

AGRIOGLIO

Definizione delle disponibilità e dei fabbisogni idrici nel comprensorio del Fiume Oglio



Quaderni della Ricerca
n. 131 - giugno 2011

Studio condotto nell'ambito del progetto di ricerca n.1006 "Definizione delle disponibilità e dei fabbisogni irrigui nel comprensorio del Fiume Oglio" finanziato con d.g.r. 29/03/2006 n. 2216 della Regione Lombardia (Piano della Ricerca 2006).

Testi a cura di:

Luigi Mariani
Michele Rienzner
Massimo Buizza

Hanno realizzato le attività sperimentali:

dott. agr. Luigi Mariani
Dottore di Ricerca in Agroclimatologia
Presidente Associazione Italiana Agrometeorologia

dott. ing. Michele Rienzner
Dottore di Ricerca in Innovazione Tecnologica
per le Scienze Agroalimentari e Ambientali

Consorzio dell' Oglio
via Solferino20/c - Brescia
tel. 03046057 – fax 0303754008
Referente: ing. Massimo Buizza
e-mail: massimo.buizza@oglioconsorzio.it

Referente Scientifico: prof. Claudio Gandolfi
Ordinario di Idraulica Agraria - Milano

Per Informazioni:

Regione Lombardia - Direzione Generale Agricoltura
U.O. Interventi per la competitività e l'innovazione tecnologica delle aziende -
Struttura Ricerca, innovazione tecnologica e servizi alle imprese
Piazza Città di Lombardia n.1 - 20124 Milano
Tel: +39.02.6765.3790 fax +39.02.6765.8056
e-mail: agri_ricerca@regione.lombardia.it
Referente: Marco Castelnuevo tel. +39.02.6765.6562
e-mail: marco_castelnuevo@regione.lombardia.it

AGRIOGLIO

Definizione di disponibilità e fabbisogni idrici nel comprensorio del Fiume Oglio

*Quaderni della Ricerca
n. 131 – giugno 2011*

INDICE

1.	PREMESSA	5
2.	DESCRIZIONE DEL COMPENSORIO IRRIGUO DEL FIUME OGLIO	9
	2.1. Il territorio e le Utenze irrigue	9
	2.2. Caratteristiche irrigue del compensorio.	11
	2.3. Formazione domanda irrigua.	12
	2.4. Regole di gestione della distribuzione d'acqua.	13
3.	DATI DISPONIBILI E DATI RICHIESTI DAL PROGETTO	15
	3.1. Superfici del compensorio.....	15
	3.2. Basi informative	15
	3.3. Codifica della rete irrigua	17
	3.4. Portate derivate e stima delle perdite	22
	3.5. Influenza della falda freatica.	23
4.	ANALISI DEI DATI DELLE STAZIONI METEOROLOGICHE	25
	4.1. Inquadramento climatico	25
	4.2. Le fonti di dati	27
	4.3. L'assimilazione dei dati e i controlli di qualità	28
	4.4. La ricostruzione dei dati mancanti o errati.....	31
	4.5. Analisi degli errori.....	32
	4.6. La generazione dei dati per il software	38
	4.7. Algoritmi per la ricostruzione della radiazione solare e della umidità relativa	38
	4.8. Considerazioni sulle serie storiche termopluvio metriche 1951-2007 ..	41
	4.9. Considerazioni sul regime e sulla distribuzione spaziale delle variabili ..	44
5.	VALUTAZIONE DEI FABBISOGNI IRRIGUI.....	47

5.1. Glossario	48
5.2. Preparazione e formattazione degli input per Idragra	48
5.3. Serie meteorologiche.....	50
5.4. Dominio di calcolo.....	50
5.5. Mappe raster dei pesi meteo	51
5.6. Parametri colturali	53
5.7. Pendenze.....	54
5.8. Parametri Idraulici (Carta Pedologica)	54
5.9. Carte delle Efficienze	54
5.10. Gruppo Idrologico e Drenaggio	55
5.11. Gli usi del suolo simulati	55
5.12. Separazione e spazializzazione delle classi "mais" e "foraggiere"	58
6. FABBISOGNI IDRICI COLTURALI STIMATI NELLE SIMULAZIONI.....	61
6.1. Andamento dei fabbisogni nel tempo	62
6.2. Fattori di correzione stagionale delle stime dei fabbisogni colturali	75
7. BILANCIO IDROLOGICO	81
7.1. Carte pluviometriche	82
7.2. Differenze nel regime pluviometrico	85
7.3. Efficienza irrigua	90
7.4. Calcolo dei valori di θ_{FC} e θ_{WP}	90
7.5. Attribuzione delle efficienze irrigue a scorrimento	92
7.6. Carte dei fabbisogni irrigui locali	93
8. FABBISOGNI AGGREGATI PER CANALE.....	99
8.1. I due casi della Roggia Vetra e della Roggia Sale.	99
8.2. Definizione delle efficienze e dei fabbisogni irrigui locali	102
9. CONFRONTO FABBISOGNI IDRICI / DISPONIBILITA' IDRICA SUPERFICIALE	109

9.1. ZONA NORD.....	111
9.2. ZONA SUD	115
9.3. Tassi di copertura del fabbisogno idrico per sottocomprensorio	121
9.4. Copertura del fabbisogno idrico estremo	126
9.5. Carte dimostrative dei tassi di copertura del fabbisogno idrico	134
10. VALUTAZIONE DEI RISULTATI FINALI.....	139
10.1. Applicazione di IDRAGRA e della procedura di stima dei fabbisogni ...	139
10.2. Affinamento del metodo di definizione dell'efficienza irrigua	139
10.3. Fattori di incertezza nel calcolo delle grandezze caratteristiche	140
10.4. Definizione dei parametri "Fabbisogno idrico medio" e "Fabbisogno idrico estremo"	141
10.5. Valutazione sugli sviluppi futuri della metodologia applicata da AGRIOGLIO	142
11. BIBLIOGRAFIA.....	143

APPENDICE 1 - RASTERIZZAZIONE IN DUE PASSAGGI

PRESENTAZIONE DEGLI ASSESSORI



L'evoluzione delle tecniche di coltivazione, il possibile ripetersi di situazioni di crisi idrica, l'esigenza di contenimento dei costi di produzione e le istanze ambientali della società impongono all'agricoltura lombarda un forte impegno nell'ottimizzazione dell'uso dell'acqua per l'irrigazione.

La puntuale conoscenza delle caratteristiche strutturali delle reti di distribuzione, messa in relazione con le caratteristiche pedologiche dei suoli e con i più innovativi principi di gestione delle reti irrigue, è la base per la definizione di strategie moderne ed efficienti per la gestione dei plurimi utilizzi della risorsa acqua in Lombardia (energia, agricoltura, turismo, ambiente ecc.).

Il progetto AgriOglio, finanziato con il Piano della ricerca in campo agricolo 2006, ha individuato un metodo efficace per conoscere i fabbisogni irrigui nel comprensorio del fiume Oglio basato sull'interazione sinergica tra sapere scientifico e dati reali derivati della gestione quotidiana delle reti irrigue.

AgriOglio ha implementato il software "IDRAGRA", utilizzato per la definizione dei fabbisogni irrigui in Lombardia, con nuove funzioni in grado di analizzare un comprensorio irriguo non solo a scala regionale, ma anche a livello di singolo bacino idrico.

La messa a punto di uno strumento efficace per valutare i fabbisogni irrigui a supporto delle decisioni, consente di minimizzare la concorrenza, spesso conflittuale, tra le numerose esigenze di utilizzo della risorsa acqua (energetica, irrigua, ambientale) e di migliorare la gestione sostenibile in Lombardia di questo bene pubblico.

Alla luce dell'attuale articolazione delle competenze regionali sulla materia, che vedono lavorare in modo sinergico le Direzioni Generali Agricoltura e Territorio, il contributo scientifico offerto da questa ricerca risulta di sicura utilità, soprattutto in considerazione del percorso di riordino e riassetto del sistema irriguo che è stato avviato con la nona legislatura regionale.

Daniele Belotti

Assessore al Territorio e Urbanistica
Regione Lombardia

Giulio De Capitani

Assessore all'Agricoltura
Regione Lombardia

1. PREMESSA

L'evoluzione della produzione agricola nel corso degli ultimi decenni ha determinato alcuni cambiamenti importanti nell'uso della risorsa idrica, principalmente a causa della modifica dei parametri agronomici necessari alla soddisfazione dei fabbisogni idrici delle colture.

Il Consorzio dell'Oglio, ente Regolatore dei livelli del lago d'Iseo e delle portate del Fiume Oglio sub lacuale, che ha il compito di vigilare sull'esercizio delle concessioni di derivazione rilasciate alle proprie Utenze (16 consorzi di irrigazione, di miglioramento fondiario e di bonifica), e di controllare che la risorsa idrica sia distribuita correttamente agli utenti finali (le aziende agricole), grazie al piano privilegiato di osservazione sull'attività agricola in un comprensorio di circa 80.000, suddivisi in tre province lombarde, ha potuto monitorare i cambiamenti nell'uso e adattare ad essi la propria politica di gestione della risorsa idrica.

Questi adattamenti si sono rivelati utili per affrontare i recenti ripetuti eventi di crisi idrica che hanno colpito l'attività agricola, riuscendo a mitigare gli effetti dannosi sulla produzione finale. Inoltre hanno consentito di dimostrare che le Utenze del Consorzio sono in grado di modulare, secondo le condizioni climatiche, l'esercizio delle concessioni rilasciate nel 1934, quindi di aggiornarle alle nuove esigenze, evitando sprechi od usi indiscriminati; nel comprensorio irriguo del fiume Oglio non sono pertanto gli usi scorretti ad essere causa di crisi idriche per l'agricoltura, bensì la carenza idrica naturale viene contrastata con la flessibilità di gestione nel rispetto delle regole fissate.

L'attenzione a queste problematiche e la ricerca continua di un affinamento della flessibilità di esercizio hanno portato alla nascita del Progetto AgriOglio, il cui obiettivo è di individuare e sperimentare un metodo di valutazione dei fabbisogni irrigui in funzione dell'andamento climatico stagionale e delle caratteristiche pedologiche del comprensorio.

Il Consorzio dell'Oglio ha potuto rendere disponibili i propri dati di circa ottant'anni di regolazione delle portate irrigue e quelli raccolti sulla rete di distribuzione, sulla consistenza e sulla tipologia dei canali, sulle portate distribuite e sulla loro suddivisione nei canali secondari, sulle perdite di trasporto.

AgriOglio prevede di utilizzare questa banca dati per realizzare un'implementazione del software IDRAGRA, prodotto per un precedente studio della Regione Lombardia, in collaborazione con il prof. Claudio Gandolfi, Ordinario di Idraulica Agraria a Milano, e il suo gruppo di ricercatori. L'innovazione apportata da AgriOglio consiste nell'applicazione del software ad un comprensorio limitato rispetto all'applicazione precedente, comprensorio per il quale è possibile disporre di dati puntuali, e restituisce nella prima fase l'analisi dei fabbisogni irrigui al campo, per poi calcolare il fabbisogno alla derivazione dal fiume. Questi passaggi sono possibili utilizzando le conoscenze agronomiche e pedologiche ottenute da precedenti studi del prof. Gandolfi nella pianura lombarda, e cremonese in particolare. Per AgriOglio vengono utilizzate anche le informazioni pedologiche rese disponibili dall'ERSAF, e le carte dell'uso del suolo del SIARL della Regione Lombardia, nella logica di mettere a sistema tutte le conoscenze disponibili.

Una parte importante di AgriOglio è costituita dallo studio climatico del comprensorio realizzato dal dott. Luigi Mariani di Milano, che ha utilizzato una banca dati cinquantennale e, sulla base della sua pluridecennale esperienza in materia, ha reso disponibili per IDRAGRA i dati giornalieri delle grandezze climatiche che influenzano i fabbisogni irrigui. Di particolare interesse sono le procedure impiegate per ottenere la continuità delle serie storiche, applicando il controllo di qualità dei dati ed eseguendo un'analisi di minimizzazione degli errori compiuti nella ricostruzione dei dati mancanti. Inoltre viene eseguito una valutazione dei dati disponibili, da cui risulta che le tendenze medie di quaranta anni subiscono una variazione evidente indicando un possibile cambiamento di tendenza idrologica nell'anno 1991. Questo cambiamento ha indotto la decisione di sviluppare l'applicazione di IDRAGRA per il periodo 1991-2006, sufficientemente ampio per rappresentare adeguatamente le condizioni climatiche per cui determinare i fabbisogni.

AgriOglio procede all'applicazione delle procedure a due casi specifici di sottocomprensori irrigui, per i quali esegue un'analisi di dettaglio della rete irrigua e dei parametri idraulici per ottenere la definizione dei fabbisogni alla derivazione e dell'efficienza irrigua, attraverso la quale è possibile verificare l'esistenza di eventuali punti critici nella rete di distribuzione.

Infine, indagando i fabbisogni in condizioni sia di disponibilità "media" sia di crisi idrica "estrema", AgriOglio permette di prevedere l'ampiezza di oscillazione possibile della domanda irrigua in funzione dell'andamento climatico, e quindi di fornire un importante supporto alle decisioni sulla modulazione dell'uso durante la stagione irrigua. L'esperienza recente ha dimostrato che questo tipo di intervento di mitigazione ha un'efficacia reale nel breve termine e in tutti quei casi in cui gli interventi strutturali non hanno ancora avuto attuazione.

2. DESCRIZIONE DEL COMPENSORIO IRRIGUO DEL FIUME OGLIO

2.1. Il territorio e le Utenze irrigue

Il comprensorio del Fiume Oglio è formato dai terreni agricoli dislocati nelle province di Brescia, Bergamo e Cremona, per un totale di circa ha 85.000, alimentati da tredici canali principali, dotati di specifiche concessioni di derivazione (della categoria "riconoscimenti di antico uso") che definiscono per ognuno le portate derivabili in tre periodi distinti dell'anno:

- trimestre irriguo estivo giugno – agosto;
- mesi di maggio e settembre;
- periodo invernale ottobre – marzo.

Per ogni periodo le portate sono diverse, massime nel periodo estivo, ridotte al 75% nei mesi di maggio e settembre, parziali nel periodo invernale (acque jemali), perché calibrate sugli usi di forza motrice (un tempo diffusi lungo i canali, con mulini, magli, ecc.) e per un equilibrio idrico delle campagne.

Nella tabella 2.1 sono indicate le Utenze del Consorzio, insieme alle superfici irrigate e alle portate massime concesse: in queste sono sommate sia le portate assegnate come riconoscimento di antico uso, sia le portate di acqua nuova assegnate dal Consorzio dell'Oglio in quanto ottenute dalla regolazione del lago d'Iseo.

TAB. 2.1 - Utenze irrigue consorziate nel Consorzio dell'Oglio

<i>cod.</i>	<i>Roggia</i>	<i>SUPERFICI ha</i>	<i>PORTATE m³/s</i>
1	FUSIA - FRANCIACORTA	6.000	9,871
2	VETRA	5.008	11,526
3	CASTRINA	2.456	4,938
4	SALE	2.548	5,383
5	TRENZANA - TRAVAGLIATA	2.821	6,898
6	BAJONA	1.584	3,257
7	RUDIANA - VESCOVADA	1.564	3,890
8	CASTELLANA	2.184	4,800
9	DONNA	1.949	2,251
11	ANTEGNATA	711	2,516
12	MOLINA	1.230	1,449
10	NAVIGLIO CIVICO	57.000	10,458
13	C.I.I.C.		11,779
	totali	85.054	78,415

Alle Utenze della tab. 2.1, che sono oggetto del presente studio, si devono aggiungere due attingimenti dal fiume mediante sollevamento, gestiti dal Distretto Franciacorta e Media Pianura Bergamasca, per un totale di l/s 1.100. Queste Utenze irrigano il proprio comprensorio median-

te aspersione, e quindi presentano criteri di gestione della risorsa molto diversi, anche come periodo temporale d'uso, rispetto a tutte le altre Utenze; questa disomogeneità ha suggerito l'opportunità di non inserire queste due utenze nel progetto. L'esclusione non influenza la validità e i risultati del lavoro, in ragione delle differenze che esistono tra l'irrigazione a scorrimento e quella per aspersione: in questo secondo caso la domanda irrigua è condizionata dall'attesa di risultati produttivi ridotti, non esiste una stretta correlazione tra portate derivate ed orari irrigui, i vincoli nella gestione sono solo quelli di tipo economico.

Il comprensorio irriguo del Fiume Oglio interessa 109 comuni delle tre province, riportati in tabella 2.2:

TAB. 2.2 - Elenco dei Comuni in cui ricadono i terreni irrigati con acque del Fiume Oglio

<i>Prov.</i>	<i>ISTAT</i>	<i>Nome</i>	<i>Prov.</i>	<i>ISTAT</i>	<i>Nome</i>
BG	16010	Antegnate	CR	19023	Casteldidone
BG	16019	Barbata	CR	19025	Castelleone
BG	16044	Calcio	CR	19026	Castelverde
BG	16076	Civate Al Piano	CR	19027	Castelvisconti
BG	16083	Cortenuova	CR	19028	Cella Dati
BG	16087	Covo	CR	19030	Cicognolo
BG	16101	Fontanella	CR	19031	Cingia De' Botti
BG	16133	Martinengo	CR	19032	Corte De' Cortesi Con Cignone
BG	16157	Palosco	CR	19033	Corte De' Frati
BG	16177	Pumenengo	CR	19036	Cremona
BG	16183	Romano Di Lombardia	CR	19038	Crotta D'Adda
BG	16217	Torre Pallavicina	CR	19039	Cumignano Sul Naviglio
BS	17015	Berlingo	CR	19040	Derovere
BS	17020	Borgo S.Giacomo	CR	19042	Drizzona
BS	17026	Brandico	CR	19043	Fiesco
BS	17038	Capriolo	CR	19044	Formigara
BS	17040	Castegnato	CR	19045	Gabbioneta Binanuova
BS	17041	Castelvati	CR	19046	Gadesco Pieve Delmona
BS	17045	Castrezzato	CR	19047	Genivolta
BS	17046	Cazzago San Martino	CR	19049	Gombito
BS	17052	Chiari	CR	19050	Grontardo
BS	17056	Coccaglio	CR	19051	Grumello Cremonese Ed Uniti
BS	17059	Cologne	CR	19053	Isola Dovarese
BS	17060	Comezzano-Cizzago	CR	19055	Madignano
BS	17081	Gussago	CR	19056	Malagnino
BS	17091	Lograto	CR	19059	Montodine
BS	17097	Maclodio	CR	19062	Offanengo
BS	17125	Orzinuovi	CR	19063	Olmeneta
BS	17127	Ospitaletto	CR	19065	Paderno Ponchielli
BS	17133	Palazzolo Sull'Oglio	CR	19068	Persico Dosimo
BS	17136	Passirano	CR	19069	Pescarolo Ed Uniti
BS	17150	Pontoglio	CR	19070	Pessina Cremonese
BS	17162	Roccafranca	CR	19071	Piadena
BS	17163	Rodengo Saiano	CR	19074	Pieve D'Olmi
BS	17165	Roncadelle	CR	19075	Pieve San Giacomo
BS	17166	Rovato	CR	19076	Pizzighettone
BS	17167	Rudiano	CR	19077	Pozzaglio Ed Uniti
BS	17186	Torbole Casaglia	CR	19080	Ripalta Arpina
BS	17188	Travagliato	CR	19085	Robecco D'Oglio
BS	17190	Trenzano	CR	19086	Romanengo
BS	17192	Urago D'Oglio	CR	19087	Salvirola

<i>Prov.</i>	<i>ISTAT</i>	<i>Nome</i>
BS	17200	Villachiarà
CR	19001	Acquanegra Crem.
CR	19003	Annicco
CR	19004	Azzanello
CR	19006	Bonemerse
CR	19007	Bordolano
CR	19008	Ca' D'Andrea
CR	19010	Camisano
CR	19013	Cappella Cantone
CR	19014	Cappella De' Picenardi
CR	19016	Casalbuttano ed Uniti
CR	19017	Casale Cr.-Vidolasco
CR	19022	Casalmorano
CR	19024	Castel Gabbiano

<i>Prov.</i>	<i>ISTAT</i>	<i>Nome</i>
CR	19088	San Bassano
CR	19093	Scandolara Ripa D'oglio
CR	19095	Sesto Ed Uniti
CR	19097	Soncino
CR	19098	Soresina
CR	19099	Sospiro
CR	19100	Spinadesco
CR	19103	Stagno Lombardo
CR	19104	Ticengo
CR	19107	Torre De' Picenardi
CR	19110	Trigolo
CR	19113	Vescovato
CR	19115	Voltido

2.2. Caratteristiche irrigue del comprensorio.

Le Utenze del Consorzio, ad eccezione delle due già indicate al par. 2.1., sono strutturate per effettuare l'irrigazione a scorrimento, sia a gravità che a sollevamento meccanico (pompa azionata da trattore agricolo). Si possono individuare due zone con caratteristiche omogenee: la ZONA NORD, ricadente nelle province di Brescia e Bergamo, e la zona SUD in provincia di Cremona.

Le tredici derivazioni dal fiume sono tutte dotate di una stazione di misura delle portate derivate, costituita da un modellatore a risalto o da stramazzone tarato, che assicurano una scala di portata stabile, e da un idrometrografo registratore in continuo, per cui è possibile conoscere in ogni istante le quantità d'acqua prelevate dal fiume.

ZONA NORD. La struttura della rete irrigua è costituita da un canale principale (nel progetto definito come PRIMARIO), da cui si diramano canali secondari che trasportano l'acqua direttamente nei sottocomprensori irrigui; in alcuni casi i canali secondari presentano diramazioni terziarie che alimentano sottocomprensori con superfici minori.

Ciascun sottocomprensorio è organizzato in turni irrigui, della durata di sette giorni o sette giorni e mezzo (per consentire l'alternanza giorno/notte tra i turni dei singoli utenti), con i quali l'acqua viene consegnata all'utenze finale (l'azienda agricola) secondo orari proporzionali alla superficie irrigua e con una successione "in catena", cioè secondo la sequenza spaziale delle bocche di presa; in questo modo si possono limitare i tempi di "andata" e di "coda" che rappresentano "tempi morti" nell'irrigazione.

Nella determinazione degli orari irrigui si segue il principio di moltiplicare la dotazione unitaria per la superficie catastale del terreno servito, corretto con coefficienti per tener conto di particolari situazioni locali causate dalla tipologia pedologica del terreno, dallo stato dei canali (rivestiti o naturali), dalla condizione planimetrica, dalla portata reale presente alla bocca. Normalmente, l'orario riporta anche la bocca di presa e la bocca di rilascio, per vincolare il rispetto della competenza effettiva per l'utente successivo.

La portata derivata dal fiume dal canale PRIMARIO viene di regola divisa tra i canali secondari, e poi tra i canali terziari, mediante dispositivi partitori dotati di modellatore a risalto o di stramazzo, in grado di consentire una divisione proporzionale stabile al variare delle portate derivate. Si ottiene quindi una distribuzione equa della risorsa qualunque sia l'andamento stagionale e la disponibilità reale.

ZONA SUD. Il comprensorio cremonese presenta una struttura "storica" della rete irrigua, in cui sono presenti solo pochissimi canali PRIMARI, mentre i sottocomprensori irrigui sono alimentati direttamente da canali "dedicati", cioè che trasportano unicamente la competenza destinata al singolo sottocomprensorio. La distribuzione avviene così attraverso un numero elevato di alvei, prevalentemente naturali e quindi con elevate perdite nel sottosuolo, che veicolano piccole portate. I turni irrigui hanno durata diversa da canale a canale, in alcuni casi dieci giorni, in altri casi fino a sedici giorni, per cui hanno ridottissima flessibilità di gestione nel caso si presentino stagioni con sensibile deficit di disponibilità. Infine la ripartizione delle portate avviene molto frequentemente a mezzo manufatti antichi, senza risalto idraulico e quindi con poca stabilità di funzionamento.

2.3. Formazione domanda irrigua.

Il comprensorio irriguo del Fiume Oglio è caratterizzato da un processo stabile di formazione della domanda irrigua nel periodo estivo.

Originariamente la stagione irrigua iniziava alla fine del mese di marzo, ed era condizionata dai fabbisogni conseguenti alla presenza distribuita di marcite, alla coltivazione di cereali vernini e alla diffusione di prati stabili e di erba medica; le superfici coltivate a mais non erano predominanti nel comprensorio. Così l'uso irriguo richiedeva corpi idrici limitati ma costanti in tutta la stagione.

A partire dalla fine degli Anni 70 si è registrata una progressiva diffusione delle coltivazioni di mais da granella e insilato, funzionali all'incremento della zootecnia da latte e, più recentemente, dell'allevamento suinicolo. Ciò ha influito sulla gestione irrigua, concentrando la domanda nel periodo da metà giugno fino a metà agosto; inoltre, poiché la principale caratteristica della coltura prevalente è di richiedere corpi d'acqua consistenti, si è assistito all'adeguamento della rete irrigua alle nuove esigenze, con importanti interventi sui canali irrigui, a fronte del mantenimento delle dotazioni specifiche storiche. Infatti, non si è verificato un aumento dei volumi irrigui complessivi (le concessioni sono rimaste invariate), come erroneamente si può pensare, bensì una loro concentrazione in un arco di tempo minore.

Nel periodo 1991 – 2006 la stagione irrigua ha presentato una durata variabile da un minimo di 68 giorni consecutivi ad un massimo di 133 giorni, con un valore medio pari a 106 giorni.

La durata è determinata considerando come "inizio" il primo giorno di un periodo consecutivo di sette giorni in cui la somma delle portate derivate alla presa da tutte le Utenze si mantiene sopra il valore di $30 \text{ m}^3/\text{s}$, e la "fine" come il primo giorno di un periodo consecutivo in cui la por-

tata derivata scende al di sotto del valore di $35 \div 40 \text{ m}^3/\text{s}$. Questi valori limite sono inoltre vincolati alla regolazione del volume invasato nel lago d'Iseo, perché la previsione sulla disponibilità complessiva stagionale può condizionare il termine della fase di sfioro del lago, consentendo contemporaneamente sia la fase di accumulo sia l'irrigazione, che risulta ridotta ma sufficiente alle colture in quel momento.

TAB. 2.3 - Durata in giorni della stagione irrigua principale nel periodo 1991 - 2006

<i>DURATA DELLA STAGIONE IRRIGUA</i>			
<i>ANNO</i>	<i>INIZIO</i>	<i>FINE</i>	<i>durata giorni</i>
1991	27-mag	09-set	105
1992	12-mag	22-set	133
1993	26-mag	16-set	113
1994	17-mag	01-set	107
1995	10-mag	07-set	120
1996	24-mag	28-ago	96
1997	21-mag	15-set	117
1998	16-mag	04-set	111
1999	27-mag	16-set	112
2000	23-mag	11-set	111
2001	30-mag	14-set	107
2002	22-mag	04-set	105
2003	21-mag	13-ago	84
2004	20-mag	04-set	107
2005	07-giu	14-ago	68
2006	23-mag	15-set	115
2007	06-giu	06-set	92
Medie		5 anni	93
		17 anni	106

2.4. Regole di gestione della distribuzione d'acqua.

La peculiarità del "sistema irriguo" del Fiume Oglio è rappresentata dalle regole di gestione dell'attività irrigua, affinate nel tempo con l'evoluzione negli anni delle necessità produttive ed economiche delle aziende agricole. Attualmente è frequente sentire o leggere della necessità di "cambiare le regole perché sono vecchie e non più adeguate alle nuove realtà", ma per il comprensorio irriguo del Fiume Oglio questa necessità non esiste perché questi adeguamenti sono già avvenuti: certamente non sono definitivi, ma il margine operativo di intervento è già limitato e soprattutto concerne gli investimenti sulla rete piuttosto che le regole di gestione.

Infatti, dalla metà del XX secolo, le Utenze hanno "inventato" e rese operative alcune regole estremamente utili ad ottenere un'elevata flessibilità di gestione della risorsa disponibile, che nel bacino dell'Oglio non è mai stata abbondante. Il principale problema da risolvere era, ed è, costituito dal decidere le migliori scelte operative in grado di coprire il maggior numero di giorni irrigui.

Per ottenere ciò, è stato adottato un sistema di "contabilità irrigua" con il quale è stato introdotto un livello di variabilità "a somma zero" nella derivazione alla presa delle singole Utenze durante il periodo irriguo; nella pratica si è consentito di programmare prelievi ridotti o incrementati rispetto alle concessioni vigenti, diversi tra utenza e utenza, in funzione della situazione idrologica del momento, purché alla fine della stagione tutte le Utenza avessero derivato la medesima percentuale del volume idrico disponibile.

La contabilità irrigua viene applicata dalla fine della fase di sfioro del lago d'Iseo, e nel caso in cui la somma delle portate richieste dalle Utenze sia superiore alla portata ("competenza") in quel momento effluente dal lago ; per ogni Utenza viene calcolato (in m^3/s) il differenziale tra la competenza e la richiesta per il periodo di sette giorni (è l'intervallo corrente tra due riunioni consecutive della Giunta Tecnica, sede in cui viene stabilita l'erogazione settimanale dal lago s' Iseo). Il "credito" (differenziale positivo) o il "debito" (differenziale negativo) settimanale vengono sommati a quelli del periodo precedente, progressivamente fino a quando la riserva invasata nel lago raggiunge il valore necessario a soddisfare almeno un turno irriguo: a quel punto scatta l'obbligo di restituire il "debito", azzerandolo prima che la portata rilasciata sia tale da obbligare tutte le Utenze a ridurre proporzionalmente le derivazioni (decisione necessaria per non superare il livello minimo di invaso nel lago stabilito dalla concessione). In quel momento le Utenze che vantano un "credito" possono richiedere il suo utilizzo, aumentando la propria portata di competenza di una percentuale tale da consumare il credito prima della fine della riserva invasata nel lago.

Questo semplice meccanismo si è dimostrato utilissimo per sfruttare i momenti favorevoli durante la stagione irrigua (p.es. il verificarsi di apporti di pioggia in quantità tali da sostituire l'acqua di irrigazione), nei quali è possibile risparmiare l'acqua invasata trattenendola nel lago, oppure per far fronte a maggiori e imprevisti fabbisogni delle colture a causa di particolari situazioni climatiche (caldo eccezionale, ventosità anomala, ecc.) in cui conviene utilizzare maggiori portate per ridurre gli effetti del deficit idrico.

Inoltre si ottiene un benefico effetto di "gestione prudente" da parte delle Utenze, di solito interessate ad avere una "riserva" di risorsa in grado di coprire la stagione almeno fino alla metà del mese di agosto.

3. DATI DISPONIBILI E DATI RICHIESTI DAL PROGETTO

3.1. Superfici del comprensorio

Nell'ambito delle proprie attività istituzionali il Consorzio dell'Oglio conserva in archivio gli elenchi dei mappali (secondo la vecchia numerazione) dei terreni aventi diritto ad attingere le acque dal Fiume Oglio e le relative mappe catastali, a scala ridotta 1:5.000. Su questi dati sono state eseguite nel passato le operazioni di collegamento con la nuova numerazione dei mappali, e quindi sono stati riportati i perimetri aggiornati dei sottocomprensori; con periodicità pluriennale, vengono eseguiti sopralluoghi per individuare e contrassegnare i terreni che hanno perso la qualifica di irrigui, e quindi non possono più far parte dei sottocomprensori irrigui. Nello stesso tempo sono registrati eventuali inserimenti di nuovi terreni in sostituzione di quelli divenuti urbani, ed anche accorpamenti o scambi di comprensori tra le Utenze. E' così possibile ottenere la situazione aggiornata della rete irrigua e controllare il mantenimento di corrette condizioni di gestione dell'acqua, intervenendo se necessario per risolvere eventuali situazioni critiche che queste trasformazioni possono innescare.

Grazie a questo lavoro, si è potuto migliorare l'efficienza della distribuzione irrigua operando accorpamenti di sottocomprensori, per poterli servire dal medesimo canale adduttore, oppure unire i corpi d'acqua di due canali adduttori in un corpo unico, più efficiente, e modificare, accorciandoli, gli orari assegnati ai singoli utenti grazie ad una portata specifica maggiore.

La Tab. 2.1 del cap. 2 è frutto dell'attività del Consorzio e delle sue Utenze, ed ha costituito la base di tutto il Progetto Agrioglio. I dati riassunti sono necessari per ottenere una reale e corretta valutazione dei fabbisogni irrigui e degli apporti dalla rete superficiale,

3.2. Basi informative

CARTOGRAFIA. Il progetto utilizza la Carta Tecnica Regionale a scala 1:10.000, nella versione più aggiornata e relativa alle tre province interessate. I fogli necessari per descrivere il comprensorio irriguo sono stati inseriti in un GeoDataBase gestito tramite il software ArcMap v. 9.3.

Tab. 3.1 - Carta Tecnica Regionale 1:10.000 – elenco fogli

<i>n.</i>	<i>foglio</i>	<i>n.</i>	<i>foglio</i>	<i>n.</i>	<i>foglio</i>	<i>n.</i>	<i>foglio</i>
1	c5c5	19	c6d4	37	c7e1	55	d7a5
2	c5d3	20	c6d5	38	c7e2	56	d7b2
3	c5d4	21	c6e1	39	c7e3	57	d7b3
4	c5d5	22	c6e2	40	c7e4	58	d7b4
5	c5e3	23	c6e3	41	c7e5	59	d7b5
6	c5e5	24	c6e4	42	c8e1	60	d7c3
7	c6b2	25	c6e5	43	d5a4	61	d7c4
8	c6b3	26	c7b1	44	d5a5	62	d7c5
9	c6b4	27	c7b2	45	d5b4	63	d7d4
10	c6b5	28	c7c1	46	d5b5	64	d7d5
11	c6c1	29	c7c2	47	d6a1	65	d8a1

<i>n.</i>	<i>foglio</i>	<i>n.</i>	<i>foglio</i>	<i>n.</i>	<i>foglio</i>	<i>n.</i>	<i>foglio</i>
12	c6c2	30	c7c3	48	d6a2	66	d8a2
13	c6c3	31	c7c4	49	d6a3	67	d8b1
14	c6c4	32	c7d1	50	d6b1	68	d8b2
15	c6c5	33	c7d2	51	d6b2	69	d8c1
16	c6d1	34	c7d3	52	d7a2	70	d8d1
17	c6d2	35	c7d4	53	d7a3	71	d8d2
18	c6d3	36	c7d5	54	d7a4		

Su questa base cartografica sono stati riportati i perimetri dei sottocomprensori irrigui, le aree edificate sono state contornate e le loro superfici sottratte dal computo dell'estensione dei sottocomprensori.

E' stato poi disegnato lo sviluppo della rete irrigua, indicando i punti notevoli codificati, completando le tabelle relative con i valori di portata e delle stime delle perdite d'alveo.

ORTOFOTO. La diversa funzione della C.T.R. e delle mappe catastali comporta un livello di dettaglio molto diverso tra loro, e crea la difficoltà di individuare correttamente sulla scala 1:10.00 il perimetro reale dei terreni. In realtà il dettaglio della C.T.R. è molto spesso in grado di ottenere una precisione molto elevata, certamente non esatta, tale da non introdurre nel processo di calcolo errori sensibili.

Per cautela, si è proceduto a sovrapporre le perimetrazioni ottenute su una base costituita dalle ortofoto digitali a colori, messe a disposizione dalla Regione Lombardia – Assessorato al Territorio- Struttura Sistema Informativo (elaborazioni eseguite negli anni 1998 e 2003).

DATI E CARTOGRAFIA PROGETTO RE.MO. Il Progetto, curato dall'Autorità di bacino del Po e dall'ARPA Lombardia, mette a disposizione un'insieme organico di strati informativi geografici del bacino del Po, comprendenti la rete idrografica, i bacini idrografici, il sistema infrastrutturale, i confini amministrativi di Province e Comuni. Gli strati informativi sono gestiti tramite ArcGis e possono essere sovrapposti agli altri strati informativi definiti dal Progetto Agrioglio, in modo da formare un database completo delle informazioni utili per la valutazione delle caratteristiche dei sottocomprensori

DATI SIARL. La Regione Lombardia – Assessorato Agricoltura – ha reso disponibili i dati sugli utilizzi del suolo, ottenuti partendo dal dettaglio di particella catastale, relativi all'annata agraria 2006 e aggregati su base comunale; gli usi sono divisi per classi di colture, con una priorità assegnata in funzione dell'estensione delle superfici. Nei capitoli successivi verrà spiegato nei particolari l'utilizzo da parte del software IDRAGRA di questi dati.

DATI PEDOLOGICI. L'ERSAF, Ente strumentale della Regione Lombardia, ha reso disponibile la carta pedologica regionale a scala 1:250.000, in cui sono indicate le principali caratteristiche pedologiche dei terreni agricoli del comprensorio in esame. I dati, forniti in formato shape, sono stati sovrapposti alla C.T.R. e alla perimetrazione dei comprensori irrigui, consentendo una valutazione dei principali indici pedologici necessari per la determinazione delle caratteristiche idrauliche dei terreni.

DATI METEOROLOGICI. Uno dei pilastri su cui si poggia il lavoro previsto dal progetto Agrioglio è senza dubbio costituito da un robusto ed affidabile database dei dati meteorologici registrati nel comprensorio del Fiume Oglio e nelle zone circostanti. Per poter stimare correttamente i fabbisogni idrici delle colture è indispensabile conoscere nel dettaglio la riserva di acqua presente nel terreno, in funzione della tipologia dello stesso e della successione degli eventi meteorologici che si sono succeduti nel tempo, noti sia in termini di tipologia di fenomeno che di quantità di precipitazioni, di livelli di temperatura, di umidità relativa dell'aria, ecc.

3.3. Codifica della rete irrigua

La rete irrigua del Fiume Oglio presenta un'ampia varietà nelle tipologie della struttura e dei manufatti che determinano la distribuzione dell'acqua, e quindi ha richiesto l'elaborazione di un metodo di codifica capace di trasmettere al software IDRAGRA tutte le informazioni necessarie per riprodurre il reale funzionamento della rete.

E' stata predisposta una "gerarchia" dei canali, di grado n , funzione del livello di dettaglio a prefissato dallo studio, assegnando ad ogni livello gerarchico una codifica univoca che permetta di ricostruire il percorso delle acque transittanti nei canali, a partire dal punto di derivazione dal fiume fino al punto di consegna all'utilizzatore. Come "utilizzatore" si deve intendere il livello inferiore definito dallo studio, e può essere indifferentemente sia il livello di "sottocompensorio" che il livello di "azienda irrigua singola".

I nodi di interconnessione dei canali ed i punti di consegna dell'acqua sono stati codificati per categoria funzionale:

- 1) bocca di presa di un canale, sia dal fiume che dal canale di ordine $n-1$;
- 2) bocca di consegna all'utilizzatore finale;
- 3) diramazione a due o più vie, il punto in cui il canale di ordine n si divide in due o più canali con un'assegnata costante ripartizione proporzionale delle portate;
- 5) confluenza a due o più vie, il punto in cui avviene la congiunzione di due o più canali del medesimo ordine n ;
- 7) punti "speciali", non classificabili nelle altre categorie ma con rilevanza sulla determinazione del percorso dell'acqua (ad es. modifiche nel tipo di rivestimento).

Codici degli elementi strutturali

Nel caso di studio è stato possibile adottare una codifica semplificata limitata al livello TERZIARIO dei canali, funzione della scelta di limitare il livello di dettaglio a cui scendere, scelta obbligata dalla dimensione del comprensorio irriguo dell'Oglio, troppo esteso per assumere un livello di dettaglio inferiore ai sottocomprensori delle singole Utenze irrigue. Comunque nel caso in cui si definisse come livello minimo di indagine quello dell'utilizzatore "azienda", la codifica mantiene la sua validità. In casi più complessi si può adottare un normale codice alfanumerico basato sulla medesima logica di codifica.

Il canale principale, che origina dal fiume, è chiamato PRIMARIO e viene segnato in mappa con un numero intero, progressivo lungo il corso del fiume.

Il canale di ordine n-esimo che deriva da un canale principale ha un numero intero che segue il numero del canale principale: ad esempio, un canale secondario derivato dal primario 1 è indicato con 1-1, 1-2, 1-3 ecc. Per evitare fraintendimenti, si segnala che nella Tabella di Codifica, in cui sono contenuti tutti i record di codifica, la presenza del codice 0 nella colonna "SECONDARIO" indica che quel record riguarda il canale principale.

Le bocche di presa, le bocche di consegna, le derivazioni e confluenze hanno codice numerico che cresce lungo l'asta del canale. La numerazione inizia da 1 per ogni canale principale o secondario, il punto 0 indica la presa all'origine del canale a cui si riferisce il record.

I punti di raccordo multiplo, ad esempio due o più prese o derivazioni alla chiusura di un canale o anche ancora 2 prese o derivazioni estremamente ravvicinate vanno inserite successivamente in tabella senza intervallarle con una tratta.

I punti speciali individuati in questo studio sono quelli che separano due tratte di un canale con caratteristiche strutturali differenti, ad esempio un cambio di consistenza del fondo in un punto in cui non esiste una derivazione o una presa, e quindi non sia già identificato; la variazione delle caratteristiche deve essere considerata nel caso influisca sul comportamento idraulico della rete e quindi comporti una variazione quantitativamente significativa per le grandezze idrauliche del canale. Nel nostro caso, ai punti speciali è stato attribuito un numero seguito da un asterisco.

La tratta viene definita come la parte di canale compresa tra due punti notevoli.

Campi della tabella di codifica

1 - Fiume

Come tutte le altre informazioni, anche i fiumi vanno identificati con un numero progressivo. Ponendo 1 al fiume Oglio, eventuali altri fiumi da cui si prende acqua prenderanno i numeri 2, 3 ecc...

2 – Primario (canale primario)

Il codice del canale primario rispetta la successione idrografica delle derivazioni (si ricorda che le derivazioni dall'Fiume Oglio sono 13), e viene riportato identico in tutti i record (righe di in-

formazioni) che fanno capo a quel canale primario. Così è possibile estrarre in forma compatta tutte le informazioni che competono alla rete che fa capo ad un certo canale primario.

I record che riguardano l'asta del canale primario hanno codice "Secondario" pari a 0.

3 – Secondario (canale secondario)

il codice del canale secondario inizia da 1 per ogni canale primario e viene riportato identico in tutti i record (righe di informazioni) che fanno capo a quel canale secondario.

Per estrarre le informazioni di un canale secondario si esegue una ricerca simultanea sui codici Primario e Secondario; nel caso si inserisca il codice Secondario uguale a 0, si ottiene l'estrazione dei soli dati che riguardano l'asta del canale primario.

4 – Terziario

Il codice del canale terziario segue la medesima regola del codice del secondario. Il codice del canale terziario deve accordarsi con il codice CodDir del canale secondario nel punto in cui è localizzata la diramazione.

5 – Inizio

Codice del punto d'inizio della tratta o codice della presa, di derivazione/confluenza o speciale. La numerazione riprende da 0 per ogni canale di ordine n .

6 – Fine

Codice del punto di fine della tratta; nel caso in cui i record della tabella non si riferiscono ad una tratta (ma ad un punto di derivazione/confluenza, presa o un punto speciale), il codice deve valere 0.

7 – CodDir

Codice della diramazione secondaria (se il codice riguarda il record di un canale principale) o terziaria (se il codice riguarda il record di un canale secondario). Il codice è riferito alle derivazioni e le confluenze, per queste il campo riporta il codice del canale secondario (o terziario) a cui si riferisce la derivazione/confluenza; negli altri record il codice è nullo. Questa informazione consente di seguire l'acqua dei canali passando da un punto di diramazione al record del punto di presa del canale secondario.

8 - Tipo

Il tipo è un campo alfabetico che indica il tipo di record e può prendere le seguenti codifiche:

- T (tratto): il record riguarda una tratta di canale, ne specifica le portate in ingresso, in uscita e la lunghezza.
- D (diramazione/confluenza): il punto identifica una diramazione o una confluenza, e il record riporta la portata uscente o entrante nell'asta del canale a cui si riferisce. Se il canale che si dirama a valle è a sua volta un canale codificato, nei record che lo descrivono si troverà un record gemello a questo, in cui la portata (negativa perché uscente dalla diramazione) si troverà come portata entrante (positiva).
- P (presa): vale quanto detto per la diramazione, salvo la mancanza di record gemelli nei canali a valle. Le consegne possiedono informazioni aggiuntive che riguardano il

tratto i dugali delle aziende agricole. Legare queste tratte ai record delle prese consentite di mantenere semplicità e trasparenza nella tabella dati.

9 – LunTratto

Questa informazione riguarda le tratte, riporta la lunghezza in metri della tratta dal punto di inizio al punto di fine. Nei record che descrivono i punti notevoli assume valore 0.

10 – Q in (portata entrante)

Per i record relativi a tratte indica la portata entrante da monte, per gli altri tipi di record è la portata uscente dalla presa o dalla derivazione, ovvero la portata entrante dalla confluenza. Nel caso di bocche o derivazioni la portata sarà negativa (l'acqua viene tolta dal canale); per le confluenze e le tratte la portata sarà invece positiva.

11 – Q out (portata uscente)

Portata uscente dalla tratta, nel caso di un record di altro tipo il valore è 0. La differenza tra la portata entrante e uscente da una tratta è pari alle perdite per infiltrazione lungo la tratta medesima.

12 – NatRiv

Per le tratte indica la natura del rivestimento (N = naturale, R = rivestito), per i punti di consegna indica il rivestimento dei canali che conducono dalla presa sul canale primario o secondario all'effettivo punto di consegna.

13 – Perdite Dugali

Per le bocche di consegna, indica la portata persa per infiltrazione durante il tratto di canale che conduce dalla presa al punto di consegna.

14 – Q cons

Portata effettivamente consegnata, ovvero portata in uscita dalla presa al netto delle perdite del canale di consegna.

15 – LatoPresaCons

Lato del canale (in senso idraulico) in cui si apre la presa o la derivazione.

16 – CodBacIrr

Codice del bacino irriguo a cui si riferiscono la presa e il relativo canale. Il codice è composto da 4 numeri (la prima cifra non viene indicata se è 0), i primi due definiscono il canale principale che approvvigiona l'area, gli ultimi due indicano i sottocomprensori che fanno capo a quel canale.

17 – Nome

Nome del canale di cui la tratta o del bacino di consegna o del canale che si dirama dal principale.

18 – Colonne successive

Oltre la diciassettesima colonna possono essere introdotte altre caratteristiche del punto o della tratta quali:

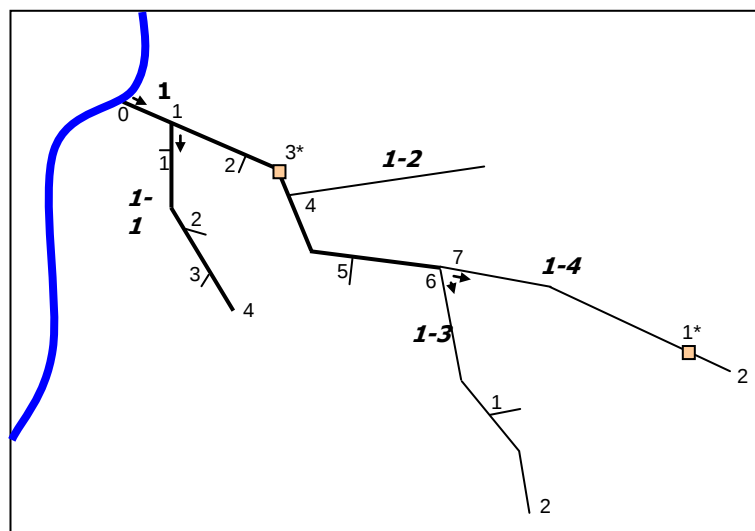
- note: annotazioni sul record;

- tipologia della sezione o presa (libera, regolata, ecc);
- misure della sezione (tratto o presa).

Esempio di codifica

Nella seguente figura si mostra un sistema di canali codificato come sopra.

Esempio di applicazione della codifica ad una rete di canali



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
<i>Fiume</i>	<i>Primario</i>	<i>Secon</i>	<i>Terz</i>	<i>Inizio</i>	<i>Fine</i>	<i>CodDir</i>	<i>Tipo</i>	<i>Lun Tratto</i>	<i>Q_{in}</i>	<i>Q_{out}</i>	<i>NatRiv</i>	<i>Perdite Dugali</i>	<i>Q_{cons}</i>	<i>LatoPresaCons</i>	<i>CodBacIrr</i>	<i>Nome</i>
1	1	0	0	0	1	0	T	1050	5000	4995	R	0	0	0	0	
1	1	0	0	1	0	1	D	0	-700	0	0	0	0	s	0	
1	1	0	0	1	2	0	T	870	4295	4291	R	0	0	0	0	
1	1	0	0	2	0	0	C	0	-270	0	N	30	240	s	110	
1	1	0	0	2	3	0	T	2300	4021	3929	R	0	0	0	0	
1	1	0	0	3	4	0	T	190	1220	1215	N	0	0	0	0	
1	1	0	0	4	0	2	D	0	-620	0	0	0	0	d	0	
1	1	0	0	4	5	0	T	183	595	593	N	0	0	0	0	
1	1	0	0	5	0	0	C	0	-200	0	N	20	180	s	231	
1	1	0	0	5	6	0	T	450	393	390	N	0	0	0	0	
1	1	0	0	6	0	3	D	0	-275	0	0	0	0	d	0	
1	1	0	0	7	0	4	D	0	-115	0	0	0	0	s	0	
1	1	1	0	0	1	0	T	840	700	688	N	0	0	0	0	
1	1	1	0	1	0	0	C	0	-250	0	N	10	240	d	156	
1	1	1	0	1	2	0	T	560	438	433	N	0	0	0	0	
1	1	1	0	2	0	0	C	0	-250	0	N	10	240	s	231	
1	1	1	0	2	3	0	T	560	183	181	N	0	0	0	0	
1	1	1	0	3	0	0	C	0	-100	0	N	10	90	d	113	
1	1	1	0	3	4	0	T	560	81	80	N	0	0	0	0	
1	1	1	0	4	0	0	C	0	-80	0	N	10	70	c	289	

Tab. 3.2 -

La tabella esemplificativa a fianco è composta dai record che descrivono la rete di canali presa ad esempio e segnata in neretto; i valori uguali a 0 indicano "dato non pertinente con il record", e il loro inserimento è necessario per la corretta interpretazione

della struttura fisica da parte del software di calcolo.

3.4. Portate derivate e stima delle perdite

Il Consorzio dell'Oglio svolge il ruolo istituzionale di Ente Regolatore (non utilizzatore diretto) attuando un sistema completo di misurazione delle portate derivate dalle Utenze, basato sulla stabilità delle scale di portata e sulla continuità temporale della misura, e archiviando i dati sia in formato cartaceo, sia in formato elettronico. Si è venuta quindi formando nel tempo una banca dati completa, sia di questa grandezza che delle altre, richieste dalla regolazione dei livelli del lago e delle portate nel fiume.

Da questa banca dati sono state estratte le portate derivate medie giornaliere del periodo 1991-2006, ottenute misurando ad ogni opera di presa il livello del pelo liquido e applicando al valore rilevato la specifica scala di portata; la misura di livello è segnata su un diagramma che il personale del Consorzio sostituisce settimanalmente, e che viene archiviato nella sede del Consorzio dopo essere stato trascritto nella banca dati. Durante la stagione irrigua il sopralluogo alle stazioni di misura avviene giornalmente, ed eventuali scostamenti rispetto al valore degli idrometri fissi vengono corretti immediatamente.

Tab.3.3 - portate medie mensili dei canali primari (m³/s) – orizzonte 1991 - 2006

<i>PRIM.</i>	<i>DENOMINAZIONE</i>	<i>maggio</i>	<i>giugno</i>	<i>luglio</i>	<i>agosto</i>	<i>settembre</i>
1	FUSIA - FRANCIACORTA	2.42	5.98	8.09	6.10	2.81
2	VETRA	3.79	7.70	9.27	6.98	4.11
3	CASTRINA	1.86	3.57	3.97	3.18	1.79
4	SALE	1.00	3.28	4.23	3.19	1.82
5	TRENZANA - TRAVAGLIATA	2.89	4.63	5.39	4.47	2.69
6	BAJONA	2.90	4.60	5.40	4.50	2.70
7	RUDIANA - VESCOVADA	1.22	2.19	2.59	2.13	1.19
8	CASTELLANA	1.21	3.05	3.75	3.05	1.58
9	DONNA	1.19	1.75	1.96	1.51	1.04
10	NAVIGLIO CIVICO	6.76	8.53	9.06	6.88	4.06
11	ANTEGNATA	0.98	1.84	2.24	1.73	1.04
12	MOLINA	0.84	1.40	1.56	1.06	0.65
13	NAVIGLIO GRANDE - CALCIANA	6.58	8.39	9.26	7.86	5.39

Poiché uno dei suoi compiti istituzionali consiste nel controllo della corretta distribuzione dell'acqua nei comprensori irrigui, il Consorzio dell'Oglio ha effettuato frequenti operazioni di misura delle portate derivate, e di controllo delle ripartizioni interne tra i sottocomprensori.

Va segnalato che, a motivo delle diverse caratteristiche dei comprensori irrigui, descritte al par. 2.2.-, il Consorzio ha operato più frequentemente nei sottocomprensori della "ZONA NORD", dove non esiste frammistione di acque da fonti diverse, e quindi eventuali carenze idriche non possono essere soddisfatte con risorse di provenienza diversa: i problemi che nascono nella di-

siribuzione irrigua devono essere affrontati e risolti nel più breve tempo possibile, per non penalizzare inutilmente i singoli utenti.

Dal punto di vista pratico, nel caso in cui via sia stata una segnalazione, da parte anche di singoli utilizzatori, di riduzione delle portate consegnate, sono state effettuate misure di portata nei punti critici della rete irrigua, in un arco di tempo ristretto, e in condizioni idrauliche il più possibile stabili; in questo modo si sono rilevate le perdite d'alveo lungo la rete irrigua e si è proceduto di conseguenza a determinare variazioni degli orai irrigui o pianificare interventi strutturali sulla rete per eliminare la maggior parte possibile delle perdite misurate.

Questa attività ha consentito di creare una banca dati delle misure di portata interne ai sottocomprensori e del calcolo delle perdite d'alveo, e da essa sono stati estratti i valori che sono stati utilizzati nel progetto per determinare i fabbisogni alla bocca delle singole Utenze.

Per cui si può ritenere che i valori contenuti nella stima delle perdite siano piuttosto precisi per i sottocomprensori della "ZONA NORD", e approssimati in modo sufficiente per quelli della "ZONA SUD"; nel primo caso è stato possibile attribuire ai canali irrigui perdite differenziate e localizzate in tratte precise, nel secondo caso si è dovuto scegliere una ripartizione uniforme lungo lo sviluppo dei canali.

3.5. Influenza della falda freatica.

Per la "ZONA SUD" la stima delle perdite, oltre che di altri parametri dell'efficienza idrica dei suoli, risente della conoscenza dell'andamento della falda freatica, e dei suoi livelli nei diversi punti del comprensorio. Laddove la soggiacenza sia maggiore, sono ipotizzabili valori superiori di perdite per infiltrazione.

Se la soggiacenza presenta una variazione nel corso della stagione irrigua (da maggio ad agosto), nel senso che si presenta con valori maggiori nella primavera per poi diminuire progressivamente durante lo svolgimento della stagione irrigua, come del resto l'esperienza dimostra nei casi di analisi puntuali, si deve poter stimare le perdite con valori maggiori nei mesi di maggio e giugno, e con valori in diminuzione nei mesi di luglio ed agosto.

In realtà per compiere queste stime è necessario contare su una adeguata rete di monitoraggio, che permetta di valutare le variazioni di soggiacenza da un anno all'altro, in funzione del diverso andamento meteorologico e climatico.

Per questo progetto, l'Istituto di Idraulica Agraria dell'Università di Milano ha messo a disposizione i dati elaborati nell'ambito del progetto "Realizzazione di un modello preliminare del flusso idrico nel sistema acquifero della Provincia di Cremona" svolto per conto della Provincia di Cremona nel periodo 2005-2007. Nel capitolo relativo sarà illustrata la metodologia di impiego dei dati e le valutazioni su cui ci si è basati per ottenere le stime sulle perdite.

4. ANALISI DEI DATI DELLE STAZIONI METEOROLOGICHE

L'indagine è stata finalizzata alla raccolta dei dati meteorologici necessari alla caratterizzazione a scopo irriguo dell'areale del Consorzio. La descrizione delle modalità d'indagine, dei controlli di qualità e dei prodotti ottenuti è stata comunque preceduta da un inquadramento di sintesi dei caratteri mesoclimatici del territorio in esame, fondato su criteri tipici della climatologia statica e dinamica.

4.1. Inquadramento climatico

Il clima dell'area in esame è il risultato dell'azione combinata di un insieme di fattori che agiscono a diverse scale (Pinna, 1972), dalla macro alla microscala.

Tab. 4.1 – Classificazione dei fenomeni climatici secondo scale spaziali.

<i>Tipo</i>	<i>Dimensione spaziale (valori puramente orientativi)</i>	<i>esempio</i>
Macroclima	Oltre 500 km	clima europeo, clima mediterraneo
Mesoclima	50-500 km	clima padano, clima insubrico
Clima locale	1-50 km	Clima di un versante collinare, di una piccola valle
Microclima	< 1 km	Clima di un vigneto

Ai fattori latitudinali, i cui effetti sulle ciclicità giornaliere e stagionali della radiazione solare e della temperatura sono a tutti noti, si aggiungono i fattori orografici (pendenza, esposizione e giacitura) il cui effetto combinato dà origine al cosiddetto topoclimate, i cui effetti sono più marcati nella parte più settentrionale dell'area indagata. I principali fattori generatori sono elencati di seguito:

a) LOCALIZZAZIONE ALLE MEDIE LATITUDINI cui si associano:

- la vicinanza di "regioni sorgenti" di masse d'aria
- la circolazione atmosferica (es: grandi correnti occidentali)

b) APPARTENENZA ALLA REGIONE PADANO-ALPINA

(grande catino delimitato dalle catene alpina ed appenninica e con un'apertura principale verso est)

c) STRUTTURA LOCALE DEL RILIEVO (giacitura, pendenza, esposizione) da cui derivano caratteristici effetti topoclimatici su:

- **radiazione solare**
- **temperatura** (es: aree di compluvio con accumulo notturno di aria fredda da cui derivano nebbie, gelate e brinate).
- **umidità relativa** (es: aree di fondovalle con valori più elevati)
- **precipitazioni** (intensificazioni orografiche di origine locale)
- **vento** (brezze)

d) COPERTURA DEL SUOLO

ad esempio un suolo nudo rispetto a uno coperto da vegetazione si scalda molto di più durante il giorno e si raffredda più velocemente di notte.

e) PRESENZA DI GRANDI MASSE IDRICHE (lago d'Iseo) da cui derivano effetti caratteristici quali:

- mitigazione delle temperature (gli estremi si smorzano, per cui le aree litoranee rispetto a quelle della piena pianura padana presentano temperature medie più elevate in inverno e più basse in estate)
- cessione di umidità all'atmosfera (favorevole ad esempio all'attività temporalesca estiva)
- atmosfera più limpida
- venti (brezze di lago).

Cruciali sono gli effetti sul clima legati alla vicinanza di importanti regioni sorgenti di masse d'aria con caratteri peculiari ed in particolare:

- il **Mediterraneo**, fonte di masse d'aria umida e mite in tutte le stagioni;
- l'**Oceano Atlantico**, fonte di masse d'aria umida e relativamente mite (aria polare marittima) che tuttavia risulta sempre più fredda rispetto a quella mediterranea; ciò si rivela cruciale per la formazione di perturbazioni, in forma di sistemi frontali e vortici, particolarmente frequenti nel periodo che va dall'autunno alla primavera; inoltre nel periodo estivo le irruzioni di aria atlantica nella media troposfera attraverso le Alpi danno luogo ad una vivace attività temporalesca;
- la **massa continentale eurasiatica**, sorgente di masse d'aria polare continentale, particolarmente fredda ed asciutta in inverno;
- la **zona artica** che in tutte le stagioni è fonte di masse d'aria fredda;
- la **fascia subtropicale**, fonte di aria torrida e che si umidifica passando sul Mediterraneo.

Le sopra elencate masse d'aria giungono ad influenzare il clima dell'area in esame in virtù delle strutture circolatorie atmosferiche che ne determinano l'apporto, le più importanti delle quali sono:

- **gli anticiclone dinamici** (si rammentano qui l'anticiclone delle Azzorre, il cui stabile ingresso sul Mediterraneo segna l'affermarsi di condizioni estive, ed i promontori anticiclonici africani, responsabili della maggior parte delle ondate di caldo che interessano l'area italiana);
- **gli anticiclone termici** ed in particolare l'anticiclone russo – siberiano, il cui espandersi verso il Mediterraneo nel periodo invernale coincide con le grandi irruzioni di gelida aria polare continentale (monsone invernale europeo);

- **le saccature atlantiche**, depressioni a forma di V il cui transito è più frequente nei mesi autunnali, invernali e primaverili. La disposizione di tali strutture (orientamento dell'asse, estensione verso sud, ecc.) determina le aree e i versanti più esposti ai fenomeni;
- **le depressioni mobili del Mediterraneo**, innescate dall'irruzione di masse d'aria fredda da aree esterne al bacino. Fra queste ricordiamo, per il contributo al quadro precipitativo dell'area in esame, le depressioni del Golfo di Genova¹ innescate in prevalenza dal transito di saccature atlantiche e la cui traiettoria le porta nella maggioranza dei casi a transitare sulla Valpadana con traiettoria verso est-sudest, interessando in modo diretto l'area in esame.

In tale contesto dinamico gioca un ruolo fondamentale la catena alpina che agisce sulla circolazione atmosferica alterandola profondamente. Ad esempio le Alpi intercettano l'umidità dalla circolazione dando luogo ad intensificazioni orografiche sui versanti sopravvento (stau) e ad attenuazione delle precipitazioni sottovento (foehn).

