

SMaS Schema Metropolitanamente dell'area Senese

SMaS: progetto dei Comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia, Siena e Sovicille
con l'Amministrazione Provinciale di Siena

coordinamento: Ufficio di Piano del Comune di Siena

con il contributo della Fondazione Monte dei Paschi di Siena

Risorse idriche: valutazione, fabbisogni e gestione

Dipartimento di Scienze della Terra - Centro di Ricerca sull'Acqua - Università degli Studi di Siena
Piero Barazzuoli (Coordinatore)

Marco Bertinelli, Fausto Capacci, Benedetta Mocenni, Roberto Rigati, Massimo Salleolini, Fabio Sandrelli

QG
r1

Schema Metropolitano dell'area Senese

progetto dei Comuni di Asciano, Castelnuovo Berardenga, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia, Siena e Sovicille

con l'Amministrazione Provinciale di Siena

coordinamento: Ufficio di Piano del Comune di Siena

con il contributo della Fondazione Monte dei Paschi di Siena

Risorse idriche: valutazione, fabbisogni e gestione

Dipartimento di Scienze della Terra – Centro di Ricerca sull'Acqua
Università degli Studi di Siena

Piero Barazzuoli (Coordinatore)

Marco Bertinelli

Fausto Capacci

Benedetta Mocenni

Roberto Rigati

Massimo Salleolini

Fabio Sandrelli

dicembre 2004

Ufficio del Piano del Comune di Siena

Responsabili del procedimento: Fabrizio Valacchi, Rolando Valentini

Coordinatore: Andrea Filpa

Collaboratori: Gabriele Comacchio, Valeria Lingua, Paola Loglisci, Benedetta Mocenni, Raffello Pin

Responsabile Cartografia Informatizzata: Mauro Lusini; Consulente SIT: Luca Gentili

Sommario e conclusioni

Nel capitolo 1 della ricerca è stata operata una valutazione delle risorse idriche complessive del territorio dell'ATO 6 (l'ambito territoriale ottimale nel quale ricadono tutti i comuni dello SMaS, e che va considerato quindi come il riferimento obbligato per gli aspetti idrici), basata su calcoli di bilancio idrologico ed in particolare sulla stima della *eccedenza idrica* che, in condizioni naturali e su un lungo periodo, corrisponde al deflusso totale in uscita dal bacino idrografico.

Relativamente all'intero territorio dell'ATO6, l'*eccedenza idrica* risulta pari a circa 1777 mil. di mc/anno di risorsa rinnovabile e potenzialmente utilizzabile.

Questa può essere ripartita in:

- a) una risorsa totale superficiale, dovuta al ruscellamento diretto dell'acqua lungo la rete idrografica, pari a circa 1116 mil. mc/anno;
- b) una risorsa totale sotterranea potenziale interna, pari a circa 661 mil. mc/anno, che è la quantità d'acqua di infiltrazioni nel sottosuolo. Tale risorsa è a sua volta suddivisibile *in perdita apparente d'acqua sotterranea verso falde emergenti in territori o defluenti direttamente nel mare* (pari a 181 mil. mc/anno), e nella *infiltrazione totale interna alimentante falde emergenti dentro l'ATO6* (pari a 480 mil. mc/anno); quest'ultima rappresenta quindi, la risorsa sotterranea interna.

E' importante ribadire che tali risultati sono stati ottenuti considerando *nulla* l'intervento antropico sul ciclo dell'acqua, intervento che è invece capace di variare anche sensibilmente la ripartizione delle effettive risorse idriche superficiali e sotterranee dei bacini esaminati; l'ATO6 non deve assolutamente sottovalutare questo aspetto, pena il rischio di attuare inefficaci gestioni del territorio, e dovrà quindi mettere a questo punto un sistema di rilevamento di informazioni attendibili su usi e spostamenti di quantitativi d'acqua all'interno del proprio territorio (anche in collaborazione con gli ATO limitrofi e le Autorità di Bacino coinvolte). Bilancio analogo è stato redatto per i due principali acquiferi che alimentano oggi lo SMaS (cap. 2 e 3 della ricerca) ovvero l'acquifero dell'Amiata, e quello del Luco; le *eccedenze idriche* sono risultate rispettivamente pari a circa 53 mil. di mc/anno e 28 mil. di mc/anno; le relative risorse rinnovabili sono invece stimabili in circa 48 mil. di mc/anno per l'Amiata e 25 mil. di mc/anno per il Luco.

Nel successivo cap. 4 si è operata una stima della *variabilità spazio temporale dei principali parametri climatici*, che ha consentito di redigere una stima previsionale a 5 (anno 2009), 10 (anno 2014) e 14 (anno 2028) delle risorse idriche potenziali rinnovabili dell'insieme dei complessi idrogeologici presenti nell'ATO6, risultate pari rispettivamente a circa 1626, 1588 e 1558 mil. di mc/anno. Il trend appare quindi in decrescita.

Nel capitolo 5 si è proceduto in prima battuta ad una valutazione speditiva della domanda d'acqua espressa dall'ATO6, considerando sia la domanda a fini idropotabili e produttivi sia quella a fini irrigui. Si tratta di una stima estremamente complessa, che soffre di una carenza di dati non colmabile dagli studi condotti, ed i suoi esiti sono da considerarsi quindi *puramente indicativi della reale domanda d'acqua*.

Il fabbisogno calcolato oscilla tra un valore medio di 219 mil. di mc/anno ad un fabbisogno massimo di 339 milioni di mc/anno.

Applicando il metodo di calcolo al solo territorio ricompreso nello SMaS si sono ottenuti valori corrispondenti a circa 10 mil. di mc/anno per il fabbisogno idropotabile e a circa 15 mil di mc/anno per i fabbisogni irrigui.

Il capitolo 6 ha come oggetto il confronto tra la distribuzione spaziale della domanda d'acqua e quella delle risorse disponibili: tale confronto sarà redatto in una prossima fase della ricerca in quanto attualmente non sono disponibili dati sufficienti.

Il capitolo 7 è dedicato all'analisi qualitativa delle risorse idriche sotterranee degli acquiferi che oggi alimentano i comuni dello SMaS: sia l'acquifero dell'Amiata che quello del Luco sono risultati, ai sensi della classificazione prevista da D. Lgs 152/99, di qualità *buona*.

Le conclusioni, oggetto del capitolo finale della ricerca, evidenziano come gli studi redatti abbiano riscontrato, in materia di risorse idriche, una situazione complessivamente positiva, risultante dalla presenza di punti di forza così riassumibili:

- quantità delle risorse idriche disponibili, sia in ambito AATO6 che in ambito metropolitano, più che sufficienti a soddisfare tutte le tipologie di domanda d'acqua;
- stato di qualità, in generale, buono delle risorse idriche utilizzate o utilizzabili ai fini idropotabili, con conseguenti bassi costi per la loro potabilizzazione ai sensi della normativa vigente;
- distribuzione geografica abbastanza coerente ai fini della distribuzione all'utenza della risorsa idrica sotterranea per uso idropotabile;
- relativa facilità di estrazione o captazione della suddetta risorsa dagli acquiferi principali e strategici;

- attuale scarsa antropizzazione delle aree di alimentazione degli acquiferi (anche di quelli strategici) che limita, anche con l'attuale assenza di vigilanza e monitoraggio, il rischio di inquinamento dell'acqua in essi ospitata;
- concentrazione di una buona parte della risorsa idrica sotterranea in un limitato numero di acquiferi, situazione che dovrebbe facilitare la distribuzione ed il controllo quali-quantitativo della medesima.

A fronte di questi elementi positivi, sono stati individuati anche alcuni punti di debolezza, ed in particolare:

- scarsa (o nulla) conoscenza delle caratteristiche idrodinamiche degli acquiferi (anche di quelli strategici), con conseguente difficoltà di redigere progetti di razionale sfruttamento e di salvaguardia;
- assenza di scenari di utilizzo ottimale delle riserve e delle risorse idriche sotterranee per far fronte ai ricorrenti (annuali) deficit delle risorse nei periodi estivi (quasi raddoppio della popolazione) o anche a quelli legati a periodi siccitosi;
- assenza di scenari di protezione, salvaguardia e preallarme in relazione alla conservazione della buona qualità delle risorse idriche sotterranee ed al preavviso in caso di inquinamento anche causale della medesima;
- nessuna scenario di intervento in caso di emergenze idriche dovute a cause naturali o antropiche;
- scarsa densità abitativa e quindi necessità di reti acquedottistiche molto ramificate per raggiungere l'utenza e quindi maggiori costi di gestione e realizzazione della rete che attualmente è sovente inadeguata alla domanda;
- assenza di un controllo capillare del network acquedottistico atto al rilievo di abusi, usi impropri, usi gratuiti e localizzazione delle reali perdite di rete; complessivamente nell'AATO6 il rapporto tra acqua immessa ed acqua fatturata è ca. 2/1 (perdite totali = ca. 50%);
- mancanza di controllo sullo sfruttamento (autorizzato o abusivo), soprattutto tramite pozzi, da parte degli utenti competenti;
- carenza di coordinamento tra le varie entità istituzionali preposte per legge alla gestione ed alla protezione delle risorse idriche (Autorità di Bacino, AATO, Province, ARPAT, Regione), anche in relazione alle modalità di rilascio delle concessioni d'uso di acqua superficiale e sotterranea (attingimenti, derivazioni, pozzi, sorgenti, etc.).

In questo contesto appare di particolare importanza migliorare le conoscenze idrogeologiche ed idrodinamiche (almeno per i principali acquiferi) al fine di prevenire le criticità e di poter operare in caso di vere emergenze, anche non prevedibili.

Si tratta di una attività complessa, che deve essere svolta da un network di soggetti (Comuni, Provincia, AATO, AdB, Regione), nell'ambito di un progetto coordinato di cui lo SMaS può (ed in una certa misura deve) farsi promotore.

INDICE

PREMESSA	3
1. VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE RINNOVABILI	5
1.1 Afflussi	5
1.2 Temperature	8
1.3 Evapotraspirazione reale	9
1.4 Eccedenza idrica	10
1.5 Deflussi	10
1.5.1 Deflussi strumentali (Ds) e regime idrologico dei principali corsi d'acqua	10
1.5.2 Deflussi fisiografici (Df)	11
1.5.2.1 Acclività	11
1.5.2.2 Copertura vegetale	12
1.5.2.3 Permeabilità	12
1.5.2.4 Confronto tra Cd fisiografico e Cd strumentale	13
1.6 Risorse idriche superficiali e sotterranee	13
1.6.1 Bacini idrografici	13
1.6.2 Complessi idrogeologici	21
2. L'ACQUIFERO DEL M. AMIATA	22
2.1 Risorse Idriche del M. Amiata (A.I. 1967 / 1996)	23
2.2 Temperature	24
2.3 Evapotraspirazione reale	26
2.4 Eccedenza idrica	27
2.5 Risultati dei calcoli di bilancio	28
2.6 Metodologia di analisi per il calcolo del trend	29
3. L'ACQUIFERO DEL LUCO	31
3.1 Introduzione	31
3.2 Inquadramento Geologico e Idrogeologico	31
3.3 Caratteristiche Idrodinamiche dell'acquifero	32
3.4 Potenzialità idrica dell'acquifero	33
3.4.1 Risorse rinnovabili	33
3.4.2 Riserve permanenti	36
4. STIMA DELLA VARIABILITA' SPAZIO – TEMPORALE DEI PRINCIPALI PARAMETRI CLIMATICI	38
4.1 Variabilità climatica	38
4.2 Riflessi sulle risorse idriche rinnovabili	40
5. VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA DOMANDA D'ACQUA	42
5.1 Domanda d'acqua ai fini idropotabili e produttivi	42
5.2 Domanda d'acqua ai fini irrigui	44
5.3 Domanda d'acqua complessiva	49
5.4 Distribuzione spaziale della domanda	49
5.4.1 Uso agricolo (attingimenti e derivazioni dai corsi d'acqua, laghetti collinari)	49
5.4.2 Uso idropotabile e terziario (acquiferi, pozzi e sorgenti)	49
6. CONFRONTO TRA LA DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLA PRESSIONE DELLA DOMANDA D'ACQUA E LE RELATIVE RISORSE DISPONIBILI	49
6.1 Criticità delle risorse superficiali e delle risorse sotterranee (acquiferi e corsi d'acqua DMV)	49
7. ANALISI QUALITATIVA DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERANEE	50
7.1 Stato di inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei	50
7.2 L'acquifero del Monte Amiata	51
7.3 L'Acquifero del Luco	52
8. CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI (da relazione AATO 6, 1999)	53
BIBLIOGRAFIA	55

PREMESSA

La gestione delle risorse idriche, soprattutto a fini idropotabili, non è più demandato ai singoli Comuni o a consorzi tra essi, dato che la legislazione nazionale e regionale (L. 183/89, L. 36/94, L. 152/99 e L.R. 81/95) ha individuato Autorità ed Enti locali che, a vario titolo, perseguono lo stesso obiettivo di gestione delle risorse idriche.

Questo non significa che le amministrazioni Comunali non abbiano più voce in capitolo in relazione all'argomento; significa che l'azione non può essere più diretta ma mediata in ambito Provinciale, di AATO e di Bacino Idrografico.

Significa anche che l'azione, in tal senso, dovrà essere politico-tecnica volta cioè a verificare che tali Autorità agiscano attraverso i loro piani nell'interesse collettivo e quindi anche in quello dei propri amministrati.

Davanti ad un problema così strategico come è quello dell'acqua i Comuni non devono solo lasciar fare, ma essere i primi e più severi controllori delle scelte e delle strategie previste da tali piani che essi stessi, direttamente o tramite loro consulenti, devono necessariamente contribuire a definire così come è nello spirito della L.R. 5.

Il valore fondamentale dell'acqua per la vita e lo sviluppo umano e la limitata disponibilità di questo bene hanno indotto ad affrontare ovunque, su valide basi scientifiche, il problema della valutazione delle risorse idriche locali e generali, insieme a quello di una loro corretta gestione, partendo da una accurata indagine di bilancio, che costituisce notoriamente il fondamento di ogni ricerca di carattere idrogeologico; la dimensione geografica entro cui tale analisi deve essere svolta è principalmente il bacino idrografico, del quale dovranno pure verificarsi concordanze o discordanze con quello idrogeologico. Le risorse così valutate hanno valore medio statistico e possono quindi essere efficacemente utilizzate a livello previsionale, in particolare mediante l'analisi del trend al fine di rendere estrapolabile a breve-medio termine l'attendibilità di tali stime.

Questo studio trova quindi collocazione nell'ambito delle ricerche finalizzate alla protezione ed alla difesa dell'ambiente, oltre alla disciplinata gestione delle sue risorse idriche. L'area oggetto di indagine è il territorio di competenza dell'Autorità di Ambito Territoriale Ottimale n. 6 "Ombrone" (nel seguito indicata semplicemente come A.T.O. 6), istituita ai sensi della L.R. n. 81 del 21 luglio 1995. Tale territorio si estende per oltre 7.000 km² nelle province di Grosseto e Siena e comprende i comuni di Abbadia S. Salvatore, Arcidosso, Asciano, Buonconvento, Campagnatico, Capalbio, Casteldelpiano, Castell'Azzara, Castelnuovo Berardenga, Castellina in Chianti, Castiglione della Pescaia, Castiglione d'Orcia, Cetona, Chiusdino, Cinigiano, Civitella Paganico, Casole d'Elsa, Colle di Val D'Elsa, Follonica, Gaiole in Chianti, Gavorrano, Grosseto, Isola del Giglio, Magliano in Toscana, Manciano, Massa Marittima, Montalcino, Monte Argentario, Monteriggioni, Monteroni d'Arbia, Monterotondo Marittimo, Monticiano, Montieri, Murlo, Orbetello, Piancastagnaio, Pienza, Pitigliano, Radda in Chianti, Radicofani, Rapolano Terme, Roccalbegna, Roccastrada, S. Casciano dei Bagni, S. Giovanni d'Asso, S. Quirico d'Orcia, S. Fiora, Sarteano, Scansano, Scarlino, Seggiano, Semproniano, Siena, Sorano, Sovicille, Trequanda (fig.1); dal punto di vista idrografico, esso è occupato in prevalenza dal Bacino del F. Ombrone (e dai suoi principali sottobacini Arbia, Merse, Orcia) e poi dai bacini dei fiumi Albegna, Bruna e Pecora.

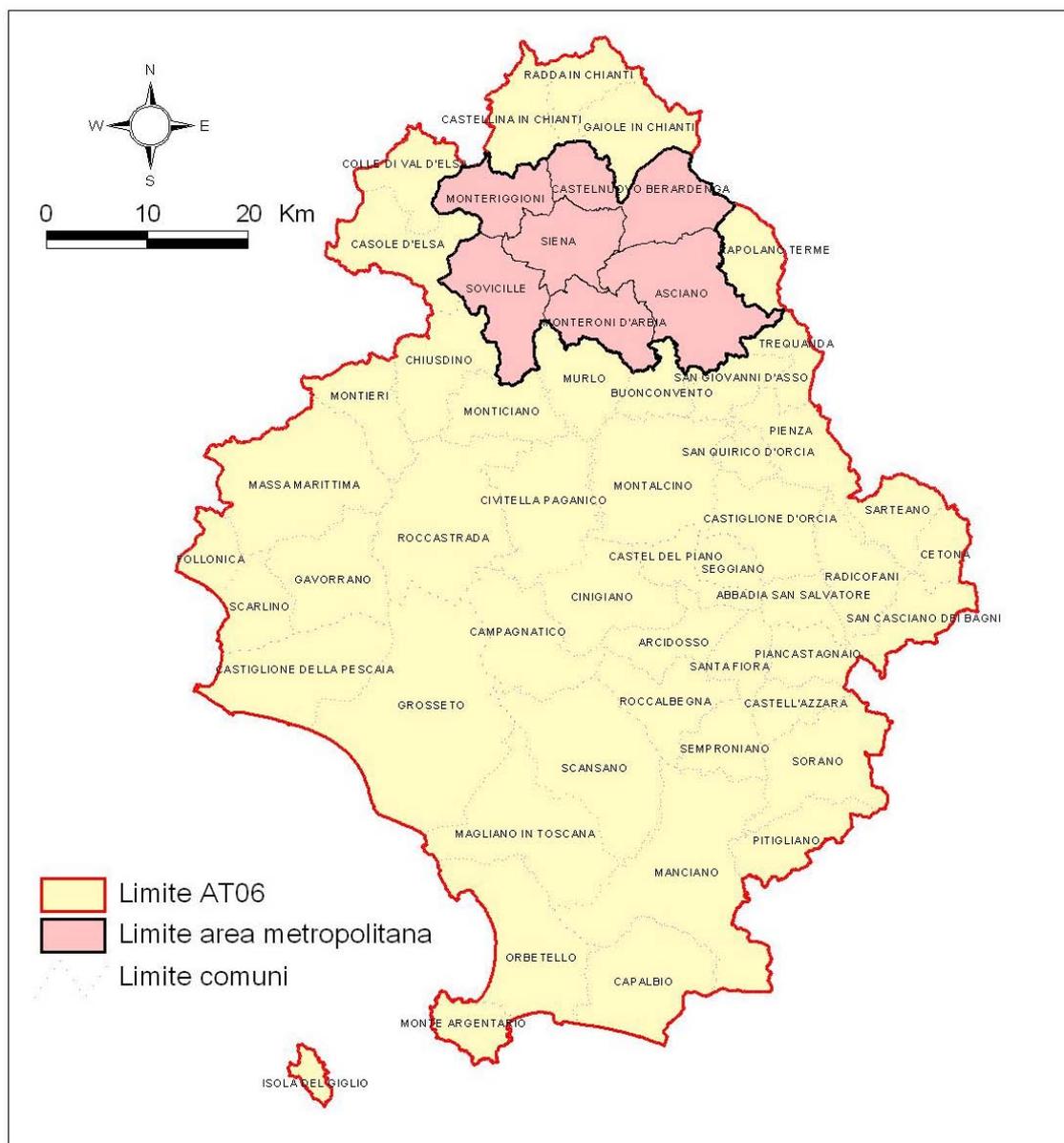


Fig.1 – Limite dell'Ambito Territoriale Ottimale 6 (ATO 6)

1 – VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE RINNOVABILI

La valutazione delle risorse idriche complessive del territorio dell'A.T.O. 6 e la loro ripartizione in superficiali e sotterranee è stata effettuata con i criteri proposti in Barazzuoli & Salleolini (1992) e Barazzuoli et alii (1994, 1995), questi poggiano su calcoli di bilancio idrologico (aventi come riferimento spaziale sia i bacini idrografici che i complessi idrogeologici) ed, in particolare, sulla stima dell'eccedenza idrica W_s (detta anche precipitazione efficace P_e o risorsa totale potenziale) che, in condizioni naturali e su un lungo periodo, corrisponde notoriamente al deflusso totale in uscita dal bacino idrografico.

Per quest'ultimo, le grandezze indagate possono essere sinteticamente espresse con:

$$P = E_r + D + I_e \quad (1)$$

dove: P = afflussi; E_r = evapotraspirazione reale; D = deflussi alla stazione idrometrografica che sottende il bacino; I_e = infiltrazione efficace. I valori dei vari termini vengono generalmente ragguagliati all'intera superficie del bacino ed espressi in mm/anno.

Nel caso di complesso idrogeologico, invece, le masse idriche in entrata sono rappresentate dall'infiltrazione efficace (I_e), frazione delle precipitazioni efficaci P_e ($P_e = P - E_r$), mentre le uscite sono costituite dal deflusso sotterraneo (D_{sott}):

$$I_e = D_{sott} \quad (2)$$

Le equazioni (1) e (2) sono valide per bacini ben isolati, in cui gli apporti pluviometrici sono l'unico contributo idrico; le espressioni da utilizzare diventano più complesse quando sono presenti travasi d'acqua naturali e/o artificiali, da o verso bacini limitrofi, alimentazioni e/o prelievi artificiali (irrigazioni, emungimenti, ecc.).

Le misure devono riferirsi ad un intervallo di tempo comune a tutti i parametri in gioco, detto Anno Idrologico medio (A.I.), e della maggiore durata possibile (minimo = 10 anni; optimum = 30 anni); in questo studio si è ritenuto idoneo l'utilizzo dell'anno medio relativo al trentennio 1967 – 1996 (un così ampio arco temporale si rende necessario al fine di ottenere valutazioni corrette in un territorio nel quale è possibile riconoscere una certa periodicità climatica con cicli all'incirca ventennali) in relazione all'effettivo periodo di disponibilità dei dati di base relativi alle stazioni di misura.

Il bilancio idrologico è, pertanto, un vero e proprio pareggio contabile tra le entrate, uguali alla portata media degli apporti, e le uscite, rappresentate dalla portata media dei deflussi; è anche un mezzo di controllo della coerenza dei dati, valutati in maniera indipendente, relativi all'alimentazione ed ai deflussi dei sistemi idrologici. Il suddetto calcolo è, ovviamente, tanto più preciso quanto più numerose sono le stazioni di misura dei dati di base e quanto più lungo è il periodo di riferimento.

1.1 – Afflussi

COD-UNI	STAZIONI PLUVIOMETRICHE	QUOTA	GAUSS-BOAGA		BACINO	PERIODO	N°	s	%
1	ROCCALBEGNA	525	1705373	4740211	ALBEGNA	1967-1996	30	0	0,0
2	PETRICCI	750	1709429	4736801	ALBEGNA	1967-1996	30	8	26,7
4	USI	370	1701638	4732926	ALBEGNA	1967-1996	30	24	80,0
5	CAPANNE	438	1708354	4728861	ALBEGNA	1967-1996	30	7	23,3
7	S. DONATO	19	1682618	4711050	ALBEGNA	1935-1996	62	10	16,1
8	MARSILIANA	120	1692858	4712720	ALBEGNA	1967-1996	30	3	10,0
11	MANCIANO	443	1708889	4717656	ALBEGNA	1935-1996	62	12	19,4
12	POMONTE	193	1698823	4724046	ALBEGNA	1967-1996	30	0	0,0
13	SCANSANO	500	1691348	4728896	ALBEGNA	1967-1996	30	2	6,7
15	TALAMONE	1	1677188	4714511	OMBRONE/OSA	1967-1996	30	1	3,3
16	COLLECCHIO	11	1675818	4720886	OMBRONE/OSA	1967-1996	30	10	33,3
17	POGGIO PEROTTO	82	1685013	4720361	OSA	1967-1996	30	1	3,3
19	ORBETELLO	1	1681592	4700680	ALBEGNA/FIORA	1935-1996	62	5	8,1
20	CAPALBIO	109	1699043	4703015	ALBEGNA/FIORA	1967-1996	30	14	46,7
22	PESCIA ROMANA	21	1705388	4696535	ALBEGNA/FIORA	1967-1996	30	25	83,3
24	ALBERESE (Pod. 129)	20	1675558	4726586	OMBRONE/OSA	1935-1996	62	2	3,2
26	SIMIGNANO	391	1675888	4795537	ARNO	1967-1996	30	3	10,0
27	CASOLE D'ELSA	418	1665623	4800787	ARNO	1967-1996	30	3	10,0
28	COLLE VAL D'ELSA	135	1672138	4809817	ARNO	1967-1996	30	1	3,3
29	POGGIBONSI	241	1674298	4814717	ARNO	1935-1996	62	5	8,1
31	CHIANCIANO TERME	549	1729816	4768993	ARNO	1967-1996	30	0	0,0
32	MONTEPULCIANO	605	1726469	4774767	ARNO	1935-1996	62	0	0,0
33	BETTOLLE	315	1728074	4787377	ARNO	1967-1996	30	5	16,7
34	MONTE S. SAVINO	330	1721069	4801197	ARNO	1967-1996	30	2	6,7
35	FOIANO DELLA CHIANA	315	1728324	4792997	ARNO	1967-1996	30	0	0,0

36	BADIA AGNANO	230	1714314	4812697	ARNO	1967-1996	30	3	10,0
37	NUSENNA IN CHIANTI	612	1704833	4813977	ARNO	1967-1996	30	3	10,0
38	MONTEVARCHI	163	1707599	4821890	ARNO	1935-1996	62	4	6,5
39	PIAZZA IN CHIANTI	360	1684588	4822242	ARNO	1967-1996	30	6	20,0
49	GREVE IN CHIANTI	240	1686908	4828442	ARNO	1967-1996	30	3	10,0
81	ROCCATEDERIGHI	537	1669398	4765756	BRUNA	1967-1996	30	23	76,7
82	CASTEL DI PIETRA	56	1662898	4757986	BRUNA	1935-1996	62	0	0,0
83	ROCCASTRADA	470	1676748	4764191	BRUNA	1967-1996	30	0	0,0
84	GROSSETO	8	1672938	4735871	BRUNA/OMBRONE	1935-1996	62	1	1,6
86	CALDANA	179	1657423	4751046	BRUNA	1967-1996	30	0	0,0
87	LUPO (Giuncarico)	14	1663758	4751161	BRUNA	1967-1996	30	0	0,0
88	TIRLI	440	1655008	4745346	BRUNA	1967-1996	30	0	0,0
89	BATIGNANO	173	1676988	4748556	BRUNA/OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
90	FATTORIA ACQUISTI	11	1668313	4746056	BRUNA	1967-1996	30	0	0,0
91	S. LEOPOLDO	4	1661913	4734946	BRUNA/OMBRONE	1967-1996	30	5	16,7
92	RADICONDOLI	510	1665773	4791817	CECINA	1967-1996	30	13	43,3
94	ANQUA	495	1659328	4786397	CECINA	1967-1996	30	0	0,0
95	CASTELNUOVO VAL DI CECINA	535	1654758	4786327	CECINA	1967-1996	30	0	0,0
96	LARDERELLO	400	1652888	4788777	CECINA	1935-1996	62	1	1,6
114	GERFALCO	732	1660878	4779037	CECINA	1967-1996	30	11	36,7
115	MONTEROTONDO MARITTIMO	515	1650841	4779047	CORNIA	1967-1996	30	0	0,0
119	SUVERETO	112	1636912	4770761	CORNIA	1935-1996	62	1	1,6
133	MOLINO DEL BALZONE	80	1640242	4774816	CORNIA	1967-1996	30	9	30,0
134	S. COSTANZA	470	1656508	4774281	CORNIA	1967-1996	30	11	36,7
151	GIGLIO (Franco)	160	1656568	4692195	ISOLE	1967-1996	30	1	3,3
152	MONASTERO D'OMBRONE	291	1706798	4802617	OMBRONE	1967-1996	30	22	73,3
153	RAPOLANO TERME	334	1711149	4796017	OMBRONE	1967-1996	30	20	66,7
155	MONTE OLIVETO	401	1706723	4783402	OMBRONE	1935-1996	62	0	0,0
156	PERCENNA	208	1702718	4779297	OMBRONE	1967-1996	30	23	76,7
157	S. MARIA DI RADDA	481	1692428	4817317	OMBRONE	1967-1996	30	1	3,3
158	CASTELLINA IN CHIANTI	570	1684368	4816757	OMBRONE	1967-1996	30	26	86,7
159	MADONNA A BROLIO (poi S. FELICE)	445	1698828	4809817	OMBRONE	1967-1996	30	18	60,0
160	CORSIGNANO	410	1690048	4807157	OMBRONE	1967-1996	30	30	100,0
161	SIENA	348	1687578	4799002	OMBRONE	1935-1996	62	0	0,0
162	TAVERNE D'ARBIA	230	1695963	4796242	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
163	MONTERONI D'ARBIA	160	1696093	4790197	OMBRONE	1967-1996	30	7	23,3
165	MURLO	314	1694188	4781487	OMBRONE	1967-1996	30	28	93,3
166	MONTALCINO	564	1703263	4769681	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
167	BOCCHEGGIANO	664	1665648	4772836	OMBRONE	1967-1996	30	3	10,0
168	CHIUSDINO	564	1668708	4780172	OMBRONE	1967-1996	30	5	16,7
171	COTORNIANO (Fattoria)	530	1673708	4790337	OMBRONE	1935-1996	62	11	17,7
172	SOVICILLE	260	1680838	4794317	OMBRONE	1967-1996	30	3	10,0
173	ROSIA	205	1680348	4790647	OMBRONE	1967-1996	30	8	26,7
176	S. LORENZO A MERSE (poi TOCCHI)	221	1684073	4778142	OMBRONE	1967-1996	30	17	56,7
177	TORNIELLA	442	1675353	4771261	OMBRONE	1967-1996	30	7	23,3
178	PARI	363	1688978	4770496	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
179	MONTE ANTICO	76	1692358	4761441	OMBRONE	1967-1996	30	2	6,7
180	SPINETA	609	1732109	4758926	OMBRONE	1967-1996	30	3	10,0
181	PIETRE BIANCHE (poi CAMPO ALLE CAPANNE)	640	1728329	4753736	OMBRONE	1967-1996	30	16	53,3
182	S. PIERO IN CAMPO (poi CAMPIGLIA D'ORCIA)	370	1717394	4758546	OMBRONE	1967-1996	30	10	33,3
184	LA FOCE	555	1726534	4766331	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
185	PODERE PIANOTTA	494	1720289	4759346	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
186	S. ISABELLA	310	1719769	4761666	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
188	SPEDALETTO	270	1717034	4767416	OMBRONE	1967-1996	30	6	20,0
189	PIENZA	499	1718053	4772745	OMBRONE	1935-1996	62	3	4,8
190	MONTISI	413	1715599	4781667	OMBRONE	1967-1996	30	30	100,0
193	MONTE AMIATA SCALO	196	1707600	4761300	OMBRONE	1967-1996	30	1	3,3
194	CASTEL DEL PIANO	639	1706868	4751876	OMBRONE	1935-1996	62	0	0,0
195	VIVO D'ORCIA	800	1715579	4756816	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
196	CASELLO DEL GUARDIANO	1380	1712699	4751966	OMBRONE	1967-1996	30	23	76,7
199	PAGANICO	71	1686468	4756686	OMBRONE	1967-1996	30	5	16,7

200	CAMPAGNATICO	160	1685848	4750336	OMBRONE	1967-1996	30	5	16,7
201	GRANAIONE	84	1690023	4743941	OMBRONE	1967-1996	30	8	26,7
202	CANA	502	1698333	4741021	OMBRONE	1967-1996	30	16	53,3
215	PONTE TURA (poi POGGIO CAVALLO)	15	1678188	4737376	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
216	MASSA MARITTIMA	370	1653798	4768316	PECORA	1935-1996	62	0	0,0
217	MONTEBAMBOLI	338	1647393	4771026	PECORA	1967-1996	30	0	0,0
218	MONTIONI	167	1643512	4763816	PECORA	1967-1996	30	3	10,0
219	FOLLONICA	5	1643722	4753586	CORNIA/PECORA	1935-1996	62	5	8,1
220	TESORINO	38	1646768	4759676	PECORA	1967-1996	30	2	6,7
221	SCARLINO	229	1651098	4752356	PECORA/BRUNA	1967-1996	30	2	6,7
223	VIGNALE	3	1636067	4758576	CORNIA/PECORA	1967-1996	30	13	43,3
308	ABBADIA S. SALVATORE	829	1718449	4751316	TEVERE	1967-1996	30	19	63,3
309	S. CASCIAO DEI BAGNI	582	1734949	4750616	TEVERE	1967-1996	30	13	43,3
310	CETONA	384	1736649	4761116	TEVERE	1967-1996	30	12	40,0
311	SELVENA	640	1716249	4738116	FIORA	1967-1996	30	13	43,3
312	PITIGLIANO	313	1718949	4723816	FIORA	1935-1996	62	12	19,4
313	PONTE S. PIETRO	180	1713549	4711615	FIORA	1967-1996	30	1	3,3
314	PRATOLUNGO	374	1726449	4731116	TEVERE	1967-1996	30	15	50,0
315	PIANCASTAGNAIO	772	1719949	4747316	TEVERE	1967-1996	30	14	46,7
316	S. FIORA	687	1711449	4745316	FIORA	1935-1996	62	10	16,1

Tab. 1 - Stazioni pluviometriche considerate per la stima delle risorse idriche rinnovabili: COD-UNI = numero di codice assegnato alla stazione; STAZIONE PLUVIOMETRICA = denominazione della stazione negli Annali del Servizio Idrografico, Parte I; QUOTA = elevazione, in metri, rispetto al livello medio del mare; GAUSS-BOAGA = coordinate planimetriche relative alla proiezione cilindrica inversa di Gauss-Boaga; BACINO = bacino idrografico di appartenenza; PERIODO = arco temporale osservato; N° = numero di anni osservati; s = numero di anni ricostruiti; % = rapporto percentuale tra s ed N°.

