamente si identificano all'interno dell'area in esame le *classi* di uso del suolo (ovviamente questa operazione deve essere fatta con riferimento alla situazione *ante operam* e alla situazione *post operam*). Così facendo si possono identificare n_a *classi* di uso del suolo *ante operam* e n_p *classi* di uso del suolo *post operam*.

Ad ogni classe viene attribuito un valore *CN* sulla base della casistica prevista dallo stesso metodo (si veda paragrafo 8.3.3).

Una volta assegnato il *CN* ad ogni classe, è possibile stimare la corrispondente perdita iniziale I_a :

$$I_a = 0,2S \quad [10.37]$$

dove:

$$S = 25,4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad [10.38]$$

mentre il valore medio di I_a sull'intera area può essere stimato in base alla seguente relazione:

$$\bar{I}_a = \frac{\sum_{i=1}^n I_{a,i} A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad [10.39]$$

dove A_i rappresenta l'area caratterizzata dall' i -esima classe di uso del suolo e dove $n \equiv n_a$, ovvero $n \equiv n_p$ a seconda che si faccia riferimento alla situazione *ante operam* o *post operam*.

Per quanto riguarda il coefficiente di afflusso medio relativo all'intera area considerata, esso può essere stimato mediante la seguente media pesata:

$$\bar{\varphi} = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i (P - I_{a,i}) A_i}{(P - \bar{I}_a) \sum_{i=1}^n A_i} \quad [10.40]$$

dove, in base al metodo *CN*, risulta:

$$\varphi_i = \frac{P_{n,i}}{P - I_{a,i}} \quad (a)$$

$$P_{n,i} = \frac{(P - I_{a,i})^2}{(P - I_{a,i}) + S_i} \quad (b) \quad [10.41]$$

$$S_i = 25,4 \left(\frac{1000}{CN_i} - 10 \right) \quad (c)$$

con CN_i rappresentativo dell' i -esima classe di uso del suolo preventivamente identificata. Si osservi che per il calcolo del coefficiente di afflusso occorre definire una altezza di pioggia P che a sua volta dipende dalla durata e dal tempo di ritorno T prescelti. Al variare della durata e del tempo di ritorno, varierà anche il coefficiente di afflusso.

APPENDICE A

MANUALE DEL PROGETTO IN ArcMAP

A.1 Il “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd”

Il “Progetto_Alto_Ferrarese” è stato realizzato utilizzando il programma ArcGis 9.0 ed in particolare uno dei suoi tre moduli fondamentali¹: ArcMap.

Quest’ultima è l’applicazione che permette all’utente di creare, interrogare mappe, realizzare alcune semplici operazioni di analisi spaziale ed inoltre si possono modificare i dati geografici disponibili o creare nuove coperture.

Il progetto fornito in allegato si trova nella cartella “PROGETTO” che contiene:

- la cartella “ALTIMETRIA”,
- la cartella “CARTOGRAFIA”,
- la cartella “SHAPE_file”,
- il progetto “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd”.

Nelle tre cartelle suddette sono contenuti tutti i file originali richiamati e rielaborati nel progetto, in particolare in “ALTIMETRIA” sono riportati i file del modello digitale del terreno (TIN e DEM), in “CARTOGRAFIA” gli elementi della CTR 1:5000 (.tif) e la CTR 1:250000 (.tif) e nella cartella “SHAPE_file” tutti i file in formato vettoriale (shape).

Si precisa che per aprire il progetto .mxd è necessario disporre del programma ArcGis versione 9.0 e copiare la cartella “PROGETTO” nel disco fisso C (Figura A. 1).

¹ I tre moduli fondamentali di ArcGIS, parzialmente integrati in un’ unica interfaccia sono:

ArcCatalog, per la gestione e la previsualizzazione dei dati;

ArcMap, per la visualizzazione dei dati, la produzione di mappe, l’editing;

ArcToolbox, per la conversione di formati di dati e alcune forme semplici di analisi spaziale.

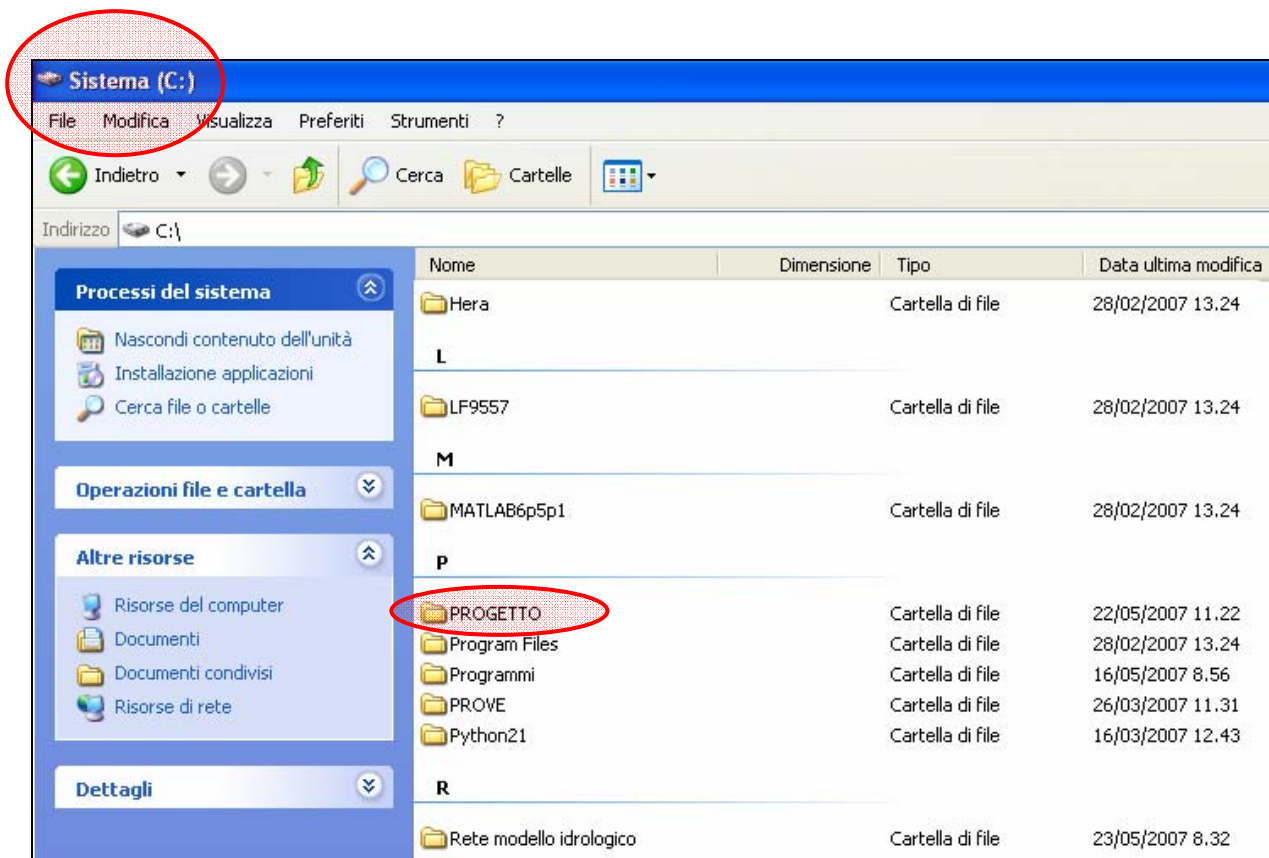


Figura A. 1

A.2 Come aprire il “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd”

Esistono due modi per aprire il progetto:

- due click con il tasto sinistro del mouse sul “Progetto_Alto_Ferrarese.mxd” (Figura A. 2)

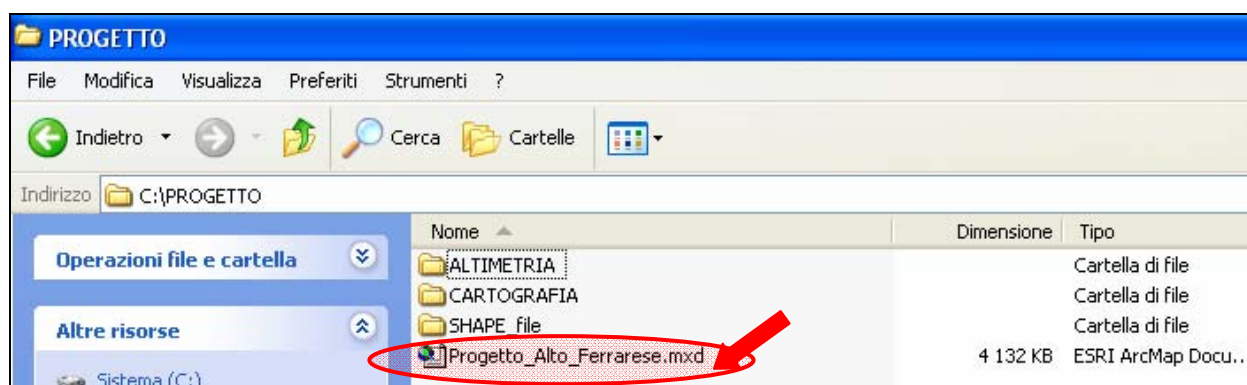


Figura A. 2

- aprire il programma ArcMap; selezionare, dalla finestra di dialogo che appare automaticamente, “An existing map” e cliccando ok si cerca il progetto in C (Figura A. 3 e Figura A. 4).