Una classificazione di sintesi è utile per un inquadramento di massima dell'area in esame. In particolare secondo la classificazione di Koeppen rivisitata da Pinna per l'area italiana (Mennella, 1972), l'area presenta un clima di tipo temperato subcontinentale, che si qualifica per:

- temperature medie annue comprese fra 10 e 14.4 °C;
- media del mese più freddo fra -1 e 3.9°C;
- da 1 a 3 mesi con medie termiche superiori a 20°C;
- escursione termica annua (differenza fra temperatura media del mese più freddo e di quello più caldo) di oltre 19°.

Dal punto di vista mesoclimatico l'areale afferisce al mesoclima padano anche se effetti mesoclimatici di tipo insubrico sono evidenti nella sua parte più settentrionale.

4.2. Le fonti di dati

L'analisi si è fondata su dati relativi al periodo 1 gennaio 1951 – 10 febbraio 2007 e provenienti dalle seguenti fonti:

- Consorzio dell'Oglio
- Amministrazione Provinciale di Brescia - Servizio Agrometeorologico
- Servizio Meteorologico dell'Aeronautica Militare
- Ersaf – rete agrometeorologica regionale
- Arpa Lombardia – rete meteorologica regionale
- Cra cma – banca dati agrometeorologica nazionale.

¹ Il Golfo di Genova è la principale area ciclogenetica del Mediterraneo totalizzando a livello annuo il 20% circa del totale di ciclogenese dell'intero bacino (Cantù, 1977).

In particolare ai dati dell'ex Servizio Idrografico, che costituiscono l'ossatura delle serie storiche disponibili per il periodo dal 1951 alla fine degli anni '80, si sono affiancati nelle annate più recenti i dati di stazioni automatiche afferenti a reti nazionali, regionali o locali.

In tabella 4.2 si riporta l'anagrafica delle stazioni considerate, le quali sono state altresì riportate in fig. 4.1.

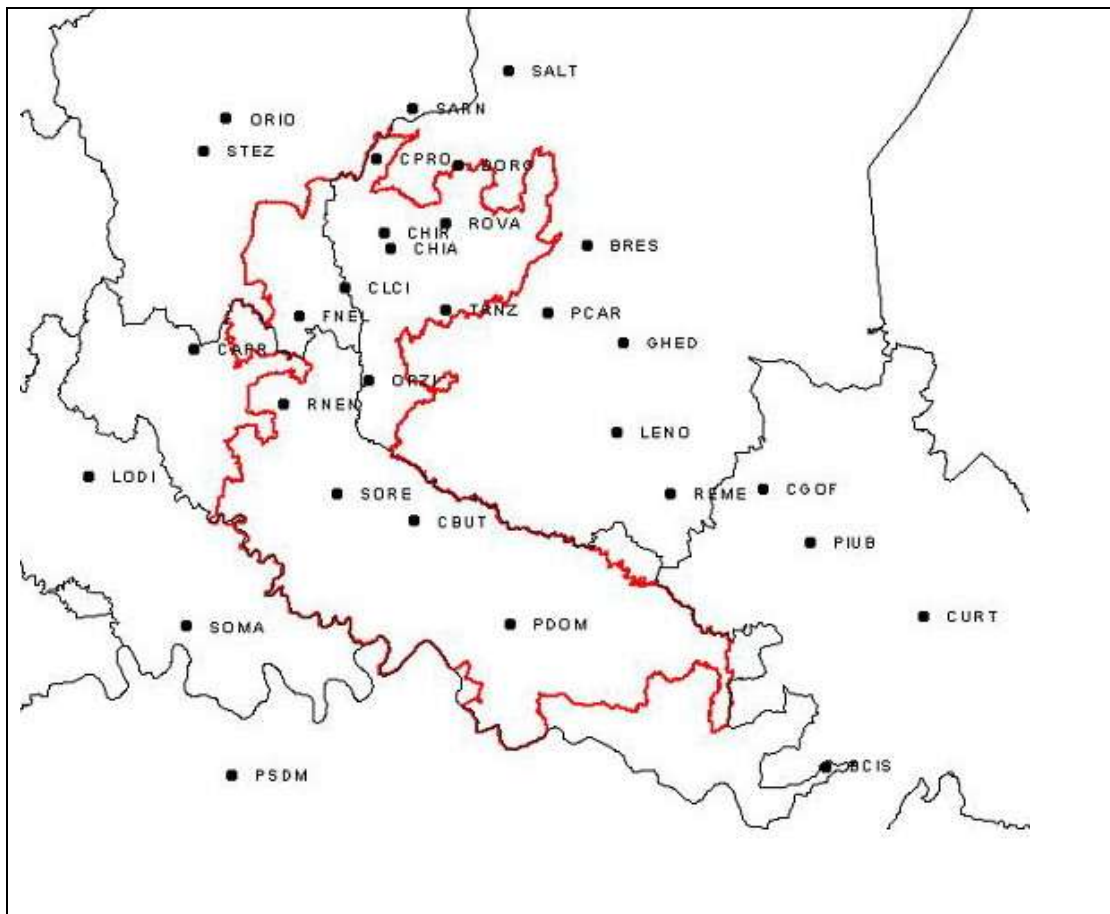


Fig. 4.1 - stazioni meteorologiche considerate per il lavoro

4.3. L'assimilazione dei dati e i controlli di qualità

All'attività di assimilazione dei dati, che è consistita nel riportarli ad un formato comune evidenziando con il codice di sostituzione 9999 i dati mancanti, ha fatto seguito l'adozione di alcune regole di validazione atte ad escludere dall'elaborazione le serie storiche di qualità insufficiente.

Il sistema di controllo di qualità delle temperature massime e minime è stato basato sull'analisi dello scostamento rispetto alla "biweight mean", indice statistico robusto rispetto ad eventuali valori abnormi (Lanzante, 1996).

In tal modo sono stati evidenziati come dati sospetti 330 valori di temperatura massima e 422 valori temperatura minima. Tali valori sono stati analizzati in modo soggettivo ed i dati giudicati errati sono stati rimpiazzati da codici di sostituzione (9999). Si è altresì operato escludendo se-

rie per le quali la frequenza di dati errati appariva elevata. In particolare l'esclusione ha riguardato:

- i dati di temperatura minima della stazione di Cremona, caratterizzati da una persistente anomalia termica positiva rispetto alle altre stazioni analizzate.
- I dati di temperatura minima della stazione di Chiari per il periodo 1965-70, caratterizzati da una persistente anomalia termica positiva rispetto alle altre stazioni analizzate.

Il controllo sulle precipitazioni è stato invece effettuato su base soggettiva, analizzando i diagrammi ed escludendo dati che apparivano palesemente inconsistenti.

In complesso si sono rese disponibili:

- 21 serie termometriche giornaliere per le temperature massime e 20 per le minime
- 30 serie pluviometriche (precipitazioni totali giornaliere).

Tab. 4.2 – Stazioni i cui dati sono stati utilizzati per l'analisi climatica

<i>stazione</i>	<i>acro</i>	<i>prov</i>	<i>proprietà</i>	<i>dati (*)</i>	<i>coox</i>	<i>cooy</i>	<i>altezza</i>	<i>tecnologia</i>
Orio al Serio	ORIO	Bg	Serv. Meteo AM	tx,tn,rr	1554529	5057346	238	meccanica
Sarnico	SARN	Bg	Consorzio Oglio	rr	1575544	5058445	197	elettronica - diagramma
Fontanella	FNEL	Bg	Consorzio Oglio	rr	1562722	5035019	105	meccanica - diagramma
Stezzano	STEZ	Bg	Ersaf	tn,td,tn,rhn,rhd,rhx,rr,wv,tt	1551963	5053620	220	elettronica
Brescia	BRES	Bs	Pastori/Ersaf	tx,tn,rr	1595184	5043018	120	elettronica
Ghedi	GHED	Bs	Serv. Meteo AM	tx,tn,rr	1599264	5031968	103	meccanica
Borgonato	BORG	Bs	Consorzio Oglio	rr	1580750	5052075	214	meccanica - diagramma
Calcio	CLCI	Bs	Consorzio Oglio	rr	1567866	5038318	123	elettronica - diagramma
Chiari	CHIA	Bs	Consorzio Oglio	rr	1573061	5042720	148	meccanica - diagramma
Trenzano	TRNZ	Bs	Consorzio Oglio	rr	1579319	5035783	108	meccanica - diagramma
Rovato	ROVA	Bs	Consorzio Oglio	rr	1579205	5045586	172	meccanica - diagramma
Leno	LENO	Bs	Provincia Brescia	tn,td,tx,rhn,rhd,rhx,rr	1598682	5021981	60	elettronica
Poncarale	PCAR	Bs	Provincia Brescia	tn,td,tx,rhn,rhd,rhx,rr	1590800	5035460	90	elettronica
Sale Marasino	SALT	Bs	Provincia Brescia	tn,td,tn,rhn,rhd,rhx,rr,bf,rglob,wv,tt	1586430	5062682	195	elettronica
Orzinuovi	ORZI	Bs	Provincia Brescia	tn,td,tx,rhn,rhd,rhx,rr,tt	1570592	5027811	75	elettronica
Capriolo	CPRO	Bs	Provincia Brescia	tn,td,tx,rhn,rhd,rhx,rr	1571398	5052767	180	elettronica
Chiari_prov_bs	CHIR	Bs	Provincia Brescia	tn,td,tx,rhn,rhd,rhx,rr,tt	1572269	5044435	160	elettronica
Remedello	REME	Bs	Provincia Brescia	tn,td,tn,rhn,rhd,rhx,rr,bf,wv,tt,press	1604650	5014993	48	elettronica
Casalbuttano	CBUT	Cr	Consorzio Oglio	rr	1575669	5011874	60	meccanica - diagramma
Romanengo	RNEN	Cr	Consorzio Oglio	rr	1561036	5025150	83	meccanica - diagramma
Soresina	SORE	Cr	Ersaf	tx,tn,rr	1566999	5015000	70	elettronica
Persico Dosimo	PDOM	Cr	Ersaf	tx,tn,rr	1586474	5000295	46	elettronica
Capralba	CAPR	Cr	Ersaf	tx,tn,rr	1550845	5031390	96	elettronica
Cremona	CREM	Cr	Serv_idrografico	tx,tn,rr	1580510	4998643	45	meccanica
Crema	CRMA	Cr	Serv_idrografico	rr	1553758	5023513	79	meccanica
Lodi	LODI	Lo	CRA Ist.Colt. Foraggiere	tx,tn,rr	1538999	5017000	80	meccanica
Somaglia Ersaf	SOMA	Lo	Ersaf	tx,tn,rr	1550000	5000000	57	meccanica
Piubega	PIUB	Mn	Ucea	tx,tn,rr	1620420	5009431	40	elettronica
Curtatone	CURT	Mn	Ersaf	tn,td,tn,rhn,rhd,rhx,rr,wv,tt	1633205	5001104	26	elettronica
Castelgoffredo	CGOF	Mn	Codima	tx,tn,rr	1615030	5015566	56	elettronica
Breda Cisoni	BCIS	Mn	Codima	tx,tn,rr	1622169	4984212	20	elettronica
Piacenza - San Damiano	PSDM	Pc	Serv. Meteo AM	tx,tn,rr	1555173	4983281	134	elettronica

(*) Acronimi: *tx*, *tn*, *td* = temperatura massima, minima e media (°C); *rr* = precipitazione totale (mm); *rhn*, *rhd*, *rhx* = umidità relativa massima,

4.4. La ricostruzione dei dati mancanti o errati

I dati mancanti o errati sono stati ricostruiti applicando un sistema di medie pesate con peso inversamente proporzionale al quadrato delle distanze (Mariani, 2001). Nel caso delle temperature, le stazioni erano state previamente omogeneizzate per le altezze rispetto al punto a valore incognito da ricostruire; ciò è stato ottenuto applicando il gradiente altitudinale ed esposizionale ricavato da Belloni e Pelfini per la Lombardia (Tab. 4.3 e Tab. 4.4).

La temperatura dell'aria è una grandezza fortemente correlata tanto con l'altitudine che con l'esposizione. Pertanto con l'ausilio di un algoritmo di spazializzazione che lavori sui dati di stazioni a valore noto e di cui si conosce quota ed esposizione, è possibile stimare la temperatura per un punto a valore incognito di cui parimenti siano note quota ed esposizione, a condizione di conoscere:

1. il gradiente termico altitudinale medio (giornaliero, decadico, mensile od annuale);
2. l'effetto termico legato all'esposizione (gradiente esposizionale).

Per quanto riguarda il gradiente termico verticale bisogna ricordare che l'atmosfera tipo (secondo l'Organizzazione Internazionale dell'Aviazione Civile - OACI) ha un gradiente troposferico di $0.65^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. Tale gradiente trascura gli effetti termici legati alla vicinanza del suolo e pertanto, trovandoci a lavorare in prossimità di questo, conviene utilizzare gradienti leggermente inferiori².

La situazione migliore si ha tuttavia allorché esistano studi climatologici che abbiano già ricavato i gradienti termici medi per un dato territorio. Ad esempio in tabella 4.3 si riporta il gradiente termico medio mensile ricavato per la Lombardia da Belloni e Pelfini (1987) sulla base delle serie storiche 1970-79 ed utilizzato in questo lavoro, nel quale si sono anche impiegate le correzioni termiche per le restanti esposizioni rispetto a quelle di riferimento (est ed ovest) proposte dagli stessi autori (tabella 4.4).

Tab. 4.3 - Gradiente termico verticale per la Lombardia (Belloni & Pelfini 1987)

	<i>gen</i>	<i>feb</i>	<i>Mar</i>	<i>apr</i>	<i>Mag</i>	<i>giu</i>	<i>lug</i>	<i>ago</i>	<i>set</i>	<i>ott</i>	<i>nov</i>	<i>dic</i>	<i>anno</i>
Temperatura minima ($^{\circ}\text{C}$)	0.57	0.60	0.72	0.70	0.67	0.57	0.57	0.58	0.48	0.48	0.52	0.51	0.63
Temperatura massima ($^{\circ}\text{C}$)	0.35	0.33	0.53	0.55	0.58	0.61	0.51	0.50	0.43	0.39	0.27	0.22	0.48

Tab. 4.4 - Correzioni apportate in funzione dell'esposizione (Belloni & Pelfini, 1987)

	<i>N</i>	<i>NNE</i> <i>NNW</i>	<i>NE</i> <i>NW</i>	<i>ENE</i> <i>WNW</i>	<i>E</i> <i>W</i>	<i>ESE</i> <i>WSW</i>	<i>SE</i> <i>SW</i>	<i>SSE</i> <i>SSW</i>	<i>S</i>
Temperatura massima ($^{\circ}\text{C}$)	-1.3	-1.2	-0.9	-0.5	0	+0.5	+0.9	+1.2	+1.3

² In proposito più di un secolo orsono J. Hann suggerì l'impiego di un gradiente di $0.5^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ per l'area alpina.

Temperatura minima (°C)	-1.0	-0.9	-0.7	-0.4	0	+0.4	+0.7	+0.9	+1.0
-------------------------	------	------	------	------	---	------	------	------	------

Pertanto per stimare il valore della variabile in un punto a valore noto con una determinata altezza ed esposizione sono stati svolti i passi seguenti (Mariani, 2002):

- si sono riportati i valori di tutte le stazioni a pari altezza ed esposizione rispetto al punto incognito (omogeneizzazione rispetto alle altezze ed alle esposizioni);
- si è applicato un algoritmo di spazializzazione per ottenere il valore nei punti incogniti. Il metodo adottato è quello delle **medie ponderate con pesi inversamente proporzionali alle distanze** che si basa su un algoritmo particolarmente adatto alle caratteristiche dell'indagine in esame.

Il metodo delle medie ponderate si basa sul seguente algoritmo:

$$V_p = \frac{\sum_{j=1}^n \Delta \cdot P_j \cdot (1/d_j^n)}{\sum_{j=1}^n (1/d_j^n)} .$$

L'esponente a cui è stata elevata la distanza d_j è stato nel nostro caso posto pari a 2 (pesi inversamente proporzionali al quadrato delle distanze).

L'analisi del campo delle precipitazioni è stata basata anch'essa su un sistema di medie pesate con peso inversamente proporzionale al quadrato della distanza. Tuttavia rispetto alle temperature si evidenzia che la correlazione con la quota non è generalizzabile, in quanto esiste solo con riferimento ad aree ristrette. Ciò è la conseguenza della multiforme casistica dei fenomeni che concorrono nel generare le precipitazioni in un certo sito. Pertanto nell'analisi del campo delle precipitazioni riferita a livello territoriale si è preferito non considerare l'effetto altitudinale, per cui la media pesata è stata svolta senza una preventiva omogeneizzazione.

Metodi alternativi rispetto alle medie ponderate sono rappresentati dai metodi di Kriging, vasta famiglia di metodi (Goovaerts, 1997). Nel caso specifico l'applicazione di tali metodi si è rivelata improponibile in virtù dei seguenti elementi:

1. si era di fronte ai dati giornalieri di 57 anni, il che avrebbe costretto alla titanica impresa di analizzare 20819 campi per ognuna delle tre variabili indagate, per ognuno dei quali si sarebbe resa necessaria un'analisi di semivariogramma specifica ed un'analisi dei risultati conseguiti con il kriging
2. il rischio di non convergenza dei metodi di kriging era molto elevato stante l'irregolare distribuzione ed il non elevato numero di stazioni disponibili su territorio.

4.5. Analisi degli errori

Una volta ottenute le tabelle complete con dati reali e dati ricostruiti si è ravvisata la necessità di svolgere una verifica quantitativa dell'errore insito nel metodo adottato.

Per verificare la bontà della metodologia di ricostruzione adottata, si è sviluppata una procedura che permette di effettuare l'analisi degli errori compiuti durante la formazione della tabella dei dati ricostruiti per le n stazioni.

Allo scopo è stata seguita una procedura del tipo "Cross Validation", che consiste nell'effettuare la costruzione di una tabella (indicata qui come "tabella fittizia"), applicando alla tabella dei dati originari (riferita al periodo 1951-2007), per ogni stazione i, con i che va da 1 a n, il seguente algoritmo (Goovaerts, 1997):

1. si eliminano dalla tabella dei dati originari tutti i dati della stazione i (per i che va da 1 a n);
2. si ricostruiscono forzatamente i dati della stazione i sulla base dei dati di tutte le altre stazioni presenti in tabella originaria, applicando il metodo ordinario (peso inversamente proporzionale al quadrato delle distanze);
3. si procede poi iterativamente per i+1, i+2, ecc., fino a giungere alla stazione n.

La tabella fittizia così ottenuta rappresenta un caso limite i cui livelli di errore sono sicuramente superiori a quelli presenti nella tabella di ricostruzione ordinaria che è stata generata in relazione al caso reale, nel quale ognuna delle stazioni presenta dati più o meno parziali non giungendo mai, tuttavia, ad avere una totale assenza di dati.

Pertanto la tabella fittizia ci è utile per valutare l'errore limite compiuto applicando il metodo di ricostruzione impiegato in questa indagine.

Gli indici di performance del modello di ricostruzione

La matrice fittizia dei valori simulati viene confrontata con la serie dei dati osservati (dati originari), ricavando alcuni indici che descrivono l'accordo tra i dati misurati e simulati utili per valutare le performance dei modelli di simulazione (Zierl, 2001). In particolare sono stati applicati i seguenti indici di performance:

Coefficiente di determinazione (R²)

$$R^2 = \frac{\sum_i (S_i - \bar{O})(O_i - \bar{O})}{\sum_i (S_i - \bar{O})^2 \sum_i (O_i - \bar{O})^2}$$

dove S_i rappresenta il dato simulato nel mese i, con $i=1, \dots, N$, O_i sono i dati osservati e $\bar{O}$ rappresenta la media delle osservazioni. Il coefficiente di determinazione R^2 esprime la frazione della variabile misurata che è spiegata dal modello. Il suo valore si approssima ad uno per simulazioni accurate.

Errore Quadratico Medio (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\sum_i (S_i - O_i)^2 / N}$$

RMSE è una misura dell'ordine di grandezza dell'errore e cioè delle deviazioni dei valori simulati S_i rispetto agli osservati. Il valore ottimale per l'indice è zero.

Efficienza del modello secondo Nash-Sutcliffe (ME)

$$ME = 1 - \left(\sum_i (O_i - S_i)^2 / \sum_i (O_i - \bar{O})^2 \right)$$

ME è l'indice che quantifica il miglioramento del modello rispetto ad una situazione nominale di riferimento data dalla media delle osservazioni. Valori negativi indicano che la distanza tra i valori osservati e simulati $\sum_i=1(S_i-O_i)^2$ è maggiore della distanza tra i valori osservati e la loro media $\sum_i=1(O_i-\bar{O})^2$. In tal caso, la media delle osservazioni è uno stimatore migliore per la variabile studiata. Quando invece ME è positivo, le stime del modello sono migliori della media dei valori osservati.

L'espressione tende ad 1 quando i valori simulati tendono verso quelli osservati.

Coefficiente di massa residua (CRM)

$$CRM = (\sum_i O_i - \sum_i S_i) / \sum_i O_i$$

Un valore maggiore di zero mostra che il modello globalmente sottostima la variabile ($O < S$). viceversa, un valore negativo di CRM indica che il modello tende a sovrastimare i valori della variabile ($O > S$) (Bechini L.,1999).

Risultati dell'analisi degli errori per le precipitazioni

L'analisi statistica del tipo "Cross Validation" eseguita secondo quanto descritto nei paragrafi precedenti ha portato ad ottenere, per le precipitazioni, una serie di indici complessivi per ogni stazione, contenuti nella tabella 4.5. La distribuzione spaziale dell'Errore quadratico medio percentuale è riportata in fig. 4.2.

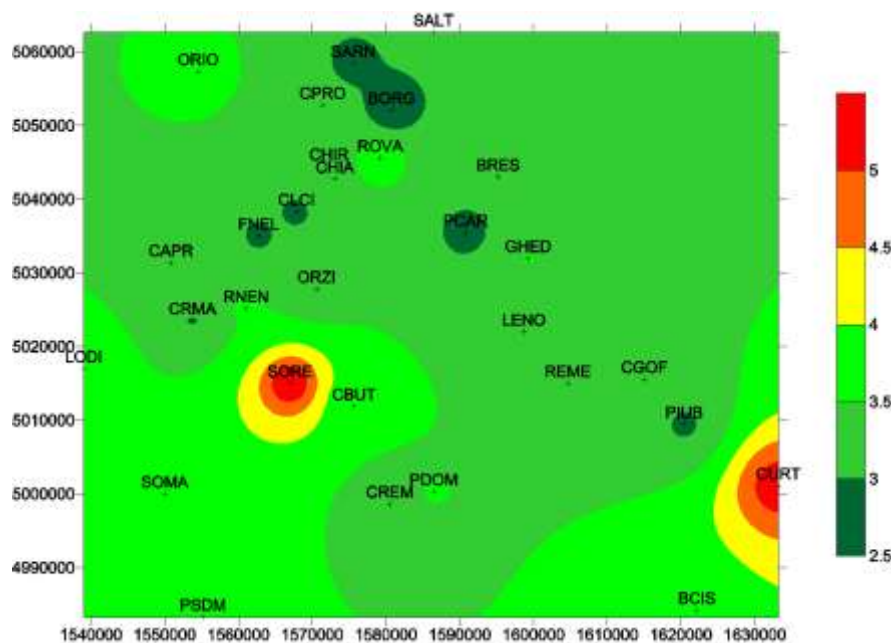


Fig. 4. 2 – Distribuzione spaziale dell'errore quadratico medio percentuale per le precipitazioni

Si osservi che le due stazioni di Soresina e Curtatone appaiono notevolmente disomogenee rispetto alle altre stazioni analizzate manifestando RMSE% anomalmente elevati ed efficienza ME negativa. L'ipotesi che tale disomogeneità derivi da cause climatiche è relativamente remota

stante l'omogeneità territoriale che si traduce in campi precipitativi regolari, come quelli mostrati da Lino Cati nel suo classico testo Idrografia e idrologia del Po (1981). Più probabile è dunque che si tratti di una disomogeneità fittizia frutto della scarsa qualità dei dati delle due stazioni.

Tab. 4.5 – Indici complessivi di errore del test di cross-validation effettuato sui dati pluviometrici ricostruiti delle 30 stazioni di partenza. NVAL =numero valori, R2=Coefficiente di determinazione, RMSE= Errore Quadratico Medio, ME= Efficienza del modello, CRM= Coefficiente di massa residua.

	<i>acronimo</i>	<i>NVAL</i>	<i>RMSE</i>	<i>RMSE%</i>	<i>R₂</i>	<i>ME</i>	<i>CRM</i>
		[n]	[mm]	[%]		[mm]	
Breda Cisoni	BCIS	3098	5.93	3.79	0.46	0.42	-0.37
Borgonato	BORG	5012	6.44	2.57	0.43	0.4	-0.05
Brescia	BRES	4349	7.83	3.06	0.62	0.62	0.07
Capralba	CAPR	2043	8.52	3.41	0.37	0.37	0
Casalbuttano	CBUT	8005	7.35	3.65	0.13	-0.01	-0.13
Castelgoffredo	CGOF	2036	6.96	3.4	0.41	0.38	-0.19
Chiari	CHIA	7619	6.63	3.53	0.3	0.08	-0.35
Chiari_prov_bs	CHIR	3542	8.95	3.3	0.65	0.63	0.07
Calcio	CLCI	7671	7.44	2.9	0.48	0.48	0.05
Capriolo	CPRO	3966	9.81	3.08	0.52	0.51	0.18
Cremona	CREM	18623	6.91	3.12	0.4	0.35	-0.07
Crema	CRMA	15783	7.22	2.98	0.26	0.15	-0.08
Curtatone	CURT	3263	6.85	5.31	0.11	-0.58	-0.96
Fontanella	FNEL	8005	6.97	2.92	0.27	0.24	-0.04
Ghedi	GHED	16481	8.11	3.51	0.38	0.21	-0.2
Leno	LENO	3935	8.89	3.47	0.73	0.68	0.13
Lodi	LODI	3845	7.75	3.86	0.41	0.41	-0.2
Orio al Serio	ORIO	7902	10.54	3.85	0.28	0.24	0
Orzinuovi	ORZI	3912	8.94	3.15	0.37	0.37	0.21
Poncarale	PCAR	4362	7.94	2.81	0.48	0.47	0.26
Persico Dosimo	PDOM	2782	7.38	3.52	0.29	0.26	-0.13
Piubega	PIUB	4339	6.77	2.93	0.32	0.18	0.01
Piacenza - San Damiano	PSDM	7911	8.26	3.52	0.25	0.22	0.03
Remedello	REME	3602	7.1	3.33	0.35	0.32	-0.09
Romanengo	RNEN	7668	8.75	3.54	0.04	-0.17	0.1
Rovato	ROVA	6618	8.82	3.92	0.21	-0.04	-0.14
Sale Marasino	SALT	3473	11.81	3.09	0.26	0.24	0.31
Sarnico	SARN	3909	8.24	2.89	0.35	0.27	0.05
Somaglia Ersaf	SOMA	3023	8.05	3.9	0.42	0.35	-0.09
Soresina	SORE	2696	10.08	5.52	0.14	-0.64	-0.52

Risultati dell'analisi degli errori per le temperature

Nel territorio oggetto d'indagine i valori di temperatura seguono un andamento assai più regolare rispetto a quello delle precipitazioni, come mostrano gli indici complessivi di errore di rico-

struzione relativi alle singole stazioni per le minime e le massime (tabelle 4.6 e 4.7). La distribuzione spaziale degli errori quadratici medi appare più regolare per le temperature massime (fig. 4. 3) che per le minime (fig. 4.4). Ciò si spiega con il fatto che le temperature minime rispetto alle massime risentono maggiormente delle particolarità a microscala (uso del suolo, tipo di copertura vegetale, giacitura, esposizione, ecc.).

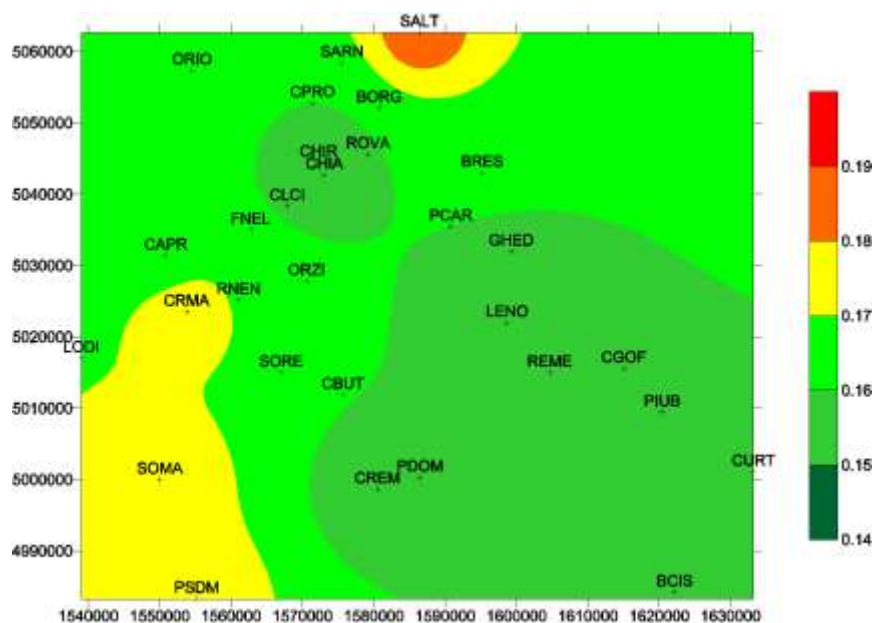


Fig. 4. 3 – Distribuzione spaziale dell'errore quadratico medio % per le temperature massime

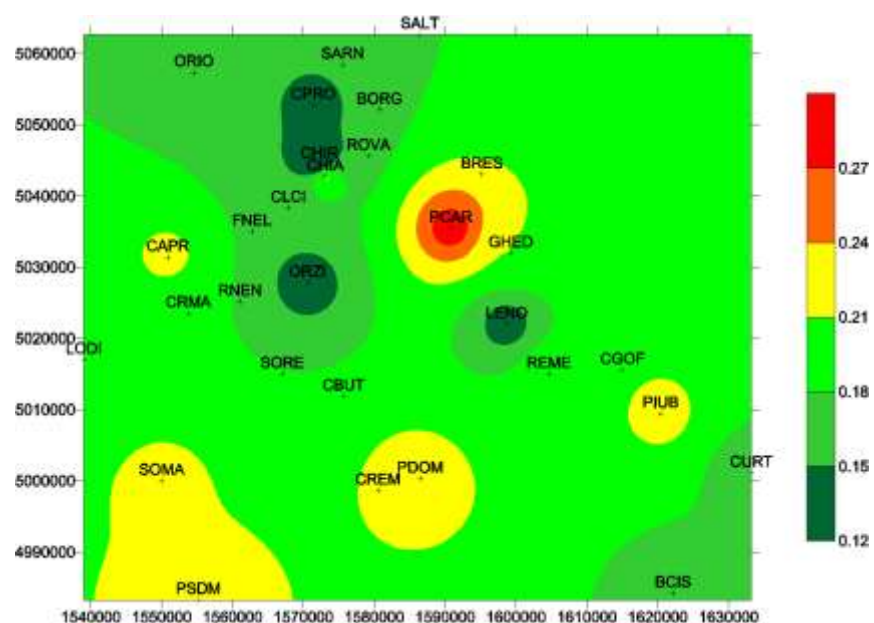


Fig. 4. 4 – Distribuzione spaziale dell'errore quadratico medio% per le temperature minime

Tab. 4.6 – Indici complessivi di errore del test di cross-validation effettuato sui dati di temperatura massima ricostruiti delle 21 stazioni di partenza. NVAL =numero valori, R2=Coefficiente di determinazione, RMSE= Errore Quadratico Medio, ME= Efficienza del modello, CRM= Coefficiente di massa residua.

	<i>acronimo</i>	<i>NVAL</i>	<i>RMSE</i>	<i>RMSE%</i>	<i>R₂</i>	<i>ME</i>	<i>CRM</i>
Breda Cisoni	BCIS	2982	3.07	0.15	0.97	0.97	0.01
Capralba	CAPR	2028	3.07	0.16	0.98	0.98	0.03
Castelgoffredo	CGOF	1981	3.04	0.16	0.97	0.97	0
Chiari	CHIA	8878	2.9	0.16	0.94	0.94	0.03
Chiari_prov_bs	CHIR	3539	2.96	0.15	0.99	0.99	-0.01
Capriolo	CPRO	3964	3.09	0.16	0.98	0.98	-0.02
Cremona	CREM	17273	2.68	0.15	0.97	0.97	-0.02
Crema	CRMA	2742	3.18	0.18	0.96	0.96	-0.06
Curtatone	CURT	3244	2.99	0.16	0.97	0.97	-0.02
Ghedi	GHED	12633	2.75	0.16	0.97	0.97	0
Leno	LENO	3932	3.14	0.15	0.99	0.99	0.02
Lodi	LODI	3858	3.02	0.17	0.97	0.97	-0.03
Orio al Serio	ORIO	2814	3.03	0.17	0.98	0.98	0.01
Orzinuovi	ORZI	3904	3.37	0.16	0.98	0.97	0.04
Poncarale	PCAR	4250	3.05	0.16	0.98	0.98	-0.01
Persico Dosimo	PDOM	2696	3.13	0.16	0.96	0.96	-0.02
Piubega	PIUB	2865	3.11	0.16	0.97	0.96	-0.05
Piacenza - San Damiano	PSDM	2346	3.17	0.18	0.96	0.96	0.03
Remedello	REME	1411	3.32	0.16	0.96	0.96	0.04
Sale Marasino	SALT	1503	3.74	0.19	0.92	0.91	0.11
Somaglia Ersaf	SOMA	2628	3.18	0.18	0.97	0.97	-0.01

Tab. 4.7 – Indici complessivi di errore del test di cross-validation effettuato sui dati di temperatura minima ricostruiti delle 20 stazioni di partenza. NVAL =numero valori, R2=Coefficiente di determinazione, RMSE= Errore Quadratico Medio, ME= Efficienza del modello, CRM= Coefficiente di massa residua.

	<i>acronimo</i>	<i>NVAL</i>	<i>RMSE</i>	<i>RMSE%</i>	<i>R₂</i>	<i>ME</i>	<i>CRM</i>
Breda Cisoni	BCIS	2847	1.33	0.16	0.97	0.97	-0.03
Capralba	CAPR	2031	1.62	0.22	0.95	0.95	-0.15
Castelgoffredo	CGOF	1971	1.97	0.21	0.93	0.93	0.16
Chiari	CHIA	5575	2.09	0.22	0.92	0.92	0.12
Chiari_prov_bs	CHIR	3540	0.77	0.09	0.99	0.99	0.02
Capriolo	CPRO	3964	1.19	0.14	0.98	0.98	-0.04
Crema	CRMA	2711	1.44	0.18	0.96	0.96	-0.01
Curtatone	CURT	3190	1.21	0.16	0.97	0.97	-0.06
Ghedi	GHED	12663	1.67	0.21	0.96	0.95	-0.01
Leno	LENO	3930	1.05	0.13	0.98	0.98	-0.04
Lodi	LODI	3847	1.58	0.18	0.96	0.96	0.09
Orio al Serio	ORIO	2870	1.41	0.17	0.96	0.96	-0.01
Orzinuovi	ORZI	3909	1.04	0.13	0.98	0.98	-0.03
Poncarale	PCAR	4248	2.02	0.29	0.93	0.93	-0.22
Persico Dosimo	PDOM	2549	1.72	0.23	0.95	0.94	-0.15
Piubega	PIUB	2862	1.7	0.22	0.95	0.95	-0.16
Piacenza - San Damiano	PSDM	2343	1.74	0.23	0.95	0.95	0.05
Remedello	REME	1414	1.75	0.2	0.95	0.95	-0.09

Sale Marasino	SALT	1489	1.64	0.18	0.95	0.94	0.11
Somaglia Ersaf	SOMA	2597	1.74	0.22	0.95	0.95	-0.06

4.6. La generazione dei dati per il software

Partendo dai dati di precipitazione e di temperatura massima e minima sono stati generati i files di input necessari per il software di bilancio idrico IDRAGRA sviluppato dall'Istituto di Idraulica della Facoltà di Agraria di Milano (Ortuani et al., 2005). Tali files hanno il formato riportato in tabella 4.8. In particolare i dati di radiazione solare globale (RG_CORR) sono stati prodotti applicando alle temperature massime e minime il modello di ricostruzione di Campbell e Donatelli (Bechini et al., 2000); tali modelli sono descritti nel paragrafo successivo; i dati di umidità relativa minima e massima sono stati invece prodotti a partire dalle temperature massime e minime applicando un modello che ipotizza la costanza del rapporto di mescolanza che è supposto per tutto il giorno pari a quello che si registra all'alba in coincidenza con un'umidità supposta pari al 100% (Mariani, 2001).

Tab. 4.8 – Formato dati di input del software Idragra.

T_{max}	T_{min}	P_{tot}	U_{max}	U_{min}	V_{med}	RG_CORR
4.2	-7.7	0.0	90.1	51.9	1.8	6.3
1.0	-6.1	0.0	89.0	65.1	1.9	4.5
1.5	-7.1	0.0	84.6	58.2	2.2	4.6
2.4	-5.1	0.0	90.1	64.6	1.8	4.9
5.3	-6.6	0.0	86.0	49.9	2.1	6.6
8.7	-6.2	0.0	86.0	43.4	2.1	7.0
7.8	-3.6	0.0	94.0	55.5	1.5	6.3
12.7	-3.3	0.0	87.0	42.0	2.0	7.6
14.5	-5.0	0.0	83.0	34.1	2.3	7.7
8.4	-2.7	0.0	91.9	55.1	1.7	5.2
6.7	1.4	0.0	97.8	80.0	0.9	1.8
9.8	3.3	0.0	95.0	71.4	1.3	3.8
8.4	2.0	0.2	98.0	75.1	0.9	3.4
10.9	1.9	0.0	97.8	66.1	0.9	6.1
8.7	-1.0	0.0	96.0	62.7	1.2	4.5
6.4	2.9	0.0	95.0	83.7	1.3	1.7

4.7. Algoritmi per la ricostruzione della radiazione solare e della umidità relativa

Il legame fra temperatura giornaliera in superficie e radiazione globale è facilmente intuibile pensando che in giornate con forte copertura nuvolosa e bassa radiazione solare globale l'escursione è molto ridotta (Mariani, 2002).

Ciò spiega lo sviluppo di modelli che a partire dalla temperatura dell'aria consentano di stimare la radiazione globale. In particolare in questo lavoro è stato adottato il modello di Campbell e Donatelli, validato su dati riferiti all'Italia settentrionale (Bechini et al., 2000).

La simulazione è stata eseguita a partire dai dati di temperatura massima e minima del giorno n e di temperatura minima del giorno $n+1$. I valori di radiazione solare globale in output sono in esposti in MJ/m².

Il modello opera con riferimento al giorno dell'anno doy (espresso come giorno dell'anno e cioè nel range 1..366) per un luogo di latitudine $lat1$ con coordinate UTM x_{utm} ed y_{utm} e l'emissività τ con cielo sereno limpido adottata è stata pari a 0.72. L'algoritmo prevede due fasi successive:

A) calcolo della radiazione potenziale al di fuori dell'atmosfera terrestre:

1. calcolo del fattore di distanza $dd2$ del Sole:

$$dd2 = 1 + 0.0334 \cdot \cos(0.01721 \cdot doy - 0.0552)$$

2. calcolo della declinazione d :

$$d = \arcsin(0.39785 \cdot \sin(4.869 + 0.0172 \cdot doy + 0.03345 \cdot \sin(6.224 + 0.0172 \cdot doy)))$$

3. calcolo della semidurata del giorno hs :

$$hs = \arccos(-\tan(d) \cdot \tan(lat1))$$

4. calcolo della radiazione potenziale nel giorno doy :

$$potrad = 117.5 \cdot dd2 \cdot (hs \cdot \sin(lat1) \cdot \sin(d) + \cos(lat1) \cdot \cos(d) \cdot \sin(hs)) / \pi$$

B) stima della radiazione reale:

1. calcolo delle coordinate normalizzate xt e yt :

$$xt = (x_{utm} - 3600000) / 100000$$

$$yt = (y_{utm} - 4800000) / 100000$$

2. calcolo parametri empirici b e tnc :

$$b = 1.6 + 0.05 \cdot xt - 1.78 \cdot yt^2 - 0.173 \cdot xt^2 + 0.139 \cdot xt \cdot yt + 0.739 \cdot yt^2 + 0.029 \cdot xt^2 \cdot xt - 0.003 \cdot xt^2 \cdot yt - 0.004 \cdot xt \cdot yt^2 - 0.114 \cdot yt \cdot yt^2;$$

$$tnc = [137.9 + 101.1 \cdot xt - 156.7 \cdot yt - 41.45 \cdot xt^2 - 54.57 \cdot xt \cdot yt + 73.49 \cdot yt^2 + 3.886 \cdot xt^2 \cdot xt + 11.397 \cdot xt^2 \cdot yt + 7.511 \cdot xt \cdot yt^2 - 11.957 \cdot yt \cdot yt^2]$$

3. calcolo della radiazione giornaliera in MJ in base ai dati termici medi ed estremi del giorno ($tmed$, $tmin$ e $tmax$) ed alla minima $tmin_succ$ del giorno successivo:

$$estrad = potrad \cdot [\tau \cdot (1 - \exp(-b \cdot (0.017 \cdot \exp(\exp(-0.053 \cdot tmed))) \cdot (tmax - (tmin + tmin_succ) / 2)^2 \cdot \exp(tmin / tnc))]$$

Le performance del modello sono illustrate attraverso i due esempi di run riferiti ad una località della pianura lombarda (tabelle 4.9 e 4.10).

Tab. 4.9 - Radiazione globale del 21 giugno a Lodi stimata con l'algoritmo di Campbell – Donatelli per diversi valori di temperatura minima e massima (la minima del giorno successivo è stata posta pari alla minima aumentata di 1°C) (Mariani, 20001)

		<i>Temperatura minima</i>			
		<i>10</i>	<i>15</i>	<i>20</i>	<i>25</i>
<i>Temperatura massima</i>	<i>15</i>	6,0	0,1	11,4	26,3
	<i>20</i>	18,2	6,7	0,1	12,7
	<i>25</i>	26,2	19,7	7,6	0,1
	<i>30</i>	29,2	27,3	21,4	8,7
	<i>35</i>	29,9	29,6	28,2	23,2

Tab. 4.10 - Radiazione globale del 21 dicembre a Lodi stimata con l'algoritmo di Campbell – Donatelli per diversi valori di temperatura minima e massima (la minima del giorno successivo è stata posta pari alla minima aumentata di 1°C)

		<i>Temperatura minima</i>			
		<i>-5</i>	<i>0</i>	<i>5</i>	<i>10</i>
<i>Temperatura massima</i>	<i>0</i>	1,39	0,02	2,35	5,92
	<i>5</i>	4,1	1,35	0,02	2,42
	<i>10</i>	6,03	4,11	1,39	0,02
	<i>15</i>	6,95	6,1	4,27	1,5
	<i>20</i>	7,31	7,03	6,28	4,54

I valori giornalieri di umidità relativa minima (U_n) e massima (U_x) sono molto meno facilmente reperibili rispetto ai dati giornalieri di temperatura minima (T_n) e massima (T_x) ed inoltre la loro qualità è spesso scadente. Pertanto i valori di U_x e U_n sono stati ricavati a partire dai dati di temperatura minima e massima.

La stima della temperatura di rugiada T_d si basa sulle seguenti ipotesi:

1. $T_d = T_n$, il che è si avvicina al vero in condizioni di saturazione
2. costanza nelle 24 ore del valore di T_d , fatto che di norma è rispettato relativamente bene in climi umidi, meno bene in quelli aridi

Pertanto conoscendo T_x e T_d saremo in grado di calcolare U_n (umidità relativa in coincidenza con il massimo termico) attraverso l'equazione:

$$U_n = e_a / e_w * 100$$

ove e_s è la pressione di vapor saturo calcolata per T_x con la formula

$$e_s = 5.6444 * e^{(0.0679 * t)}$$

mentre e_a è la pressione di vapore attuale calcolata in base alla temperatura di rugiada con la formula di Tetens³ (Saucier, 1989).

³ La formula Tetens (Saucier, 1989) stima la pressione di vapore attuale e_a nel modo seguente:

$$e_a = 6.11 * 10^{a * T_d / (T_d + b)}$$

ove T_d è la temperatura di rugiada e le costanti a e b valgono rispettivamente 7.5 e 273.3 per l'acqua liquida e 9.5 e 265.5 per il ghiaccio

Infine l'umidità relativa massima U_x è stata arbitrariamente posta pari al 100%.

4.8. Considerazioni sulle serie storiche termopluvio metriche 1951-2007

I valori medi annui di precipitazione delle 30 stazioni indagate mostrano una sostanziale stazionarietà come appare dalla figura 5 (media 1951-1988=912 mm; media 1989-2006=870 mm).

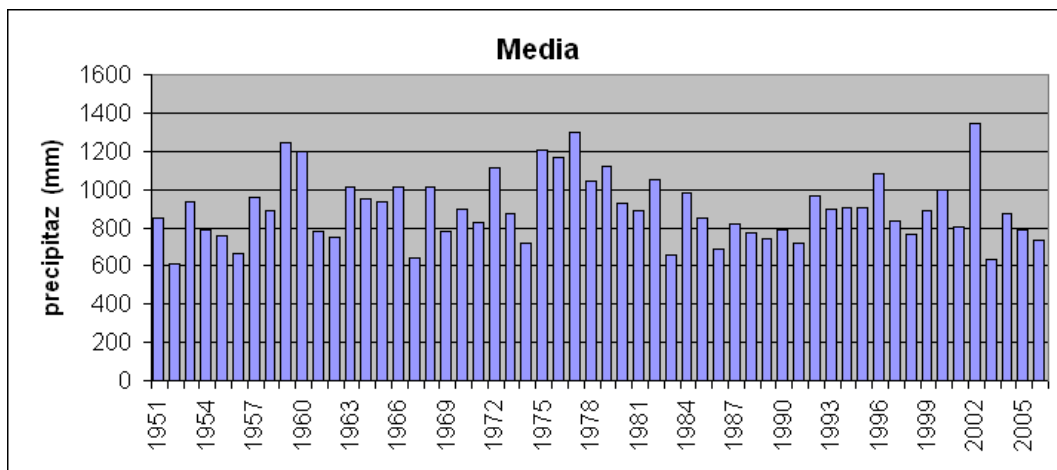


Fig. 4. 5 - Precipitazione annua (media di 30 stazioni)

La deviazione standard dei valori medi annui delle 30 stazioni (figura 6) indica invece un aumento della variabilità intorno alla media (media delle deviazioni standard 1951-1988=92 mm; media 1989- 2006=188 mm).

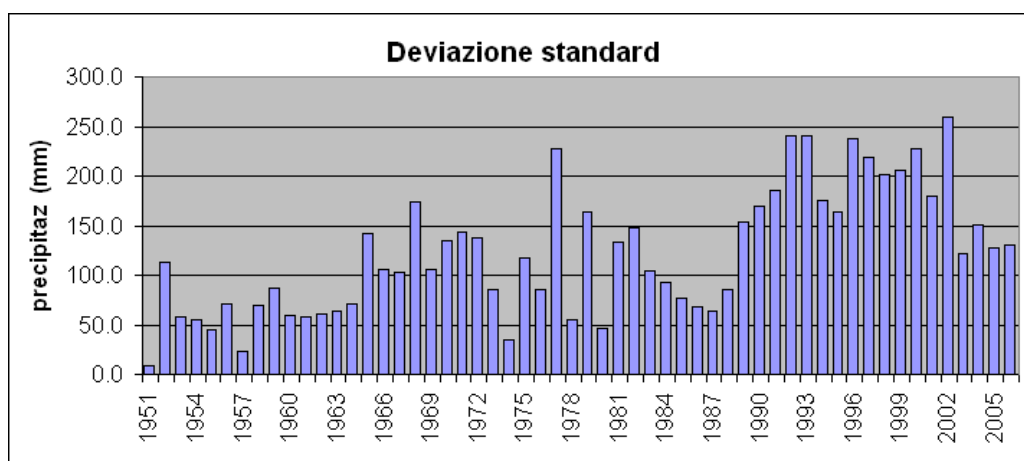


Fig. 4. 6 – Deviazione standard della precipitazione annua (dati riferiti a 30 stazioni)

Tale fenomeno appare climatologicamente interessante, anche perché si osserva una discontinuità intorno al 1989, che coincide con un importante cambiamento climatico a livello europeo avvenuto a fine anni '80 (Werner et al., 2000). Anche per questa ragione l'aumento della varia-

bilità spaziale delle precipitazioni⁴ sarebbe meritevole di un approfondimento a livello di dati stagionali e mensili, trattandosi di un fenomeno con conseguenze rilevanti sul rifornimento idrico delle colture.

Le temperature medie delle massime annue (dati di 21 stazioni) mostrano una sostanziale stazionarietà fino alla fine degli anni '80. Segue un aumento sensibile come appare dalla figura 4.7 (media 1951-1988=17 °C; media 1989- 2006=18.9 °C).

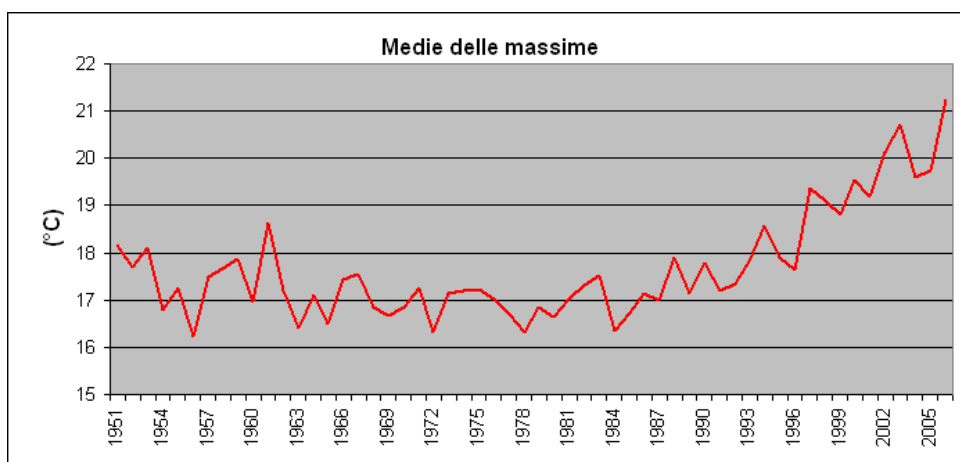


Fig. 4.7 – Temperatura media delle massime annue (21 stazioni)

Tale aumento ha avuto effetti significativi sul rifornimento idrico delle colture in quanto si traduce in un aumento dei consumi evapotraspirativi. La deviazione standard segna anch'essa un aumento della variabilità come appare dalla figura 4.8 (media 1951-1988=0.27 °C; media 1989-2006=0.56 °C).

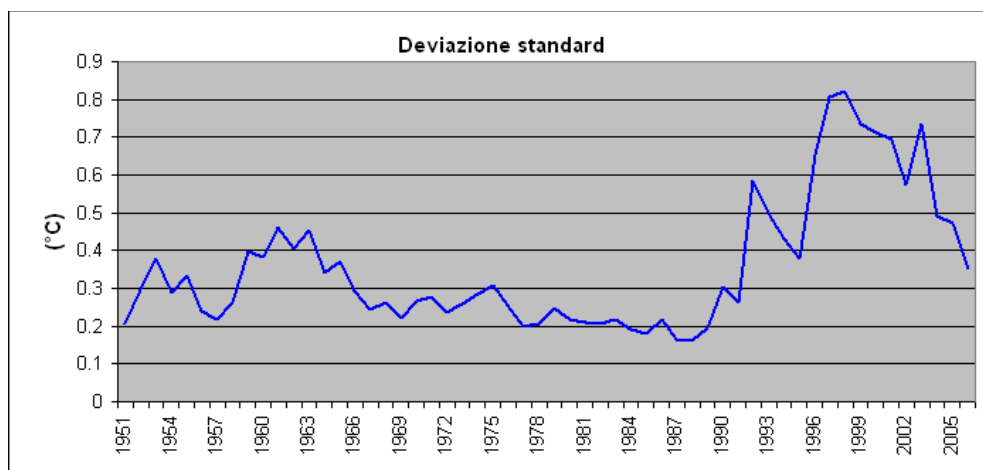


Fig. 4.8 – Deviazione standard delle temperature medie massime annue (21 stazioni)

Le temperature medie delle minime annue elaborate sui dati di 20 stazioni (figura 4.9) mostrano invece una sostanziale stazionarietà lungo tutta la serie (media 1951-1988=8.2 °C; media 1989- 2006=8.1 °C).

⁴ Non è da escludere che tale fenomeno sia almeno in parte motivato dal peggioramento della qualità dei dati

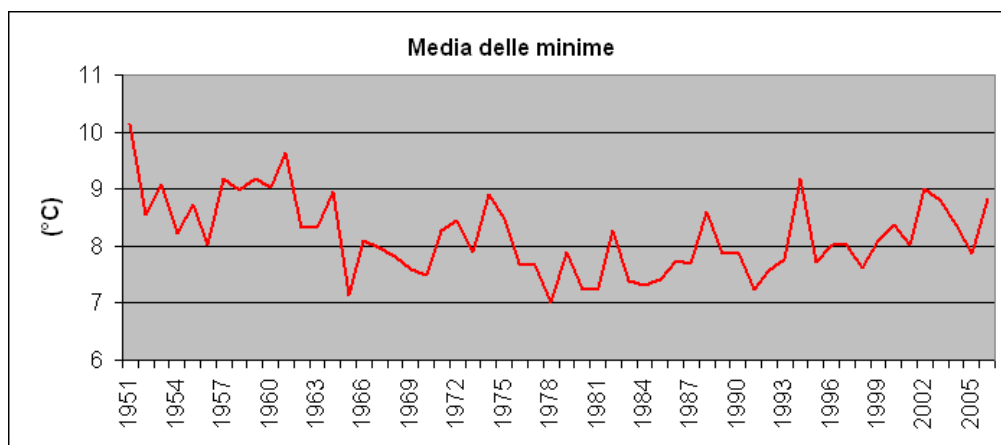


Fig. 4.9 – Temperatura media delle minime (media di 20 stazioni)

La deviazione standard attesta un aumento della variabilità come appare dalla figura 4.10 (media 1951-1988=0.27 °C; media 1989- 2006=0.56 °C).

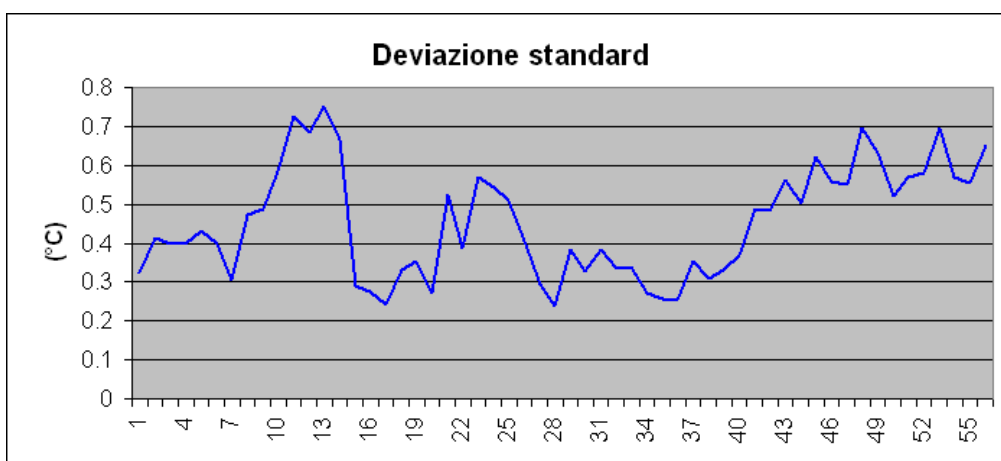


Fig. 4.10 – Deviazione standard delle temperature medie minime annue (20 stazioni)

Il fatto che l'aumento delle temperature registrato dalla fine degli anni '80 si manifesti più sulle massime che sulle minime depone a favore di una causa circolatoria sinottica. Infatti è noto che mentre le temperature minime risentono soprattutto di fattori locali o a microscala quelle massime risentono maggiormente di fenomeni che avvengono a scala maggiore quale il succitato cambiamento di fase del NAO.

Anche quest'ultimo fenomeno sarebbe meritevole di un approfondimento a livello di dati stagionali e mensili che tuttavia esula dagli obiettivi del presente lavoro.

4.9. Considerazioni sul regime e sulla distribuzione spaziale delle variabili

Il clima del bacino padano presenta caratteri di transizione fra il macroclima mediterraneo proprio dell'Europa meridionale (tipo Csa di Koeppen) ed il macroclima oceanico proprio dell'Europa centrale (tipo Cfb di Koeppen) (Strahler e Strahler, 2003). In particolare il minimo pluviometrico invernale può essere considerato segnale di oceanicità mentre il minimo pluviometrico estivo può essere considerato segnale di mediterraneità. Ai due minimi si intervallano due massimi (primaverile ed autunnale) che danno luogo ad un caratteristico regime pluviometrico equinoziale.

La distribuzione spaziale delle precipitazioni dell'areale considerato in questo studio (figura 4.11) mostra il gradiente sudovest – nordest caratteristico della pianura lombarda.

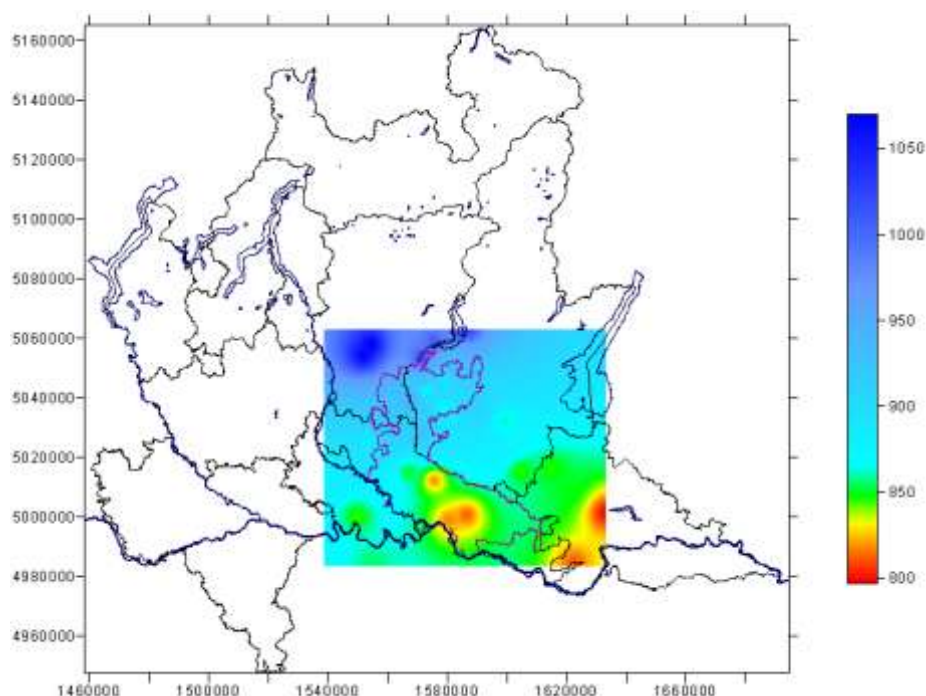


Fig. 4.11 – Distribuzione spaziale delle precipitazioni medie annue (mm)

Tale gradiente è frutto del sovrapporsi di eventi pluviometrici frontali (in particolare le situazioni di fronte caldo in cui masse d'aria caldo-umida di origine mediterranea scorrono su masse d'aria fredda pre-esistente) e di fenomeni convettivi temporaleschi, la cui frequenza aumenta progressivamente all'avvicinarsi dell'arco alpino.

Le carte delle temperature medie annue (figura 4.12) mostrano una notevole omogeneità dei valori.

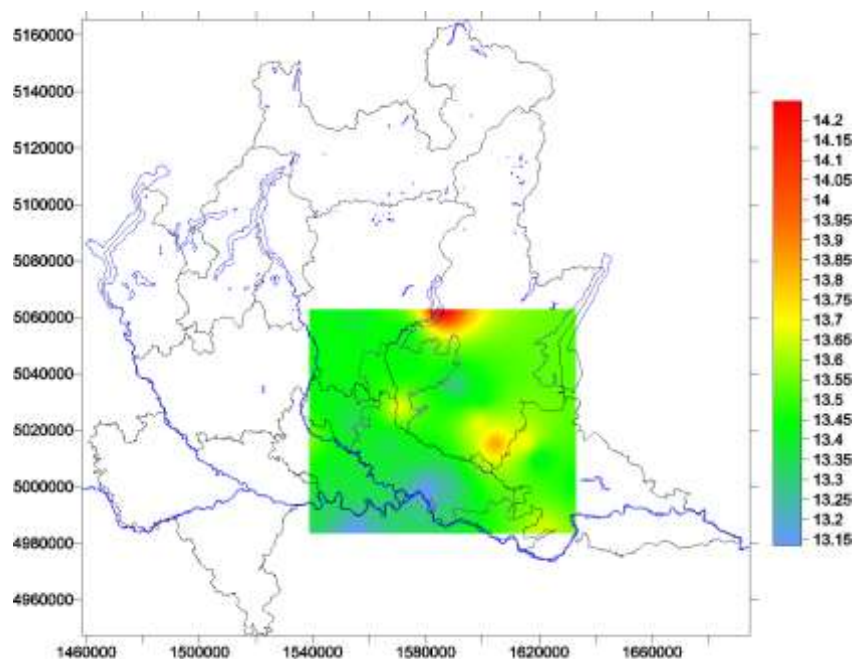


Fig. 4.12 – Distribuzione spaziale delle temperature medie annue (°C)

Si osserva comunque una maggiore mitezza nell'area dell'alta pianura e del lago d'Iseo rispetto alla bassa pianura, che risente invece dei drenaggi di aria più fredda che ogni notte scivolano dalla Prealpi verso il fondo del "catino" padano. Tali drenaggi sono caratteristici delle fasi di tempo anticiclonico, che interessano il territorio in esame per circa 200-220 giorni l'anno.