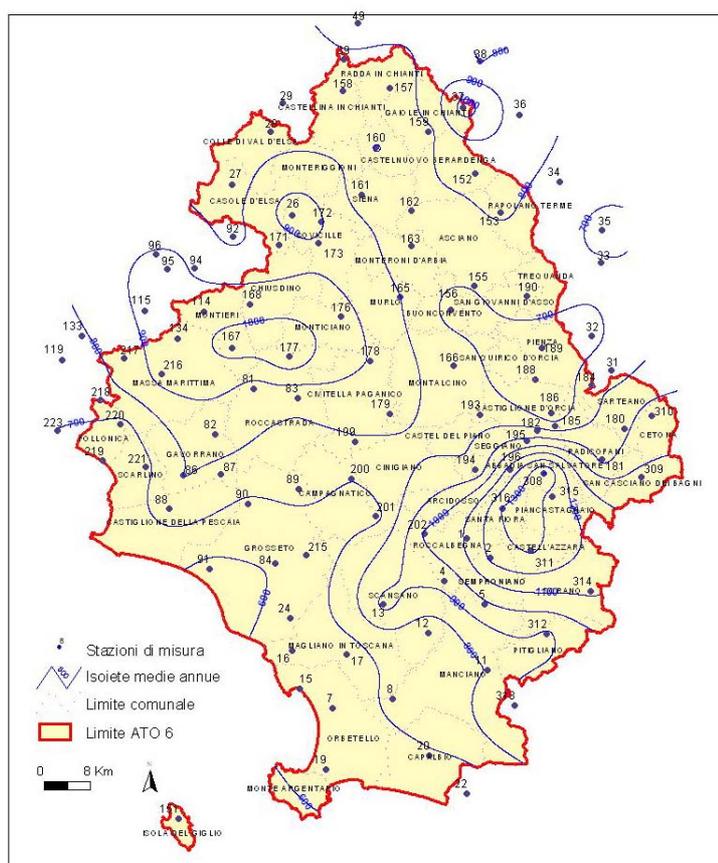


Fig.2 – Carta delle isoiete medie annue. Il valore medio per l'intero territorio dell'ATO 6 è stimabile in 819 mm. (pari a circa $5,7 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ /anno).

1.2 –Temperature

COD-UNI	STAZIONE TERMOMETRICA	QUOTA	GAUSS-BOAGA	BACINO	PERIODO	N°	s	%
7	S. DONATO	19	1682618 4711050	ALBEGNA	1935-1996	62	15	24,2
11	MANCIANO	443	1708889 4717656	ALBEGNA	1935-1996	62	11	17,7
19	ORBETELLO	1	1681592 4700680	ALBEGNA/FIORA	1935-1996	62	5	8,1
24	ALBERESE (Pod. 129)	17	1675558 4726586	OMBRONE/OSA	1935-1996	62	3	4,8
29	POGGIBONSI	241	1674298 4814717	ARNO	1935-1996	62	9	14,5
32	MONTEPULCIANO	605	1726469 4774767	ARNO	1935-1996	62	2	3,2
38	MONTEVARCHI	160	1707599 4821890	ARNO	1935-1996	62	28	45,2
82	CASTEL DI PIETRA	56	1662898 4757986	BRUNA	1935-1996	62	17	27,4
84	GROSSETO	8	1672938 4735871	BRUNA/OMBRONE	1935-1996	62	2	3,2
96	LARDERELLO	400	1652888 4788777	CECINA	1935-1996	62	2	3,2
119	SUVERETO	112	1636912 4770761	CORNIA	1935-1996	62	6	9,7
126	BIBBONA	160	1629447 4791436	CORNIA	1967-1989	30	9	30,0
155	MONTE OLIVETO	401	1706723 4783402	OMBRONE	1935-1996	62	0	0,0
161	SIENA	348	1687578 4799002	OMBRONE	1935-1996	62	2	3,2
171	COTORNIANO (Fattoria)	530	1673708 4790337	OMBRONE	1935-1996	62	4	6,5
185	PODERE PIANOTTA	494	1720289 4759346	OMBRONE	1967-1996	30	23	76,7
189	PIENZA	499	1718053 4772745	OMBRONE	1935-1996	62	5	8,1
194	CASTEL DEL PIANO	639	1706868 4751876	OMBRONE	1935-1996	62	0	0,0
216	MASSA MARITTIMA	370	1653798 4768316	PECORA	1935-1996	62	2	3,2
219	FOLLONICA	5	1643722 4753586	CORNIA/PECORA	1935-1996	62	39	62,9
308	ABBADIA S. SALVATORE	829	1718449 4751316	TEVERE	1967-1996	30	16	53,3
309	S. CASCIANO DEI BAGNI	582	1734949 4750616	TEVERE	1967-1996	30	18	60,0
312	PITIGLIANO	313	1718949 4723816	FIORA	1935-1996	62	35	56,5
315	PIANCASTAGNAIO	772	1719949 4747316	TEVERE	1967-1996	30	16	53,3
316	S. FIORA	687	1711449 4745316	FIORA	1935-1996	62	29	46,8

Tab.2 - Stazioni termometriche considerate per la stima delle risorse idriche rinnovabili: COD-UNI = numero di codice assegnato alla stazione; STAZIONE TERMOMETRICA = denominazione della stazione negli Annali del Servizio Idrografico, Parte I; QUOTA = elevazione, in metri, rispetto al livello medio del mare; GAUSS-BOAGA = coordinate planimetriche relative alla proiezione cilindrica inversa di Gauss-Boaga; BACINO = bacino idrografico di appartenenza; PERIODO = arco temporale osservato; N° = numero di anni osservati; s = numero di anni ricostruiti; % = rapporto percentuale tra s ed N°.

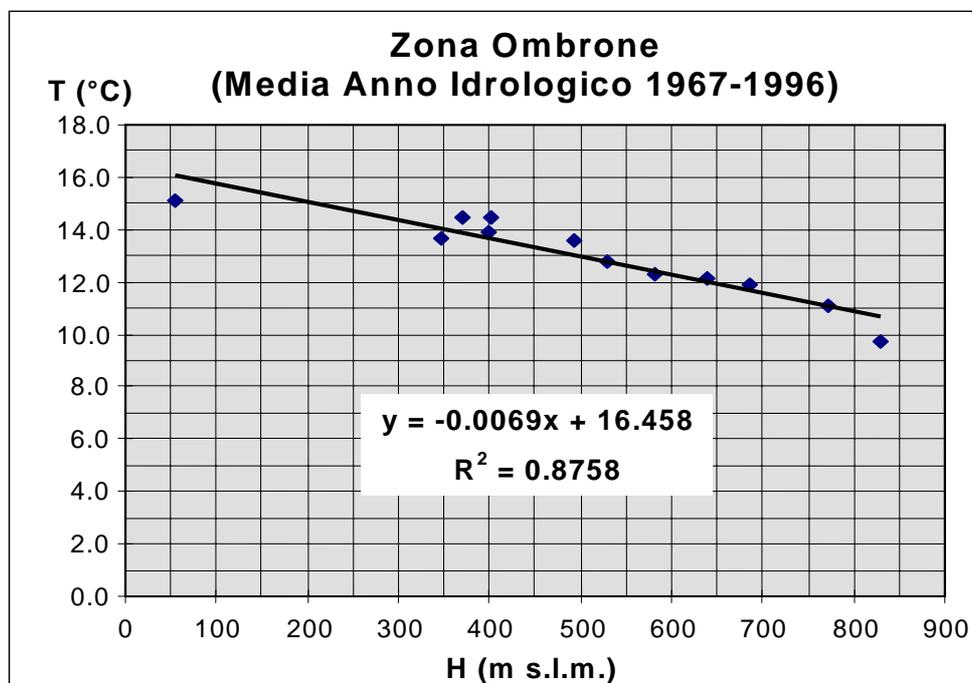


Fig. 3 – Esempio di retta di regressione relativa ai rapporti tra temperatura media mensile e quota sul livello medio del mare, in un'area termometricamente omogenea della zona considerata (A.I. 1967 – 1996).

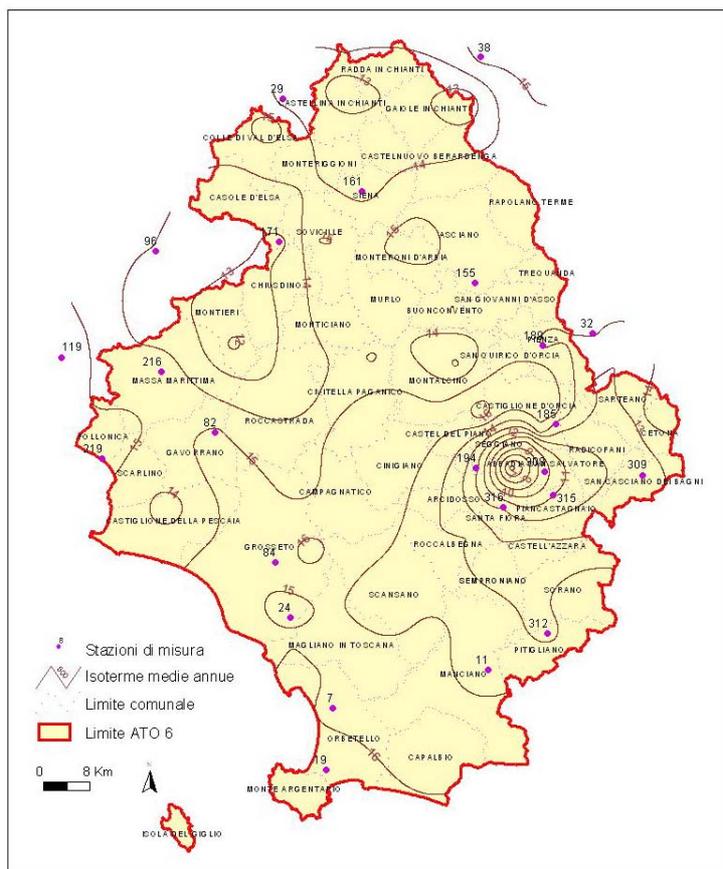


Fig.4 – *Carta delle isoterme medie annue*. La temperatura media stimabile per l'intero territorio dell'ATO 6 è stimabile in 14,3 °C.

1.3- Evapotraspirazione reale

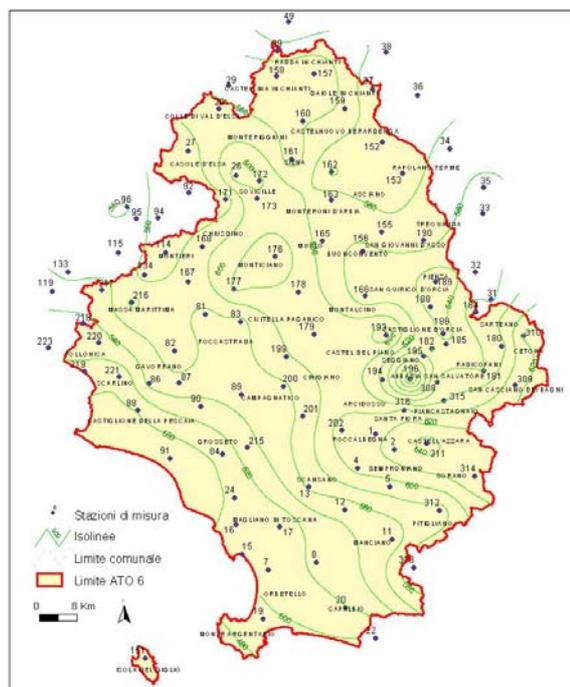


Fig.5 – *Carta dell'evapotraspirazione media annua*. Il valore medio per l'intero A.T.O. 6 è stimabile in 565 mm (69 % delle precipitazioni), pari a circa $3,9 \cdot 10^9$ m³/anno.

1.4 - Eccedenza idrica



Fig.6 – *Carta dell'eccedenza idrica media annua*. Il valore medio per l'intero territorio dell'A.T.O. 6 è stimabile in 254 mm (31 % delle precipitazioni), pari a circa $1,8 \cdot 10^9$ m³/anno

1.5 – Deflussi

La valutazione di questo termine del bilancio, relativamente ai principali bacini e sottobacini presenti nella zona studiata, è stata eseguita in due modi completamente diversi:

utilizzando i dati idrometrici (vedi par. 1.5.1) registrati presso 8 sezioni fluviali (tab.3) del Servizio Idrografico di Stato, si ottengono agevolmente le relative portate medie mensili ed annue (ed i deflussi) con l'inconveniente però di pervenire a risultati corrispondenti ad anni idrologici diversi da bacino a bacino e, quindi, non convenientemente confrontabili né tra loro né con gli altri parametri del bilancio (riferiti quest'ultimi all'anno medio 1967-1996). Operando in tal modo si può comunque pervenire alla definizione del regime idrologico dei corsi d'acqua e, in particolare, alla stima della portata minima attesa nell'anno medio (intesa come la portata che viene superata per 355 giorni l'anno) come si vede in tab.4; adottando una metodologia empirica (vedi par. 1.5.2) che offre la possibilità di risalire ad essi per mezzo della stima del coefficiente di deflusso C_d ($C_d = D/P$), effettuata in funzione di alcune caratteristiche fisiografiche e climatiche puntuali dei bacini esaminati (acclività, copertura vegetale e permeabilità), e che permette così di sopperire alle suddette disomogeneità (tabb. 5, 6, 7).

1.5.1 – *Deflussi strumentali (D_s) e regime idrologico dei principali corsi d'acqua*

COD-UNI	STAZIONE IDROMETROGRAFICA	QUOTA	GAUSS-BOAGA	BACINO	PERIODO	N°	
A	OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	55	1689452	4756226	2657	1926-42 + 1949-96 ⁽¹⁾	65
B	OMBRONE A BUONCONVENTO	132	1701306	4779142	760	1926-40 + 1942	16
C	MERSE A ORNATE	140	1686844	4777328	483	1931-40 + 1949-59 + 1963-67 + 1970-73	30
D	MERSE A CASA MALLECCHI	226	1680282	4780744	265	1961-65 + 1968-78 + 1982	17

E	FARMA A PONTE DI TORNIELLA	325	1674256	4772390	70	1961-91 ^(*)	31
F	ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	160	1707617	4761276	580	1926-40 + 1953-76 + 1979-82	43
G	BRUNA A LEPRI	16	1666353	4752095	229	1953-72 + 1974-78	25
H	ALBEGNA A MONTEMERANO	91	1701447	4723525	192	1951-63	13

Tab.3 - Stazioni idrometrografiche considerate per la definizione del regime idrologico dei principali corsi d'acqua: COD-UNI = sigla assegnata alla stazione; STAZIONE IDROMETROGRAFICA = denominazione della stazione negli Annali del Servizio Idrografico, Parte II; QUOTA = elevazione dello zero idrometrico, in metri, rispetto al livello medio del mare; GAUSS-BOAGA = coordinate planimetriche relative alla proiezione cilindrica inversa di Gauss-Boaga; BACINO = superficie sottesa, in km², secondo gli Annali del Servizio Idrografico; PERIODO = arco temporale dotato di rilevazioni; N° = numero di anni dotato di rilevazioni. (*) I dati idrometrici successivi al 1985 (ultimo anno pubblicato) sono stati forniti dall'Ufficio Idrografico e Mareografico di Pisa e si riferiscono solo ai deflussi.

STAZIONE IDROMETROGRAFICA	Q _{med} (m ³ /s)	t _{Qmed} (giorni)	Q ₁₈₂ (m ³ /s)	Q ₁₈₂ /Q _{med} (%)	Q ₃₅₅ (m ³ /s)	Q ₃₅₅ /Q _{med} (%)
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	25,68	79	9,23	35,9	1,84	7,2
OMBRONE A BUONCONVENTO	7,60	63	1,99	26,2	0,41	5,4
MERSE A ORNATE	6,30	76	2,99	47,5	1,28	20,3
MERSE A CASA MALLECCHI	3,82	87	1,68	44,0	0,46	12,0
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	1,03	70	0,28	27,2	0,01	1,0
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	4,21	64	0,89	21,1	0,02	0,5
BRUNA A LEPRI	2,30	74	1,20	52,2	0,44	19,1
ALBEGNA A MONTEMERANO	3,25	61	0,82	25,2	0,32	9,8

Tab.4 - Confronto tra valori caratteristici della durata delle portate, relativi ad anni idrologici vari: Q_{med} = portata media annua; t_{Qmed} = numero di giorni di superamento della Q_{med}; Q₁₈₂ = portata caratteristica media; Q₃₅₅ = portata minima attesa nell'anno medio.

1.5.2 – Deflussi fisiografici (D_i)

BACINO E SOTTOBACINO IDROGRAFICO	> 35%		10% - 35%		3,5% - 10%		< 3,5%		C _A (-)
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	2,7	0,5	268,0	49,6	199,0	36,9	70,3	13,0	0,074
OMBRONE A BUONCONVENTO	3,3	0,4	400,6	52,3	266,9	34,9	94,8	12,4	0,079
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	0,2	0,3	46,7	69,3	17,6	26,2	2,8	4,2	0,121
MERSE A CASA MALLECCHI	5,6	2,1	132,9	50,1	94,3	35,6	32,4	12,2	0,092
MERSE A ORNATE	7,5	1,5	252,7	50,2	161,1	32,0	81,9	16,3	0,092
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	10,3	1,5	369,2	55,1	199,6	29,8	91,4	13,6	0,099
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	4,9	0,8	357,6	61,4	172,4	29,6	47,6	8,2	0,086
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	10,2	1,2	563,1	63,5	245,1	27,6	68,6	7,7	0,095
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	24,4	0,9	1533,6	57,1	828,6	30,9	299,4	11,1	0,090
OMBRONE ALLA FOCE	30,9	0,9	1981,3	54,9	1111,2	30,8	484,8	13,4	0,084
BRUNA A LEPRI	0,7	0,3	112,6	48,4	61,0	26,3	58,2	25,0	0,075
BRUNA ALLA FOCE	5,2	0,9	239,4	42,6	147,3	26,2	169,7	30,3	0,062
ALBEGNA A MONTEMERANO	2,0	0,9	141,7	63,3	61,7	27,6	18,3	8,2	0,107
ALBEGNA ALLA FOCE	2,6	0,3	338,0	45,1	251,3	33,6	156,8	21,0	0,067
PECORA E MINORI TOTALE	2,1	0,9	89,0	38,8	66,0	28,8	72,0	31,5	0,054

Tab.5 - Ripartizione delle varie classi di acclività nei principali bacini e sottobacini considerati e relativi valori del C_A.

1.5.2.1 Acclività
E' stata valutata partendo da un modello digitale del territorio (DTM) con una definizione di 100 m. fornito dalla Regione Toscana.

BACINO E SOTTOBACINO IDROGRAFICO	Roccia nuda e urbanizzato		Pascoli e assimilabili		Terra coltivata,		Boschi d'alto fusto		C _v (-)
	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	(km ²)	(%)	
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	14,4	2,7	36,1	6,7	319,9	59,2	169,6	31,4	0,077
OMBRONE A BUONCONVENTO	18,6	2,4	53,0	6,9	453,5	59,3	240,5	31,4	0,079
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	0,0	0,0	3,2	4,8	5,9	8,8	58,2	86,4	0,054
MERSE A CASA MALLECCHI	2,5	0,9	21,1	8,0	81,0	30,5	160,6	60,6	0,075
MERSE A ORNATE	7,5	1,5	24,7	4,9	175,3	34,8	295,7	58,8	0,072
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	7,8	1,2	28,7	4,3	204,4	30,5	429,6	64,0	0,068
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	6,7	1,1	58,6	10,1	397,3	68,2	119,9	20,6	0,081
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	10,7	1,2	75,0	8,5	575,5	64,9	225,8	25,4	0,079
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	39,9	1,5	173,0	6,4	1446,5	53,9	1026,6	38,2	0,072
OMBRONE ALLA FOCE	51,2	1,4	224,0	6,2	2064,4	57,2	1268,6	35,2	0,075
BRUNA A LEPRI	1,5	0,6	14,0	6,0	103,0	44,3	114,0	49,1	0,064
BRUNA ALLA FOCE	6,9	1,2	28,3	5,0	317,6	56,6	208,8	37,2	0,066
ALBEGNA A MONTEMERANO	1,7	0,8	31,1	13,9	141,2	63,1	49,7	22,2	0,101
ALBEGNA ALLA FOCE	5,0	0,7	61,5	8,2	499,8	66,7	182,4	24,4	0,078
PECORA E MINORI TOTALE	10,2	4,5	5,8	2,5	125,1	54,6	88,0	38,4	0,068

 Tab.6 - Ripartizione delle varie classi di permeabilità nei principali bacini e sottobacini considerati e relativi valori del C_p.

BACINO E SOTTOBACINO IDROGRAFICO	Molto scarsa		Mediocre		Buona		Elevata		C _p (-)
	(km ²)	(%)							
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	231,3	42,8	132,1	24,5	176,6	32,7	0,0	0,0	0,150
OMBRONE A BUONCONVENTO	342,9	44,8	219,7	28,7	193,5	25,3	9,5	1,2	0,158
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	53,6	79,7	6,7	10,0	0,1	0,1	6,9	10,2	0,227
MERSE A CASA MALLECCHI	111,9	42,2	75,6	28,5	50,4	19,0	27,3	10,3	0,171
MERSE A ORNATE	146,0	29,0	145,6	28,9	101,5	20,2	110,1	21,9	0,141
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	209,5	31,2	218,2	32,6	120,1	17,9	122,7	18,3	0,151
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	395,0	67,8	122,1	20,9	46,4	8,0	19,0	3,3	0,184
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	583,8	65,8	164,9	18,6	83,7	9,4	54,6	6,2	0,181
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	1316,0	49,0	670,9	25,0	512,3	19,1	186,8	6,9	0,164
OMBRONE ALLA FOCE	1507,7	41,8	974,9	27,0	901,1	25,0	224,5	6,2	0,152
BRUNA A LEPRI	105,7	45,5	5,3	2,3	92,5	39,7	29,0	12,5	0,140
BRUNA ALLA FOCE	116,0	20,7	123,7	22,0	278,1	49,5	43,8	7,8	0,108
ALBEGNA A MONTEMERANO	135,5	60,6	30,0	13,4	36,9	16,5	21,3	9,5	0,188
ALBEGNA ALLA FOCE	248,2	33,2	105,0	14,0	307,2	41,0	88,3	11,8	0,125
PECORA E MINORI TOTALE	76,2	33,3	21,5	9,4	109,6	47,8	21,8	9,5	0,115

 Tab.7 - Ripartizione delle varie classi di permeabilità nei principali bacini e sottobacini considerati e relativi valori del C_p.

BACINO E SOTTOBACINO IDROGRAFICO	C_A	C_V	C_P	C_{df}	C_A/C_{df}	C_V/C_{df}	C_P/C_{df}
	(-)	(-)	(-)	(-)	(%)	(%)	(%)
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	0,074	0,077	0,150	0,301	24,6	25,6	49,8
OMBRONE A BUONCONVENTO	0,079	0,079	0,158	0,316	25,0	25,0	50,0
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	0,121	0,054	0,227	0,402	30,1	13,4	56,5
MERSE A CASA MALLECCHI	0,092	0,075	0,171	0,338	27,2	22,2	50,6
MERSE A ORNATE	0,092	0,072	0,141	0,305	30,2	23,6	46,2
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	0,099	0,068	0,151	0,318	31,1	21,4	47,5
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	0,086	0,081	0,184	0,351	24,5	23,1	52,4
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	0,095	0,079	0,181	0,355	26,8	22,2	51,0
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	0,090	0,072	0,164	0,326	27,6	22,1	50,3
OMBRONE ALLA FOCE	0,084	0,075	0,152	0,311	27,0	24,1	48,9
BRUNA A LEPRI	0,075	0,064	0,140	0,279	26,9	22,9	50,2
BRUNA ALLA FOCE	0,062	0,066	0,108	0,236	26,2	28,0	45,8
ALBEGNA A MONTEMERANO	0,107	0,101	0,188	0,396	27,0	25,5	47,5
ALBEGNA ALLA FOCE	0,067	0,078	0,125	0,270	24,8	28,9	46,3
PECORA E MINORI TOTALE	0,054	0,068	0,115	0,237	22,8	28,7	48,5

1.5.2.4 Confronto tra C_d fisiografico e C_d strumentale

Il risultato ottenuto è pari a 0,286 con una differenza del 12% rispetto al C_{df}.

Tab.8 - Risultati ottenuti nella valutazione delle varie componenti del C_{df} per i principali bacini e sottobacini considerati.

La validità di questa metodologia per il calcolo dei deflussi nell'A.T.O. 6 è stata dapprima verificata attraverso il confronto, per il bacino del F. Ombrone a Sasso d'Ombrone, tra il C_{df} ed il C_d strumentale (C_{ds}) ottenuto mediante il rapporto tra i deflussi (D_s) e gli afflussi (P) relativi all'A.I. 1967-1996.

1.6 – Risorse idriche superficiali e sotterranee

1.6.1 – Bacini idrografici

Sulla base dei dati raccolti e delle loro integrazioni ed elaborazioni, si sono così acquisiti tutti gli elementi utili per una prima valutazione delle risorse idriche superficiali e sotterranee dei principali bacini e sottobacini presenti nell'A.T.O. 6 (per l'A.I. 1967-1996), che è stata quindi ottenuta con l'utilizzo del D_s, D_f, D_{cip} (vedi figg. 7b, 8, 9).

Di seguito in figura 7a è illustrato un esempio di calcolo del Bilancio Idrogeologico.

(a)		Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
P	mm	70,6	75,7	65,4	68,8	61,6	44,0	27,5	48,9	76,5	97,9	102,5	79,7	819
T	°C	6,5	7,2	9,5	12,0	16,2	19,7	23,4	23,4	20,2	15,9	10,9	7,0	14,3
i		1,50	1,75	2,66	3,8	5,95	8,00	10,31	10,33	8,26	5,78	3,24	1,68	63,23
Ep	mm	17	20	30	42	65	87	112	112	90	63	36	19	693
K		0,81	0,82	1,02	1,1	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77	
Epc	mm	14	16	31	47	82	111	144	134	94	60	29	15	777
P-Epc	mm	57	59	35	22	-20	-67	-117	-86	-17	38	73	65	42
D.id.C	mm	0	0	0	0	-20	-87	-204	-290	-307	0	0	0	
r	mm	100	100	100	100	81	41	13	5	4	43	100	100	
Er	mm	14	16	31	47	80	84	56	56	77	60	29	15	565
Ws	mm	57	59	35	22	0	0	0	0	0	0	16	65	254
da	mm	0	0	0	0	2	27	88	78	16	0	0	0	212
Di	mm	30	34	28	24	18	9	4	3	6	15	29	29	228
le	mm	27	25	6	-2	-18	-9	-4	-3	-6	-15	-13	36	26

(b) VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE		mm	Mmc	mc/s
Infiltrazione totale	Iti	94,4	661,4	20,974
Infiltrazione efficace	le	25,9	181,2	5,746
Contributo sorgenti interne	Isi	68,5	480,2	15,228
Ruscigliamento	R	159,3	1116,2	35,394
Deflusso da contributi interni	Di	227,8	1596,4	50,622
Contributo sorgenti esterne	Ise	0,0	0,0	0,000
Contributo sorgenti totale	Is	68,5	480,2	15,228
Deflusso naturale	Dn	227,8	1596,4	50,622
Apporti idrici esterni antropici	Aa	0,0	0,0	0,000
Deflusso totale	Dt	227,8	1596,4	50,622
Consumi idrici antropici	Ca	0,0	0,0	0,000
Deflusso strumentale	Ds	227,8	1596,4	50,622

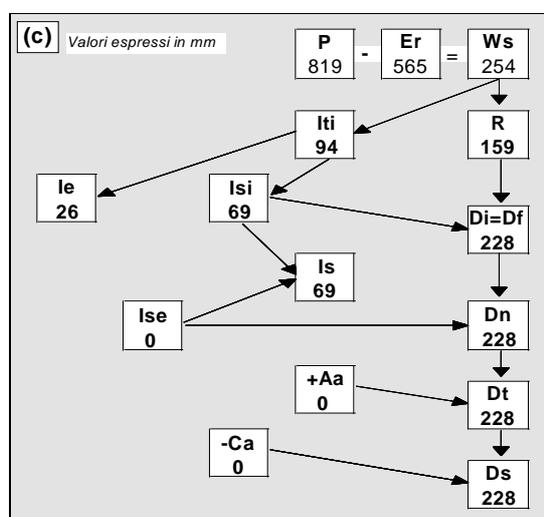


Fig.7a – (a) Esempio di tabella di bilancio (secondo Thornthwaite & Mather, 1957) e (b, c) di schemi esplicativi dei criteri di calcolo utilizzati per la stima delle risorse idriche superficiali e sotterranee a livello di bacino idrografico (secondo Barazzuoli & Salleolini, 1992; Barazzuoli et alii, 1994, 1995) per l'A.I. 1967-1996: P = afflussi; T = temperatura media dell'aria; i = indice calorico; E_p = evapotraspirazione potenziale; K = coefficiente di correzione astronomica; E_{pc} = evapotraspirazione potenziale corretta; D.id.C = deficit idrico potenziale cumulato; r = riserva idrica del suolo; E_r = evapotraspirazione reale; W_s = *eccedenza idrica* (o *precipitazione efficace* P_e), rappresenta la risorsa totale potenziale interna al bacino ($P-E_r$, oppure $R + I_i$); d_a = deficit agrario; D_i = *deflusso interno in uscita dal bacino attraverso la rete idrografica*. In prima approssimazione, questa grandezza può essere valutata direttamente con le misure rilevate nella stazione idrometrografica ($D_i = D_s$). In realtà, esso rappresenta il quantitativo idrico di deflusso, dovuto sia al ruscigliamento superficiale che al contributo di acqua sotterranea, direttamente riconducibile alle precipitazioni interne al bacino (del quale costituisce quindi la risorsa totale interna, $R + I_{si}$). Esso può essere valutato per mezzo della stima del coefficiente di deflusso effettuata in funzione ad alcune caratteristiche fisiografiche e climatiche dell'area esaminata (D_i); I_e = *infiltrazione efficace*, calcolata con la differenza $W_s - D_i$, rappresenta la porzione di I_i che alimenta falde emergenti all'esterno del bacino (nel caso di coincidenza tra spartiacque morfologico ed idrogeologico e in assenza di intervento antropico sul ciclo dell'acqua, I_e è uguale a zero e quindi $W_s = D_i$); I_{ti} = *infiltrazione totale interna*, valutata con la somma dei valori mensili positivi d'infiltrazione ricavati dal bilancio o con l'ausilio dei coefficienti di infiltrazione potenziale ($I_e + I_{si}$), è la risorsa totale potenziale sotterranea interna; I_{si} = *infiltrazione delle emergenze interne*, valutata con la somma dei valori mensili negativi d'infiltrazione ricavati dal bilancio o con l'ausilio dei coefficienti di infiltrazione potenziale, rappresenta il contributo delle acque sotterranee interne (sorgenti, falde che emergono direttamente verso corsi d'acqua, ruscigliamento ipodermico) al deflusso del bacino, assumendo così le caratteristiche di reale risorsa sotterranea interna; R = *ruscigliamento superficiale*, stimato con la differenza $W_s - I_{ti}$, corrisponde alla porzione di W_s che alimenta direttamente la rete idrografica (costituisce cioè la risorsa totale superficiale interna); I_{se} = *emergenze da infiltrazione esterna*, calcolato con la differenza $D_n - D_i$, corrisponde all'eventuale contributo di acque sotterranee al deflusso provenienti da falde alimentate in bacini adiacenti; I_s = *contributo totale di acqua sotterranea al deflusso*, valutato con la somma $I_{si} + I_{se}$; D_n = *deflusso naturale in uscita dal bacino attraverso la rete idrografica*, determinato direttamente con le misure rilevate nella stazione idrometrografica, è la risorsa totale del bacino ($D_i + I_{se}$ oppure $R + I_{si} + I_{se}$); A_a = *apporto idrico esterno di origine antropica al deflusso del bacino*, rappresenta un quantitativo d'acqua da sottrarre al deflusso strumentale (D_s , cioè misurato) per ricavare quello naturale ($D_i - D_n$); D_t = *deflusso totale*, che è costituito dai contributi naturali (sia interni D_i che esterni I_{se} , cioè D_n) con l'aggiunta dell'apporto esterno antropico A_a e che coincide con il deflusso strumentale (D_s) in assenza di consumo interno antropico C_a ($D_n + A_a$ oppure $D_i + I_{se} + A_a$ oppure $R + I_{si} + I_{se} + A_a$); C_a = *consumo idrico interno di origine antropica*, rappresenta un quantitativo idrico da sommare al deflusso strumentale (D_s , cioè misurato) per ricavare quello naturale ($D_i - D_s$); D_s = *deflusso strumentale*, misurato alla stazione idrometrografica posta alla sezione di chiusura del bacino, il cui valore deriva dal saldo di tutte le interferenze naturali ed antropiche al bacino (sia interne che esterne) e che corrisponde al deflusso naturale residuo (cioè, D_n al netto dei consumi C_a) sommato agli apporti A_a ($D_i - C_a$ oppure $D_n - C_a + A_a$ oppure $D_i + I_{se} - C_a + A_a$ oppure $R + I_{si} + I_{se} - C_a + A_a$).