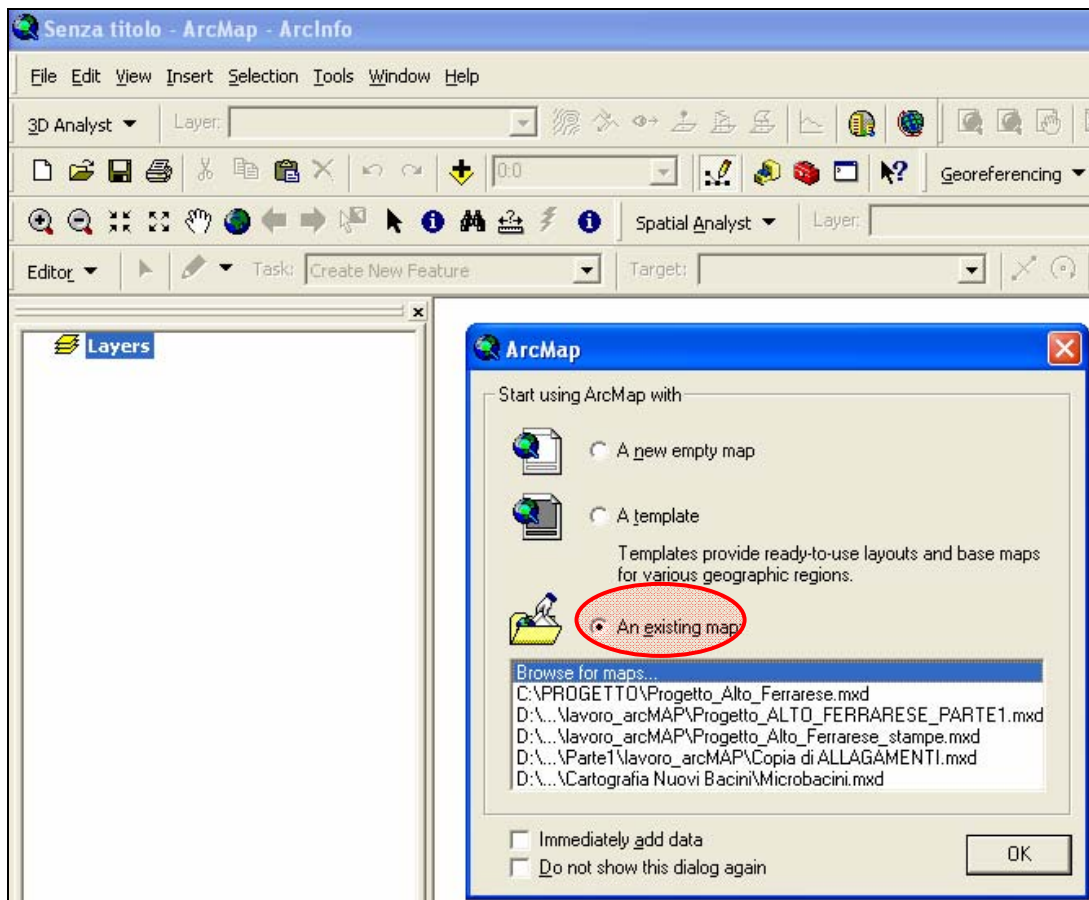


Figura A. 3

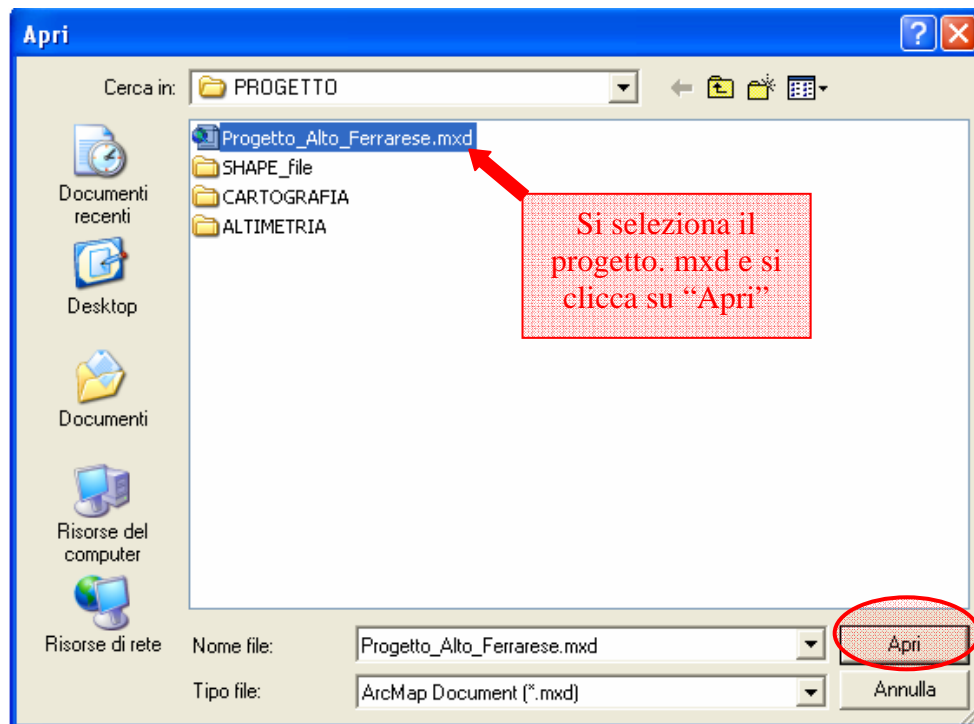


Figura A. 4

A.3 L'interfaccia di ArcMap ed alcuni comandi utili

All'apertura del progetto compare l'interfaccia di ArcMap (Figura A. 5) costituita da due sezioni:

- **Table of contents (TOC)**, in cui sono leggibili i sei temi realizzati (group layer)
- **View**, in cui si visualizzeranno le mappe

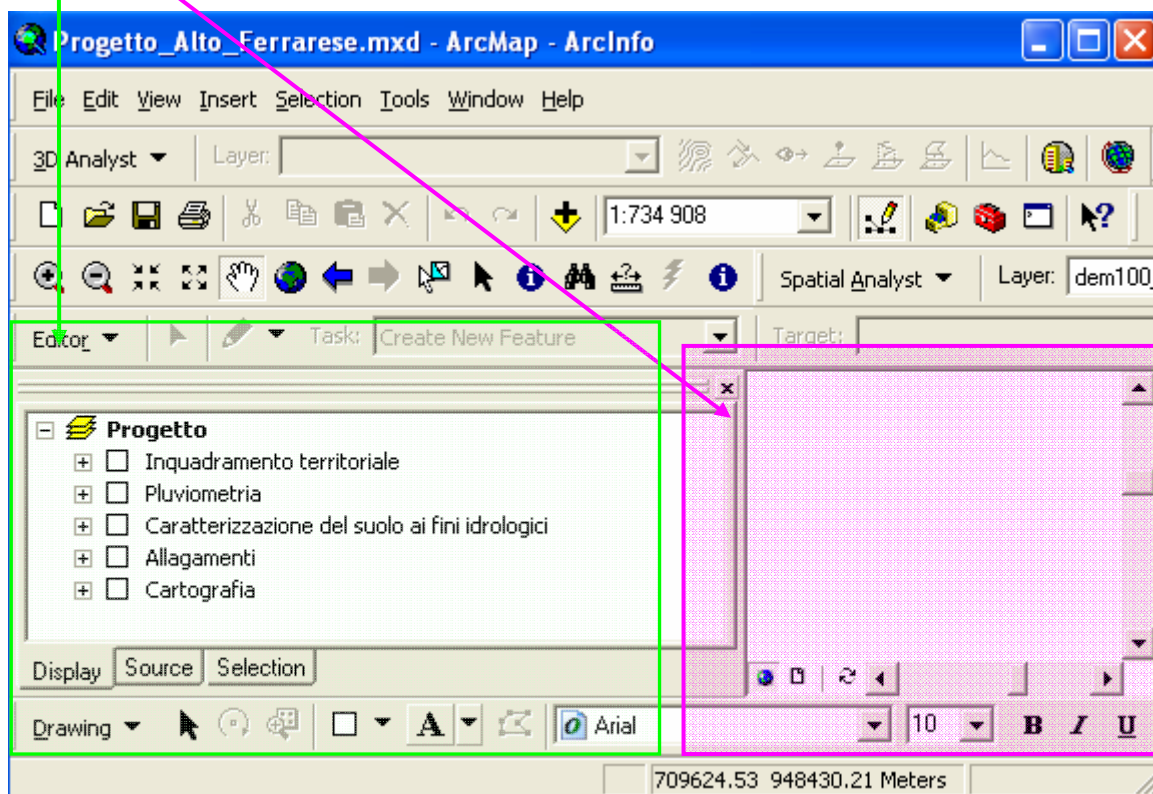


Figura A. 5

In alto sono collocate le diverse barre degli strumenti (**Toolbars**) (Figura A. 6), che possono essere richiamate singolarmente dal comando View/Toolbars (Figura A. 7), mentre in basso è collocata la barra di stato (**Status Bar**) (Figura A. 8), anch'essa ritrovabile al comando View (View/Status Bar).