5. VALUTAZIONE DEI FABBISOGNI IRRIGUI

In questo lavoro sono state sperimentate nuove metodologie, rispetto ai precedenti lavori dell'Istituto di Idraulica Agraria, per ottenere una più accurata stima dei fabbisogni, ad esempio l'utilizzo delle conoscenze sulla rete irrigua opportunamente strutturate. Altre innovazioni sono:

- **Analisi di dettaglio della rete dei canali (zona bresciana):** su una zona campione si è provveduto ad eseguire un'analisi di dettaglio sulla rete irrigua ottenendo i fabbisogni a scala di dugale e permettendo un'analisi del bilancio per singolo canale.
- **Maggiore puntualità del confronto tra portate derivate e portate di fabbisogno:** cumulazione dei fabbisogni colturali stimati dal modello in modo da ottenere le portate di fabbisogno da derivare alla presa del canale primario utilizzando le efficienze dedotte dall'analisi della rete irrigua.
- **Adozione di un orizzonte lungo e individuazione di un trend dei fabbisogni, analisi dei cambiamenti in corso:** grazie al lavoro del prof. Mariani è stato possibile simulare i fabbisogni su un lungo orizzonte temporale, si è quindi potuto osservare che sussiste un cambiamento climatico in corso che porta differenze importanti nei fabbisogni irrigui. Si è stabilito un orizzonte massimo consistente con il periodo attuale: 1991-2006. Questo orizzonte è simile a quello comunemente utilizzato dall'Istituto di Idraulica Agraria (1993-2005 intervallo scelto per ragioni legate alla presenza di dati validi). Le serie lunghe hanno perciò permesso di individuare e analizzare il cambiamento climatico in corso aprendo ulteriori possibilità di ricerca in questa direzione.
- **Utilizzo di carte di efficienza di metodo irriguo a scorrimento basate su dati pedologici.**
- **Stima di massima degli apporti irrigui da falda.**
- **Rasterizzazione in due passaggi per migliorare l'aderenza locale a piccola scala:** questo procedimento assicura la consistenza delle celle all'uso del suolo dominante entro l'area della singola cella e permette di ricavare stime accurate su territori di piccola estensione quali i dugali. Di contro produce uno scostamento rispetto alla distribuzione percentuale delle classi di uso modificando l'area attribuita alle diverse colture. Per ovviare a questa distorsione si è provveduto, in fase di analisi e di accorpamento, a riportare i fabbisogni a quelli corretti attraverso un fattore di correzione, ottenuto dal rapporto tra la superficie irrigua del dugali ottenuta dalla carta SIARL e quella risultante dalla carta raster sviluppata.
- **Spazializzazione del prato (erbaio di erba medica):** si è provveduto ad inserire tra gli usi del suolo simulati l'erba medica, che risulta molto diffusa e che possiede caratteristiche differenti da quelle di altri prati (simulati come al solito con i parametri del prato permanente polifita).

- **Spazializzazione di prati e mais a scala comunale secondo i dati PAC:** nei lavori precedenti la spazializzazione era stata condotta per il solo mais (dividendolo in mais da insilato e mais da granella) secondo zone di varia dimensione, in genere sovra-comunale se non provinciale. La spazializzazione a scala comunale consente di ottenere una aderenza sensibilmente maggiore alla realtà ottenendo quindi delle stime più accurate.

5.1. Glossario

Nel presente rapporto si indicherà con:

- Fabbisogno idrico colturale: apporto idrico da fornire al terreno radicato, in integrazione dell'apporto piovano, in modo che le colture abbiano a la quantità d'acqua necessaria per la crescita in assenza di stress idrico, ovvero l'acqua utilizzata per la traspirazione. Questa grandezza è stata calcolata con il modello Idragra. Il fabbisogno idrico colturale dipende da:
 - tipologia colturale, condizioni meteorologiche e crescita colturale che determinano il fabbisogno evapo-traspirativo della coltura;
 - piovosità la quale che riduce l'integrazione richiesta per soddisfare i fabbisogni;
 - l'apporto idrico utile fornito dalla pioggia dipende a sua volta dal tipo di terreno, dalla sua inclinazione e dalle caratteristiche della coltura.
- Fabbisogno irriguo locale: quantità d'acqua con cui irrigare il campo per fornire allo strato radicato il fabbisogno idrico colturale. Dipende dal metodo irriguo adottato e dalle caratteristiche del suolo. Il fabbisogno irriguo locale risulta maggiore del fabbisogno idrico colturale a causa delle perdite in fase di irrigazione (percolazione, ruscellamento superficiale, evaporazione). Il rapporto tra il fabbisogno idrico colturale e il fabbisogno irriguo locale è l'efficienza del metodo irriguo o efficienza di adacquamento. Per calcolare il fabbisogno irriguo locale si è applicata al fabbisogno idrico colturale un'opportuna efficienza di irrigazione.
- Fabbisogno irriguo al fiume: quantità d'acqua che è necessario derivare dal corso d'acqua in modo che, dopo il trasporto e le relative perdite di adduzione, giunga all'appezzamento il fabbisogno irriguo locale. Il rapporto tra il fabbisogno irriguo locale e il fabbisogno irriguo al fiume è l'efficienza di adduzione.

I tre fabbisogni indicano informazioni differenti e sono tutti e tre utili a definire il sistema irriguo nel suo complesso.

5.2. Preparazione e formattazione degli input per Idragra

Per simulare l'andamento dei fabbisogni con il modello Idragra sviluppato dall'Istituto di Idraulica Agraria (Gandolfi 2004a, b, 2007) è necessario approntare una serie di input che descrivano al modello tutte le caratteristiche del sistema da simulare; questi file sono elencati nella tabella sottostante.

Nel seguito si descrivono succintamente i singoli input e si delineano le procedure utilizzate per la loro preparazione. L'elaborazione della carta di uso del suolo, per la sua complessità e per la mole delle operazioni eseguite, è descritta separatamente in Appendice.

Tab. 5.1 - Tabella degli input da approntare

<i>N°</i>	<i>Nome del file</i>	<i>Nome per esteso</i>	<i>Tipo di input</i>
1	Output	Output della simulazione	Cartella di output
2	CodIDR.txt	Codice di Classe Idrologica	Supporto alla carta idrologica
3	File_meteo.dat	Elenco dei file delle serie meteo	Supporto (File txt)
4	Progetto.txt	Indirizzo cartella di output	Supporto di output (File txt)
5	Simulazione.txt	Scheda cronologica giorni-anni	Supporto (File txt)
6	dominio.asc	Dominio di calcolo	Matrice del dominio di calcolo
7	dren.asc	Classe del Gruppo di drenaggio	Matrice pedologica (ArcView)
8	eff_metodo.asc	Efficienza del metodo irriguo	Matrice dell'eff. di adacquamento
9	eff_rete.asc	Efficienza della rete di adduzione	Matrice dell'eff. di adduzione
10	gr_idr.asc	Classe del Gruppo di drenaggio	Matrice pedologica (ArcView)
11	Meteo_1.asc	Matricei pesi meteo - nearest st.	Matrici dei Pesi Meteo
12	Meteo_2.asc	Matrice pesi meteo - middle st.	Matrici dei Pesi Meteo
13	Meteo_3.asc	Matrice pesi meteo - fareset st.	Matrici dei Pesi Meteo
14	Pendenza.asc	Matrice delle pendenze del suolo	Matrice (DEM, ArcView)
15	TetaI_FC.asc	Field Capacity (I° strato) (fraz.)	Matrice p.idraulici
16	TetaI_r.asc	Residual (I° strato) (frazione)	Matrice p.idraulici
17	TetaI_sat.asc	Saturation (I° strato) (frazione)	Matrice p.idraulici
18	TetaI_WP.asc	Wilting Point (I° strato)(frazione)	Matrice p.idraulici
19	TetaII_FC.asc	Field Capacity (II° strato) (fraz.)	Matrice p.idraulici
20	TetaII_r.asc	Residual (II° strato) (frazione)	Matrice p.idraulici
21	TetaII_sat.asc	Saturation (II° strato) (frazione)	Matrice p.idraulici
22	TetaII_WP.asc	Wilting Point (II° strato) (fraz.)	Matrice p.idraulici
23	Topoietati.asc	Matrice dei topoietati	Matrici dei Pesi Meteo
24	UsoSuolo.asc	Uso del suolo per ogni cella	Matrice con i codici colture
25	1.dat, 2.dat, ...	Codice SAR n°1, 2, ...	Serie meteo
26	classi_CN.dat	Classe di Curve Number	Serie fenologica
27	H.dat	Potenziale di suzione delle piante	Serie fenologica
28	Kcb.dat	Indicatore di fase fenologica	Serie fenologica
29	LAI.dat	Indice di superficie fogliare	Serie fenologica
30	param_colturali.dat	Parametri ausiliari <i>a</i> e <i>p</i>	Serie fenologica
31	Sr.dat	Profondità radicale delle piante	Serie fenologica
32	uso_irriguo.dat	Indicatore di periodo irriguo	Serie fenologica

Nella preparazione degli input, in tutti i processi di rasterizzazione, si è utilizzato il metodo in due fasi descritto nella preparazione della carta di uso del suolo. Questa accortezza garantisce la coerenza delle diverse carte raster. Per la descrizione dei passaggi di rasterizzazione si rimanda al capitolo successivo.

5.3. Serie meteorologiche

Le serie meteo riportano, per ogni giorno e ogni stazione meteo, le 7 grandezze meteo necessarie alla definizione dello stato delle colture e del suolo (Temp max °C, Temp min °C, Pioggia tot mm, Umidità max %, Umidità min %, Velocità del vento m/s, Irraggiamento W/m²).

Le 32 serie fornite dal prof. Mariani, sono state riformattate per adattare alle esigenze del programma Idragra:

- Create le intestazioni necessarie per la lettura delle informazioni e la corretta spaziatura per il formato atteso da IDRAGRA (es. per la serie che originariamente aveva nome "SORE" ed è stata rinominata "30"), le informazioni comprendono latitudine, longitudine, codice numerico e quota sul livello del mare.

Id stazione : 30, Sigla: SORE località: Soresina 45.28 70 30
--

- Suddivisione di ciascuna delle 32 serie di 56 anni in 3 porzioni da 20, 20 e 16 anni (Idragra non accetta serie che abbiano più di 20 anni di lunghezza), è quindi necessario eseguire tre simulazioni distinte e accorparle in post-processazione. Allo stesso modo vengono prodotti tre insiemi di serie delle caratteristiche fenologiche che si accordino con i tre gruppi di serie meteo.

5.4. Dominio di calcolo

Il dominio di calcolo è una carta raster consistente in una matrice georeferenziata in cui sono indicate forma e dimensione delle celle di calcolo, e vengono definite quali celle occorre simulare e quali invece non appartengono all'area di studio.

Tutti i raster di input sono coincidenti, per maglia, origine e dimensioni, con il raster del dominio che funge da stampo. Il raster del dominio ha le seguenti caratteristiche:

Tab. 5.2 - Caratteristiche del dominio

<i>Caratteristica</i>	<i>Valore</i>
Celle totali	67354
Percentuale di celle valide	41%
n° di colonne	238 celle
n° di righe	283 celle
coord. Gauss-Boaga X	1552412.610 m
coord. Gauss-Boaga Y	4985955.067 m
dimensione delle celle	250 x 250 m
Indicatore delle celle vuote	-9999

La fig. 5.1 mostra una raffigurazione della matrice del dominio di calcolo, è composta da quadretti che sono molto piccoli in relazione all'estensione dell'area di studio (si è dovuto aggiungere un ingrandimento per rendere evidenti i quadretti). Ogni quadretto corrisponde ad una cella

del dominio, i quadretti verdi sono le celle da simulare ovvero il dominio di calcolo propriamente detto, mentre le celle in grigio che completano il rettangolo della matrice sono le celle da non simulare.

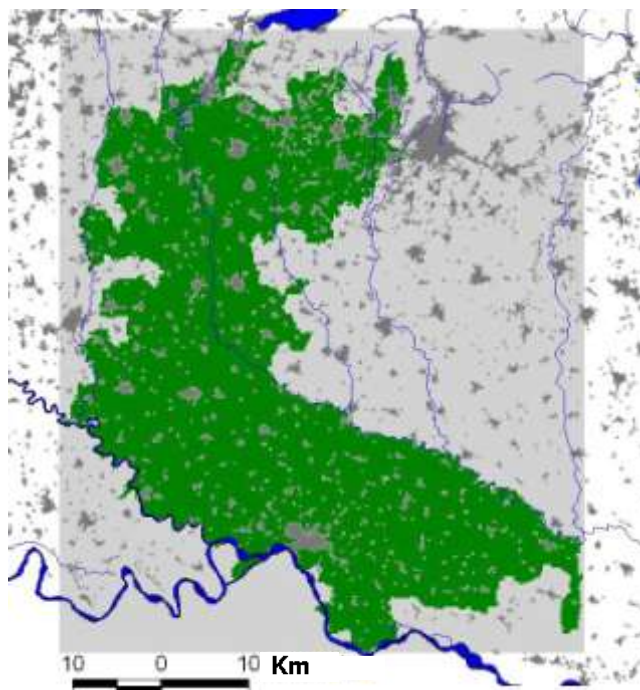


Fig. 5.1 - Rappresentazione del dominio di calcolo inquadrato nel territorio.

5.5. Mappe raster dei pesi meteo

Per quanto l'approntamento delle matrici dei pesi meteo e il loro utilizzo all'interno del modello non contenga elementi di novità rispetto alle ultime applicazioni di Idragra dell'Istituto di Idraulica Agraria, si ritiene che possa essere utile alla comprensione una descrizione dettagliata del calcolo e dell'utilizzo di queste matrici. In questo modo il lettore interessato potrà comprendere come il modello ricrea per ogni cella i valori meteo e quindi farsi un'idea dell'attendibilità dei risultati che si otterranno in merito alla variabilità spazio-temporale della meteorologia.

Le stazioni meteo definiscono i valori delle variabili meteo, per tutta l'estensione temporale delle serie, per le celle del dominio in cui cadono le stazioni. Per effettuare la simulazione occorre che il modello possa definire, a partire dagli input forniti, il valore delle variabili meteo per ogni cella del dominio.

Per provvedere questa operazione il modello, data una cella, cerca le tre stazioni meteo più vicine e, per ciascuna variabile meteo, calcola una media pesata dei valori che la variabile assume per quel giorno della simulazione nelle tre stazioni scelte.

L'operazione condotta per una generica grandezza M è la seguente:

$$M_{(x,y,t)} = \alpha_{(x,y)} M_t^{St1(x,y)} + \beta_{(x,y)} M_t^{St2(x,y)} + \gamma_{(x,y)} M_t^{St3(x,y)}$$

dove : M è la grandezza meteo che si sta calcolando (la medesima formulazione è utilizzata per ogni tipologia di variabile meteo).
 x, y sono le coordinate della cella che si sta calcolando; per ogni giorno della simulazione vengono effettuati i calcoli di simulazione per tutte le celle del dominio.
 t giorno progressivo della simulazione (il valore di t va da 1 a T, lunghezza della simulazione).

$M_t^{St1(x,y)}$ è il valore assunto al giorno t dalla variabile meteo nella stazione che ha codice $St1$, questa è scelta per essere la stazione meteo più vicina alla cella che si sta calcolando; $M_t^{St2(x,y)}$ e $M_t^{St3(x,y)}$ sono rispettivamente i valori forniti dalla seconda e dalla terza stazione più vicina per quel giorno. I codici delle stazioni $St1(x,y)$, $St2(x,y)$ ed $St3(x,y)$ dipendono dalla cella che si sta calcolando ma non dal tempo.

$\alpha_{(x,y)}$ è il peso della stazione più vicina, il suo valore cambia secondo le coordinate della cella ma non dipende dal tempo; $\beta_{(x,y)}$ e $\gamma_{(x,y)}$ sono i pesi della seconda e della terza stazione. I tre pesi hanno sempre somma unitaria.

Siccome i valori $\alpha_{(x,y)}$, $\beta_{(x,y)}$ e $\gamma_{(x,y)}$ sono costanti nel tempo e così anche i codici delle tre stazioni più vicine si è scelto di produrre tre matrici raster che ricalcano il dominio e che contengano queste informazioni. Ad esempio la matrice Meteo_1, presa una cella ad esempio, contiene il codice della stazione più vicina a quella cella e il peso da attribuirle (si utilizza la formulazione: $St1(x,y) \cdot \alpha_{(x,y)}$).

L'attribuzione dei pesi viene fatta con il seguente metodo:

$$P_k(x, y) = \frac{\frac{1}{D_k^2(x, y)}}{\sum_{n=1}^3 \frac{1}{D_n^2(x, y)}};$$

dove:

P_k (che dipende dalle coordinate della cella) è il peso della k-esima stazione più vicina (con $k=1$ si avrà α , per $k=2$ o 3 si avranno β o γ).

D_n è la distanza tra la posizione dell'n-esima stazione più vicina alla cella e il centro della cella di coordinate (x, y) (cella che si sta calcolando).

Quindi i pesi sono proporzionali "all'inverso del quadrato della distanza" (tra il centro della cella e le tre stazioni più vicine): la stazione più vicina ha un peso elevato, man mano che le stazioni si trovano più lontano influenzano sempre meno il valore della grandezza meteo nella cella da calcolare.

Le matrici raster dei pesi meteo hanno i nomi: Meteo_1.asc, Meteo_2.asc, Meteo_3.asc (esiste una quarta matrice chiamata Topoiet.asc che contiene, per ogni cella, il codice della stazione più vicina a quella cella).

La figura 5.2 mostra una raffigurazione 3D dei pesi meteo α , β e γ .

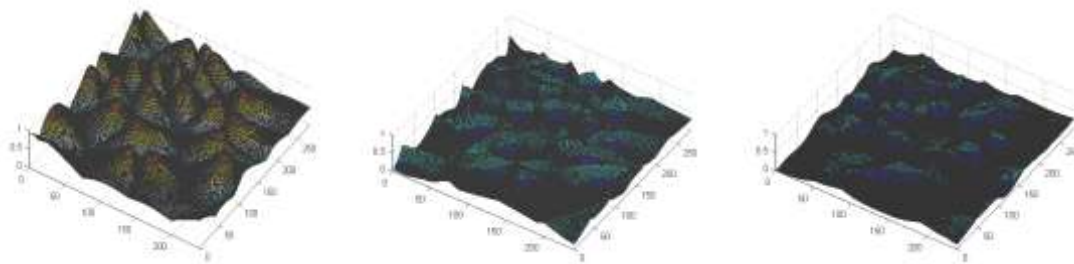


Fig. 5.2 - Mappe di pesi meteo (matrici 1, 2 e 3)

Per una cella di coordinate (x,y) (coordinate nel raster del dominio) e un giorno di simulazione t . Il modello deve attribuire alla cella (x,y) per il giorno t i valori delle sette variabili meteo. Quindi il modello legge i valori delle tre matrici dei pesi meteo nelle medesime coordinate (x,y) della cella che contengono i tre codici delle stazioni meteo più vicine alla cella (x,y) e i rispettivi tre pesi da utilizzare. Quindi cerca tra le serie meteo di input quelle che hanno per nome i codici letti e si sposta lungo le serie per trovare i valori delle variabili per il giorno t , una volta trovati prende in memoria i valori dei sette parametri meteo di ciascuna delle tre stazioni per quel giorno. Applica allora la formula per il calcolo delle variabili meteo per ciascuna delle 7 grandezze (utilizzando sempre gli stessi pesi) mediando, per ogni grandezza, i tre valori delle tre stazioni e applicando i tre pesi estratti dalle matrici dei pesi meteo. Si ottengono così le 7 grandezze meteo per la cella (x,y) per il giorno t .

Questa operazione viene ripetuta per ogni cella del dominio e per ogni giorno della simulazione.

5.6. Parametri colturali

Per definire le caratteristiche delle colture per tutti i giorni della simulazione occorre fornire a Idragra le serie dei parametri colturali: indice di superficie fogliare (LAI), indicatore di fase fenologica (kcb), profondità dello strato radicato (Sr), classe di Curve Number (CN), indicatore del periodo irriguo, potenziale di suzione delle colture e i parametri ausiliari di intercettazione e di disponibilità d'acqua (alfa e p). Queste serie sono della medesima lunghezza delle serie meteo e, per ogni grandezza, nel file di input si trova una colonna per ogni coltura da simulare.

Fornire questi parametri consente di ottenere una risposta delle colture che sia congrua all'andamento termico del particolare anno che si va a simulare; il metodo utilizzato per la stima dei parametri è quello dei "gradi giorno". Per le serie dei parametri colturali è stato necessario operare la ripartizione temporale descritta per le serie meteo.

Per il calcolo dei parametri si utilizza l'applicativo "Crop_Coeff.exe" che è parte integrante di Idragra. I parametri colturali sono calcolati a partire dalla serie delle temperature massime e dalla serie delle temperature minime ottenute mediando: in un caso le temperature massime registrate nelle 32 stazioni della rete meteo utilizzata, nell'altro mediando le temperature minime delle medesime stazioni.

I files relativi a questi parametri sono: kcb, classi_CN, LAI, uso_irriguo, H, Sr e param_colturali.

5.7. Pendenze

Il raster delle pendenze medie di ogni cella è necessario per calcolare il deflusso superficiale delle piogge intense secondo il metodo CN.

Questo raster è stato calcolato con ArcView a partire dal DTM (Digital Terrain Model, modello digitale di elevazione del suolo) della regione Lombardia, a maglia di 40 metri attraverso un ricampionamento del raster per ottenere una griglia sovrapponibile a quella del dominio.

5.8. Parametri Idraulici (Carta Pedologica)

I parametri pedologici sono stati calcolati a partire dalle carte raster con le caratteristiche pedologiche fornite dall'ERSAF attraverso l'applicazione delle pedotransfer functions di Rawls & Brakensiek (1989) in linea con i precedenti lavori svolti con Idragra (Gandolfi 2007a).

I parametri richiesti, tutti espressi come frazioni adimensionali (volume di acqua presente nei pori su volume di terreno), sono:

θ_{sat}	frazione d'acqua a saturazione (quasi ogni poro è riempito di acqua il valore è assunto uguale alla porosità);
θ_{FC}	frazione d'acqua dopo lo sgocciolamento (acqua trattenuta contro la forza di gravità);
θ_{WP}	frazione d'acqua punto di appassimento (quantità ancora presente dopo che le piante hanno estratto l'acqua facilmente accessibile);
θ_r	frazione d'acqua acqua residua dopo l'applicazione di un'elevata depressione.

Queste caratteristiche sono richieste per entrambi gli strati considerati dal modello:

- il primo (I) è lo strato evaporativo, ha uno spessore di 15 cm (è sede dell'evaporazione dal terreno);
- il secondo strato è traspirativo (è qui che le piante raccolgono l'acqua con le radici).

Le carte finali, una carta raster per ogni caratteristica richiesta, sono state formattate per ottenere una coincidenza delle griglie dei raster con quello del dominio.

I file di input hanno i nomi: TetaI_FC, TetaI_r, TetaI_sat, TetaI_WP, TetaII_FC, TetaII_r, TetaII_sat, TetaII_WP.

5.9. Carte delle Efficienze

Il software Idragra chiede l'inserimento in ingresso delle carte raster relative alle efficienze irrigue e alle efficienze di adduzione. Si è preferito rimandare l'applicazione delle efficienze in post-processazione (operazioni svolte sugli output del modello ovvero a posteriori rispetto all'applicazione del modello stesso); applicare le efficienze a valle della stima dei fabbisogni non modifica gli esiti finali delle analisi ma permette di valutare le diverse ipotesi di lavoro in modo più semplice e rapido.

In questo studio si sono quindi utilizzate come input per il modello le efficienze unitarie, ottenendo come output i "fabbisogni idrici colturali" come definiti precedentemente. I file raster coincidono quindi con quello del dominio e hanno i nomi: eff_metodo.asc e eff_rete.asc.

5.10. Gruppo Idrologico e Drenaggio

I valori del gruppo idrologico e della classe di drenaggio sono stati assunti a partire dai valori presenti nelle carte ERSAF rispetto alle celle del raster del dominio.

5.11. Gli usi del suolo simulati

Il software Idragra è predisposto per trattare diverse tipologie di colture agricole e usi del suolo non agricoli. Si è stabilita una codifica numerica che abbina le serie dei parametri colturali agli usi del suolo descritti dalla carta SIARL. Delle ventitre classi riconosciute da Idragra, undici corrispondono ad altrettante colture simulate, mentre le rimanenti classi vengono escluse dalla simulazione (presenteranno quindi fabbisogno nullo).

Gli usi del suolo simulati sono quelli di maggiore interesse agricolo e irriguo, comprendono oltre il 99% della superficie irrigua dell'area di studio (questo punto verrà trattato con dettaglio nelle pagine seguenti). Inoltre vengono considerati alcuni usi del suolo non irrigui di ampia diffusione (cereali autunno-vernini, terreni a riposo e incolti), i terreni con questi usi del suolo non producono richiesta irrigua ma influiscono sulla stima di altre grandezze quale la percolazione in falda.

Gli usi del suolo non simulati sono scartati dalle analisi in quanto:

- non hanno nulla a che vedere con i territori agricoli (urbanizzato, aree idriche, fiumi, laghi, vegetazione naturale, boschi, ecc.);
- sono eterogenei per loro natura e pertanto difficilmente modellabili (sementi, coltivazioni floro-vivaistiche, "altre coltivazioni agrarie"), comunque la loro estensione areale risulta nel complesso molto modesta;
- rappresentano coltivazioni tipicamente non irrigue, che al massimo possono richiedere delle irrigazioni di emergenza (ulivo, vite, frutticole, boschi e colture arboree, ecc.).

Nella tabella seguente sono riportati: i codici usati da IDRAGRA, le classi SIARL, la specifica coltura simulata e la percentuale di superficie occupata da quell'uso del suolo (classificazione SIARL) sul totale dell'area di studio comprendendo quindi anche gli usi anche non agricoli.

Le classi 22 e 23, assenti nella classificazione SIARL, sono le classi aggiunte. Il database SIARL presenta infatti una sola classe "mais" e una sola classe "prati". Al loro interno queste classi presentano delle importanti differenze in merito alla loro idro-esigenza, inoltre queste due classi compongono da sole la maggioranza della superficie irrigua dell'area di studio.

Per migliorare la stima dei fabbisogni, Idragra è predisposto per simulare i due tipi prevalenti di mais (mais da granella e mais da insilato che presentano caratteristiche di esigenza irrigua mol-

to diverse) e di prato (prato permanente polifita ed erbaio di erba medica che pure presentano caratteristiche differenti); le metodologie adottate per suddividere ulteriormente le classi SIARL è presentato nella sezione successiva. Questo discorso è stato introdotto qui per motivare la presenza di classi simulate che non sono presenti nel database SIARL.

La fig. 5.3 mostra le celle che saranno simulate e, in giallo, le zone dell'area di studio che non saranno oggetto di simulazione; la maggior parte di queste ultime sono coperte dall'urbanizzato, le rimanenti riguardano soprattutto boschi, vigneti e corsi d'acqua.

Tab. 5.3 - Classi SIARL e relativi codici IDRAGRA

<i>Codice IdrAgr</i>	<i>Classe SIARL</i>	<i>Perc. sull'area totale SIARL</i>	<i>Coltivazioni simulate</i>
1	Altre coltivazioni agrarie	0.20%	-
2	Altri cereali	5.10%	<i>Cereali Autunno-Vernini</i>
3	Aree idriche	0.80%	-
4	Aree sterili	0.60%	-
5	Aree urbanizzate	11.40%	-
6	Barbabietola	0.40%	<i>Barbabietola</i>
7	Boschi	1.70%	-
8	Boschi e colture arboree	3.70%	<i>(princip. pioppi)</i>
9	Coltivazioni florovivaistiche	0.80%	-
10	Coltivazioni orticole	1.00%	<i>Pomodoro</i>
11	Foraggiere	8.50%	<i>Prati (prato permanente)</i>
12	Frutticole	0.30%	-
13	Mais	53.20%	<i>Mais da granella (600)</i>
14	Piante industriali e legumi secchi	1.60%	<i>Soia</i>
15	Riso	0.00%	<i>Riso</i>
16	Tare e incolti	4.30%	<i>Terreno libero</i>
17	Terreni a riposo	4.90%	<i>Terreno libero</i>
18	Vegetazione naturale	0.50%	-
19	Vite	0.90%	-
20	Olivo	<0.01 %	-
21	Sementi	<0.01 %	-
22	- non presente -	-	<i>Mais da insilato (300)</i>
23	- non presente -	-	<i>Erbaio di erba medica</i>
		<i>totale = 99.90%</i>	

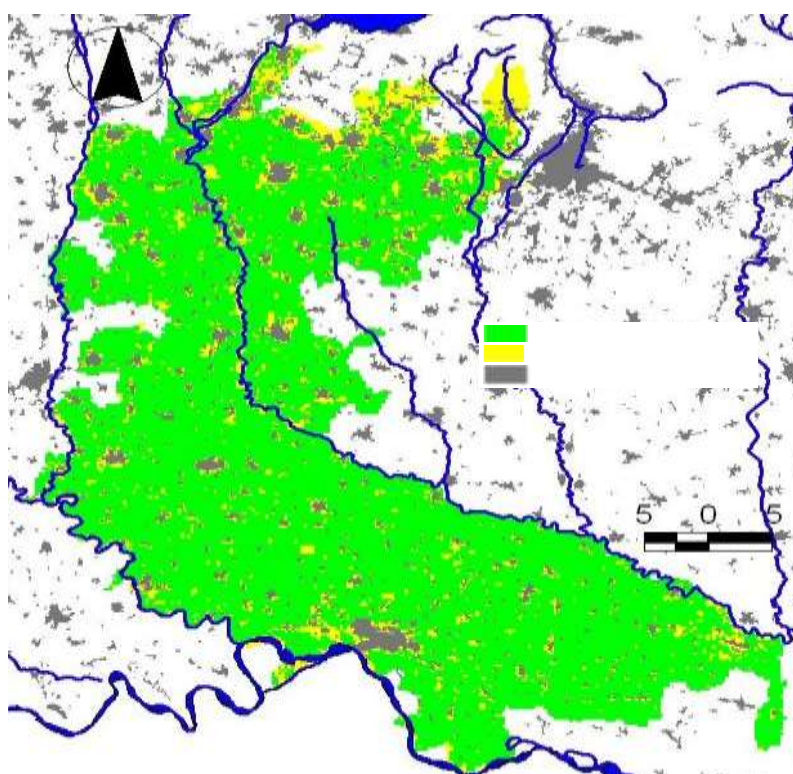


Figura 5.3 - Uso del suolo originario (raster 250m):

- in verde le celle simulate ;
- in giallo le zone che non sono simulate;
- in grigio le aree urbanizzate.

La tabella seguente mostra le percentuali totali di territorio secondo i diversi usi, l'ultima colonna ripropone le percentuali calcolate sui soli terreni irrigui. Nella tabella si osserva che la percentuale delle celle simulate corrispondenti ad usi agrari irrigui supera il 99%.

L'unica classe potenzialmente irrigua che non viene simulata è "Altre coltivazioni agrarie", occupa appena 362 celle secondo la carta SIARL, ovvero lo 0.2% del territorio agricolo irriguo. Oltre alla scarsa rilevanza territoriale, ulteriori motivi della sua esclusione dipendono dal fatto che è una classe mista, quindi di difficile disaccorpamento, e che non tutte le colture entro questa classe debbono necessariamente essere irrigue. Esse si presentano disperse nell'area di studio, il che fa sì che la loro rimozione sia ininfluente, sia in generale che nelle singole zone.

Tab. 5.4 - Rilevanza delle classi simulate (riportate solo le classi SIARL)

<i>Cod Idragra</i>	<i>N° di celle (raster)</i>	<i>Uso SIARL</i>	<i>Agricolo</i>	<i>Irriguo</i>	<i>Simulato</i>	<i>Perc. territorio tot. (SIARL)</i>	<i>Perc. territorio irriguo simulata (SIARL)</i>
1	28	Altre coltivazioni agrarie	X	X		0.20%	---
2	1267	Altri cereali	X		X	5.10%	-non irriguo-
3	110	Aree idriche				0.80%	
4	133	Aree sterili				0.60%	
5	2950	Aree urbanizzate				11.40%	
6	101	Barbabietola	X	X	X	0.40%	0.62%
7	331	Boschi				1.70%	

<i>Cod Idra- gra</i>	<i>N° di celle (raster)</i>	<i>Uso SIARL</i>	<i>A gr ic o / o</i>	<i>Ir ri g u o</i>	<i>Simulato</i>	<i>Perc. territorio tot. (SIARL)</i>	<i>Perc. territorio irriguo simulata (SIARL)</i>
8	597	Boschi e colture arboree	X			3.70%	
9	189	Coltivaz. florovivaistiche	X			0.80%	
10	258	Coltivaz. orticole	X	X	X	1.00%	1.54%
11	2026	Foraggiere	X	X	X	8.50%	13.10%
12	69	Frutticole	X			0.30%	
13	17574	Mais	X	X	X	53.20%	81.97%
14	404	Piante ind. e leg. secchi	X	X	X	1.60%	2.47%
15	1	Riso	X	X	X	0.00%	0.00%
16	626	Tare e incolti	X		X	4.30%	-non irriguo-
17	873	Terreni a riposo	X		X	4.90%	-non irriguo-
18	56	Vegetazione naturale				0.50%	
19	285	Vite	X			0.90%	
20	1	Olivo	X			0.0 %	
21	0	Sementi	X			0.0 %	
Tot	27879	-	-	-	-	100 %	99.69%

5.12. Separazione e spazializzazione delle classi "mais" e "foraggiere"

Come già detto, le classi "mais" e "foraggiere" coprono la maggioranza dell'area di studio (61.5% rispetto al totale e 95% del territorio irriguo secondo la carta SIARL). Nelle colture in campo il mais è presente con differenti specie e metodi colturali; in termini di esigenze irrigue occorre dividere il mais da granella (che viene raccolto a maturazione completa) e il mais da insilato o da foraggio (che si raccoglie a mezza maturazione). Le caratteristiche irrigue di queste due categorie di mais sono differenti al punto da suggerire una separazione della classe SIARL in due sottoclassi dedicate. Nei più recenti lavori dell'Istituto di Idraulica Agraria si è provveduto ad una separazione che rispecchiasse le percentuali relative delle classi accorpate su "aree omogenee" o su scala provinciale.

In questo lavoro, avendo a disposizione i dati PAC 2006, si è optato per una suddivisione delle classi a scala comunale con un notevole aumento del dettaglio e dell'aderenza alle realtà territoriali.

Nei precedenti lavori dell'Istituto di Idraulica Agraria, le foraggiere, comprendenti un vasto insieme di colture, sono state simulate con i parametri del prato permanente polifita (la tipologia di prato più diffusa in Lombardia secondo un'indagine ISTAT del 2000) che, per le sue caratteristiche, è stato considerato un buon compromesso tra i vari tipi di prato. L'Istituto ha dotato Idra-gra anche dei parametri dell'erbaio di erba medica; questa classe però non è stata ad oggi utilizzata nei lavori dell'Istituto. Nell'area di studio è estremamente diffuso l'erbaio di erba medica (che peraltro possiede caratteristiche colturali alquanto differenti dal prato permanente e dagli altri prati -in particolare una maggiore profondità delle radici e quindi maggiore capacità di sfruttare l'umidità del suolo-) e, potendo contare su una suddivisione delle classi di dettaglio

comunale, si è scelto di procedere alla separazione anche per la classe delle foraggere, scorpendo gli erbai di erba medica dagli altri prati.

A livello operativo, si sono prese dal database PAC2006 le superfici occupate dalle diverse colture di mais e foraggere accorpate a scala comunale. Quindi si sono accorpate gli usi del suolo PAC nelle due classi di mais e nelle due foraggere scelte come mostrato dalle seguenti tabelle (l'attribuzione dei diversi usi è in linea con le recenti scelte operative dell'Istituto di Idraulica Agraria).

Tab. 5.5 - Ripartizione delle superfici degli usi del suolo a mais nelle classi insilato e granella (le percentuali indicano le superfici sul totale del mais)

<i>Uso del suolo PAC 2006</i>	<i>%</i>	<i>Mais da granella</i>	<i>Mais da insilato</i>
MAIS DA GRANELLA	77.8	X	
MAIS DOLCE	0.1	X	
SILOMAIS E MAIS CEROSO	22.1		X
MAIS DA FORAGGIO	<0.05		X

Tab. 5.6 - Ripartizione delle superfici degli usi del suolo a foraggio nelle classi prato permanente e erba medica

<i>Uso del suolo PAC 2006</i>	<i>%</i>	<i>Prato perm.</i>	<i>Erba medica</i>
PRATO POLIFITA NON AVVICENDATO (PRATO STABILE)	3.9	X	
PRATO-PASCOLO	0.1	X	
ERBA MEDICA	53.5		X
PRATO POLIFITA DA VICENDA	30.6	X	
ERBAIO DI GRAMINACEE	7.1	X	
ERBAIO DI LEGUMINOSE	0.1	X	
ERBAIO MISTO	3.0	X	
ALTRE FORAGGERE	1.7	X	

Effettuati gli accorpamenti per comune si è ottenuta l'informazione necessaria: la frazione di area di foraggere da attribuire a prato permanente rispetto a quello da attribuire a erba medica e, per il mais, la proporzione per comune tra mais da insilato e mais da granella.

Rasterizzando lo shape delle superfici comunali e sovrapponendolo al raster dell'uso del suolo, si sono contate per ogni comune le celle a foraggio e si sono scelte a caso tra queste un numero di celle che rispecchiasse le proporzioni delle aree da attribuire a medica piuttosto che a prato. La stessa operazione è stata condotta per separare il mais da granella dal mais da insilato.

Le figure 5.4 e 5.5 mostrano l'uso del suolo dopo l'introduzione della separazione del mais e delle foraggere. Dalle figure si nota una disomogeneità nella distribuzione delle colture spazializzate, questa discende dall'effettiva dislocazione delle colture secondo le dichiarazioni PAC a scala comunale, ed evidenzia il miglioramento metodologico. Infatti la distribuzione in figura sarebbe stata fortemente falsata se si fosse adottata una spazializzazione basata su dati aggregati ad una scala maggiore (ad esempio provinciale), che avrebbe portato ad una omogeneità artificiale della distribuzione.

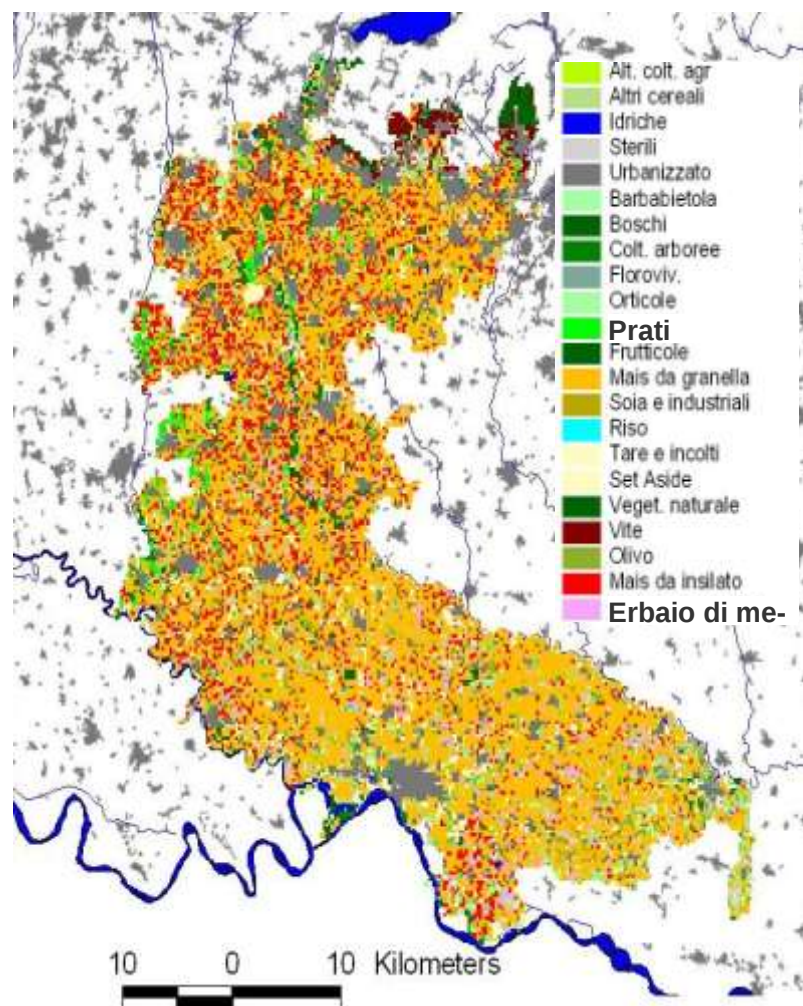


Fig. 5.4 - Carta di uso del suolo raster con mais e foraggiere suddivise nelle loro sottoclassi

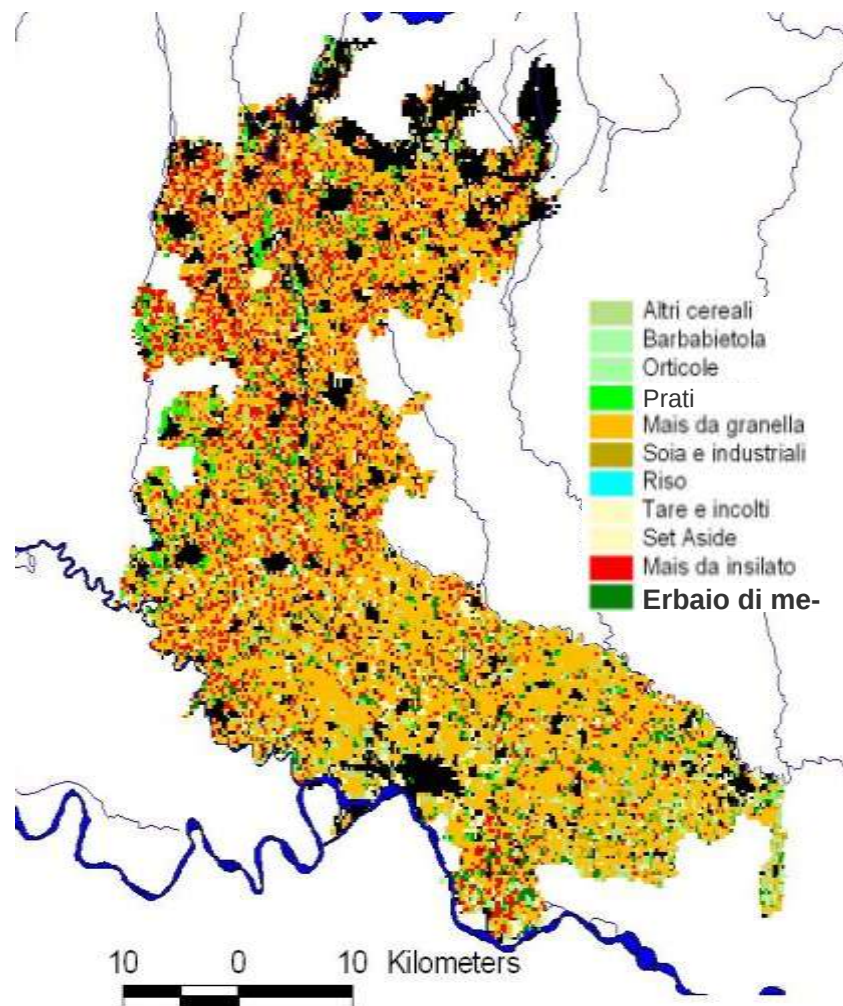


Fig. 5.5 - Carta di uso del suolo delle celle che andranno simulate (in nero le superfici non simulate)

6. FABBISOGNI IDRICI COLTURALI STIMATI NELLE SIMULAZIONI

In questo capitolo si riportano graficamente, attraverso carte cromatiche, i fabbisogni idrici colturali (ovvero quanto è richiesto dalle colture senza considerare le perdite d'acqua durante l'irrigazione o durante il trasporto lungo i canali) per tutta l'area di studio e per il periodo tra maggio e settembre.

Viene riportata, per ogni mese, la carta del valore medio che funge da riferimento dei fabbisogni medi mensili in condizioni medie.

Quale stima di un valore di punta per anni più estremi, in linea con i progetti dell'Istituto di Idraulica Agraria, si presenta il valore massimo con tempo di ritorno di 10 anni (T10); questo è il fabbisogno medio mensile in condizioni estreme, condizioni che hanno probabilità di verificarsi con un tempo di ritorno di 10 anni (viene stimato a partire dal fabbisogno medio a cui si aggiunge 1.28 deviazioni standard dei fabbisogni mensili).

Nella prima parte si mostrano le carte dell'intero orizzonte esaminato: 1951-2006. Quindi, alla luce del comportamento "instabile" dei fabbisogni, si discute della presenza di un trend negli ultimi anni e infine si mostrano le carte relative al periodo 1991-2006 che, alla luce delle analisi, appare più coerente con il periodo attuale e con la carta di uso del suolo adottata nello studio.

Confrontando le carte dei due periodi si notano differenze importanti:

- nell'escursione dei valori: ad esempio nel periodo 1991-2006 si verificano massimi più elevati;
- nella loro distribuzione spaziale: ad esempio nel periodo 1951-2006 l'area a nord esprime fabbisogni minori rispetto alla zona a sud, questo non accade nel periodo 1991-2006 e, per le presenti analisi, va attribuito a variazioni nelle condizioni meteo-climatiche;
- nell'andamento stagionale: si nota, ad esempio, che per i valori estremi (T10) il massimo fabbisogno è in luglio per il periodo 1951-2006, ma si sposta in giugno per il periodo 1991-2006.

I fabbisogni riportati nelle carte sono espressi in mm/mese, e questo rende i valori facilmente confrontabili con quelli delle precipitazioni. Per convertire i mm/mese in l/s o l/(s·ha) si possono utilizzare le seguenti formule.

$$\text{Da mm/mese a l/s} \quad F_{l/s} = \frac{F_{mm/mese} \cdot A_{cella}}{(24 \cdot 60 \cdot 60) \cdot N_{gg}}$$

dove:

$F_{l/s}$	fabbisogno espresso in litri al secondo,
$F_{mm/mese}$	fabbisogno espresso in millimetri al mese
N_{gg}	numero di giorni del mese in questione,
A_{cella}	area della cella; A_{cella} vale 62500 m ² (celle quadrate con lato di 250 m).

$$\text{Da mm/mese a l/(s·ha)} : F_{l/(s \cdot ha)} = \frac{F_{mm/mese} \cdot 10000}{(24 \cdot 60 \cdot 60) \cdot N_{gg}}$$

dove i simboli hanno i medesimi significati dell'equazione precedente.

6.1. Andamento dei fabbisogni nel tempo

Le carte mostrate nel capitolo precedente, che riguardano le caratteristiche medie ed estreme di 56 anni di simulazione, non permettono però di analizzare l'evoluzione dei fabbisogni lungo questo lasso di tempo.

La fig. 6.1 mostra i fabbisogni idrici colturali medi mensili aggregati sull'intero comprensorio dell'Oglio ed evidenzia una crescita nel suo tratto finale.

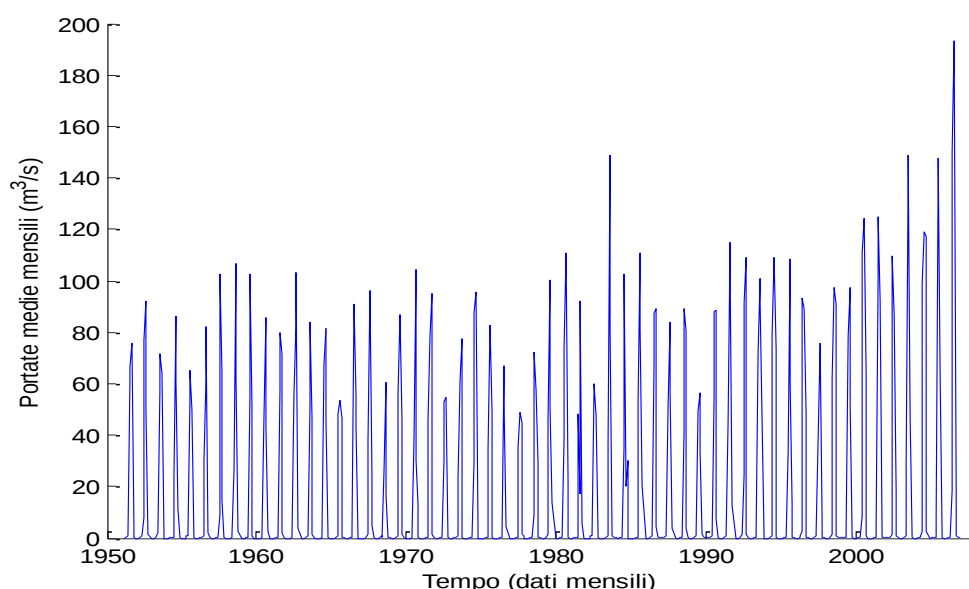


Fig. 6.1 - Fabbisogni idrici colturali medi mensili aggregati sull'intero comprensorio dell'Oglio espressi come portata (m^3/s) sull'orizzonte 1951-2006

In fig. 6.2 si mostra la serie dei valori di portate medie di giugno, luglio e agosto per i diversi anni, la linea verticale tratteggiata indica il punto in cui si è scelto di separare la serie. A livello qualitativo si ravvisa dalla fig. 6.2 una differenza tra la sub-serie prima del 1991 e quella dopo questo anno. Le due sub-serie ottenute possiedono infatti caratteristiche molto diverse:

- la sub-serie del periodo 1951-1990 ha un comportamento stazionario (i valori oscillano in modo casuale attorno al valore medio), mostra una media abbastanza stabile ($61.8 m^3/s$) e una deviazione di $12.3 m^3/s$.
- nella sub-serie del periodo 1991-2006, dopo il punto di discontinuità scelto, la media dei valori è di $90 m^3/s$, la loro deviazione attorno alla media è di $18 m^3/s$, si osserva inoltre un andamento a crescente.

La scelta del 1991 come anno di discontinuità deriva inoltre da un compromesso tra l'esigenza di avere dati omogenei (che in presenza di un trend spingerebbe a prendere solo gli anni più recenti), con quello di avere serie lunghe che rendono significativi i calcoli di medie e valori estremi.

In presenza di una marcata differenza nelle caratteristiche della serie intera conviene analizzare separatamente i gruppi tra loro più omogenei. Il gruppo più interessante a fini pratici è quello più vicino al presente, da questo possiamo trarre informazioni utili a comprendere l'attuale entità dei fabbisogni.

Concentrandoci quindi sul periodo 1991-2006, osserviamo un marcato trend di crescita.

Questo trend è qualitativamente in accordo con i trend termici ravvisati da numerosi studi sul riscaldamento globale della Terra, il cosiddetto "effetto serra". Occorre precisare che il termine "effetto serra" indica un fenomeno naturale prodotto dall'atmosfera terrestre che regola il clima del pianeta, e non l'anomala alterazione climatica mondiale in atto, che viene definita dagli esperti "cambiamento climatico globale" (anthropogenic climatic global change).

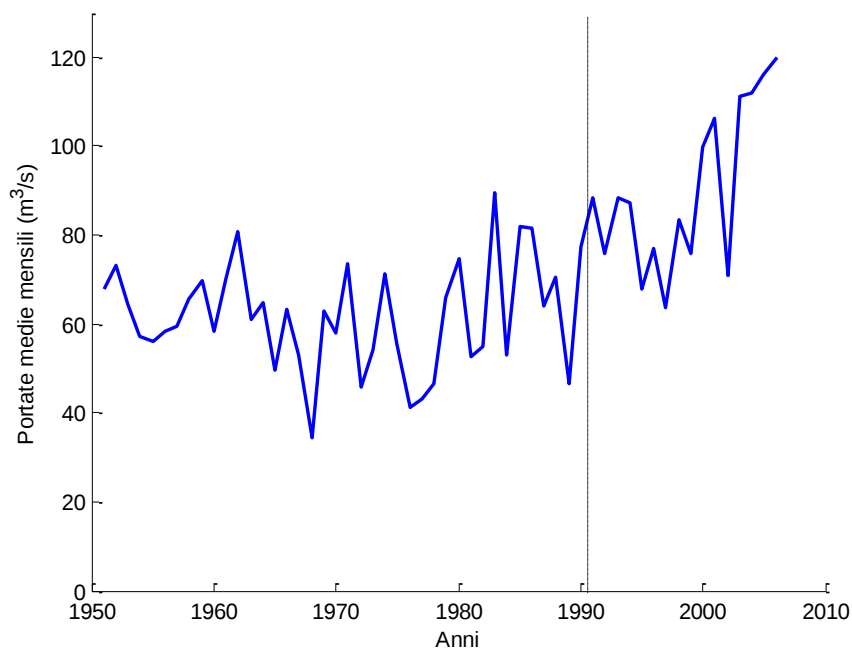


Fig. 6.2 - Portate medie mensili per ogni anno di simulazione (mesi di giugno, luglio e agosto), evidenziato con una linea tratteggiata il punto di discontinuità scelto.

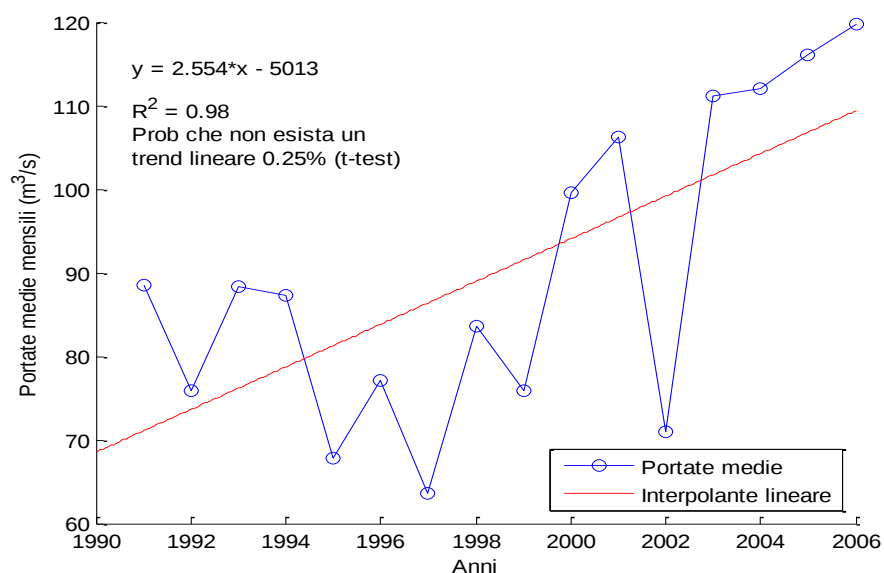


Fig. 6.3 - Portata media mensile di fabbisogno idrico colturale di giugno, luglio e agosto nel periodo 1991-2006 e loro trend lineare.

Un trend analogo a quello di fig. 6.3 è stato ottenuto in occasione di uno dei più recenti progetti sviluppati dall'Istituto di Idraulica Agraria (IReR 2007), analizzando i fabbisogni stimati per l'intera pianura lombarda nel periodo 1993-2005 (fig. 6.4).

La conferma della bontà dei risultati delle analisi temporali sui fabbisogni delle Utenze del Consorzio dell'Oglio viene dal fatto che le stime dei fabbisogni sono tra loro indipendenti, dal momento che i due progetti si sono fondati su serie meteo differenti.

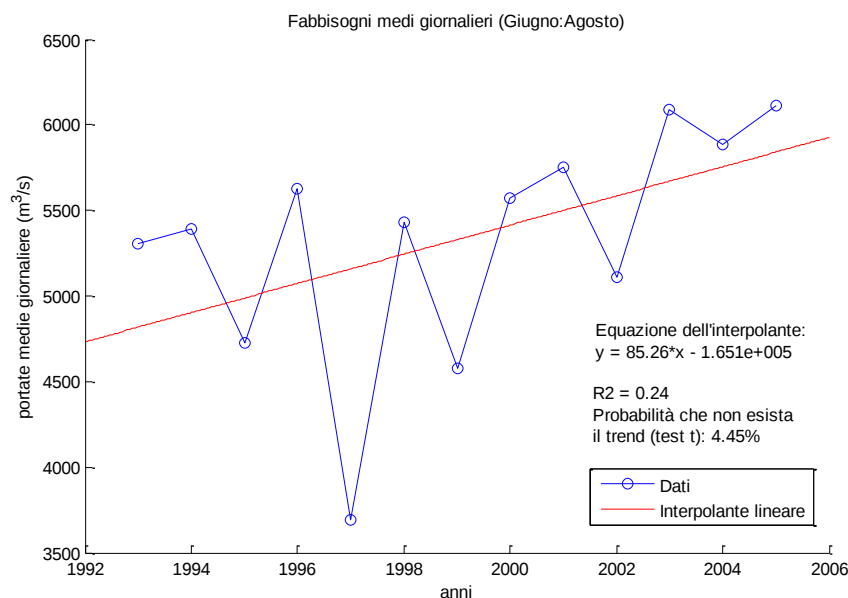


Fig. 6.4 - Andamenti dei fabbisogni nell'intera pianura lombarda, uso del suolo Reale2004MOD (mais da insilato), orizzonte temporale 1993-2005 (fonte dei dati: IReR 2007).

Esaminando i dati con gli strumenti della statistica inferenziale e in particolare concentrandoci sulla significatività del trend di crescita (ovvero sulla retta di regressione stimata ai minimi quadrati per il periodo 1991-2006 evidenziata in figura 6.3), otteniamo i seguenti risultati:

- deviazione (corretta) attorno alla retta di regressione è di $14.1 \text{ m}^3/\text{s}$;
- coefficiente di determinazione della retta di regressione $R^2 = 97.9\%$;
- probabilità che il parametro di pendenza non sia significativo 0.25% (t-test);
- pendenza della retta $+2.55 \pm 0.77 \text{ m}^3/\text{s}$ per anno (deviazione della stima = $0.77 \text{ m}^3/\text{s}$).

Sebbene il trend lineare crescente sia statisticamente significativo, non si può stabilire con sufficiente attendibilità se questa sia la curva che rappresenta meglio il cambiamento in corso in quanto il periodo di osservazione è troppo breve. Ad ogni modo la regressione mostra che la richiesta idrica media estiva dell'intero consorzio dell'Oglio potrebbe crescere di $2.5 \text{ m}^3/\text{s}$ ogni anno.

Nel seguito del lavoro si prenderà in considerazione l'intervallo 1991-2006 il quale appare, malgrado la presenza del trend di cui si è detto, come un campione distinto dal resto della serie.