Bilancio idrologico con l'utilizzo del deflusso strumentale (Ds)														
BACINO DEL FIUME OMBRONE A SASSO D'OMBRONE														
Anno Idrologico: 1967-1996														
Sup. (km ²): 2686														
		Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
P	mm	62,3	71,1	65,4	72,1	67,7	53,1	30,5	49,7	75,4	93,3	100,7	75,7	817
T	°C	6,1	6,9	9,2	10,2	16,0	19,6	23,2	23,1	19,9	15,4	10,3	6,9	13,9
i		1,33	1,61	2,53	2,94	5,83	7,89	10,24	10,17	8,07	5,50	2,99	1,64	60,74
Ep	mm	16	19	29	34	65	87	112	111	89	62	34	19	677
K		0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77	
Epc	mm	13	16	30	38	82	111	144	133	93	59	28	15	761
P-Epc	mm	49	56	36	34	-14	-58	-114	-84	-17	34	73	61	56
D.Id.C	mm	0	0	0	0	-14	-72	-186	-270	-287	0	0	0	
r	mm	100	100	100	100	86	48	15	7	5	40	100	100	
Er	mm	13	16	30	38	81	91	63	58	76	59	28	15	568
Ws	mm	49	56	36	34	0	0	0	0	0	0	13	61	249
da	mm	0	0	0	0	1	20	81	75	16	0	0	0	193
Ds	mm	31	35	29	25	19	9	4	3	6	15	30	30	234
le	mm	19	20	7	9	-18	-9	-4	-3	-6	-15	-16	31	15

VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE		mm	Mmc	mc/s
Infiltrazione totale	Iti	86,1	231,2	7,330
Infiltrazione efficace	le	14,5	39,0	1,237
Contributo sorgenti interne	Isi	71,5	192,2	6,094
Ruscellamento	R	162,6	436,9	13,853
Deflusso da contributi interni	Di	234,2	629,0	19,947
Contributo sorgenti esterne	Ise	0,0	0,0	0,000
Contributo sorgenti totale	Is	71,5	192,2	6,094
Deflusso naturale	Dn	234,2	629,0	19,947
Apporti idrici esterni antropici	Aa	0,0	0,0	0,000
Deflusso totale	Dt	234,2	629,0	19,947
Consumi idrici antropici	Ca	0,0	0,0	0,000
Deflusso strumentale	Ds	234,2	629,0	19,947

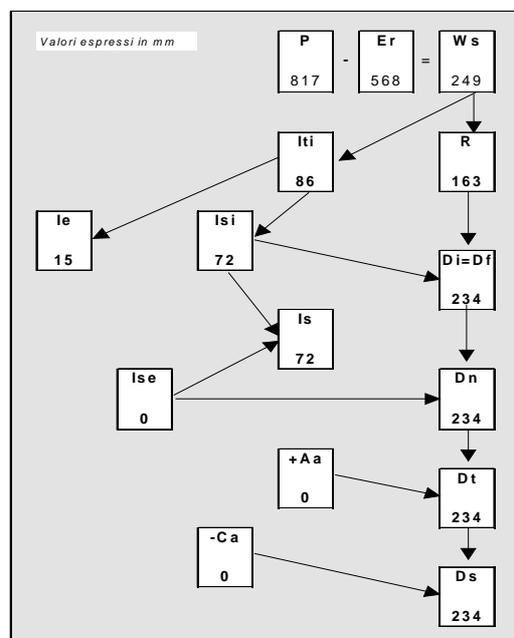
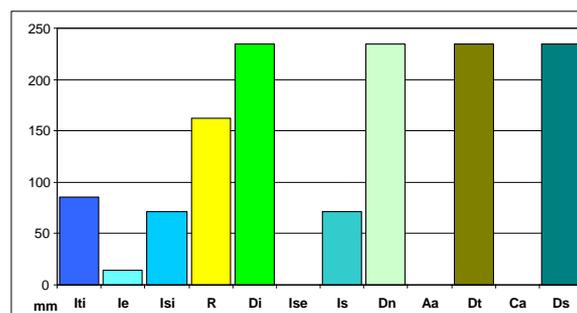
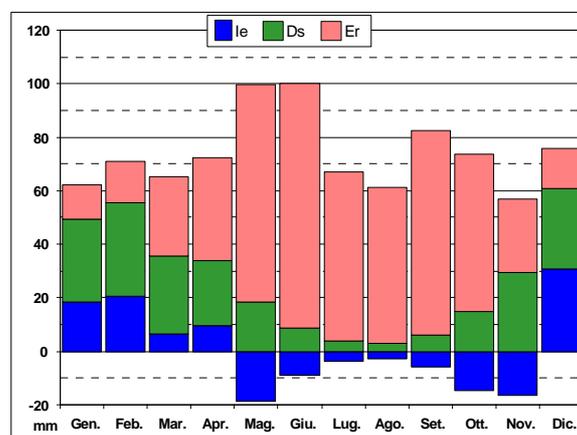


Fig.7b – Risorse idriche da Bilancio con l'uso del deflusso strumentale (valori in mm)



Bilancio idrologico con l'utilizzo del deflusso fisiografico (base $D_k=D_f=D_i$)														
BACINO DEL FIUME OMBRONE A SASSO D'OMBRONE														
Anno Idrologico: 1967-1996														
Sup. (km ²): 2686														
		Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giù.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
P	mm	62,3	71,1	65,4	72,1	67,7	53,1	30,5	49,7	75,4	93,3	100,7	75,7	817
T	°C	6,1	6,9	9,2	10,2	16,0	19,6	23,2	23,1	19,9	15,4	10,3	6,9	13,9
i		1,33	1,61	2,53	2,94	5,83	7,89	10,24	10,17	8,07	5,50	2,99	1,64	60,74
Ep	mm	16	19	29	34	65	87	112	111	89	62	34	19	677
K		0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77	
Epc	mm	13	16	30	38	82	111	144	133	93	59	28	15	761
P-Epc	mm	49	56	36	34	-14	-58	-114	-84	-17	34	73	61	56
D.Id.C	mm	0	0	0	0	-14	-72	-186	-270	-287	0	0	0	
r	mm	100	100	100	100	86	48	15	7	5	40	100	100	
Er	mm	13	16	30	38	81	91	63	58	76	59	28	15	568
Ws	mm	49	56	36	34	0	0	0	0	0	0	13	61	249
da	mm	0	0	0	0	1	20	81	75	16	0	0	0	193
Dk	mm	35	40	33	28	21	10	4	3	7	17	34	34	266
le	mm	14	16	3	6	-21	-10	-4	-3	-7	-17	-21	27	-18

VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE		mm	Mmc	mc/s
Infiltrazione totale	Iti	65,5	176,0	5,582
Infiltrazione efficace	le	0,0	0,0	0,000
Contributo sorgenti interne	Isi	65,5	176,0	5,582
Ruscellamento	R	183,2	492,0	15,601
Deflusso da contributi interni	Di	248,7	668,0	21,183
Contributo sorgenti esterne	Ise	17,6	47,3	1,500
Contributo sorgenti totale	Is	83,1	223,3	7,082
Deflusso naturale	Dn	266,3	715,3	22,683
Apporti idrici esterni antropici	Aa	0,0	0,0	0,000
Deflusso totale	Dt	266,3	715,3	22,683
Consumi idrici antropici	Ca	0,0	0,0	0,000
Deflusso strumentale	Ds	266,3	715,3	22,683

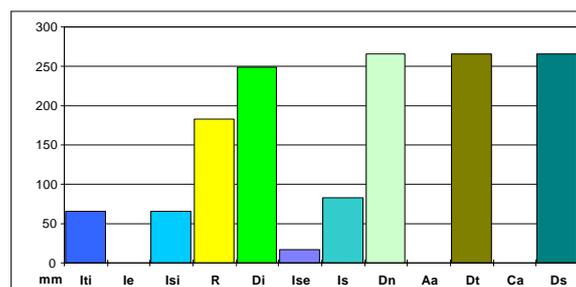
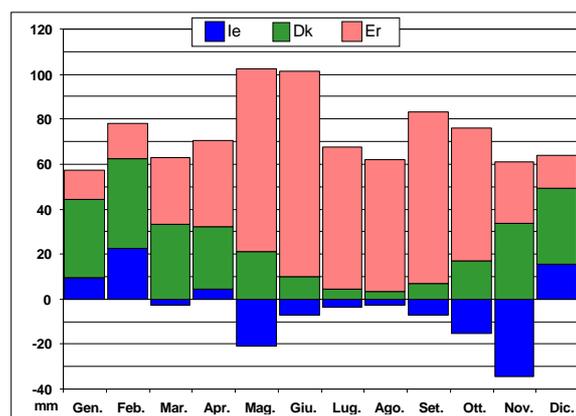
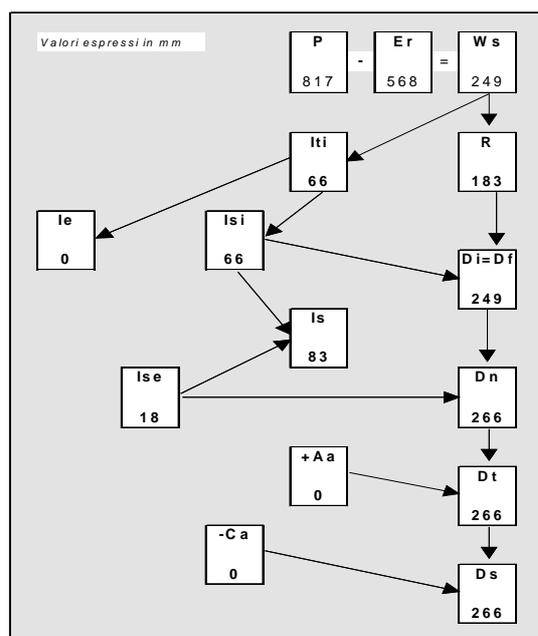


Fig.8 – Risorse idriche da Bilancio con l'uso del deflusso Fisiografico (valori in mm)

BACINO E SOTTOBACINO IDROGRAFICO	Grado di permeabilità	c.i.p.	W_s	Area	Infiltrazione totale interna (I_{ti})	
	relativa	(-)	(mm/anno)	(km ²)	(mm/anno)	(10 ⁶ m ³ /anno)
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	Elevata	0,90	210,0	0,0	189,0	0,00
	Buona	0,75	211,2	176,6	158,4	27,97
	Mediocre	0,25	231,9	132,1	58,0	7,66
OMBRONE A BUONCONVENTO	Elevata	0,90	207,6	9,5	186,8	1,77
	Buona	0,75	209,2	193,5	156,9	30,36
	Mediocre	0,25	219,3	219,7	54,8	12,04
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	Elevata	0,90	400,5	6,9	360,5	2,49
	Buona	0,75	442,5	0,1	331,9	0,03
	Mediocre	0,25	408,1	6,7	102,0	0,68
MERSE A CASA MALLECCHI	Elevata	0,90	411,7	27,3	370,5	10,11
	Buona	0,75	368,9	50,4	276,7	13,95
	Mediocre	0,25	363,3	75,6	90,8	6,86
MERSE A ORNATE	Elevata	0,90	319,9	110,1	287,9	31,70
	Buona	0,75	325,5	101,5	244,1	24,78
	Mediocre	0,25	332,4	145,6	83,1	12,10
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	Elevata	0,90	327,2	122,7	294,5	36,14
	Buona	0,75	319,1	120,1	239,3	28,74
	Mediocre	0,25	343,1	218,2	85,8	18,72
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	Elevata	0,90	265,2	19,0	238,7	4,54
	Buona	0,75	157,1	46,4	117,8	5,47
	Mediocre	0,25	155,6	122,1	38,9	4,75
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	Elevata	0,90	423,2	54,6	380,9	20,80
	Buona	0,75	180,0	83,7	135,0	11,30
	Mediocre	0,25	202,1	164,9	50,5	8,33
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	Elevata	0,90	349,2	186,8	314,3	58,71
	Buona	0,75	235,4	512,3	176,6	90,47
	Mediocre	0,25	252,4	670,9	63,1	42,33
OMBRONE ALLA FOCE	Elevata	0,90	325,5	224,5	293,0	65,78
	Buona	0,75	216,6	901,1	162,5	146,43
	Mediocre	0,25	239,1	974,9	59,8	58,30
BRUNA A LEPRI	Elevata	0,90	361,6	29,0	325,4	9,44
	Buona	0,75	283,3	92,5	212,5	19,66
	Mediocre	0,25	305,3	5,3	76,3	0,40
BRUNA ALLA FOCE	Elevata	0,90	326,8	43,8	294,1	12,88
	Buona	0,75	239,2	278,1	179,4	49,89
	Mediocre	0,25	214,1	123,7	53,5	6,62
ALBEGNA A MONTEMERANO	Elevata	0,90	322,4	21,3	290,2	6,18
	Buona	0,75	333,4	36,9	250,1	9,23
	Mediocre	0,25	353,8	30,0	88,5	2,66
ALBEGNA ALLA FOCE	Elevata	0,90	228,2	88,3	205,4	18,14
	Buona	0,75	209,0	307,2	156,8	48,17
	Mediocre	0,25	267,7	105,0	66,9	7,02
PECORA E MINORI TOTALE	Elevata	0,90	262,7	21,8	236,4	5,15
	Buona	0,75	210,5	109,6	157,9	17,31
	Mediocre	0,25	171,1	21,5	42,8	0,92

Tab.9 - Quadro riassuntivo delle zone considerate e dei parametri necessari alla valutazione dell'infiltrazione con l'ausilio dei c.i.p.; risultati validi per l'A.I. 1967-1996

Bilancio idrologico con l'utilizzo del deflusso da calcolo lti con c.i.p.														
BACINO DEL FIUME OMBRONE A SASSO D'OMBRONE														
Anno Idrologico: 1967-1996														
Sup. (km ²): 2686														
		Gen.	Feb.	Mar.	Apr.	Mag.	Giu.	Lug.	Ago.	Set.	Ott.	Nov.	Dic.	Anno
P	mm	62,3	71,1	65,4	72,1	67,7	53,1	30,5	49,7	75,4	93,3	100,7	75,7	817
T	°C	6,1	6,9	9,2	10,2	16,0	19,6	23,2	23,1	19,9	15,4	10,3	6,9	13,9
i		1,33	1,61	2,53	2,94	5,83	7,89	10,24	10,17	8,07	5,50	2,99	1,64	60,74
Ep	mm	16	19	29	34	65	87	112	111	89	62	34	19	677
K		0,81	0,82	1,02	1,12	1,26	1,28	1,29	1,20	1,04	0,95	0,81	0,77	
Epc	mm	13	16	30	38	82	111	144	133	93	59	28	15	761
P-Epc	mm	49	56	36	34	-14	-58	-114	-84	-17	34	73	61	56
D.Id.C	mm	0	0	0	0	-14	-72	-186	-270	-287	0	0	0	
r	mm	100	100	100	100	86	48	15	7	5	40	100	100	
Er	mm	13	16	30	38	81	91	63	58	76	59	28	15	568
Ws	mm	49	56	36	34	0	0	0	0	0	0	13	61	249
da	mm	0	0	0	0	1	20	81	75	16	0	0	0	193
Dcip	mm	34	39	32	27	20	10	4	3	7	16	32	33	257
le	mm	16	17	4	7	-20	-10	-4	-3	-7	-16	-19	28	-9

VALUTAZIONE DELLE RISORSE IDRICHE		mm	Mmc	mc/s
Infiltrazione totale	l_{ti}	71,3	191,4	6,069
Infiltrazione efficace	l_e	0,0	0,0	0,000
Contributo sorgenti interne	l_{si}	71,3	191,4	6,069
Ruscellamento	R	177,5	476,7	15,114
Deflusso da contributi interni	D_i	248,7	668,0	21,183
Contributo sorgenti esterne	l_{se}	8,7	23,3	0,738
Contributo sorgenti totale	l_s	79,9	214,7	6,807
Deflusso naturale	D_n	257,4	691,3	21,921
Apporti idrici esterni antropici	A_a	0,0	0,0	0,000
Deflusso totale	D_t	257,4	691,3	21,921
Consumi idrici antropici	C_a	0,0	0,0	0,000
Deflusso strumentale	D_s	257,4	691,3	21,921

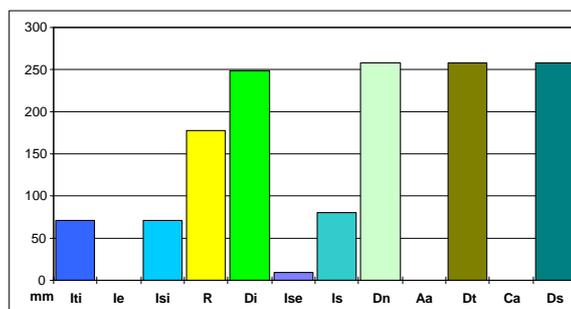
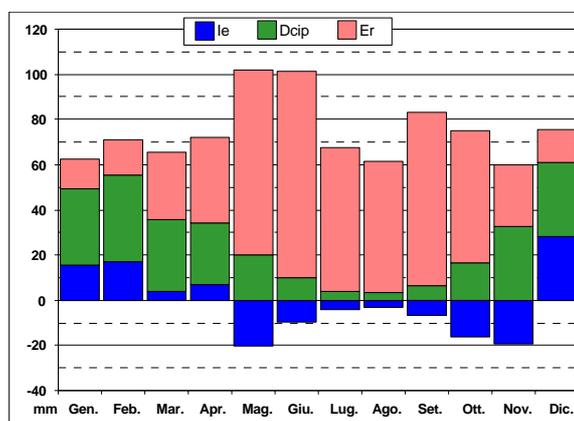
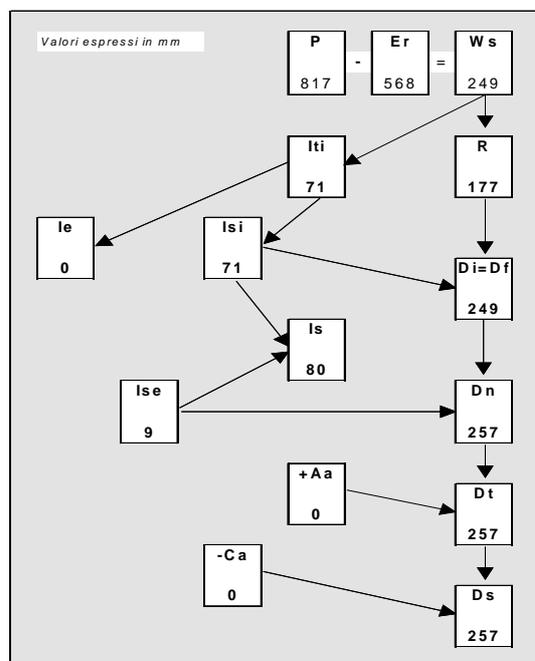


Fig.9 – Risorse idriche da Bilancio sulla base dell'utilizzo dei c.i.p. ($D_{cip}=D_i$).

L'esame complessivo dei risultati così ottenuti (tab. 10) consente di rilevare che, all'interno del bacino del F. Ombrone, gli afflussi più elevati si riscontrano nel T. Farma a Torniella (989 mm, pari a circa $67 \cdot 10^6$ m³/anno), il quale presenta anche i valori più alti di eccedenza idrica (407 mm, $27 \cdot 10^6$ m³/anno): questi valori sono anche i più alti in assoluto dell'intero territorio considerato. I valori maggiori di evapotraspirazione reale nell'Ombrone si rilevano invece nel bacino del Merse a confluenza Ombrone (591 mm, $396 \cdot 10^6$ m³/anno), mentre quelli più alti in assoluto sono nel bacino del F. Albegna a Montemerano (598 mm, $134 \cdot 10^6$ m³/anno). Il bacino del F. Orcia a Monte Amiata Scalo presenta invece i valori minori di afflussi ed eccedenza idrica (rispettivamente: 733 mm, $427 \cdot 10^6$ m³/anno; 177 mm, $103 \cdot 10^6$ m³/anno, pari al 24 % degli afflussi), mentre l'evapotraspirazione più bassa si ritrova nel F. Pecora (539 mm, $124 \cdot 10^6$ m³/anno).

BACINO	P	E _r	W _s	I _{ti}	I _e	I _{si}	R	D _i	I _{se}	I _s	D _n	A _a	D _t	C _a	D _s
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	422,0	308,7	113,2	39,5	0,0	39,5	73,7	113,1	0,0	39,5	113,1	0,0	113,1	0,0	113,1
OMBRONE A BUONCONVENTO	596,7	440,4	156,3	57,6	0,0	57,6	98,6	156,3	0,0	57,6	156,3	0,0	156,3	0,0	156,3
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	66,5	39,1	27,4	5,2	0,6	4,6	22,2	26,7	0,0	4,6	26,7	0,0	26,7	0,0	26,7
MERSE A CASA MALLECCHI	254,5	154,7	99,7	33,1	13,6	19,5	66,5	86,0	0,0	19,5	86,0	0,0	86,0	0,0	86,0
MERSE A ORNATE	464,4	296,6	167,8	65,6	26,1	39,4	102,2	141,6	0,0	39,4	141,6	0,0	141,6	0,0	141,6
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	625,0	396,1	228,8	85,4	30,1	55,3	143,4	198,7	0,0	55,3	198,7	0,0	198,7	0,0	198,7
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	427,2	324,3	102,9	34,5	0,0	34,5	68,4	103,0	0,0	34,5	103,0	0,0	103,0	0,0	103,0
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	686,7	499,6	187,1	59,4	0,0	59,4	127,7	187,1	0,0	59,4	187,1	0,0	187,1	0,0	187,1
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	2194,3	1526,2	668,0	235,9	46,4	189,5	432,1	621,6	0,0	189,5	621,6	0,0	621,6	0,0	621,6
OMBRONE ALLA FOCE	2903,7	2041,3	862,4	313,0	52,0	261,0	549,4	810,4	0,0	261,0	810,4	0,0	810,4	0,0	810,4
BRUNA A LEPRI	204,2	131,7	72,5	30,7	15,6	15,1	41,8	57,0	0,0	15,1	57,0	0,0	57,0	0,0	57,0
BRUNA ALLA FOCE	453,2	308,6	144,6	66,6	37,6	29,0	78,0	107,0	0,0	29,0	107,0	0,0	107,0	0,0	107,0
ALBEGNA A MONTEMERANO	215,5	133,9	81,6	15,2	0,0	15,2	66,4	81,7	0,0	15,3	81,7	0,0	81,7	0,0	81,7
ALBEGNA ALLA FOCE	603,3	413,7	189,6	72,5	29,8	42,7	117,1	159,8	0,0	42,7	159,8	0,0	159,8	0,0	159,8
PECORA E MINORI TOTALE	176,2	123,5	52,7	24,6	11,6	13,0	28,1	41,1	0,0	13,0	41,1	0,0	41,1	0,0	41,1
TERRITORIO A.T.O. 6 "Ombrone"	5740,4	3962,8	1777,6	661,4	181,2	480,2	1116,2	1596,4	0,0	480,2	1596,4	0,0	1596,4	0,0	1596,4

Tab.10 - Risultati finali ottenuti nella stima delle risorse idriche superficiali e sotterranee dei principali bacini e sottobacini idrografici del territorio dell'A.T.O. 6 (A.I. 1967-1996) con l'utilizzo del deflusso fisiografico corretto; valori espressi in 10^6 m³/anno.

Rimane infine da ricordare che i suddetti risultati di bilancio sono stati ottenuti considerando nullo l'intervento antropico sul ciclo dell'acqua (cioè, A_a e C_a sono stati posti uguali a zero) che è invece capace di variare anche sensibilmente la ripartizione delle effettive risorse idriche superficiali e sotterranee dei bacini esaminati; l'A.T.O. 6 non deve assolutamente sottovalutare questo aspetto, pena il rischio di attuare inefficaci gestioni del territorio, e dovrà quindi mettere a punto un sistema di rilevamento di informazioni attendibili su usi e spostamenti di quantitativi d'acqua all'interno del proprio territorio (anche in collaborazione con gli A.T.O. limitrofi e le Autorità di Bacino coinvolte).

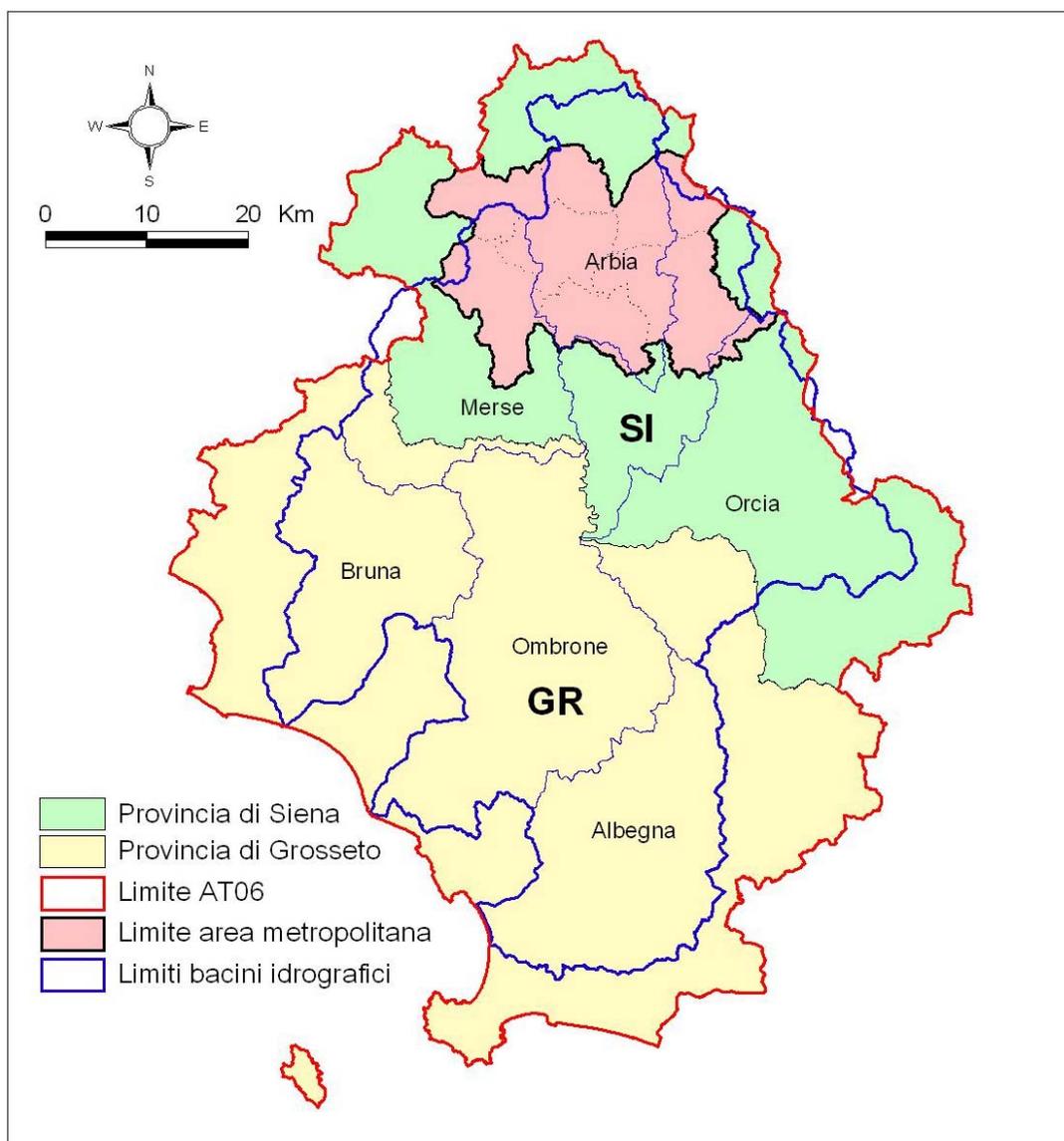


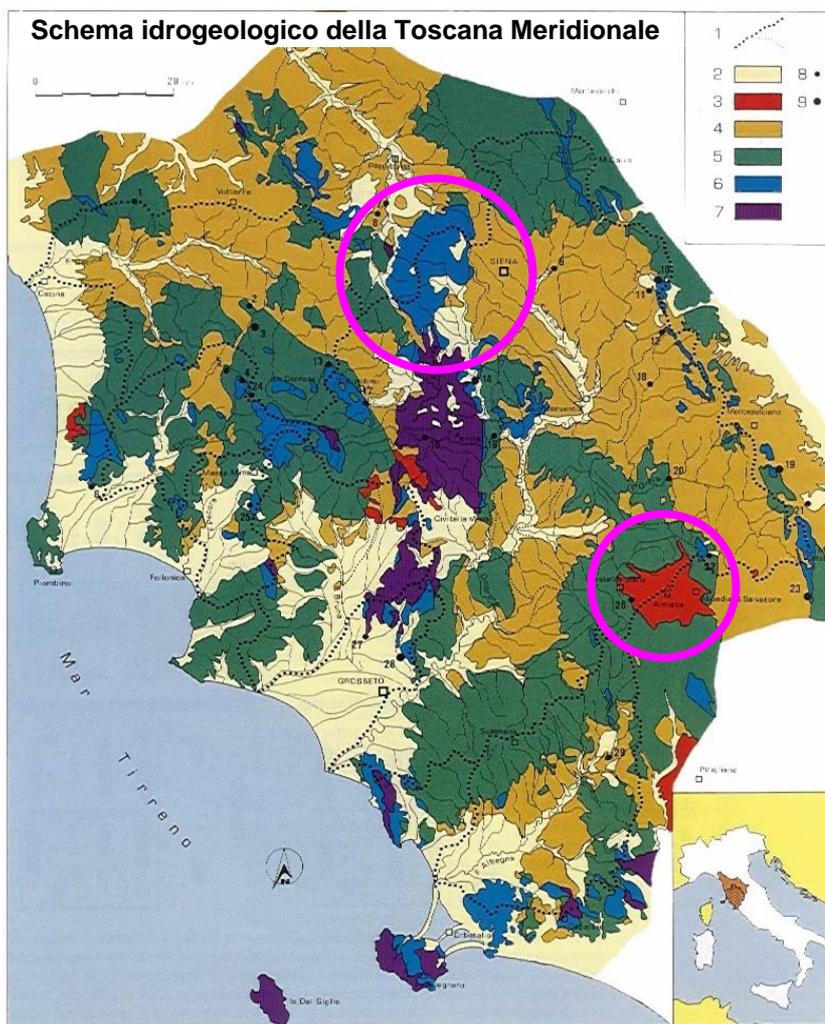
Fig.10 – Ubicazione dei principali bacini nel territorio dell'ATO 6

1.6.2 – Complessi idrogeologici

Il procedimento di calcolo basato sui c.i.p. è stato anche utilizzato per la valutazione globale della risorsa idrica rinnovabile nei complessi idrogeologici presenti nel territorio dell'A.T.O. 6 e per quella specifica di alcune situazioni di particolare interesse economico-ambientale (vulcaniti del M. Amiata e di Pitigliano, rocce carbonatiche della Dorsale Rapolano Terme - M. Cetona, della zona M. Maggio-Montagnola Senese e del settore Orbetello-Capalbio); i risultati ottenuti sono riportati nella tab. 11.

La tab. 11 mostra che l'infiltrazione totale nell'A.T.O. 6 risulta pari a circa $671 \cdot 10^6$ m³/anno (associata per oltre il 50% a terreni di buona permeabilità) e che le vulcaniti del Monte Amiata godono dei più alti valori di I_{ti} (576 mm/anno, pari a $48 \cdot 10^6$ m³/anno); le rocce carbonatiche del settore Orbetello-Capalbio presentano invece un' I_{ti} pari a 129 mm/anno ($11 \cdot 10^6$ m³/anno). Sulla validità di questi risultati gravano ovviamente tutte le perplessità scaturite dallo scarso dettaglio dei dati di base utilizzati per la stesura della carta della permeabilità di Fig.30, soprattutto per stime su territori di ridotta estensione; il confronto tra le

valutazioni ricavate per l'infiltrazione totale dell'A.T.O. 6 (I_{ti} da c.i.p. = $671,4 \cdot 10^6$ m³/anno; I_{ti} da $C_{df(corr.)}$ = $661,4 \cdot 10^6$ m³/anno) indica infatti che le due metodologie di calcolo risultano praticamente equivalenti su ampi territori.