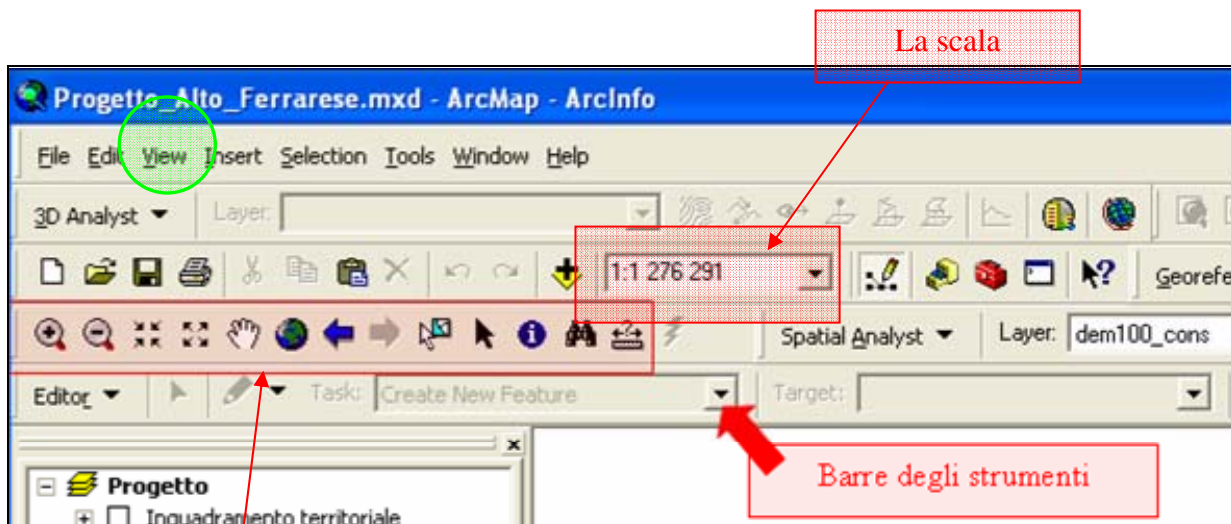


Figura A. 6

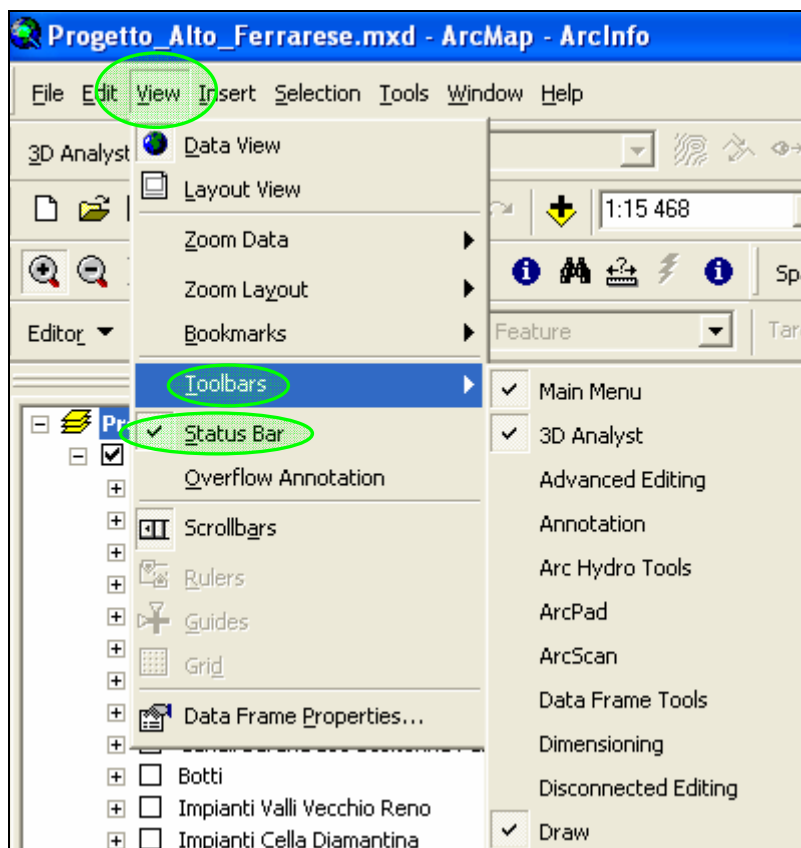


Figura A. 7

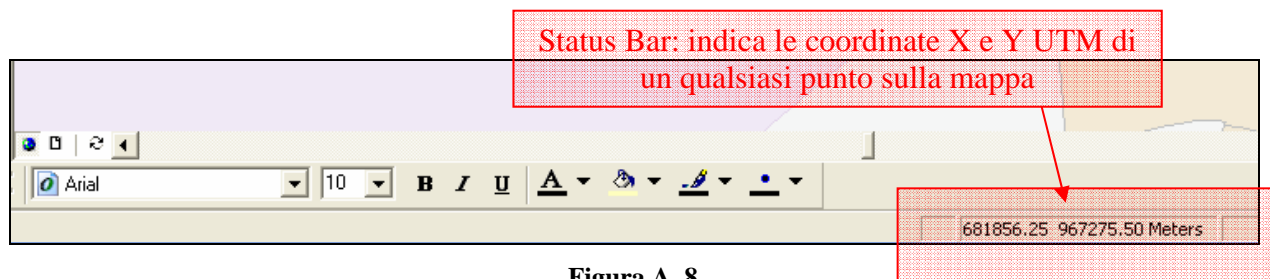


Figura A. 8

Come evidenziato in Figura A. 6 i comandi principali per muoversi correttamente nel View e trarre informazioni utili sono:

- i comandi **Zoom** in/Out, Pan, Full Extents, Go Back to Previous Extent, go to next



- il comando **Identify** , che permette di visualizzare nella finestra di dialogo Identify Results le informazioni tabellari associate all'oggetto sul quale si fa click (Figura A. 9).