Confronto tra i fabbisogni MEDI e MASSIMI nel periodo 1951-2006

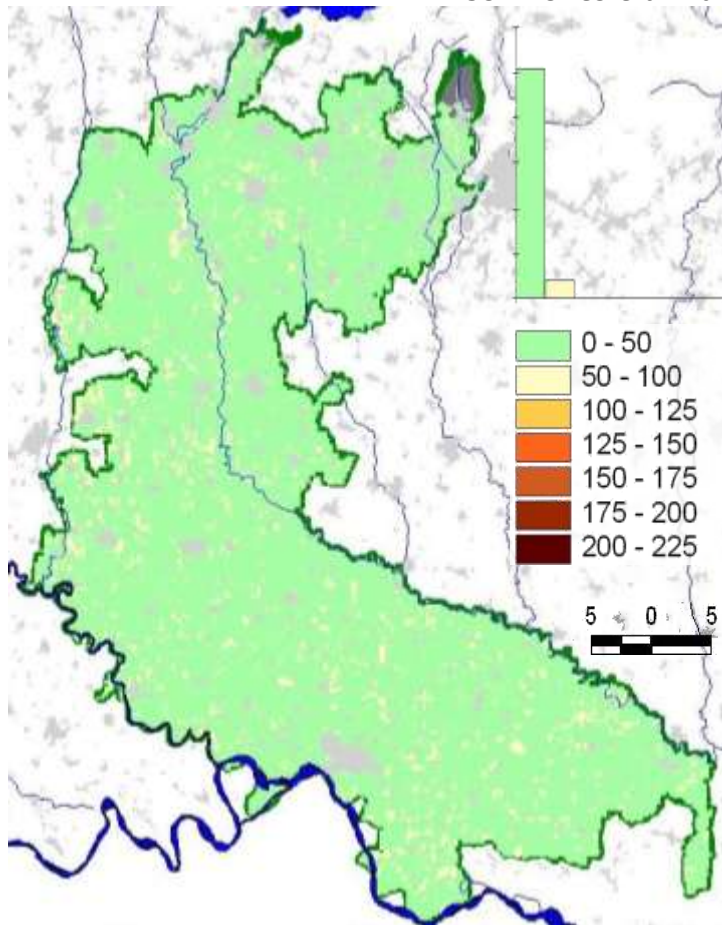


Fig. 6.5 - Maggio: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

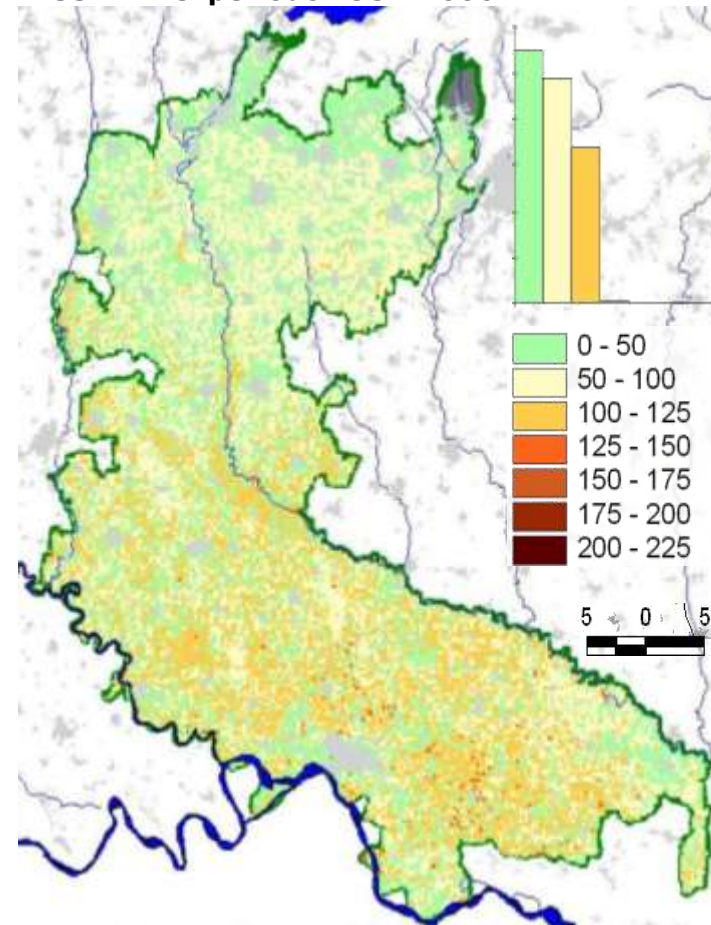


Fig. 6.6 - Maggio: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

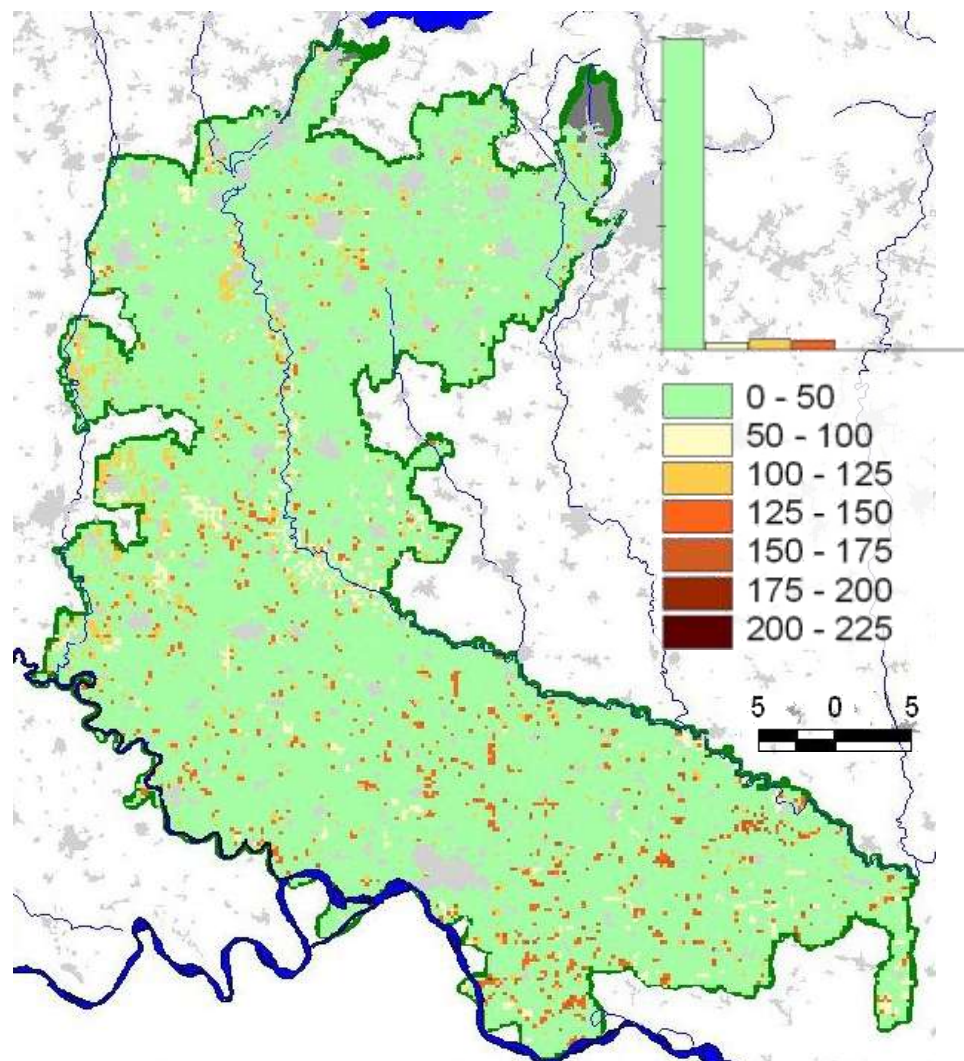


Fig. 6.7 - Giugno: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

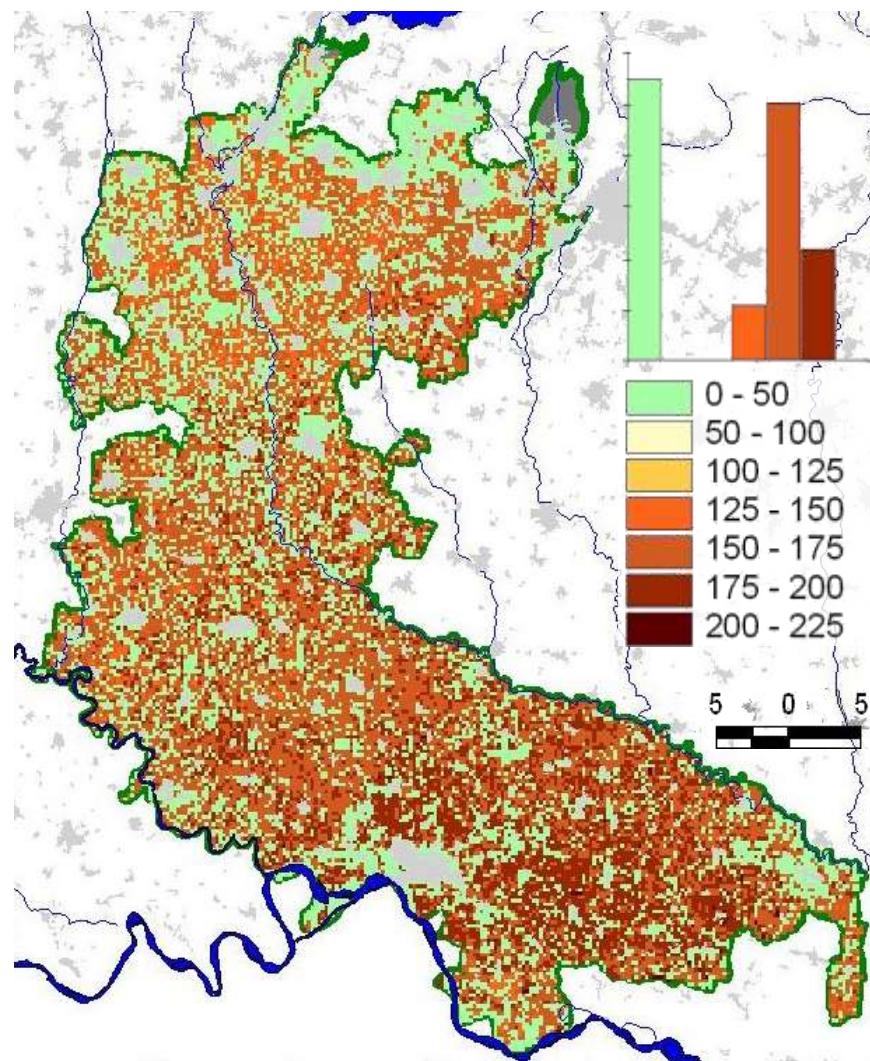


Fig. 6.8 - Giugno: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

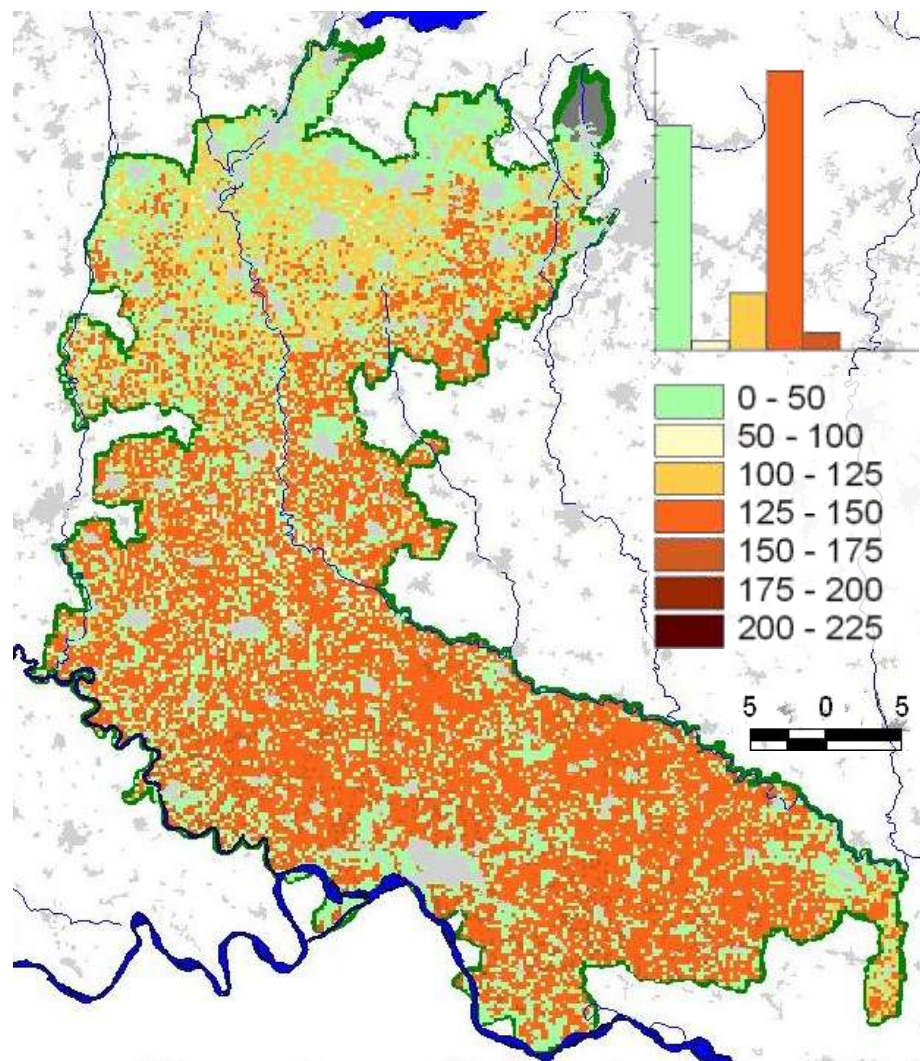


Fig. 6.9 - Luglio: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

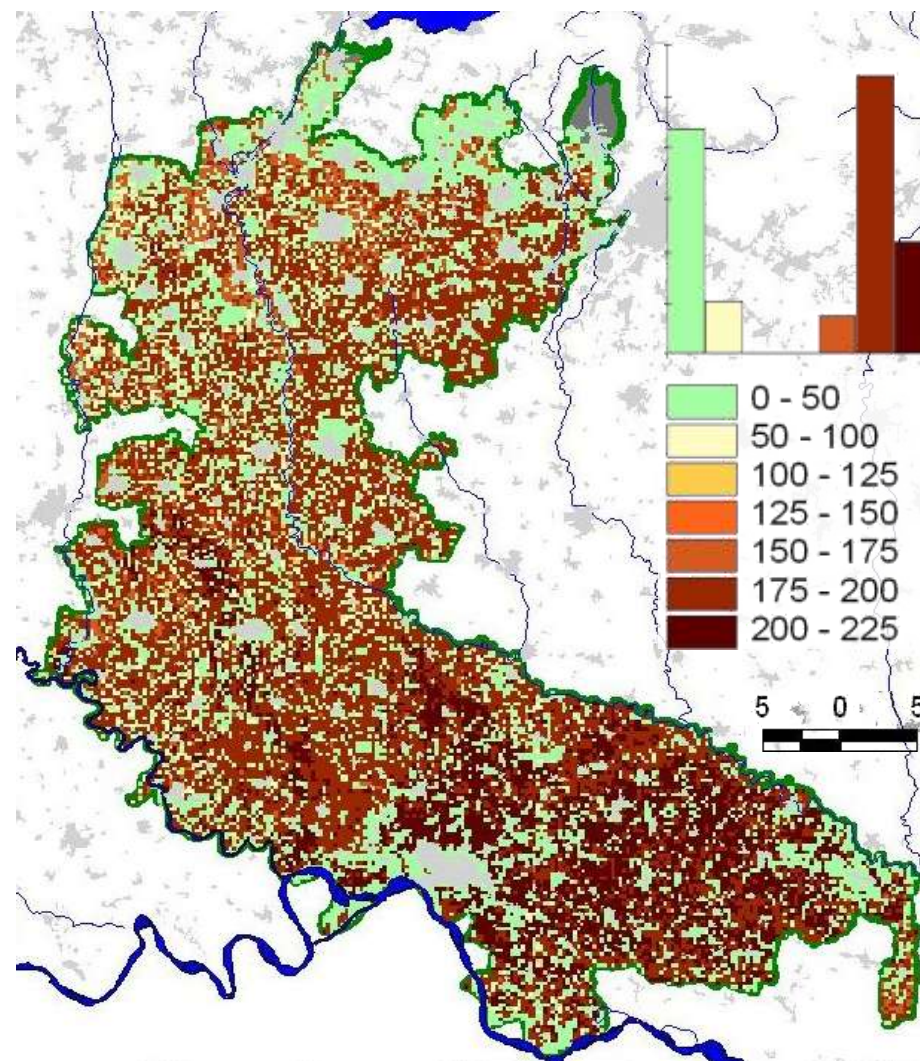


Fig. 6.10 - Luglio: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

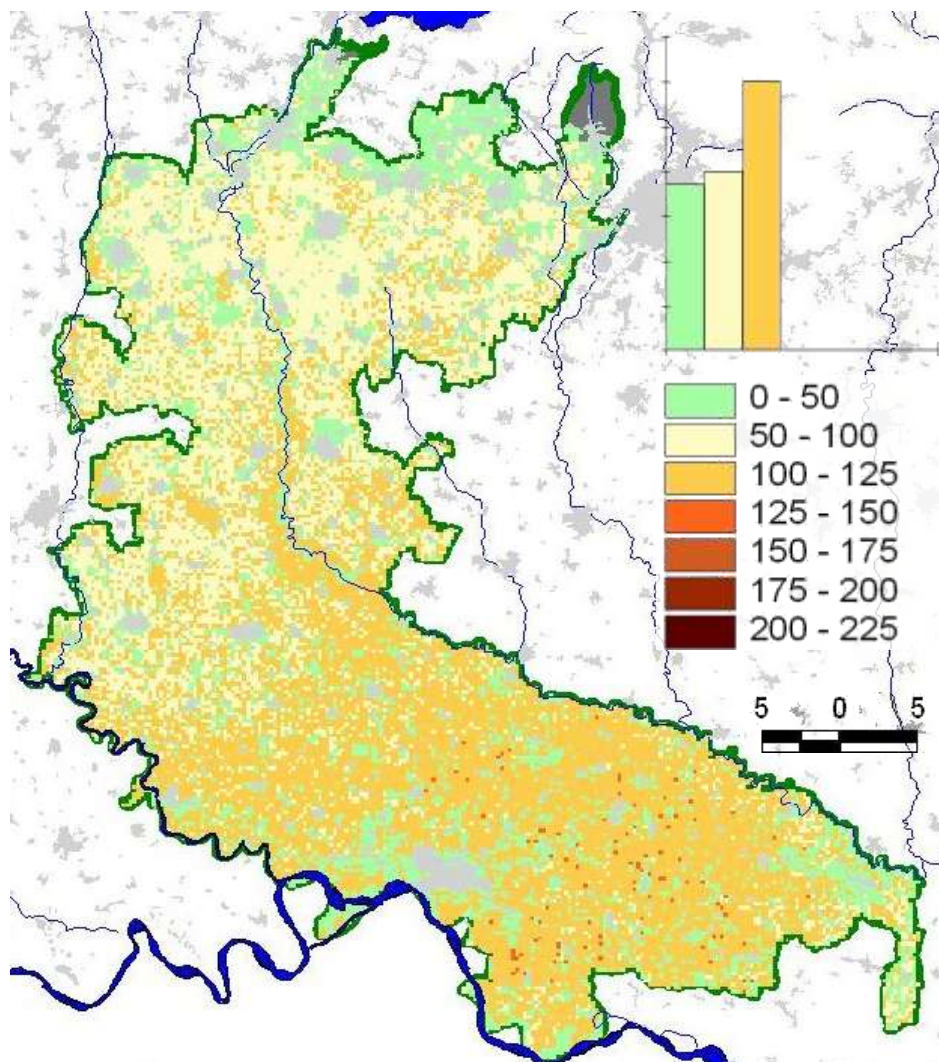


Fig. 6.11 - Agosto: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

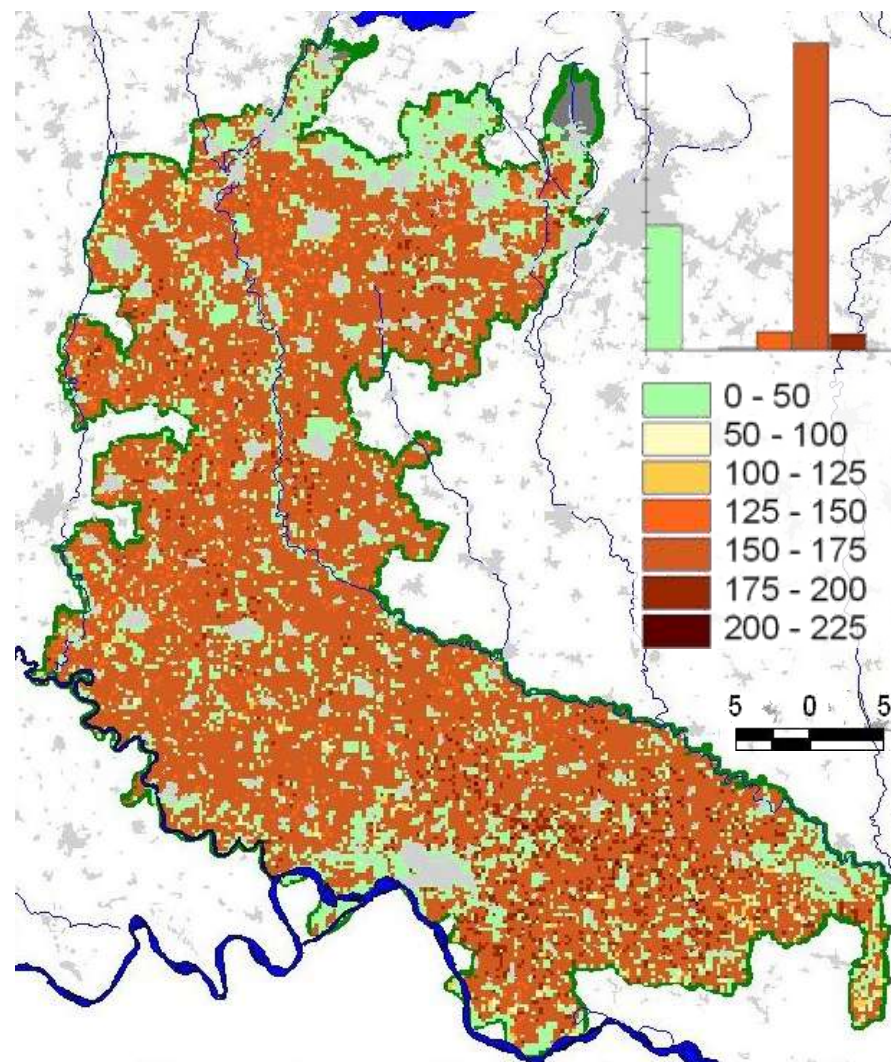


Fig. 6.12 - Agosto: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

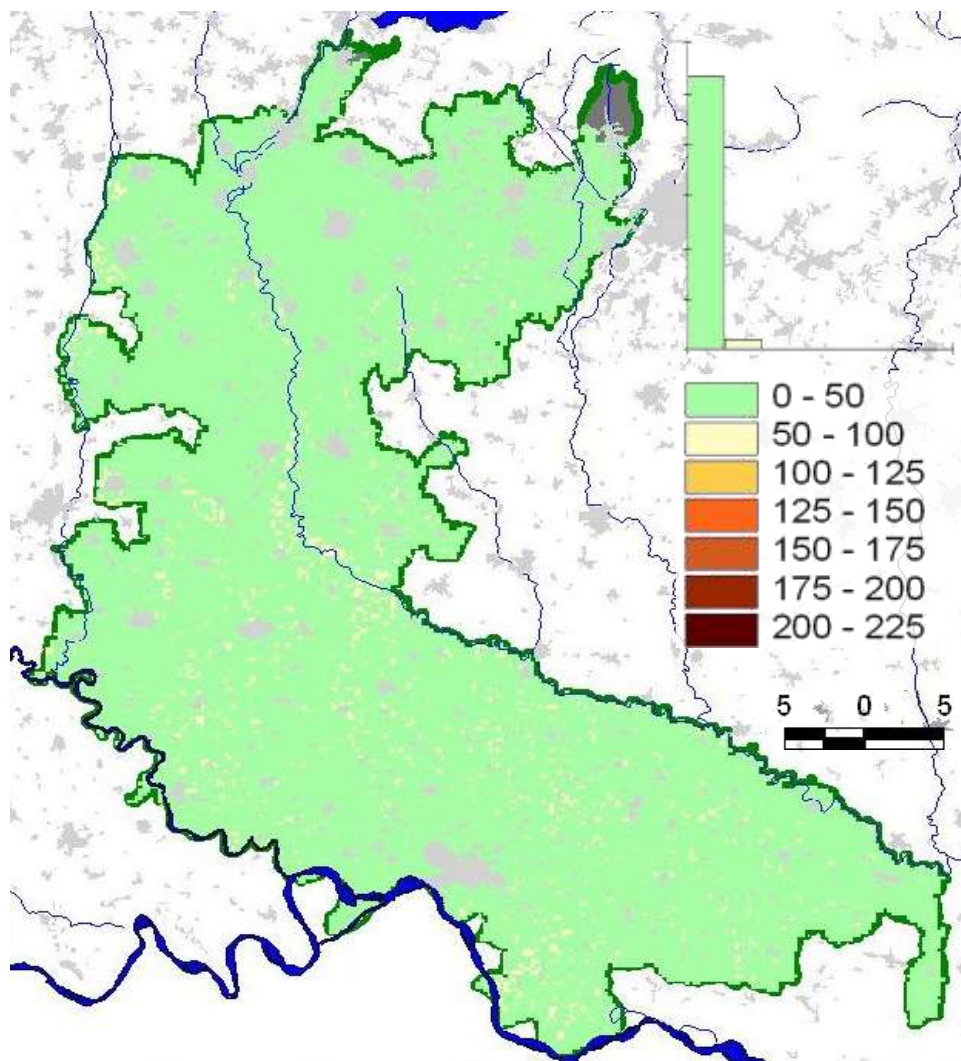


Fig. 6.13 - Settembre: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

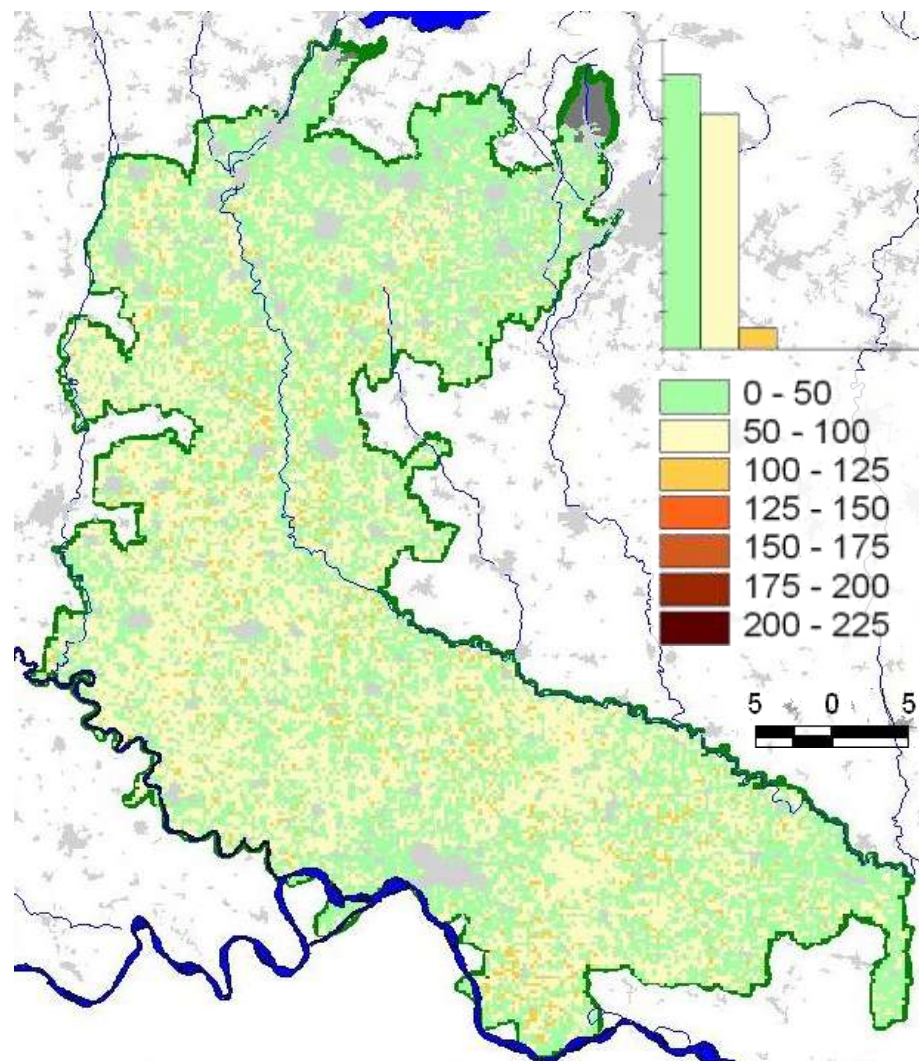


Fig. 6.14 - Settembre: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni in mm/mese (orizzonte 1951-2006), scala in km

Confronto tra i fabbisogni MEDI e MASSIMI nel periodo 1991-2006

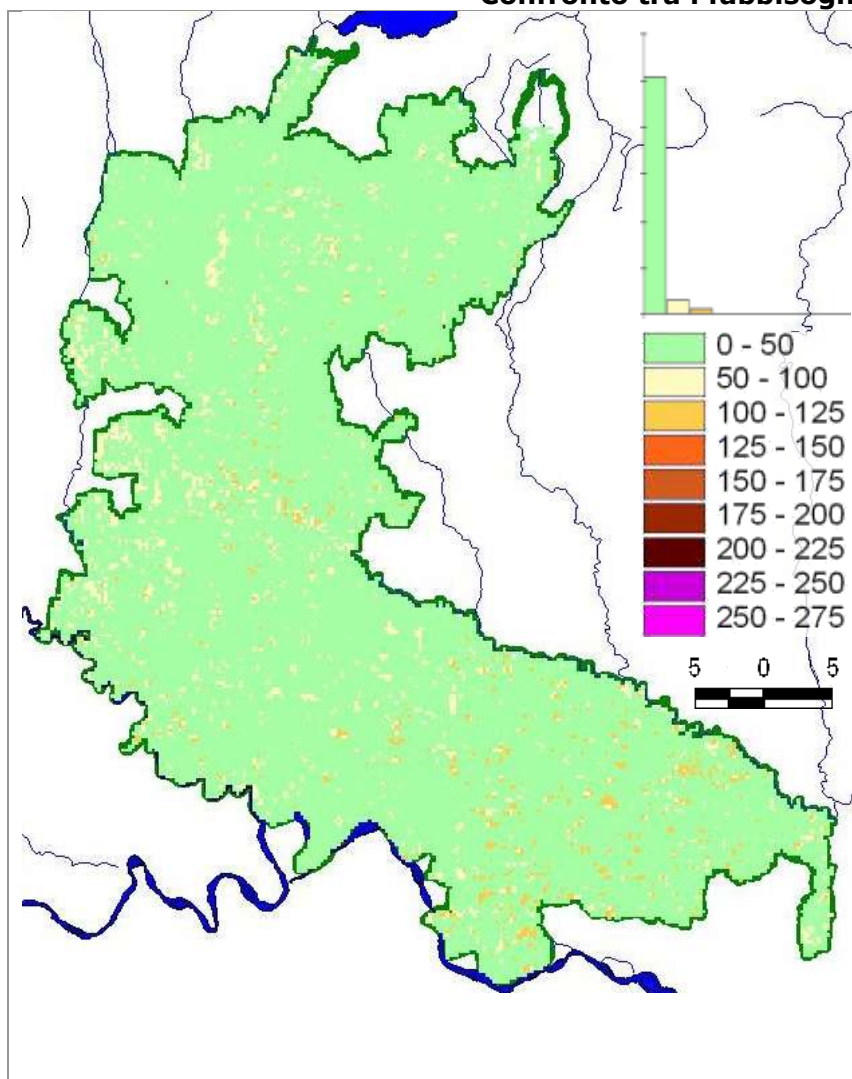


Fig. 6.15 - Maggio: fabbisogni medi mm/mese - (orizzonte 1991-2006), scala in km

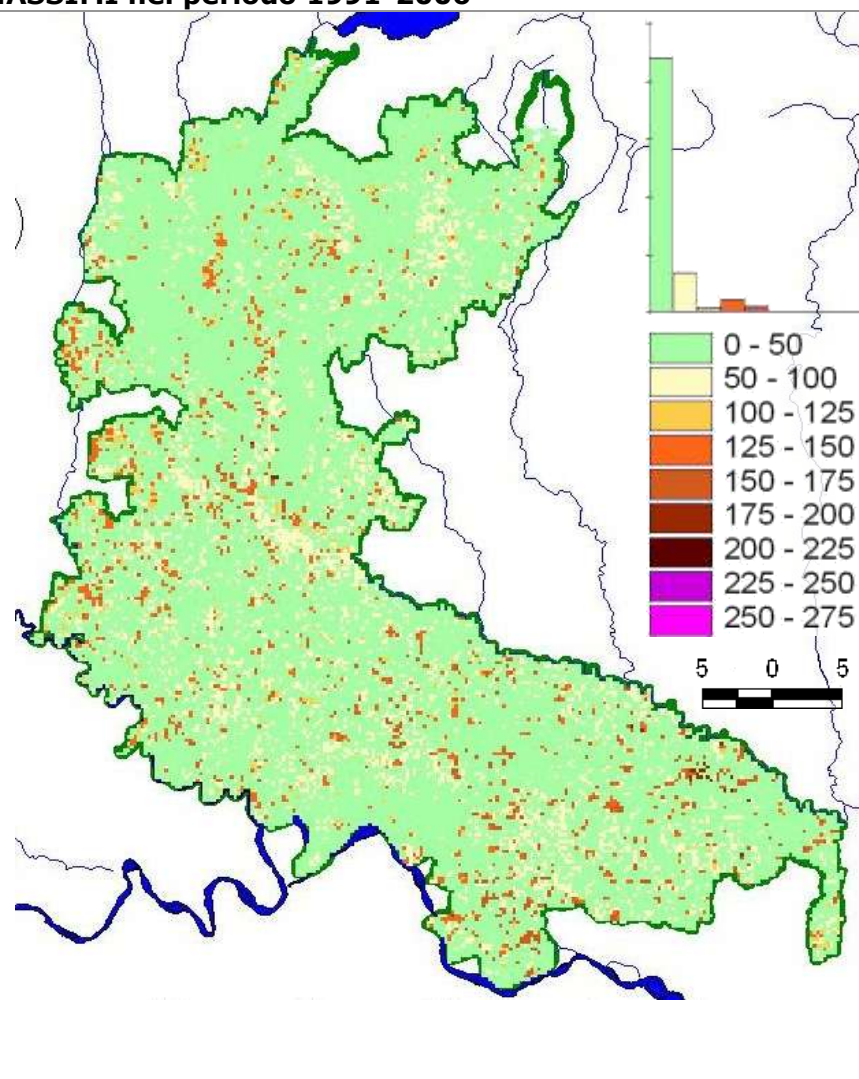


Fig. 6.16 - Maggio: fabbisogni massimi mm/mese- (orizzonte 1991-2006), scala in km

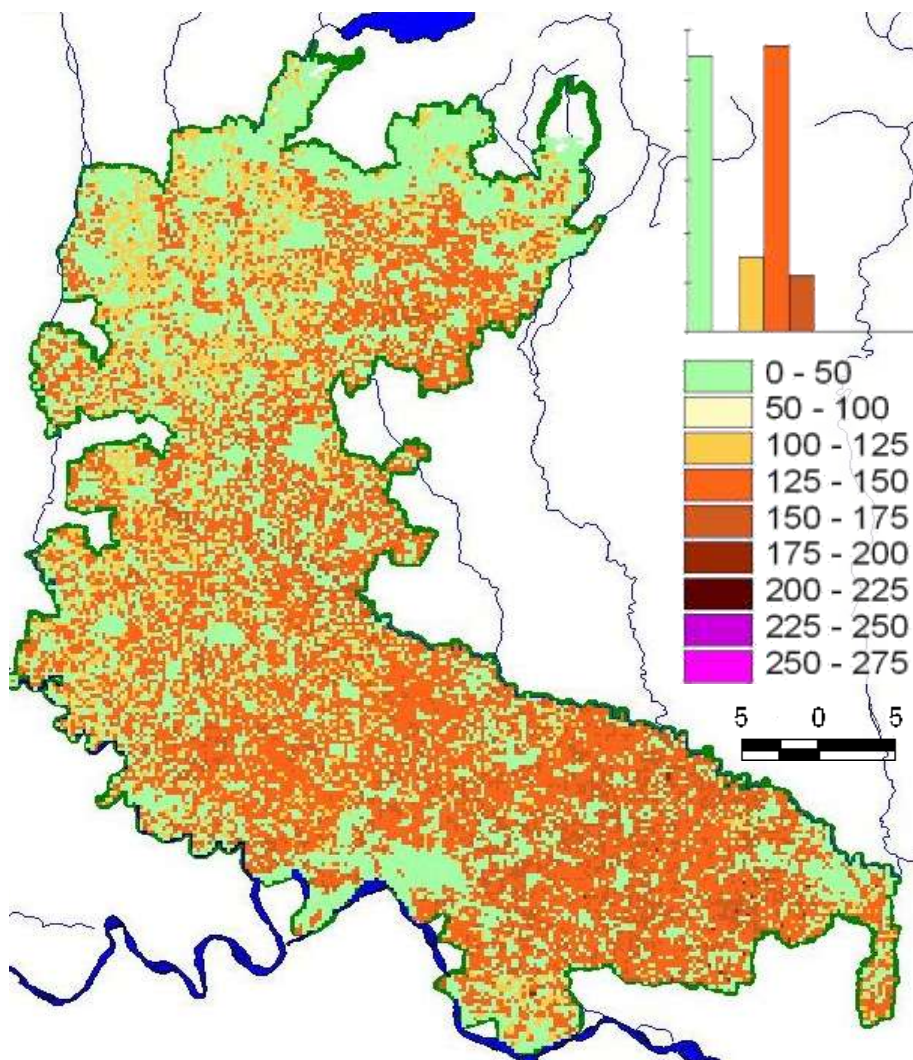


Fig. 6.17 - Giugno: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1991-2006), scala in km

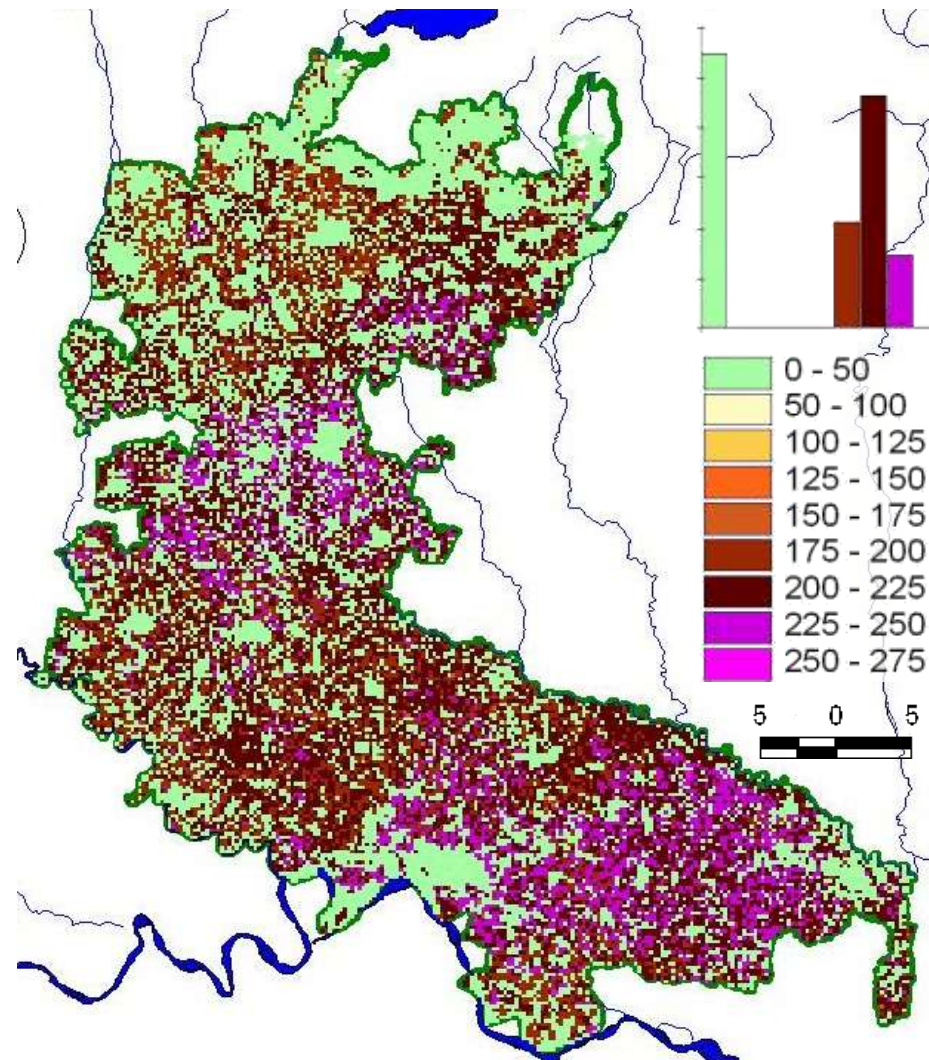


Fig. 6.18 - Giugno: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni (orizzonte 1991-2006), scala in km

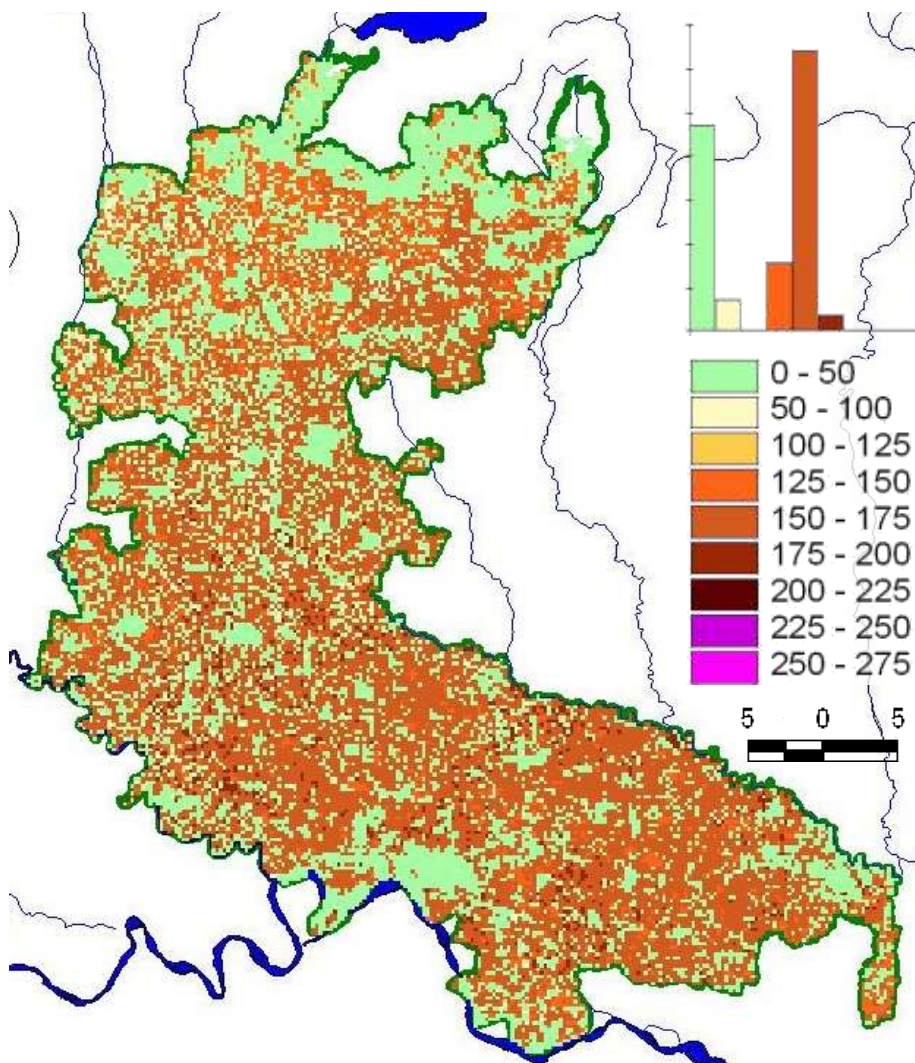


Fig. 6.19 - Luglio: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1991-2006), scala in km

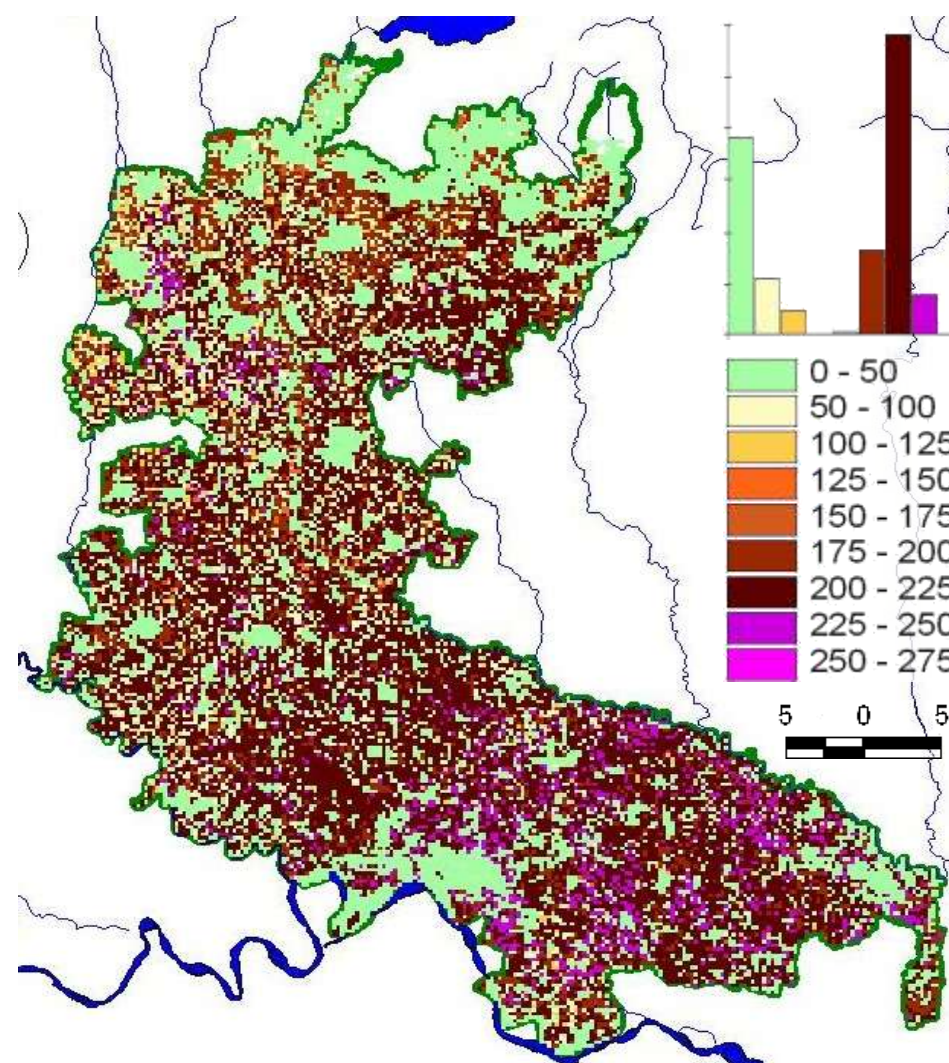


Fig. 6.20 - Luglio: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni (orizzonte 1991-2006), scala in km

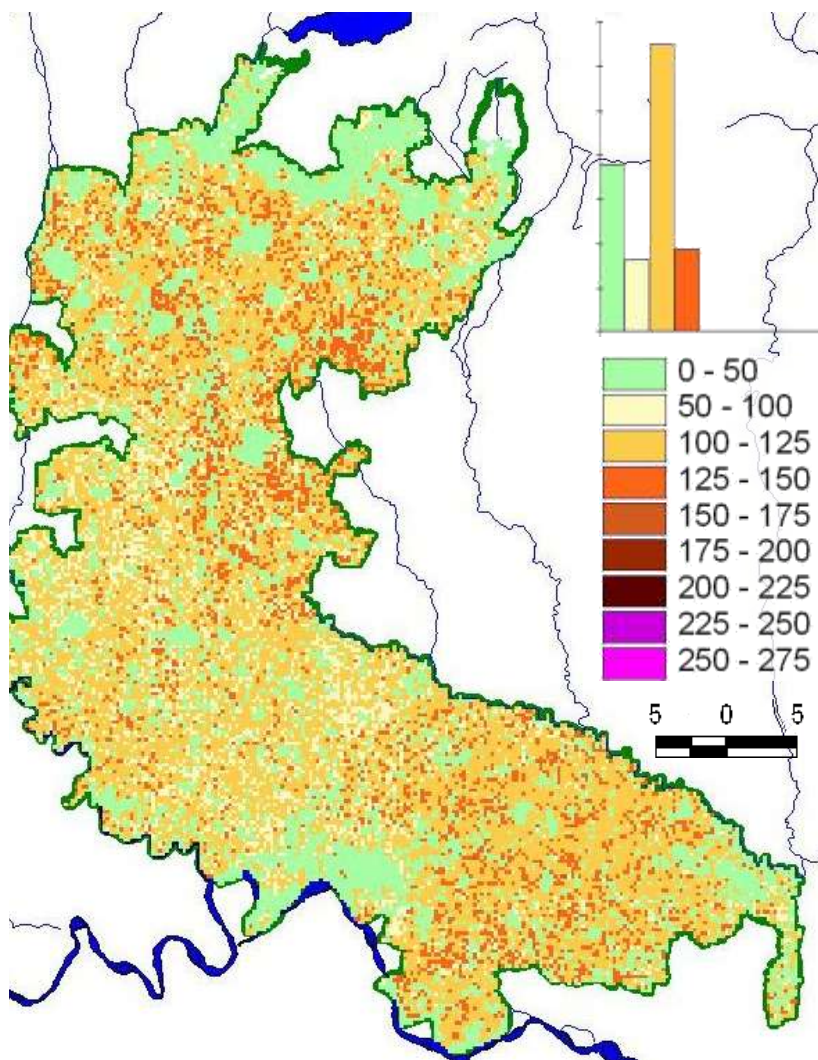


Fig.6.21 - Agosto: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1991-2006), scala in km

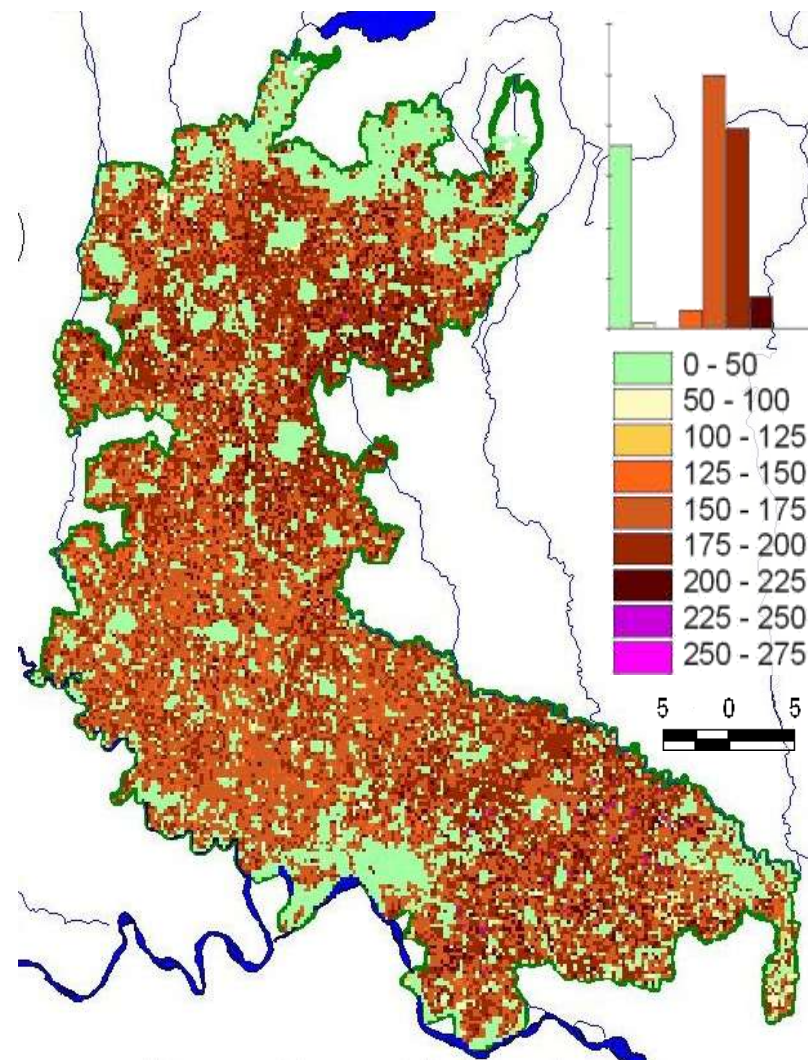


Fig. 6.22 - Agosto: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni (orizzonte 1991-2006), scala in km

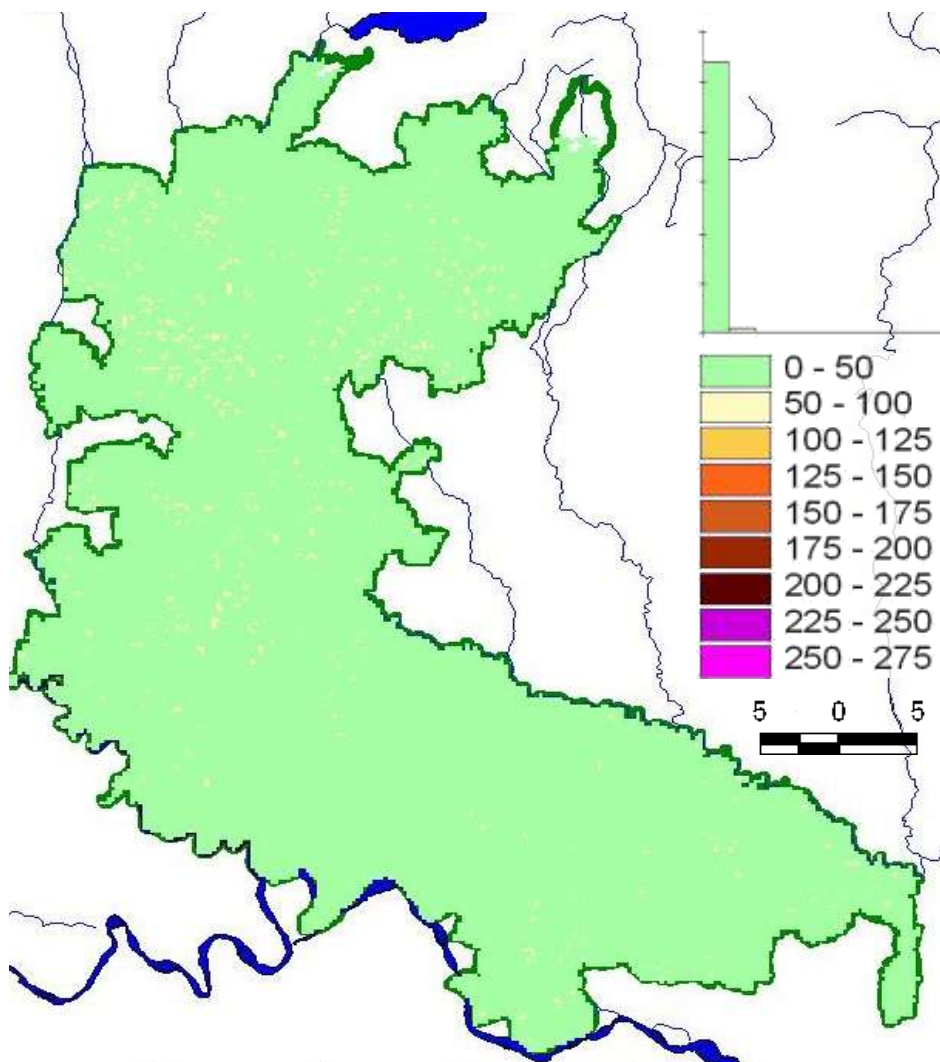


Fig. 6.23 - Settembre: fabbisogni medi in mm/mese (orizzonte 1991-2006), scala in km

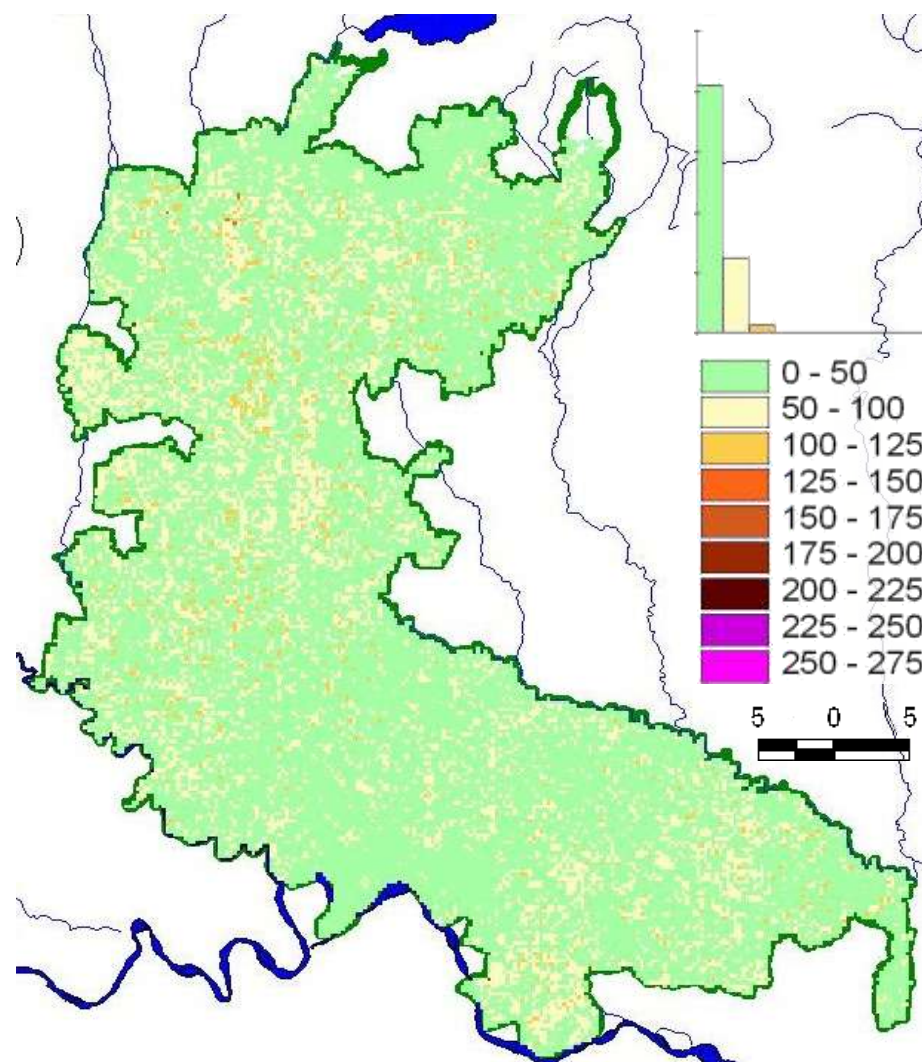


Fig. 6.24 - Settembre: fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni (orizzonte 1991-2006), scala in km

6.2. Fattori di correzione stagionale delle stime dei fabbisogni colturali

La procedura di rasterizzazione seguita rende più precise le stime locali dei fabbisogni ma produce un errore che, per quanto piccolo, distorce la stima su aree di grande estensione. Infatti, considerando prioritariamente le colture dominanti nel territorio in cui ricade una maglia (250 x 250m) otteniamo sistematicamente una sovrastima delle superfici delle colture dominanti, in particolare del mais.

Possiamo però verificare quale sia la differenza causata dall'applicazione della procedura raster nelle stime dei fabbisogni medi mensili e correggere questa discrepanza ottenendo una elevata consistenza nella stima locale e un valore attendibile anche su grande scala. Per effettuare questa valutazione prendiamo per ogni uso del suolo irriguo il suo fabbisogno irriguo mensile medio (per questo, ad esempio per il mais in agosto, si estrae dal raster dei fabbisogni medi di agosto tutti i valori che si trovano nelle celle che, nel raster di uso del suolo, hanno codice 13 e se ne fa la media). I valori di fabbisogno medio sono riportati nella tabella seguente, nella quale, come le stime precedenti, non vengono considerate le efficienze di adduzione e di adacquamento.

Tab. 6.1 - Fabbisogni mensili medi alla radice per gli usi del suolo irrigui ottenuti dalle carte dei fabbisogni, valori in l/(s·ha).

Uso	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Barbabietola	6	0.038	0.452	0.533	0.145	0.000
Coltivazioni orticole	10	0.129	0.433	0.521	0.220	0.002
Foraggiere (prati + erba medica)	11 - 23	0.275	0.395	0.478	0.388	0.168
Mais (granella + insilato)	13 - 22	0.010	0.290	0.428	0.382	0.080
Piante industriali e legumi secchi	14	0.003	0.393	0.493	0.395	0.059

Moltiplicando i fabbisogni medi mensili (in l/(s·ha)) per il numero di ettari degli usi del suolo nelle due carte, possiamo confrontare i fabbisogni complessivi (in l/s) nei due casi. I valori di fabbisogni totali per uso del suolo e i fabbisogni medi mensili, totali su tutta l'area, sono contenuti nelle tabelle seguenti.

Tab. 6.2 - Fabbisogni mensili totali alla radice secondo la carta SIARL, valori in l/s.

Uso	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Barbabietola	6	28.0	334.0	393.5	106.7	0.0
Coltivazioni orticole	10	223.4	747.2	899.4	380.7	2.9
Foraggiere (prati + erba medica)	11 - 23	4128.7	5931.0	7166.3	5818.6	2514.3
Mais (granella + insilato)	13 - 22	923.9	27117.2	40003.4	35704.6	7475.5
Piante industriali e legumi secchi	14	8.7	1081.5	1357.6	1088.7	161.9
Totali		5312.7	35210.9	49820.1	43099.4	10154.6

Tab. 6.3 - Fabbisogni mensili totali alla radice secondo la carta raster, valori in l/s.

Uso	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Barbabietola	6	23.9	285.5	336.3	91.2	0.0
Coltivazioni orticole	10	208.6	697.7	839.8	355.5	2.7
Foraggiere (prati + erba medica)	11 - 23	3484.7	5005.9	6048.5	4911.1	2122.1
Mais (granella + insilato)	13 - 22	1086.5	31888.8	47042.6	41987.4	8790.9
Piante industriali e legumi secchi	14	8.0	991.4	1244.4	998.0	148.4
Totali		4811.8	38869.3	55511.6	48343.1	11064.2

A questo punto possiamo confrontare i valori totali dei fabbisogni e valutarne le differenze. Si fa notare che il valore ottenuto secondo le percentuali della carta SIARL è il valore di riferimento (possiamo considerarlo il valore esatto per quanto riguarda l'errore di stima dovuto alla carta di uso del suolo). Nella tabella successiva sono evidenziate le differenze tra fabbisogni valori totali.

Tab. 6.4 - Confronto tra i fabbisogni mensili totali dedotti a partire dalle differenti coperture percentuali (SIARL vettoriale, raster 2 passaggi)

	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Fabbisogni Tot. SIARL (l/s)	5312.7	35210.9	49820.1	43099.4	10154.6
Fabbisogni Tot. raster (l/s)	4811.8	38869.3	55511.6	48343.1	11064.2
Differenza: F.raster - F.SIARL (l/s)	-500.98	3658.44	5691.55	5243.74	909.58
Rapporto : F.SIARL / F.raster	1.104	0.906	0.897	0.892	0.918
Tasso di variazione percentuale	-9.4%	10.4%	11.4%	12.2%	9.0%

Dalla tabella soprastante si nota un tasso di variazione percentuale che oscilla tra -9.4 e +12.2% (differenza tra i fabbisogni totali divisa per i fabbisogni totali SIARL), anche questa differenza deve essere corretta.

Ferma restando la bontà delle stime di ogni singola cella (di cui è garantita la consistenza), il metodo in due passaggi produce un bias (ossia uno scostamento della media) che finisce per produrre, aggregando un gran numero di celle, un significativo scostamento della stima; occorre pertanto correggere la stima centrando così i valori aggregati.

Per effettuare le correzioni indicate si osserva innanzitutto che il rapporto tra l'area irrigua SIARL e quella del raster vale 0.893, estremamente vicino al rapporto tra le stime dei fabbisogni in luglio, agosto e settembre. Vale a dire che se correggiamo la superficie irrigua totale (si ricorda che questa nel raster è più alta del 12% rispetto alla superficie irrigua del SIARL) otteniamo una importante riduzione dell'errore di stima.

