



Emergenza idrica

**e sue ricadute sulle strutture aziendali
nella Provincia di Latina**

**Coordinatori scientifici
Dr. Carlo Perotto Dr. Carlo Gazzetti**

GRUPPO DI LAVORO

Coordinamento tecnico e scientifico: Carlo Gazzetti & Carlo Perotto

Modelli previsione climatica e analisi geostatistica: Luis Gomez, prof. Giuseppe Raspa

Elaborazioni e analisi GIS: Paolo Sarandrea

Supporto all'analisi dei dati: Alessandro Carlomagno, Giuseppe Verbena, Andrea Fantini

RINGRAZIAMENTI

Si ringrazia Acqualatina S.p.A. per le preziose informazioni fornite sulle reti acquedottistiche, le captazioni e gli interventi strategici pianificati dalla società.

Sommario

Premessa	5
Abstract	7
Introduzione	9
1. Ambito territoriale di riferimento	10
2. Aspetti metodologici e dati di base	19
2.1 Generalità	19
2.2 Ripartizione delle precipitazioni	21
2.2.1 Definizione dei fattori fisici territoriali	22
2.2.2 Spazializzazione dei dati meteoroclimatici	27
2.3 Scenari di previsione climatica	29
2.3.1 Spazializzazione delle previsioni climatiche	32
2.4 Studio della domanda e dei prelievi idrici	35
2.4.1 Uso irriguo	36
2.4.2 Usi Industriali e produttivi	37
2.4.3 Uso Civile (acquedotti)	40
2.5 Definizione del modello idrogeologico e stima delle risorse disponibili	44
3 Risultati e analisi	47
3.1 Risorse idriche rinnovabili attuali e previste	47
3.2 Fabbisogno e prelievi idrici attuali e previsti	51
3.2.1 Irriguo	51
3.2.2 Idropotabile	55
3.2.3 Industriale	58
4 Bilancio idrico	61
4.1.1 Colli Albani	62
4.1.2 Costieri Nord	63
4.1.3 Monti Lepini	63
4.1.4 Monti Ausoni	65
4.1.5 Monte Grande	66
4.1.6 Monti Aurunci	67
4.1.7 Monte Maio	67
4.1.8 Piana di Gaeta (IE 0,87 m ³ /s)	68
4.1.9 Piana di Fondi (IE 0,72 m ³ /s)	68

4.1.10	Pianura Pontina pedemontana.....	68
4.1.11	Pianura Pontina costiera.....	70
5	Elementi di criticità.....	72
5.1.1	Stato attuale	72
5.1.2	Quadro previsionale	73
6	Indicazioni per la tutela e la gestione delle risorse idriche	74
7	Conclusioni	76
	Bibliografia essenziale	77

Allegati:

Schema idrogeologico

Premessa

di Giorgio Klinger*

Mentre le nostre realtà associative, pur vivendo il cambiamento, insieme alle aziende al cui servizio sono destinate, si interrogano su quale possa essere il migliore schema organizzativo e, soprattutto, la più adeguata combinazione tra servizi tradizionali e servizi innovativi o reali, troppo spesso tendono a dimenticare la loro natura originaria.

Le nostre associazioni sono nate per rappresentare e difendere le ragioni di una categoria, come quella degli industriali, sui cui sforzi è stato basato lo sviluppo del nostro paese e sulle cui capacità è ancora fondata la prosperità della nostra nazione.

La problematica dell'emergenza idrica, che abbiamo approfondito sia con un simposio conclusivo il 30 gennaio presso l'Idroforo di Mazzocchio, a Pontinia, sia con questo studio, rientra tra i servizi innovativi della nostra Associazione, ma è anche una tematica certamente attuale e che coinvolge direttamente l'impresa nelle sue funzioni vitali.

La grave siccità subita dal nostro paese nel 2017, ed inoltre, i fenomeni piovosi violenti e concentrati avvenuti in parti limitate del territorio nel 2018, ci hanno posto di fronte al problema di dover gestire queste nuove manifestazioni atmosferiche prodotte dal lento ma inesorabile riscaldamento della terra; Unindustria con queste iniziative presenta uno studio aggiornato del fabbisogno idrico, con una analisi degli sprechi e le proposte da adottare per far fronte alla domanda idrica nel territorio della provincia di Latina.