COMPLESSO IDROGEOLOGICO	Grado di permeabilità relativa	c.i.p. (-)	W_s (mm/anno)	Area (km ²)	Infiltrazione totale interna (I_{ti}) (mm/anno)	(10^6 m ³ /anno)
ROCCE A PERMEABILITA' ELEVATA	Elevata	0,90	333,9	796,0	300,5	239,2
ROCCE A PERMEABILITA' BUONA	Buona	0,75	208,7	2175,5	156,5	340,5
ROCCE A PERMEABILITA' MEDIOCRE	Mediocre	0,25	233,9	1567,1	58,5	91,7
ROCCE A PERMEABILITA' MOLTO SCARSA	Molto scarsa	0,00	298,1	2469,4	0,0	0,0
VULCANITI M. AMIATA	Elevata	0,90	640,1	83,3	576,1	48,0
VULCANITI PITIGLIANO	Elevata	0,90	393,6	182,0	354,2	64,5
ROCCE CARBONATICHE DELLA DORSALE RAPOLANO – M. CETONA	Elevata	0,90	265,2	44,3	238,7	10,6
ROCCE CARBONATICHE DELLA ZONA M. MAGGIO – MONTAGNOLA SENESE	Elevata	0,90	276,7	100,2	249,0	24,9
ROCCE CARBONATICHE DEL SETTORE ORBETELLO – CAPALPIO	Elevata	0,90	142,9	85,8	128,6	11,0

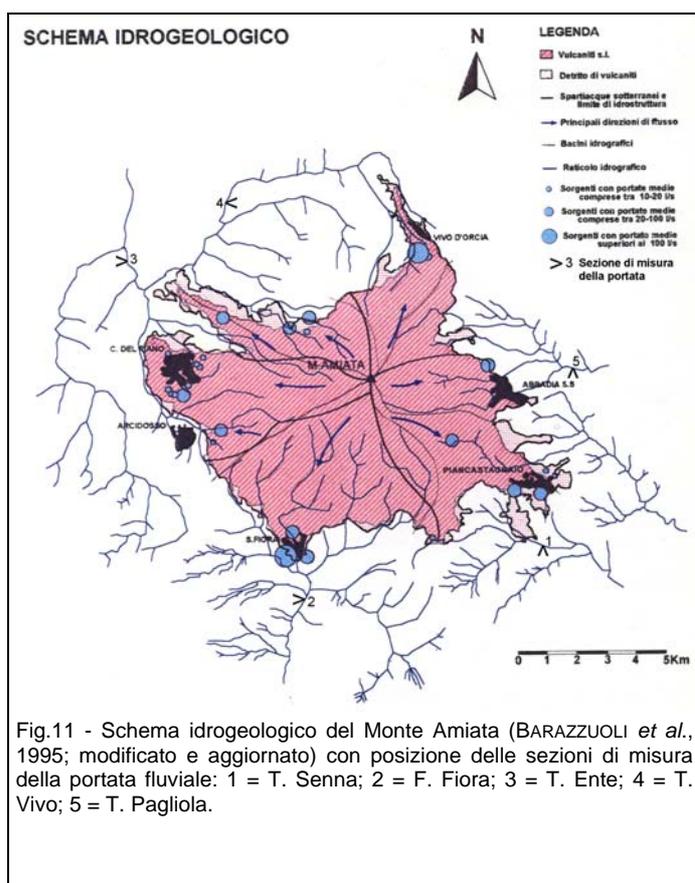
Tab.11 - Quadro riassuntivo dei complessi idrogeologici considerati e dei parametri necessari alla valutazione dell'infiltrazione con l'ausilio dei c.i.p.; risultati validi per l'A.I. 1967-1996.

2 – L'ACQUIFERO DEL M. AMIATA

Il M. Amiata ha un'altitudine di 1738 m s.l.m. ed è costituito da rocce vulcaniche che coprono una superficie di circa 80 km²; la quota media dei relativi affioramenti è di circa 1100 m s.l.m. Dal punto di vista climatico, nella parte alta del rilievo la precipitazione è di 1400 mm, la temperatura è di 10 °C e la neve persiste per circa 100 giorni (valori medio annui su base pluriennale). In quest'area affiorano le seguenti unità geologico-strutturali, dall'alto verso il basso (figg. 11 e 12):

complesso vulcanico del M. Amiata, composto prevalentemente da lave e domi rioidacitici e, in misura minore, da lave latitiche (Quaternario);
argille, sabbie e conglomerati delle sequenze neoautoctone (Pliocene);
sequenze flyschoidi alloctone «liguridi», rappresentate dalle Argille con calcari «palombini» (Cretaceo inf.), dalle argilliti della Formazione di S. Fiora e dalle arenarie calcaree della Formazione della Pietraforte (Cretaceo sup.) e dalle argilliti e calcari della Formazione di Canetolo (Paleocene-Eocene);
formazioni carbonatico-silicee della «Falda toscana» (Giurassico inf.-Cretaceo inf.).

Le rocce vulcaniche sono altamente permeabili per fessurazione (e, subordinatamente, per porosità) e contengono un acquifero freatico alimentato esclusivamente dall'infiltrazione meteorica, frazione delle piogge e delle nevi cadute sul rilievo; tali rocce sovrastano un complesso flyschoidi di bassa permeabilità, che le separano dal sottostante serbatoio geotermico prevalentemente costituito dalle formazioni fratturate di facies toscana. Nell'acquifero la circolazione idrica è quella tipica delle «falde in rete», cioè è caratterizzata da una diffusa microfratturazione della roccia e da deflussi concentrati preferenzialmente nelle fratture beanti.



Tale acquifero può essere considerato, per quantità e qualità, il più importante serbatoio idrico naturale della Toscana meridionale (ad esso infatti attingono buona parte delle province di Siena e Grosseto e dell'alto Lazio); in quest'area sono state infatti censite più di 150 sorgenti (captate e non, escludendo tutte le scaturigini non misurabili), normalmente ubicate in prossimità del contatto tra le vulcaniti ed il sottostante complesso flyschoidi, la cui erogazione idrica complessiva è stimata in circa $54 \cdot 10^6$ m³/anno (come valore medio nell'anno idrologico 1939-1996). Secondo la classica schematizzazione di Civita (1972), la maggior parte di esse è classificabile come *sorgente per soglia di permeabilità sottoposta*; la diffusa coltre detritica presente ai piedi del rilievo maschera spesso tale contatto, con il conseguente manifestarsi di numerose emergenze *reali* al posto di quelle *geologiche*. Alcune sorgenti scaturiscono, poco più a monte, in corrispondenza di variazioni del grado di permeabilità delle vulcaniti (*sorgenti per limite di permeabilità indefinito*) o di forti depressioni morfologiche (*sorgenti per affioramento della piezometrica*).

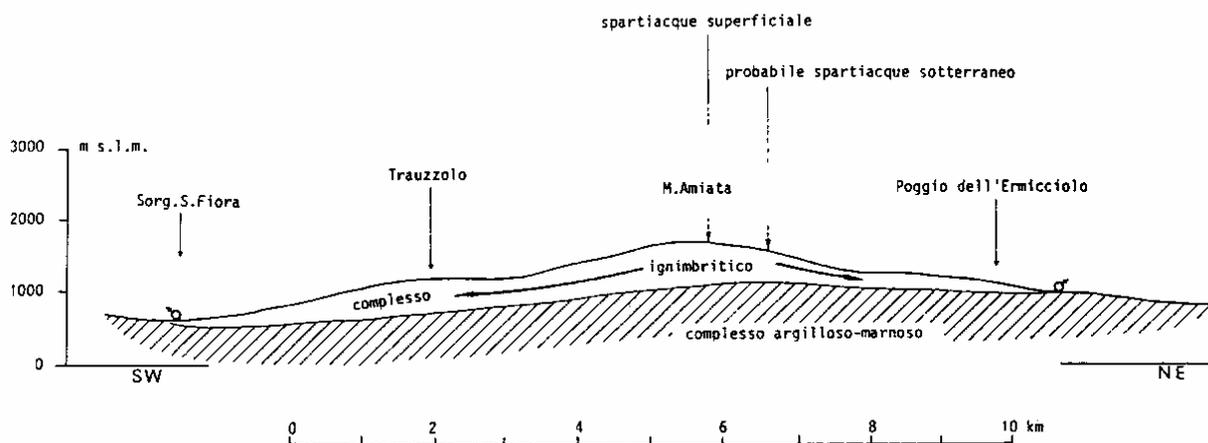


Fig.12 - Sezione idrogeologica schematica del Monte Amiata

2.1 - Risorse Idriche del M. Amiata (A.I. 1967 / 1996)

La valutazione degli afflussi medi mensili ed annui relativi al territorio studiato si è basata sulle misure effettuate in 6 stazioni pluviometriche del Servizio Idrografico di Stato; nella tab. 12 è riportato l'elenco delle stazioni pluviometriche considerate.

COD-UNI	STAZIONE PLUVIOMETRICA	QUOTA	GAUSS-BOAGA		BACINO	PERIODO	N°	s	%
194	CASTEL DEL PIANO	639	1706868	4751876	OMBRONE	1967-	30	0	0,0
195	VIVO D'ORCIA	800	1715579	4756816	OMBRONE	1967-	30	0	0,0
196	CASELLO DEL GUARDIANO	1380	1712699	4751966	OMBRONE	1967-	30	30	100,0
308	ABBADIA S. SALVATORE	829	1718449	4751316	TEVERE	1967-	30	18	60,0
315	PIANCASTAGNAIO	772	1719949	4747316	TEVERE	1967-	30	14	46,7
316	S. FIORA	687	1711449	4745316	FIORA	1967-	30	2	6,7

Tab. 12 - Stazioni pluviometriche considerate. COD-UNI = numero di codice assegnato alla stazione; STAZIONE PLUVIOMETRICA = denominazione della stazione negli Annali del Servizio Idrografico, Parte I; QUOTA = elevazione, in metri, rispetto al livello medio del mare; GAUSS-BOAGA = coordinate planimetriche relative alla proiezione cilindrica inversa di Gauss-Boaga; BACINO = bacino idrografico di appartenenza; PERIODO = arco temporale osservato; N° = numero di anni osservati; s = numero di anni ricostruiti; % = rapporto percentuale tra s ed N°.

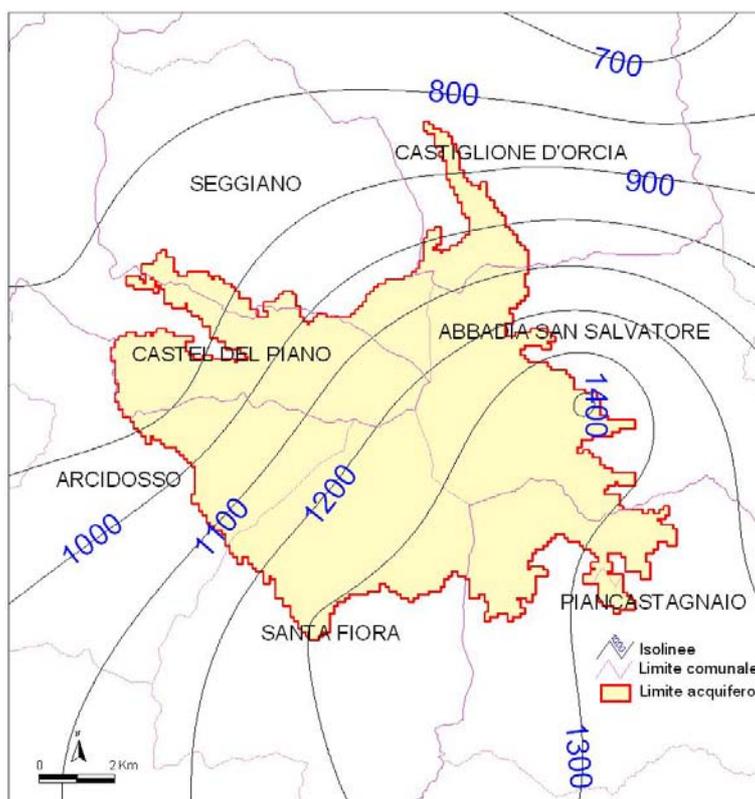


Fig 13 - Carta delle isoiete medie annue relative all'A.I. medio 1967-1996

Con i valori disponibili si è così proceduto alla costruzione, tramite tecniche di *gridding* e di *contouring*, della carta delle precipitazioni medie annue (fig. 3); il massimo valore di pioggia per tutto il territorio esaminato si registra ad Abbadia S. Salvatore (1416 mm/anno), mentre il valore medio è stimabile in 1171 mm/anno (pari a circa $97 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$).

2.2 – Temperature

La valutazione delle temperature medie mensili ed annue relative alla zona considerata si è basata sui dati registrati in 4 stazioni termometriche del Servizio Idrografico di Stato; nella tab.13 è riportato l'elenco delle stazioni termometriche considerate.

COD-UNI	STAZIONE TERMOMETRICA	QUOTA	GAUSS-BOAGA	BACINO	PERIODO	N°	s	%
194	CASTEL DEL PIANO	639	1706868 4751876	OMBRONE	1967-1996	30	0	0,0
308	ABBADIA S. SALVATORE	829	1718449 4751316	TEVERE	1967-1996	30	17	56,7
315	PIANCASTAGNAIO	772	1719949 4747316	TEVERE	1967-1996	30	17	56,7
316	S. FIORA	687	1711449 4745316	FIORA	1967-1996	30	2	6,7

Tab. 13 - Stazioni termometriche considerate. COD-UNI = numero di codice assegnato alla stazione; STAZIONE TERMOMETRICA = denominazione della stazione negli Annali del Servizio Idrografico, Parte I; QUOTA = elevazione, in metri, rispetto al livello medio del mare; GAUSS-BOAGA = coordinate planimetriche relative alla proiezione cilindrica inversa di Gauss-Boaga; BACINO = bacino idrografico di appartenenza; PERIODO = arco temporale osservato; N° = numero di anni osservati; s = numero di anni ricostruiti; % = rapporto percentuale tra s ed N°.

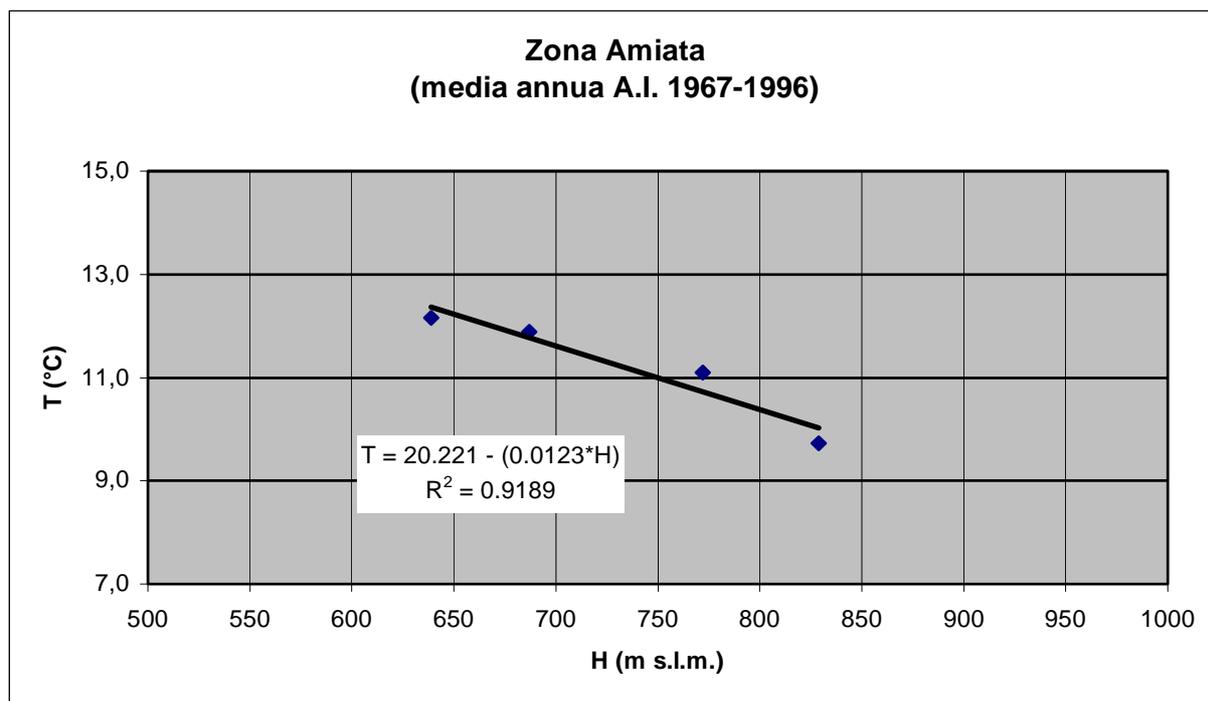


Fig. 14 - Retta di regressione relativa ai rapporti tra temperatura media annua e quota sul livello medio del mare, nella zona del M. Amiata (A.I. 1967-1996).

Sulla base di questi dati è stata effettuata la ricostruzione dei valori medi di temperatura in corrispondenza delle stazioni pluviometriche mancanti di termometro, attraverso l'adozione di un modello termometrico basato sulla variazione lineare della temperatura (T) in funzione della quota (H) del tipo:

$$T = a - (b \cdot H) \quad (3)$$

dove il parametro a (ordinata all'origine) rappresenta la temperatura media dell'aria nella pianura antistante il rilievo, e che è quindi indipendente dal rilievo stesso, ed il parametro b (coefficiente angolare) esprime il decremento unitario di temperatura in °C/m, ossia è il gradiente termometrico.

Il territorio in esame è stato quindi caratterizzato da un'unica e ad elevato grado di correlazione legge di dipendenza della temperatura dalla quota (fig. 14); grazie a questa procedura, sono stati stimati i valori medi mensili ed annui della temperatura in corrispondenza delle stazioni pluviometriche prive di rilevamenti termometrici; tale omogeneizzazione della serie dei dati termometrici con quella dei dati pluviometrici ha consentito di effettuare il calcolo dell'evapotraspirazione reale in ogni stazione.

L'esame della carta di fig.15 mostra che le isoterme si infittiscono ricalcando sostanzialmente l'andamento della morfologia; i valori medi più bassi, minori di 10 °C, si trovano in corrispondenza del rilievo amiatino. La temperatura media annua per l'intero territorio studiato è stimabile in 9,2 °C.

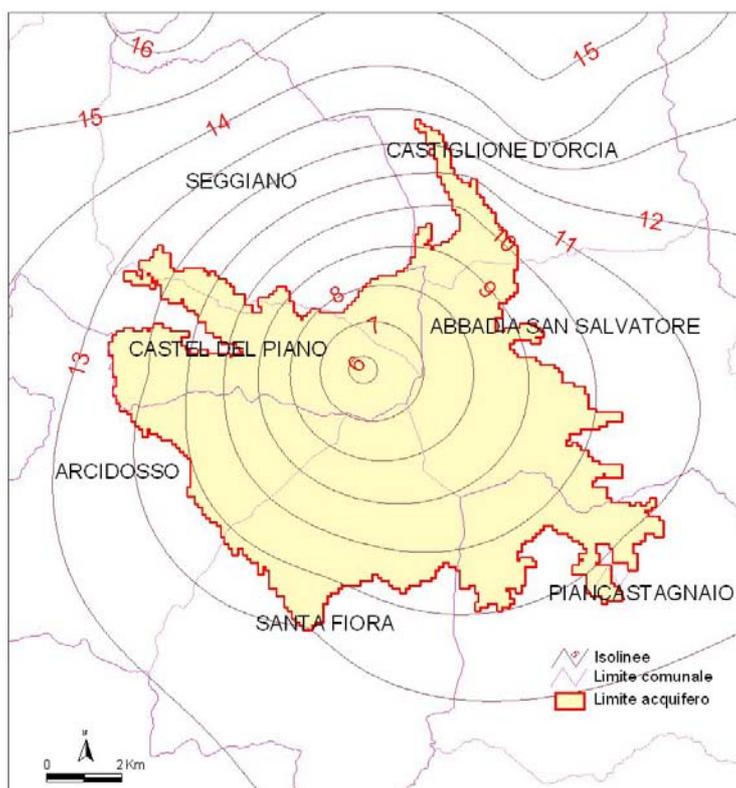


Fig 15 - Carta delle temperature medie annue relative all'A.I. medio 1967-1996.

2.3 - Evapotraspirazione reale

Con il termine *evapotraspirazione reale* (E_r) si intende la quantità d'acqua effettivamente restituita all'atmosfera sotto forma di vapore, sia per evaporazione diretta che per traspirazione delle piante, all'interno della zona considerata; la valutazione è stata effettuata per mezzo di formule parzialmente empiriche che si basano soprattutto sull'uso dei dati di temperatura dell'aria al suolo. Si è quindi fatto ricorso alla metodologia proposta da Thornthwaite & Mather (1957). Tale metodo si basa sul calcolo dell'*evapotraspirazione potenziale* media mensile (E_{pm}), intendendo con questo termine la quantità d'acqua che evaporerebbe nel caso in cui, superficialmente, ve ne fosse sempre una disponibilità sufficiente; detto calcolo è fondato sulla relazione sperimentale esistente tra E_{pm} e la corrispondente temperatura (T_m). L'equazione proposta, che fornisce E_{pm} in mm, è la seguente:

$$E_{pm} = K \cdot 16 \cdot (10 \cdot T_m / I)^\beta \quad (4)$$

dove:

K = coefficiente che tiene conto delle ore di insolazione media mensile ed è funzione esclusiva della latitudine e del mese (in pratica, è il rapporto tra le ore diurne e la metà delle ore giornaliere);

I = indice termico annuale, pari alla sommatoria degli indici mensili (i) dei dodici mesi dell'anno ciascuno espresso da:

$$i = (T_m / 5)^{1.514} \quad (5)$$

β = funzione cubica dell'indice termico annuale data da:

$$\beta = 0,49239 + (1,792 \cdot 10^{-5} \cdot I) - (771 \cdot 10^{-7} \cdot I^2) + (675 \cdot 10^{-9} \cdot I^3) \quad (6)$$

L'evapotraspirazione potenziale media annua (E_p) si ottiene come somma dei singoli valori mensili.

Successivamente, la determinazione dell' E_r avviene attraverso una procedura indiretta, per la quale ad essa si arriva in funzione delle caratteristiche di umidità che, caso per caso, presentano il terreno ed il suo manto vegetale. Operando in maniera analoga a quanto visto in precedenza (calcolo stazione per stazione dell'evapotraspirazione reale seguito dall'elaborazione della relativa distribuzione territoriale), è stata ottenuta la carta di fig.16.

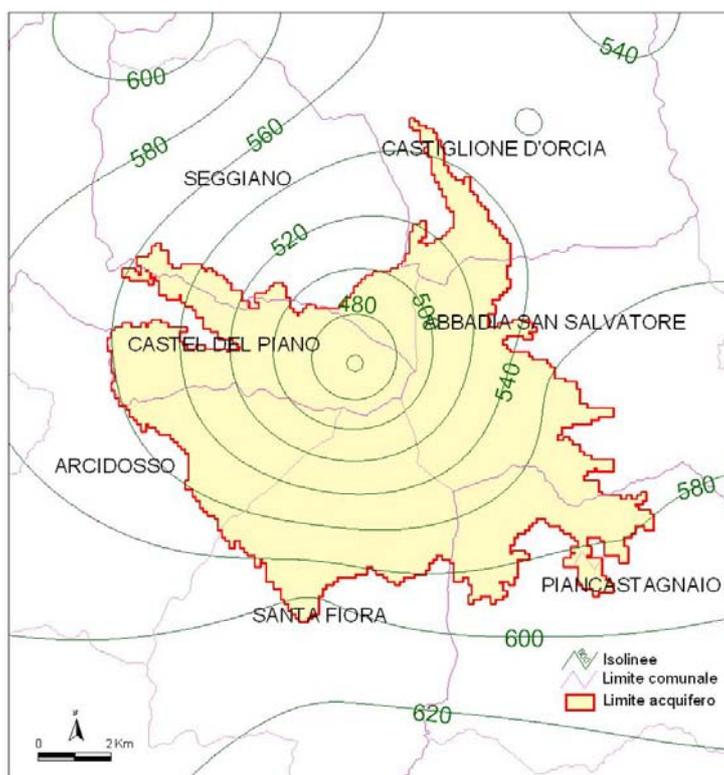


Fig.16 - Carta dell'evapotraspirazione media annua relativa all'A.I. medio 1967-1996.

L'esame di questa carta evidenzia che sul M. Amiata si riscontrano valori minori di 500 mm/anno (pari però a quasi il 40% delle precipitazioni); il valore medio è stimabile in 531 mm/anno (45 %), pari a circa $44 \cdot 10^6$ m³/anno.

2.4 - Eccedenza idrica

L'equazione generale del bilancio (5) può essere scritta anche nella forma seguente:

$$P - E_r = D + I_e \quad \text{oppure} \quad P - E_r = R + I_{ii} \quad (7)$$

dove il termine di sinistra costituisce il totale delle precipitazioni efficaci (P_e) e quello di destra rappresenta l'eccedenza idrica (W_s), detta anche deflusso idrico totale o risorsa idrica totale rinnovabile. Quest'ultimo parametro risulta pertanto dalla somma di tutti quei volumi d'acqua che, direttamente e/o indirettamente, confluiscono nel deflusso superficiale (D) con quelli che costituiscono il deflusso sotterraneo D_{sott} ($D_{sott} = I_e$) in uscita dal bacino considerato, oppure dalla somma di tutti quei volumi d'acqua che alimentano direttamente la rete idrografica (R) con quelli che si infiltrano nel sottosuolo della zona considerata (I_{ii}): esso rappresenta cioè la potenzialità idrica totale del territorio esaminato, quindi il massimo volume d'acqua (superficiale e sotterranea) teoricamente utilizzabile. La sua suddivisione in due componenti può risultare puramente teorica perché si tratta comunque di risorse interdipendenti: infatti, nella maggior parte dei casi, la captazione di acque sotterranee comporta una diminuzione del deflusso superficiale e viceversa.

Quindi, operando in modo simile a quanto visto in precedenza (calcolo stazione per stazione dell'eccedenza idrica seguito dall'elaborazione della relativa distribuzione territoriale), è stata ottenuta la carta di fig. 17.

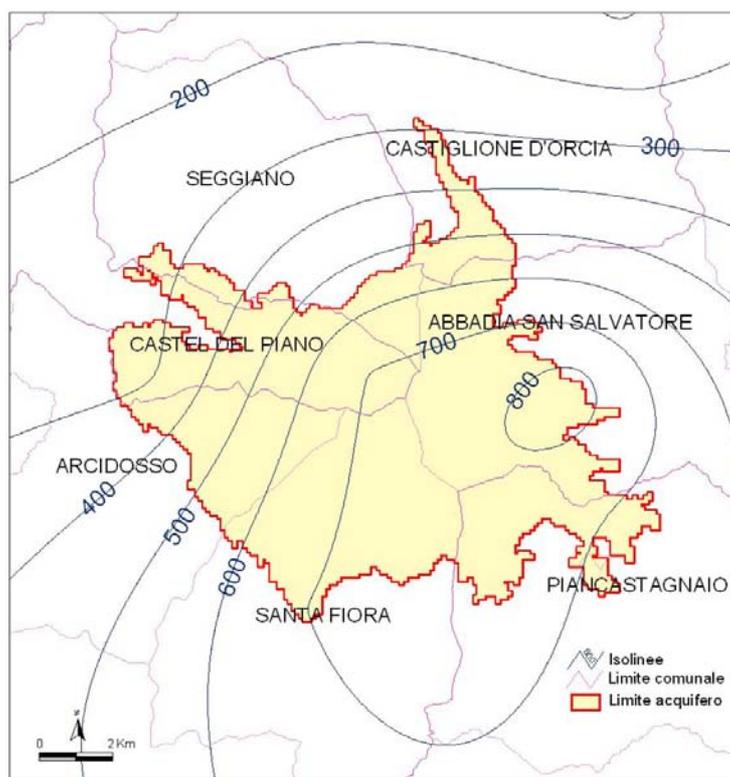


Fig. 17 - Carta dell'eccedenza idrica relativa all'A.I. medio 1967-1996.

L'esame di questo elaborato evidenzia che sul M. Amiata si riscontrano valori di W_s superiori a 800 mm/anno (dove rappresentano oltre il 60% delle precipitazioni); il valore medio per l'intero territorio indagato è stimabile in 640 mm/anno (55 %), pari a circa $53 \cdot 10^6$ m³/anno.

2.5 - Risultati dei calcoli di bilancio

Sulla base dei dati raccolti e delle loro integrazioni ed elaborazioni, si sono così acquisiti tutti gli elementi utili per procedere alla stesura del bilancio idrologico ed idrogeologico dell'acquifero del M. Amiata (per l'A.I. 1967-1996). Esso è basato sulla stima dell'infiltrazione totale potenziale interna (I_{ti}), che è stata valutata per mezzo di un procedimento fondato sulla conoscenza della distribuzione areale del W_s in rapporto all'affioramento delle rocce vulcaniche e sull'utilizzo dei cosiddetti *coefficienti di infiltrazione potenziale* (Celico, 1988); detti coefficienti consistono in percentuali di I_e rispetto a W_s basate sul grado di permeabilità dei litotipi affioranti all'interno dell'area considerata, in questo caso pari al 90 % del relativo W_s (corrispondente ad una permeabilità elevata; Barazzuoli & Salleolini, 1994a; Barazzuoli et alii, 1995b). I risultati ottenuti sono:

$$W_s = 640 \text{ mm/anno}; I_{ti} = 576 \text{ mm/anno} \approx 48 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}.$$

Un idoneo controllo sulla validità di queste determinazioni può essere eseguito attraverso la stima del valore medio annuo della portata complessiva (Q_{med}) erogata dall'acquifero del M. Amiata nello stesso A.I.; infatti, la sua particolare struttura idrogeologica consente di affermare che detta portata deve risultare della stessa entità dell' I_{ti} . Tale stima è stata effettuata sulla base della metodologia proposta da Barazzuoli & Salleolini (1994a) e Barazzuoli et alii (1995b) ed i relativi risultati sono riportati in Dipartimento di Scienze della Terra (1998b); si è così ricavato che Q_{med} è pari a 1617 l/s, corrispondente a circa $51 \cdot 10^6$ m³/anno, con uno scarto di appena il 6% dal valore dell' I_{ti} che è ampiamente soddisfacente in questo tipo di valutazioni.

In definitiva, le grandezze indagate possono essere così espresse (in 10^6 m³/anno):

$$P - E_r = D + I_e = R + I_{ti}$$

$$97 - 44 = 5 + 48 = 5 + 48$$

È utile ricordare che l'analisi storica delle portate sorgive e delle precipitazioni (Dipartimento di Scienze della Terra, 1998b, 1998c), ha evidenziato un'evoluzione climatica caratterizzata da un trend verso la diminuzione delle risorse idriche rinnovabili (con un tasso di decremento delle portate medie complessive pari a circa 45.7 l/s-anno, nell'A.I. 1967-1996) e da variazioni cicliche di varia durata che non sembrano sempre associabili a variazioni di portata; appare pertanto probabile un'influenza della variazione della distribuzione stagionale delle precipitazioni e della loro tipologia (neve – pioggia) sull'erogazione idrica.

2.5 - Metodologia di analisi per il calcolo del trend

Il procedimento qui adottato per la determinazione del trend è iniziato con l'applicazione di tecniche di "lisciamento" dei dati (meglio note con il nome di smoothing), effettuato con una funzione polinomiale di ordine otto. Com'è noto, una funzione polinomiale è un'equazione del tipo:

$$Y = a_0 + (a_1 \cdot X) + (a_2 \cdot X^2) + \dots + (a_n \cdot X^n) \quad (8)$$

dove n è, in questo caso, pari a 8.

In sintesi, i valori osservati vengono sostituiti, mediante operazioni di regressione, da una serie di dati definiti da una funzione polinomiale di tale ordine; si riducono così l'influenza delle variazioni accidentali e l'effetto delle fluttuazioni di brevissimo periodo, fino a far comparire i caratteri di periodicità (cioè i cosiddetti movimenti o variazioni cicliche) con la sequenza dei dati "lisciati".

A questa fase è seguita la valutazione analitica vera e propria del trend, che è stata eseguita tramite comparazioni con funzioni lineari del tipo:

$$y = a \pm (b \cdot t) \quad (9)$$

dove y indica il valore medio della variabile (PTOT, ecc.) dopo un dato numero di anni, t il tempo trascorso in anni, a l'importo medio annuo della variabile all'inizio del periodo di osservazione e b la variazione annua dell'importo stesso.

Tutto ciò è stato eseguito (per l'elaborazione ad esempio dei dati riguardanti l'ATO 6) per ogni stazione (20), per ogni variabile (4) e per ogni intervallo temporale (2) preso in considerazione, per un totale di 160 elaborazioni relative all'evoluzione temporale delle variabili mediante la sequenza dei valori lisciati e la retta del trend.

La figura 18 mostra un esempio delle elaborazioni grafiche del trend della stazione di Siena (PTOT, ER, PE).

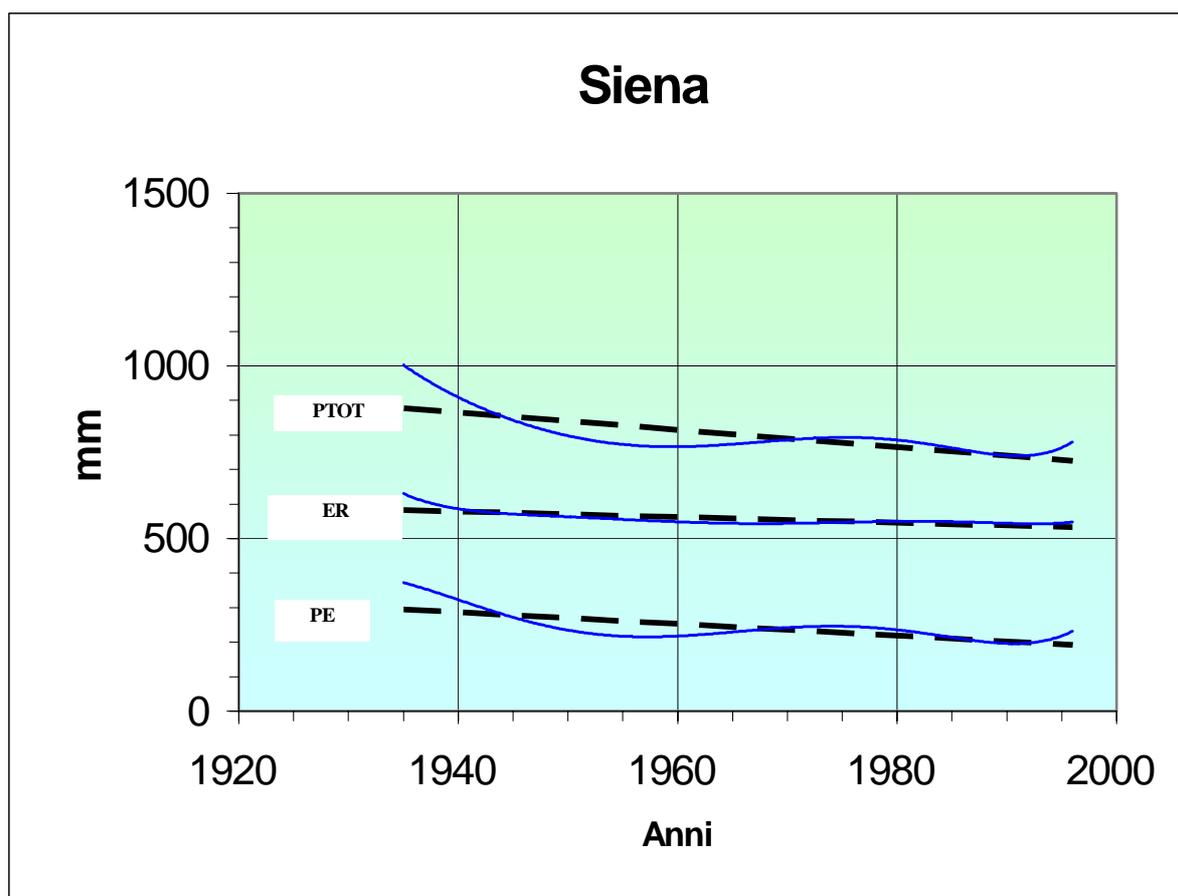


Fig.18 - Trend della stazione di Siena (PTOT, ER, PE)

Utilizzando la solita metodologia di analisi per le stazioni dell'acquifero amiatino si ottengono i grafici previsionali del trend (PTOT, ER, PE e TMED) illustrati nelle figg. 19, 20, 21, 22.