Definiamo allora il Fattore di Correzione Areale secondo il rapporto delle superfici:

$$FCA = \frac{Sup.Irr. SIARL}{Sup. Irr. Raster}$$

Il valore del fabbisogno raster corretto si otterrà quindi moltiplicando il fabbisogno raster entro un'area definita per il coefficiente di correzione areale calcolato per quell'area. Prendendo come area tutto il dominio di calcolo e come FCA il valore 0.893 si ottengono i valori della seguente tabella.

Tab. 6.5 - Confronto tra i fabbisogni mensili totali del SIARL vettoriale, raster due passaggi dopo la correzione areale.

	<i>Maggio</i>	<i>Giugno</i>	<i>Luglio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Settembre</i>
Fabbisogni Tot. SIARL (l/s)	5312.7	35210.9	49820.1	43099.4	10154.6
Fabbisogni Tot. raster Corretti (l/s)	4296.9	34710.3	49571.9	43170.4	9880.3
Differenza: F.raster Corr. - F.SIARL (l/s)	-1015.8	-500.6	-248.2	71.0	-274.3
Rapporto : F.SIARL / F.raster Corr.	1.236	1.014	1.005	0.998	1.028
Tasso di variazione percentuale	-19.1%	-1.4%	-0.5%	0.2%	-2.7%

In giugno, luglio, agosto e settembre le stime di fabbisogno sono molto vicine a quelle ottenute utilizzando le superfici del SIARL, differenze dell'ordine del 2-3% sono da considerarsi trascurabili perché molto inferiori rispetto ai limiti di tolleranza di errore dovuto ad altre approssimazioni. Quanto detto per l'intera area di studio (175.000 ha), è tanto più valida per aree più piccole, a patto di ricalcolare il FCA per quella specifica area; nel cap. 7 si calcoleranno i fattori FCA per ciascun sottocomprensorio, e lì si utilizzerà per riequilibrare le superfici irrigue.

L'errore di maggio viene invece amplificato arrivando al 19%. Questo differente comportamento è dovuto alla differente richiesta irrigua delle foraggere rispetto alle altre colture (si vedano i valori di fabbisogno riportati nelle tabelle precedenti).

Le foraggere, sebbene siano tra le classi più rappresentate sia nel SIARL che nel raster, nel secondo perdono superficie a causa della loro frammentazione. Nella figura 6.25 è mostrato un confronto, per la parte settentrionale dell'area di studio su cui si andrà ad effettuare gli accorpamenti (color panna) tra le celle del raster con uso a foraggere (verde), e le numerose parcelle isolate (rosse) che non sono dominanti entro le celle in cui ricadono e pertanto vengono perse in fase di rasterizzazione: l'area delle foraggere viene quindi generalmente inclusa in quella a mais.

Nella zona meridionale dell'area di studio accade il medesimo fenomeno come mostrato dalla figura 6.26.

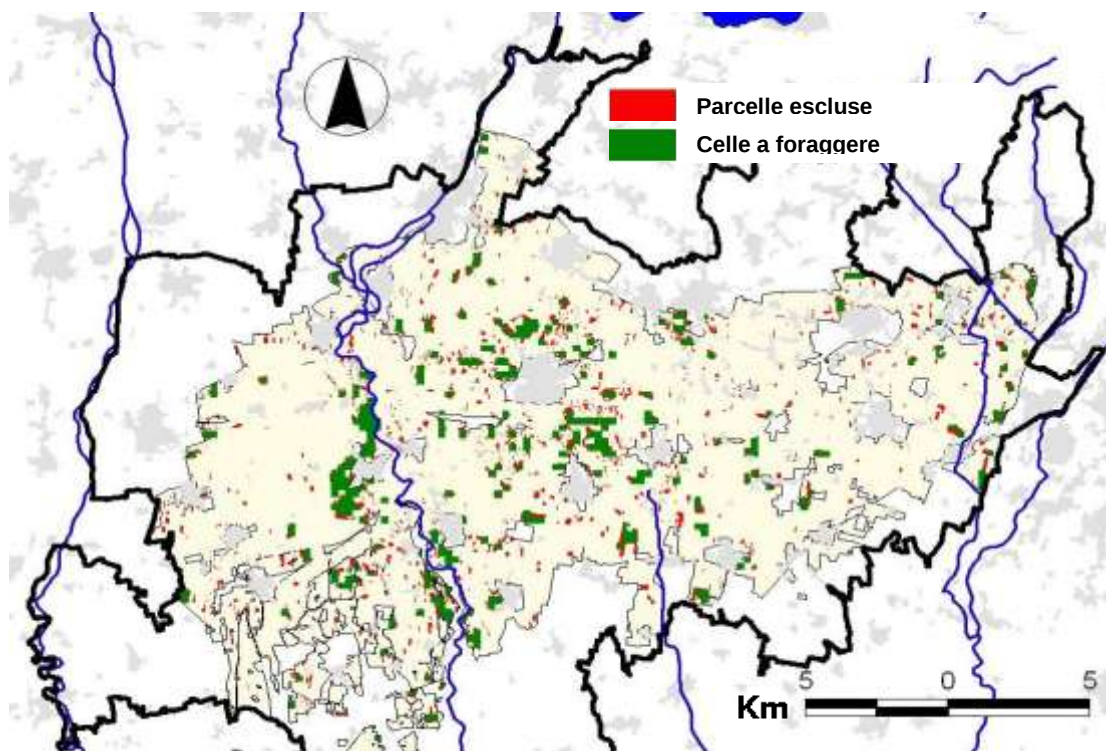


Figura 6.25 - ZONA NORD: confronto tra le celle a foraggiere (verde) e le parcelle a foraggiere escluse nella rasterizzazione (rosso). In color panna l'area su cui si faranno le analisi di dettaglio.

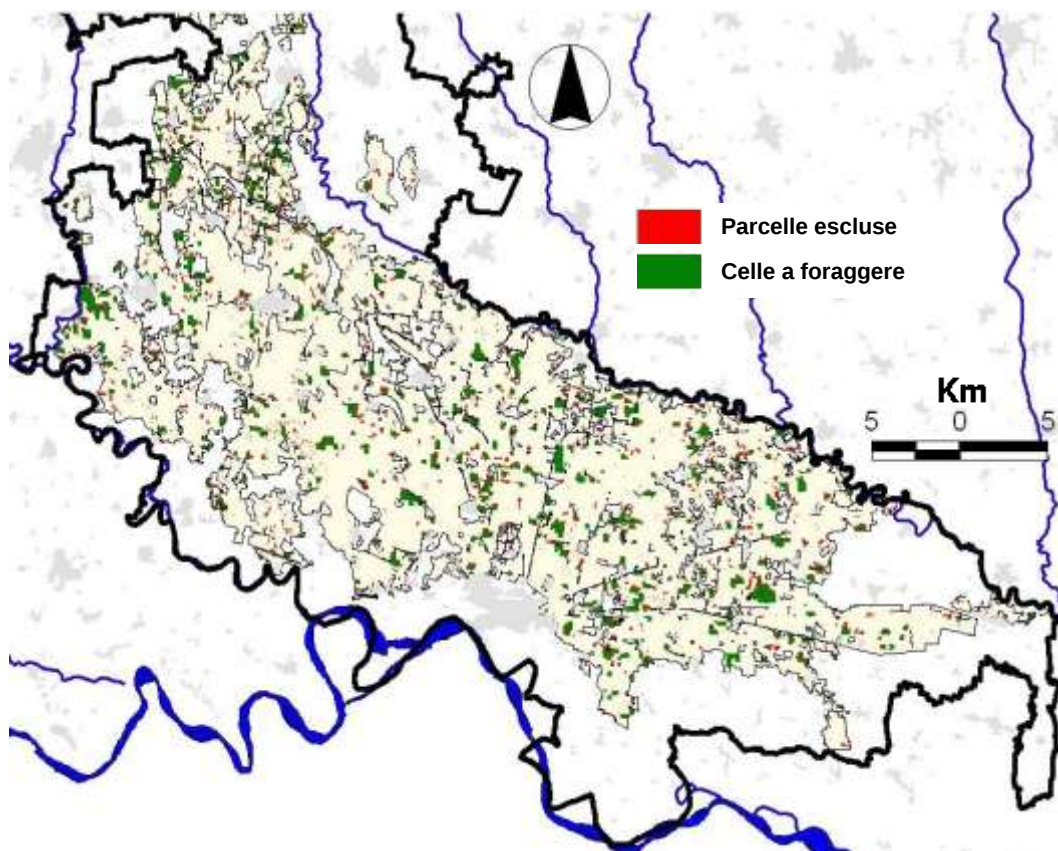


Figura 6.26 - Zona sud: confronto tra le celle a foraggiere (verde) e le parcelle a foraggiere escluse nella rasterizzazione (rosso). In color panna l'area su cui si faranno le analisi di dettaglio.

Il mais richiede apporti irrigui abbastanza simili a quelle delle foraggere nei mesi di giugno, luglio e agosto, mentre in maggio la differenza è di un ordine di grandezza. In maggio quindi quel 15% di foraggere che si è tradotto in mais durante la rasterizzazione fa sentire il suo peso con una riduzione dei fabbisogni attorno al 20%.

Osservando le figg. 6.25 e 6.26 si nota come la diffusione delle parcelle omesse all'interno delle aree su cui si faranno le aggregazioni sia pressoché uniforme (con concentrazione maggiore in prossimità delle celle a foraggiere). Dati inoltre i piccoli fabbisogni di maggio (circa 10 volte più piccoli di quelli di luglio), si può ottenere una approssimazione più che soddisfacente moltiplicando i fabbisogni di maggio, ottenuti dalla prima correzione areale, per un coefficiente, costante per ogni sottocomprensorio, pari a 1.236, ricavato dal rapporto: "Fabb.SIARL" / "Fabb.raster Corretto" per il mese di maggio, calcolato sull'intera area di studio (si veda la tab. 6.5).

Nel cap. 7 saranno trattati i fabbisogni aggregati a scala di singolo sottocomprensorio (superfici irrigue medie SIARL di 200 ha per la ZONA NORD e di 400 ha per la zona sud), o per aggregazione di più sottocomprensori. Le correzioni individuate in questo capitolo verranno applicate sempre ai sottocomprensori (per ciascuno viene individuato il suo Fattore di Correzione Areale) per ottenere la massima correttezza nelle stime.

Le stime puntuali per i valori della singola cella (e quindi tutti i raster prodotti) non richiedono invece alcuna correzione: le stime dei fabbisogni per cella sono perfettamente aderenti all'uso del suolo dominante.

La stima complessiva dei fabbisogni corretti segue la procedura:

- identificazione degli usi del suolo dominante per ciascuna cella con la rasterizzazione in due passaggi, il che garantisce la congruenza ma deforma le superfici;
- calcolo dei fabbisogni per cella con Idragra, per cui si ottengono le migliori stime per unità di superficie (in relazione alla dimensione di maglia), grazie alla congruenza con gli usi dominanti;
- determinazione dei FCA per sottocomprensorio, e correzione dei fabbisogni per sottocomprensorio (ora risultano riferiti alle superfici irrigue SIARL 2006);
- correzione dei fabbisogni di maggio con il fattore 1.236 (tenuto uguale per tutti i sottocomprensori), che considera la differenza media dovuta alla riduzione relativa delle superfici a prato.

In conclusione si è verificato che l'applicazione di questa procedura determina una stima corretta e affidabile dei fabbisogni per sottocomprensorio.

7. BILANCIO IDROLOGICO

Nel Cap. 6 si sono ottenute le stime dei fabbisogni idrici colturali per ogni cella del dominio, ed è stato verificato l'intervallo temporale che è più ragionevole considerare per formulare considerazioni valide nel tempo corrente (l'intervallo 1991-2006). Si è inoltre identificato un metodo per migliorare ulteriormente le stime ottenute, attraverso l'introduzione di un fattore di correzione areale e di un fattore di correzione per il mese di maggio.

A questo punto, si può passare al calcolo del bilancio idrologico per ottenere i seguenti risultati:

- elaborazione delle carte pluviometriche (in cui si farà nuovamente il confronto tra l'intervallo 1951-2006 e 1991-2006), accorpando poi i dati per i dugali di due canali principali presi ad esempio;
- calcolo dei fabbisogni irrigui locali attraverso l'attribuzione dell'efficienza di adacquamento (identificata a partire dalle caratteristiche del suolo), e presentazione delle relative carte di fabbisogno irriguo;
- applicazione di una metodologia che consente di attribuire puntualmente le efficienze di adduzione e di effettuare elaborazioni complesse sulle reti; si riporta integralmente a scopo di esempio l'applicazione a due canali primari.
- stima della copertura del fabbisogno idrico medio per tutte le zone irrigate direttamente da acque dell'Oglio.
- stima della copertura del fabbisogno idrico estremo per tutte le zone irrigate direttamente da acque dell'Oglio.

In questa seconda parte alcune analisi avranno come unità territoriale elementare le celle 250 x 250 m, utilizzate in simulazione e descritte nella preparazione degli input, altre avranno come unità minima porzioni di territorio che chiameremo "sottocomprensori".

Si definisce come sottocomprensorio una porzione di un comprensorio irriguo, alimentato da un singolo canale principale, tale da essere servita da una portata continua, e con estensione tale da essere utile agli scopi delle analisi. Nelle due zone che verranno definite più avanti i sottocomprensori considerati hanno caratteristiche leggermente differenti.

- ZONA NORD: i sottocomprensori presentano una forte aderenza alla struttura delle rete irrigua, e sono generalmente conformi alla suddivisione territoriale adottata dal Consorzio dell'Oglio per la gestione delle acque.
- ZONA SUD: a causa della grande complessità della rete irrigua, si utilizza una carta dei sottocomprensori elaborata dall'Istituto di Idraulica Agraria, che presenta una maggiore aggregazione rispetto alla rete, poiché sono accorpati sottocomprensori elementari con caratteristiche simili.

In entrambi i casi si parlerà di sottocomprensori, richiamando quando serve la differenza che intercorre tra le due zone.

Per le elaborazioni seguenti vengono considerati una ulteriore selezione di strati informativi elencati di seguito:

- SottoComprensori2_D: file shape contenente i bacini irrigui minimi da analizzare (ZONA NORD). Contiene codici e accorpamenti congruenti con la tabella della rete irrigua;
- CanaliBS: file shape contenente i canali dell'area bresciana e bergamasca;
- Tabella della rete irrigua: file Excel contenente la tabella della rete irrigua con i dati codificati;
- Portate medie mensili dei canali: file Excel delle portate medie mensili per gli anni 1991-2006 per 11 canali primari (ZONA NORD);
- Serie di portate di canali cremonesi: per il calcolo delle portate medie mensili e loro deviazioni;
- Carta raster della soggiacenza della falda: elaborato dall'Istituto di Agraria nel corso del progetto Gandolfi et al. 2007 per la provincia di Cremona.

7.1. Carte pluviometriche

I fabbisogni idrici colturali stimati dal modello nell'orizzonte temporale simulato dipendono, per il loro andamento temporale, esclusivamente dalle serie meteorologiche. Si ricorda che durante la preparazione degli input si è considerato che le serie delle caratteristiche fenologiche dipendono a loro volta dalle serie meteo, e che le altre grandezze sono assunte costanti per tutta la simulazione.

Le differenze riscontrate tra i fabbisogni idrici colturali degli intervalli 1951-2006 e 1991-2006 sono quindi dovute alle differenze meteorologiche, e parte di queste differenze sono spiegate dalla variazione dei regimi pluviometrici che si sono analizzati.

Per ottenere l'andamento dei valori di precipitazione nei comprensori (ovvero in punti del territorio che non coincidono con le stazioni meteo), si è adottato il medesimo metodo di spazializzazione previsto per il modello; in altre parole le analisi che si presenteranno sono eseguite sui medesimi dati spazializzati utilizzati dal modello IDRAGRA per la stima dei fabbisogni. Si ricorda che il metodo di spazializzazione consiste nella media pesata sull'inverso del quadrato della distanza per le tre stazioni più vicine al punto considerato.

Nel seguito si presentano le carte pluviometriche medie mensili (per i mesi da maggio a settembre) per i due orizzonti esaminati 1951-2006 e 1991-2006. Osservando le carte, in alcuni rari casi si noteranno porzioni con valori inattesi: questi sono dovuti a gradini di rasterizzazione, di piccola entità e che approssimano l'andamento curvo della superficie. Malgrado la loro piccola dimensione possono risultare evidenti se le soglie cromatiche scelte si trovano a cavallo del gradino. La presenza dei gradini è dovuta al passaggio, per la terza stazione più vicina, entro il raggio di influenza di un'altra stazione ed è un limite del metodo di spazializzazione. Questo limite è comunque di modesta entità e i suoi effetti sulle analisi sono assolutamente trascurabili.

Dal confronto delle carte si potrà notare come siano intervenute alcune variazioni del regime pluviometrico nell'arco temporale considerato:

- si verifica una variazione spaziale perché è diminuita la piovosità su una parte della Zona Nord; la parte centrale subisce differenze di segno diverso secondo i mesi; la zona più meridionale subisce variazioni di piccola entità.
- si riscontra in generale una diminuzione della piovosità estiva (anche se alcune piccole zone risultano in controtendenza con un aumento di piovosità), e un forte incremento di piovosità in settembre.

Fig.7.1 - Carta pluviometrica media del mese di Maggio, in mm/mese, scala in km.

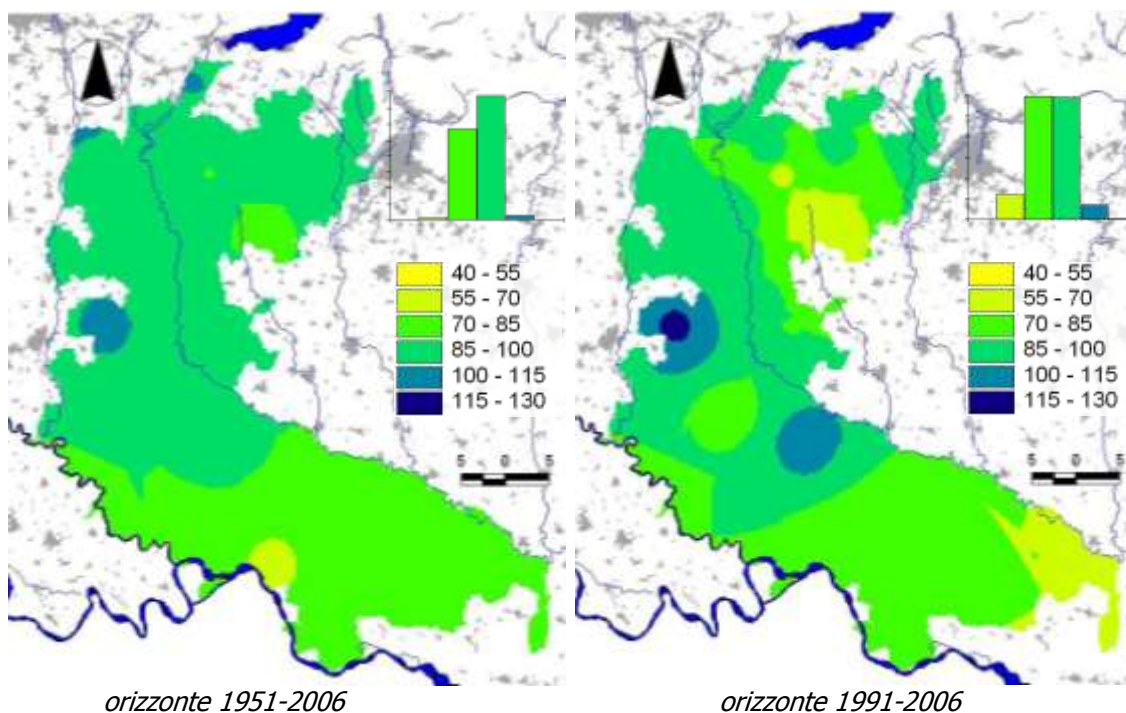


Fig. 7.2 - Carta pluviometrica media del mese di Giugno, in mm/mese, scala in km.

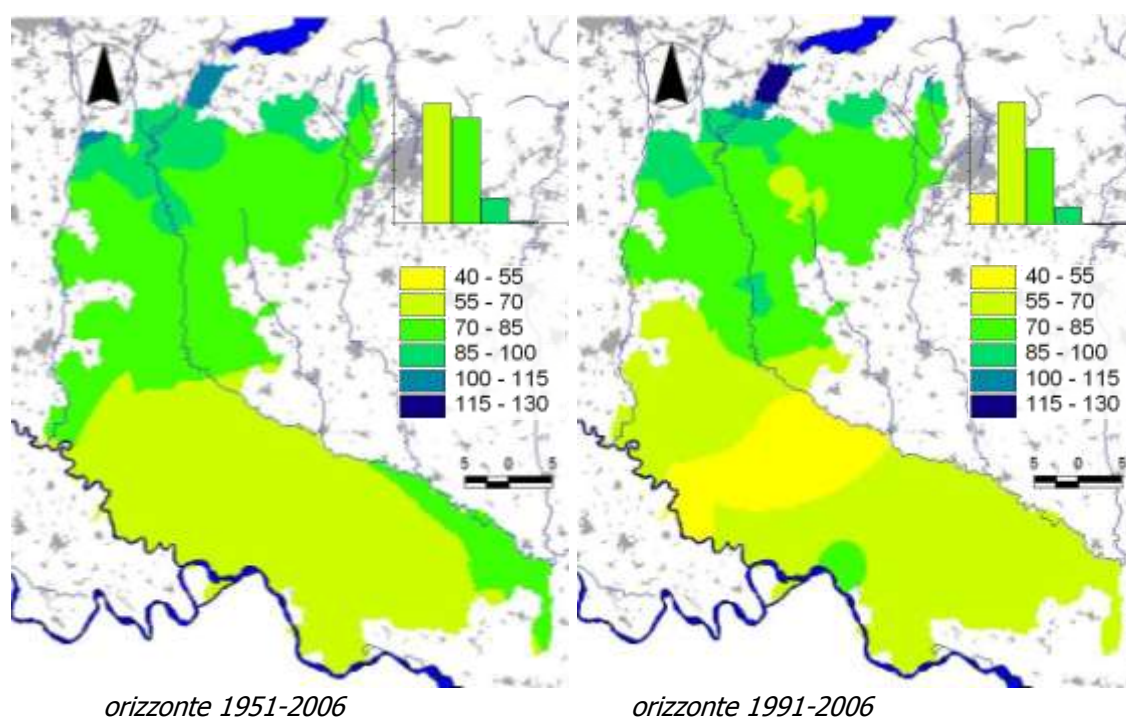


Fig. 7.3 - Carta pluviometrica media del mese di Luglio, in mm/mese, scala in km.

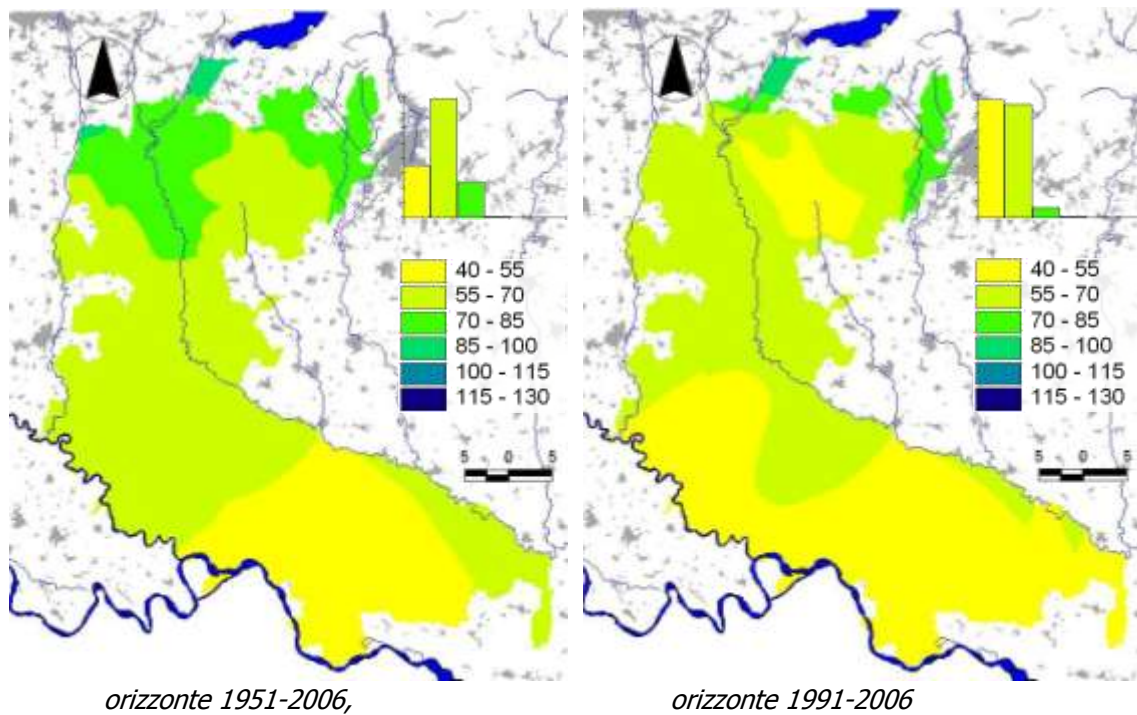


Fig. 7.4 - Carta pluviometrica media del mese di Agosto, in mm/mese, scala in km.

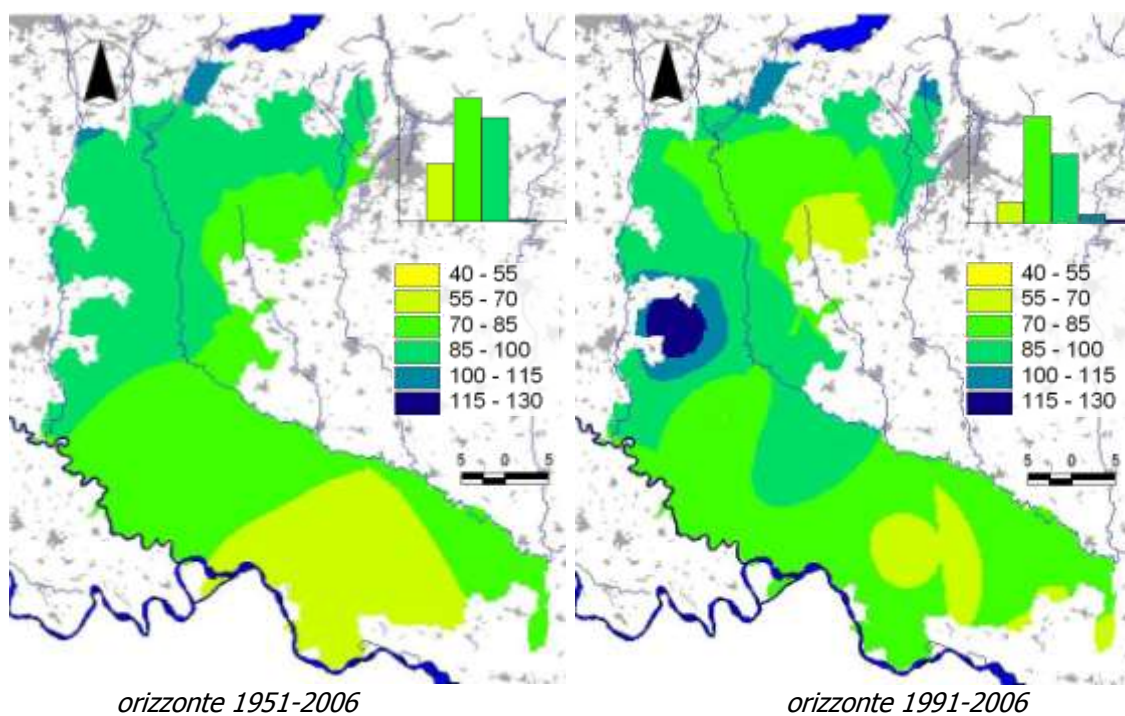
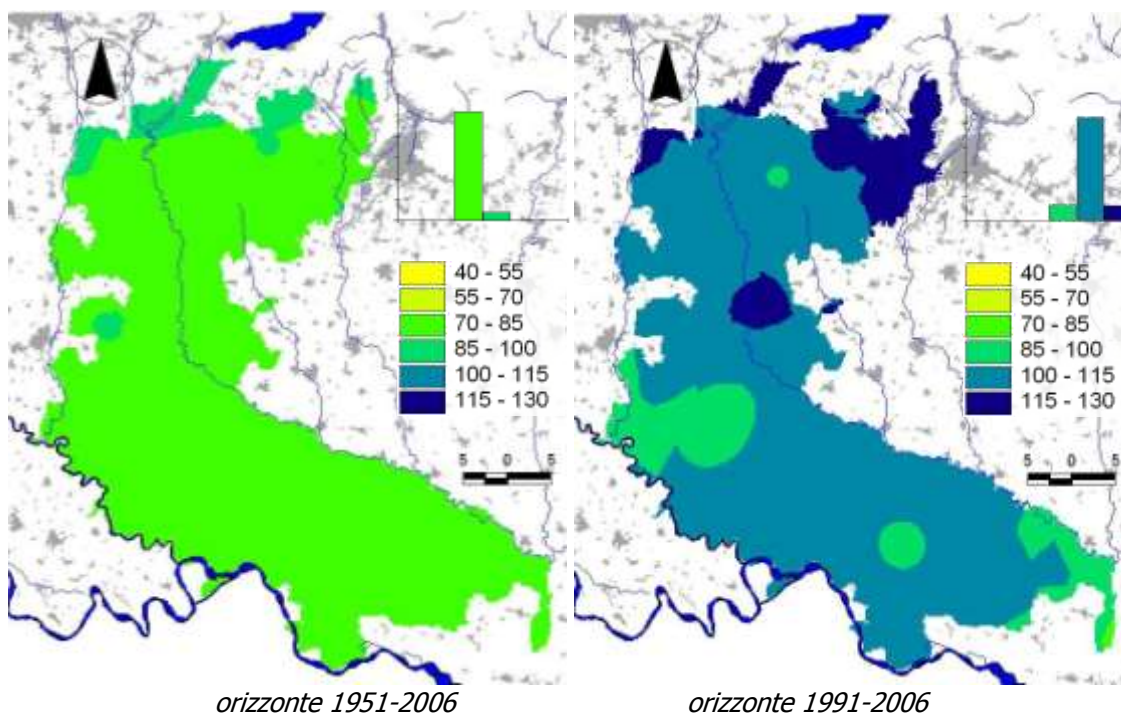


Fig. 7.5 - Carta pluviometrica media mese di Settembre, in mm/mese, scala in km.



Nel paragrafo che segue, si analizza e definisce la variazione dell'andamento annuale medio per i sottocomprensori di due canali principali presi ad esempio, ma rappresentativi dell'intero comprensorio del Fiume Oglio (sottocomprensori della Roggia Vetra e della Roggia Sale).

7.2. Differenze nel regime pluviometrico

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori mensili delle precipitazioni medie mensili nei sottocomprensori delle rogge Vetra e Sale. Le tabelle contengono i valori stimati per i due periodi 1951-2006 e 1991-2006, nell'ultima riga delle tabelle sono calcolate le medie pesate in base alla superficie irrigua dei sottocomprensori.

Le figure che seguono le tabelle mostrano i confronti, per i due intervalli temporali, delle precipitazioni medie mensili sui distretti costituiti dai sottocomprensori alimentati delle due rogge; si noter  che per entrambi i territori si verifica una riduzione degli apporti di pioggia in inverno e primavera ed un aumento di quelli autunnali. Questa modifica della distribuzione della pioggia all'interno dell'anno produce una modesta differenza nella piovosit  annua ma contemporaneamente una riduzione significativa dell'acqua disponibile per le colture.

Tab. 7.1 - Sottocomprensori della roggia Vetra, valori delle altezze di pioggia medie mensili, orizzonte 1991-2006 (valori in mm/mese)

Nome	Cod	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Dugale Vetra	210	47	31	43	72	84	82	57	81	107	110	90	61
Dugale Gazzo	211	48	31	42	72	83	79	55	80	107	109	90	61
Dugale Albarello	212	46	31	41	71	83	78	54	79	106	108	88	60
Dugale Lisonzo	213	41	28	37	64	75	71	51	78	103	101	80	53
Dugale S.Bernardo	214	44	30	40	69	81	77	53	79	105	106	86	58

Dugale S.Fermo	215	40	28	34	61	70	67	49	77	100	97	78	51
DugaleVia Nuova	216	38	27	33	59	69	65	49	77	100	95	76	49
Dugale Lumetti	217	40	28	36	63	75	70	51	78	104	99	79	53
Dugale S.Gervasio	218	39	28	35	61	71	68	50	77	102	97	77	51
Baioncello Castrezzato	219	42	27	37	61	69	70	53	69	106	104	75	52
Dugali Quad.Garde.Ger.	231	43	30	40	68	81	76	54	79	106	105	85	57
Dugale Santella	235	41	30	38	66	79	74	54	80	108	102	82	56
Dugale Serina	236	40	30	38	65	77	74	56	77	113	102	79	55
Dugale Bornadino	237	40	30	39	67	81	76	58	80	115	103	81	57
Dugale S.Bernardo	238	42	30	40	68	82	80	62	82	116	107	83	58
Dugale Nuova	241	43	30	41	70	85	81	66	87	116	110	86	59
Dugale Castegnata	245	48	33	44	73	88	80	70	93	117	116	91	63
Dugale Maeda	246	48	34	45	74	89	79	70	92	118	116	92	64
Dugale Sale	247	48	33	44	73	88	80	70	93	117	117	92	63
Dugale Campassi	251	48	35	45	73	85	77	66	85	121	115	88	64
Dug. Incontro-molinetti	252	51	38	48	77	90	77	72	93	123	120	94	68
Media pesata 91-06		44	30	40	68	80	75	58	81	110	107	84	58

Tab. 7.2 - Sottocomprensori della roggia Vetra, valori delle altezze di pioggia medie mensili, orizzonte 1951-2006 (valori in mm/mese)

<i>Nome</i>	<i>Cod</i>	<i>Gen</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>Mag</i>	<i>Giu</i>	<i>Lug</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Ott</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>
Dugale Vetra	210	55	50	61	78	92	86	72	88	84	106	89	59
Dugale Gazzo	211	55	50	61	78	91	85	71	87	83	106	89	59
Dugale Albarello	212	54	50	60	77	91	85	71	87	83	105	89	59
Dugale Lisonzo	213	52	49	59	75	88	83	70	86	82	103	86	57
Dugale S.Bernardo	214	54	49	60	76	90	85	71	87	83	105	88	58
Dugale S.Fermo	215	52	49	58	74	87	81	69	86	82	102	85	56
DugaleVia Nuova	216	52	48	58	73	86	81	69	86	81	101	85	56
Dugale Lumetti	217	52	49	59	74	88	82	69	86	82	102	86	57
Dugale S.Gervasio	218	52	48	58	74	87	82	69	86	82	101	85	56
Baioncello Castrezzato	219	52	48	58	74	86	81	68	82	82	103	84	57
Dugali Quad.Garde.Ger.	231	53	49	60	76	90	84	70	87	83	104	88	58
Dugale Santella	235	52	49	59	75	89	83	70	87	83	102	86	57
Dugale Serina	236	51	49	58	74	88	82	68	85	84	102	85	57
Dugale Bornadino	237	51	49	58	75	89	83	69	86	84	102	86	58
Dugale S.Bernardo	238	51	49	58	75	90	84	70	86	85	103	86	58
Dugale Nuova	241	52	49	58	76	90	85	72	88	85	104	87	58
Dugale Castegnata	245	53	49	59	77	90	84	72	87	84	104	87	59
Dugale Maeda	246	53	50	59	77	90	83	72	87	84	104	87	60
Dugale Sale	247	53	50	59	77	90	84	72	87	84	104	87	60
Dugale Campassi	251	53	50	58	76	89	82	70	84	85	104	86	60
Dug. Incontro-molinetti	252	53	51	59	77	89	82	71	85	85	104	87	61
Media pesata 51-06		53	49	59	76	89	83	70	86	83	104	87	58

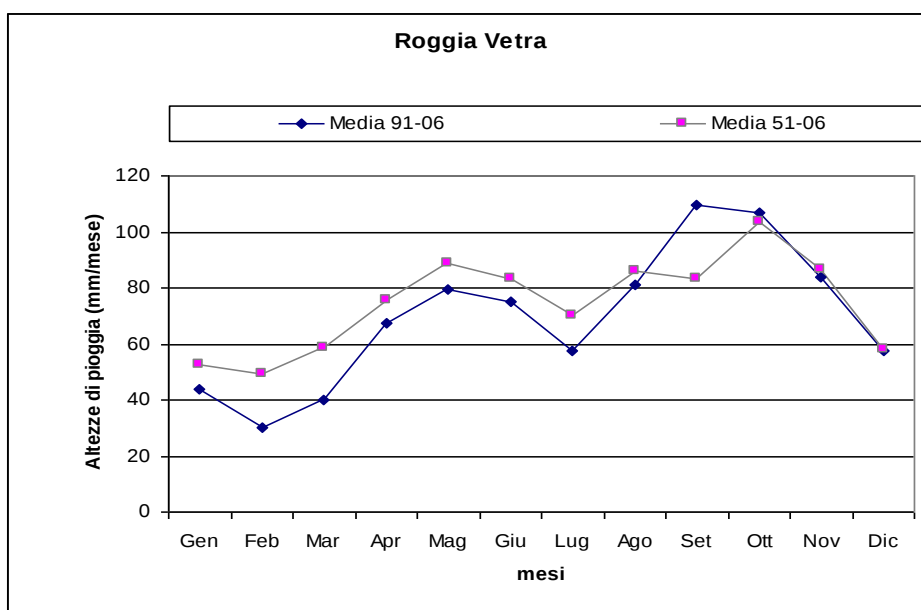


Fig. 7.6 - Andamenti delle portate di pioggia medie nei sottocompensori della roggia Vetra, nei due orizzonti temporali esaminati.

Tab. 7.3 - Sottocompensori della roggia Sale, valori delle altezze di pioggia medie mensili, orizzonte 1991-2006 (valori in mm/mese)

Nome	Cod	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Bocchetti Palosco	410	48	32	44	73	85	83	58	83	108	111	92	62
Dugali di Calcio	412	56	34	45	79	88	83	59	84	110	115	99	68
Dugale Serioletta	413	54	34	44	78	88	83	58	83	109	114	97	67
Dugale Cortenuova	414	56	35	45	80	90	85	59	85	108	115	99	68
Dugale Naviletto	415	56	35	45	79	89	84	59	85	109	114	99	68
DugaleRuscotto	416	57	35	45	80	90	85	59	85	108	115	100	69
Media pesata 91-06		55	34	45	79	89	84	59	84	109	114	98	68

Tab. 7.4 - Sottocompensori della roggia Sale, valori delle altezze di pioggia medie mensili, orizzonte 1951-2006 (valori in mm/mese)

Nome	Cod	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
Bocchetti Palosco	410	55	50	61	79	92	87	73	89	84	107	90	59
Dugali di Calcio	412	58	52	61	80	93	85	72	88	83	109	92	62
Dugale Serioletta	413	57	51	61	80	93	86	71	88	83	108	91	61
Dugale Cortenuova	414	57	52	61	81	93	85	71	89	82	109	92	62
Dugale Naviletto	415	57	52	61	81	93	85	71	89	83	109	92	62
DugaleRuscotto	416	57	52	61	81	93	85	71	89	82	109	92	62
Media pesata 51-06		57	52	61	80	93	85	71	89	83	109	92	62

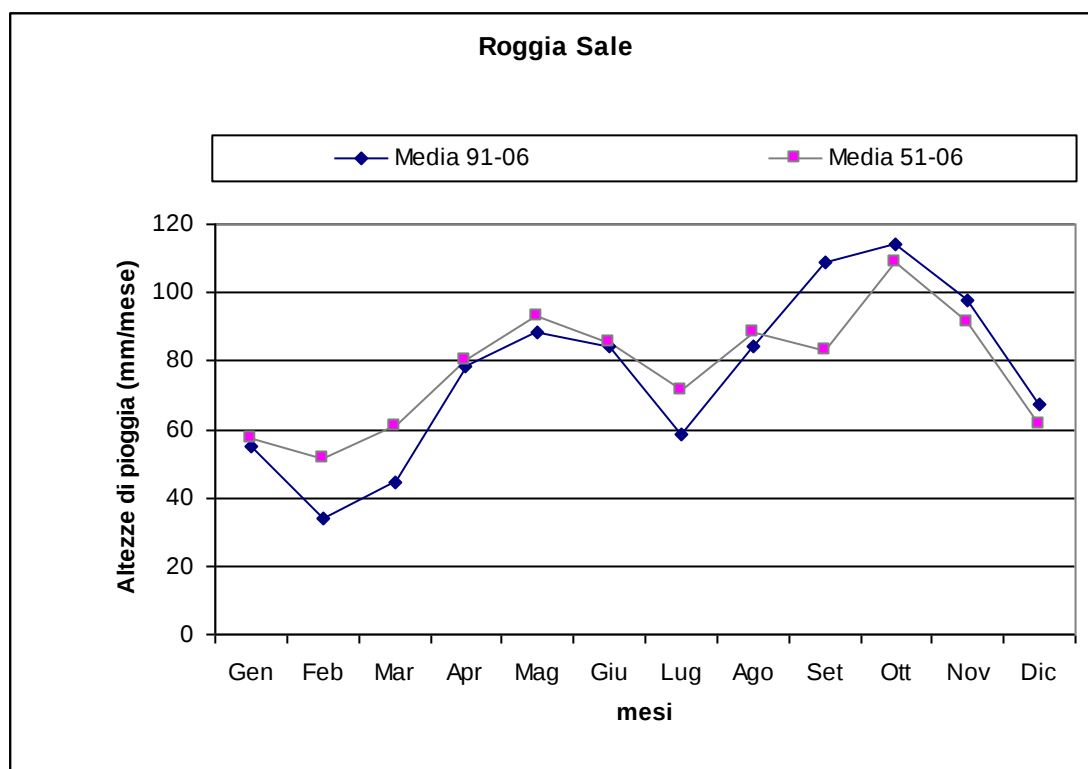


Fig. 7.7 - Andamenti delle portate di pioggia medie nei sottocomprensori della roggia Sale nei due orizzonti temporali esaminati.

Come mostrato per i due comprensori Sale e Vetra, possiamo valutare le variazioni nelle pluviometrie per le due zone su cui si effettueranno i bilanci idrologici (riportate più avanti in fig. 7.8 e fig. 7.9).

Si ritiene opportuno specificare che:

- la ZONA NORD corrisponde all'insieme dei sottocomprensori alimentati dai canali che derivano dall'Oglio e che coprono la parte bergamasca e la parte bresciana del comprensorio irriguo del Consorzio dell'Oglio;
- la ZONA SUD corrisponde all'insieme dei sottocomprensori alimentati dai canali Naviglio Civico, Naviglio Grande, Naviglio Nuovo, Roggia Calciana e dal Canale Vacchelli. La ZONA SUD copre la parte cremonese del comprensorio irriguo del Consorzio dell'Oglio.

Le seguenti tabelle e grafici illustrano gli andamenti medi delle piogge (calcolati mediando i valori delle carte raster delle pluviometrie nelle porzioni appartenenti alle due zone). Si riporta anche la media generale.

Osservando le differenze tra i grafici delle figure 8 e 9 si nota come nella ZONA NORD ci sia stata una riduzione più consistente delle piogge estive (riduzione di 29 mm tra giugno e agosto rispetto ai -6 mm nella zona Sud), considerazione già emersa dall'osservazione delle carte pluviometriche.

Passando dall'andamento delle piogge nel periodo 1951-2006 all'andamento nel periodo 1991-2006, si osserva sull'intero comprensorio dell'Oglio una piccola riduzione delle piogge medie (-29 mm/anno), con differenze mensili che oscillano tra -17 mm/mese in febbraio e marzo, e +28 mm/mese in settembre.

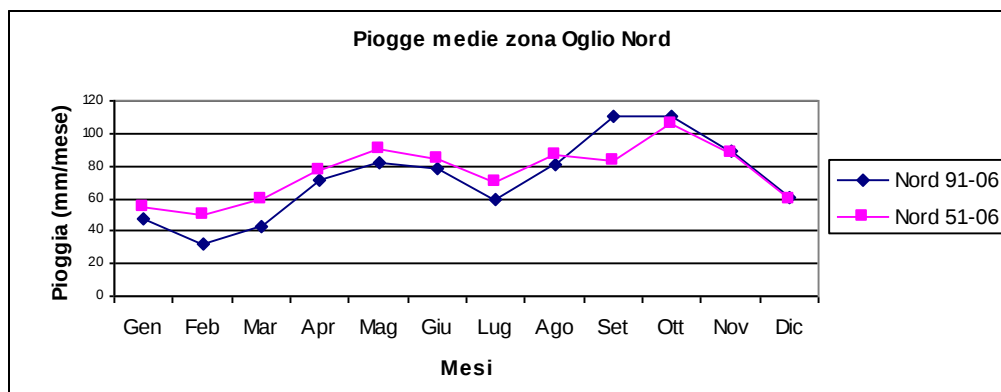


Fig. 7.8 - Andamenti delle altezze di pioggia medie nei sottocompensori della ZONA NORD

Tab. 7.5 - Sottocompensori della ZONA NORD, valori delle altezze di pioggia medie mensili, valori in mm/mese (differenza -42 mm/anno)

Orizzonte	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1991-2006	48.0	31.5	42.5	71.7	82.0	79.0	59.2	81.2	110.7	110.8	89.0	61.0
1951-2006	54.3	49.6	59.8	77.4	90.2	84.0	70.5	86.5	83.4	105.7	88.3	59.3
Diff. Mensili	-18.1	-17.3	-5.7	-8.2	-5.1	-11.3	-5.3	27.2	5.1	0.7	1.8	-6.3

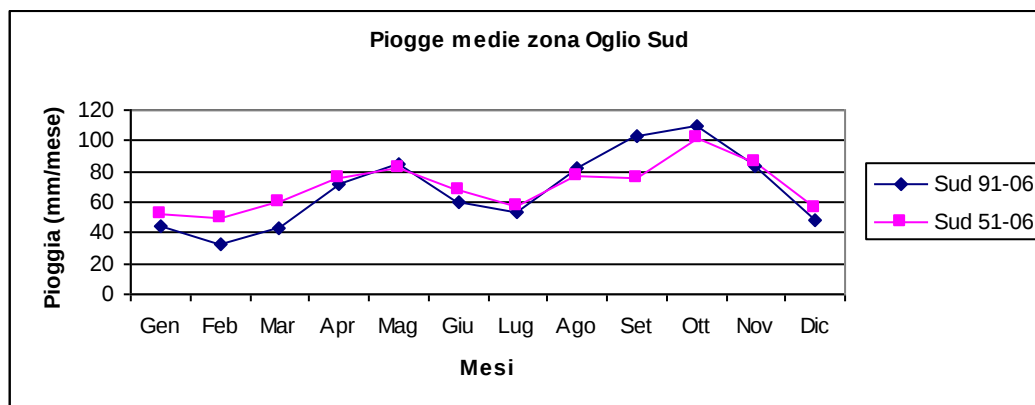


Fig. 7.9 - Andamenti delle altezze di pioggia medie nei sottocompensori della zona Sud

Tab. 7.6 - Sottocompensori della zona Sud, valori delle altezze di pioggia medie mensili, valori in mm/mese (differenza -24 mm/anno)

Orizzonte	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1991-2006	43.9	32.3	42.9	71.8	84.6	59.9	53.7	82.4	103.7	109.6	83.5	47.7
1951-2006	52.5	50.0	60.1	75.5	82.1	67.8	57.6	76.5	75.2	101.6	85.6	55.5
Diff. Mensili	-8.5	-17.7	-17.2	-3.6	2.5	-7.8	-3.9	5.9	28.4	8.0	-2.1	-7.8

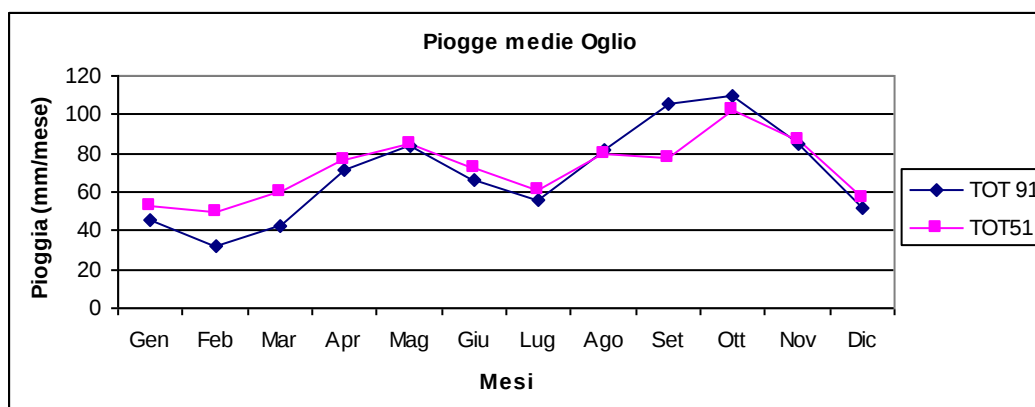


Fig. 7.10 - Andamenti delle portate di pioggia medie nei sottocomprensori della zona Sud

Tab. 7.7 - Comprensorio dell'Oglio, valori delle altezze di pioggia medie mensili, valori in mm/mese (differenza -30 mm/anno)

Orizzonte	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
1991-2006	45.2	32.1	42.8	71.8	83.8	65.7	55.4	82.0	105.8	110.0	85.2	51.7
1951-2006	53.0	49.9	60.0	76.0	84.6	72.7	61.5	79.6	77.7	102.8	86.4	56.7
Diff. Mensili	-7.8	-17.8	-17.2	-4.3	-0.8	-7.0	-6.2	2.5	28.1	7.1	-1.2	-4.9

7.3. Efficienza irrigua

Per il calcolo dei fabbisogni irrigui locali, e quindi per la chiusura del bilancio idrico, eseguito nei capitoli seguenti, si deve calcolare una stima attendibile dell'efficienza irrigua. Si tenga conto che, tolti alcuni sottocomprensori che possiedono impianti di irrigazione ad aspersione (per il quale si adotta un'efficienza di riferimento media pari a 0.7), il territorio in analisi è irrigato per scorrimento. Non esistono mappe di misure o di valori di riferimento per l'efficienza di scorrimento che coprano l'intera area di studio. D'altra parte in letteratura si riscontra una certa convergenza sull'intervallo di valori entro cui si colloca l'efficienza dell'irrigazione per scorrimento (CIGR 1999); esso risulta molto ampio (CIGR, ad esempio, riporta i valori estremi 0,30-0,80), anche se può essere ridotto in considerazione delle caratteristiche del suolo e della conformazione degli appezzamenti.

In linea con quanto riportato in letteratura, si è deciso quindi di legare il valore dell'efficienza irrigua alla capacità idrica disponibile per le colture (AWC, Available Water Capacity). La AWC è definita (FAO 79) come differenza tra il contenuto idrico alla capacità di campo (Field Capacity, θ_{FC}) e il contenuto idrico al punto di appassimento (Wilting Point, θ_{WP}):

$$AWC = \theta_{FC} - \theta_{WP}$$

ed è tra i parametri necessari per fornire indicazioni sulla capacità del suolo di immagazzinare acqua e trattenerla a beneficio delle piante. Il legame tra "efficienza" ed AWC è stato definito secondo i criteri di seguito illustrati.

7.4. Calcolo dei valori di θ_{FC} e θ_{WP}

I valori di θ_{FC} e θ_{WP} sono stati calcolati con la stessa metodologia adottata negli ultimi lavori dell'Istituto di Idraulica Agraria (Gandolfi et al. 2007, IReR 2007), e per maggiore chiarezza si ritiene opportuno descrivere tale metodologia.

La metodologia impiegata calcola θ_{FC} e θ_{WP} con l'equazione di Van Genuchten (1980), in funzione di alcune caratteristiche pedologiche e di un valore di suzione di riferimento:

$$\theta_{RIF} = \left[\frac{1}{1 + \left(\frac{H_{RIF}}{H_b} \right)^{\lambda+1}} \right]^{\frac{\lambda}{\lambda+1}} (P_o - \theta_r) + \theta_r$$

dove θ_{RIF} indica θ_{FC} quando H_{RIF} prende il valore H_{FC} per la tipologia di tessitura a cui appartiene il suolo in considerazione; lo stesso dicasi per θ_{WP} .

Le caratteristiche pedologiche richieste dall'equazione vengono stimate tramite le funzioni di pedo-trasferimento (PTF - Pedo-Transfer Function) di Rawls & Brakensiek (1989), che hanno mostrato di essere adatte alle tipologie di suolo lombarde.

I valori di suzione adottati (H_{RIF} riportati nella seguente tabella) sono stati scelti sulla base delle indicazioni fornite da Ciavatta e Vianello (1989), con una modifica del valore H_{FC} per i suoli argillosi (Ciavatta e Vianello consigliano 60 cm). Questa modifica ha permesso di ottenere una migliore convergenza delle stime di θ_{FC} e θ_{WP} ai valori riportati in FAO 56 per le diverse tessiture di suolo.

Nella figura successiva sono rappresentati i valori di AWC calcolati per l'area di studio. Le zone in cui i terreni conservano meno della media (valori bassi) sono colorati in rosso, i terreni che conservano più acqua della media (valori alti) sono colorati in blu. La riga nera di separazione divide i comprensori bresciano-bergamaschi da quelli cremonesi.

Tab. 7.8 - Valori assunti per i potenziali di suzione (H_{RIF})

<i>Tessitura</i>	<i>Sottoclassi</i>	H_{FC}	H_{WP}
Sabbiosi	S, SF	200 cm	15000 cm
Franchi	L, F, FS	100 cm	10000 cm
Argillosi	A, AL, AS, FA, FSA, FLA, FL	100 cm	5000 cm

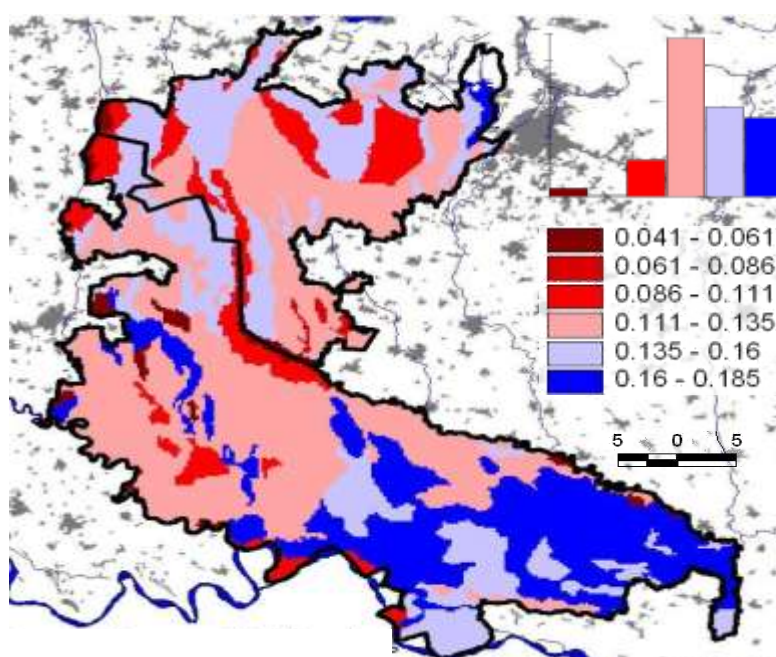


Fig. 7.11 - Carta della AWC, capacità dei suoli di conservare acqua (m^3 di acqua disponibile per m^2 di suolo):

7.5. Attribuzione delle efficienze irrigue a scorrimento

Si sono quindi scelti quattro valori di soglia di AWC (0.115, 0.135, 0.149 e 0.163): queste soglie dividono le celle in 5 gruppi. Ad ogni gruppo è stato abbinato un valore di efficienza irrigua relativa al metodo dello scorrimento su pianata compreso tra 30 e 50%.

La scelta delle soglie è stata impostata in modo da assegnare efficienza 35% alle celle con i valori di AWC intermedi (i più diffusi). Le celle con AWC maggiori sono state divise in classi di pari intervallo fino ad un valore di efficienza del 50% (il massimo riscontrato con le consuete sistemazioni irrigue associate all'irrigazione a scorrimento). Per le celle con AWC al di sotto della classe principale si è preso il valore 30% di efficienza, supponendo che nelle zone con terreni con bassissima capacità di ritenzione idrica vengano messi in atto accorgimenti per contenere le perdite entro limiti accettabili.

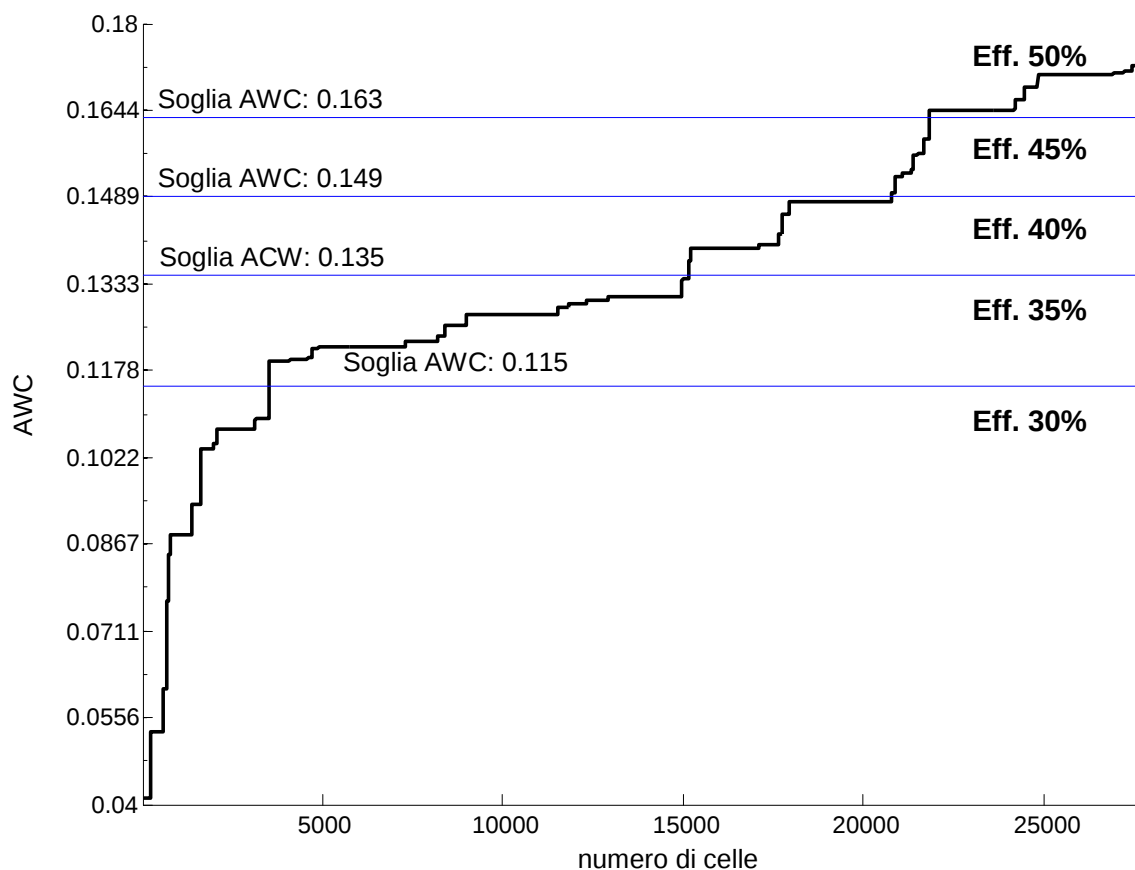


Fig. 7.12 - Diagramma delle soglie, scelte rispetto alla curva di ordinamento dei valori delle AWC per le singole celle.

In base alla classificazione individuata è stata creata una carta delle efficienze di irrigazione per scorrimento, che rende il valore di efficienza per ogni cella del dominio. Nelle zone che adottano l'irrigazione per asperione è stato impostato un valore di efficienza pari a 0.7. Il risultato di queste operazioni è la carta di efficienza di metodo irriguo dipendente dal metodo e, per lo scorrimento, dalle caratteristiche del suolo riportata nella figura successiva.

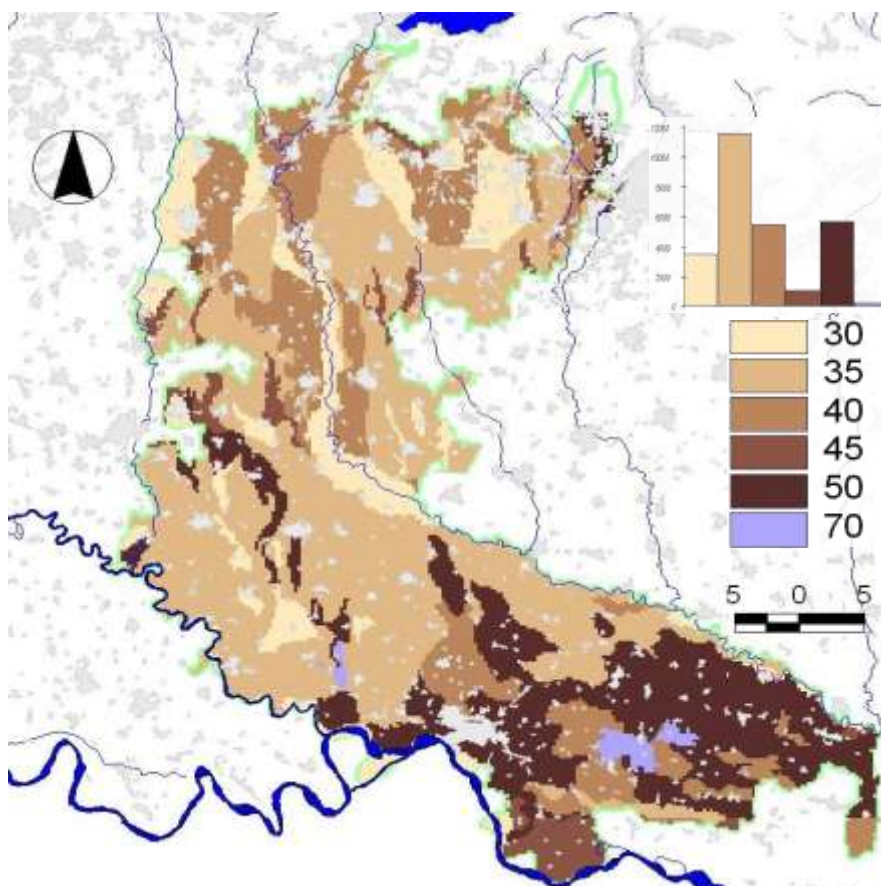


Fig. 7.13 - Carta delle efficienze di irrigazione per l'area in analisi

Precedenti lavori dell'Istituto di Idraulica Agraria entro il territorio della provincia di Cremona hanno utilizzato un valore di efficienza a scorrimento uniforme pari al 40%. In linea con questo, il valore medio dell'efficienza irrigua stimata a partire dal valore di AWC in destra Oglio, entro l'area di studio, risulta pari a 40.8%.