Ovviamente per affrontare una problematica così complessa, quale è l'emergenza idrica, bisogna necessariamente prima fare una valutazione concreta ed oggettiva, conoscere e comprendere lo "stato dell'arte" e solo successivamente cercare soluzioni che necessariamente potranno svilupparsi nel medio lungo periodo.

Per comprendere la gravità della situazione è sufficiente sottolineare che nella provincia di Latina l'attuale consumo idrico, prevedibilmente, aumenterà nei prossimi 20 anni di circa il 30%: con il cambiamento climatico probabilmente i fenomeni di siccità si verificheranno in maniera sempre più incisiva ed con maggior frequenza temporale; la situazione ci obbliga a cercare soluzioni viste le prospettive future.

In questo studio gli esperti individuano eventuali soluzioni possibili nei diversi comparti: dell'agricoltura, urbano ed industriale, dove in ogni ambito dobbiamo far crescere la consapevolezza che alla complessa problematica dobbiamo saper rispondere collegialmente, ognuno facendo la propria piccola parte di azioni, cercando di rispondere alla situazione che si è venuta a creare.

Oggi abbiamo una gestione delle acque fortemente frastagliata con una gestione capillare di diversi enti, con il simposio e questo studio abbiamo iniziato a percorrere una strada: quella di far dialogare i diversi attori preposti a gestire le risorse idriche.

La problematica delle risorse idriche è indivisibile ed unitaria nel territorio e tale dovrebbe essere la gestione, le risorse idriche, la rete, le falde, i canali sono tutti strettamente collegati ed interdipendenti tra loro, conseguentemente, riteniamo che l'unica possibile gestione amministrativa/giuridica ottimale è quella di istituire un unico ente che possa acquisire una visione di insieme e che coordini i diversi player con una progettazione ed una politica idrica unitaria della regione proiettata nel medio lungo periodo.

Le Associazioni Datoriali oltre a fornire agli Associati servizi diretti ed indiretti, devono fare “Cultura di Impresa” questo è ciò che distingue principalmente una Associazione datoriale dai consulenti che forniscono “solo” servizi.

Affrontare le problematiche dell'emergenza idrica e del cambiamento climatico rientra nei nostri compiti per salvaguardare la sopravvivenza delle nostre imprese nelle sue funzioni vitali. Fare “Cultura di impresa” vuol dire in questo contesto diffondere la consapevolezza che ogni singolo operatore sociale deve avviare azioni utili e finalizzate per poter affrontare il cambiamento climatico e contemporaneamente contenere l'innalzamento della temperatura terrestre.

Questo studio sull'emergenza idrica della Provincia di Latina si colloca in un progetto ben più ampio che Unindustria ha avviato sulla problematica dei cambiamenti climatici, causa originaria della carenza idrica, con un progetto, cofinanziato dalla CCIAA di Latina, che sarà presentato entro la fine del corrente anno.

Un ringraziamento particolare agli autori dello studio e a tutti coloro che si sono prodigati con preziosi contributi alla sua stesura, desidero sottolineare inoltre l'apporto particolare della società *Acqualatina*, che senza timore di confrontarsi, ha reso il simposio del 30 gennaio e la pubblicazione più imparziale e oggettiva.