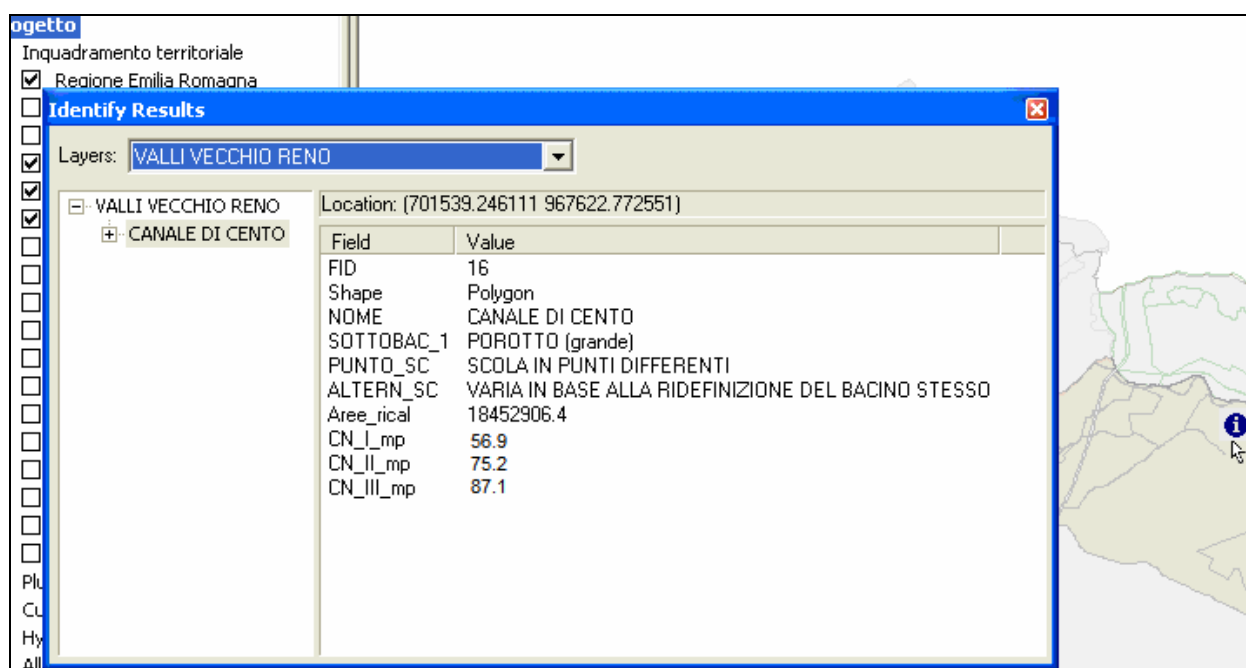


Figura A. 9

- La **scala di visualizzazione** , che cambia automaticamente in base allo zoom effettuato ed è anche possibile digitare al suo interno la scala desiderata.

A.4 I tematismi/layers

I layers rappresentano i dati spaziali contenuti in una mappa che, in questo caso, sono stati organizzati in sei gruppi principali contenuti nel Data Frame “Progetto” (Figura A. 10).

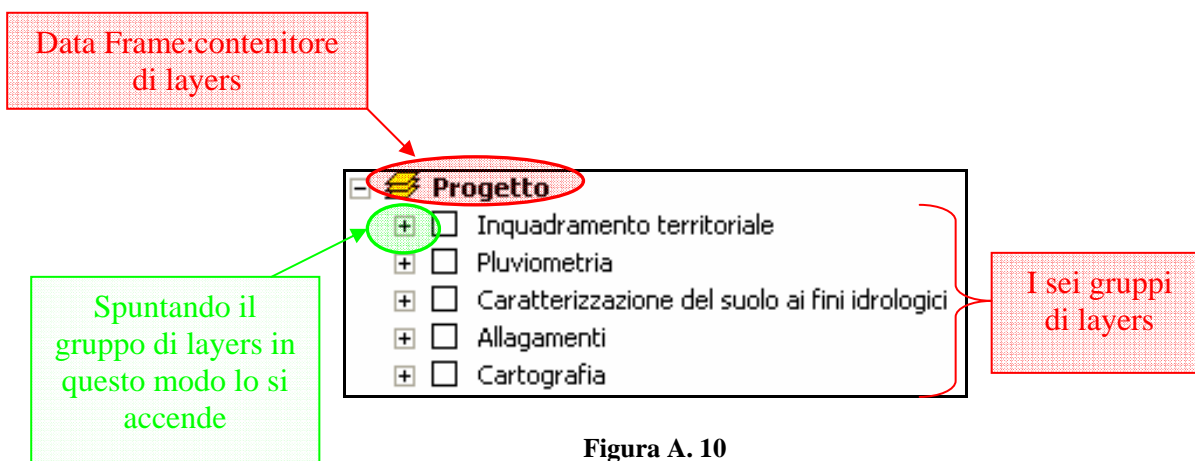


Figura A. 10

Ogni gruppo si accende spuntando il quadrato accanto al nome e con un click sul segno + (o -) si mostrano (o nascondono) i layers inseriti nel gruppo (Figura A. 11). Inoltre, si precisa che un gruppo di layers si comporta come un singolo layer nella TOC: spegnendo un gruppo si spengono tutti i layers appartenenti a quel gruppo.

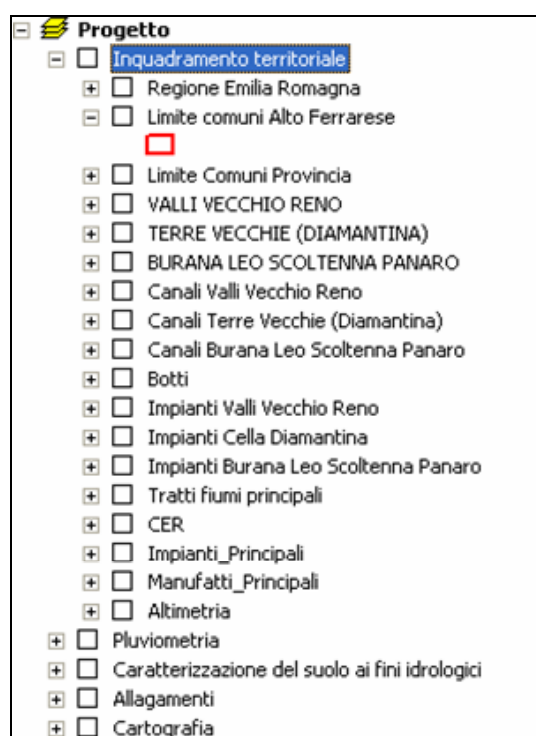


Figura A. 11

Una volta acceso il layers, la legenda ad esso corrispondente è fruibile sempre nel TOC con un click sul segno + (o -) (Figura A. 12).

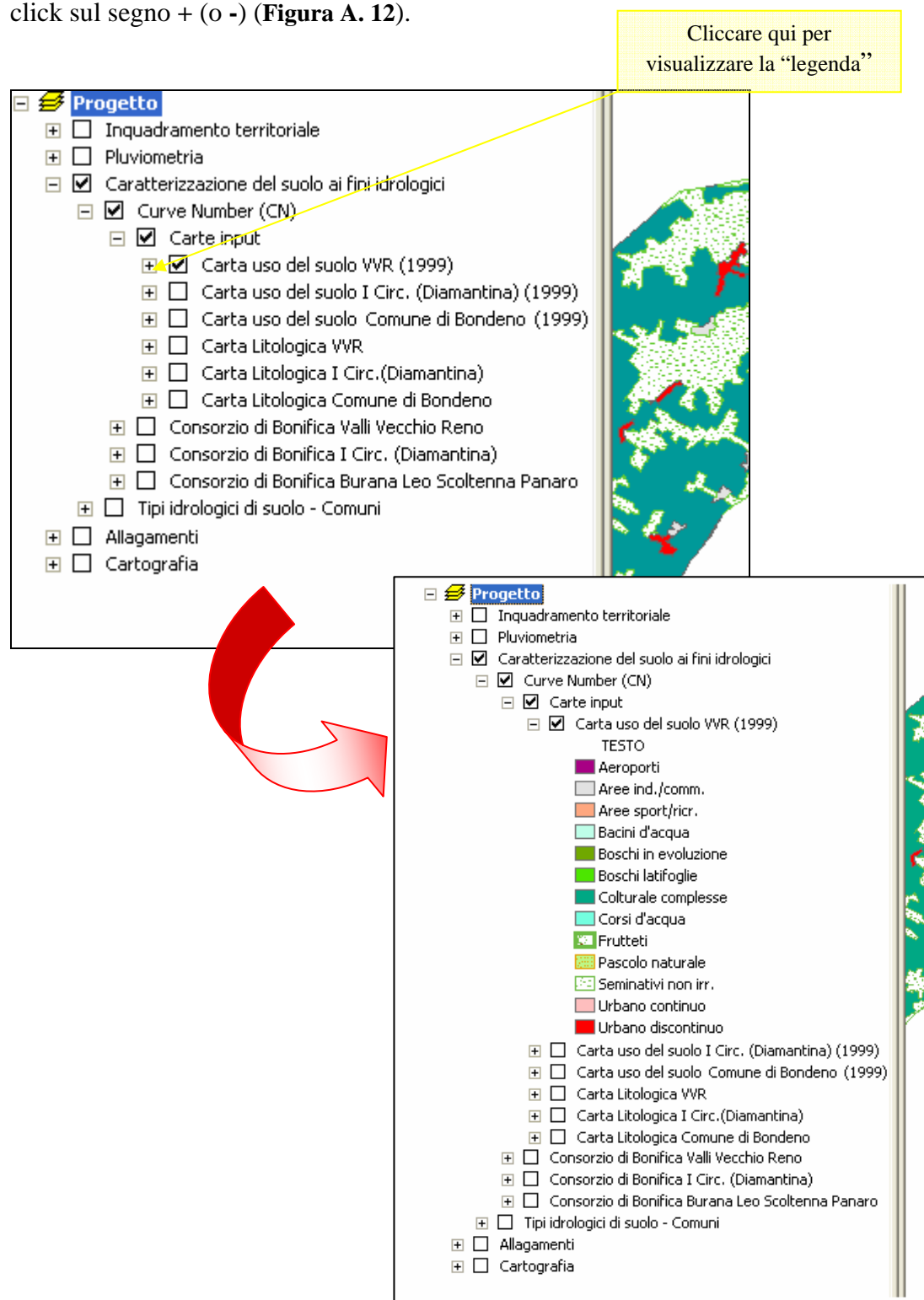


Figura A. 12

A.5 Esplorare in ArcMap i dati associati all' informazione spaziale

In ArcMap è possibile visualizzare in una finestra separata dalla mappa la **tabella degli attributi** associati all'informazione geografica: con un click destro sul nome del layer appare una tendina da cui si seleziona **Open Attribute Table** (Figura A. 13).