7.6. Carte dei fabbisogni irrigui locali

Le seguenti carte di fabbisogni sono state calcolate a partire dai fabbisogni idrici colturali (ovvero senza considerare efficienze di adduzione e di metodo irriguo), a cui si sono applicate le efficienze irrigue stimate come descritto nel paragrafo precedente:

$$\text{Fabb. irrigui locali} = \text{Fabb. Idrici Colt.} / (\text{Eff. Met. Irr.} / 100)$$

Le carte si riferiscono ai mesi tra maggio e settembre, i valori sono in l/(s.ha). Sono calcolate sia per la media del mese sull'intero orizzonte 1991-2006 (che porta alla stima del valore medio, ossia ai fabbisogni per un mese di media criticità), che per i casi estremi (valori T10 pari a M + 1.28 SD) sempre in relazione all'intervallo 1991-2006.

Per facilitare il confronto tra i valori risultanti nei due diversi casi, si sono riportate affiancate nella medesima pagina le carte di ciascun mese considerato.

Carte dei fabbisogni irrigui locali 1991–2006

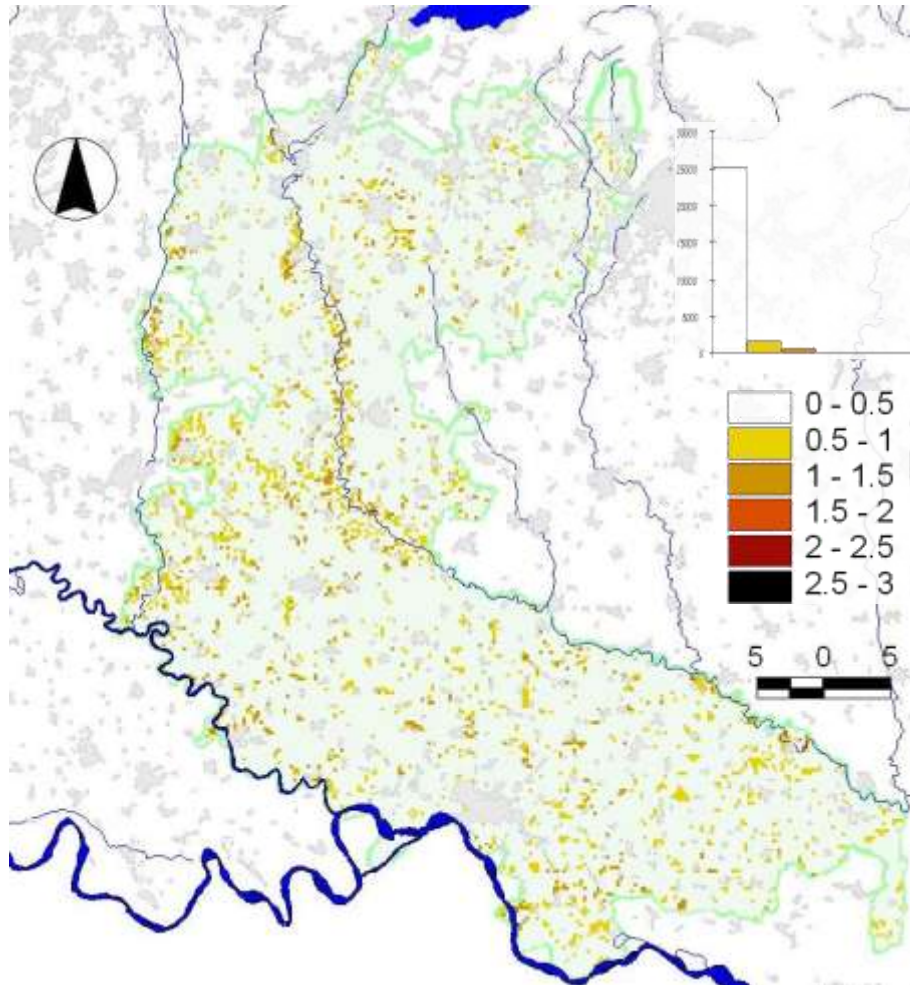


Fig. 7.14 - Maggio: fabbisogni medi al campo in l/(s.ha) - periodo 1991/2006 - scala in km

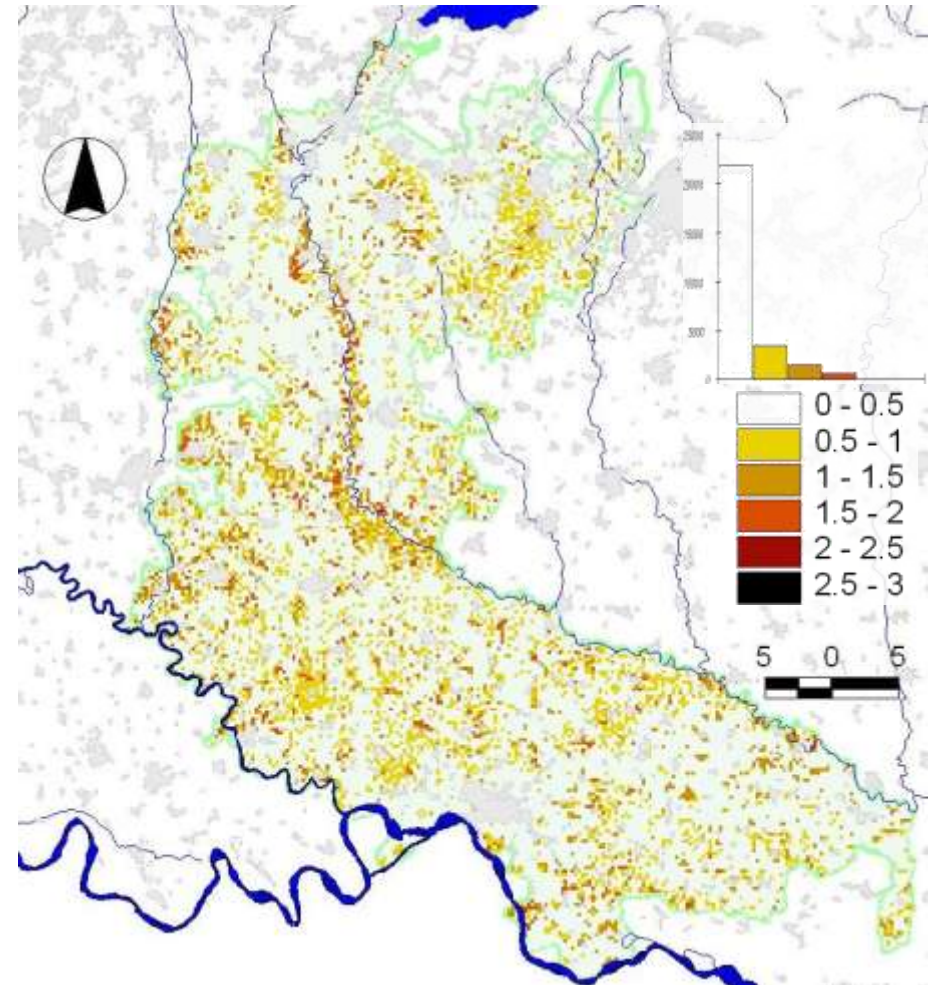


Fig. 7.15 - Maggio: fabbisogni estremi (T10) irrigui locali in l/(s.ha) - periodo 1991/2006 - la scala in km

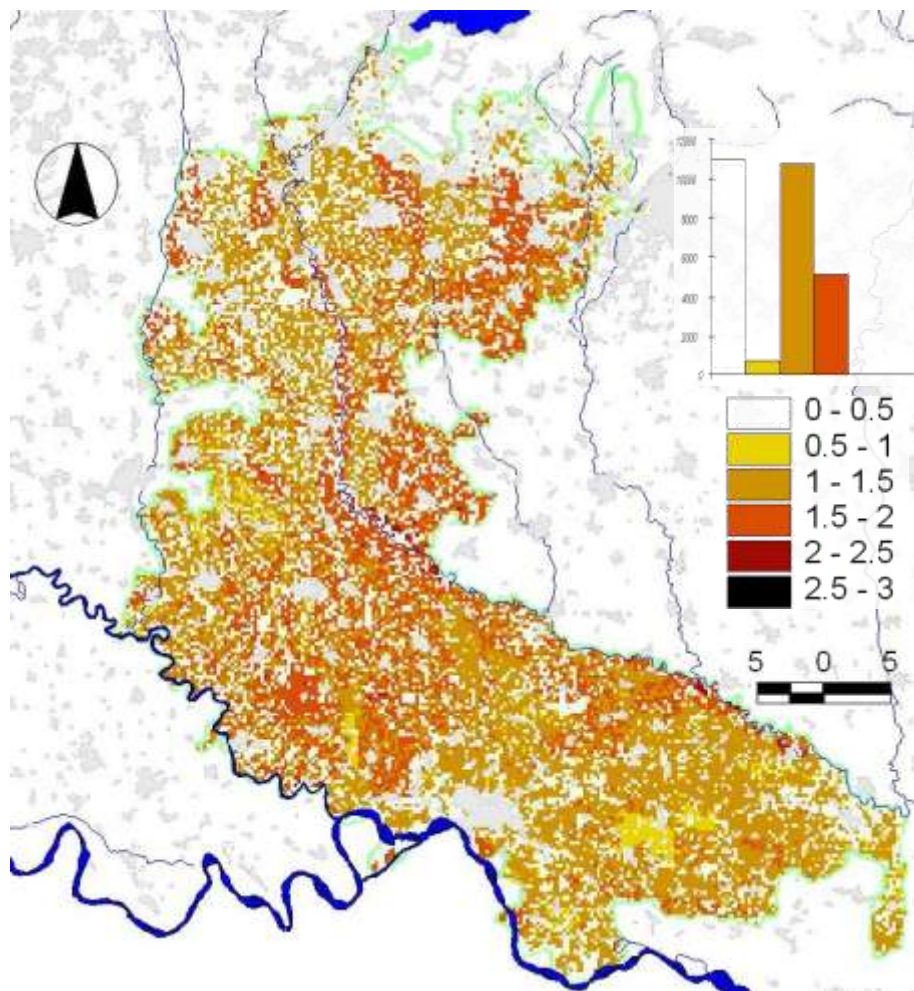


Fig. 7.16 - Giugno: fabbisogni medi irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

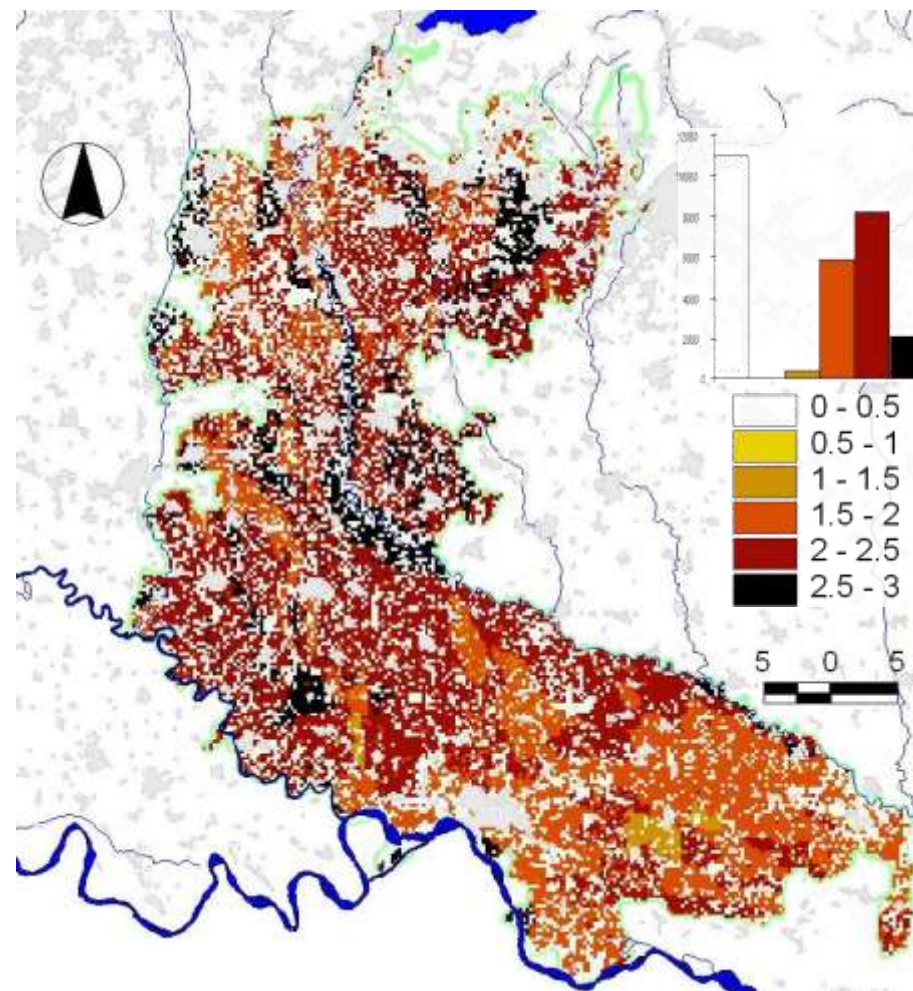


Fig. 7.17 - Giugno: fabbisogni estremi (T10) irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

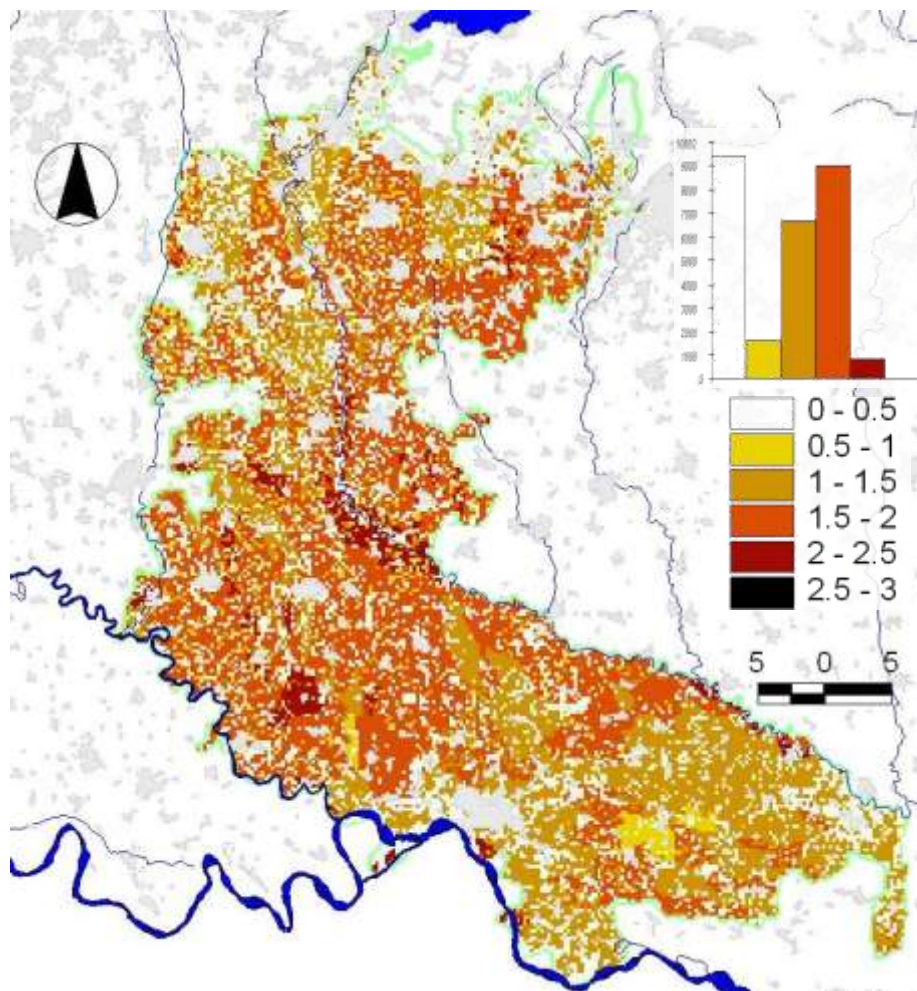


Fig. 7.18 - Luglio: fabbisogni medi irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

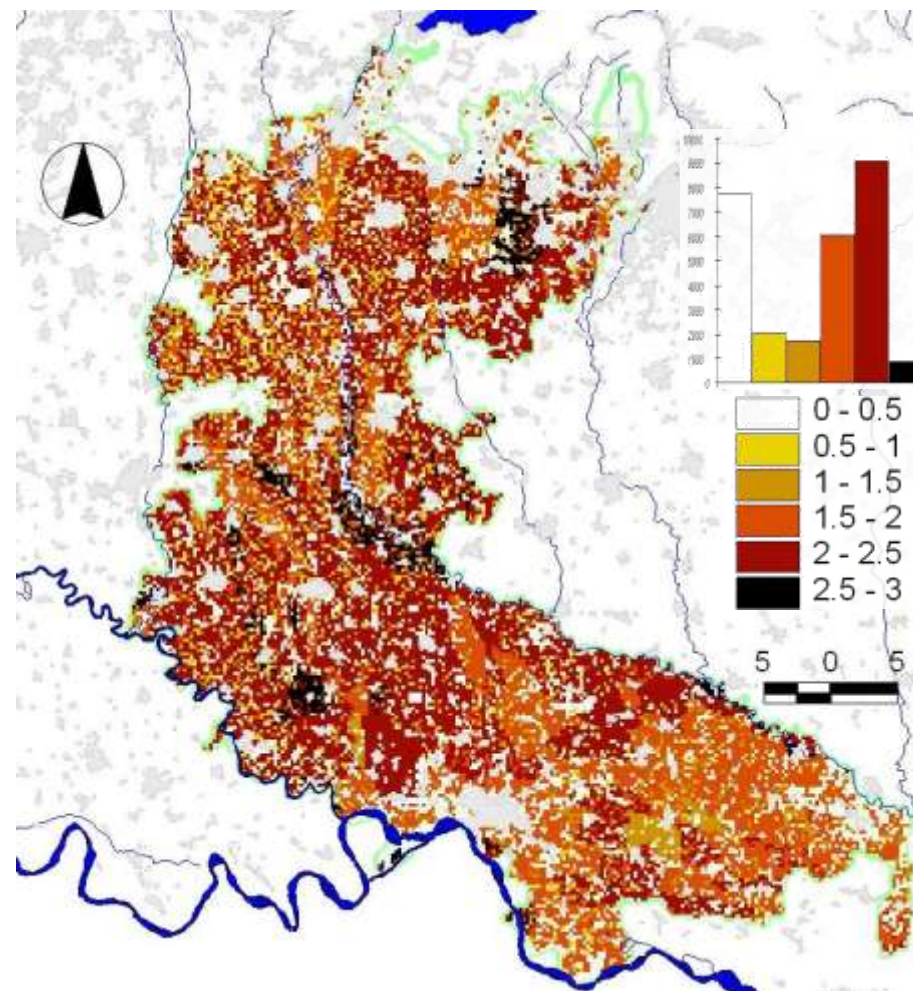


Fig. 7.19 - Luglio: fabbisogni estremi (T10) irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

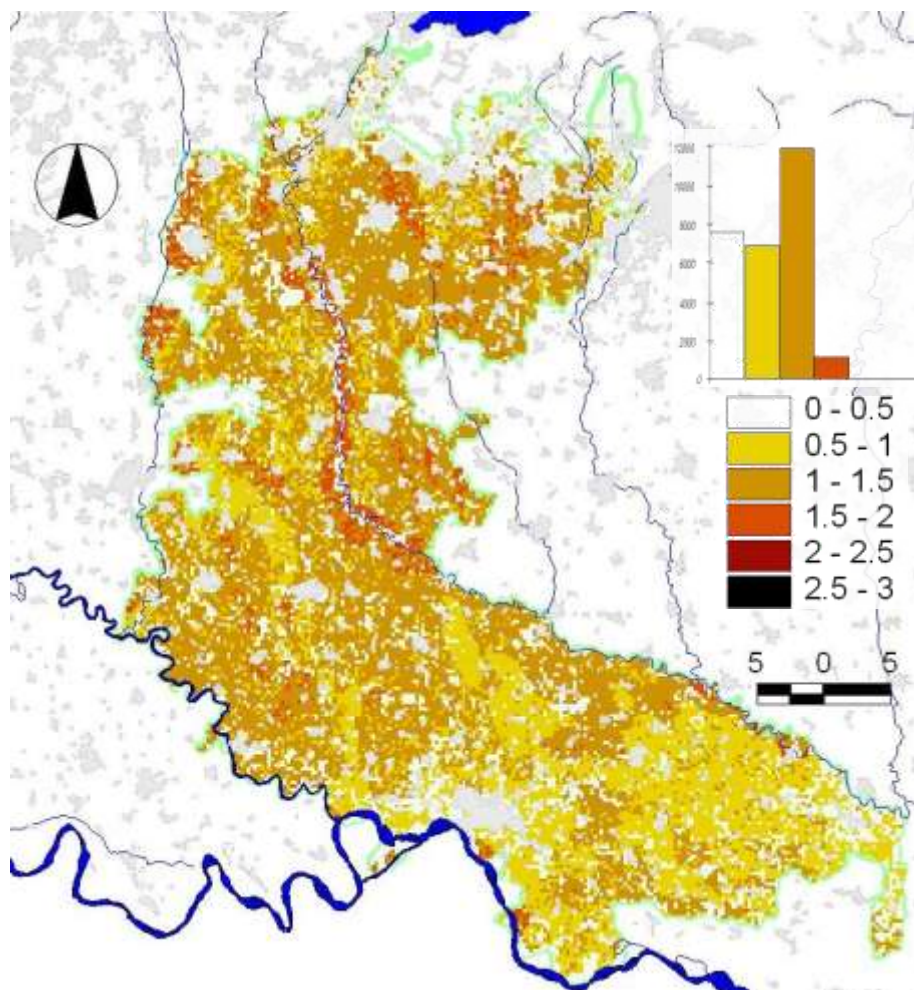


Fig. 7.20 - Agosto: fabbisogni medi irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

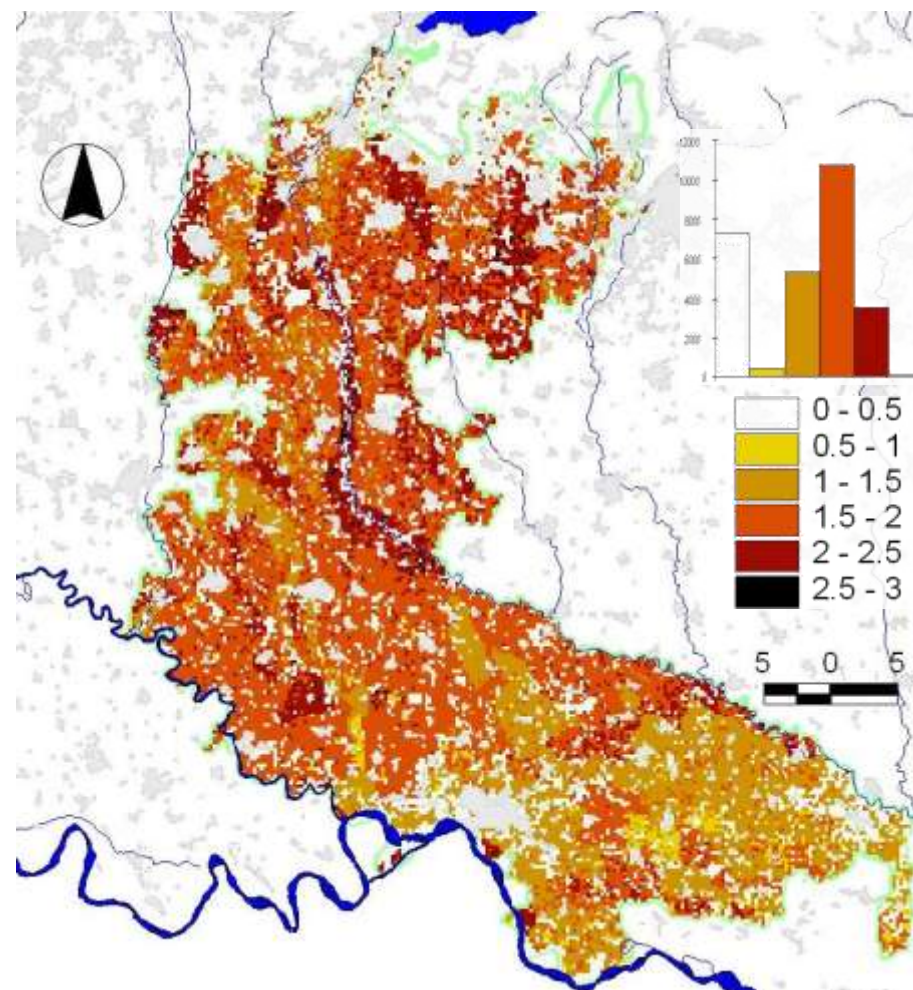


Fig. 7.21 - Agosto: fabbisogni estremi (T10) irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

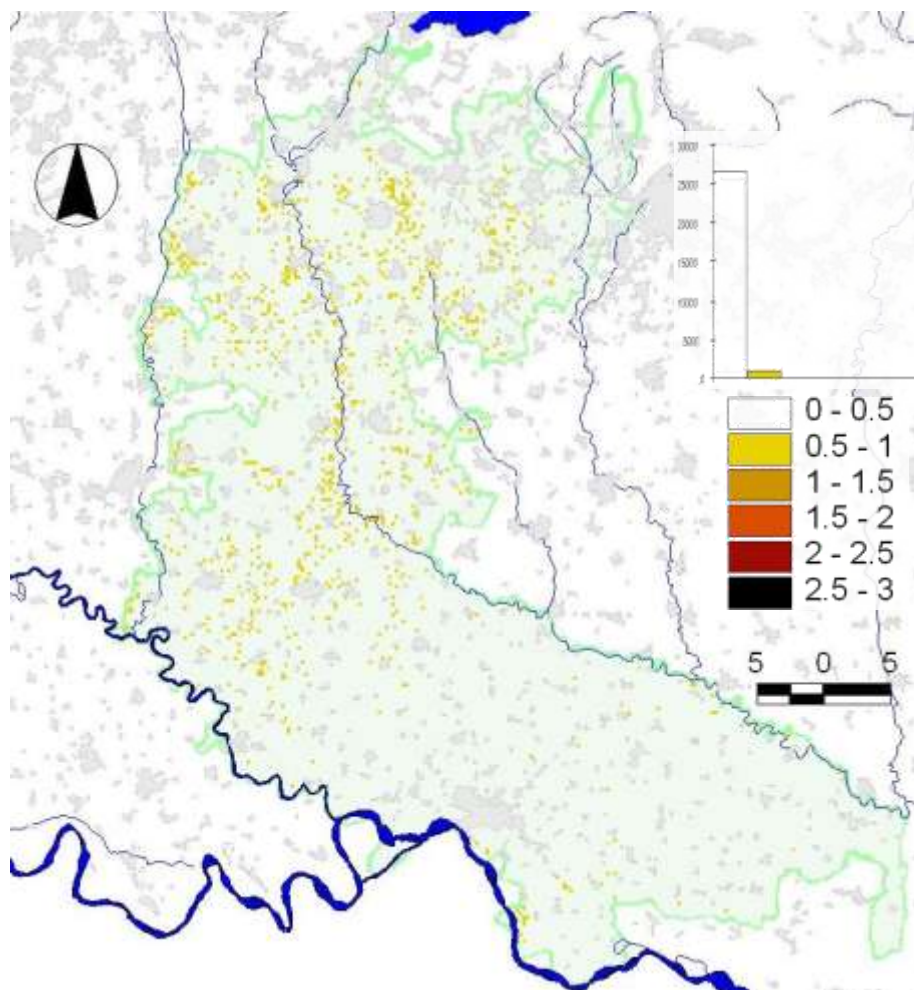


Fig. 7.22 - Settembre: fabbisogni medi irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

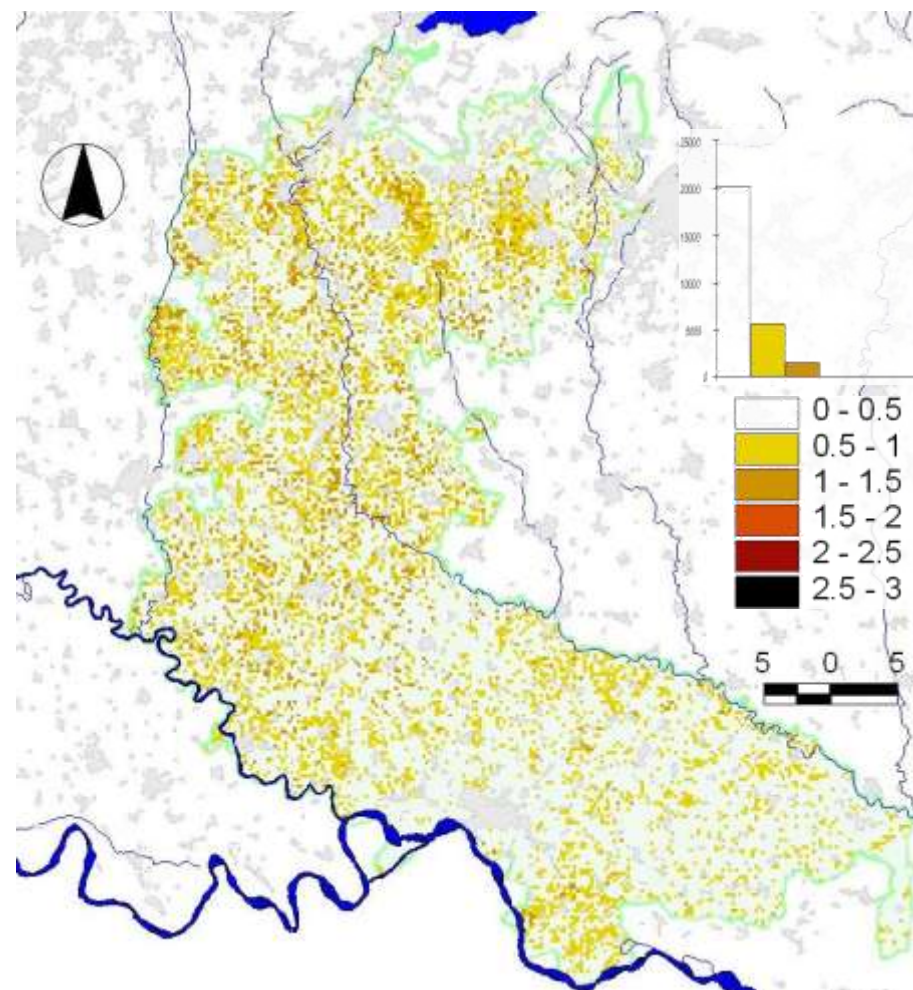


Fig. 7.23 - Settembre: fabbisogni estremi (T10) irrigui locali in l/(s.ha)
- periodo 1991/2006 - la scala in km

8. FABBISOGNI AGGREGATI PER CANALE

8.1. I due casi della Roggia Vetra e della Roggia Sale.

Di tutta l'area simulata, stando alle informazioni raccolte, solo una parte del territorio è direttamente alimentata dalle portate derivate dall'Oglio. I sottocomprensori alimentati direttamente, almeno per una parte della loro dotazione, dalle acque dell'Oglio sono mostrati nella seguente figura. A scopo di esempio, per i comprensori alimentati da 2 canali principali si è eseguita un'analisi di dettaglio.

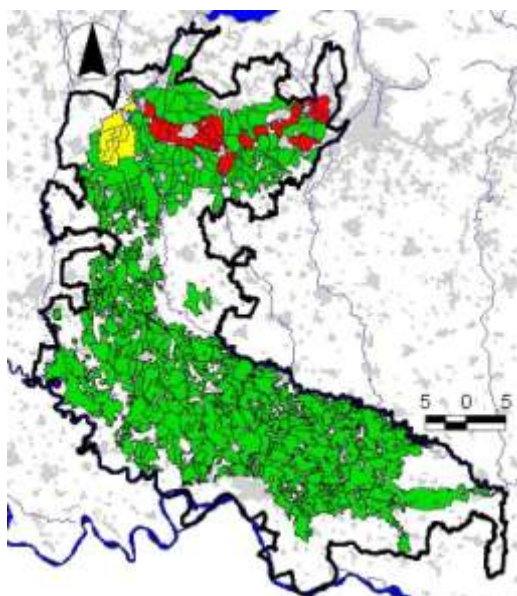


Fig. 8.1 - Carta dei sottocomprensori che derivano dall'Oglio (evidenziati in verde) rispetto all'estensione dell'intera area simulata (contorno nero); scala in km.

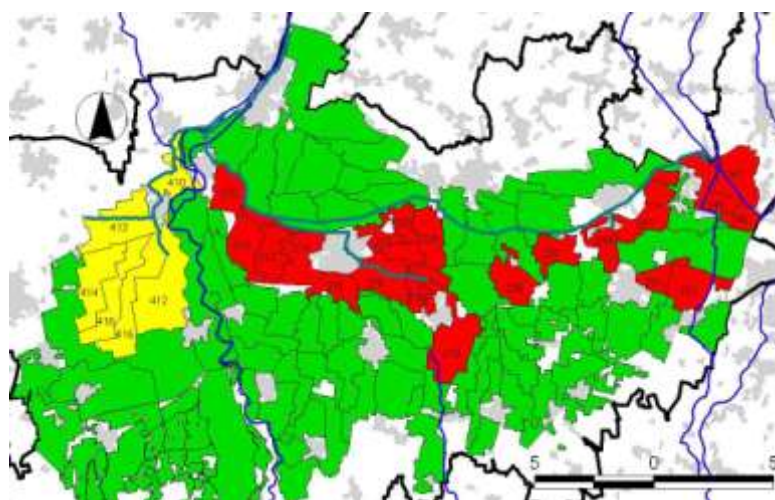


Fig. 8.2 - Carta dei sottocomprensori che sono analizzati nel dettaglio: Roggia Vetra in rosso, Roggia Sale in giallo.

Per la descrizione dei sottocomprensori e dei canali si è sviluppata una codifica che consente di strutturare le informazioni in modo da poter facilmente ricavare gli andamenti delle portate che scorrono nei canali, delle relative perdite, e delle portate consegnate ai sottocomprensori.

Nella tabella che segue si trovano i dati raccolti e strutturati dal Consorzio dell'Oglio per poter calcolare le perdite per tratta, e quindi le efficienze di adduzione per i diversi sottocomprensori.

La tabella della rete irrigua riporta una divisione del canale in tratte e nodi. I nodi sono particolari sezioni del canale in cui varia la portata (derivazioni, consegne e confluenze); le tratte sono le porzioni di canale che collegano due nodi successivi. Si trovano casi in cui più punti di consegna sono tanto vicini tra loro che non ha senso identificare una tratta che congiunga quei punti (ad esempio nei partitori multipli).

I diversi dati disponibili nelle tabelle della rete sono codificati nel seguente modo:

- codice del canale primario: a cui ci si riferisce il record (sia che la riga informativa riguardi un punto o un tratto), si considera primario un canale che deriva la sua acqua direttamente dal fiume;
- codice del canale secondario: se presente, indica che il record si riferisce ad un canale secondario derivato dal primario (il cui codice è riportato in prima colonna);
- codice del canale terziario: se presente, il record si riferisce ad un canale terziario che deriva dal secondario (codice in colonna 2), che a sua volta prende acqua dal primario (codice in colonna 1);
- numero del nodo: indica il punto in cui inizia o in cui termina la tratta (se il record non si riferisce ad una tratta l'informazione è mancante);
- tipo di record: può essere di tre tipi: tratta (Tr), consegna o nodo di presa di un dugale (C), derivazione di un canale di ordine inferiore (De);
- lunghezza della tratta: in metri (solo per record di tratta);
- Q_{in}: portata in ingresso ad una tratta (portata massima trasportabile); se il record riguarda di un punto di consegna o di una derivazione il valore è negativo, se il record si riferisce ad un punto di confluenza la portata è positiva;
- Q_{out}: portata in uscita dalla tratta (portata massima trasportabile); se il record non si riferisce ad una tratta l'informazione è mancante;
- rivestimento del fondo: si riferisce al rivestimento del tratto di canale; per record riguardanti le consegne, si riferisce al rivestimento del relativo dugale;
- perdite dugali: è la portata persa per percolazione dal dugale ed è riferita alla portata massima trasportabile;
- portata massima consegnabile ai dugali: portata che il dugale trasporta fino alla rete irrigua aziendale;
- lato derivazione: indica su quale sponda idraulica si apre la bocca di consegna o la diramazione del canale;
- codice del bacino irriguo: coincide con i codici definiti dal Consorzio dell'Oglio.

Tab. 8.1 - Classificazione della rete irrigua Roggia Vetra e derivazioni secondarie

Nome	Cod. Primario	Cod. Secondario	Cod. Terziario	Inizio tratta o punto	Punto di fine tratta	Cod. Diramazione	Tipo di record	Lunghezza Tratta (m)	Q in (l/s)	Q out Tratta (l/s)	Fondo (Nat-Riv)	Perdite dei dugali	Q consegnata ai dugali (l/s)	Lato di derivazione	Cod. Bacino Irriguo
Roggia Vetra Vecchia	2			0	1		Tr	8602	11526	11000	N				
Dugale Vetra	2			1			C		-550		R	50	500	dx	210
	2			1	2		Tr	2198	10450	10200	R				
Deriv. Vetra Nuova	2			2		1	De		-5100					sx	
	2			2	3		Tr	330	5100	4950	N				
Dugale Gazzo	2			3			C		-450		N	50	400	dx	211
	2			3	4		Tr	250	4500	4400	R				
Dugale Albarello	2			4			C		-450		N	70	380	dx	212
	2			4	5		Tr	650	3950	3950	N				
Dugale S.Bernardo	2			5			C		-450		N	70	380	dx	214
Dugale Lisonzo	2			6			C		-300		N	60	240	sx	213
	2			6	7		Tr	4220	3200	3200	R				
Deriv. Ramo Ovest	2			7		2	De		-400					dx	
Partitore Chiari	2			7	8		Tr	470	2800	2650	R				
Dugale S.Gervasio	2			8			C		-450		N	50	400	dx	218
Dugale Via Nuova	2			9			C		-450		N	50	400	dx	216
Dugale Lumetti	2			10			C		-400		N	50	350	sx	217
	2			10	11		Tr	3140	1350	1000	N				
Baioncello Castrez.	2			11			C		-1000		N	200	800	dx	219
Roggia Vetra Nuova	2	1		0	1		Tr	460	5100	5000	N				
Dugali Quadre, Garde- sa e Gerone	2	1		3			C		-300		R	25	275	dx	231
	2	1		3	4		Tr	1780	4700	4100	N				
Dugale Santella	2	1		4			C		-400		N	70	330	dx	235
	2	1		4	5		Tr	2760	3700	3600	N				
Dugale Serina	2	1		5			C		-350		N	60	290	dx	236
	2	1		5	6		Tr	1850	3250	3100	N				
Dugale Bornadino	2	1		6			C		-500		N	70	430	dx	237
	2	1		6	7		Tr	2530	2600	2500	N				
Dugale S.Bernardo	2	1		7			C		-500		N	70	430	dx	238
	2	1		7	8		Tr	860	2000	1900	N				
Ramo Travagliato	2	1		8		1	De		-450					sx	
	2	1		8	9		Tr	1750	1450	1350	R				
Dugale Nuova	2	1		9			C		-250		N	50	200	dx	241
	2	1		11	12		T	1920	1100	900	N				
Dugale Castegnata	2	1		13			C		-300		N	50	250	dx	245
Dugale Sale	2	1		14			C		-300		N	50	250	sx	247
Dugale Maeda	2	1		15			C		-300		N	50	250	dx	246
Ramo Travagliato	2	1	1	0	1		Tr	3110	450	400	R				
Dugale Campassi	2	1	1	1			C		-200		N	40	160	sx	251
Dugale Incontro- molinetti	2	1	1	2			C		-200		N	40	160	dx	252
Ramo Ovest	2	2		0	1		Tr	1275	400	400	R				

Dugale S.Fermo	2	2		1			C		-400		R	15	385	dx	215
----------------	---	---	--	---	--	--	---	--	------	--	---	----	-----	----	-----

Tab. 8.2 - Classificazione della rete irrigua della Roggia Sale e derivazioni secondarie

Nome	Cod. Primario	Cod. Secondario	Cod. Terziario	Inizio tratta o punto	Punto di fine tratta	Cod. Diramazione	Tipo di record	Lunghezza Tratta (m)	Q in (l/s)	Q out Tratta (l/s)	Fondo (Nat-Riv)	Perdite dei dugali	Q consegnata ai dugali (l/s)	Lato di derivazione	Cod. Bacino Irriguo
Roggia Sale	4			0	1		Tr	3870	5383	4800	N				
Bocchetti Palosco	4			1			C		-600		N	90	510	sx	410
	4			1	2		Tr	3177	4200	3800	N				
P.Marcata	4			2		1	De		-400					dx	
	4			2	3		Tr	420	3400	3250	N				
Dugali Cortenuova	4			3		2	De		-1800					dx	
	4			3	4		Tr		1450	1250	N				
Dugali di Calcio	4			4			C		-1250		R	150	1100	sx	412
Canale adduttore 1	4	1		0	1		Tr	450	400	390	N				
Dugale Serioletta	4	1		1			C		-390		R	20	370	dx	413
Canale adduttore 2	4	2		0	1		Tr	400	1800	1790	N				
Dugale Cortenuova	4	2		1			C		-695		R	20	675	dx	414
Dugale Naviletto	4	2		2			C		-695		R	20	675	sx	415
Dugale Ruscotto	4	2		3			C		-400		R	20	380	dx	416

8.2. Definizione delle efficienze e dei fabbisogni irrigui locali

Per ottenere le efficienze di adduzione a partire dai valori della tabella si è seguito il seguente iter:

- si sono calcolate le efficienze per tratta (Q_{out}/Q_{in}),
- per ogni sottocomprensorio è stato calcolato il prodotto delle efficienze delle tratte, percorse dall'acqua nel tragitto dal fiume alla rete interna del dugali (compreso il canale che conduce dai canali comprensoriali alla rete aziendale); definisce la stima dell'efficienza di adduzione del singolo sottocomprensorio.

Nelle tabelle si trovano anche le efficienze del metodo irriguo a scorrimento, ottenute a partire dalle caratteristiche del suolo discusse in precedenza (le efficienze di adacquamento sono ottenute come media dei valori delle celle che cadono nei sottocomprensori), le efficienze di adduzione (ottenute dall'elaborazione della tabella della rete), l'efficienza totale (prodotto delle prime due), i valori delle superfici irrigue e il Fattore di Correzione Areale) che serve per calibrare le stime aggregate.

Le efficienze stimate per i diversi sottocomprensori della Roggia Vetra e della Roggia Sale sono riportati nelle due tabelle successive.

Tab. 8.3 - Caratteristiche dei sottocomprensori della roggia Vetra -
superfici, efficienze stimate e fattore correttivo applicato

<i>Nome</i>	<i>Cod</i>	<i>Effic. metodo irriguo</i>	<i>Effic. adduz</i>	<i>Effic. irrigua tot</i>	<i>Sup. Tot Poligoni (ha)</i>	<i>Sup. Irr Poligoni (ha)</i>
Dugale Vetra	210	45.0	86.8	39.0	229	178
Dugale Gazzo	211	43.7	80.4	35.1	284	241
Dugale Albarello	212	40.0	74.7	29.9	258	206
Dugale Lisonzo	213	35.3	70.7	24.9	116	69
Dugale S.Bernardo	214	40.0	74.7	29.9	315	199
Dugale S.Fermo	215	40.0	85.1	34.0	201	132
Dugale Via Nuova	216	39.0	74.4	29.0	227	190
Dugale Lumetti	217	37.4	73.2	27.4	233	212
Dugale S.Gervasio	218	36.7	74.4	27.3	209	176
Baioncello Castrezzato	219	41.5	49.6	20.6	514	435
Dugale Quadre-Gardesa -Gerone	231	37.6	83.7	31.5	212	169
Dugale Santella	235	42.7	65.7	28.0	259	180
Dugale Serina	236	44.3	64.2	28.5	274	202
Dugale Bornadino	237	36.1	63.6	23.0	212	188
Dugale S.Bernardo	238	35.0	61.1	21.4	190	96
Dugale Nuova	241	40.2	50.3	20.2	219	132
Dugale Castegnata	245	40.6	42.9	17.4	269	160
Dugale Maeda	246	45.1	42.9	19.4	230	98
Dugale Sale	247	44.5	42.9	19.1	420	320
Dugale Campassi	251	41.9	48.0	20.1	145	75
Dugale Incontro-molinetti	252	41.4	48.0	19.9	324	222

Tab. 8.4 - Caratteristiche dei sottocomprensori della roggia Sale -
superfici, efficienze stimate e fattore correttivo applicato

<i>Nome</i>	<i>Cod</i>	<i>Effic. metodo irriguo</i>	<i>Effic. adduz</i>	<i>Effic. irrigua tot</i>	<i>Sup. Tot Poligoni (ha)</i>	<i>Sup. Irr Poligoni (ha)</i>
Bocchetti Palosco	410	45.0	75.8	34.1	224	141
Dugali di Calcio	412	40.7	58.5	23.8	659	536
Dugale Serioletta	413	39.1	74.6	29.2	462	322
Dugale Cortenuova	414	42.4	74.5	31.6	398	278
Dugale Naviletto	415	38.9	74.5	29.0	433	250
Dugale Ruscotto	416	38.0	72.9	27.7	372	271
Bocchetti Palosco	410	45.0	75.8	34.1	224	141
Dugali di Calcio	412	40.7	58.5	23.8	659	536
Dugale Serioletta	413	39.1	74.6	29.2	462	322
Dugale Cortenuova	414	42.4	74.5	31.6	398	278
Dugale Naviletto	415	38.9	74.5	29.0	433	250
Dugale Ruscotto	416	38.0	72.9	27.7	372	271

Nelle due figure seguenti vengono riportate, secondo scale cromatiche, le efficienze percentuali di adduzione e di adacquamento (con metodo a scorrimento), indicate nelle tabelle soprastanti.

Seguono le tabelle dei fabbisogni irrigui locali aggregati per sottocomprensori, i valori si riferiscono al "mese medio" e ai mesi estremi con tempo di ritorno di 10 anni (T10). I valori sono stati ottenuti sommando i fabbisogni delle celle dei raster dei fabbisogni irrigui locali, che cadono nei diversi sottocomprensori; quindi è stato applicato il coefficiente areale, ottenendo una stima corretta dei fabbisogni irrigui locali (per il mese di maggio è stato applicato anche il valore di correzione per il prato descritto nel Cap. 5).

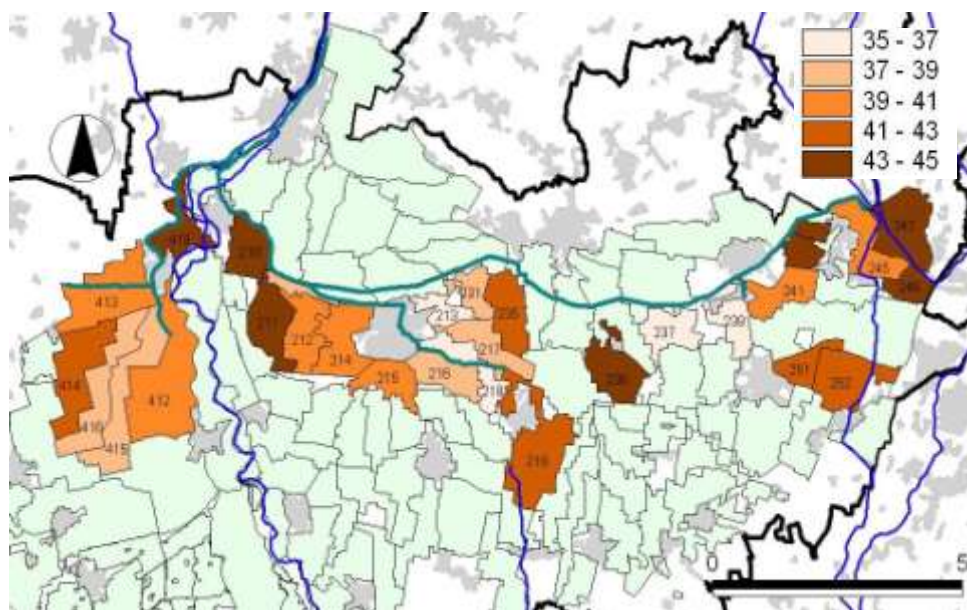


Fig. 8.3 - Carta dei comprensori delle rogge Sale e Vetra - la scala cromatica corrisponde alle efficienze medie di irrigazione a scorrimento.

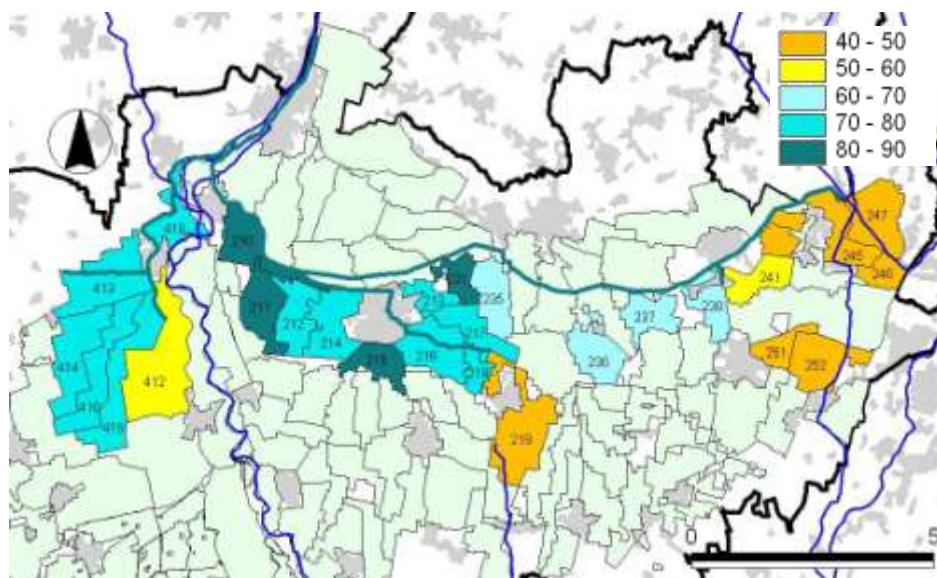


Fig. 8.4 - Carta dei comprensori delle rogge Sale e Vetra - la scala cromatica corrisponde alle efficienze di adduzione.

Tab. 8.5 - Fabbisogni aggregati irrigui locali Roggia Vetra: portate medie mensili in l/s calcolate per il caso di media intensità (orizz. 1991-2006).

Nome	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Dugale Vetra	210	16.8	169.0	196.4	185.0	28.7
Dugale Gazzo	211	34.2	214.6	272.0	265.7	45.2
Dugale Albarello	212	30.6	172.4	228.1	263.0	43.3
Dugale Lisonzo	213	27.6	79.7	104.6	105.3	26.7
Dugale S.Bernardo	214	47.7	178.4	233.8	252.8	52.7
Dugale S.Fermo	215	21.5	152.0	185.2	151.1	23.5
Dugale Via Nuova	216	83.7	232.9	269.0	229.8	48.6
Dugale Lumetti	217	26.4	250.7	310.7	284.4	54.4
Dugale S.Gervasio	218	41.0	207.2	253.8	245.5	51.8
Baioncello Castrezzato	219	54.7	389.1	514.5	547.9	112.6
Dugale Quadre-Gardesa-Gerone	231	40.0	204.7	243.7	222.2	40.2
Dugale Santella	235	19.4	204.3	237.0	199.1	28.5
Dugale Serina	236	14.6	206.3	233.8	220.6	35.1
Dugale Bornadino	237	47.8	258.0	319.4	249.9	43.6
Dugale S.Bernardo	238	24.9	139.5	160.8	137.0	22.2
Dugale Nuova	241	14.2	166.5	196.3	161.1	16.9
Dugale Castegnata	245	20.2	159.9	200.8	180.5	24.9
Dugale Maeda	246	18.1	104.4	122.0	99.6	12.8
Dugale Sale	247	60.7	305.4	368.1	332.2	55.0
Dugale Campassi	251	10.4	97.8	107.9	79.6	9.0
Dugale Incontro-molinetti	252	47.2	255.4	303.0	245.6	40.1

Tab. 8.6 - Fabbisogni aggregati irrigui locali Roggia Vetra: portate medie mensili in l/s con tempo di ritorno di 10 anni (1991-2006).

Nome	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Dugale Vetra	210	49.9	263.4	279.7	276.3	84.0
Dugale Gazzo	211	87.1	334.0	391.7	403.8	119.0
Dugale Albarello	212	75.5	264.1	334.5	404.0	105.8
Dugale Lisonzo	213	53.4	120.2	139.2	150.8	57.8
Dugale S.Bernardo	214	99.4	271.5	332.9	385.5	121.3
Dugale S.Fermo	215	52.2	231.9	245.2	241.7	67.9
Dugale Via Nuova	216	159.7	351.3	358.2	355.5	115.2
Dugale Lumetti	217	87.5	375.8	418.1	438.1	145.7
Dugale S.Gervasio	218	102.3	303.2	342.1	375.2	130.7
Baioncello Castrezzato	219	156.6	609.4	739.1	838.5	284.3
Dugale Quadre-Gardesa-Gerone	231	98.8	307.6	332.0	340.6	100.6
Dugale Santella	235	56.3	312.4	324.6	312.2	84.9
Dugale Serina	236	48.1	325.5	328.3	344.8	100.7
Dugale Bornadino	237	130.1	408.0	432.7	384.4	118.5
Dugale S.Bernardo	238	68.5	218.5	216.1	207.5	64.1
Dugale Nuova	241	60.1	268.3	270.8	255.5	55.3
Dugale Castegnata	245	63.4	254.1	283.5	289.8	77.4
Dugale Maeda	246	42.1	170.8	170.8	161.0	42.4
Dugale Sale	247	157.2	488.3	524.2	550.4	169.9
Dugale Campassi	251	36.9	153.2	149.0	127.2	33.8
Dugale Incontro-molinetti	252	120.9	397.2	409.6	397.3	126.8

Tab. 8.7 - Fabbisogni aggregati irrigui locali Roggia Sale -

portate medie mensili in l/s nel caso di media intensità (orizz. 1991-2006).

Nome	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Bocchetti Palosco	410	19.4	115.5	151.0	142.7	30.4
Dugali di Calcio	412	59.5	487.3	646.2	657.9	105.9
Dugale Serioletta	413	38.4	298.4	403.2	425.3	83.4
Dugale Cortenuova	414	23.7	277.3	356.9	316.7	41.9
Dugale Naviletto	415	19.8	287.9	361.7	322.7	34.1
DugaleRuscotto	416	33.4	332.7	407.3	344.5	37.3

Tab. 8.8 - Fabbisogni aggregati irrigui locali Roggia Sale -
portate medie mensili in l/s con tempo di ritorno 10 anni (1991-2006).

Nome	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Bocchetti Palosco	410	45.0	188.7	220.9	224.4	87.6
Dugali di Calcio	412	179.1	777.0	942.5	1006.4	270.9
Dugale Serioletta	413	116.8	454.4	568.1	643.4	211.9
Dugale Cortenuova	414	79.8	444.3	509.8	486.8	133.0
Dugale Naviletto	415	87.8	452.6	507.0	501.4	90.2
DugaleRuscotto	416	116.7	521.7	559.4	537.3	106.6

Le figure seguenti mostrano gli andamenti di portata nei canali della Roggia Vetra e della Roggia Sale, e dei loro canali secondari, lungo il loro tragitto, nel caso in cui le portate siano uguali a quelle che soddisfano i fabbisogni medi irrigui locali dei diversi sottocompensori nei mesi da giugno ad agosto, e nel caso di fabbisogni mensili in mesi in cui il fabbisogno è particolarmente elevato (ancora tra giugno e agosto ma nel caso T10).

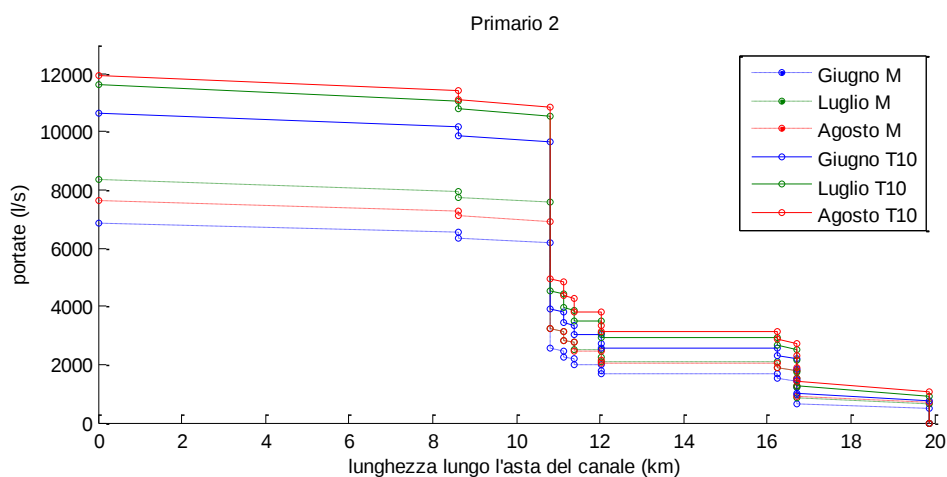


Fig. 8.5 -Portate di fabbisogno in rete - Roggia Vetra - mesi di giugno, luglio e agosto - fabbisogni mensili medi nei casi medio (M) e (T10).

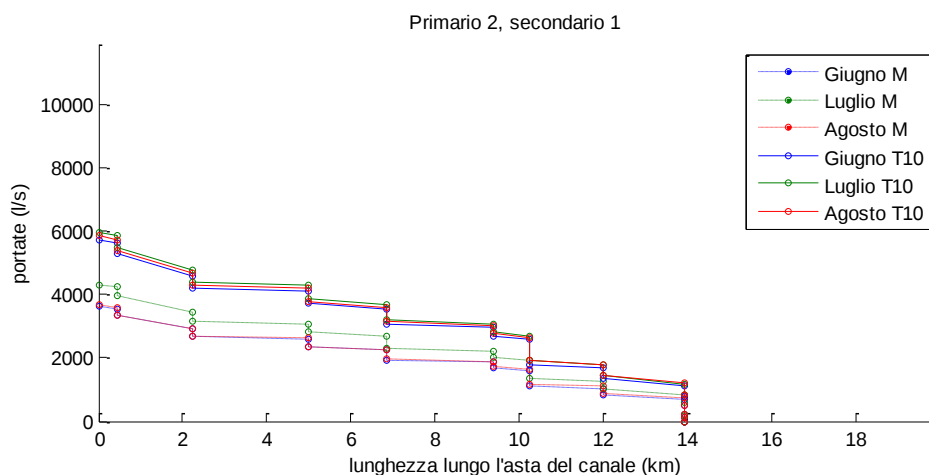


Fig. 8.6 - Portate di fabbisogno in rete -canale secondario "SeriolaNuova" - mesi di giugno, luglio e agosto - fabbisogni mensili medi nei casi medio (M) e (T10).

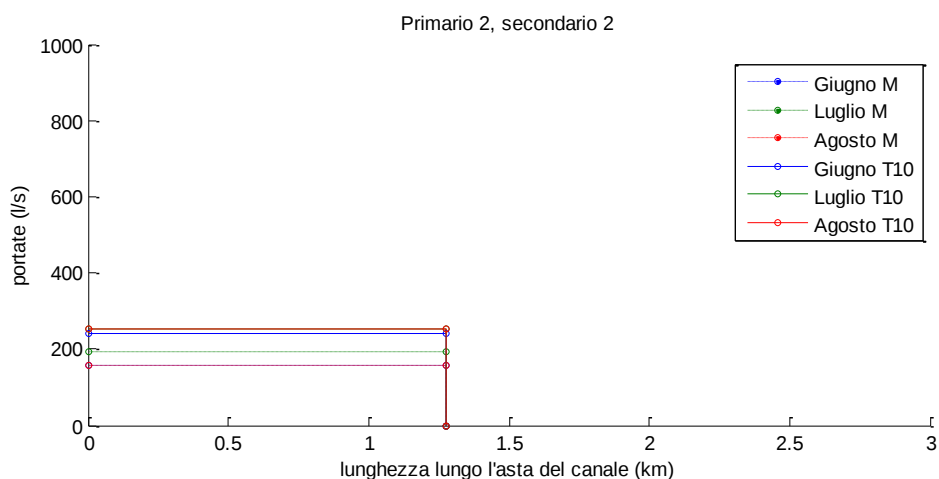


Fig. 8.7 - Portate di fabbisogno in rete - Roggia Vetra, "Ramo Ovest" - mesi di giugno, luglio e agosto - fabbisogni mensili medi nei casi medio (M) e (T10).