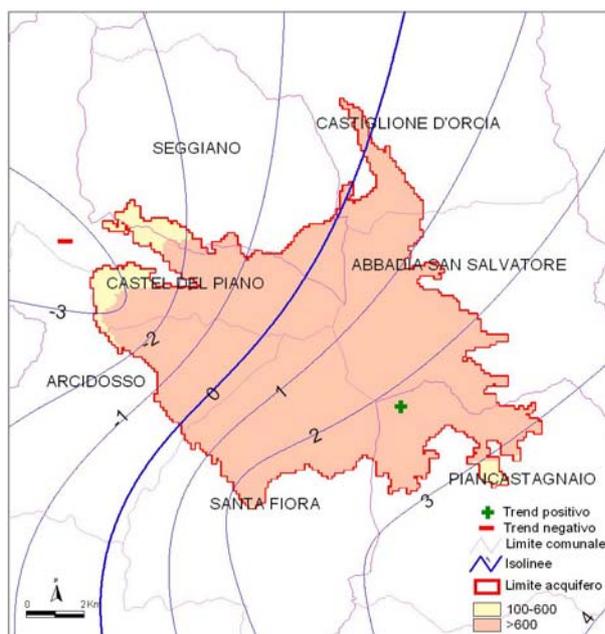


Fig.19 - Carta del trend delle precipitazioni totali annue (PTOT), in rapporto alla distribuzione territoriale delle principali fasce altimetriche: valori espressi in mm/anno (periodo 1967-1996)

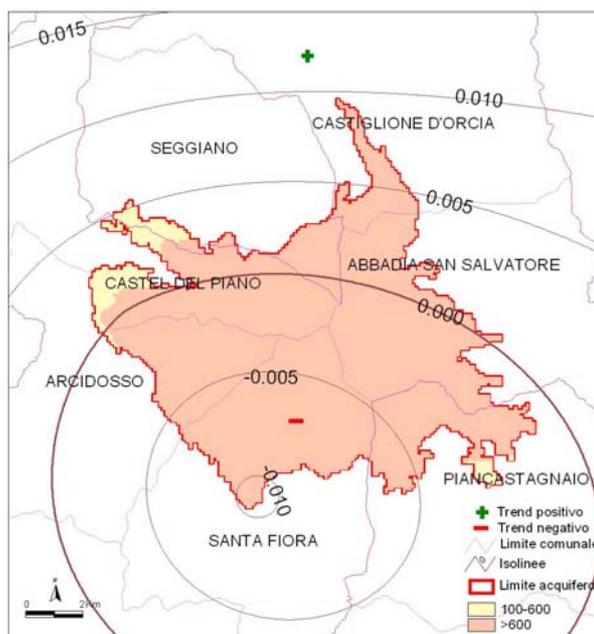


Fig.20 - Carta del trend delle temperature medie annue (TMED), in rapporto alla distribuzione territoriale delle principali fasce altimetriche: valori espressi in °C/anno (periodo 1967-1996)

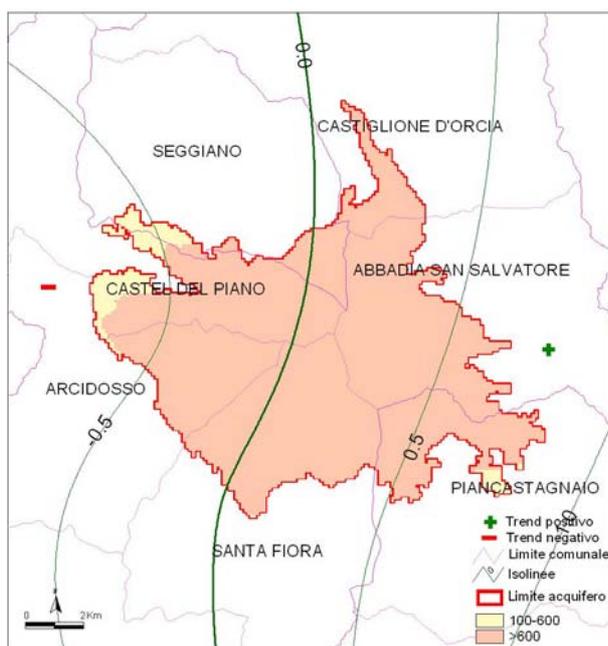


Fig.21 - Carta del trend dell' evapotraspirazione reale annua, in rapporto alla distribuzione territoriale delle principali fasce altimetriche: valori espressi in mm/anno (periodo 1967-1996)

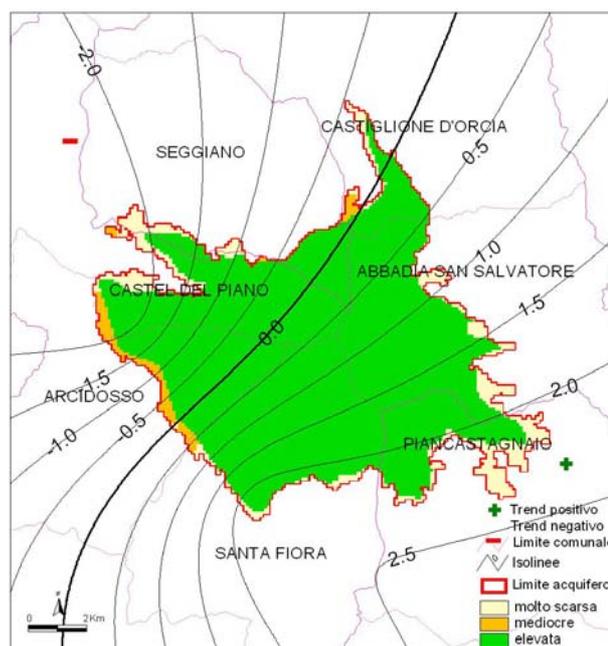


Fig.22 - Carta del trend delle precipitazioni efficaci annue (PE), in rapporto alla distribuzione territoriale delle formazioni idrogeologiche: valori espressi in mm/anno (periodo 1967-1996)

3 – L'ACQUIFERO DEL LUCO

3.1 – Introduzione

L'area oggetto di indagine è il territorio compreso tra la Montagnola Senese e Pian del Lago e l'abitato di Monteriggioni (vedi fig. 23); dal punto di vista idrografico, esso può essere suddiviso in una parte nord – occidentale, ricadente nel Bacino del F. Elsa (affluente di sinistra dell'Arno), e in una parte sud – orientale, compresa nel Bacino del F. Merse (affluente di destra dell'Ombrone). Gli studi si sono inizialmente spinti ben oltre tali limiti (fino ad interessare una superficie superiore ai 350 km² nella Provincia di Siena) dato che attraverso l'acquisizione di adeguate conoscenze a livello «regionale» sull'assetto geologico ed idrogeologico e sulle caratteristiche idroclimatiche, ci permettono un miglior inquadramento all'interno del suddetto territorio.

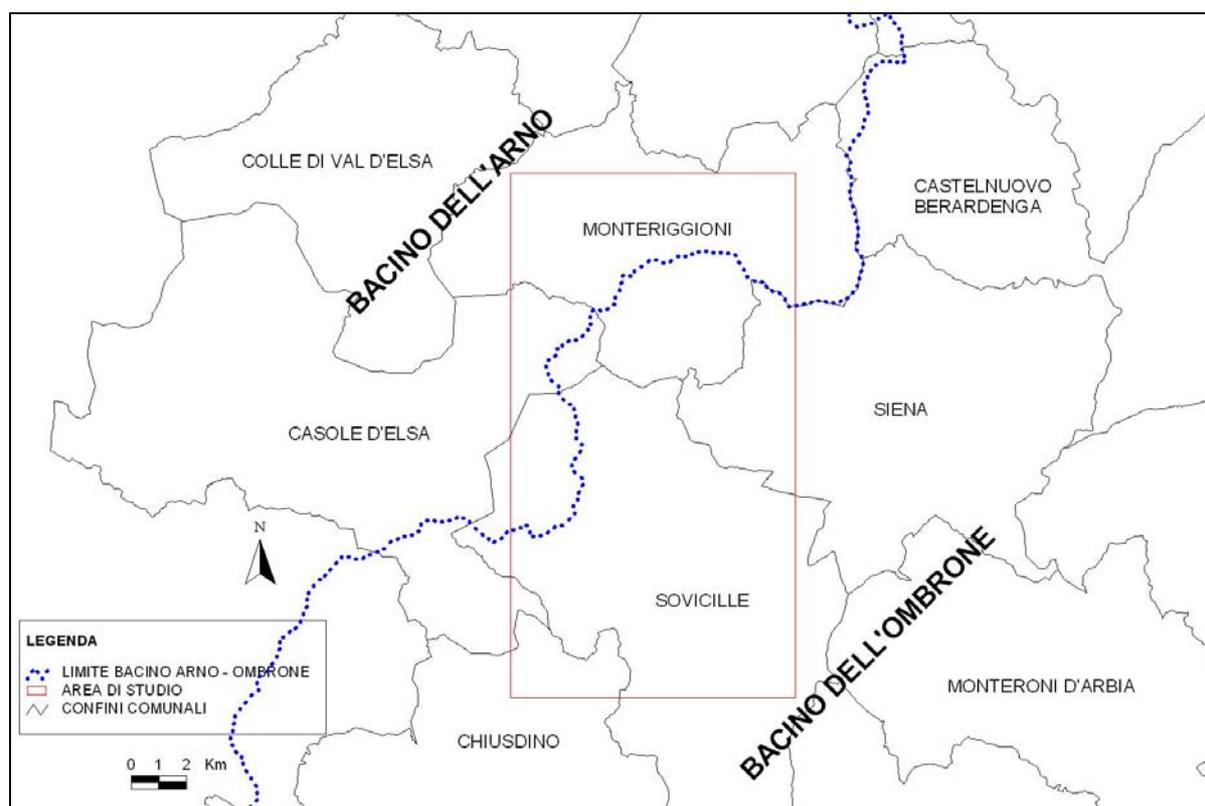


Fig.23 - Inquadramento geografico dell'area di studio

3.2 – Inquadramento geologico e idrogeologico

L'area di studio corrisponde ad un settore del Bacino dell'Elsa e del Merse dove affiorano, al di sopra di formazioni del Dominio toscano e del Dominio ligure, unità neogeniche di ambiente marino e continentale. L'insieme dei dati raccolti consente di affermare che la zona in esame è caratterizzata dalla presenza di un acquifero principale, costituito dalla Formazione della Breccia di Grotti (Miocene sup.). Questa fa parte del Complesso Neautoctono e presenta un aspetto monotono essendo composta quasi in prevalenza da porzioni risedimentate di «Calcare cavernoso». I clasti della breccia consistono in blocchi (e in subordinate ciottoli), di varie dimensioni, costituiti da calcare spesso vacuolare e brecciato; è proprio quest'ultimo aspetto che favorisce processi di dissoluzione tali da portare localmente allo sviluppo di fenomeni carsici. La Breccia di Grotti affiora diffusamente in gran parte dell'area esaminata (vedi fig. 24) e rappresenta l'oggetto principale della ricerca a causa delle sue peculiari caratteristiche idrogeologiche.

L'acquifero in esame è limitato verso il basso da un substrato di minore permeabilità relativa composto dai depositi argillosi miocenici (verso N) e soprattutto dalle rocce metamorfiche del Dominio toscano (Gruppo calcareo – siliceo della Montagnola Senese). Lateralmente, esso è confinato dalle formazioni di bassa permeabilità relativa rappresentate dalle rocce del gruppo del Verrucano e di facies ligure e dai depositi

sabbioso – argillosi miocenici e pliocenici; solamente lungo il margine N dell'affioramento della Breccia di Grotti, esiste un probabile limite idraulicamente aperto verso i calcari lacustri della piana del Casone (Monteriggioni).

3.3 – Caratteristiche Idrodinamiche dell'acquifero

L'insieme dei dati raccolti consente di affermare che la zona in esame è caratterizzata dalla presenza di un acquifero principale, costituito dalla Formazione della Breccia di Grotti (di età miocenica) che contiene una rilevante falda di base che satura il complesso carbonatico almeno fino alla quota di 185÷190 m s.l.m. e che è caratterizzata da una notevole stabilità della relativa superficie piezometrica nel corso del periodo indagato, pur in presenza di periodi con forti differenze di apporto meteorico e di prelievo dell'acqua sotterranea per i vari usi, denotandone così l'importante potenzialità idrica.

La falda (vedi fig. 24) presenta un zona di alto piezometrico, con valori sui 188÷193 m s.l.m., nel settore nord – est tra le località di Caggio, S. Colomba e Ferratore che contrassegna la zona nelle vicinanze di M. Maggio come la principale area di ricarica idrica dell'acquifero. A partire da questa zona, le acque sotterranee defluiscono quasi radialmente nelle varie direzioni (ad esclusione di quella SW che è limitata dalla faglia a cui è dovuta la brusca risalita di quota del substrato calcareo – siliceo di bassa permeabilità), in particolare verso il bacino dell'Elsa a nord e verso quello del Merse a sud. L'alto piezometrico appare legato (almeno in parte) alla particolare struttura morfologica delle formazioni del substrato. Nel settore sud dell'area di studio si notano in corrispondenza degli abitati di Rosia e di Stigliano rispettivamente un basso (circa 181 m s.l.m.) e un alto piezometrico (circa 199 m s.l.m.).

Gli unici dati reperibili riguardo la trasmissività dell'acquifero sono contraddittori solo in apparenza (pari a circa $5 \cdot 10^{-3}$ m²/s nella zona dell'ex – aeroporto di Pian del Lago ed a $2 \div 3 \cdot 10^{-2}$ m²/s nella zona del Luco); infatti, in questo tipo di acquiferi la distribuzione spaziale della porosità e della permeabilità varia normalmente in modo forte da un settore all'altro, pur rimanendo quasi sempre assai favorevoli allo sfruttamento idrico tramite pozzi. Comunque sia, una valutazione attendibile dei principali parametri idrodinamici in una zona qualsiasi dell'acquifero non può prescindere dalla locale perforazione di pozzi pilota ed esecuzione di adeguate prove di pompaggio e/o con traccianti (ed anche in tal modo permarrà un certo grado di incertezza causata dalla presenza di un mezzo talvolta discontinuo).

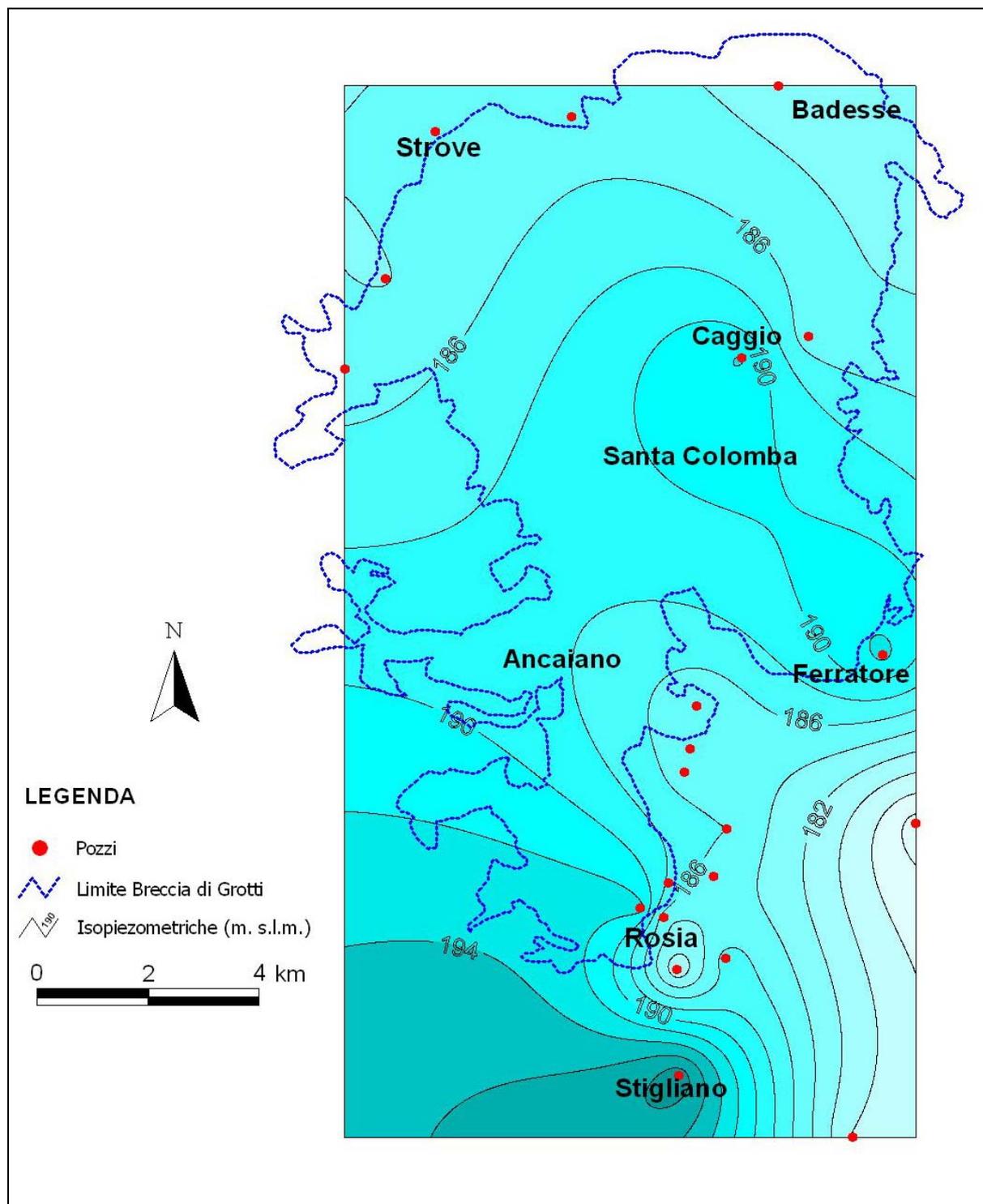


Fig.24 - Carta delle Isopieze dell'acquifero del Luco

3.4 – Potenzialità idrica dell'acquifero

3.4.1 – *Risorse rinnovabili*

Nonostante la grande importanza che assume la conoscenza dei quantitativi d'acqua disponibili in un determinato ambito territoriale al fine di una corretta utilizzazione del patrimonio idrico, si deve purtroppo rilevare il notevole grado di incertezza che ancora sussiste riguardo la risorsa razionalmente estraibile dall'acquifero ospitato nella Breccia di Grotti della zona Monteriggioni –Rosia, il quale per quantità e qualità è

uno dei più importanti serbatoi naturali della Toscana meridionale. A tale scopo, sono certamente da preferirsi le valutazioni basate su misure periodiche e di lungo periodo della portata del deflusso sotterraneo in uscita dall'acquifero; infatti dato che l'entità della risorsa disponibile è variabile nel tempo (in funzione soprattutto dell'andamento climatico), misure saltuarie o riferite a non lunghi intervalli temporali possono condurre a stime che hanno validità solo in relazione al periodo cui si riferiscono, ma che non sono utilizzabili per previsioni a breve – medio periodo.

In relazione all'acquifero indagato, che non presenta emergenze sorgentizie evidenti e misurabili, non sono purtroppo disponibili misure storiche dei livelli piezometrici (oltre a quelle effettuate nell'anno di indagine); risulta così impossibile stimare, attraverso l'analisi dell'escursione di tali livelli, valori attendibili sull'entità media della risorsa idrica. Si è perciò dovuti ricorrere a valutazioni indirette le quali, seppur generalmente meno precise delle precedenti, forniscono risultati comunque affidabili e di buona validità statistica, che possono essere utilizzati per definire le leggi della variabilità temporale della risorsa e per previsioni circa l'entità disponibile a breve – medio termine; ben si capisce che quest'ultimi aspetti sono estremamente importanti per un corretto e pianificato sfruttamento delle risorse (*infatti, si pianifica per l'uso futuro della risorsa ed i dati storici sono utili solo se permettono di valutare la risorsa di domani*).

Quindi, l'assenza di misure storiche dirette ha consigliato l'adozione di stime indirette basate sul fatto che l'acquifero in oggetto, per la sua particolare struttura idrogeologica, risulta alimentato pressoché esclusivamente dall'infiltrazione meteorica, frazione delle precipitazioni efficaci (o *eccedenza idrica*), relativamente all'area di affioramento della Breccia di Grotti: esiste pertanto una stretta dipendenza tra il regime dei locali parametri climatici e quello dell'acquifero. Con questi presupposti la risorsa idrica rinnovabile dell'acquifero risulta bilanciata (in regime naturale e su lungo periodo) dall'infiltrazione totale (I_t) relativa all'affioramento della roccia serbatoio; per valutare tale parametro si è fatto ricorso a calcoli di bilancio. Il primo passo è stato quello di valutare i valori medi annui dei principali parametri del bilancio idrico, relativamente al periodo 1967 – 1996 (precipitazioni P , evapotraspirazione reale E_r ed eccedenza idrica W_s); a questo punto, l'entità dell'infiltrazione media annua I_t (e, di conseguenza, quella della risorsa rinnovabile) è stata ricavata attraverso l'uso dei cosiddetti *coefficienti di infiltrazione potenziale* (c.i.p.). Tale procedura consiste nel valutare l'infiltrazione media annua come porzione, variabile soprattutto in funzione del tipo litologico costituente l'area di alimentazione dell'acquifero (e quindi del suo grado di permeabilità relativa), della corrispondente eccedenza idrica. Per l'area di alimentazione dell'acquifero in oggetto, costituita da roccia carbonatica dotata di un elevato grado di permeabilità, si è ipotizzato che la quota di infiltrazione corrispondesse mediamente a circa il 90 % del W_s . E quindi:

$$I_t = W_s \cdot \text{c.i.p.}$$

vale a dire:

$$I_t = W_s \cdot 0,90$$

A questo scopo è stato effettuato il calcolo del W_s ($W_s = P - E_r$) in tutte le stazioni pluviometriche della zona in esame, arrivando poi a definire l'andamento spaziale di questo parametro attraverso la costruzione delle tre carte tematiche (figg. 25, 26, 27); dalle quali si è potuto ricavare il valore del W_s relativo all'intera area di alimentazione dell'acquifero in esame (circa 100,2 km²) che è risultato pari a 277 mm/anno. Sulla base di questo valore medio, e tramite la metodologia suddetta, è stato definito il valore medio annuo dell'infiltrazione (I_t) e quindi della ricarica:

$$I_t = 277 \cdot 0,90 = 249 \text{ mm/anno}$$

il quale, in funzione dell'estensione dell'area di alimentazione, definisce un volume idrico di ricarica (I_t) pari a:

$$I_t = 0,249 \text{ m/anno} \cdot 100,2 \cdot 10^6 \text{ m}^2 \approx 25 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$$

che corrispondono ad una portata di circa 790 l/s (tab. 17).

Ciò significa che, in termini di sfruttamento razionale, dall'acquifero in oggetto può essere mediamente emunta una portata complessiva di circa 0,8 m³/s senza che il sistema idrogeologico ne risulti sensibilmente alterato; questo, appunto, in termini di situazione media, ma lo sfruttamento della risorsa è ovviamente legato a valori medi solo a livello pianificatorio e deve sempre confrontarsi con la sua naturale variabilità temporale. Il che significa, tradotto in termini di previsionalità statistica, che nel prossimo futuro i valori annui della ricarica ricadranno, con la probabilità del 66 %, nel range media \pm SQM (scarto quadratico medio) e, con la probabilità del 99 %, nel range media \pm 3 volte SQM; quest'ultimo parametro, insieme al coefficiente di variazione (CV) che ne esprime il rapporto percentuale rispetto alla media, è l'indice della maggiore o minore variabilità temporale del parametro.

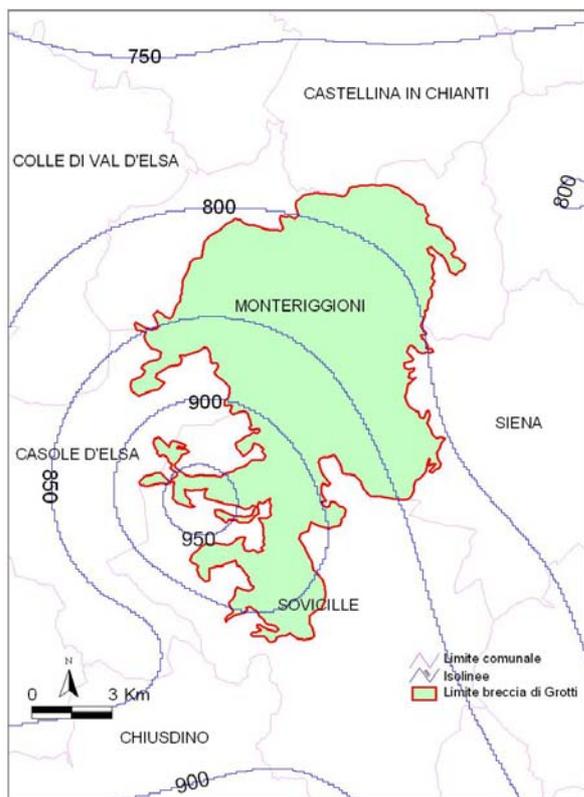


Fig.25 - Carta degli Afflussi (mm)

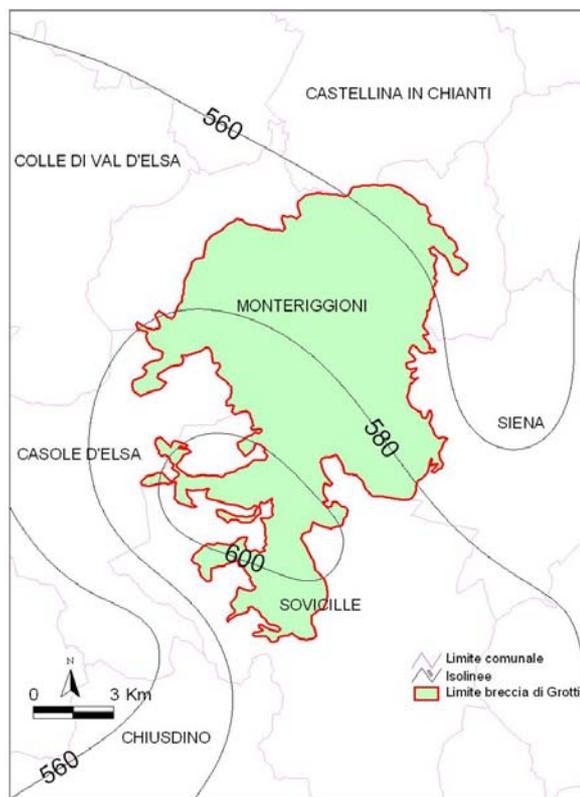


Fig.26 - Carta dell'evapotraspirazione (mm)

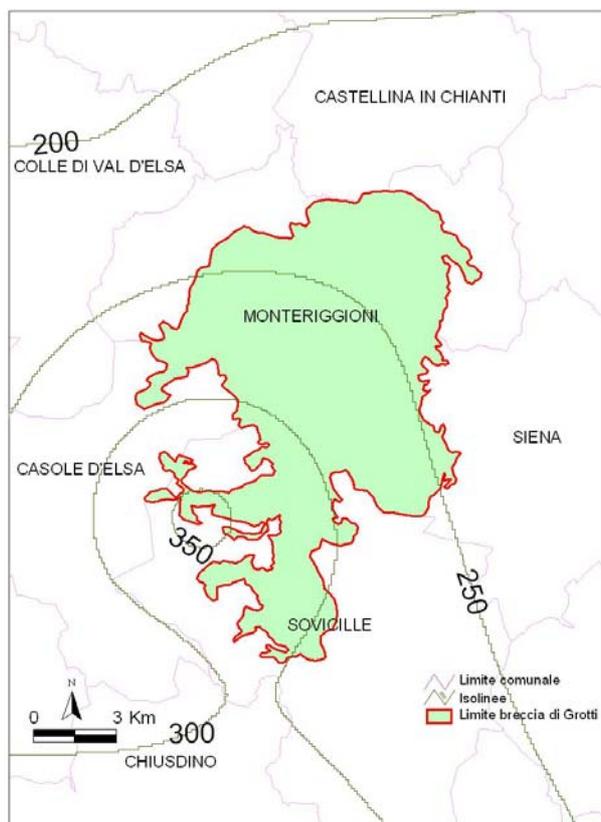


Fig.27 - Carta dell'Eccedenza Idrica (WS) in mm

Nel caso in esame (vedi tab. 14), il CV ed lo SQM assumono, come del resto fanno tutti i parametri statistici idroclimatici, valori piuttosto elevati; ciò indica, appunto, la scarsa possibilità previsionale offerta, per tali

fenomeni, dall'analisi statistica dei soli valori medi in quanto, per essere certi del range in cui cadranno i prossimi valori di ricarica, bisogna fare riferimento all'intervallo 269 – 1316 l/s.

		W_s (mm/anno)	c.i.p.	I_t (mm/anno)	Sup.alim. (km ²)	I_t (10 ⁶ m ³ /anno)	I_t (l/s)
Valore medio	Media	277	0,9	249	100,2	25,0	792
	CV	0.22					
	SQM	61					
Range del valore atteso con la probabilità del 66 %	max	338	0,9	304	100,2	30,5	967
	min	216	0,9	194	100,2	19,5	618
Range del valore atteso con la probabilità del 99 %	max	460	0,9	414	100,2	41,5	1316
	min	94	0,9	85	100,2	8,5	269

Tab.14 – Variabilità statistica dei valori della risorsa idrica rinnovabile (I_t), in relazione all'intera area di alimentazione dell'acquifero contenuto nella Breccia di Grotti.

Risulta evidente che i range di tab. 14 (soprattutto quello corrispondente alla probabilità del 99 %) risultano troppo ampi per consentire corrette azioni pianificatorie nello sfruttamento futuro della risorsa; per questo occorre allora far riferimento ad analisi statistiche più sofisticate come, ad esempio, la *trend analysis* con la quale, sulla base delle serie storiche di un determinato parametro, è possibile ricavare indicazioni circa il valore medio tendenziale che esso probabilmente assumerà nel breve-medio termine. Una prima elaborazione effettuata in quest'area fornisce un trend negativo per la risorsa futura valutabile in circa -2,2 mm/anno; ciò significa, pur con la prudenza necessaria nella lettura di questo tipo di risultati, che nel prossimo futuro è lecito attendersi valori medi della risorsa inferiori di un 10÷15 % rispetto a quanto precedentemente calcolato (e quindi pari 22÷21·10⁶ m³/anno, corrispondenti a circa 710÷670 l/s di ricarica meteorica).

È anche da ricordare che l'acquifero è attualmente sfruttato con un prelievo di circa 8·10⁶ m³/anno, soprattutto con i prelievi del Luco per l'approvvigionamento idrico della città di Siena (circa 6·10⁶ m³/anno). Inoltre, nel settore settentrionale dell'affioramento esiste il passaggio di discrete quantità d'acqua verso i calcari lacustri, dove alimentano tra l'altro i pozzi per uso potabile della zona di S. Luigi, attualmente non quantificabili in modo attendibile a causa della carenza dei dati necessari alla corretta definizione della velocità effettiva dell'acqua di falda e dei rapporti geometrici tra i due terreni nella zona di contatto.

Comunque, tali quantitativi non sono certamente trascurabili visto che mantengono abbastanza costante il livello piezometrico all'interno dei calcari lacustri.

Nella tab. 15 sono invece riportati i risultati delle elaborazioni relative alla valutazione della risorsa idrica rinnovabile per il solo settore settentrionale dell'acquifero (all'incirca, a N di S. Colomba); si può così notare che tale quantitativo corrisponde a circa il 60 % della risorsa totale rinnovabile dell'acquifero.

W_s (mm/anno)	c.i.p.	I_t (mm/anno)	Sup. alim. (km ²)	I_t (10 ⁶ m ³ /anno)
277	0,9	249	61,2	15

Tab.15 – Valutazione della risorsa idrica rinnovabile (I_t), in relazione al solo settore settentrionale dell'acquifero

Ovviamente, per quest'ultimi valori valgono le stesse considerazioni viste in precedenza sulla variabilità statistica della risorsa e sui suoi quantitativi tendenziali; considerando sempre un trend negativo di circa -2,2 mm/anno, nel prossimo futuro è lecito attendersi valori medi della risorsa pari a circa 13.5÷13 ·10⁶ m³/anno (circa 420 l/s).