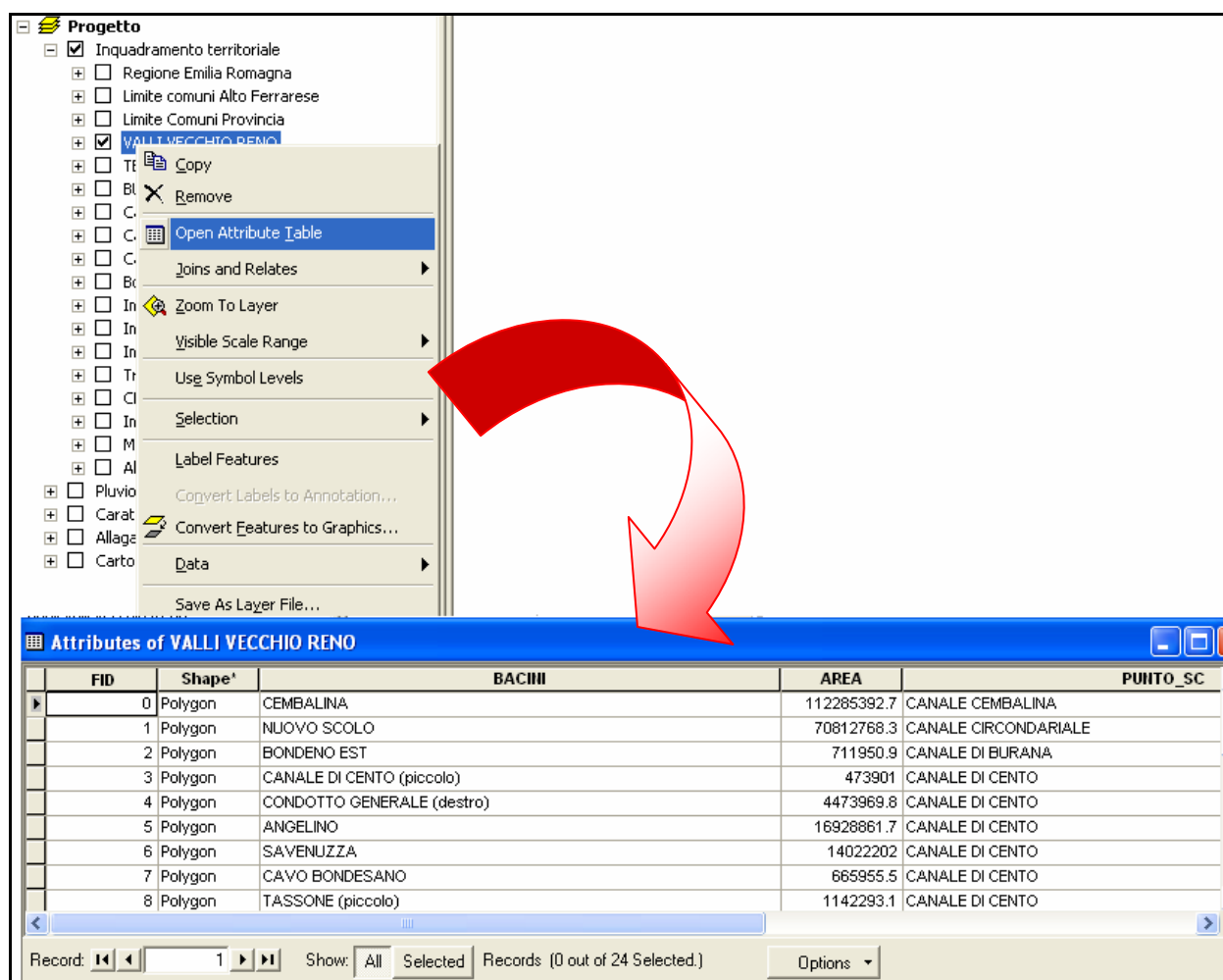


Figura A. 13

Il contenuto delle tabelle degli attributi di ogni tematismi/layers sono descritte nei sottocapitoli della relazione “Gli elaborati grafici in ArcMap”.

A.6 Le proprietà dei layers

Un doppio click sul nome del layer oppure con un click destro e poi su **Properties** (Figura A. 14) appare la tabella delle proprietà., con cui è possibile cambiare per esempio la simbologia (Symbology) con cui sono visualizzati gli shape file o anche i nomi ad essi associati (Label Field).

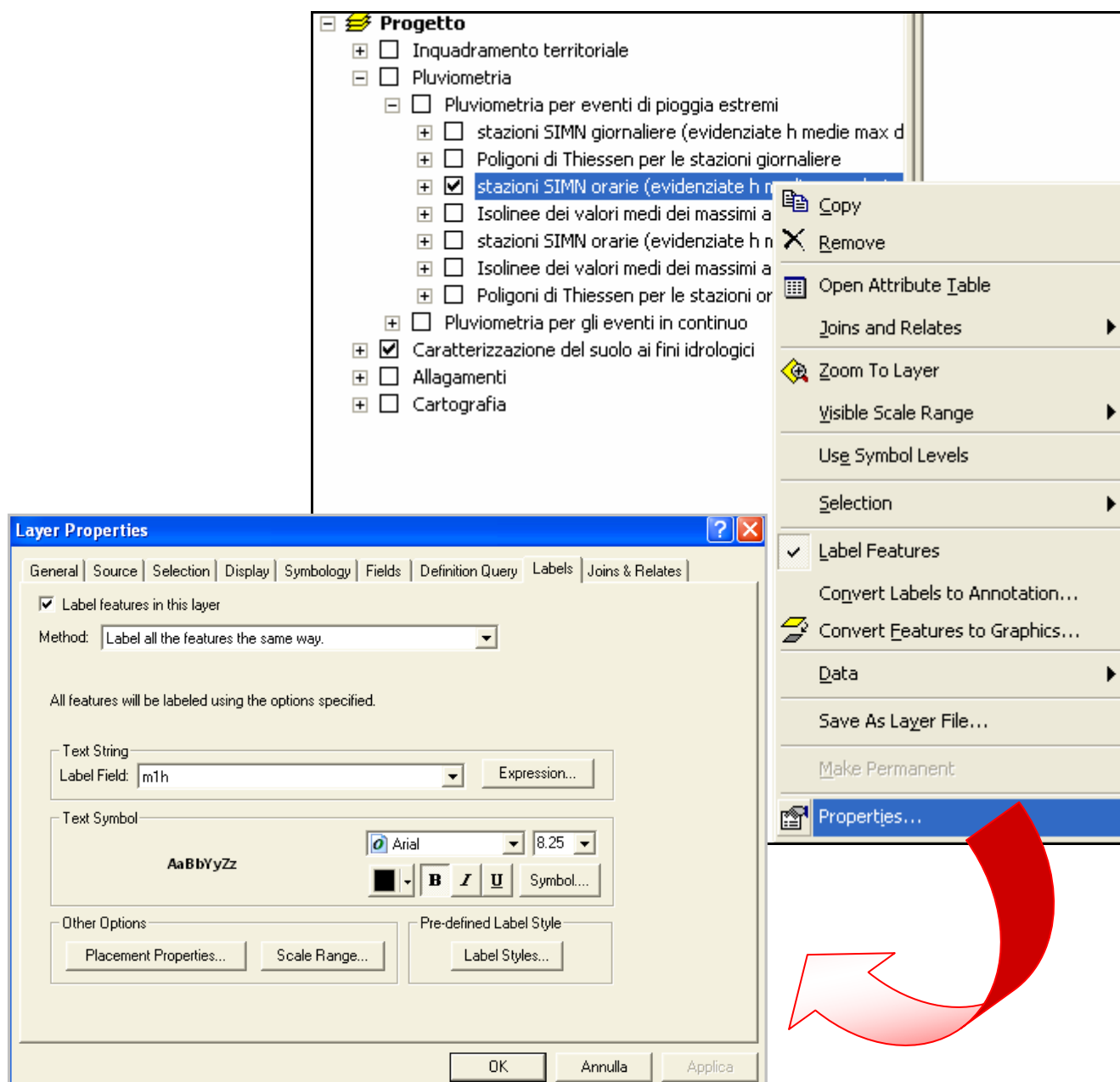


Figura A. 14

In effetti cliccando su “Espressione” è possibile selezionare la voce che si vuole visualizzare come “Labels”; per esempio, se si accende il tematismo “stazioni SIMN orarie (evidenziate h medie max d=1ora)” compaiono nel View le stazioni pluviometriche orarie contraddistinte dal valore delle altezze di pioggia medie dei massime annuali di 1 ora (Figura A. 15).