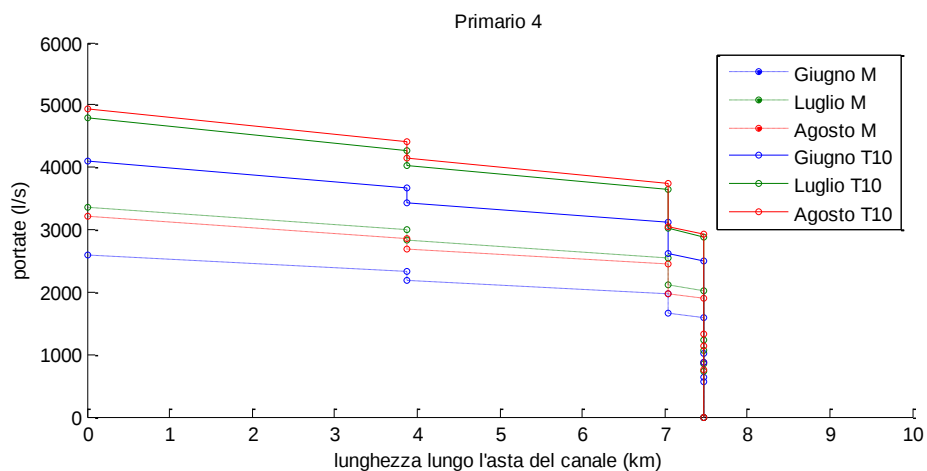


Fig. 8.8 - Portate di fabbisogno in rete- Roggia Sale - mesi di giugno, luglio e agosto -fabbisogni mensili medi nei casi medio (M) e (T10).

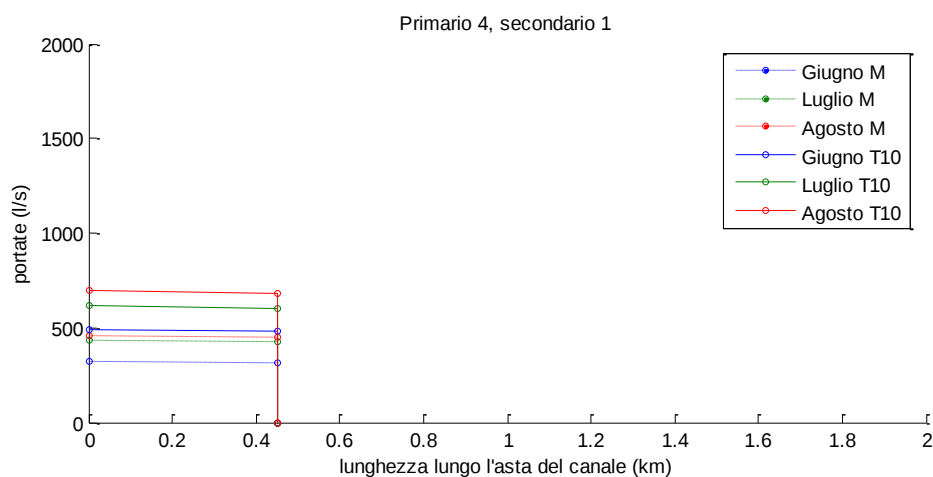


Fig. 8.9 - Portate di fabbisogno in rete - Roggia Sale, secondario "Adduttore 1":
- mesi di giugno, luglio e agosto - fabbisogni mensili medi nei casi medio (M) e (T10).

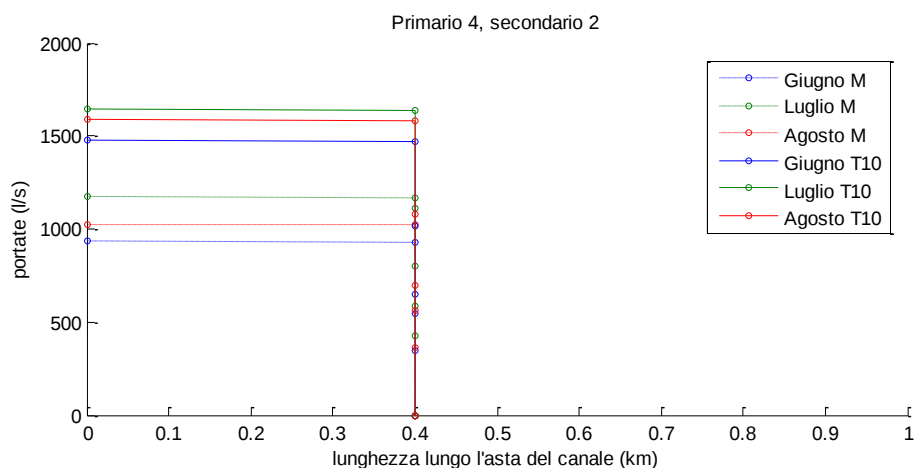


Fig. 8.10 - Portate di fabbisogno in rete - Roggia Sale, secondario "Adduttore 2":
- mesi di giugno, luglio e agosto - fabbisogni mensili medi nei casi medio (M) e (T10).

9. CONFRONTO FABBISOGNI IDRICI / DISPONIBILITA' IDRICA SUPERFICIALE

Per il calcolo del fabbisogno irriguo al fiume (comprendendo quindi i fabbisogni idrici colturali, e considerando sia l'efficienza del metodo irriguo sia l'efficienza di adduzione) si sono stimate le efficienze di adduzione nel seguente modo:

- per i canali in cui il Consorzio dell'Oglio è pervenuto a stime attendibili delle perdite (Roggia Fusia, Roggia Vetra, Roggia Castrina, Roggia Sale, Roggia Trenzana-Travagliata, Roggia Bajona, Roggia Rudiana-Vescovada, Roggia Castellana, Roggia Donna, Roggia Antegnata e Roggia Molina) si è seguita una procedura simile a quella descritta nei capitoli precedenti per le rogge Vetra e Sale.
L'efficienza di adduzione media dei diversi comprensori, pesata secondo le relative superfici irrigue dedotte dalla carta SIARL, è pari al 68.7%;
- per i restanti canali (Canale Vacchelli, Naviglio Civico, Canale Calciana, Naviglio Grande e Naviglio Nuovo) si è adottata un'efficienza uniforme del 70%.

Il valore leggermente superiore attribuito all'efficienza delle reti irrigue del cremonese consegue principalmente dalla considerazione della minore permeabilità dei suoli e dei presumibili effetti della presenza di una falda acquifera a piccola soggiacenza in vaste porzioni di quel territorio, come illustrato nella figura seguente (Gandolfi et al., 2007b). Si ritiene infatti che la combinazione di questi due fattori porti a valori di efficienza delle reti cremonesi paragonabili a quelle bresciane (dove le soggiacenze della falda sono decisamente superiori), nonostante le caratteristiche idrauliche siano generalmente più sfavorevoli per le prime. Si sottolinea comunque come sia prioritario approfondire le conoscenze sulle caratteristiche delle reti e sulla loro efficienza di trasporto.

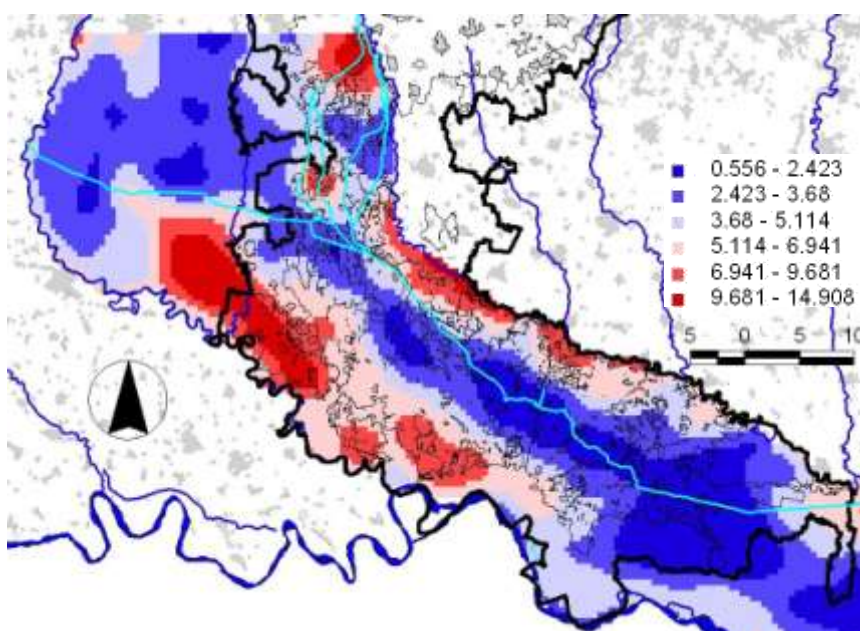


Fig. 9.1 - Carta di soggiacenza in m media annua della falda nella provincia di Cremona. In evidenza i canali discussi nel testo (Gandolfi et al. 2007b).

La figura seguente mostra le efficienze di adduzione utilizzate per le analisi dei fabbisogni irrigui al fiume e quindi per il confronto tra le portate richieste e quelle fornite mediamente dai diversi canali o gruppi di canali.

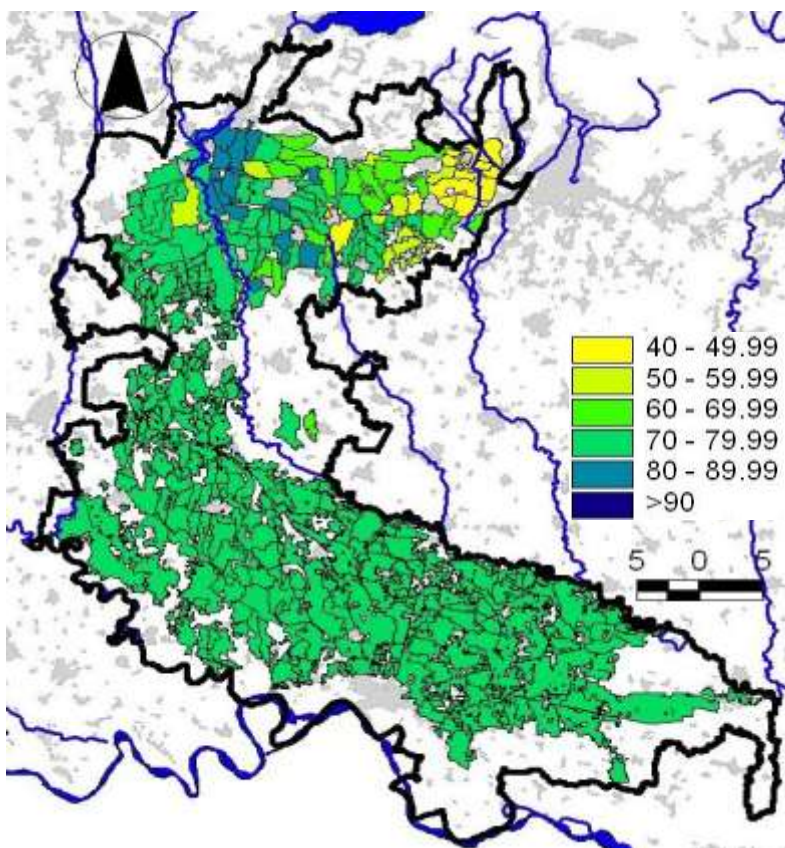


Fig. 9.2 - Carta delle efficienze di adduzione adottate per le analisi

Per confrontare i fabbisogni con le portate derivate occorre riferire il fabbisogno irriguo al fiume, dividendo il fabbisogno irriguo locale per l'efficienza di adduzione, e aggregando i fabbisogni che afferiscono al medesimo canale principale.

Nella ZONA NORD sono chiare le attribuzioni delle portate dei canali ai diversi sottocomprensori, contemporaneamente sono assenti fenomeni di risorgenze e sono meno diffusi i ricorsi ai pozzi freatici; come ipotesi di lavoro si considera infatti che la falda abbia in questa zona una soggiacenza superiore ai 4 metri. Per queste zone è possibile effettuare un calcolo di dettaglio, giungendo ad una buona stima dei fabbisogni irrigui distrettuali (fabbisogni irrigui al fiume aggregati per comprensorio) e quindi ad un confronto attendibile tra questi e le portate derivate.

Nella ZONA SUD la presenza di una falda superficiale, il diffuso ricorso ai pozzi freatici, nonché la convergenza di numerosi canali che rende dubbie le diverse attribuzioni di portata e le scarse informazioni sulle efficienze di adduzione, complicano le analisi in modo da rendere meno attendibile il confronto dei fabbisogni con le forniture idriche.

Occorre quindi mantenere separate queste due zone che presentano differente attendibilità e caratteristiche: la divisione nelle due aree è riportata nella fig. 9.3. I sottocomprensori di Villa-chiara e Borgo S.Giacomo (Roggia Molina) (le 2 piccole zone rosse, isolate in sinistra Oglio, visibili in figura), che potrebbero a ragion di logica essere considerate facenti parte dell'area verde (il canale che porta loro l'acqua attraversa la fascia delle risorgive subendo un aumento sensibile della sua portata), in realtà appartengono alla ZONA NORD poiché ricevono l'acqua solo dal fiume Oglio e godono di un'integrazione di portata da risorgive presenti solo nel canale principale.

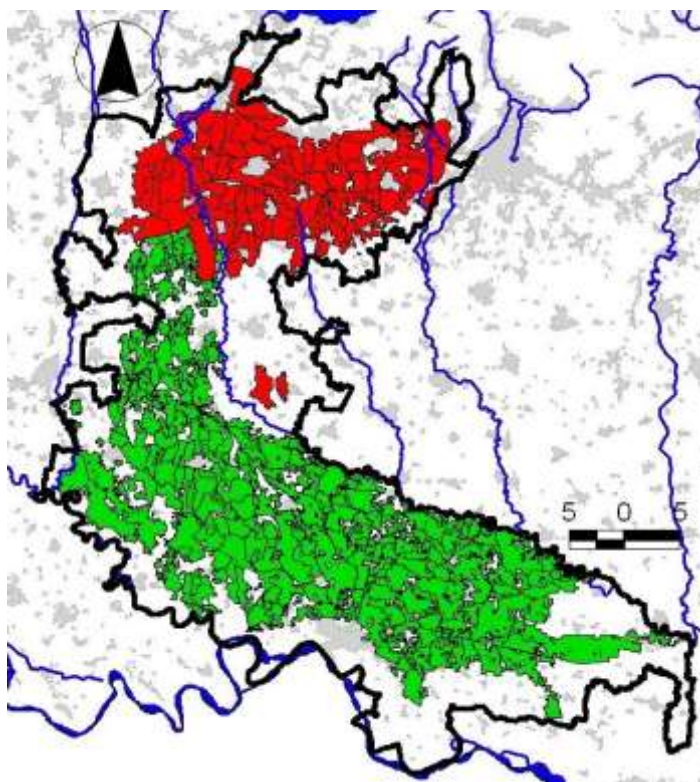


Fig. 9.3 - Suddivisione dei sottocomprensori secondo la metodologia adottata, ZONA NORD in rosso, ZONA SUD in verde.

Si procede a questo punto ad un'analisi di dettaglio delle due parti che costituiscono il comprensorio irriguo del Consorzio dell'Oglio.

9.1. ZONA NORD

Sommando i fabbisogni irrigui al fiume (fabbisogni irrigui locali divisi per le diverse efficienze di adduzione stimate) per tutti i sottocomprensori serviti da un canale, otteniamo la portata di fabbisogno cumulata dei comprensori irrigui dei canali della ZONA NORD.

I valori relativi ai fabbisogni medi aggregati e le portate mediamente derivate dai canali principali (orizzonte 1991-2006) per i diversi mesi sono riportati nella fig.9.4.

Tab. 9.1 - Legenda dei codici dei canali

1	Roggia Fusia	5	Roggia Trenzana-Travagliata	9	Roggia Donna
2	Roggia Vetra	6	Roggia Bajona	11	Roggia Antegnata
3	Roggia Castrina	7	Roggia Rudiana - Vescovada	12	Roggia Molina
4	Roggia Sale	8	Roggia Castellana		

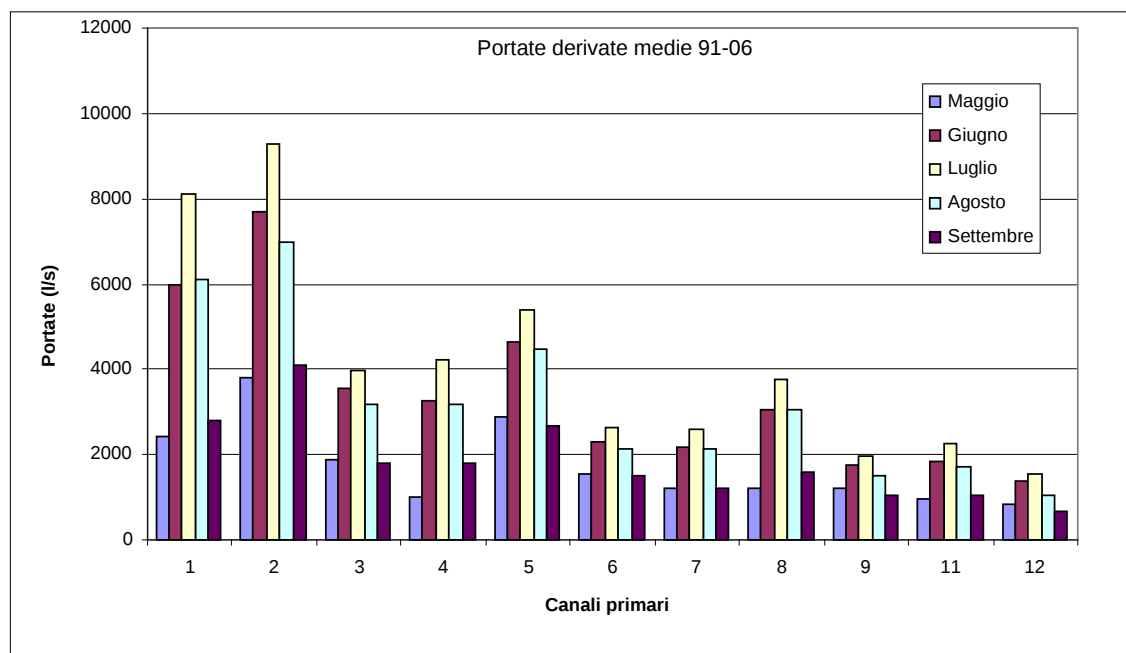
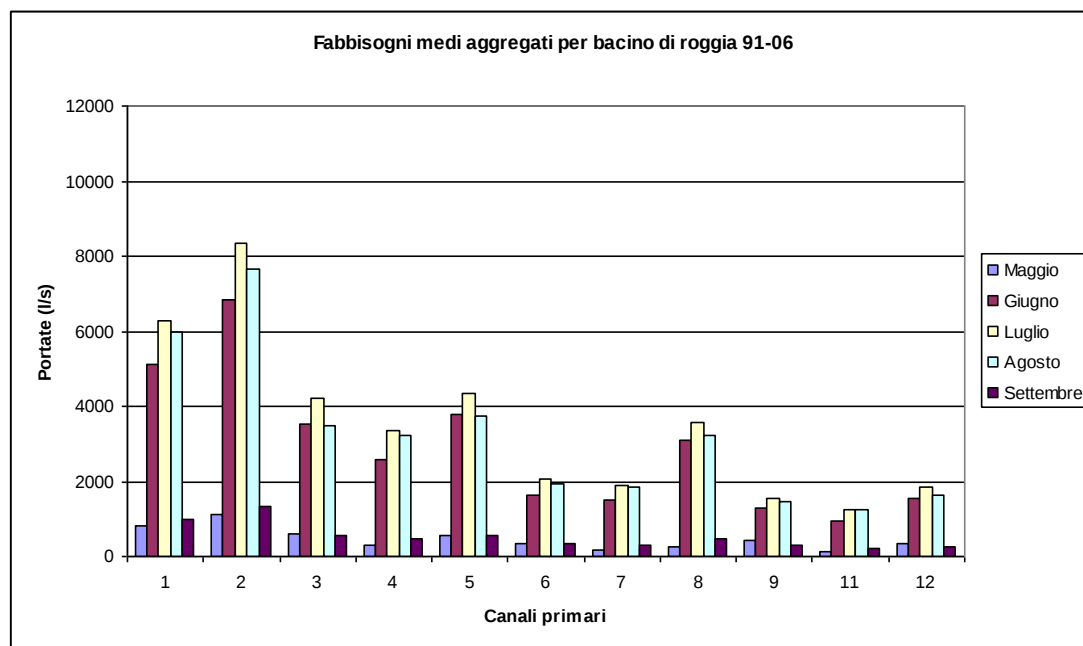


Fig. 9.4 - Fabbisogni medi alla presa dei canali principali (figura alta) e portate mediamente derivata (figura in basso) - ZONA NORD.

Nel successivo gruppo di figure si mostrano per l'orizzonte 1991-2006 - nei mesi di maggio, giugno, luglio e agosto - i valori medi mensili, gli andamenti medi dei fabbisogni aggregati dei territori alimentati dai diversi canali e le portate mediamente derivate dai medesimi canali .

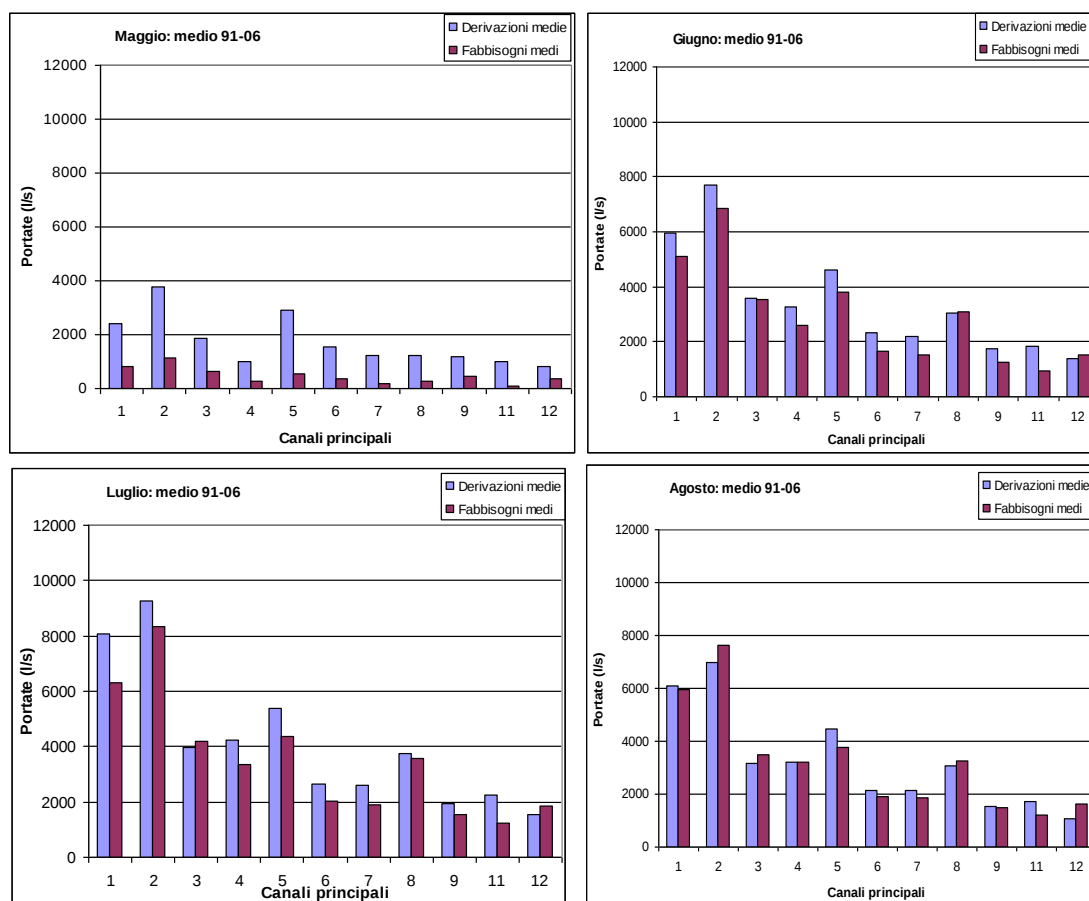


Fig. 9.5 - Fabbisogni medi e portate mediamente derivate, ZONA NORD.

Si osservi come le portate di fabbisogno cumulato medio e le rispettive portate derivate siano perfettamente confrontabili nell'andamento e nell'ordine di grandezza, l'unico caso anomalo è quello della roggia Molina (n.12) i cui fabbisogni appaiono costantemente insoddisfatti. Si ricorda però che due sottocomprensori della roggia Molina acquisiscono portate di risorgiva, che integrano le portate derivate alla presa sull'Oglio, andando a ridurre il deficit idrico.

Dalle tabelle si possono dedurre in prima istanza alcune considerazioni sui risultati ottenibili dalla gestione attuale della rete irrigua del Fiume Oglio.

L'esperienza ricavata dalla gestione pluridecennale dell'invaso del lago consente di prevedere in anticipo la caratteristica idrologica dell'annata in corso, e di capire se ci si troverà in condizioni di carenza idrica. Poiché le serie storiche dimostrano che la disponibilità di risorsa non consente di coprire l'intera stagione irrigua, viene normalmente deciso dal gestore, verificate le necessità delle utenze, di ripartire proporzionalmente la disponibilità in funzione delle diverse fasi fenolo-

giche delle colture, in modo da evitare il verificarsi dell'effetto del deficit in un particolare periodo della stagione.

Tenendo presente queste considerazioni, dalle tabelle dei tassi di soddisfazione risulta che le Rogge Vetra, Castrina e Castellana non soddisfano i fabbisogni in agosto, e questo può essere spiegato dai seguenti motivi. Il mais (principale coltura dell'area) richiede molta acqua in luglio durante la fioritura, per cui se si riscontra un deficit in questo mese si rischia una forte perdita di produzione; in agosto resta una richiesta d'acqua elevata, ma il suo soddisfacimento completo non è altrettanto importante ai fini della produzione, e pertanto la regolazione del lago d'Iseo viene effettuata privilegiando la piena soddisfazione di luglio rispetto ad agosto.

Nella tabella seguente si mostrano dunque le soddisfazioni medie per i canali della zona: i fabbisogni di maggio e settembre risultano sempre ampiamente soddisfatti per tutti i canali.

I valori al di sotto del 100% indicano una probabile insufficienza della fornitura irrigua, il cui valore però rientra sempre (con l'esclusione della Roggia Molina) nell'intervallo di incertezza delle stime ottenute (valutabile almeno nell'ordine del 10%).

Tab. 9.2 - Tassi di soddisfazione dei fabbisogni, ZONA NORD
(Portate derivate / Portate di fabbisogno irriguo al fiume) x100

Nome canale	Cod	Giugno	Luglio	Agosto
Roggia Fusia	1	117%	129%	102%
Roggia Vetra	2	112%	111%	91%
Roggia Castrina	3	101%	94%	91%
Roggia Sale	4	126%	126%	99%
Roggia Trenzana-Travagl.	5	122%	124%	119%
Roggia Bajona	6	140%	129%	112%
Roggia Rudiana	7	144%	136%	114%
Roggia Castellana	8	99%	105%	94%
Roggia Donna	9	137%	128%	102%
Roggia Antegnata	11	196%	182%	141%
Roggia Molina	12	92%	84%	66%

I valori molto elevati di soddisfazione della roggia Antegnata sono da ricondursi ad un trasporto d'acqua che questo canale fa per alimentare il comprensorio della roggia Donna (in applicazione di accordi storici sanciti dall'Amministrazione titolata al rilascio delle concessioni), ossia parte dell'acqua dell'Antegnata è ad uso di un sottocompensorio della Donna (1060 l/s). Confrontando le portate di fabbisogno dei comprensori (valutati al fiume) e le portate derivate per soddisfarli (ovvero conteggiando tutto il fabbisogno del sottocompensorio "dugali di Calcio" attribuito alla Donna, e a cui vengono aggiunti 1060 l/s e lasciando all'Antegnata solo il sottocompensorio "dugale Antegnata") si ottengono i valori riportati nella tab. 9.3. I valori di soddisfazione risultano più vicini alla media delle altre Utenze del Fiume Oglio.

Tab. 9.3 - Tassi di soddisfazione corretti

<i>Nome canale</i>	<i>Cod</i>	<i>Giugno</i>	<i>Luglio</i>	<i>Agosto</i>
Roggia Donna	9	169%	149%	131%
Roggia Antegnata	11	141%	160%	91%

9.2. ZONA SUD

Per la ZONA SUD è stato svolto un lavoro analogo a quello effettuato per la ZONA NORD, valutando attentamente l'influenza sul procedimento delle diversità presenti nella rete distributiva e nell'alimentazione dei sottocomprensori. Infatti, come già spiegato, nella ZONA SUD non è possibile definire con accuratezza il comprensorio alimentato da un singolo canale perché la maggior parte dei sottocomprensori di quest'area sono alimentati da più fonti.

Le informazioni disponibili sui sottocomprensori del cremonese, derivate dall'Atlante Ambientale della Provincia di Cremona, riportano le dotazioni irrigue stimate e le stime delle percentuali di provenienza di questa dotazione. Occorre precisare che i sottocomprensori della ZONA SUD sono aggregati in estensioni spesso ben maggiori a quelle dei sottocomprensori utilizzati nella ZONA NORD (dimensione media dei sottocomprensori Nord dell'ordine di 300 ha, dimensione media della ZONA SUD nell'ordine dei 2000 ha).

I fabbisogni irrigui di ogni comprensorio, riferiti al fiume, sono stati quindi frazionati, proporzionalmente alle dotazioni, nelle diverse fonti che alimentano il sottocomprensorio e quindi aggregati per canale.

Tra le fonti compaiono però derivazioni dal Serio, fontanili, sollevamenti da fiume, coli e pozzi: queste voci vengono nel seguito chiamate nel loro complesso "altre fonti". Le scarse informazioni disponibili su queste fonti non consentono di effettuare analisi sulle disponibilità, ma si è ritenuto possibile considerare i fabbisogni riferiti alle "altre fonti" calcolati con il metodo proporzionale (efficienze di adduzione 0.7 per le derivazioni dal Serio, unitaria per le altre voci).

Il canale Vacchelli fornisce acqua anche ad alcuni comizi cremaschi. Stando alle informazioni sulle dotazioni dei sottocomprensori cremonesi fornite dall'Istituto di Idraulica Agraria, la percentuale di portata erogata prima di giungere all'area di studio ammonta a 1.21% della portata totale, pertanto le portate del Vacchelli sono state moltiplicate per un fattore 0.9897 in modo da considerare solo l'acqua che riguarda l'area di studio.

Nella fig. 9.6 si trovano i fabbisogni irrigui distrettuali ottenuti con questo procedimento.

Anche in questo caso confronteremo le portate di fabbisogno con le portate medie mensili dei canali, il confronto in questo caso è però puramente indicativo per i seguenti motivi:

- le "altre fonti" non sono note con sufficiente dettaglio;
- la suddivisione dei fabbisogni per i diversi canali sono proporzionali alle dotazioni e non puntualmente calcolati come per il caso nord (questo a causa della commistione delle diverse fonti nel fornire l'acqua ai diversi comizi);

- l'efficienza di adduzione non è nota in modo specifico per ogni canale, ma si utilizza un valore medio omogeneo per l'intera area;
- gli orizzonti di tempo usati per calcolare le portate medie (1993-2005) non sono i medesimi utilizzati per il calcolo dei fabbisogni (1991-2006), ma sono sufficientemente consistenti da non perturbare la stima in modo rilevante.

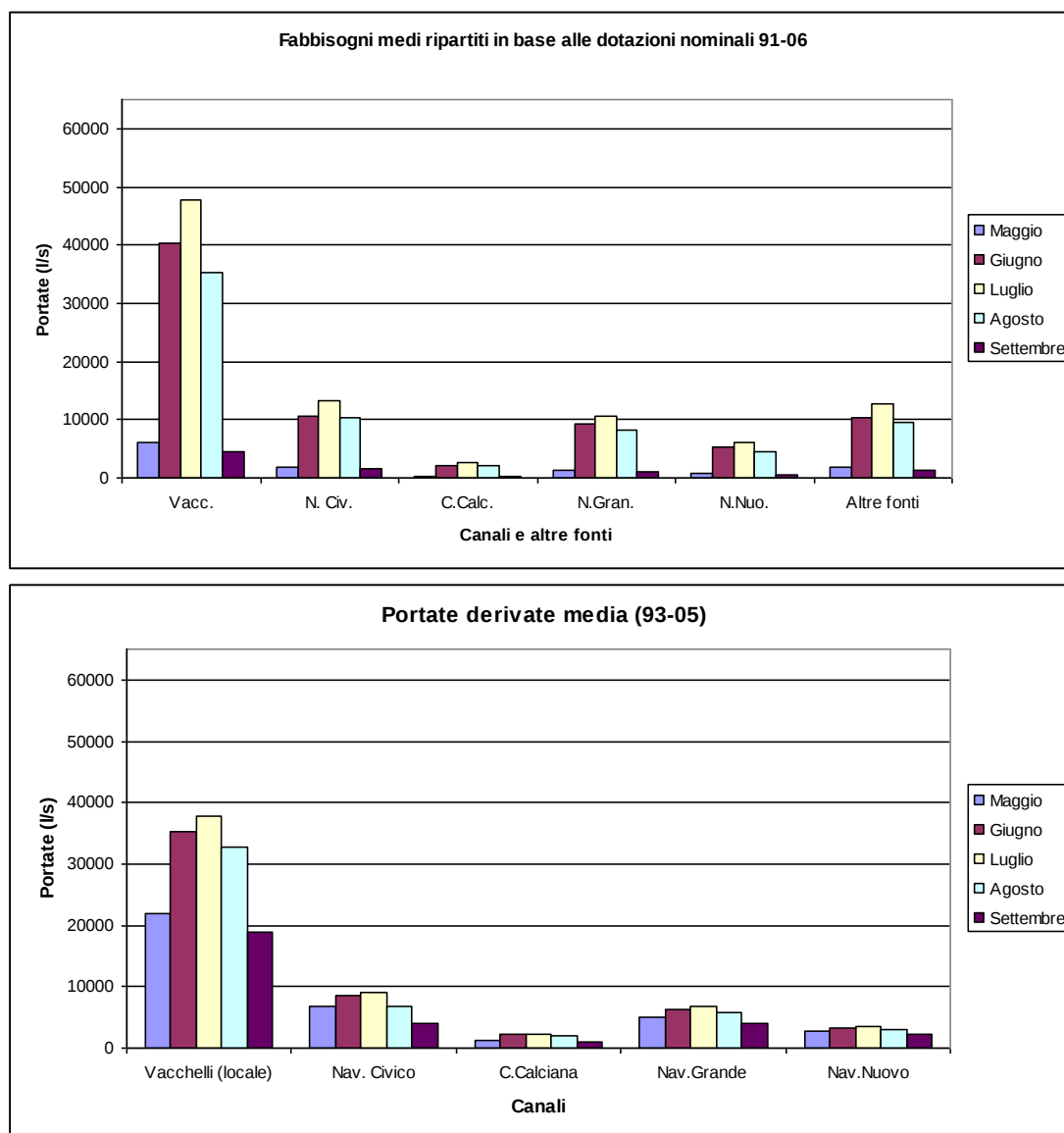


Fig. 9.6 - Fabbisogni medi espressi all'imbocco dei canali principali (grafico in alto) e portata mediamente derivate dai canali (grafico in basso) - ZONA SUD.

Possiamo quindi effettuare il medesimo confronto tra portate derivate e fabbisogni, sebbene con minore attendibilità, per la ZONA SUD. Nel successivo gruppo di figure si mostrano per i mesi di maggio, giugno, luglio e agosto, gli andamenti medi dei fabbisogni aggregati dei diversi canali (valori medi mensili dell'orizzonte 1991-2006) e le portate mediamente derivate dai medesimi canali (valori medi mensili dell'orizzonte 1993-2005) per l'area SUD.

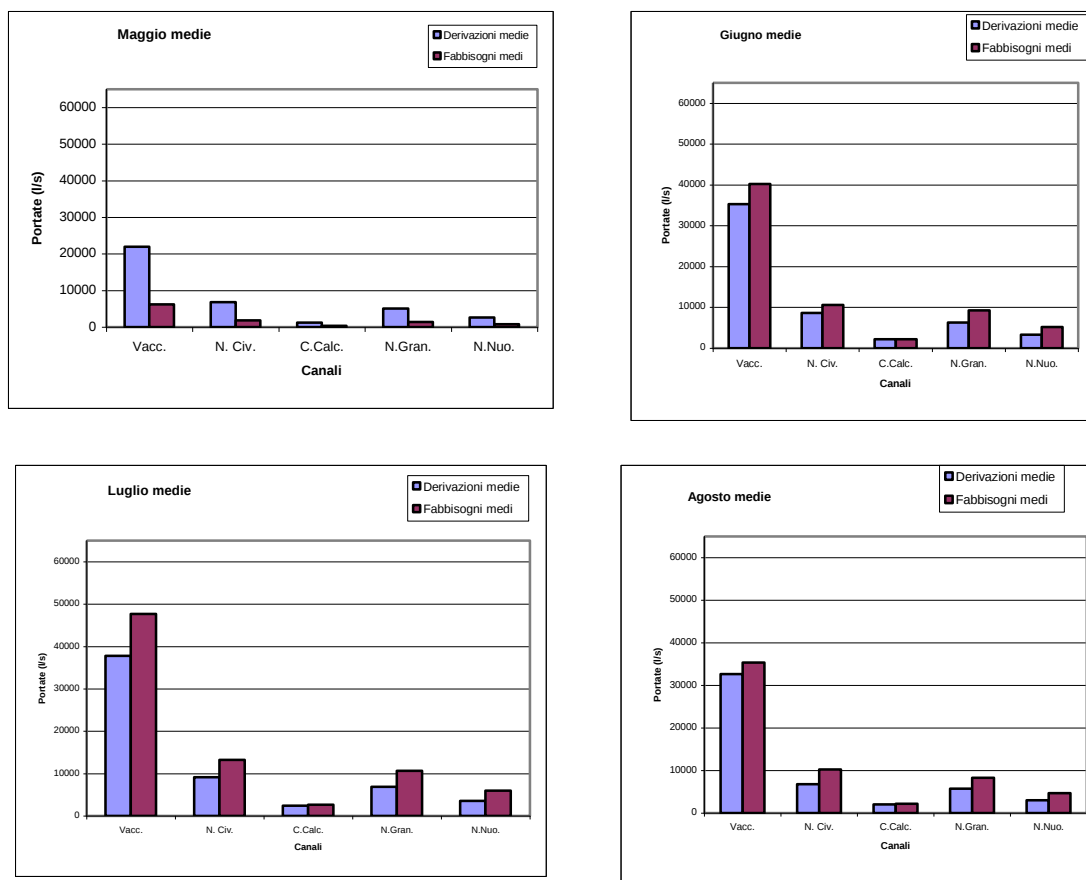


Fig. 9.7 - Fabbisogni medi e portate mediamente derivate - ZONA SUD.

Anche in questo caso si nota una buona coincidenza degli andamenti, sebbene da questo primo confronto appaia per tutti i comprensori un deficit di fornitura irrigua in giugno, luglio e agosto.

Per il calcolo della soddisfazione dei fabbisogni possiamo considerare in prima approssimazione che le "altre fonti" subiscano un aumento/riduzione delle loro portate in modo proporzionale all'aumento/riduzione delle portate dei canali principali.

Tab. 9.4 - Tassi di soddisfazione mensili medi per canali principali – ZONA SUD
(Portate derivate/Portate di fabbisogno irriguo distrettuale al fiume) x100

Nome canale	Giugno	Luglio	Agosto
Canale Vacchelli	88%	79%	92%
Naviglio Civico	81%	69%	66%
Roggia Calciana	98%	91%	95%
Naviglio Grande	68%	65%	70%
Naviglio Nuovo	63%	59%	64%

La differenza riscontrata non è però reale in quanto tra le acque addotte ai campi non sono state incluse alcune fonti minori che possono fornire un contributo determinante nel soddisfacimento dei fabbisogni.

Per il calcolo della soddisfazione dei fabbisogni possiamo considerare in prima approssimazione che le "altre fonti" subiscano un aumento/riduzione delle loro portate in modo proporzionale all' aumento/riduzione delle portate dei canali principali.

Inoltre, data la piccola soggiacenza della falda in alcuni punti della ZONA SUD possiamo valutare, sebbene in via puramente indicativa, l'apporto idrico dato dalla falda.

Come indicazione speditiva degli apporti della falda è possibile appoggiarsi alle stime di Giardini (1999), che riscontra un apporto massimo pari al 40% dei fabbisogni colturali quando la falda è entro 1.2 metri dal piano campagna (stima valida per tessiture medie del terreno) ma, a causa delle fluttuazioni della falda, Giardini suggerisce di dimezzare questo valore a favore di cautela.

Per effettuare una stima considereremo la carta di soggiacenza mostrata nella fig. 9.8. I puntini nell'area cremonese seguono la soggiacenza media della falda già riportata in fig. 9.1, in questa però le classi sono state scelte in modo che, considerando un rigonfiamento estivo di un metro di tutta la falda, si possano distinguere quattro differenti tipi di apporto.

Le classi scelte sono quattro:

- Prima classe: soggiacenza media fino a 2.2 metri. Si considera che in estate la profondità sia non superiore a 1.2 metri e l'apporto idrico estivo possa arrivare al 40% del fabbisogno totale.
- Seconda classe: soggiacenza media da 2.2 a 3 metri. Si considera che in estate la profondità sia non superiore a 2 metri e l'apporto idrico estivo possa arrivare al 20% del fabbisogno totale.
- Terza classe: fino a 4.0 metri di profondità media (3.0 metri in estate). Per questa classe si considera un apporto del 5% dovuto principalmente ad un aumento dell'efficienza irrigua (trovando uno strato sottostante umido l'acqua percola con velocità ridotta).
- Quarta classe: nessun apporto di falda.

Tab. 9.5 - Descrizione delle classi di soggiacenza adottate per il calcolo dell'apporto di falda

classe	Soggiacenza media (m)	Soggiacenza estiva stimata (m)	% riduzione fabbisogni applicata
1	0 – 2.2	0 – 1.2	40%
2	2.2 – 3	1.2 – 2	20%
3	3 – 4	2 – 3	5%
4	> 4	> 3	0%

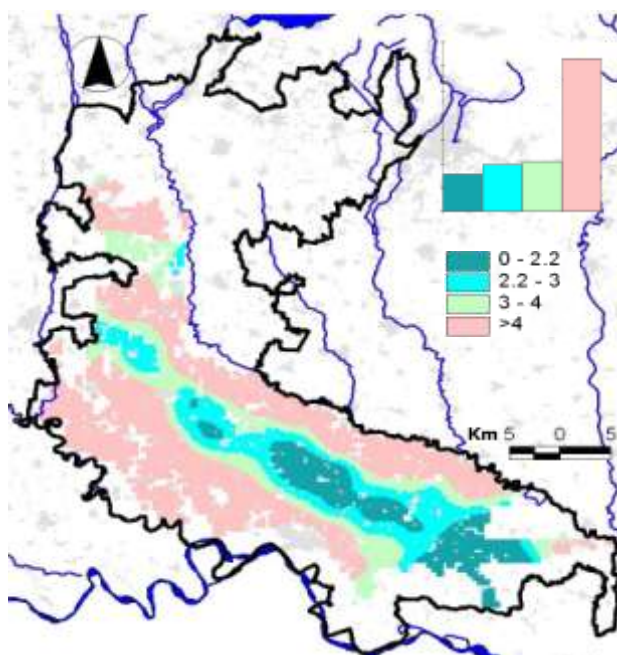


Fig. 9.8 - Carta della soggiacenza della falda in corrispondenza dei comizi - le classi indicano la soggiacenza media annua.

Per ottenere una stima corretta dei contributi forniti dalla falda è stato calcolata, per ogni cella, la frazione dei fabbisogni soddisfatti dalla falda, quindi si è calcolata per ogni mese (nei due casi di condizioni medie e di tempo di ritorno di 10 anni) l'entità dei contributi in l/s; infine si è aggregato il fabbisogno per comprensorio. Ripetendo l'analisi, avendo rimosso dai fabbisogni i contributi di falda, si ottengono gli istogrammi ed i valori di soddisfazione riportati nella tabella seguente.

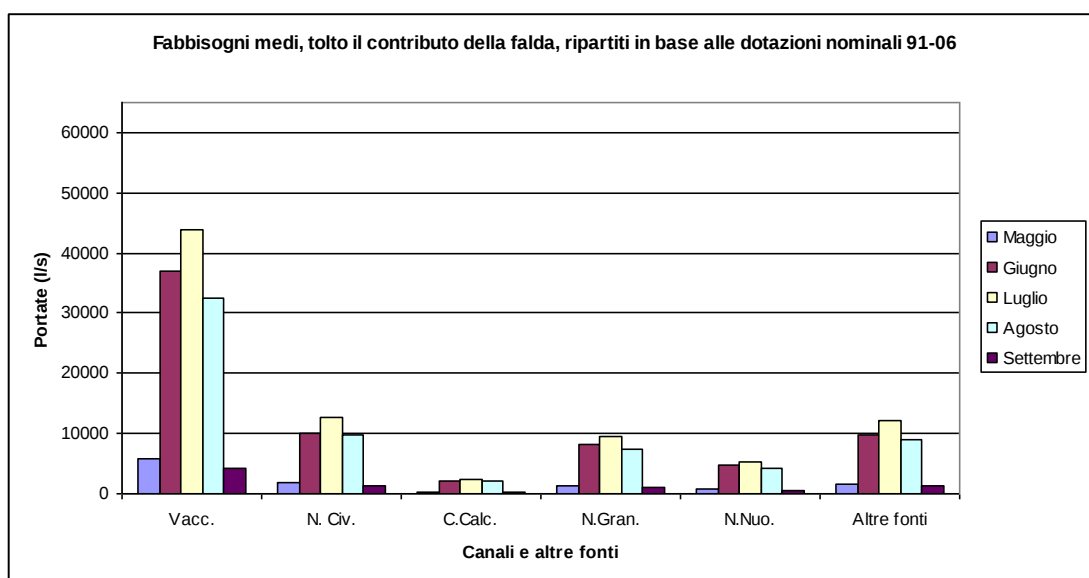


Fig. 9.9 - Fabbisogni medi alla presa dei canali principali, al netto del contributo di falda

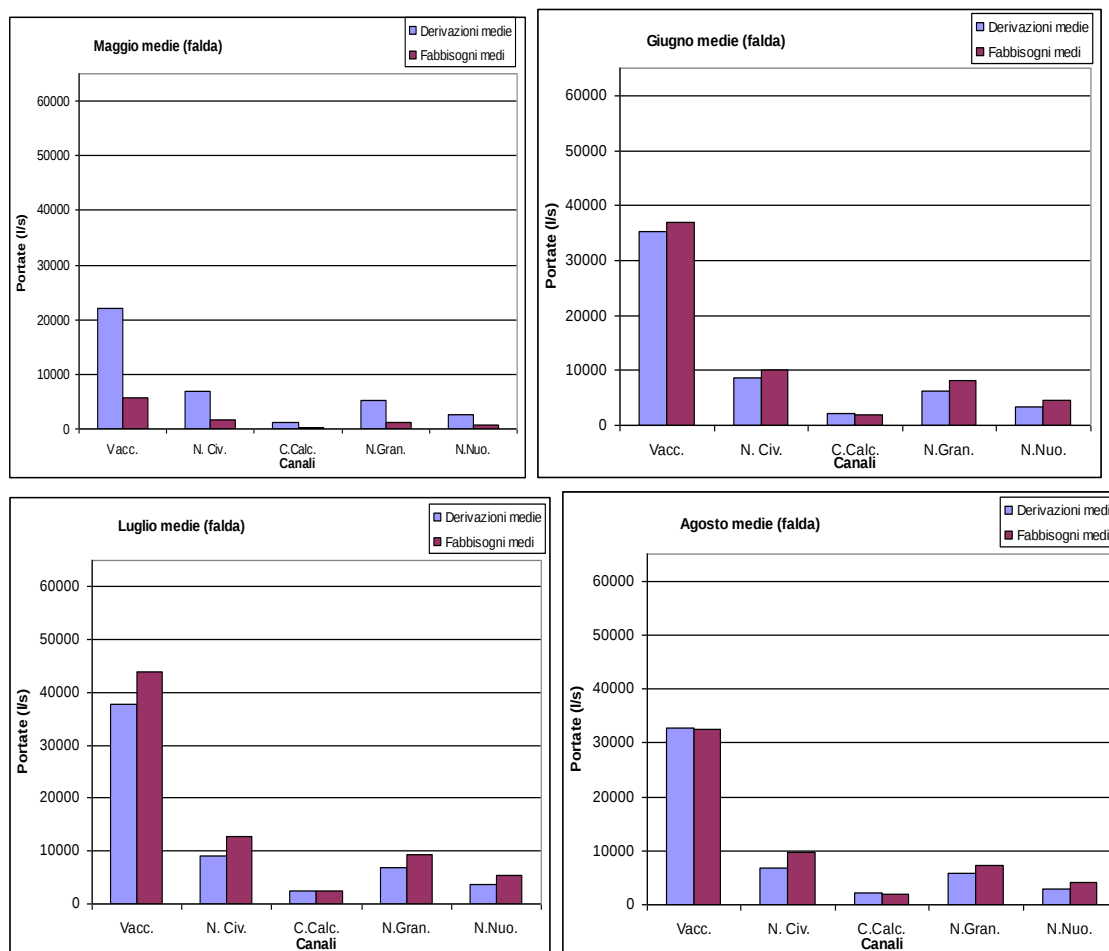


Fig. 9.10 - Fabbisogni medi al netto del contributo di falda e portate medie derivate

Tab. 9.6 - Tassi di soddisfazione mensili medi per canale generale: (Portate derivate / Portate di fabbisogno irriguo distrettuale al fiume)x100 - al netto dei contributi di falda

Nome canale	Giugno	Luglio	Agosto
Canale Vacchelli	96%	86%	100%
Naviglio Civico	85%	72%	70%
Roggia Calciana	108%	100%	103.%
NaviglioGrande	78%	73%	79%
Naviglio Nuovo	71%	67%	72%

I valori ottenuti indicano ancora deficit idrici rilevanti, non confermati dalle serie storiche delle derivazioni. Il motivo risiede, almeno in parte, nel sensibile grado di incertezza che le stime effettuate presentano, sia a causa delle numerose approssimazioni che si sono dovute utilizzare in mancanza di informazioni attendibili (efficienza di adduzione, contributi di falda, forniture da "altre fonti", esatta attribuzione delle forniture), sia a causa della grande complessità della zona in

esame (convergenza delle acque di diversi canali, numerose fonti per ogni sottocomprensorio, presenza di fonti difficilmente misurabili, contributi di falda, ecc.).

9.3. Tassi di copertura del fabbisogno idrico per sottocomprensorio

Nel progetto vengono richieste le carte di soddisfazione del fabbisogno idrico medio. Queste carte sono state prodotte confrontando i fabbisogni irrigui locali dei sottocomprensori con le forniture d'acqua dei canali principali che li alimentano.

Per stimare le forniture nella ZONA NORD, si è assegnato ad ogni sottocomprensorio una quota della portata del canale principale, proporzionalmente alla dotazione dei sottocomprensori alimentati da quel canale (dotazioni al netto delle perdite di adduzione sul canale principale e sui secondari):

$$Forn_p = \frac{DN_p}{\sum_{i=1}^{n_c} DN_i} \cdot Eff_p Q_c$$

dove:

- $Forn_p$ è la portata consegnata al sottocomprensorio p ,
- DN_p è la dotazione nominale del sottocomprensorio p ,
- Eff_p è l'efficienza di adduzione della consegna idrica del sottocomprensorio p ,
- Q_c è la portata del canale c (canale che alimenta il sottocomprensorio p),
- n_c è il numero di sottocomprensori alimentati dal canale c ,
- DN_i è la dotazione nominale dei sottocomprensori alimentati dal canale c .

Per il singolo caso del sottocomprensorio "dugali di Calcio" (codice 912), alimentato dai canali Donna e Antegnata, si è eseguito questo calcolo per ciascun canale afferente e quindi si sono sommate le due forniture risultanti.

Per ogni sottocomprensorio della ZONA SUD si sono determinate le dotazioni per ogni fonte e quindi si sono calcolate le percentuali di portata per fonte che alimentano i singoli sottocomprensori. La fornitura al singolo sottocomprensorio è stata assunta pari alla somma delle frazioni delle fonti moltiplicate per le rispettive efficienze di adduzione:

$$Forn_p = \sum_{c=1}^C \left(\frac{DN_p^c}{\sum_{i=1}^N DN_i^c} \cdot Eff_c Q_c \right)$$

dove:

- $Forn_p$ è la portata consegnata al sottocomprensorio p ,
- C è il numero delle fonti,
- DN_p^c è la dotazione nominale del sottocomprensorio p dalla fonte c ,
- Eff_c è l'efficienza di adduzione assegnata alla fonte c ,
- Q_c è la portata della fonte c ,
- N è il numero dei sottocomprensori,
- DN_i^c è la dotazione nominale dei sottocomprensori proveniente dal canale c ,

Per i canali si è assunta efficienza 0.7, mentre si è attribuita efficienza unitaria per le seguenti fonti: pozzi, fontanili, sollevamenti da fiume e coli.

Dopo aver definito le forniture idriche per il periodo da maggio a settembre e per tutti i sottocomprensori, si è sviluppato il confronto con i valori dei fabbisogni irrigui locali, come sono indicati nelle carte dei fabbisogni per sottocomprensorio.

Per la ZONA SUD si è effettuato sia il confronto con i fabbisogni totali sia con i fabbisogni al netto del contributo di falda stimato.

Carte della soddisfazione del fabbisogno locale irriguo medio: senza il contributo di falda e con il contributo da falda

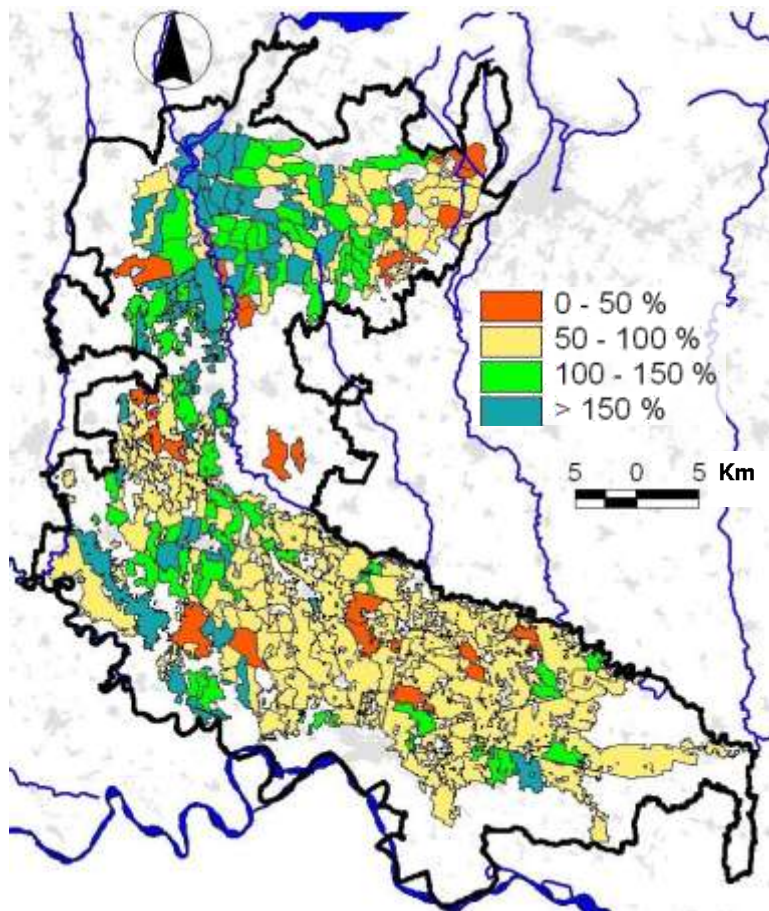


Fig. 9.11 – Giugno: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale medio (fornitura/fabbisogno) per sottocomprensorio, senza contributo di falda.

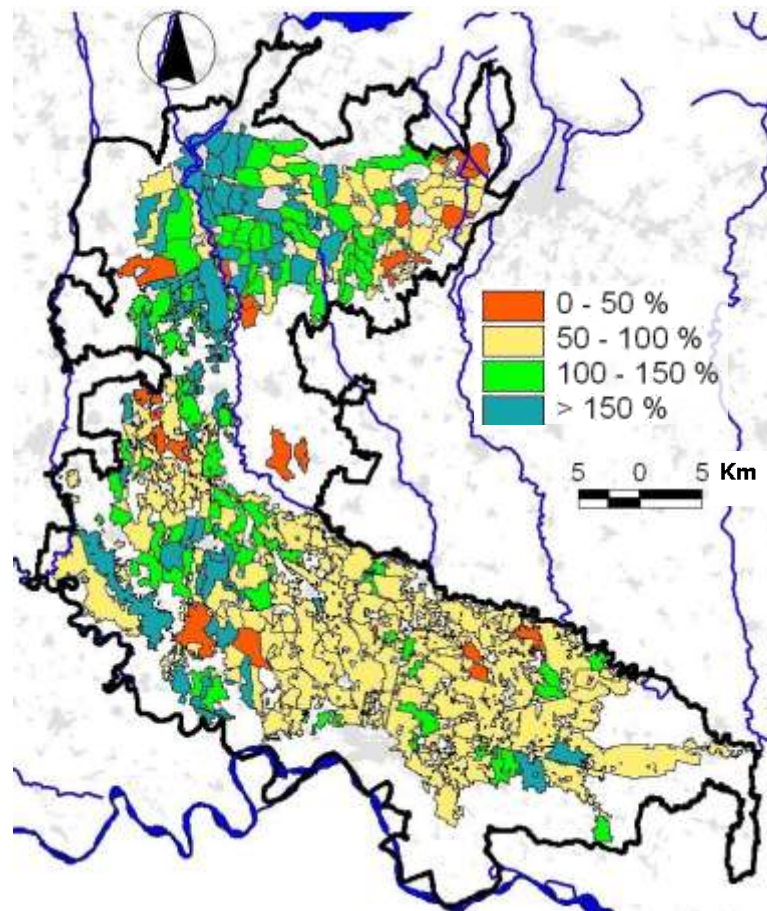


Fig. 9.12 – Giugno: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale medio per sottocomprensorio, considerando gli apporti idrici provenienti da falda.

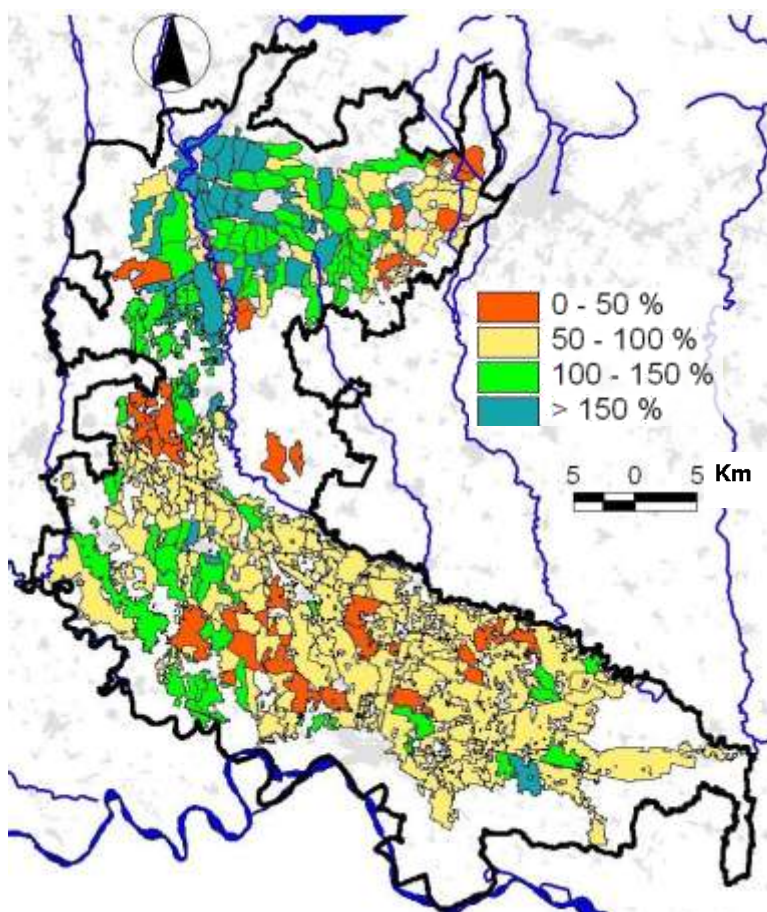


Fig. 9.13 – Luglio: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale medio (fornitura/fabbisogno) per sottocomprensorio, senza contributo di falda.

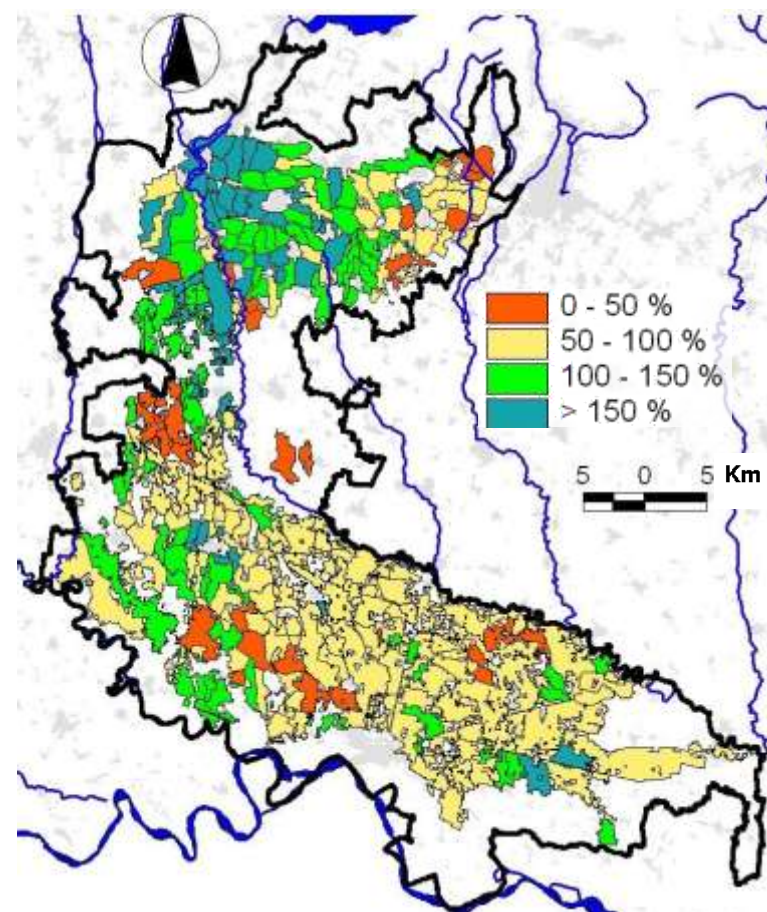


Figura 9.14 – Luglio: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale medio per sottocomprensorio, considerando gli apporti idrici provenienti da falda.