3.4.2 – Riserve permanenti

La ricostruzione della carta a isobate della base dell'acquifero, insieme a quella dell'andamento della superficie piezometrica media, ha consentito la valutazione del relativo spessore saturo medio (*anche se a titolo soprattutto indicativo*) in relazione al solo settore settentrionale dell'acquifero (all'incirca, a N di S.

Colomba); si è preferito operare in tal modo, rispetto alla costruzione di una vera e propria carta delle isopache, a causa dell'incertezza esistente sui dati di base utilizzati per costruire le suddette carte.

Tale spessore è stato valutato in circa 95 m il quale, moltiplicato per l'estensione della zona considerata (pari a circa 61 km²), porta a ricavare un volume di acquifero saturo di circa $5,8 \cdot 10^9$ m³; il quantitativo d'acqua immagazzinato è adesso ricavabile dal prodotto tra detto volume e la porosità efficace dell'acquifero stesso. Riguardo quest'ultimo parametro, non erano disponibili adeguate conoscenze raccolte attraverso misure dirette (né si sono potute effettuare); è comunque probabile che esso presenti valori simili ad altri acquiferi dello stesso tipo per i quali si ritrovano in letteratura porosità efficaci dell'ordine del 5÷10 %. Di conseguenza, si può così stimare che nell'acquifero in esame si trova mediamente immagazzinato un volume d'acqua pari a circa $290\div580 \cdot 10^6$ m³, che comunque sia è notevolmente maggiore (circa 20÷40 volte) di quanto stimato per le risorse rinnovabili; esso consentirebbe, se confermato dagli studi successivi, uno sfruttamento continuativo dell'acquifero sia in periodi secchi che umidi (tuttavia, sempre entro i limiti dei valori medi delle risorse rinnovabili prevedibili per il prossimo futuro).

4 – STIMA DELLA VARIABILITA' SPAZIO-TEMPORALE DEI PRINCIPALI PARAMETRI CLIMATICI

4.1 – Variabilità Climatica

PTOT (precipitazioni totali annue), - TMED (temperatura media annua), - ER (evapotraspirazione reale annua), - PE (precipitazioni efficaci annue).

METODOLOGIA DI CALCOLO $Y=A \pm (B \cdot T)$								
Stazione termo-pluviometrica	y = PTOT		y = TMED		y = ER		y = PE	
	a (mm)	b (mm/anno)	a (°C)	b (°C/anno)	a (mm)	b (mm/anno)	a (mm)	b (mm/anno)
S. Donato	620,9	0,39423	14,4	0,02720	500,6	0,45881	120,3	-0,06458
Manciano	987,5	-4,07952	12,6	0,03410	596,9	-0,78496	390,6	-3,29455
Orbetello	693,4	-0,77905	16,0	0,00882	558,6	-0,42909	134,8	-0,34996
Alberese	606,4	0,79162	14,5	0,00220	494,7	0,36435	111,7	0,42727
Poggibonsi	822,0	-1,68669	14,6	-0,01846	586,2	-0,96823	235,8	-0,71846
Montepulciano	753,4	-1,05294	13,6	0,00969	542,0	-0,20583	211,4	-0,84712
Montevarchi	850,9	-1,30382	13,8	0,01017	577,1	-0,24697	273,8	-1,05685
Castel di Pietra	900,4	-1,05300	15,9	-0,01437	644,7	-0,76779	255,7	-0,28522
Grosseto	642,3	-0,66986	15,6	-0,00622	529,0	-0,51068	113,3	-0,15918
Larderello	964,0	-0,59308	13,7	0,00864	604,6	0,09818	359,4	-0,69125
Suvereto	940,7	-4,43558	15,5	0,00856	644,2	-1,35610	296,5	-3,07948
Monte Oliveto	788,0	-1,43908	14,7	-0,00332	576,3	-0,61146	211,7	-0,82761
Siena	879,8	-2,50382	13,6	0,00251	582,9	-0,81037	296,9	-1,69345
Cotorniano	1011,9	-3,85680	12,7	0,00151	593,3	-0,99782	418,5	-2,85899
Pienza	663,2	0,03562	13,0	0,01992	494,2	0,42488	169,0	-0,38926
Castel del Piano	1098,4	-4,90770	12,7	-0,01042	603,3	-1,31430	495,1	-3,59340
Massa Marittima	880,9	1,13519	13,2	0,02470	576,8	0,83252	304,2	0,30268
Follonica	704,0	-1,86964	14,1	0,02502	537,0	-0,56255	167,0	-1,30709
Pitigliano	996,3	-2,08656	14,0	-0,00090	613,7	-0,42098	382,7	-1,66558
S. Fiora	1457,3	-1,88879	12,5	-0,01089	637,2	-0,53551	820,1	-1,35328
MA	863,1	-1,59246	14,0	0,00592	574,7	-0,41720	288,4	-1,17527
SQM	196,1	1,65162	1,1	0,01431	45,3	0,58352	162,1	1,16518
CV	0,23	-1,03715	0,08	2,41620	0,08	-1,39868	0,56	-0,99142

Tab.16 - Parametri delle rette rappresentative del trend relative alle varie stazioni termo-pluviometriche considerate (periodo 1935-1996). Il significato dei simboli è riportato nel testo.

METODOLOGIA DI CALCOLO $Y=A \pm (B \cdot T)$								
Stazione termo-pluviometrica	y = PTOT		y = TMED		y = ER		y = PE	
	a (mm)	b (mm/anno)	a (°C)	b (°C/anno)	a (mm)	b (mm/anno)	a (mm)	b (mm/anno)
S. Donato	652,3	-1,30828	15,4	0,02612	529,6	-0,54613	122,7	-0,76214
Manciano	965,6	-10,37210	13,7	0,03702	631,9	-4,18110	333,7	-6,19104
Orbetello	703,8	-3,74073	16,0	0,00222	572,0	-2,36725	131,8	-1,37348
Alberese	688,7	-3,09159	14,4	0,00663	535,0	-1,54929	153,7	-1,54230
Poggibonsi	739,4	-0,46946	13,3	0,02098	534,4	0,11240	205,0	-0,58185
Montepulciano	641,3	2,64872	13,7	0,02567	501,0	1,50395	140,3	1,14477
Montevarchi	871,9	-4,85284	13,7	0,03219	582,4	-1,06835	289,6	-3,78448
Castel di Pietra	907,2	-3,57962	14,9	0,01709	624,0	-1,04577	283,2	-2,53385
Grosseto	604,2	0,16456	14,5	0,04545	499,3	0,29561	104,9	-0,13105
Larderello	873,9	2,43477	13,1	0,05459	568,4	2,06720	305,6	0,36757
Suvereto	753,6	-1,75798	15,8	-0,00338	582,7	-0,67778	170,9	-1,08020
Monte Oliveto	718,4	-0,72859	13,8	0,04285	535,7	0,41011	182,7	-1,13870
Siena	727,1	1,76369	13,1	0,03860	525,4	1,01417	201,7	0,74952
Cotorniano	882,9	-3,67960	12,4	0,02258	559,4	-0,96258	323,6	-2,71702
Pienza	646,3	-0,29855	13,4	0,03246	500,9	0,26747	145,4	-0,56603
Castel del Piano	874,0	-3,16607	12,1	0,00058	540,9	-0,71107	333,1	-2,45500
Massa Marittima	938,9	0,31057	14,4	0,00325	624,2	-0,20143	314,7	0,51199
Follonica	644,5	-2,03334	15,3	0,00389	527,5	-1,10178	117,0	-0,93156
Pitigliano	799,4	4,52954	13,6	0,01310	554,3	1,91955	245,1	2,60999
S. Fiora	1272,3	2,61152	12,1	-0,01101	601,5	0,15426	670,8	2,45726
MA	795,3	-1,23077	13,9	0,02054	556,5	-0,33339	238,8	-0,89738
SQM	154,3	3,27150	1,1	0,01782	40,1	1,42397	126,5	2,00435
CV	0,19	-2,65810	0,08	0,86763	0,07	-4,27119	0,53	-2,23356

Tab.17 - Parametri delle rette rappresentative del trend relative alle varie stazioni termo-pluviometriche considerate (periodo 1967-1996). Il significato dei simboli è riportato nel testo.

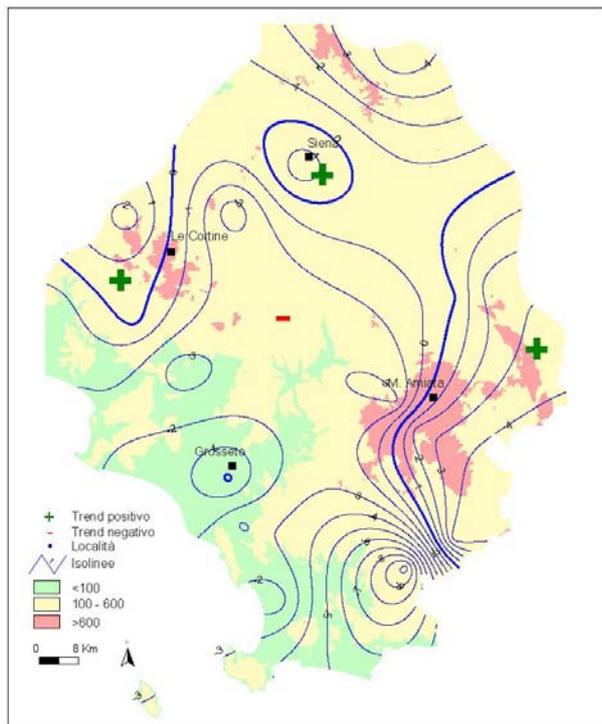


Fig.28 – Carta del trend delle precipitazioni totali annue (PTOT), in rapporto alla distribuzione territoriale delle principali fasce altimetriche: valori espressi in mm/anno (periodo 1967-1996)

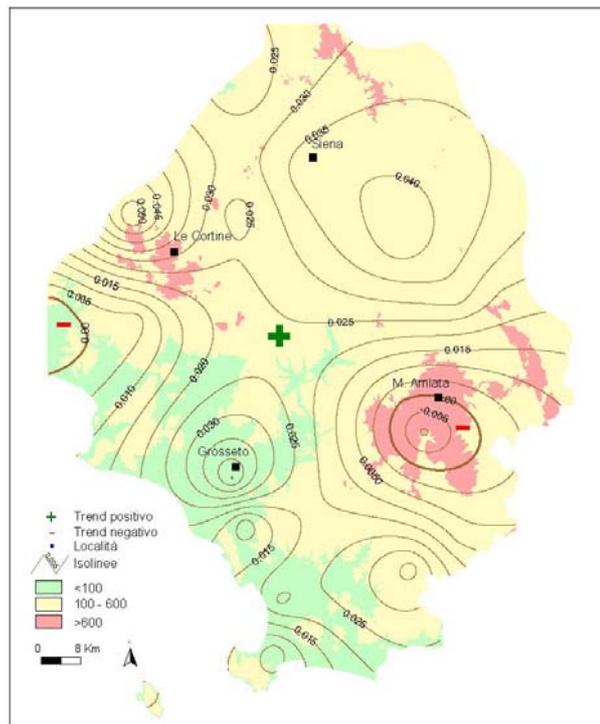


Fig.29 – Carta del trend delle temperature medie annue (TMED), in rapporto alla distribuzione territoriale delle principali fasce altimetriche: valori espressi in °C/anno (periodo 1967-1996)

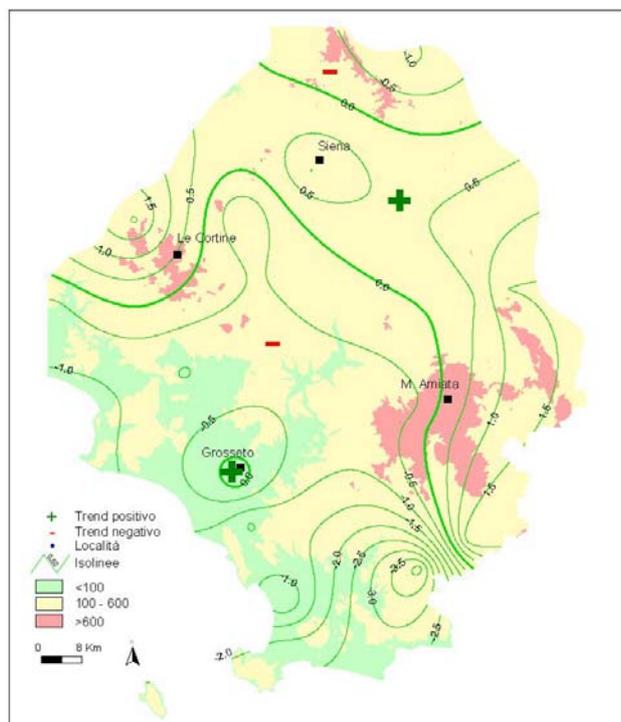


Fig.30 – Carta del trend dell' evapotraspirazione reale annua, in rapporto alla distribuzione territoriale delle principali fasce altimetriche: valori espressi in mm/anno (periodo 1967-1996)

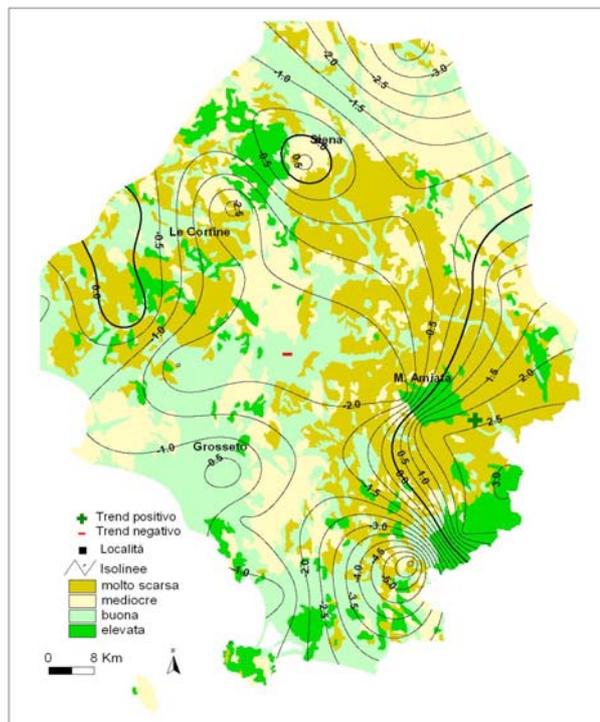


Fig.31 – Carta del trend delle precipitazioni efficaci annue (PE), in rapporto alla distribuzione territoriale delle formazioni idrogeologiche: valori espressi in mm/anno (periodo 1967-1996)

4.2 – Riflessi sulle risorse idriche rinnovabili

L'aspetto di maggior interesse scaturito dallo studio della variabilità climatica nel territorio dell'A.T.O. 6 è certamente l'evidente diminuzione delle precipitazioni efficaci (PE) in quanto esse rappresentano le risorse idriche totali naturali potenziali rinnovabili; in altre parole, PE costituisce la risorsa idrica potenziale dei sistemi idrici naturali, siano essi caratterizzati da acque superficiali (bacini idrografici) o da acque sotterranee (complessi idrogeologici). Si è quindi ritenuto opportuno e corretto indagare sull'incidenza della suddetta diminuzione sulle risorse rinnovabili di tali sistemi, in modo da fornire una stima previsionale ai risultati ottenuti con gli anzidetti calcoli di bilancio.

4.2.1 – Risorse potenziali nei bacini idrografici

La distribuzione del trend delle PE (relativo al trentennio 1967-1996) rispetto ai principali bacini idrografici è mostrato nella fig. 31 ed è quantitativamente sintetizzato nella tab. 18.

BACINO E SOTTOBACINO IDROGRAFICO	Area (km ²)	PE (mm/anno)	PE (mm)	PE (10 ⁶ m ³)	PE (l/s·anno)
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	540,0	-0,79	-23,7	-12,8	-13,5
OMBRONE A BUONCONVENTO	765,6	-0,88	-26,4	-20,2	-21,4
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	67,3	-1,73	-51,9	-3,5	-3,7
MERSE A CASA MALLECCHI	265,2	-1,81	-54,3	-14,4	-15,2
MERSE A ORNATE	503,2	-1,57	-47,1	-23,7	-25,1
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	670,5	-1,64	-49,2	-33,0	-34,9
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	582,5	-0,14	-4,2	-2,4	-2,6
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	887,0	-0,67	-20,1	-17,8	-18,8
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	2686,0	-0,99	-29,7	-79,8	-84,3
OMBRONE ALLA FOCE	3608,2	-1,25	-37,5	-135,3	-143,0
BRUNA A LEPRI	232,5	-1,48	-44,4	-10,3	-10,9
BRUNA ALLA FOCE	561,6	-1,58	-47,4	-26,6	-28,1
ALBEGNA A MONTEMERANO	223,7	-1,56	-46,8	-10,5	-11,1
ALBEGNA ALLA FOCE	748,7	-2,55	-76,5	-57,3	-60,5
PECORA E MINORI TOTALE	229,1	-0,61	-18,3	-4,2	-4,4

Tab. 18 - Coefficienti angolari medi relativi alla variabile PE, nei bacini e sottobacini idrografici considerati (periodo 1967-1996).

È ora possibile effettuare una stima previsionale delle risorse idriche totali potenziali rinnovabili (W_s) nei vari bacini idrografici presenti nell'A.T.O. 6 (tab. 19), che è stata eseguita con proiezioni a 5, 10 e 14 anni e considerando la costanza nel tempo del trend della tab. 18.

BACINO E SOTTOBACINO IDROGRAFICO	$W_{s(67-96)}$	$W_{s(67)}$	$W_{s(96)}$	$W_{s(01)}$	$W_{s(06)}$	$W_{s(10)}$
ARBIA A CONFLUENZA OMBRONE	113,2	119,6	106,8	104,7	102,5	100,8
OMBRONE A BUONCONVENTO	156,3	166,4	146,2	142,8	139,5	136,8
FARMA A PONTE DI TORNIELLA	27,4	29,2	25,7	25,1	24,5	24,1
MERSE A CASA MALLECCHI	99,7	106,9	92,5	90,1	87,7	85,8
MERSE A ORNATE	167,8	179,7	156,0	152,0	148,1	144,9
MERSE A CONFLUENZA OMBRONE	228,8	245,3	212,3	206,8	201,3	196,9
ORCIA A MONTE AMIATA SCALO	102,9	104,1	101,7	101,2	100,8	100,5
ORCIA A CONFLUENZA OMBRONE	187,1	196,0	178,2	175,2	172,2	169,9
OMBRONE A SASSO D'OMBRONE	668,0	707,9	628,1	614,8	601,5	590,9
OMBRONE ALLA FOCE	862,4	930,1	794,8	772,2	749,7	731,6
BRUNA A LEPRI	72,5	77,7	67,4	65,7	63,9	62,6
BRUNA ALLA FOCE	144,6	157,9	131,3	126,8	122,4	118,9
ALBEGNA A MONTEMERANO	81,6	86,9	76,4	74,7	72,9	71,5
ALBEGNA ALLA FOCE	189,6	218,3	161,0	151,5	141,9	134,3
PECORA E MINORI TOTALE	52,7	54,8	50,6	49,9	49,2	48,7
TERRITORIO A.T.O. 6 "Ombrone"	1777,6	1891,2	1664,1	1626,3	1588,5	1558,2

Tab.19 - Stima previsionale delle risorse idriche totali potenziali nei principali bacini e sottobacini idrografici del territorio dell'A.T.O. 6; valori espressi in 10^6 m³/anno. $W_{s(67-96)}$ = valore medio delle risorse idriche totali potenziali nell'A.I. 1967-1996; $W_{s(67)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1953-1982, che ha come anno intermedio il 1967; $W_{s(96)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1982-2011, che ha come anno intermedio il 1996; $W_{s(01)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1987-2016, che ha come anno intermedio il 2001; $W_{s(06)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1992-2021, che ha come anno intermedio il 2006; $W_{s(10)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1996-2025, che ha come anno intermedio il 2010.

A questo punto, è possibile effettuare una stima previsionale delle risorse idriche potenziali rinnovabili (I_{ti}) nei vari complessi idrogeologici presenti nel territorio dell'A.T.O. 6 (tab. 20), che è stata eseguita con proiezioni a 5, 10 e 14 anni e considerando la costanza nel tempo del trend riportato nella tab. 19 (solo di quelli ritenuti attendibili).

COMPLESSO IDROGEOLOGICO	$I_{ti(67-96)}$	$I_{ti(67)}$	$I_{ti(96)}$	$I_{ti(01)}$	$I_{ti(06)}$	$I_{ti(10)}$
ROCCE A PERMEABILITA' ELEVATA	239,2	243,2	235,2	233,9	232,6	231,5
ROCCE A PERMEABILITA' BUONA	340,5	375,0	306,0	294,5	283,0	273,8
ROCCE A PERMEABILITA' MEDIOCRE	91,7	99,3	83,9	81,3	78,8	76,7
ROCCE A PERMEABILITA' MOLTO SCARSA	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VULCANITI DEL M. AMIATA	48,0	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
VULCANITI DELLA ZONA DI PITIGLIANO	64,5	60,1	68,8	70,2	71,7	72,9
ROCCE CARBONATICHE DELLA DORSALE RAPOLANO T.-M. CETONA	10,6	(*)	(*)	(*)	(*)	(*)
ROCCE CARBONATICHE DELLA ZONA M. MAGGIO-MONTAGNOLA SENESE	24,9	25,8	24,0	23,7	23,4	23,2
ROCCE CARBONATICHE DEL SETTORE ORBETELLO-CAPALPIO	11,0	13,0	9,0	8,4	7,7	7,2

Tab. 20 - Stima previsionale delle risorse idriche potenziali nei complessi idrogeologici considerati; valori espressi in 10^6 m³/anno. $I_{ti(67-96)}$ = valore medio delle risorse idriche potenziali nell'A.I. 1967-1996; $I_{ti(67)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1953-1982, che ha come anno intermedio il 1967; $I_{ti(96)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1982-2011, che ha come anno intermedio il 1996; $I_{ti(01)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1987-2016, che ha come anno intermedio il 2001; $I_{ti(06)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1992-2021, che ha come anno intermedio il 2006; $I_{ti(10)}$ = valore medio delle risorse nel trentennio 1996-2025, che ha come anno intermedio il 2010. (*) = stime non eseguite per l'inattendibilità del trend medio ricavato dalla carta di fig. 31.

5 – VALUTAZIONE SPEDITIVA DELLA DOMANDA D’ACQUA

Questo tipo di analisi, per la complessità delle valutazioni necessarie, per l’assenza di dati storici sistematici sui consumi idropotabili, irrigui e produttivi, statisticamente confrontabili con le risorse valutate attraverso i bilanci idrici, dovrebbe comportare un impegno di studio paragonabile a quello reso necessario alla valutazione della risorsa. Troppi, infatti, sono i parametri non conosciuti per valutare l’incidenza dei consumi d’acqua sulle risorse del bacino testè valutate, troppi e di complessa valutazione quelli che permetterebbero di individuare la domanda tendenziale futura d’acqua al bacino (da confrontare con l’analogia valutazione del trend delle risorse), elemento fondamentale per valutare la sostenibilità dei modelli di sviluppo previsti, o prevedibili, in sede pianificatoria. Così qui ci limiteremo, per quanto consentono i dati disponibili (e andando anche un po’ oltre con uno sforzo estrapolativo di ignota precisione), a fare il punto sull’attuale domanda d’acqua all’interno dell’ATO6; **si prega, quindi, il lettore di considerare i dati che seguono come estremamente indicativi della reale domanda d’acqua.**

5.1 - Domanda d’acqua ai fini idropotabili e produttivi

Per analizzare la domanda d’acqua ai fini idropotabili e produttivi si aveva a disposizione quanto valutato dalle varie AATO Toscane (Tab 21a) ed in particolare quanto riferibile all’AATO 6-Ombrone.

Da questa tabella si desume, in relazione all’approvvigionamento idrico dichiarato, in rapporto agli abitanti residenti, come la dotazione teorica nell’ATO 6 corrisponda a ca. **394 l/gg per abitante.**

A.A.T.O.	Corsi d’acqua	Laghi ed invasi	Sorgenti	Pozzi	Totali	Popolazione Residente	Dotazione Teorica
	mc/anno	mc/anno	mc/anno	mc/anno	mc/anno		l/gg x ab
1 - Toscana Nord	1642000	0	52927000	38859000	93428000	531487	481,61
%	1,76%	0,00%	56,65%	41,59%	100%		
2 - Basso Valdarno	3271638	1579500	7842211	62296775	74990124	766179	268,15
%	4,40%	2,10%	10,50%	83,10%	100%		
3 - Medio Valdarno	95115802	5345220	11926901	46646247	159034170	1207359	360,88
%	59,81%	3,36%	7,50%	29,33%	100%		
4 - Alto Valdarno	10371200	2771000	5762805	8554208	27459213	297497	252,88
%	37,80%	10,10%	21,00%	31,20%	100%		
5 - Toscana Costa	63072	0	3314434	26789832	30167338	370512	223,07
%	0,20%	0,00%	11,00%	88,80%	100%		
6 - Ombrone	0	50000	31567536	22081558	53699094	373642	393,75
%	0,00%	0,09%	58,79%	41,12%	100%		
Regione Toscana	110463712	9745720	113340887	205227620	438777939	3546676	338,95
%	25,20%	2,20%	25,80%	46,80%	100%		
Approvvigionamento	Risorse Superficiali		Risorse Sotterranee				
	27,40%		72,60%				

Tab. 21a – Approvvigionamento idropotabile nelle ATO Toscane (fonte Regione Toscana)

Estrapolando questa dotazione teorica giornaliera alla popolazione residente nel territorio in esame, si ottengono i risultati riportati in tab. 21b.

Comune	Superficie (Km ²)	Popolazione Dati ISTAT 2001	Fluttuanti	Tot. Inverno (mc)	Tot. Estate (mc)	Ipotesi fabbisogno Idropotabile	
						Dotazione teorica ATO 6 (l/gg ab.) (10 ⁶ m ³ /anno)	393,39 l/s
ABBADIA SAN SALVATORE	59,13	6816	2898	388103,04	515055,06	0,90	28,64
ARCIDOSSO	92,73	4103	6579	233624,82	521789,23	0,76	23,95
ASCIANO	215,78	6468	2603	368340,48	482343,12	0,85	26,98
BUONCONVENTO	64,51	3153	1196	179531,82	231908,56	0,41	13,05
CAMPAGNATICO	161,93	2421	1440	137851,74	200919,36	0,34	10,74
CAPALBIO	187,02	3713	5253	211418,22	441505,58	0,65	20,70
CASOLE D'ELSA	148,35	2924	862	166492,56	204269,53	0,37	11,76
CASTEL DEL PIANO	67,77	4331	5246	246607,14	476397,71	0,72	22,93
CASTELL'AZZARA	64,40	1826	1990	103972,44	191137,94	0,30	9,36
CASTELLINA IN CHIANTI	99,78	2666	1556	151802,04	219941,17	0,37	11,79
CASTELNUOVO BERARDENGA	177,00	7417	534	422323,98	445720,19	0,87	27,53
CASTIGLION DELLA PESCAIA	141,51	7244	26064	412473,36	1554070,23	1,97	62,36
CASTIGLIONE D'ORCIA	208,97	2505	3270	142634,70	285845,63	0,43	13,59
CETONA	53,12	2855	2203	162563,70	259048,91	0,42	13,37
CHIUSDINO	141,86	1923	1442	109495,62	172634,72	0,28	8,95
CINIGIANO	161,71	2692	2744	153282,48	273447,78	0,43	13,53
CIVITELLA PAGANICO	193,27	3043	2216	173268,42	270308,20	0,44	14,07
COLLE VAL D'ELSA	92,30	19473	2051	1108792,62	1198607,13	2,31	73,17
FOLLONICA	55,88	20924	29849	1191412,56	2498788,95	3,69	117,02
GAIOLE IN CHIANTI	129,10	2333	2045	132841,02	222403,26	0,36	11,26
GAVORRANO	163,71	8135	2344	463206,90	565889,87	1,03	32,63
GROSSETO	473,68	69899	24287	3980049,06	5043820,83	9,02	286,15
ISOLA DEL GIGLIO	21,58	1401	8861	79772,94	467891,73	0,55	17,77
MAGLIANO IN TOSCANA	250,82	3719	1925	211759,86	296094,31	0,51	16,10
MANCIANO	372,73	6866	4883	390950,04	604814,58	1,00	31,58
MASSA MARITTIMA	283,30	8825	3523	502495,50	656813,06	1,16	36,76
MONTALCINO	243,68	5115	411	191248,10	309255,16	0,60	19,04
MONTE ARGENTARIO	60,69	12148	24062	691707,12	1745640,24	2,44	77,29
MONTERIGGIONI	99,25	7877	1217	448516,38	501819,93	0,95	30,13
MONTERONI D'ARZIA	105,81	7161	953	407747,34	449496,10	0,86	27,18
MONTEROTONDO MARITTIMO	102,51	1205	1416	68612,70	130639,11	0,20	6,32
MONTICIANO	109,28	1412	1380	80399,28	140836,27	0,22	7,02
MONTIERI	108,28	1249	2738	71118,06	191055,23	0,26	8,31
MURLO	114,60	1927	764	109723,38	143204,98	0,25	8,02
ORBETELLO	227,23	14551	12672	828533,94	1383558,08	2,21	70,14
PIANCASTAGNAIO	69,56	4189	2958	238521,66	368099,93	0,61	19,24
PIENZA	122,65	2231	927	127033,14	167651,51	0,29	9,34
PITIGLIANO	102,64	4136	3892	235503,84	405964,33	0,64	20,34
RADDA IN CHIANTI	80,20	1668	1412	94975,92	156807,50	0,25	7,98
RADICOFANI	118,44	1220	961	69466,80	111548,96	0,18	5,74
RAPOLANO TERME	82,92	4771	1731	271660,74	347458,51	0,62	19,63
ROCCALBEGNA	124,87	1242	1743	70719,48	147071,29	0,22	6,91
ROCCASTRADA	284,37	9189	4634	523221,66	726192,79	1,25	39,62
SAN CASCIANO DEI BAGNI	92,08	1745	1698	99360,30	173731,82	0,27	8,66
SAN GIOVANNI D'ASSO	66,41	903	1027	51416,82	96399,42	0,15	4,69
SAN QUIRICO D'ORCIA	42,21	2460	1086	140072,40	187652,34	0,33	10,39
SANTA FIORA	63,39	2730	5416	155446,20	392675,76	0,55	17,38
SARTEANO	85,09	4528	3728	257824,32	421121,93	0,68	21,53
SCANSANO	273,76	4383	4285	249568,02	437252,07	0,69	21,78
SCARLINO	88,86	3120	1610	177652,80	248163,44	0,43	13,50
SEGGIANO	49,62	953	2731	54263,82	173879,17	0,23	7,23
SEMPRONIANO	81,83	1332	7	75844,08	76160,49	0,15	4,82
SIENA	118,49	48844	11845	2781177,36	3299989,94	6,08	192,83
SORANO	174,30	3915	4818	222920,10	433959,01	0,66	20,83
SOVICILLE	143,60	8346	2021	475221,24	563750,68	1,04	32,95
TREQUANDA	63,95	1417	1426	80683,98	143134,74	0,22	7,10
TOTALI AATO 6	7582,50	373642	253434	21275228,04	32375637,51	53,65	1701,26

Tab. 21b – Ipotesi fabbisogno Idropotabile ATO 6

5.2 – Domanda d'acqua ai fini irrigui

Per questo, si è partiti dai dati forniti dall'Agenzia Regionale Toscana ARSIA relativi sia a superfici irrigate ed irrigabili, che ai fabbisogni idrici ad esse relativi ed inerenti il territorio dell' ATO6. Tali dati sono sintetizzati in tabb.22 nella quale, accanto alle stime ARSIA, è stata riportata, in relazione ai fabbisogni irrigui colturali reperiti in letteratura, una nuova stima teorica della domanda d'acqua per l'agricoltura.