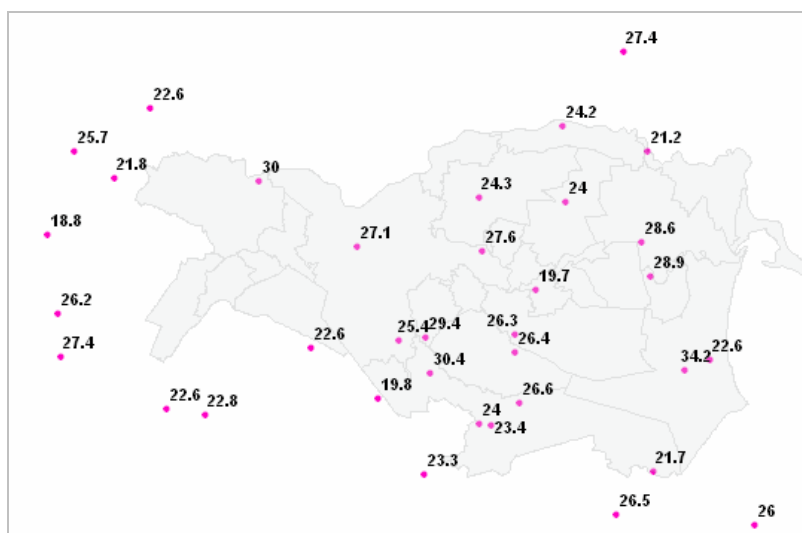


Figura A. 15

Se si vuole caratterizzarle con il loro nome, è necessario utilizzare il comando “Espressione” e poi selezionare il labels di interesse, in tal caso STAZIONE_S, e Append (Figura A. 16). E’ importante precisare che i labels elencati sono strettamente legati alle colonne della **tabella degli attributi**.

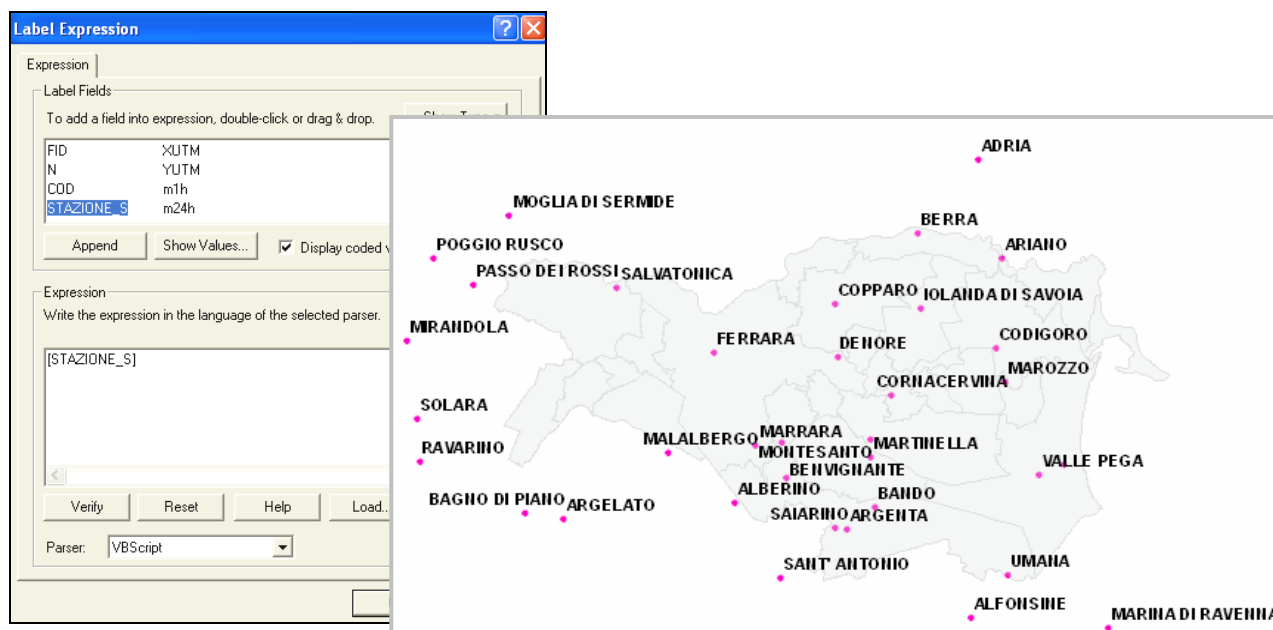


Figura A. 16

A.7 Richiamare i grafici realizzati nel progetto

Utilizzando le tabelle degli attributi dei layers, appartenenti al gruppo “Tipi idrologici di suolo-Comuni”, sono stati realizzati dei grafici riassuntivi dell’estensioni delle classi idrologiche di suolo A, B, C e D per ogni singolo comune.

Per visualizzarli è necessario selezionare Tools→Graphs ed il grafico di interesse (Figura A. 17).

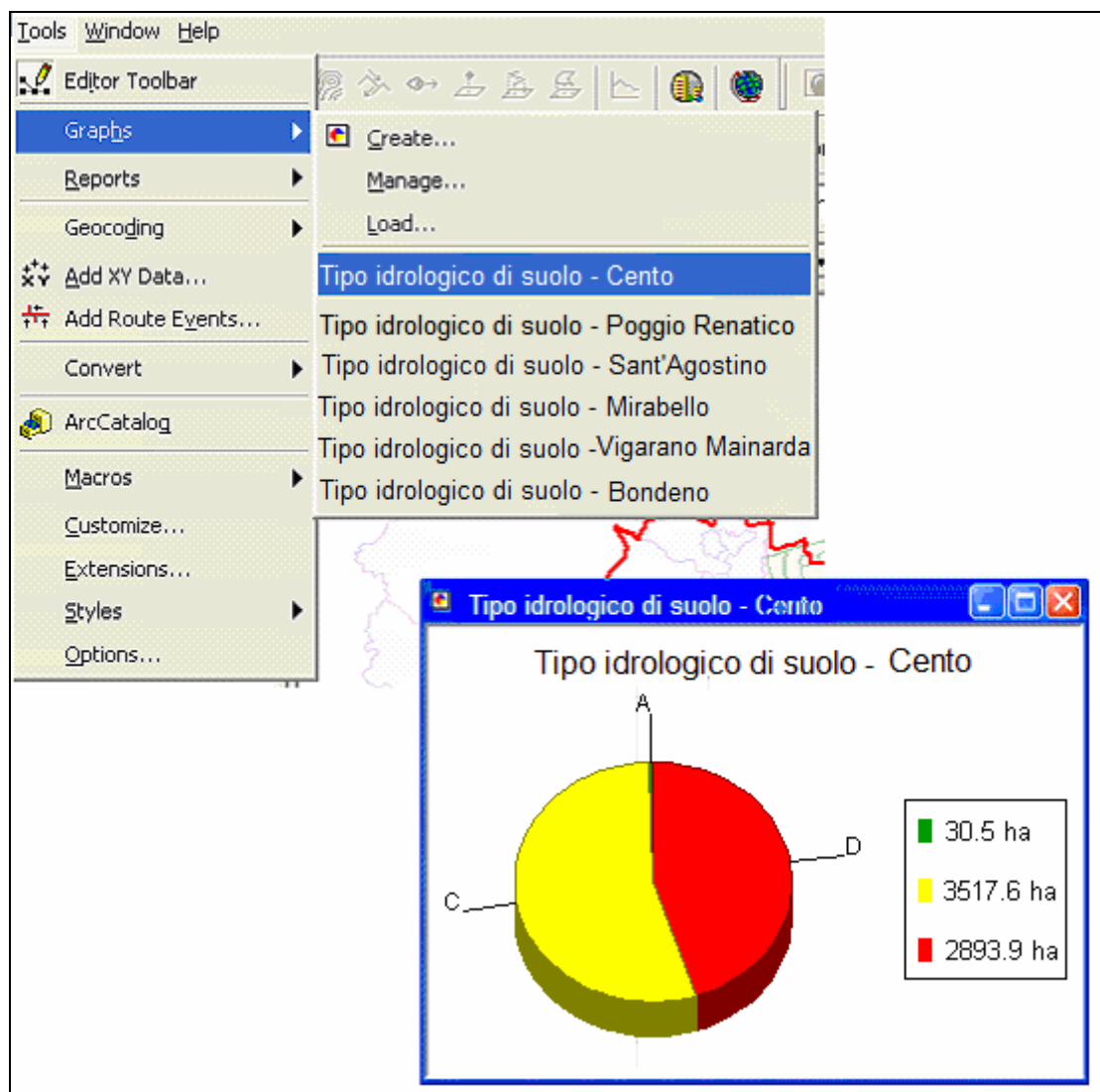


Figura A. 17

APPENDICE B

IL RISCHIO IDRAULICO

B.1 Definizione del rischio idraulico

Il *rischio* (**R**) è definito come l'entità del danno atteso in una data area ed in un certo intervallo di tempo in seguito al verificarsi di un particolare evento calamitoso, quale per esempio una inondazione.