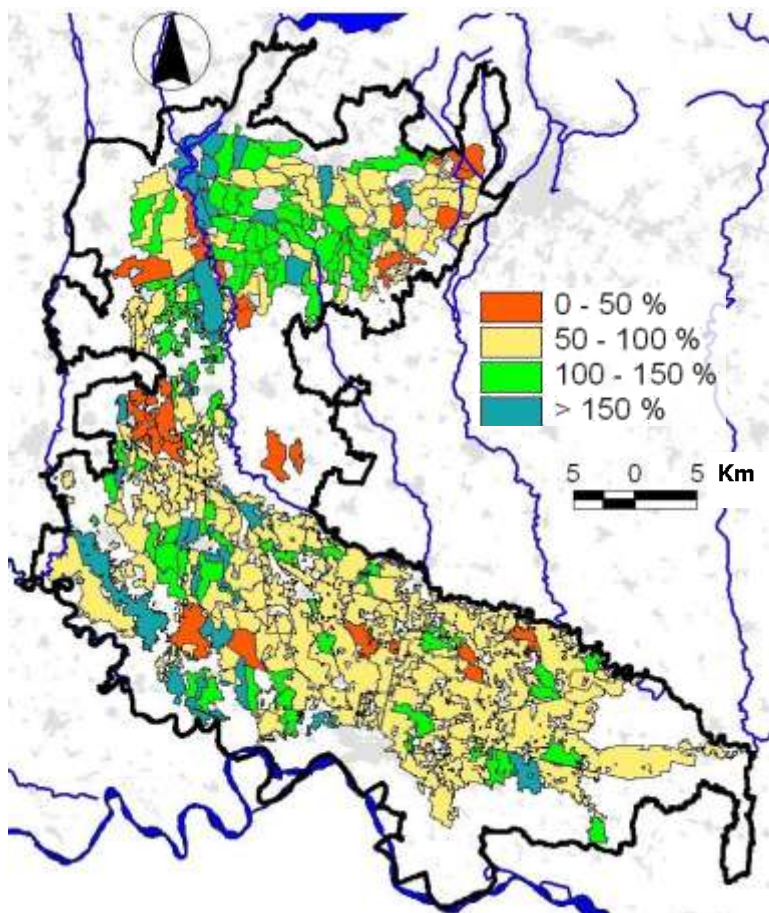


Fig. 9.15 – Agosto: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale medio (fornitura/fabbisogno) per sottocomprensorio, senza contributo di falda.

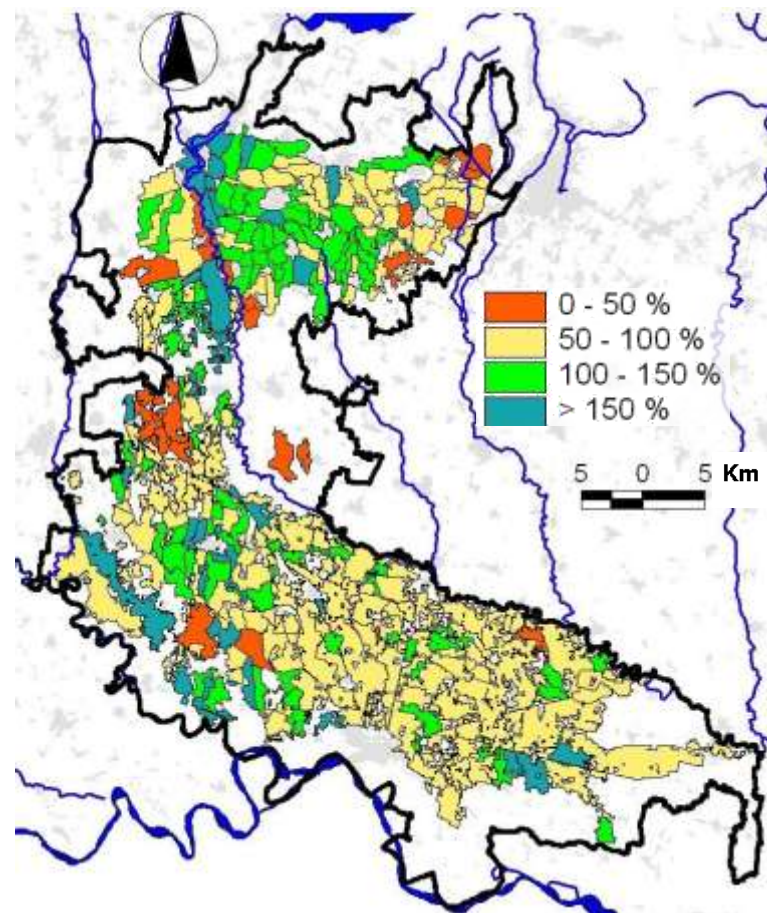


Figura 9-16 – Agosto: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale medio per sottocomprensorio, considerando gli apporti idrici provenienti da falda.

9.4. Copertura del fabbisogno idrico estremo

Il procedimento di calcolo per il caso medio (fabbisogni mensili medi rispetto alle portate mediamente derivate) è stato sviluppato anche per il caso estremo, in modo da valutare le condizioni critiche a cui le colture possono essere esposte nelle situazioni di carenza idrica.

Per valutare il caso critico si è proceduto sulla base dei fabbisogni estremi definiti nei capitoli precedenti (fabbisogni massimi con tempo di ritorno di 10 anni: "T10").

Un fabbisogno idrico elevato dipende da numerosi fattori (temperature elevate, vento, bassa umidità ecc...), ma soprattutto dalla distribuzione delle piogge nell'anno. La scarsità di piogge può ragionevolmente produrre una riduzione delle portate disponibili nel fiume e quindi una riduzione delle portate derivate dai canali.

Il confronto tra portate derivate medie e fabbisogni estremi può quindi produrre dei tassi di soddisfazione dei fabbisogni più elevati di quelli che si verificano nella realtà.

Di contro confrontare i fabbisogni estremi T10 con le portate critiche "T-10" (queste ultime sono calcolate come portate minime con tempo di ritorno di 10 anni) implica di considerare la coincidenza tra i fabbisogni T10 e le portate derivate T-10. Questo produce un evento congiunto che non ha un tempo di ritorno di 10 anni. Benché non si possa quantificare il tempo di ritorno dell'evento che si andrà a tratteggiare, si può dire con certezza che avrà un tempo di ritorno superiore ai 10 anni.

Per quanto detto, negli istogrammi di confronto si riportano, al fianco dei fabbisogni estremi (T10), sia le portate derivate medie che le portate critiche.

Nel valutare questi confronti si deve tener presente che ogni mese è un evento a sé stante: diversamente dal caso medio affrontato in precedenza, nel quale ogni mese medio andava a formare l'andamento annuo medio, in questo caso ogni mese è da considerarsi un mese critico estremo. La probabilità che si componga una sequenza di mesi con quel livello di criticità, benché non nulla, è molto più remota, quindi è utile poter considerare i valori dei mesi critici come un insieme di casistiche estreme mensili tra loro indipendenti.

Fatte queste doverose premesse, riportiamo i valori di fabbisogni T10, di portate derivate T-10 e i loro relativi confronti per le due Zone Nord e Sud, seguendo uno schema identico a quanto fatto per il caso medio.

ZONA NORD

Si presentano i grafici dei fabbisogni estremi (T10), cumulati per il comprensorio di ogni derivazione e riportati al fiume con l'applicazione delle efficienze di metodo irriguo e di adduzione, e le portate critiche (T-10). A scopo di raffronto sono indicati anche i valori medi di fabbisogno di luglio e le portate medie derivate a luglio (indicati con tratti verdi).

La riduzione media delle portate derivate nel caso T-10, espresso come $[Q_M - Q_{T-10})/Q_M$ è del 19.4%; l'incremento dei fabbisogni (calcolato nello stesso modo) è del 39.6%.

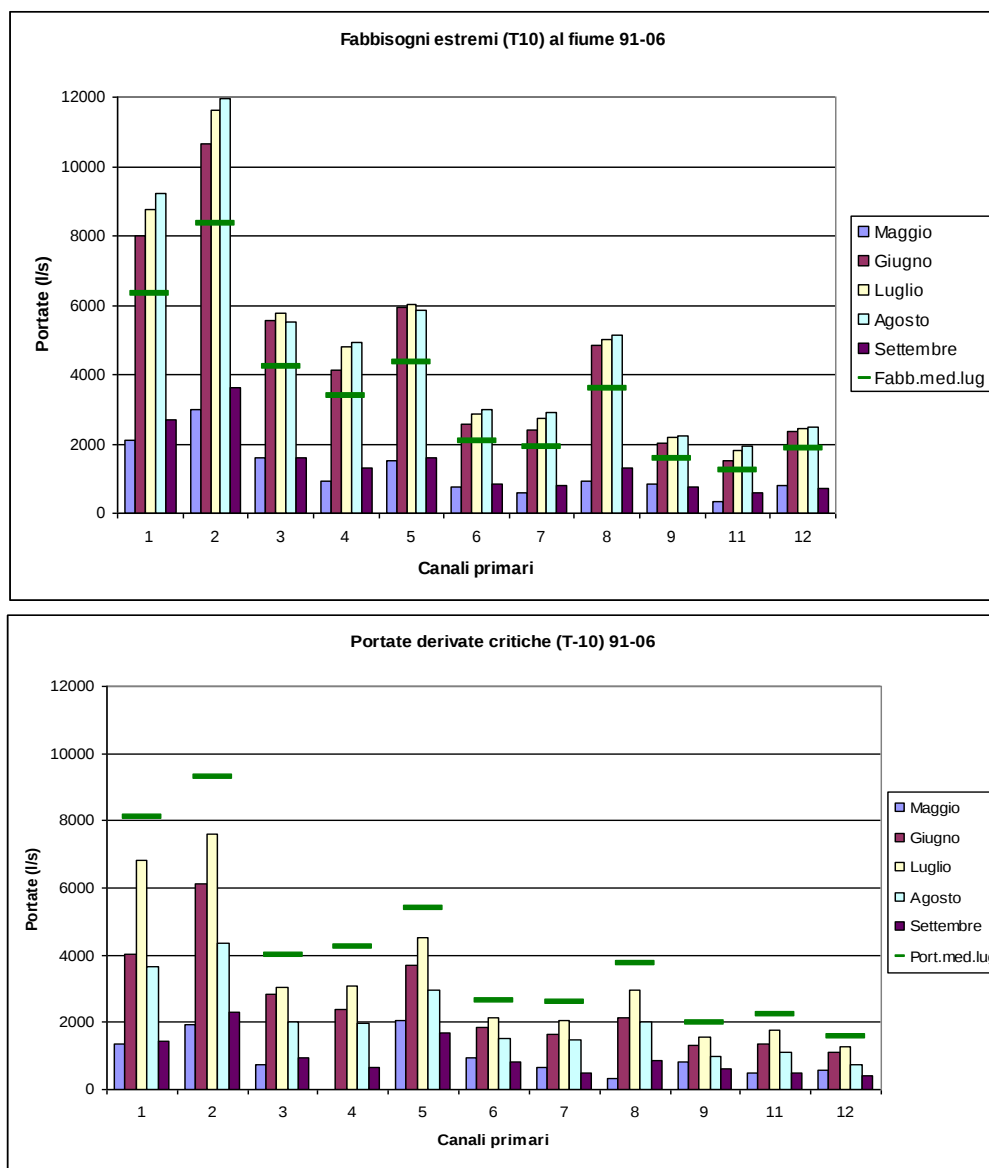


Fig. 9.17 - Fabbisogni estremi (T10) espressi alla presa dei canali, e portate critiche (T-10).

Tab. 9.7 - Legenda dei codici dei canali

1	Roggia Fusia	5	Roggia Trenzana-Travagliata	9	Roggia Donna
2	Roggia Vetra	6	Roggia Bajona	11	Roggia Antegnata
3	Roggia Castrina	7	Roggia Rudiana - Vescovada	12	Roggia Molina
4	Roggia Sale	8	Roggia Castellana		

Nelle figure successive si confrontano fabbisogni estremi e portate critiche dei mesi di maggio, giugno, luglio e agosto.

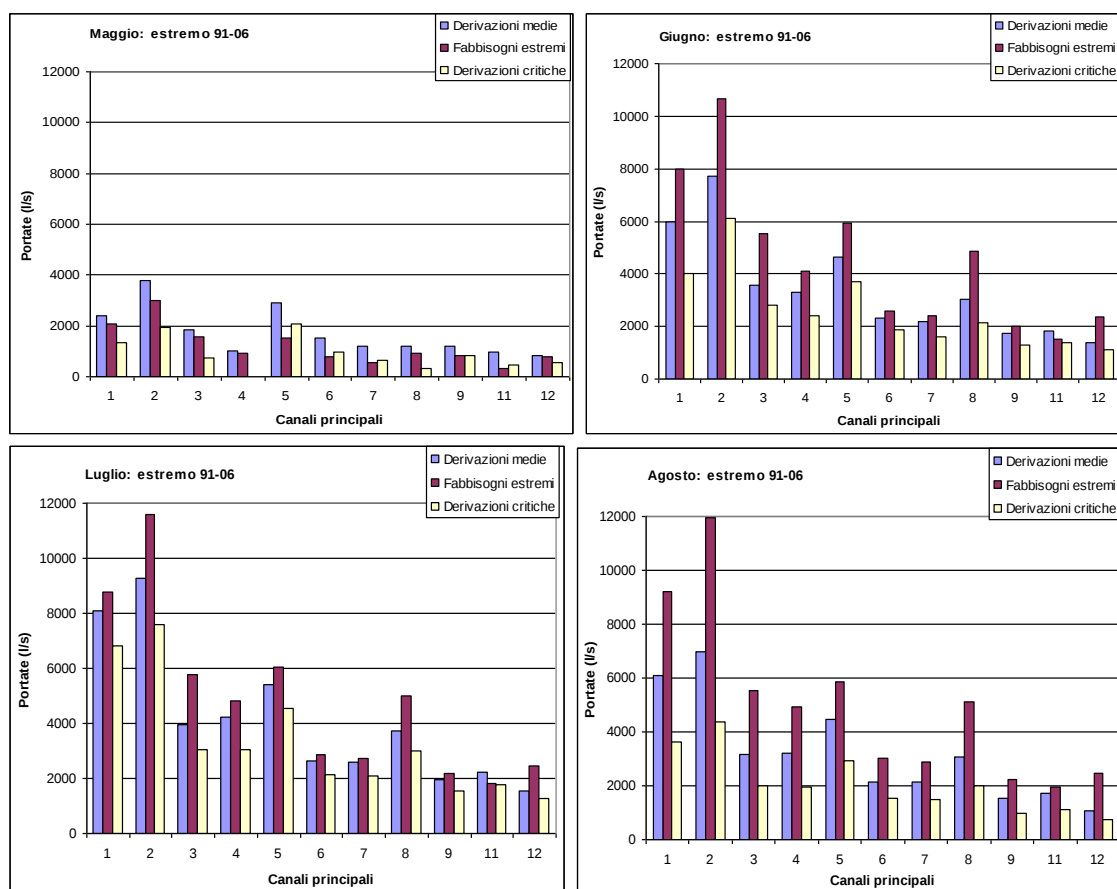


Fig 9.18 - Fabbisogni estremi (T10) e portate derivate, medie e critiche (T-10)

Si calcolano quindi i tassi di soddisfazione per queste due condizioni ipotetiche: a) fabbisogni estremi (con tempo di ritorno di 10 anni) con forniture irrigue medie, b) fabbisogni estremi con forniture critiche (minimo con tempo di ritorno di 10 anni, ovvero T-10).

In realtà accade che negli anni siccitosi si osservano sia fabbisogni più elevati che forniture più scarse. La condizione di minima fornitura e massimo fabbisogno è statisticamente differente da quella del tempo di ritorno di 10 anni. Le due condizioni offrono quindi un estremo massimo e uno minimo di fornitura in concomitanza del fabbisogno estremo.

Si fa notare inoltre che i singoli mesi hanno senso statistico se presi separatamente; se fossero considerati nel loro insieme come anno estremo, avrebbero una probabilità di accadimento molto inferiore (con tempo di ritorno estremamente più elevato).

Tab. 9.8 - Tassi di soddisfazione dei fabbisogni estremi
(Portate derivate medie / Portate di fabbisogno irriguo al fiume)

Nome canale	Cod	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Roggia Fusia	1	115%	75%	92%	66%	105%
Roggia Vetra	2	127%	72%	80%	58%	113%
Roggia Castrina	3	117%	64%	69%	58%	111%

Roggia Sale	4	110%	80%	88%	65%	139%
Roggia Trenzana-Travagl.	5	190%	78%	89%	77%	169%
Roggia Bajona	6	202%	90%	92%	72%	178%
Roggia Rudiana -Vescov.	7	214%	92%	95%	73%	149%
Roggia Castellana	8	128%	63%	75%	60%	122%
Roggia Donna	9	144%	87%	90%	68%	135%
Roggia Antegnata	11	288%	122%	123%	90%	175%
Roggia Molina	12	105%	59%	63%	43%	92%

Tab. 9.9 - Tassi di soddisfazione dei fabbisogni estremi
(Portate derivate critiche / Portate di fabbisogno irriguo al fiume)

<i>Nome canale</i>	<i>Cod</i>	<i>Maggio</i>	<i>Giugno</i>	<i>Luglio</i>	<i>Agosto</i>	<i>Settembre</i>
Roggia Fusia	1	64%	50%	78%	40%	53%
Roggia Vetra	2	65%	58%	65%	37%	63%
Roggia Castrina	3	46%	51%	53%	36%	58%
Roggia Sale	4	0%	58%	64%	40%	50%
Roggia Trenzana-Travagl.	5	136%	62%	75%	51%	107%
Roggia Bajona	6	125%	72%	74%	50%	98%
Roggia Rudiana -Vescov.	7	112%	68%	76%	51%	62%
Roggia Castellana	8	36%	44%	59%	40%	67%
Roggia Donna	9	98%	65%	71%	44%	80%
Roggia Antegnata	11	142%	91%	97%	57%	85%
Roggia Molina	12	72%	48%	52%	30%	56%

ZONA SUD

Per la ZONA SUD l'esplorazione delle condizioni di criticità estrema presenta una attendibilità minore, ma è comunque possibile esprimere interessanti indicazioni qualitative.

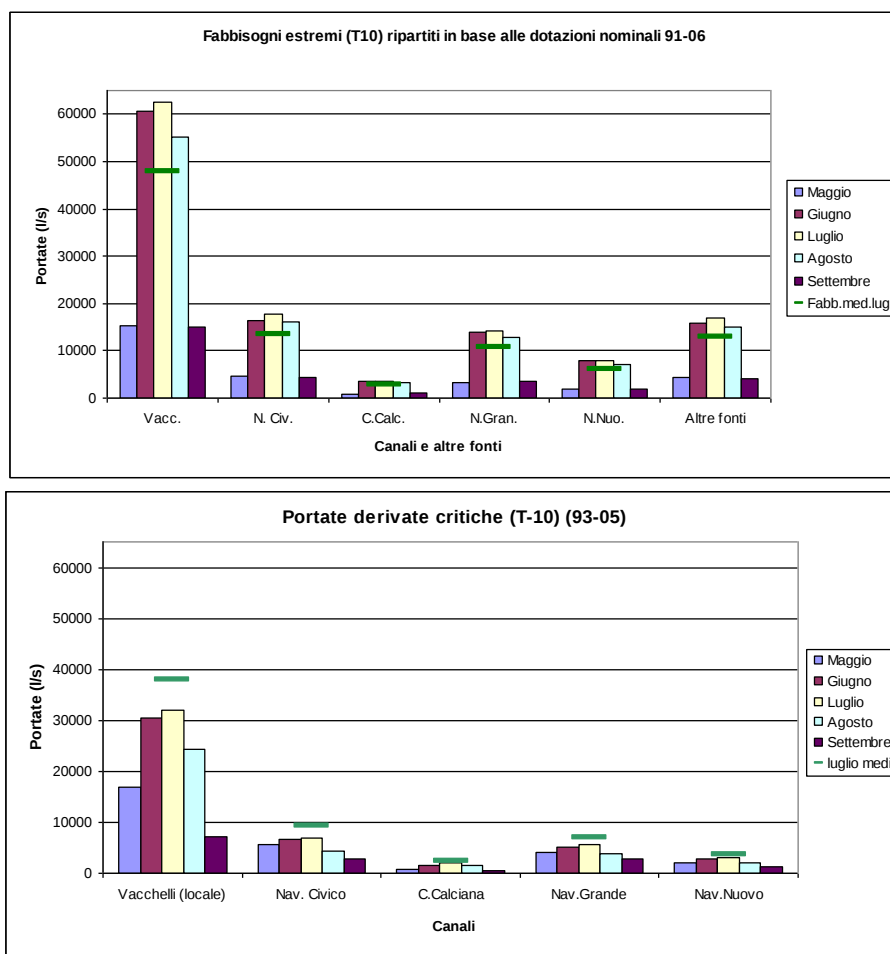


Fig. 9.19 - Fabbisogni estremi (T10) espressi all'imbocco dei canali principali e delle altre fonti, e portata critiche (T-10) derivate dai canali .

La riduzione media delle portate derivate nel caso T-10, espressa come: $(QM - QT-10)/QM$, è del 16.6%. L'incremento dei fabbisogni è del 32.4%.

Rispetto alla ZONA NORD si osservano scostamenti minori sia nelle portate che nei fabbisogni (a nord si aveva una riduzione di portate pari al 19.4% e un incremento dei fabbisogni del 39.6%), per cui si può affermare che, per quanto la situazione sia comunque critica, i valori si discostano meno dalla condizione media.

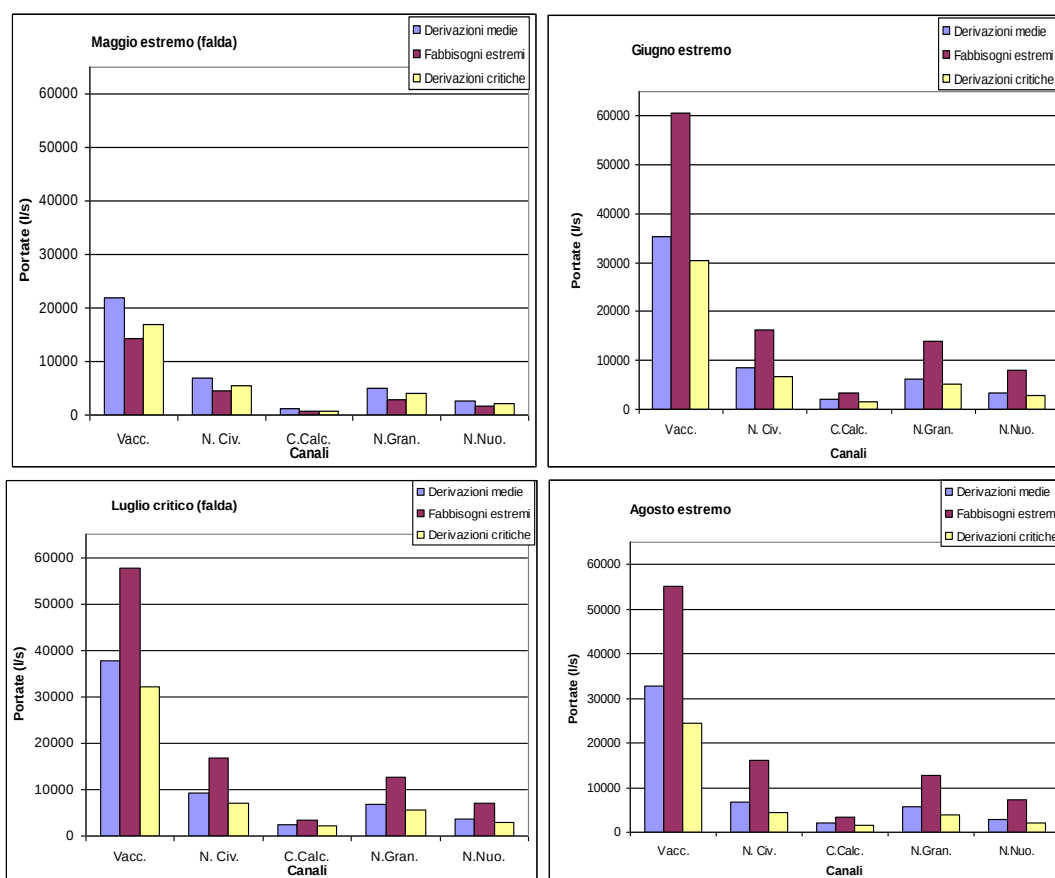


Fig. 9.20 - Fabbisogni estremi (T10), portate derivate medie e critiche (T-10)

Si calcolano quindi i tassi di soddisfazione per queste due condizioni (si ricorda di valutare i singoli mesi separatamente e di non considerarli nel loro insieme come anno estremo).

Si riporta, anche per il caso critico, le stime del tasso di soddisfazione nei due casi, e il confronto dei fabbisogni estremi con le portate derivate medie e critiche.

Tab. 9.10 - Tassi di soddisfazione dei fabbisogni estremi e medi
(Portate derivate medie / Portate di fabbisogno irriguo al fiume) x100

Nome canale	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Canale Vacchelli	110%	50%	51%	44%	48%
Naviglio Civico	120%	41%	39%	27%	64%
Roggia Calciana	100%	48%	59%	45%	58%
Naviglio Grande	131%	37%	40%	30%	78%
Naviglio Nuovo	119%	34%	37%	28%	70%

Tab. 9.11 - Tassi di soddisfazione dei fabbisogni estremi e critici
(Portate derivate critiche / Portate di fabbisogno irriguo al fiume) x100

Nome canale	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Canale Vacchelli	143%	58%	60%	59%	126%
Naviglio Civico	147%	53%	52%	42%	91%
Roggia Calciana	162%	63%	66%	61%	103%
Naviglio Grande	162%	45%	48%	45%	118%
Naviglio Nuovo	147%	41%	44%	42%	107%

Anche in questo caso possiamo esaminare i dati dopo una riduzione dei fabbisogni dovuta alla falda (calcolata per cella in base alla soggiacenza e ai fabbisogni T10).

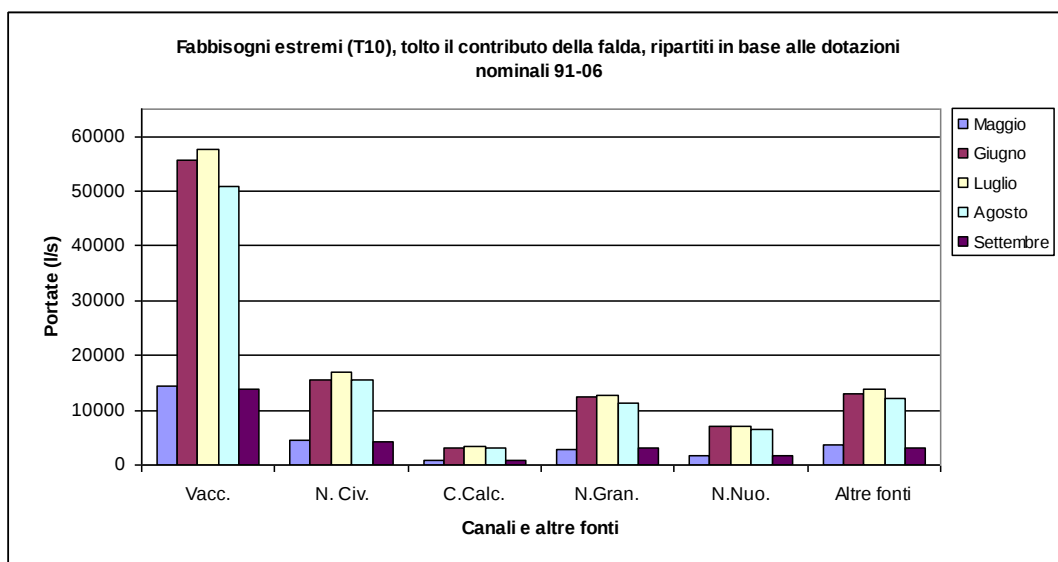


Fig. 9.21 - Fabbisogni estremi (T10) espressi all'imbocco dei canali principali a meno del contributo stimato per la falda

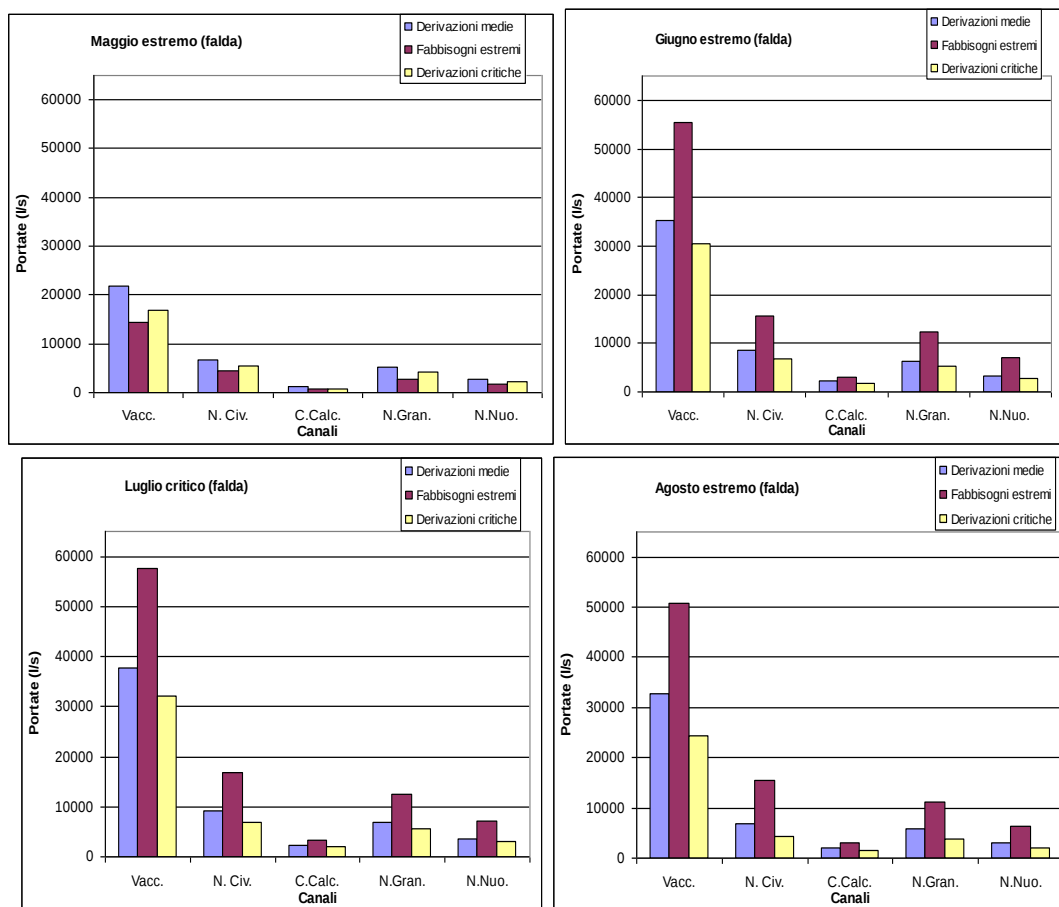


Fig. 9.22 - Fabbisogni estremi (T10) al netto del contributo di falda, portate derivate medie e critiche (T-10)

Tab. 9.12 - Tassi di soddisfazione dei fabbisogni (al netto del contributo di falda) estremi e medi (Portate derivate medie / Portate di fabbisogno irriguo al fiume)x100

Nome canale	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Vacchelli	153%	64%	66%	64%	137%
Nav. Civico	153%	55%	54%	44%	94%
C.Calciana	175%	69%	72%	66%	112%
Nav.Grande	180%	51%	54%	51%	133%
Nav.Nuovo	161%	46%	50%	46%	119%

Tab. 9.13 - Tassi di soddisfazione dei fabbisogni (al netto del contributo falda) estremi e critici (Portate derivate medie / Portate di fabbisogno irriguo al fiume)x100

Nome canale	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre
Vacchelli	117%	55%	56%	48%	52%
Nav. Civico	125%	43%	41%	29%	66%
C.Calciana	109%	53%	64%	49%	63%
Nav.Grande	146%	42%	45%	34%	88%
Nav.Nuovo	131%	38%	41%	31%	78%

9.5. Carte dimostrative dei tassi di copertura del fabbisogno idrico

Come per il caso medio, si presentano i dati dei livelli di soddisfazione del fabbisogno idrico per il caso dei fabbisogni estremi (T10). Per contenere il numero di carte si presentano i confronti tra i fabbisogni estremi e le forniture irrigue medie, omettendo il confronto fabbisogni estremi – forniture critiche. Per i dettagli sui metodi di stima si rimanda al paragrafo in cui sono trattati i tassi di copertura per i fabbisogni medi.

Carte della soddisfazione del fabbisogno irriguo estremo senza considerare il contributo di falda e con contributo di falda

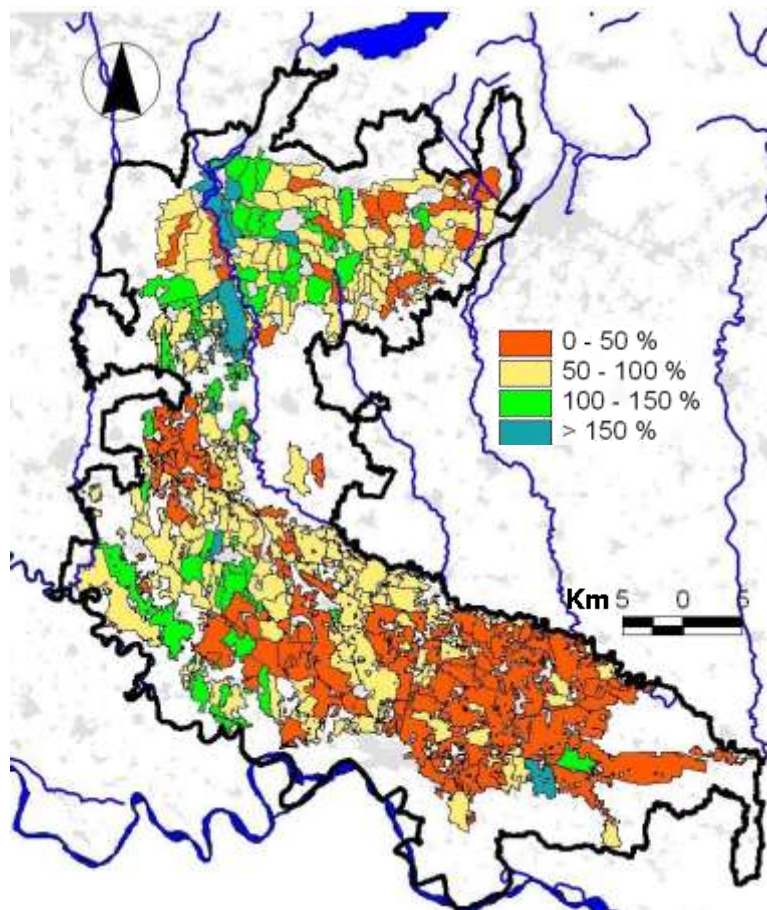


Fig. 9.23 - Giugno: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale estremo (T10) per sottocomprensorio(fornitura media/fabbisogno T10), calcolati senza contributo di falda

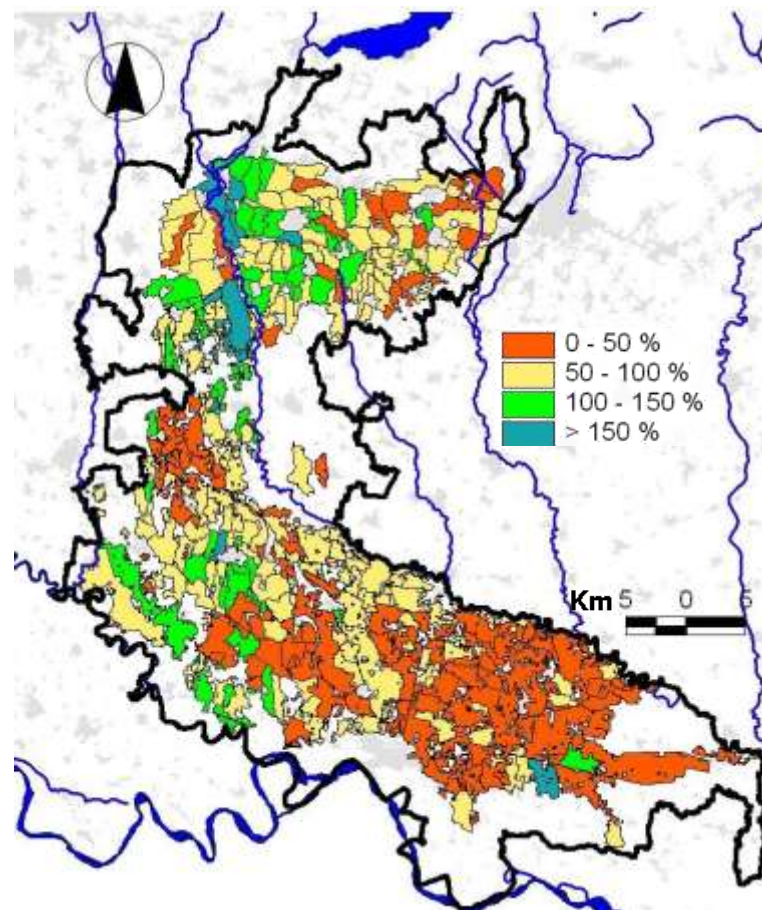


Fig. 9.24 - Giugno: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale estremo (T10) per sottocomprensorio(fornitura media/fabbisogno T10), calcolati con il contributo di falda

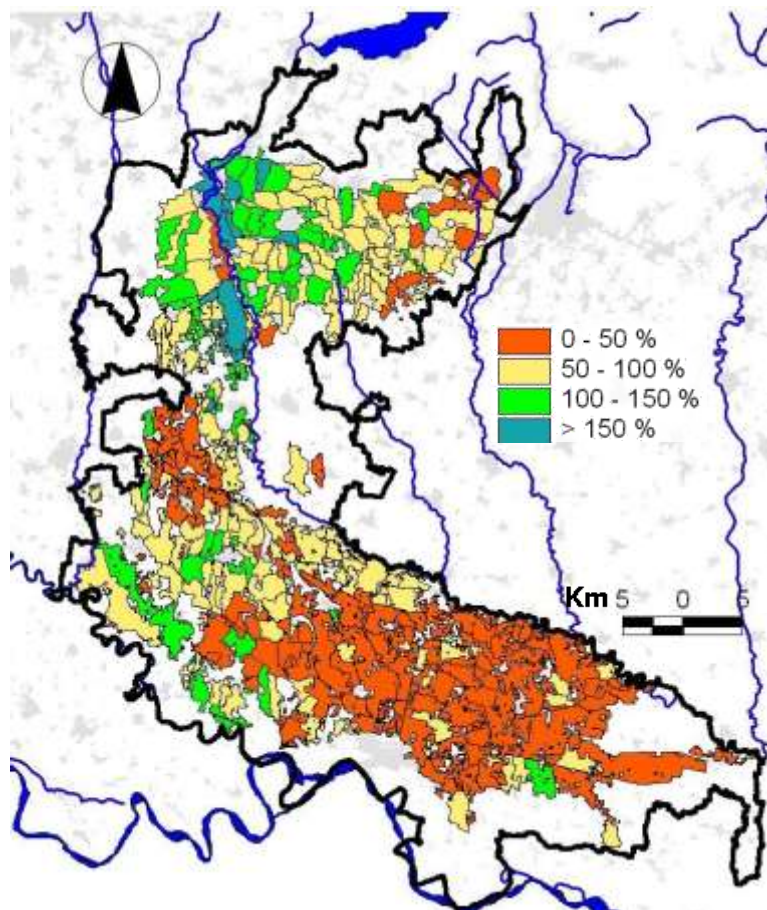


Fig. 9.25 - Luglio: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale estremo (T10) per sottocomprendorio(fornitura media/fabbisogno T10), calcolati senza contributo di falda

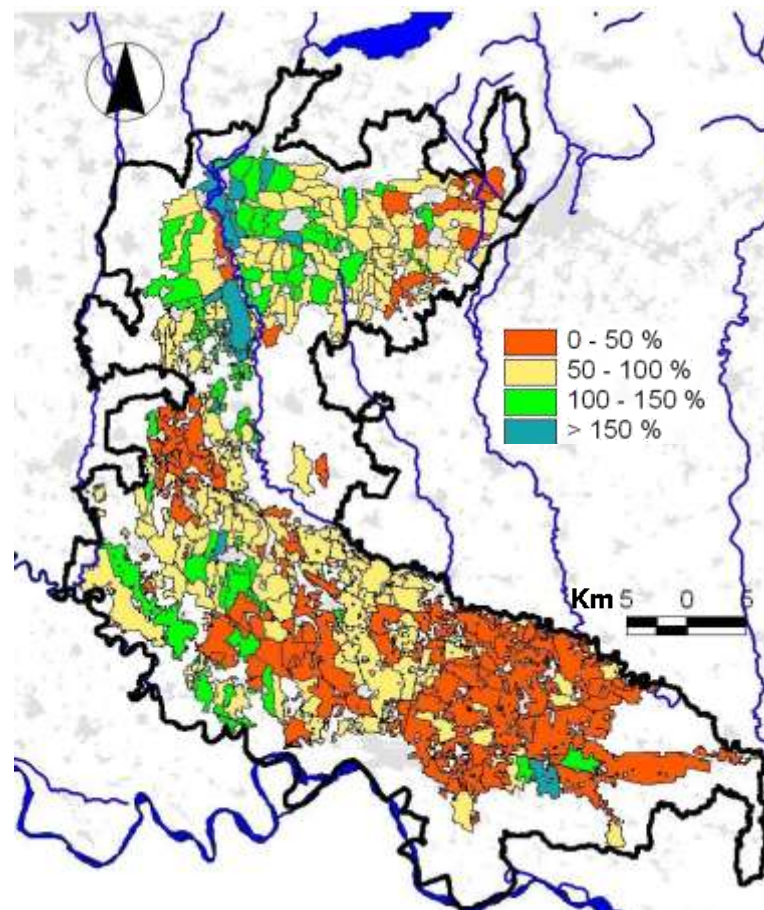


Fig. 9.26 - Luglio: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale estremo (T10) per sottocomprendorio(fornitura media/fabbisogno T10), calcolati con il contributo di falda

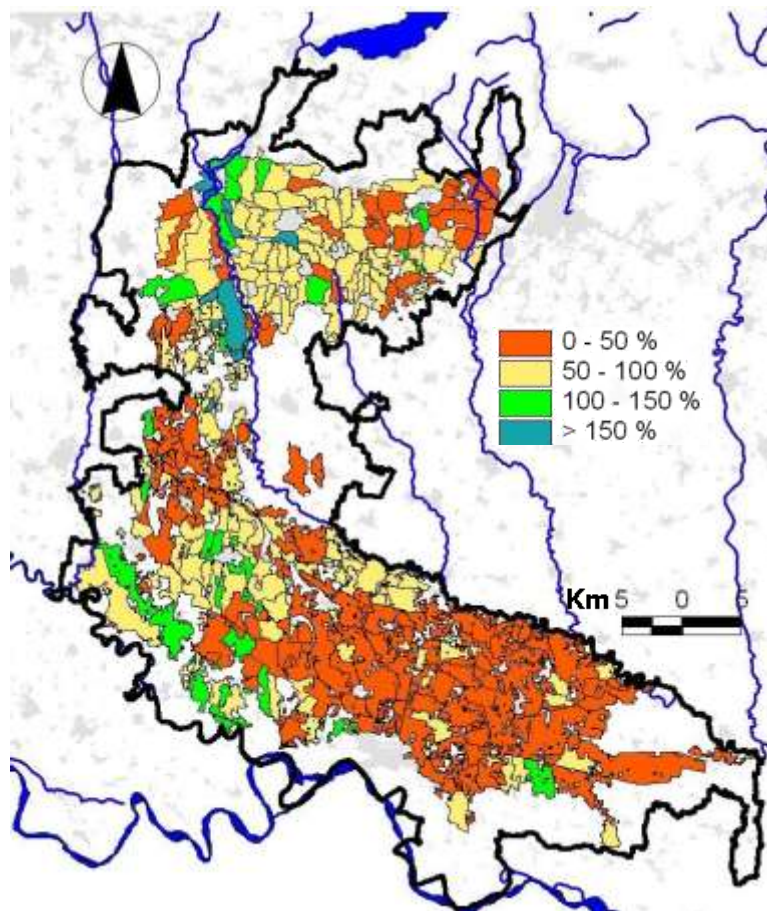


Fig. 9.27 - Agosto: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale estremo (T10) per sottocompensorio (fornitura media/fabbisogno T10), calcolati senza contributo di falda

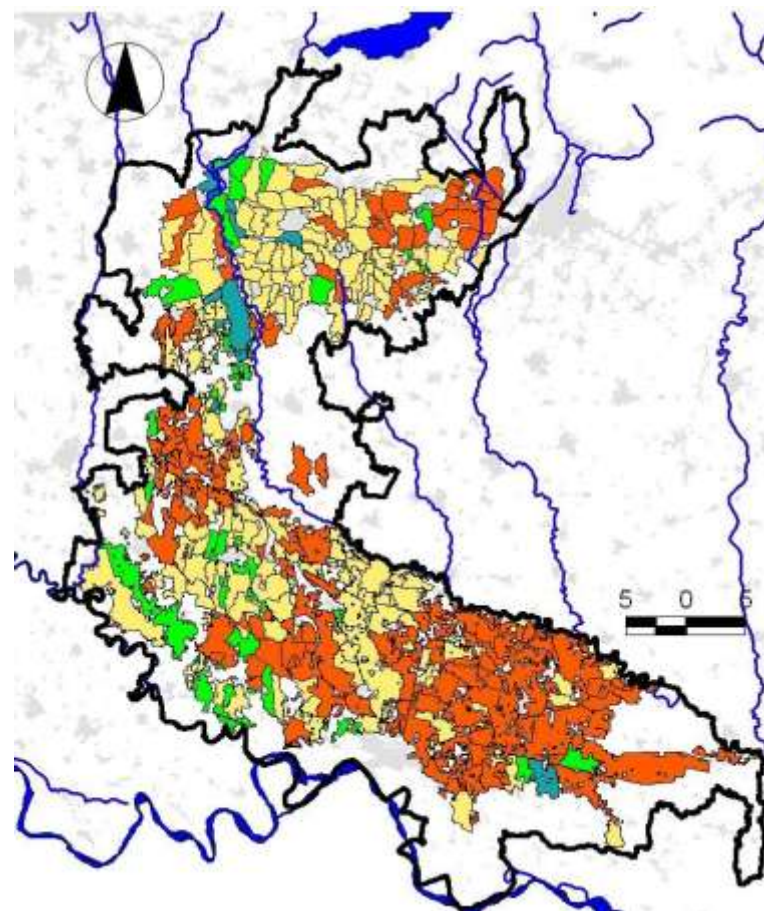


Fig. 9.28 - Agosto: carta delle percentuali di soddisfazione del fabbisogno irriguo locale estremo (T10) per sottocompensorio (fornitura media/fabbisogno T10), calcolati con il contributo di falda

10. VALUTAZIONE DEI RISULTATI FINALI

10.1. Applicazione di IDRAGRA e della procedura di stima dei fabbisogni

Con il Progetto AGRIOGLIO è stato possibile utilizzare il software predisposto dal Dipartimento di Idraulica Agraria ad una scala di bacino molto più dettagliata rispetto alle esperienze precedenti, realizzando un test di affidabilità dei criteri di analisi e di calcolo impiegati anche su "piccoli" comprensori, ognuno dei quali presentava caratteristiche proprie nei metodi di distribuzione ed uso della risorsa idrica.

Nella metodologia di lavoro è stata introdotta un'analisi di dettaglio della rete irrigua, per cui si è potuto definire un bilancio tra fabbisogni e portate derivate per singolo canale, e ricostruire il fabbisogno irriguo "al fiume" per verificare la soddisfazione del fabbisogno irriguo "locale".

Per migliorare la capacità di descrizione fisica della distribuzione delle colture nel comprensorio si è adottata una procedura di "rasterizzazione in due passaggi" delle celle del reticolo di base, con la quale si è ottenuta una stima più accurata dell'uso del suolo. Contestualmente si è evidenziata la necessità di impiegare una procedura di correzione della distribuzione delle classi di uso, essendo queste valorizzate su base territoriale comunale e non di particella: è stato perciò introdotto un "fattore di correzione areale" come rapporto tra le superfici SIARL e le superfici ottenute dalla descrizione raster del comprensorio.

Nel corso dei lavori è emerso che l'applicazione del software può rappresentare un valido supporto alla gestione della stagione irrigua, sulla base dei dati climatici rilevati, imponendo una congruenza del passo temporale tra la valutazione dei fabbisogni colturali e locali, e gli interventi sulla gestione delle portate derivate. Nel caso del comprensorio del Fiume Oglio la gestione viene attuata su base settimanale, o suoi multipli, mentre IDRAGRA è sempre stato utilizzato su base mensile. Il software può funzionare anche con il passo temporale ridotto, ma richiede un "tempo macchina" di elaborazione decisamente superiore a quello che era disponibile per questo progetto, commisurato alle risorse economiche disponibili, per cui si è dovuto forzatamente accettare l'introduzione di un'approssimazione nel calcolo del bilancio tra fabbisogni e portate disponibili. Con la metodologia di lavoro impiegata si è comunque raggiunto l'obiettivo di validare una procedura di analisi adatta a comprensori irrigui di dimensioni limitate.

10.2. Affinamento del metodo di definizione dell'efficienza irrigua

Potendo disporre di dati puntuali sulla rete irrigua ottenuti dalla gestione storica delle derivazioni, il Progetto ha messo a punto un metodo per la valutazione reale dell'efficienza irrigua della rete di canali di distribuzione, elaborando una codifica della rete basata su una "gerarchia di grado n" dei canali e dei nodi di interconnessione; ad ognuno di essi sono stati assegnati valori reali dei parametri fisici quali la lunghezza, la portata transitante e le perdite d'alveo.

Il risultato che si ottiene definisce i benefici in termini di recupero della disponibilità idrica derivanti da interventi strutturali sulla rete, o di modifica dei percorsi interni alla rete, evidenziando quali sono le zone su cui risulta più vantaggioso operare ammodernamenti dei canali rispetto ad altre nelle quali si ha un margine di beneficio ridotto.

I risultati delle elaborazioni di IDRAGRA per il comprensorio del Fiume Oglio dimostrano che nella ZONA NORD l'efficienza irrigua viene definita correttamente grazie alla conoscenza in dettaglio delle rete irrigua, mentre nella ZONA SUD la complessità e la commistione delle fonti e dei canali adduttori introducono approssimazioni sensibili, che di fatto condizionano la valutazione dei fabbisogni e i tassi di soddisfazione.

E' del tutto evidente che per la ZONA SUD deve essere programmata un'azione incisiva di applicazione della codifica della rete di distribuzione così come implementata in IDRAGRA, prevenendo anche opportuni incrementi di livello di dettaglio per ottenere la sua migliore descrizione fisica possibile.

10.3. Fattori di incertezza nel calcolo delle grandezze caratteristiche

Il lavoro svolto per l'attuazione del Progetto ha messo in evidenza che esistono alcune carenze importanti nella conoscenza dei fenomeni propri del comprensorio del Fiume Oglio. La prima carenza è rappresentata dalla scarsa conoscenza della falda acquifera presente nel comprensorio, e delle sue correlazioni con il Fiume Oglio e con la rete di distribuzione. E' indubbio che la presenza di apporti di falda può incidere in misura sensibile sui fabbisogni idrici e sul loro tasso di soddisfazione, e questo nel comprensorio studiato è verificato soprattutto per la ZONA SUD, dove la soggiacenza della falda è minima rispetto alla rete irrigua superficiale. Nel Progetto sono stati utilizzati dati di letteratura, ma l'analisi della serie storica dei dati di gestione porta a ritenere che gli apporti siano stati sottostimati, ragione per cui sono stati calcolati tassi di soddisfazione anche molto inferiori all'unità.

La seconda carenza nella conoscenza è rappresentata dai dati della pedologia del territorio in esame, in quanto il loro dettaglio è risultato non congruente con il livello di dettaglio delle altre grandezze fisiche impiegate. Sono stati utilizzati i dati disponibili per la Regione Lombardia, ma la loro spazializzazione si è dimostrata insufficiente nel descrivere le tipologie di terreno in alcune zone, soprattutto nella ZONA NORD, la cui specificità risulta dall'analisi della domanda irrigua storica. Per la migliore definizione di un parametro fondamentale come l'AWC sarebbe stato necessario disporre di un discreto numero di profili del terreno, distribuito sulle diverse aree del comprensorio a diversa domanda irrigua; di conseguenza sarebbe stato possibile valutare il grado di variazione di questo parametro all'interno del singolo sottocomprensorio, ed evidenziare la presenza e l'estensione territoriale di porzioni di territorio con minore capacità idrica e, quindi, con maggior fabbisogno. La mancanza di dati ha comportato che, se da un lato non è stata messa in discussione la validità della metodologia usata, dall'altro lato il calcolo è stato eseguito forzatamente sul valore medio. La realtà della gestione dimostra che, preso atto che l'irrigazione a scorrimento presenta delle rigidità strutturali non eliminabili (conformazione della

rete, concatenazione spaziale degli usi sul campo, distanze tra il punto di presa al fiume e il punto di utilizzo al campo, ecc.), la portata distribuita ad un sottocomprensorio viene modulata sui fabbisogni locali massimi senza che sia possibile differenziarla tra zone vicine ma con capacità idrica diversa. Questo può essere uno dei motivi per cui IDRAGRA ha calcolato tassi di soddisfazione maggiori dell'unità anche del 40%, anche se non è stato possibile quantificare lo scostamento tra stima e dato reale dovuto alla struttura del sistema irriguo.

Si ritiene di evidenziare come nel mese di maggio la stima della soddisfazione dei fabbisogni, che in genere supera abbondantemente il 100%, è sostanzialmente dovuta al fatto che le portate derivate sono solo in parte dovute alla richiesta irrigua. Gran parte della portata è destinata ad invasare i canali e a creare il condizionamento dei fondi dei canali che possano garantire un corretto trasporto della risorsa. Quindi, malgrado valori di soddisfazione elevati, il margine di ottimizzazione di queste portate potrebbe risultare molto ridotto.

A causa dei fattori di incertezza riscontrati che sono peculiari per le due zone, si ritiene che i valori di soddisfazione dei fabbisogni per le due zone debbano essere valutati separatamente, come è stato fatto nella presentazione dei risultati all'interno del presente rapporto ma non permettano un confronto diretto. In altre parole è utile confrontare e riflettere sulle zone più avvantaggiate e più disagiate della sola la ZONA NORD e, separatamente, confrontare le zone con maggiore o minore risorsa della ZONA SUD.

10.4. Definizione dei parametri "Fabbisogno idrico medio" e "Fabbisogno idrico estremo"

L'azione con carattere di novità e di maggior interesse tra quelle previste dal Progetto è risultata essere quella di introduzione del concetto di "Fabbisogni idrico estremo" a fianco del consueto "Fabbisogno idrico medio". La serie storica dei dati climatici e degli usi della risorsa evidenziano come la caratteristica di maggior peso nella gestione dei comprensori irrigui sia la notevole variabilità degli andamenti stagionali, e quindi della domanda irrigua, tenuto conto anche delle modifiche delle esigenze colturali derivate dalla ricerca genetica e dai progressi tecnologici nell'attività agricola. Per cui se da un lato risulta necessario ricercare i valori dei parametri caratteristici nelle condizioni normali, o medie, dall'altro è altrettanto necessario studiare le condizioni critiche, o estreme, per conoscere qual'è il grado possibile di mitigazione degli effetti delle situazioni di crisi.

Dopo il confronto sia tra i fabbisogni idrici colturali medi e massimi mensili del periodo 1951-2006, sia tra quelli del periodo 1991-2006, nel cap. 9 i fabbisogni medi sono stati correlati con le portate medie derivate nel medesimo arco temporale, definendo i relativi tassi di soddisfazione. A questo punto si è ritenuto interessante verificare le situazioni critiche, quelle in cui ai fabbisogni massimi T10 corrisponde la disponibilità minima di portate derivate T-10, sempre considerando il medesimo orizzonte temporale. Appare significativo il risultato di tale studio, che mette in evidenza che nella ZONA NORD la criticità può manifestarsi con la contemporanea ri-

duzione delle portate disponibili di circa il 20% e l'aumento del fabbisogno del 40%; nella ZONA SUD la criticità può assumere valori di poco differenti, rispettivamente il 16% e il 32%.

Viene così definito l'ordine di grandezza del grado di flessibilità che la rete irrigua deve sopportare nel passaggio dalla normalità alla criticità, e contestualmente si dichiara la necessità che anche le regole di gestione della risorsa idrica devono essere in grado di soddisfare questa flessibilità, di cui il gestore deve farsi carico se vuole ottimizzare l'uso della risorsa.

10.5. Valutazione sugli sviluppi futuri della metodologia applicata da AGRIOGLIO

Nel corso dei lavori si è avuta la concreta dimostrazione che l'impiego di IDRAGRA può rappresentare un valido supporto alla gestione della stagione irrigua, sulla base dei dati climatici rilevati, e che il massimo risultato si può ottenere imponendo una congruenza del passo temporale di analisi tra la valutazione dei fabbisogni, colturali e locali, e gli interventi sulla gestione delle portate derivate.

Sulla base del lavoro effettuato e dei risultati ottenuti, si può affermare che l'uso di IDRAGRA a scopo gestionale risulterebbe possibile realizzando una procedura operativa che preveda:

- a) la definizione di uno scenario meteorologico della stagione irrigua prossima, dal quale si possa dedurre una fascia di valutazione della disponibilità di risorsa in termini numerici;
- b) la simulazione delle possibili politiche di rilasci dal lago consentite da questa fascia di valutazione, per le quali l'obiettivo da raggiungere sia la massima copertura temporale della durata della domanda irrigua;
- c) la valutazione per ognuna di queste politiche di rilascio dei risultati ottenibili relativamente alla produzione finale ottenibile.

Ripetendo settimanalmente questa procedura di modellazione si otterrebbero così diversi scenari di resa colturale e si potrebbe scegliere la politica di rilascio che, ad esempio, minimizza le possibili perdite produttive della coltivazione di riferimento.

L'esperienza condotta con AgriOglio altresì evidenzia che l'utilizzo in questa procedura della versione attuale di IDRAGRA viene ad essere fortemente limitato da problemi di natura tecnica, quali i tempi richiesti per la preparazione degli input al modello, il tempo di calcolo, e tempi di valutazione degli esiti; in particolare la prima e l'ultima fase richiedono l'intervento diretto di un operatore esperto che valuti passo passo ogni decisione tecnica, ed alla fine richierebbero tempi di lavoro non compatibili con la base temporale settimanale, tipica per la gestione della regolazione attuata dal Consorzio dell'Oglio.

Alla conclusione del progetto AgriOglio si è palesata l'indicazione che è possibile mettere a disposizione dei Consorzi irrigui uno strumento di gestione della risorsa idrica che sia di supporto

alle azioni di modulazione necessarie per contrastare situazioni di carenza idrica, e che possa essere strumento per analizzare se sia perequata la distribuzione irrigua agli utilizzatori finali.

11. Bibliografia

- Ciavatta C., Vianello G. (1989) Bilancio idrico dei suoli: applicazioni tassonomiche, climatiche e cartografiche, CLUEB, Bologna, 97.
- CIGR, The international commission of agricultural engineering (1999) , Handbook of agricultural engineering, Volume I. American society of agricultural engineers.
- FAO, Irrigation and drainage Paper 56 (1998) Allen R., Pereira L. S., Raes D., Smith M., Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. Rome.
- FAO Soils bulletin 79 (2003) Shaxson F., Barber R., Optimizing Soil Moisture for Plant Production, Rome.
- Gandolfi C., Ortuani B., Facchi A. (2004a) Bilancio e risparmio idrico in agricoltura per rinnovo delle concessioni. D.G.R. 31 maggio 2002 N. 7/9182, Piano per la ricerca e sviluppo 2002, Scheda di Progetto N. 470, Rapporto Conclusivo, Istituto di Idraulica Agraria, Università degli Studi di Milano, pagg. 82.
- Gandolfi C., A. Facchi, B. Ortuani, D. Maggi. (2004b) Coupling surface and groundwater processes for water resources simulation in irrigated alluvial basins. Atti di iEMSs 2004 - The International Environmental Modelling and Software Society Conference, Osnabrück (Germany), Vol. 2, pagg. 1069-1074.
- Gandolfi C., Ponzini G., Giudici M., Ortuani B., Facchi A. (2007b) Realizzazione di un modello preliminare del flusso idrico nel sistema acquifero della Provincia di Cremona. RELAZIONE FINALE. Provincia di Cremona.
- Giardini (1999), Uso del suolo e agricoltura, Autorità di Bacino del Fiume Po, Att.4.16, Agriconsulting.spa, rif.a pag 46
- IReR (2007) Valutazione dei fabbisogni irrigui colturali e comprensoriali su scala regionale – fase1. Codice IReR 2006B040, Milano.
- Rawls W.J., Brakensiek D.L. (1989) Estimation of Soil Water Retention and Hydraulic Properties. Unsaturated Flow in Hydrological Modeling, Theory and Practice, pp. 275-300.
- Van Genuchten, M.Th. 1980. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. Soil Sci. Soc. Am. J. 44:892–898



Regione Lombardia
Agricoltura

Il sito della ricerca in agricoltura
www.agricoltura.regione.lombardia.it