Cultura	frumento			granturco			patata			ortive		
	Fabbisogni	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno	
		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.
		0	3000		3564	5500		1333	3000		2844	6000
Comune	Sup ha	m3 / anno		Sup ha	m3 / anno		Sup ha	m3 / anno		Sup ha	m3 / anno	
Abbadia S. Salvatore	5,81	0	17430	0	0	0	0,28	360	840	0,78	2.124	4680
Arcidosso	0	0	0	0	0	0	0,13	170	390	6,64	18.094	39840
Asciano	0	0	0	15,30	53.244	84150	0	0	0	12,36	35.844	74160
Buonconvento	0	0	0	144,56	503.069	795080	0	0	0	0,26	754	1560
Campagnatico	0	0	0	22,83	91.320	125565	0	0	0	8,90	26.700	53400
Capalbio	19,38	0	58140	50,65	192.470	278575	1,60	2.128	4800	241,28	687.648	1447680
Casole d'Elsa	0	0	0	21	64.890	115500	0	0	0	0	0	0
Castel del Piano	34,15	0	102450	2	6.960	11000	0,30	418	900	0	0	0
Castell'Azzara	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Castellina in Chianti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,2	580	1200
Castelnuovo B.	0	0	0	36,64	127.507	201520	0	0	0	0,11	319	660
Castiglion della P.	22	0	66000	22,50	83.700	123750	0,03	39	90	252,93	705.675	1517580
Castiglion d'Orcia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
Cetona	0	0	0	133,30	435.891	733150	0	0	0	0	0	0
Chiusdino	4	0	12000	0	0	0	0	0	0	0,00	0	0
Cinigiano	4,50	0	13500	0,30	1.200	1650	0	0	0	2,90	8.700	17400
Civitella Paganico	4,50	0	13500	70,15	280.600	385825	0	0	0	4,12	12.360	24720
Colle Val D'Elsa	0	0	0	15,49	47.864	85195	0	0	0	0,01	26	60
Follonica	0	0	0	1,20	4.464	6600	0	0	0	5,85	16.320	35100
Gaiole in Chianti	0	0	0	0,77	2.680	4235	0	0	0	0,38	1.102	2280
Gavorrano	17,52	0	52560	110,91	412.585	610005	0	0	0	62,90	175.491	377400
Grosseto	63,64	0	190920	295,31	1.181.240	1624205	0	560	1200	611,95	1.835.850	3671700
Isola del Giglio	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Magliano in Toscana	0	0	0	12,65	48.070	69575	0	0	0	52,85	150.625	317100
Manciano	29,50	0	88500	90,82	345.116	499510	0	0	0	219,44	625.404	1316640
Massa Marittima	9,18	0	27540	24,68	91.810	135740	0	0	0	13,14	36.661	78840
Montalcino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	58	120
Monte Argentario	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,02	5.757	12120
Monteriggioni	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,60	1.740	3600
Monteroni d'Arbia	0	0	0	109	379.320	599500	0	0	0	2,96	8.584	17760
Monterotondo M.	11	0	33000	1,3	4.836	7150	0	0	0	0	0	0
Monticiano	2,16	0	6480	48,71	169.511	267905	0	0	0	0,48	1.392	2880
Montieri	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,24	3.464	7440
Murlo	5	0	15000	39	135.720	214500	0	0	0	0,40	1.160	2400
Orbetello	51,74	0	155220	162,99	619.362	896445	3,94	5.240	11820	373,78	1.065.273	2242680
Piancastagnaio	1	0	3000	0	0	0	0	0	0	0,88	2.398	5280
Pienza	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,16	3.364	6960
Pitigliano	1,50	0	4500	4	14.400	22000	1,70	2.142	5100	1,06	2.862	6360
Radda in Chianti	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Radicofani	0	0	0	2,50	8.175	13750	0	0	0	0	0	0
Rapolano	6,95	0	20850	41,06	123.180	225830	0	0	0	0,29	725	1740
Roccalbegna	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	5.450	12000
Roccastrada	22,92	0	68760	104,02	386.954	572110	0	0	0	60,12	167.735	360720
S. Casciano dei Bagni	29,20	0	87600	109,50	358.065	602250	0	0	0	0	0	0
S. Giovanni d'Asso	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
S. Quirico d'Orcia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,02	58	120
Santa Fiora	1,4	0	4200	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sarteano	16,58	0	49740	39,61	129.525	217855	0,50	654	1500	13,03	35.507	78180
Scansano	6,85	0	20550	5,6	21.280	30800	0	0	0	0,12	342	720
Scarlino	11,50	0	34500	12,80	47.616	70400	0,30	391	900	36,55	101.975	219300
Seggiano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,40	1.160	2400
Semproniano	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siena	55	0	165000	22,17	77.152	121935	0,12	167	360	22,28	64.612	133680
Sorano	0,60	0	1800	3,59	12.924	19745	13,97	17.602	41910	0,00	0	0
Sovicille	36	0	108000	172,92	601.762	951066	0,19	264	570	1,68	4.872	10080
Trequanda	0	0	0	13	39.000	71500	0	0	0	0	0	0
Totale superficie irrigata (10 ³ ha) e fabbisogni irrigui (10 ³ m ³)	0,47	0,00	1420,74	1,96	7103,46	10795,57	0,02	30,14	70,38	2,02	5818,76	12108,54

Coltura	foraggiere			vite			fruttiferi			girasole		
	Fabbisogni	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno	
		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.
		2300	7000		1553	2000		2274	4000		1542	2467
Comune	Sup ha	m3 / anno		Sup ha	m3 / anno		Sup ha	m3 / anno		Sup ha	m3 / anno	
Abbadia S. Salvatore	0	0	0	3,08	5.036	6160	0,81	1.766	3240	0,00	0	0
Arcidosso	3	6.540	21000	1	1.635	2000	1,6	3.488	6400	0	0	0
Asciano	13,96	32.387	97720	10,63	18.496	21260	0	0	0	0	0	0
Buonconvento	0	0	0	0	0	0	0,05	116	200	7,06	12.284	17.418
Campagnatico	116,29	290.725	814030	12,25	18.375	24500	0,08	192	320	29,48	44.220	72.733
Capalbio	171,53	407.384	1200710	4,82	6.869	9640	11,43	26.060	45720	42,47	60.520	104.782
Casole d'Elsa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	25	38.625	61.680
Castel del Piano	8,43	19.558	59010	0	0	0	0,10	232	400	0	0	0
Castell'azzara	0	0	0	0,2	327	400	0,28	610	1120	0	0	0
Castellina in Chianti	0	0	0	10,5	18.270	21000	0,09	209	360	0	0	0
Castelnuovo B.	0	0	0	38,87	67.634	77740	3,40	7.888	13600	25	43.500	61.680
Castiglion della P.	76,20	177.165	533400	54,48	76.000	108960	156,01	348.214	624040	26,80	37.386	66.121
Castiglion d'Orcia	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cetona	0	0	0	0	0	0	0,50	1.090	2000	80,76	132.043	199.251
Chiusdino	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cinigiano	49,30	123.250	345100	0,60	900	1200	0,10	240	400	3	4.500	7.402
Civitella Paganico	40,27	100.675	281890	0,80	1.200	1600	0,14	336	560	20	30.000	49.344
Colle Val D'Elsa	0,30	618	2100	0	0	0	0	0	0	2,50	3.863	6.168
Follonica	3,93	9.137	27510	1,73	2.413	3460	8,11	18.102	32440	0,00	0	0
Gaiole in Chianti	0	0	0	2,4	4.176	4800	0	0	0	0	0	0
Gavorrano	64	148.800	448000	1,51	2.106	3020	85,41	190.635	341640	61,60	85.932	151.980
Grosseto	876,42	2.191.050	6134940	61,66	92.490	123320	94,17	226.008	376680	315,23	472.845	777.735
Isola del Giglio	0,6	1.425	4200	1,1	1.568	2200	0,22	502	880	0	0	0
Magliano in Toscana	131,19	311.576	918330	80,19	114.271	160380	2,89	6.589	11560	117,44	167.352	289.748
Manciano	369,38	877.278	2585660	24,17	34.442	48340	5,59	12.745	22360	123,68	176.244	305.143
Massa Marittima	88,50	205.763	619500	7,48	10.435	14960	44,12	98.476	176480	50,03	69.792	123.434
Montalcino	0	0	0	553,18	962.533	1106360	77	178.640	308000	0	0	0
Monte Argentario	0	0	0	1,12	1.596	2240	0	0	0	0	0	0
Monteriggioni	0	0	0	0,80	1.392	1600	2,50	5.800	10000	0	0	0
Monteroni d'Arbia	1	2.320	7000	0,35	609	700	1,10	2.552	4400	8,30	14.442	20.478
Monterotondo M.	51,5	119.738	360500	8,9	12.416	17800	0,29	647	1160	28	39.060	69.082
Monticiano	2,94	6.821	20580	0	0	0	0	0	0	17,75	30.885	43.793
Montieri	0	0	0	0,39	544	780	0,16	357	640	0	0	0
Murlo	3,90	9.048	27300	1,46	2.540	2920	0	0	0	7,27	12.650	17.937
Orbetello	340,23	808.046	2381610	30,54	43.520	61080	56,15	128.022	224600	214,10	305.093	528.228
Piancastagnaio	11	23.980	77000	3,73	6.099	7460	0,34	741	1360	0	0	0
Pienza	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0	0	0	0
Pitigliano	34,20	76.950	239400	0	0	0	2,50	5.400	10000	4,50	6.075	11.102
Radda in Chianti	0	0	0	33,44	58.186	66880	0,5	1.160	2000	11	19.140	27.139
Radicofani	43,50	94.830	304500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rapolano	59,00	118.000	413000	0	0	0	78,14	156.280	312560	6,00	9.000	14.803
Roccalbegna	7,5	16.350	52500	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Roccastrada	52	120.900	364000	1,62	2.260	3240	16,28	36.337	65120	56,50	78.818	139.397
S. Casciano dei Bagni	83,01	180.962	581070	0	0	0	0	0	0	75,34	123.181	185.879
S. Giovanni d'Asso	2	4.640	14000	0,30	522	600	0	0	0	0	0	0
S. Quirico d'Orcia	0	0	0	0,10	174	200	4,25	9.860	17000	19,52	33.965	48.160
Santa Fiora	1,55	3.379	10850	0,1	164	200	0	0	0	0	0	0
Sarteano	9,97	21.735	69790	6,05	9.892	12100	7,84	17.091	31360	0	0	0
Scansano	47,64	113.145	333480	5,54	7.895	11080	2,6	5.928	10400	0	0	0
Scarlino	47,80	111.135	334600	3,60	5.022	7200	8,33	18.593	33320	3,00	4.185	7.402
Seggiano	0	0	0	0	0	0	0,62	1.438	2480	0	0	0
Semproniano	54	128.250	378000	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Siena	256,93	596.078	1798510	0,43	748	860	4,08	9.466	16320	27,47	47.798	67.774
Sorano	40,47	91.058	283290	0,50	675	1000	0	0	0	3,00	4.050	7.402
Sovicille	46,76	108.483	327320	0	0	0	0,90	2.088	3600	18	31.320	44.410
Trequanda	20	40.000	140000	0	0	0	0	0	0	1	1.500	2.467
Totale superficie irrigata (10 ³ ha) e fabbisogni irrigui (10 ³ m ³)	3,23	7699,18	22611,40	0,97	1593,43	1939,24	0,68	1523,90	2714,72	1,43	2140,27	3530,07

Coltura	barbabietola			agrumi			soia			altre coltivazioni		
	Fabbisogni	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno		Sup ha	m3 / ha anno	
		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.		Medi ARSIA	Max Letter.
Comune	Sup ha	1460	4200	Sup ha	6000	Sup ha	m3 / anno	m3 / anno	Sup ha	2831	4547	
		m3 / anno			m3 / anno			m3 / anno			m3 / anno	
Abbadia S. Salvatore	0	0	0	0	0	0			9,97	27.168	45333,59	
Arcidosso	0	0	0	0	0	0			1,91	5.205	8684,77	
Asciano	35,10	48.859	147420	0	0	0			58,17	168.693	264499	
Buonconvento	0	0	0	0	0	0			15,60	45.240	70933,2	
Campagnatico	0	0	0	0	0	0			27,83	83.490	126543	
Capalbio	25,76	39.155	108192	0	0	0			161,10	459.135	732521,7	
Casole d'Elsa	0	0	0	0	0	0			0	0	0	
Castel del Piano	0	0	0	0	0	0			9,02	26.158	41013,94	
Castell'azzara	0	0	0	0	0	0			0,09	245	409,23	
Castellina in Chianti	0	0	0	0	0	0			10,92	31.668	49653,24	
Castelnuovo B.	0	0	0	0	0	0			65,15	188.935	296237,1	
Castiglion della P.	0	0	0	0	0	0			122,17	340.854	555507	
Castiglion d'Orcia	0	0	0	0	0	0			4,21	12.209	19142,87	
Cetona	0	0	0	0	0	0			23,41	63.792	106445,3	
Chiusdino	0	0	0	0	0	0			19,00	55.100	86393	
Cinigiano	0	0	0	0	0	0			41,86	125.580	190337,4	
Civitella Paganico	0	0	0	0	0	0			6,50	19.500	29555,5	
Colle Val D'Elsa	0	0	0	0	0	0			9,13	23.510	41514,11	
Follonica	0	0	0	0	0	0			19,94	55.633	90667,18	
Gaiole in Chianti	0	0	0	0	0	0			0,41	1.189	1864,27	
Gavorrano	0	0	0	0	0	0			113,05	315.410	514038,4	
Grosseto	110,09	176.144	462378	0,10		0			612,56	1,84E+06	2785310	
Isola del Giglio	0	0	0	0	0	0			0,45	1.283	2046,15	
Magliano in Toscana	24,10	36.632	101220	0	0	0			172,80	492.480	785721,6	
Manciano	44,13	67.078	185346	0	0	0			163,44	465.804	743161,7	
Massa Marittima	0	0	0	0	0	0			104,08	290.383	473251,8	
Montalcino	22,40	31.181	94080	0	0	0			15,98	46.342	72661,06	
Monte Argentario	0	0	0	0,5		0			6	17.100	27282	
Monteriggioni	0	0	0	0	0	0			0,11	319	500,17	
Monteroni d'Arbia	150,13	208.981	630546	0	0	0			96,38	279.502	438239,9	
Monterotondo M.	0	0	0	0	0	0			4,8	13.392	21825,6	
Monticiano	0	0	0	0	0	0			6,04	17.516	27463,88	
Montieri	0	0	0	0	0	0			1,45	4.046	6593,15	
Murlo	23	32.016	96600	0	0	0			146,37	424.473	665544,4	
Orbetello	475,85	723.292	1998570	0	0	0			354,07	1.009.100	1609956	
Piancastagnaio	0	0	0	0,05		0			66,31	180.695	301511,6	
Pienza	15	20.880	63000	0	0	0			24,27	70.383	110355,7	
Pitigliano	0	0	0	0	0	0			52,46	141.642	238535,6	
Radda in Chianti	0	0	0	0	0	0			0	0	0	
Radicofani	0	0	0	0	0	0			0	0	0	
Rapolano	0,00	0	0	0	0	0			1,28	3.200	5820,16	
Roccalbegna	0	0	0	0	0	0			0	0	0	
Roccastrada	12,80	19.046	53760	0	0	0			31,02	86.546	141047,9	
S. Casciano dei Bagni	0	0	0	0	0	0			18,49	50.385	84074,03	
S. Giovanni d'Asso	0	0	0	0	0	0			1	2.900	4547	
S. Quirico d'Orcia	0	0	0	0	0	0			7,82	22.678	35557,54	
Santa Fiora	0	0	0	0	0	0			0,62	1.690	2819,14	
Sarteano	0	0	0	0	0	0			94,33	257.049	428918,5	
Scansano	0	0	0	0	0	0			54,78	156.123	249084,7	
Scarlino	0	0	0	0	0	0			28,18	78.622	128134,5	
Seggiano	0	0	0	0	0	0			1,59	4.611	7229,73	
Semproniano	0	0	0	0	0	0			2,35	6.698	10685,45	
Siena	0	0	0	0	0	0			30,54	88.566	138865,4	
Sorano	0	0	0	0	0	0			13,02	35.154	59201,94	
Sovicille	88,40	123.053	371280	0	0	0			15,28	44.312	69478,16	
Trequanda	0	0	0	0	0	0			95,69	239.225	435102,4	
Totale superficie irrigata (10 ³ ha) e fabbisogni irrigui (10 ³ m ³)	1,03	1526,32	4312,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,94	8418,61	13381,82	

Tab.22 – Area ATO 6 – Superfici comunali irrigate ed irrigabili per coltura (fonte ARSIA Toscana) e stima dei fabbisogni irrigui comunali per coltura medi (dati ARSIA) e max (dati letteratura)

L'integrazione di questi dati ha permesso di stimare la domanda interna d'acqua ai fini irrigui.

Questa analisi, seppur approssimata, permette, di individuare l'entità della domanda interna min/max riferibile alle aree irrigate ed a quelle potenzialmente irrigabili.

Tutto ciò è sintetizzato in tab. 23, dalla quale si desume che tale domanda min/max interna all' ATO è, con riferimento alla **sup. irrigata**, pari a **36/74 m³ 10⁶/anno**, mentre arriva, con riferimento alla **sup. irrigabile**, a **113/232 m³ 10⁶/anno**.

Comune	Superficie (Km ²)	Ipotesi fabbisogno irriguo intera superficie irrigabile		Ipotesi fabbisogno irriguo intera superficie irrigata		Ipotesi fabbisogno irriguo intera superficie irrigabile		Ipotesi fabbisogno irriguo intera superficie irrigata	
		Fabbisogno teorico ARSIA - Toscana 2386		Fabbisogno teorico ARSIA - Toscana 2386		Fabbisogno teorico Max da letteratura 4925		Fabbisogno teorico Max da letteratura 4925	
		superficie irrigabile (ha)	(10 ⁶ m ³ /anno)	superficie irrigata (ha)	(10 ⁶ m ³ /anno)	superficie irrigabile (ha)	(10 ⁶ m ³ /anno)	superficie irrigata (ha)	(10 ⁶ m ³ /anno)
Abbadia S. Salvatore	59,13	29,54	0,05	20,73	0,04	29,54	0,11	20,73	0,08
Arcidosso	92,73	35,55	0,09	14,28	0,04	35,55	0,18	14,28	0,07
Asciano	215,78	875,81	2,15	145,52	0,36	875,81	4,44	145,52	0,74
Buonconvento	64,51	920,60	3,09	167,53	0,56	920,60	6,37	167,53	1,16
Campagnatico	161,93	1119,21	2,85	217,66	0,56	1119,21	5,89	217,66	1,15
Capalbio	187,02	3592,03	9,26	730,02	1,88	3592,03	19,11	730,02	3,88
Casole d'Elsa	148,35	317,00	0,71	46,00	0,10	317,00	1,47	46,00	0,21
Castel del Piano	67,77	70,55	0,07	54,00	0,05	70,55	0,14	54,00	0,11
Castell'Azzara	64,40	4,27	0,01	0,57	0,00	4,27	0,02	0,57	0,00
Castellina in Chianti	99,78	98,41	0,23	21,71	0,05	98,41	0,47	21,71	0,10
Castelnuovo Berardenga	177,00	366,30	0,94	169,17	0,44	366,30	1,95	169,17	0,90
Castiglion della Pescaia	141,51	1238,15	2,99	733,12	1,77	1238,15	6,17	733,12	3,65
Castiglion d'Orcia	208,97	4,21	0,01	4,21	0,01	4,21	0,03	4,21	0,03
Cetona	53,12	278,32	0,74	237,97	0,63	278,32	1,53	237,97	1,31
Chiusdino	141,86	23,00	0,06	23,00	0,06	23,00	0,11	23,00	0,11
Cinigiano	161,71	854,20	2,20	102,56	0,26	854,20	4,54	102,56	0,55
Civitella Paganico	193,27	894,11	2,71	146,48	0,44	894,11	5,60	146,48	0,92
Colle Val D'Elsa	92,30	223,94	0,62	27,43	0,08	223,94	1,28	27,43	0,16
Follonica	55,88	142,62	0,37	40,76	0,11	142,62	0,77	40,76	0,22
Gaiole in Chianti	129,10	5,71	0,01	3,96	0,01	5,71	0,03	3,96	0,02
Gavorrano	163,71	1627,91	4,19	516,90	1,33	1627,91	8,65	516,90	2,75
Grosseto	473,68	10763,70	28,36	3041,53	8,01	10763,70	58,54	3041,53	16,54
Isola del Giglio	21,58	3,79	0,01	2,37	0,00	3,79	0,02	2,37	0,01
Magliano in Toscana	250,82	1696,52	3,79	594,11	1,33	1696,52	7,83	594,11	2,74
Manciano	372,73	2735,32	6,66	1070,15	2,60	2735,32	13,74	1070,15	5,38
Massa Marittima	283,30	972,75	2,29	341,21	0,80	972,75	4,73	341,21	1,66
Montalcino	243,68	1091,03	1,99	668,58	1,22	1091,03	4,11	668,58	2,52
Monte Argentario	60,69	26,60	0,07	9,64	0,02	26,60	0,14	9,64	0,05
Monteriggioni	99,25	125,75	0,29	4,01	0,01	125,75	0,60	4,01	0,02
Monteroni d'Arbia	105,81	1540,76	3,74	369,22	0,90	1540,76	7,72	369,22	1,85
Monterotondo Marittimo	102,51	579,04	1,04	105,79	0,19	579,04	2,15	105,79	0,39
Monticiano	109,28	113,38	0,33	78,08	0,23	113,38	0,68	78,08	0,47
Montieri	108,28	4,31	0,01	3,24	0,01	4,31	0,02	3,24	0,02
Murlo	114,60	252,20	0,69	226,40	0,62	252,20	1,42	226,40	1,27
Orbetello	227,23	5544,53	12,65	2063,39	4,71	5544,53	26,11	2063,39	9,73
Piancastagnaio	69,56	390,21	1,00	83,31	0,21	390,21	2,07	83,31	0,44
Pienza	122,65	314,95	0,74	40,43	0,09	314,95	1,52	40,43	0,20
Pitigliano	102,64	158,20	0,39	101,92	0,25	158,20	0,80	101,92	0,51
Radda in Chianti	80,20	65,60	0,11	44,94	0,08	65,60	0,24	44,94	0,16
Radicofani	118,44	171,34	0,38	46,00	0,10	171,34	0,79	46,00	0,21
Rapolano	82,92	317,75	0,68	192,72	0,41	317,75	1,40	192,72	0,85
Roccalbegna	124,87	72,00	0,17	9,50	0,02	72,00	0,34	9,50	0,04
Roccastrada	284,37	1575,93	3,96	357,28	0,90	1575,93	8,18	357,28	1,85
S. Casciano dei Bagni	92,08	563,24	1,27	315,54	0,71	563,24	2,63	315,54	1,47
S. Giovanni d'Asso	66,41	86,60	0,21	3,30	0,01	86,60	0,44	3,30	0,02
S. Quirico d'Orcia	42,21	119,57	0,25	31,71	0,07	119,57	0,52	31,71	0,14
Santa Fiora	63,39	4,00	0,01	3,67	0,01	4,00	0,01	3,67	0,01
Sarteano	85,09	455,32	1,14	187,91	0,47	455,32	2,36	187,91	0,97
Scansano	273,76	339,86	0,84	123,13	0,30	339,86	1,74	123,13	0,63
Scarlino	88,86	349,70	0,85	152,06	0,37	349,70	1,74	152,06	0,76
Seggiano	49,62	19,78	0,05	2,61	0,01	19,78	0,11	2,61	0,01
Semproniano	81,83	56,35	0,13	56,35	0,13	56,35	0,28	56,35	0,28
Siena	118,49	670,81	1,42	419,02	0,88	670,81	2,92	419,02	1,83
Sorano	174,30	99,73	0,21	75,15	0,16	99,73	0,44	75,15	0,33
Sovicille	143,60	1257,20	3,03	380,13	0,92	1257,20	6,25	380,13	1,89
Trequanda	63,95	166,39	0,41	129,69	0,32	166,39	0,85	129,69	0,66
TOT. A.T.O. 6	7582,50	45425,65	112,53	14757,67	35,85	45425,65	232,27	14757,67	74,01

Tab.23 - area ATO6 – Superfici comunali irrigate e irrigabili (fonte ARSIA Toscana) e stima dei fabbisogni irrigui comunali irrigati e irrigabili (dati Arsia) e max (dati letteratura).

Considerando gli obiettivi di questo lavoro: la valutazione delle risorse idriche e della domanda d'acqua (a fini idropotabili e irrigui) in riferimento all'area metropolitana le tabelle 24 e 25 riassumono questi consumi.

La tabella 24 ci mostra come il fabbisogno idropotabile giornaliero per abitante dell'area metropolitana sia circa **339 l** che è inferiore del 15% rispetto a quello medio dell'ATO indicato in tabella 21 b.

Comune	Superficie (Km ²)	Popolazione Dati ISTAT 2001	Fluttuanti	Tot. Inverno (mc)	Tot. Estate (mc)	Ipotesi fabbisogno Idropotabile	
						Dotazione teorica Area Metropolitana (l/gg ab.)	
						(10 ⁶ m ³ /anno)	l/s
ASCIANO	215,78	6468	2603	368340,48	482343,12	0,85	26,98
CASTELNUOVO BERARDENGA	177,00	7417	534	422323,98	445720,19	0,87	27,53
MONTERIGGIONI	99,25	7877	1217	448516,38	501819,93	0,95	30,13
MONTERONI D'ARBIA	105,81	7161	953	407747,34	449496,10	0,86	27,18
SIENA	118,49	48844	11845	2781177,36	3299989,94	6,08	192,83
SOVICILLE	143,60	8346	2021	475221,24	563750,68	1,04	32,95
TOTALI AREA METROPOLITANA	859,93	86113	19174	4903326,78	5743119,95	10,65	337,60

Tab. 24 – Ipotesi fabbisogno Idropotabile Area Metropolitana

Comune	Sup irrigabile ha	Sup irrigata ha	fabbisogno idrico sup irrigabile		fabbisogno idrico sup irrigata	
			mc/annuo	mc/ha	mc/annuo	mc/ha
Asciano	875,81	145,52	2151750,58	2456,87	357523,60	2456,87
Castelnuovo Berardenga	366,30	169,17	943591,14	2576,01	435783,00	2576,01
Monteriggioni	125,75	4,01	290103,05	2306,98	9251,00	2306,98
Monteroni d'Arbia	1540,76	369,22	3740313,46	2427,58	896309,96	2427,58
Siena	670,81	419,02	1416135,33	2111,08	884585,84	2111,08
Sovicille	1257,20	380,13	3029986,87	2410,11	916154,08	2410,11
Totale Area Metropolitana	4836,63	1487,07	11571880,43	2402,84	3499607,48	2353,36

Tab. 25 – Area Metropolitana – Superfici comunali irrigate ed irrigabili (Fonte ARSIA Toscana) e stima dei fabbisogni irrigui comunali irrigate e irrigabili (dati ARSIA)

5.3 – Domanda d'acqua complessiva

La domanda d'acqua complessiva per l'ATO 6, come si può vedere dalla tabella 26, riassume tutti i consumi (Idropotabile, Irriguo e Produttivo) calcolati nelle tabelle precedenti e mette in risalto che il fabbisogno medio di acqua per tutto il territorio che è stato stimato in circa $220 \cdot 10^6 \text{ m}^3/\text{anno}$ che corrispondono a 6971l/s.

Superficie ATO 6 (Km ²)			7583
Popolazione ATO 6 (dati ISTAT 2001)			373642
Ipotesi fabbisogno idropotabile	Dotazione teorica ATO6 (l/gg ab.)	(10 ⁶ m ³ /anno)	53,65
	393,39	(l/s)	1701
Ipotesi fabbisogno irriguo	Medio Intera superficie (ARSIA - 2386 mc/ha)	<i>superficie irrigabile</i>	112,53
		<i>superficie irrigata</i>	35,85
	Max Intera superficie (letteratura - 4925 mc/ha)	<i>superficie irrigabile</i>	232,27
		<i>superficie irrigata</i>	74,01
Ipotesi fabbisogno produttivo	Supposto pari idropotabile (l/gg ab.)	(10 ⁶ m ³ /anno)	53,65
	393,39	(l/s)	1701
Fabbisogno di acqua totale nel territorio dell'ATO 6	Fabbisogno Medio	(10 ⁶ m ³ /anno)	219,83
		(l/s)	6971
	Fabbisogno Max	(10 ⁶ m ³ /anno)	339,57
		(l/s)	10768

Tab. 26 – Ipotesi di domanda massima d'acqua **complessiva interna** nel territorio dell'ATO6 (Idropotabili, Irriguo e Produttivo)

5.4 – Distribuzione spaziale della domanda

5.4.1 – *Uso agricolo* (attingimenti e derivazioni dai corsi d'acqua, laghetti collinari)

5.4.2 – *Uso idropotabile e terziario* (acquiferi, pozzi e sorgenti)

6 – CONFRONTO TRA LA DISTRIBUZIONE SPAZIALE DELLA PRESSIONE DELLA DOMANDA D'ACQUA E LE RELATIVE RISORSE DISPONIBILI

6.1 – Criticità delle risorse superficiali e delle risorse sotterranee (acquiferi e corsi d'acqua DMV)

I paragrafi 5.4, 5.4.1, 5.4.2, 6 e 6.1 saranno elaborati non appena gli enti (Ufficio Pozzi Provincia di Siena e di Grosseto e Acquedotto del Fiora) ci forniranno i dati richiesti.

7 – ANALISI QUALITATIVA DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE

7.1 – Stato di inquinamento reale dei corpi idrici sotterranei

La rappresentazione dello stato di inquinamento o, in assenza di inquinamento, della qualità delle acque sotterranee della zona esaminata è fondamentale per una valutazione di piano. I dati necessari, di non facile acquisizione, possono essere reperiti in parte presso gli Enti locali (ARPAT, Aziende acquedottistiche, ecc.), in parte devono essere frutto di campionamento su punti d'acqua opportunamente selezionati e relative analisi idrogeochimiche complete e mirate. Tali analisi servono essenzialmente per avere una situazione di riferimento molto utile ai pianificatori ed ai tutori del patrimonio idrico sotterraneo per decisioni relative all'ubicazione di attività diverse, per associare attività esistenti a inquinamenti rilevati; per i singoli operatori sul territorio, la rappresentazione di uno stato di fatto serve anche ad evitare di essere ritenuti responsabili di fatti pregressi e non legati alla loro attività (Civita, 1994).

In quest'ambito, devono essere gettati i fondamenti metodologici per la realizzazione di una mappatura (o, meglio, di una banca-dati implementabile con un SIT) della qualità di base delle acque sotterranee. La realizzazione di una cartografia di questo tipo non è facile soprattutto per la mancanza e/o disomogeneità dei dati necessari; un possibile schema operativo per la classificazione sintetica e la mappatura della qualità di base delle acque sotterranee (e sul relativo giudizio d'uso) è stato proposto da Civita et al. (1993) ed è riportato nella tabella 27.

		Gruppo parametri							
		1 (chimico-fisici)					2 (sostanze indesiderabili)		
GIUDIZIO	CLASSE	Durez.Tot (°F)	Cond.Eletrr (µS/cm)	SO ₄ (mg/l)	Cl (mg/l)	NO ₃ (mg/l)	Fe (mg/l)	Mn (mg/l)	NH ₄ (mg/l)
ottimale	A	15°-30*	< 1000*	< 50**	< 50	< 10*	< 0,05	< 0,02	< 0,05
medio	B	30*-50	1000*-2000	50**-250	50-200	10*-50	0,05-0,2	0,02-0,05	0,05-0,5
Scadente	C	> 50	> 2000	> 250	> 200	> 50	> 0,2	> 0,05	> 0,5

Tab. 27 - Schema operativo per la classificazione sintetica e la mappatura della qualità di base delle acque sotterranee (CIVITA *et al.*, 1993): ° = valore minimo consigliato; * = valore indicativo intermedio tra C.M.A. e V.G. (DPR 236/88); ** = valore doppio rispetto al V.G.

Questa classificazione si basa su otto parametri, quasi sempre rilevati dalle autorità sanitarie (UU.SS.LL., ARPAT) e comunque di facile rilevazione, riuniti in due gruppi per differenziare le acque da sottoporre a trattamenti specifici per i singoli parametri (*gruppo 1*) da quelle per le quali è normalmente previsto un trattamento ossidativo semplice o spinto (*gruppo 2*). La classificazione viene effettuata utilizzando tutti i parametri dello schema (in via eccezionale può essere tollerata la mancanza di dati per solfati e manganese), individuando così sei classi possibili di qualità delle acque sotterranee. Per convenzione, nella definizione della qualità si indica prima la classe dei parametri del gruppo 1. Ad esempio, qualora tutti i valori dei gruppi 1 e 2 rientrino nella Classe A, si avrà un'acqua di tipo A1A2; se solo uno dei parametri del gruppo 1 rientra negli intervalli della Classe B, si avrà un'acqua di tipo B1A2.

Una volta identificata la classe, si può esprimere un *giudizio d'uso* codificato in:

classe A = acqua potabile senza alcun trattamento, idonea a quasi tutti gli usi industriali ed irrigui;

classe B = acqua potabile senza alcun trattamento, ma con alcune limitazioni per usi irrigui ed industriali;

classe C = acqua non idonea ad essere utilizzata tal quale per il consumo umano e con limitazioni per altri usi (*sottoclasse C1* = da sottoporre a trattamenti specifici; *sottoclasse C2* = da sottoporre a trattamento di ossidazione semplice o spinta).

Ovviamente, la classificazione proposta non può tener conto di stati di inquinamento generati da particolari sostanze di origine esclusivamente antropica (solventi, pesticidi, ecc.); inoltre, è opportuno sottolineare che le classi di qualità così definite non hanno alcuna corrispondenza o correlazione con quelle individuate dal D.P.R. 515/82 ("Attuazione della Direttiva CEE n. 75/440 concernente la qualità delle acque superficiali destinate alla potabilizzazione").

7.2 – L'acquifero del Monte Amiata

Alcuni risultati circa lo stato di inquinamento reale dell'acquifero del M. Amiata sono stati elaborati in *Barazzuoli et al.* (2004, in stampa) e riportati di seguito.

È stato effettuato un censimento dei dati fisico-chimici e microbiologici delle acque di falda (DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA, 1999, 2000). I dati raccolti, coprono, seppure in modo discontinuo, un intervallo temporale che va dal 1903 al 1999; a tutt'oggi, la banca dati comprende 588 analisi (210 fisico-chimiche e 378 microbiologiche) e risulta conosciuto il 39 % dei 163 punti d'acqua censiti (sono infatti disponibili le analisi fisico-chimiche di 60 sorgenti e 4 pozzi e quelle microbiologiche di 56 sorgenti e 4 pozzi). Sulla base della distribuzione topografica e della portata dei punti d'acqua monitorati, queste conoscenze dovrebbero consentire di pervenire quanto prima ad una rappresentazione sufficientemente vasta e soddisfacente della qualità dell'acqua di falda; tuttavia, lo stato attuale delle conoscenze idrogeologiche ed idrogeochimiche sull'acquifero del M. Amiata non permette ancora la stesura di una cartografia dettagliata di tutte le zone ad alto pericolo di inquinamento, maggiore densità abitativa o di quelle dove si formano risorse idriche importanti condottate a distanza più o meno grande.