In effetti, per inondazione s'intende il fenomeno d'invasione ed espansione delle acque su vaste aree prodotto da una rottura o un sormonto dell'argine naturale o artificiale, connesso ad un evento di piena di un corso d'acqua. Invece con il termine più generale di "alluvione" indichiamo tutti i danni prodotti da un evento di piena di un corso d'acqua, sia quelli legati all'inondazione di territori sia quelli più propriamente connessi con l'instabilità delle sue sponde, l'erosione accelerata alla testata del bacino e l'instabilità dei versanti.

Ufficialmente consolidata è la definizione del rischio idraulico così come venne proposta da Varnes (1984) ed accettata anche dal Dipartimento di Protezione Civile (1995). Secondo tale definizione le aree potenzialmente interessate da fenomeni di inondazione, che potrebbero arrecare danno alle persone ed ai beni, costituiscono le aree vulnerabili per inondazione (Scesi et al., 1995)

Ogni singola manifestazione del fenomeno temuto costituisce un evento. In un'area vulnerabile possono essere identificati gli elementi a rischio, cioè le persone ed i beni che possono subire danni quando si verifica un evento.

Entrando nel dettaglio, per un dato elemento a rischio l'entità dei danni attesi è correlata:

- alla *pericolosità* (**P**), ovvero la probabilità di occorrenza dell'evento calamitoso entro un certo intervallo di tempo ed in una zona tale da influenzare l'elemento a rischio;
- alla *vulnerabilità* (**V**), ovvero il grado di perdita prodotto su un certo elemento o gruppo di elementi esposti a rischio risultante dal verificarsi dell'evento calamitoso temuto;
- al *valore esposto* (**E**), ovvero il valore (che può essere espresso in termini monetari o di numero o di quantità di unità esposte) della popolazione, delle proprietà e delle attività economiche, inclusi i servizi pubblici, a rischio in una data area;
- al *danno* (**D**), ovvero il grado previsto di perdita, di persone e/o beni, a seguito di un particolare evento calamitoso, funzione sia del valore esposto che della vulnerabilità.

Di conseguenza è lecito definire *R* nel seguente modo:

$$R = P \cdot E \cdot V$$

ovvero:

$$R = P \cdot D$$

dove:

$$D = E \cdot V .$$

Dalle relazioni riportate discende che il rischio da associare ad un determinato evento calamitoso dipende dalla intensità e dalla probabilità di accadimento dell'evento, dal valore esposto degli elementi che con l'evento interagiscono e dalla loro vulnerabilità (Laura Scesi, Monica Papini, Paola Gattinoni, *Geologia Applicata, Applicazione ai progetti di ingegneria civile*, Casa Editrice Ambrosiana, 1995).

B.2 Un esempio di valutazione del rischio idraulico

La valutazione del rischio comporta non poche difficoltà per la complessità e l'articolazione da svolgere ai fini di una adeguata quantificazione dei fattori che lo definiscono e pertanto, in numerosi lavori sulla determinazione del rischio idraulico, vengono effettuate delle semplificazioni. Per esempio, nella redazione del PSAI (Piano Stralcio Assetto Idrogeologico) da parte dell'Autorità di Bacino del Reno il *danno atteso* è stato qualitativamente articolato in tre categorie in funzione anche della tipologia del danno:

- *danno moderato*, dove sono assenti o non apprezzabili i danni all'incolumità delle persone e dove i danni economici o ambientali non sono gravi;
- *danno medio*, dove sono moderati i danni all'incolumità delle persone e i danni economici o ambientali non sono gravi;
- *danno grave*, quando sono gravi i danni all'incolumità delle persone o a quelli economici e ambientali.

In funzione di queste categorie del danno e della probabilità che esso si verifichi, il rischio idraulico è stato articolato nel lavoro suddetto, sulla base di criteri prevalentemente qualitativi, in cinque categorie:

- rischio *irrilevante* a livello di bacino (**RO**) che rappresenta la situazione da raggiungere mediante gli interventi strutturali previsti;
- rischio *moderato* (**RI**), dove il danno atteso non comprende mai gravi danni all'incolumità delle persone, economici e ambientali;

- rischio *medio* (**R2**), dove il danno atteso grave è previsto solo in riferimento ad aree a moderata probabilità d'inondazione;
- rischio *elevato* (**R3**), dove il danno atteso comprende anche danni gravi, riferiti solo ad aree inondabili per eventi con tempi di ritorno di 50 anni;
- rischio molto *elevato* (**R4**), dove il danno atteso è sempre grave e solo in riferimento ad aree inondabili per eventi con tempi di ritorno inferiori od uguali a 30 anni.

In sintesi, l'insieme delle attività svolte nel PSAI per la valutazione del rischio idraulico si riassume in tre punti:

- individuazione delle aree passibili di inondazione per eventi con tempi di ritorno di 25-50 anni e 100-200 anni;
- individuazione degli elementi esposti a rischio e stima del danno atteso considerando anche i possibili effetti di esondazioni laterali quando i volumi esondati non rientrano in alveo;
- valutazione del rischio idraulico con particolare riferimento a quelle situazioni di possibile rischio elevato e molto elevato.

Per quanto riguarda la valutazione del valore degli *elementi esposti a rischio*, nel PSAI, sono stati presi in considerazione solo quelli rispetto ai quali possono verificarsi danni particolarmente gravi in termini di incolumità delle persone, ambientali ed economici.

Pertanto, sono stati considerati i centri urbani, i nuclei abitati e gli insediamenti industriali contenuti nelle aree ad alta probabilità di esondazione.

Alla luce di queste considerazioni e dagli studi idraulici citati nel paragrafo 6.2.3, la zona compresa tra la sez.P18 (presso la botte sotto il Reno del CER) e la sez. 98b (in località Gallo) è considerata a *rischio molto elevato* (**R4**) ed evidenziata tramite le Tavole 6-6 e 6-7.

APPENDICE C

**LA DISTRIBUZIONE GEV (GENERALIZED EXTREME VALUES) E
STIMA DEI PARAMETRI**

C.1 La distribuzione GEV

La funzione di probabilità cumulata della distribuzione GEV ha la seguente espressione:

$$F(x) = \exp\left\{-\left[1 - \frac{k \cdot (x - u)}{\alpha}\right]^{1/k}\right\} \quad [\text{C.1}]$$

dove:

- x variabile casuale;
- u parametro di posizione;
- α parametro di scala;
- k parametro di forma.

Per $k=0$ la formula [C.1] si riduce alla funzione di probabilità di Gumbel (EV1).

Per $k < 0$ la formula [C.1] è limitata inferiormente (EV2), mentre per $k > 0$ è limitata superiormente (EV3). In entrambi i casi il limite inferiore ed il limite superiore vale, rispettivamente, $u + \frac{\alpha}{k}$.

Se si indica con m il valore atteso della variabile casuale x , ovvero $m = E[x]$, la curva di crescita della variabile ridotta $x' = x/m$ è formalmente identica alla [C.1], con parametri $u' = u/m$, $\alpha' = \alpha/m$ e $k' = k$.

C.2 Stima dei parametri u' , α' e k'

La stima dei tre parametri u' , α' e k' della distribuzione GEV è stata eseguita mediante la tecnica basata sugli *L-moments* raccomandata da Hosking (1990).

Gli *L-moments* sono una combinazione lineare dei *Probability Weighed Moments (PWM)*.

Per definizione, i PWM di una certa variabile aleatoria x si esprimono come segue:

$$M_{p,r,s} = E\left[x^p \cdot \{F_x(x)\}^r \cdot \{1 - F_x(x)\}^s\right] = \int_{\Omega_x} x^p \cdot F_x(x)^r \cdot [1 - F_x(x)]^s \cdot f_x(x) dx \quad [\text{C.2}]$$

ed in particolare:

$$M_{1,0,0} = \int_{\Omega_x} x \cdot f_x(x) dx = m_x \quad [\text{C.3}]$$

$$M_{1,r,0} = b_r = \int_{\Omega_x} x \cdot F_x(x)^r \cdot f_x(x) dx \quad [C.4]$$

dove:

- x variabile casuale;
- p ordine del momento rispetto alla variabile;
- r ordine rispetto alla probabilità di non superamento;
- s ordine rispetto alla probabilità di superamento.

Per la stima, i momenti pesati in probabilità possono essere fatti coincidere con i corrispondenti momenti campionari:

$$b_0 = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n x_j \quad [C.5]$$

$$b_r = \frac{1}{n} \sum_{j=r+1}^n \frac{(j-1) \cdot (j-2) \cdot \dots \cdot (j-r)}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot \dots \cdot (n-r)} \cdot x_j \quad [C.6]$$

dove:

- n dimensione del campione.

Pertanto, la stima degli L-moments, tenendo conto che sono definiti come combinazione lineare dei PWM, può essere fatta nel seguente modo:

$$l_1 = b_0 \quad [C.7]$$

$$l_2 = 2 \cdot b_1 - b_0 \quad [C.8]$$

$$l_3 = 6 \cdot b_2 - 6 \cdot b_1 + b_0 \quad [C.9]$$

$$t_3 = l_3 / l_2 \quad [C.10]$$

Infine, i parametri della distribuzione GEV, possono essere espressi in funzione degli L-moments in base alle seguenti equazioni:

$$c = \frac{2}{3+t_3} - \frac{\ln 2}{\ln 3} \quad [\text{C.11}]$$

$$\widehat{k} = 7.8590 \cdot c + 2.9554 \cdot c^2 \quad [\text{C.12}]$$

$$\widehat{\alpha} = \frac{l_2 \cdot \widehat{k}}{(1 - 2^{-\widehat{k}}) \cdot \Gamma(1 + \widehat{k})} \quad [\text{C.13}]$$

$$\widehat{u} = l_1 - \frac{\widehat{\alpha}}{\widehat{k}} [1 - \Gamma(1 + \widehat{k})] \quad [\text{C.14}]$$

C.3 Rappresentazione della distribuzione GEV sul piano di Gumbel

Dopo aver calcolato i tre parametri \widehat{u} , $\widehat{\alpha}$ e \widehat{k} , è possibile rappresentare nel piano di Gumbel (ordinata: valore della variabile x , ascissa: variabile ridotta di Gumbel y) la distribuzione GEV tramite le equazioni:

$$x = \alpha \cdot y + u \quad [\text{C.15}]$$

$$y = -\ln[-\ln(F(x))] = -\ln\left[-\ln\left(1 - \frac{1}{T}\right)\right] \quad [\text{C.16}]$$

essendo y la variabile ridotta.

Bibliografia

AA.VV, Note illustrative della Carta Geomorfologica della Pianura Padana (a cura di G.B. Castiglioni e G.B. Pellegrini). Supplem. di Geografia Fisica e Dinamica quaternaria, vol. IV, Torino, 2001.

AA.VV. (a cura di), Sistemi di Fognatura, Manuale di progettazione, Centro Studi Deflussi Urbani, HOEPLI, 1997.

ALESSANDRO GARGINI, MARCO BONDESAN, Nuovo piano urbanistico di Ferrara, supporto tecnico geologico-idrogeologico alla procedura di valutazione e sostenibilità ambientale per il nuovo piano regolatore del comune di Ferrara zona via Bologna – direttrice per Cona, Ottobre 2003.

AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI FERRARA, “Terre ed acqua. Le bonifiche ferraresi nel delta del Po”, Gabriele Corbo Editore, 1990.

ANTONIO SALTINI, “Dove l’uomo separò la terra dalle acque. storia delle bonifiche nell’Emilia Romagna”, Edizioni Diabasis , 2005.

ARMANDO BRATH, MARCO FRANCHINI, “La valutazione delle piogge intense su base regionale”, Editoriale Bios, 1999.

ATTI DEL CONVEGNO DI STUDI ROVIGO, 27-28 OTTOBRE 1991, “Il fiume e la sua terra. Tutela e gestione del territorio a quarant’anni dall’alluvione del Polesine 1951-1991”, Istituto Veneto di Scienze Lettere ed Arti, 1994.

BARILLARI A., BONDESAN M. & GATTI M., Studio della subsidenza nel territorio del Comune di Ferrara. Ingegneri ferraresi, anno V, n. 9, 2003.

BRUNO MENEGATI, con i contributi di PIERO DEGRADI [et al.], “Ricerche geografiche sulle pianure orientali dell’Emilia Romagna”, Pàtron Editore Bologna, 1979.

CONSORZI DI BONIFICA RENANA, “I settant’anni del Consorzio della Bonifica Renana”, Arnaldo Forni Editore, 1980.

CONSORZIO DELLA BONIFICA BURANA LEO SCOLTENNA PANARO MODENA, “Una sentinella per il territorio”, Modena 2001.

DAVID R. MAIDMENT, “ Handbook of Hydrology”, Editor in Chief, McGRAW-HILL, 1993.

DOTT. ING. RICCARDO ROVERSI, “Elementi di sintesi relativi all’evento meteorico dei giorni 6,7,8 ottobre 2005-prime valutazioni e proposte”, febbraio 2006.

GIUSEPPE MACIGA, “Cenni idrografici e storici sull’antico Delta Padano”, Premiata Tipografia Sociale-Eredi G. Zuffi, 1925.

LAURA SCESI, MONICA PAPINI, PAOLA GATTINONI, “Geologia Applicata, Applicazione ai progetti di ingegneria civile”, Casa Editrice Ambrosiana, 1995.

MARCO FRANCHINI, GIORGIO GALEATI, “La regionalizzazione delle piogge intense mediante il modello TCEV. Un’applicazione alla regione Romagna Marche”.

MOISELLO U., “Curve segnalatrici di possibilità climatica e calcolo delle massime portate di piena”, Istituto di Idraulica, Univ. Di Pavia, 1976.

MOISELLO U., Idrologia Tecnica, La Goliardica Pavese, 1999.

PAPPINI U., Il calcolo dei canali di bonifica, Monitore tecnico, 1923.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, “Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5000. Formazione della C.T.R. . Capitolato Speciale d’Appalto. Norme per il disegno e segni convenzionali”, 1976.

REGIONE EMILIA-ROMAGNA, “Repertorio cartografico”, 1989.

SUPINO G., Le reti idrauliche, Patron Editore, 1965.

UGO MAIONE e ARMANDO BRATH, La sistemazione dei corsi d'acqua naturali, Editoriale Bios.

UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI FERRARA – DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA, Simulazione del comportamento idraulico del sistema fluviale Po di Volano-Canale Navigabile e studio di possibili regole di gestione delle paratoie dislocate in corrispondenza degli sbarramenti/traverse. Rapporto Tecnico, Ferrara, Aprile 2001.

VEN TE CHOW, DAVID R. MAIDMENT, LARRY W.MAYS, “Applied Hydrology”, McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS – Civil Engineering Series, 1988.

VITO FERRO, La sistemazione dei bacini idrografici, Casa Editrice McGraw-Hill.

WILLIAM J. PALM III, “ Matlab 7 per l'ingegneria e le scienze”, McGraw-Hill, 2005.

“Elaborazioni Statistiche. La distribuzione GEV”, documento pubblicato sul sito web: www.consorzioirrigazioni.it/cic/documenti/pdf/Horeschitesi.pdf.

“GNDCI Linea 1: Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia”, documento pubblicato sul sito web: caronte.gndci.cs.cnr.it/GNDCI/rapportiPdf/BzVe.pdf.

“Valori estremi della precipitazione e loro ragguaglio areale nel bacino del fiume Reno”, documento pubblicato sul sito web: www3.unifi.it/masmetapp/upload/sub.

CONSORZIO DI BONIFICA BURANA LEO SCOLTENNA PANARO, documentazione generale pubblicata sul relativo sito web: www.consorzioburana.it.

CONSORZIO DI BONIFICA I CIRCONDARIO POLESINE DI FERRARA, documentazione generale pubblicata sul relativo sito web: www.1bonife.it.

CONSORZIO DI BONIFICA VALLI VECCHIO RENO, documentazione generale pubblicata sul relativo sito web: www.cbvvr.it.

CONTROLLO DELLA SUBSIDENZA, informazioni pubblicate sui siti web: <http://rete-subsidenza-er.arpa.emr.it/retesub/subsidenza/index.htm> e http://www.arpa.emr.it/ingamb/rr_subsidenza.htm.