Maggiori dettagli su questa metodologia sono riportati in DIPARTIMENTO DI SCIENZE DELLA TERRA (1999); è importante ricordare che tale classificazione non può tener conto di stati di inquinamento generati da particolari sostanze di origine esclusivamente antropica (solventi, pesticidi, ecc.) e che le classi di qualità così definite non hanno alcuna corrispondenza o correlazione con quelle individuate dal D.Lgs. 152/99 riguardo alla qualità delle acque superficiali destinate alla potabilizzazione.

Le 210 analisi fisico-chimiche acquisite hanno quindi consentito l'applicazione completa di tale metodologia a 37 punti d'acqua (33 sorgenti e 4 pozzi), mentre per altri 19 è stato possibile solo pervenire ad una classificazione relativa ai soli parametri del gruppo 1; i restanti 8 punti d'acqua non sono dotati di informazioni idonee ad essere trattate anche solo parzialmente con il metodo suddetto. Le tabb. 28 e 29 riportano alcuni risultati statistici di tale classificazione.

Tipo d'acqua	Estremamente elevato		Elevato		Inferiore all'elevato		Totali parziali	
	N	%	N	%	N	%	N	%
A1A2	18 (2 pz)	62,1	1	33,3	4	80,0	23 (2 pz)	62,2
A1B2	3	10,2	1	33,3	0	0,0	4	10,8
A1C2	3 (1 pz)	10,2	1 (1 pz)	33,3	0	0,0	4 (2 pz)	10,8
B1A2	2	7,0	0	0,0	0	0,0	2	5,4
B1B2	1	3,5	0	0,0	0	0,0	1	2,7
B1C2	1	3,5	0	0,0	0	0,0	1	2,7
C1A2	0	0,0	0	0,0	1	20,0	1	2,7
C1C2	1	3,5	0	0,0	0	0,0	1	2,7
Totale	29 (3 pz)	100,0	3 (1 pz)	100,0	5	100,0	37 (4 pz)	100,0

Tab. 28 – Risultati statistici dell'applicazione del metodo di CIVITA *et al.* (1993) a punti d'acqua dell'acquifero del M. Amiata, in relazione a vari gradi di vulnerabilità intrinseca: N = numero dei punti d'acqua; % = percentuale di N rispetto al Totale; (X pz) = numero dei pozzi compresi in N.

Classe (Giudizio)	Estremamente elevato		Elevato		Inferiore all'elevato		Totali parziali		
	N	%	N	%	N	%	N	%	
A (ottimale)	18 (2 pz)	62,1	1	33,3	4	80,0	23 (2 pz)	62,2	
B (media)	6	20,7	1	33,3	0	0,0	7	18,9	
C (scadente)	C1	0	0,0	0	0,0	1	20,0	1	2,7
	C2	4 (1 pz)	13,7	1 (1 pz)	33,3	0	0,0	5 (2 pz)	10,8
	C1C2	1	3,5	0	0,0	0	0,0	1	2,7
	Totale	5 (1 pz)	17,2	1 (1 pz)	33,3	1	20,0	7 (2 pz)	18,9
Totale	29 (3 pz)	100,0	3 (1 pz)	100,0	5	100,0	37 (4 pz)	100,0	

Tab. 29 – Giudizio d'uso sui punti d'acqua dell'acquifero del M. Amiata classificati secondo il metodo di CIVITA *et al.* (1993), in relazione a vari gradi di vulnerabilità intrinseca: N = numero dei punti d'acqua; % = percentuale di N rispetto al Totale; (X pz) = numero dei pozzi compresi in N.

Questa prima applicazione del metodo proposto da CIVITA *et al.* (1993) consente di evidenziare che la qualità di base delle acque contenute nell'acquifero vulcanico amiatino è complessivamente eccellente (oltre l'80 % risulta potabile senza alcun trattamento); si deve però sottolineare che la maggior parte delle acque non utilizzabili per il consumo umano senza trattamenti ricade nel settore avente un grado di vulnerabilità

intrinseca estremamente elevato (rocce vulcaniche con soggiacenza della falda minore di 50 m e detrito di vulcaniti).

Ai sensi della DGRT n.225 del 10 marzo 2003 e del D. Lgs. n. 152 del 11 Maggio 1999, l'Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (ARPAT) ha realizzato il Piano di Tutela della Acque. Nella sezione relativa ai corpi idrici sotterranei (Stato qualitativo) si fa riferimento agli obiettivi del Piano.

Relativamente all'Acquifero dell'Amiata (Vol.3 – Piano di Bacino Ombrone – Anno 2004-07-06) lo stato di qualità ambientale, definito per gli acquiferi significativi ai sensi del sopra citato DGRT, ottenuto incrociando i dati stimati riportati nella relazione sullo Stato dell'Ambiente della Regione Toscana (1997), è **BUONO**. Tale giudizio corrisponde alla classe di qualità che tutti i corpi idrici significativi monitorati dovrebbero raggiungere, in caso che non l'abbiano già raggiunto, entro l'anno 2016, ai sensi del D.Lgs. 152/99.

La Regione Toscana, ai sensi della normativa citata, sta provvedendo a creare una rete di monitoraggio sia quantitativo che qualitativo dei corpi idrici significativi individuati che nell'area senese sono l'Acquifero carbonatico del Luco e l'Acquifero dell'Amiata.

7.3 – L'Acquifero carbonatico del Luco

I risultati relativi allo stato di inquinamento dell'acquifero del Luco sono stati desunti da studi pregressi. Analisi di dettaglio, anche se non esaustive, della situazione idrogeochimica delle acque sotterranee sono state effettuate dal Dipartimento di Scienze della Terra nel periodo 1996-1998, i cui risultati sono di seguito sintetizzati.

L'analisi dei principali parametri fisico-chimici dell'acqua di falda indica che l'alimentazione dell'acquifero è dovuta alle sole precipitazioni e confermano che le principali linee di flusso si originano nel settore centrale e si allontanano all'incirca in senso radiale dal massiccio carbonatico di M. Maggio arricchendosi via via di sali; la conducibilità elettrica si presenta con valori dell'ordine di 450÷550 microS/cm (e quindi con una salinità pari a circa 300÷400 mg/l) nel settore centrale dell'affioramento della Breccia di Grotti e tende ad aumentare in modo radiale raggiungendo i 700 microS/cm (circa 500 mg/l) nella zona di Pian del Lago ed i 1100 microS/cm (circa 750 mg/l) nelle estremità NE e N. La durezza varia dai 28÷35 °F nella zona centrale ed aumenta radialmente fino ai 45 °F del Luco ed ai 45÷55 °F ai confini settentrionali dell'affioramento.

Per quanto riguarda i composti azotati ed i parametri microbiologici, è stato rilevato che l'acqua dei pozzi situati sullo stesso tipo di terreno e grosso modo alla stessa profondità presentano caratteristiche simili di contaminazione; in particolare, in diversi campioni di acqua di falda sono state riscontrate concentrazioni di nitrati assai maggiori di quelle aspettate per un dato inquinamento fecale, soprattutto nelle zone sottoposte a colture varie forse dovute all'uso di fertilizzanti e caratterizzate dall'affioramento di rocce aventi un alto grado di infiltrazione delle acque meteoriche.

È anche da sottolineare che la zona considerata si presenta con le consuete caratteristiche di antropizzazione dei territori del circondario senese, dove l'impatto delle varie attività umane si concentra intorno ai maggiori centri abitati e nelle aree pianeggianti di fondovalle. La maggiore concentrazione dei centri di pericolo si rileva nel settore nord-orientale del Comune di Monteriggioni, a cavallo delle più importanti vie di comunicazione; il settore opposto, ed in particolare le aree a monte di Abbadia a Isola e Monteriggioni (M. Maggio), appare scarsamente antropizzato e quindi potenzialmente a basso rischio di inquinamento delle locali acque sotterranee, ad esclusione di diverse abitazioni sparse all'interno delle zone boschive alle pendici del rilievo, per le quali è logico prevedere un insufficiente smaltimento dei liquami ai fini della prevenzione dall'inquinamento della falda.

Anche per l'Acquifero carbonatico del Luco (Vol.3 – Piano di Bacino Ombrone – Anno 2004-07-06) lo stato di qualità ambientale, definito per gli acquiferi significativi ai sensi del sopra citato DGRT, ottenuto incrociando i dati stimati riportati nella relazione sullo Stato dell'Ambiente della Regione Toscana (1997), è **BUONO**. Tale giudizio corrisponde alla classe di qualità che tutti i corpi idrici significativi monitorati dovrebbero raggiungere, in caso che non l'abbiano già raggiunto, entro l'anno 2016, ai sensi del D.Lgs. 152/99.

8 – CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI (da relazione AATO 6, 1999)

Le elaborazioni effettuate a livello di bacino idrografico e di complesso idrogeologico hanno consentito di pervenire ad una valutazione attendibile della potenzialità idrica superficiale e sotterranea del territorio in esame; ciò risulta particolarmente importante in quanto permette di contenere i prelievi d'acqua entro i limiti propri di rinnovabilità delle risorse, evitando pericolosi sovrasfruttamenti, e di ripartire gli stessi prelievi in funzione delle effettive disponibilità idriche dei singoli domini.

Relativamente all'intero territorio dell'A.T.O. 6 (tab. 10, fig. 8), l'eccedenza idrica risulta pari a circa $1778 \cdot 10^6$ m³/anno di risorsa rinnovabile e potenzialmente utilizzabile. Questa può essere ripartita in:

- una risorsa totale superficiale (R), dovuta al ruscellamento diretto dell'acqua lungo la rete idrografica, pari a circa $1116 \cdot 10^6$ m³/anno;
- una risorsa totale sotterranea potenziale interna (I_{ti}), pari a circa $661 \cdot 10^6$ m³/anno, che è la quantità d'acqua di infiltrazione nel sottosuolo. Tale risorsa è a sua volta suddivisibile in I_e (pari a $181 \cdot 10^6$ m³/anno), che rappresenta la perdita apparente d'acqua sotterranea verso falde emergenti in territori limitrofi o defluenti direttamente nel mare, ed I_{si} (pari a $480 \cdot 10^6$ m³/anno), che costituisce invece quella parte di infiltrazione totale interna alimentanti falde emergenti dentro l'A.T.O. 6 e che è, quindi, la risorsa sotterranea interna.

Per quanto riguarda invece i bacini idrografici (tab. 10), si hanno i seguenti risultati principali:

- Ombrone alla foce: $W_s = 862 \cdot 10^6$ m³/anno, $R = 549 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{ti} = 313 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_e = 52 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{si} = 261 \cdot 10^6$ m³/anno, $D_i = D_n = D_t = D_s = 810 \cdot 10^6$ m³/anno;
- Pecora e minori totale: $W_s = 53 \cdot 10^6$ m³/anno, $R = 28 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{ti} = 25 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_e = 12 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{si} = 13 \cdot 10^6$ m³/anno, $D_i = D_n = D_t = D_s = 41 \cdot 10^6$ m³/anno;
- Bruna alla foce: $W_s = 145 \cdot 10^6$ m³/anno, $R = 78 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{ti} = 67 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_e = 38 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{si} = 29 \cdot 10^6$ m³/anno, $D_i = D_n = D_t = D_s = 107 \cdot 10^6$ m³/anno;
- Albegna alla foce: $W_s = 190 \cdot 10^6$ m³/anno, $R = 117 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{ti} = 73 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_e = 30 \cdot 10^6$ m³/anno, $I_{si} = 43 \cdot 10^6$ m³/anno, $D_i = D_n = D_t = D_s = 160 \cdot 10^6$ m³/anno.

È importante ribadire che tali risultati sono stati ottenuti considerando nullo l'intervento antropico sul ciclo dell'acqua (cioè, A_a e C_a sono stati posti uguali a zero) che è invece capace di variare anche sensibilmente la ripartizione delle effettive risorse idriche superficiali e sotterranee dei bacini esaminati; l'A.T.O. 6 non deve assolutamente sottovalutare questo aspetto, pena il rischio di attuare inefficaci gestioni del territorio, e dovrà quindi mettere a punto un sistema di rilevamento di informazioni attendibili su usi e spostamenti di quantitativi d'acqua all'interno del proprio territorio (anche in collaborazione con gli A.T.O. limitrofi e le Autorità di Bacino coinvolte).

In relazione ai vari complessi idrogeologici presenti nell'A.T.O. 6 (tab. 11), risulta che l'infiltrazione totale è associata per oltre il 50% a terreni di buona permeabilità (dove è pari a $341 \cdot 10^6$ m³/anno) e che le vulcaniti del Monte Amiata godono dei più alti valori di I_{ti} (576 mm/anno, pari a $48 \cdot 10^6$ m³/anno); le rocce carbonatiche del settore Orbetello-Capalbio hanno invece un' I_{ti} pari a 129 mm/anno ($11 \cdot 10^6$ m³/anno).

Sono state anche applicate tecniche di analisi previsionale per lo studio delle serie storiche delle principali grandezze idro-climatiche rilevate direttamente o calcolate nelle varie stazioni di misura dei dati di base presenti nel territorio esaminato, per i periodi di osservazione 1935-1996 e 1967-1996, finalizzato a definire le leggi che regolano la variabilità temporale della risorsa idrica ed a prevederne l'entità disponibile a breve termine.

Questo studio ha evidenziato un'evoluzione climatica caratterizzata da un prevalente trend verso la diminuzione delle risorse idriche potenziali rinnovabili con un tasso di decremento delle precipitazioni efficaci, nel periodo 1967-1996, complessivamente pari a $-1,08$ mm/anno (e quindi ad una riduzione idrica cumulata di circa -32 mm, pari a circa $-227 \cdot 10^6$ m³ ed a -240 l/s-anno). Sono presenti locali differenziazioni associabili a fattori climatici, alla dimensione ed alla tipologia dei sistemi idrologici considerati; le maggiori riduzioni di risorsa idrica si manifestano nel bacino idrografico dell'Albegna ($-2,55$ mm/anno), nelle rocce a permeabilità buona e mediocre (rispettivamente, $-92 \cdot 10^6$ e $-62 \cdot 10^6$ m³) e nelle rocce carbonatiche del settore Orbetello-Capalbio (pari a circa $-4 \cdot 10^6$ m³). Le vulcaniti della zona di Pitigliano, invece, presentano probabilmente un incremento di risorsa pari a circa $10 \cdot 10^6$ m³, sempre nel periodo 1967-1996. Questo fenomeno è sostanzialmente legato alla diminuzione delle precipitazioni totali annue (nell'A.T.O. 6, ad un tasso medio di $-1,5$ mm/anno, pari a $-322 \cdot 10^6$ m³), dato che le variazioni osservate di temperatura contribuiscono a provocare solo oscillazioni di minore entità dell'evapotraspirazione reale; è probabile che ciò si sia variamente distribuito nelle stagioni, con trend diversi come segno e verso su ogni stazione, con il

risultato di una variazione tendenziale che penalizza le stagioni di transizione (forte diminuzione delle piogge autunnali e delle temperature primaverili, accanto all'aumento delle temperature autunnali).

È da ricordare che la validità della stima della distribuzione del trend delle PE è inficiata dalla bassa densità complessiva delle stazioni termo-pluviometriche utilizzabili (solo 20 su un territorio esaminato di circa 10.000 km²); a questo proposito, è importante che l'A.T.O. 6 si impegni direttamente e/o indirettamente affinché aumenti nei prossimi anni tale densità mediante l'installazione di un'adeguata rete di monitoraggio ambientale (non solo sui parametri climatici, ma anche e soprattutto sulle portate fluviali).

*Sulla validità di tutti questi risultati gravano ovviamente tutte le perplessità scaturite dallo scarso dettaglio dei dati di base utilizzati per la stesura della carta della permeabilità di fig.31. E' ovvio che la risorsa idrica disponibile nell'intero territorio dell'A.T.O. 6 dovrebbe essere sufficiente a soddisfare le richieste attuali e future dei vari utilizzatori. Anche se al momento non sono disponibili valutazioni aggiornate e complessive sulla domanda idrica, si può però ricordare che i fabbisogni previsti al 2010 nei bacini del fiume Ombrone e Bruna sono pari a $90\div 95 \cdot 10^6$ m³/anno per l'uso idropotabile, industriale ed i servizi ed a $50\div 55 \cdot 10^6$ m³/anno per l'uso agricolo, per un totale di $140\div 150 \cdot 10^6$ m³/anno (CLES, 1991); in questi bacini, i risultati delle elaborazioni sopra riportate indicano la disponibilità media attuale di $926 \cdot 10^6$ m³/anno di risorsa totale potenziale rinnovabile, con previsioni al 2010 di circa $851 \cdot 10^6$ m³/anno. Anche se le risorse idriche coincidono, in definitiva, con i volumi d'acqua utilizzabili senza che ciò possa provocare forti squilibri al ciclo idrologico naturale (esistono infatti volumi idrici disponibili, ma non sfruttabili in quanto necessari a mantenere determinate portate fluviali o alcuni equilibri idrogeologici indispensabili per la salvaguardia qualitativa delle risorse stesse o da non sfruttare perché comportano l'uso di captazioni eccessivamente costose dal punto di vista costruttivo e/o gestionale), è evidente che nell'A.T.O. 6 la disponibilità idrica naturale (attualmente pari in media a $1664 \cdot 10^6$ m³/anno, con previsioni al 2010 di circa $1558 \cdot 10^6$ m³/anno) è ampiamente superiore alla domanda e lo sarà anche nei prossimi anni; ***pertanto, i problemi ricorrenti di mancanza d'acqua, riduzione della qualità chimica, ecc.. sono unicamente la conseguenza di una non corretta gestione delle risorse che trova il suo fondamento su ampie lacune conoscitive di tipo idrogeologico e su uno sfruttamento "ingegneristico" degli acquiferi.****

A questo riguardo, l'avvento dell'Autorità di Ambito Territoriale Ottimale (insieme a quello previsto dell'Autorità di Bacino dell'Ombrone) costituisce senz'altro un passo fondamentale nella direzione della tutela e conservazione delle risorse idriche superficiali sotterranee del territorio di competenza, direzione che va però mantenuta con impegno e coerenza anche nei prossimi anni. Va quindi definita quanto prima un'efficace programmazione delle attività future dell'A.T.O. 6 volta a:

- a) diffondere ed approfondire le conoscenze idrogeologiche nell'intero territorio, almeno al fine di pervenire ad una maggiore attendibilità ed omogeneità delle valutazioni di permeabilità (a questo riguardo dovrebbe seguire quanto prima un ulteriore impegno sia tecnico-scientifico che finanziario dell'A.T.O. 6 per omogeneizzare il quadro conoscitivo idrogeologico, auspicabilmente in collegamento con altri Enti interessati in qualche modo alle stesse tematiche);
- b) migliorare, ma soprattutto standardizzare, il flusso di informazioni relative all'attività antropica sul ciclo dell'acqua dai vari Enti depositari di dati territoriali all'A.T.O. 6.

Su queste basi non solo sarà possibile produrre valutazioni più attendibili, e quindi **maggiormente utilizzabili** nella pianificazione territoriale, ma anche di realizzarle mediante l'applicazione di idonei modelli di simulazione idrodinamica ed idrochimica al fine di pervenire ad una stima degli effetti sulle locali risorse idriche superficiali e sotterranee derivanti da diverse ipotesi di sfruttamento del territorio.

BIBLIOGRAFIA

- A.A.T.O. 6 – Ombrone (1999) – *Piano d'Ambito*.
- A.R.S.I.A. Toscana (2004) – Dati relativi ai consumi idrici per uso agricolo dei Comuni dell'ATO6.
- AA.VV. (1988) – *Proposta di normativa per l'istituzione delle fasce di rispetto delle opere di captazione delle acque sotterranee*. Ed. Geo-Graph, Segrate (Milano).
- Acquedotto del Fiora s.p.a. (2004) – Dati relativi ai consumi per uso idropotabile dei Comuni dell'ATO6.
- Agenzia Regionale per la Protezione Ambientale della Toscana (2004) – *Il Piano di Tutela delle Acque della Toscana*.
- Amministrazione Provinciale di Siena (1992-1994) – *Il Piano acquedottistico della Provincia di Siena*.
- Angelini P. & Dragoni W. (1993) - *Studio idrogeologico sulla sorgente di Bagnara: curva di esaurimento e risposta alle variazioni climatiche*. *Acque sotterranee*, 40, 21-27.
- Barazzuoli P. et alii (2004) – *Studio per la definizione del bilancio idrico ed idrogeologico del bacino del fiume Magra*. Relazione finale Dipartimento di Scienze della Terra – Autorità di Bacino Interregionale del Fiume Magra.
- Barazzuoli P. & Micheluccini M. (1982) - *Idrologia ed aspetti idrogeologici*. In: *Il Graben di Siena, CNR-PFE, SPEG, RF 9*, Pisa, 37-60.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1992) - *Evaluation of surface water and groundwater resources in watershed planning: comparison between various estimation methods*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 48(3), 813-817.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1993) - *L'acqua: risorsa, rischio e pianificazione*. In: "La storia naturale della Toscana meridionale", Pizzi Ed., Milano, 173-246.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1994) - *Variabilità climatica e trend delle risorse idriche rinnovabili nella Toscana meridionale*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle acque sotterranee", 49, 329-337.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1994a) - *Modelli di valutazione della risorsa idrica rinnovabile del M. Amiata (Toscana meridionale)*. Quaderni di Geologia Applicata, Pitagora Ed., Bologna, 2, 171-185.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1994b) - *Variabilità climatica e trend delle risorse idriche rinnovabili nella Toscana meridionale*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle acque sotterranee", Pitagora Ed., Bologna, 49, 329-337.
- Barazzuoli P. & Salleolini M. (1998) - *Analisi storica delle portate sorgive e delle precipitazioni*. In: "Studio della valutazione della vulnerabilità dell'acquifero del M. Amiata". Relazione inedita per la Giano Ambiente s.r.l. di Grosseto.
- Barazzuoli P., Bianchi S., Mocenni B., Nocchi M., Pratesi T., Rigati R., Salleolini M. (2004). *Studio idrogeologico per la valutazione della vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero vulcanico del M. Amiata*. In stampa.
- Barazzuoli P., Costantini A., Grassi S., Lazzarotto A., Micheluccini M., Piantelli F., Salleolini M., Sandrelli F., Squarci P., Taffi L. & Veronesi G. (1988) - *L'energia geotermica in Provincia di Siena: studi e ricerche per l'individuazione e lo sfruttamento non elettrico dei fluidi a medio-bassa temperatura per il territorio comprendente i comuni di Siena, Castelnuovo Berardenga, Asciano e Rapolano Terme*. Amministrazione Provinciale di Siena, Al.Sa.Ba. Grafiche, Siena.
- Barazzuoli P., Izzo S., Menicori P., Micheluccini M. & Salleolini M. (1989) - *A new practical aid to regional hydrogeologic planning: the runoff coefficient map*. *Environmental Management*, 13(5), 613-622.
- Barazzuoli P., Izzo S., Menicori P., Rigati R. & Salleolini M. (1995) - *Uso del deflusso calcolato su basi fisiografiche nella stima delle risorse idriche dell'alto bacino del F. Sinni (Basilicata)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 115(2), 287-305.
- Barazzuoli P., Izzo S., Menicori P., Rigati R. & Salleolini M. (1995a) - *Uso del deflusso calcolato su basi fisiografiche nella stima delle risorse idriche dell'alto bacino del F. Sinni (Basilicata)*. *Boll. Soc. Geol. It.*, 115(2), 287-305
- Barazzuoli P., Izzo S., Micheluccini M. & Salleolini M. (1987a) - *Valutazione delle risorse idriche nella Toscana meridionale: 2) La carta dei coefficienti di deflusso del bacino del F. Merse (Prov. di Siena e Grosseto)*. *Mem. Soc. Geol. It.*, 37, 207-213.
- Barazzuoli P., Izzo S., Micheluccini M. & Salleolini M. (1987b) - *L'uso della carta dei coefficienti di deflusso nella gestione del territorio*. *Atti del VI Congresso Nazionale O.N.G.*, Venezia, 25-27 settembre 1987, 375-382.

- Barazzuoli P., Micheluccini M., Salleolini M. & Salvadori L. (1986) - *Valutazione delle risorse idriche nella Toscana meridionale: 1) Applicazione del "Metodo Kennessey" al bacino del Torrente Farma (Province di Siena e Grosseto) e sua verifica con i calcoli di bilancio*. Boll. Soc. Geol. It., 105, 333-350.
- Barazzuoli P., Pizzuto D., Rigati R. & Salleolini M. (1994) - *Valutazione delle risorse idriche dell'alto bacino del F. Biferno (Molise): un esempio di utilizzo del deflusso su basi fisiografiche*. Boll. Soc. Geol. It., 113(3), 709-728.
- Barazzuoli P., Rappuoli D. & Salleolini M. (1995) - *Identification and comparison of perennial yield estimation models using Mt. Amiata aquifer (southern Tuscany) as an example*. Environmental Geology, 25 (2), 86-99.
- Barberi F., Innocenti F & Ricci C.A. (1971) - Il magmatismo. In: *La Toscana meridionale: fondamenti geologico-minerari per una prospettiva di valorizzazione delle risorse naturali*, Rend. S.I.M.P., 27 (fasc. spec.), 169-210.
- Bazzurro F., Chiodini G., Giaquinto S., Mattioli B. & Zanzari A. (1986) - *Metodologie idrogeologiche ed idrogeochimiche applicate alla prospezione geotermica: stima del flusso di calore nell'area del M. Amiata*. CNR-PFE, SPEG, SI-4, Roma, 307-350.
- Benvenuti G., Brondi M., Dall'Aglio M., Da Roit R., De Cassan P., Ghiara E., Gigli C., Marinelli G., Martini M., Gragnani R., Orlandi C. & Paganin G. (1971) - *L'idrologia*. In: *La zona considerata: fondamenti geologico-minerari per una prospettiva di valorizzazione delle risorse naturali*, Rend. S.I.M.P., 27 (fasc. spec.), 211-316.
- Boni C.F., Bono P., Fanelli M., Funicello R., Parotto M. & Praturlon A. (1982) - *Carta delle manifestazioni termali e dei complessi idrogeologici d'Italia*. CNR-PFE, SPEG, RF 13, Roma.
- Calamai A., Cataldi R., Squarci P. & Taffi L. (1970) - *Geology, geophysics and hydrogeology of the Monte Amiata geothermal fields*. Geothermics, 1 (special issue), 1-11.
- Castany G. (1967) - *Traité pratique des eaux souterraines*. Dunod, Paris.
- Celico P. (1988) - *Prospezioni idrogeologiche*. Voll. I e II, Liguori Editore, Napoli.
- Celico P., Gaudenzi E. & Saraca G. (1988) - *Lineamenti idrogeologici del bacino del Fiora (Toscana-Lazio)*. Boll. Serv. Geol. It., 107, 73-130.
- Chiodini G., Comodi P., Giaquinto S., Mattioli B. & Zanzari A. (1988) - *Cold groundwater temperatures and conductive heat flow in the Mt Amiata geothermal area, Tuscany, Italy*. Geothermics, 17 (4), 645-656.
- Civita M. (1972) - *Schematizzazione idrogeologica delle sorgenti normali e delle relative opere di presa*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl. Napoli, 12, 1-34.
- Civita M. (1990) - *Legenda unificata per le carte della vulnerabilità all'inquinamento dei corpi idrici sotterranei/Unified legend for the aquifer pollution vulnerability maps*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 1 (Appendice), Pitagora Ed., Bologna.
- Civita M. (1994) - *Le carte della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento: teoria e pratica*. Quaderni di Tecniche di Protezione Ambientale, Sezione "Protezione delle Acque Sotterranee", 31, Pitagora Ed., Bologna.
- Civita M., Dal Prà A., Francani V., Giuliano G., Olivero G., Pellegrini M. & Zavatti A. (1993) - *Proposta di classifica sintetica e mappatura della qualità di base delle acque sotterranee*. Inquinamento.
- CLES (1991) - *Piano di Bacino del Fiume Ombrone: Studi preliminari. Volume I: Rapporto di sintesi*. Centro di ricerche e studi sui problemi del Lavoro, dell'economia e dello sviluppo. Roma.
- D'Amore F., Scandiffio G. & Panichi C. (1983) - *Some observations on the chemical classification of ground waters*. Geothermics, 12 (2/3), 141-148.
- De Felice A.M. & Dragoni W. (1993) - *Considerazioni su variazioni climatiche e disponibilità idriche in alcune località dell'Italia centrale*. Il Quaternario, 7 (1), 357-364.
- De Martonne E.M. (1926) - *Une nouvelle fonction climatologique: l'indice d'aridité*. La Météorologie, 2, 449-458.
- Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena (1996) - *Studio idrogeologico della parte meridionale del Comune di Monteriggioni finalizzato al reperimento ed allo sfruttamento delle locali risorse idriche sotterranee*. Relazione inedita svolta per il Comune di Monteriggioni.
- Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena (1996/98) - *Ricerca idrogeologica finalizzata alla valutazione delle risorse idriche nell'area compresa tra la Montagnola Senese-Colle Val d'Elsa-Monteriggioni-Pian del Lago*. Relazione inedita svolta per la Publiser (Empoli).

- Dipartimento di Scienze della Terra (1998a) - *Studio della valutazione della vulnerabilità dell'acquifero del M. Amiata: relazione preliminare*. Relazione inedita per la Giano Ambiente s.r.l. di Grosseto, maggio 1998. Coordinatori: P. Barazzuoli & M. Salleolini.
- Dipartimento di Scienze della Terra (1998b) - *Studio della valutazione della vulnerabilità dell'acquifero del M. Amiata: relazione finale Prog. A*. Relazione inedita per la Giano Ambiente s.r.l. di Grosseto, agosto 1998. Coordinatori: P. Barazzuoli & M. Salleolini.
- Dipartimento di Scienze della Terra (1998c) - *Valutazione del bilancio idrico ed idrogeo-logico dell'Ambito Territoriale Ottimale n. 6 "Ombrone"*. Relazione inedita per l'Autorità di Ambito Territoriale Ottimale n. 6 "Ombrone", agosto 1998. Coordinatore: M. Salleolini.
- Giuffrida A. & Conte M. (1989) - *Variations climatiques en Italie: tendances des températures et des précipitations*. Publ. de l'Assoc. Intern. de Climat, 2, 209-216.
- Liotta D. (1993) - *Carta geologica del settore centro-meridionale del Bacino di Radicofani (Provincia di Siena)*. Boll. Soc. Geol. It., 115 (1).
- Marrocchesi M. (1999) - *Indagine geoelettrica a supporto dello studio della vulnerabilità dell'acquifero amiatino (province di Siena e Grosseto): relazione conclusiva - I stralcio*. Relazione inedita per la Giano Ambiente s.r.l. di Grosseto, gennaio 1999.
- Mazzuoli R. & Pratesi M. (1963) - *Rilevamento e studio chimico-petrografico delle rocce vulcaniche del M. Amiata*. Atti Soc. Tosc. Sc. Nat., Mem., Ser. A, 70 (2), 355-429.
- Ministero LL.PP. - Servizio Idrografico - *Annali Idrologici*. Istituto Poligrafico dello Stato, Roma, Anni vari, Parti I e II.
- Palmieri F., Siani A.M. & D'Agostino (1992) - *Tendenze evolutive della temperatura e delle piogge in Italia negli ultimi cento anni con osservazioni su una serie storica di precipitazioni nevose*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 15, 135-142.
- Pranzini G. (1986) - *Quantity and quality problems of some tuscan aquifers*. Mem. Soc. Geol. It., 31, 267-285.
- Rapetti F. & Vittorini S. (1991) - *Studio di serie pluviometriche secolari in Toscana*. In: "Le variazioni recenti del clima (1800-1990) e le prospettive per il XXI secolo", Proceedings of the Italian Geographical Society Conference, Roma 5-6 aprile 1990, Mem. Soc. Geogr. Ital., 46, 457-478.
- Rapetti F. & Vittorini S. (1994) - *I caratteri del clima*. In: "la pianura di Pisa e i rilievi contermini: la natura e la storia", Mem. Soc. Geogr. Ital., 50, 103-132.
- Rappuoli D. (1990) - *L'acquifero del Monte Amiata: criteri di valutazione della risorsa idrica rinnovabile*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena, A.A. 1990-1991.
- Regione Toscana (2000) - *Rapporto sullo stato dell'ambiente in Toscana*
- Serri G., Innocenti F., Manetti P., Tonarini S. & Ferrara G. (1992) - *Il magmatismo neogenico-quadernario dell'area tosco-laziale-umbra: implicazioni sui modelli di evoluzione geodinamica dell'Appennino settentrionale*. Studi. Geol. Camerti, 1991/1 (vol. spec.), 429-463.
- Thiessen A.H. (1911) - *Precipitation for large areas*. Monthly Weather Rev., 39, 1082-1084.
- Thornthwaite C.W. (1948) - *An approach toward rational classification of climate*. Geographical Review, 38(1), 55-94.
- Thornthwaite C.W. & Mather J.R. (1957) - *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. Thornthwaite Associates, Laboratory of Climatology, Centerton, N. J.
- Tonini D. (1983) - *Elementi di idrografia ed idrologia*. Voll. I e II, Ed. Libreria Cortina, Padova.
- Trevisani M. (1996) - *Verso il sistema informativo territoriale della Regione Toscana: gli archivi numerici dei dati*. Regione Toscana, Giunta Regionale, Dipartimento Politiche Territoriali ed Ambientali, Area S.I.T. - Cartografia, Firenze.
- Turc L. (1954) - *Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement*. La Houille blanche, 3 journées de l'hydraulique de la Société Hydrotechnique de France, Paris, 36-44.
- Vannozi P. (1993) - *Variabilità climatica e trend delle risorse idriche rinnovabili nella Toscana*. Tesi di laurea inedita, Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università degli Studi di Siena, A.A. 1993-1994.