*Presidente Area Territoriale di Latina di Unindustria

Abstract

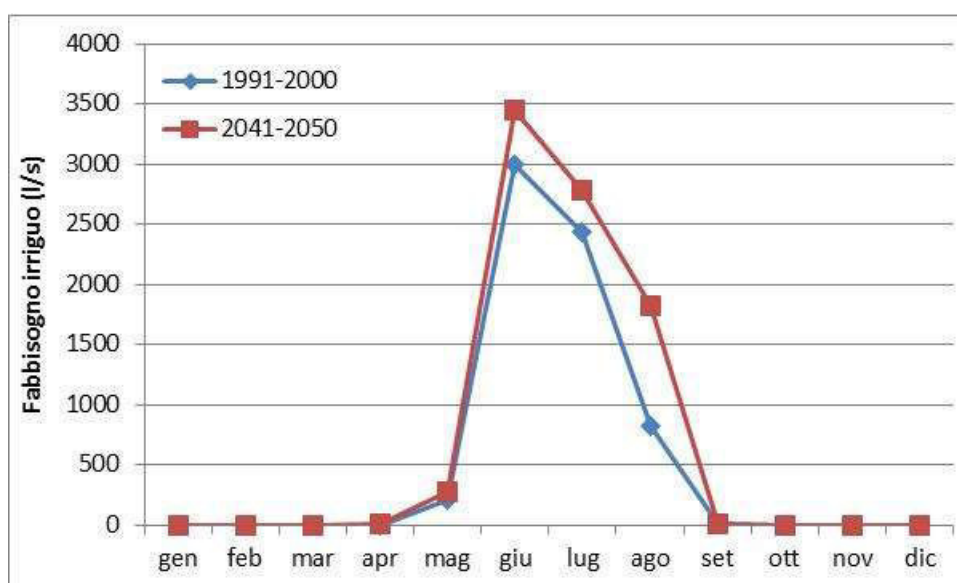
Lo studio si è basato su una ricognizione dei possibili modelli idrogeologici del territorio pontino proposti da diversi autori e sull'elaborazione di dati climatici storici e previsionali, pedologici, di uso del suolo ed idrologici editi ed inediti.

Per l'elaborazione dei dati è stata applicata un modello metodologico "distribuito", in parte innovativo.

Lo studio suddivide il bagaglio di informazioni disponibili e le elaborazioni, in cui la valenza dei risultati, in relazione ai dati disponibili, ha valore oggettivo, da una parte finale in cui dati ed elaborazioni vengono analizzati e valutati anche sulla base di elementi di stima, per pervenire ad una classificazione dei corpi idrici e degli elementi critici nel rapporto tra risorse idriche disponibili, domanda idrica e sistemi di approvvigionamento.

Dalle risultanze dello studio emergono una serie di criticità, sulla base delle quali gli elementi del quadro previsionale indicano:

- un previsto incremento, nell'ordine del 15%, dei fabbisogni irrigui di punta nelle aree più idroesigenti rispetto a risorse disponibili invariate o in leggera diminuzione;
- una prevista accentuazione dei valori estremi caratteristici dell'alternanza di periodi umidi e periodi aridi che ha caratterizzato gli ultimi 50 anni con accentuazione delle criticità già riscontrate nella crisi idrica del 2017 e la conseguente esigenza di predisporre adeguate risorse idriche strategiche soprattutto per l'approvvigionamento idropotabile.



Confronto tra fabbisogno irriguo mensile stimato per il periodo 1991-2000 e previsto per il periodo 2041-2050 nel settore costiero della Pianura Pontina, tra Rio Martino e San Felice Circeo

Lo studio ha individuato le criticità e le azioni da intraprendere per ciascuna delle sotto aree (ambiti strategici di bilancio) al fine di fornire alle Istituzioni locali di riferimento le indicazioni sulla situazione esistente e potenziale, nonché possibili strategie di contrasto da intraprendere su ciascuno dei filoni su cui è stata focalizzata l'attenzione e cioè: prelievi agricoli, industriali e civili.

Le criticità emerse sono tali e con impatti così evidenti, da rendere necessaria la predisposizione di una pianificazione a medio e lungo termine che coinvolga Enti di livello regionale con capacità di

spesa, predisponendo un piano di investimenti, coordinato da soggetti istituzionali effettivamente in grado di intervenire (Unione Europea, Stato, Regione) anche con una pianificazione finanziaria delle esigenze che questo approccio comporta.



Valutazioni di sintesi delle risorse idriche disponibili negli ambiti strategici di bilancio individuati

Introduzione

Il presente documento descrive i risultati di una ricerca inerente le risorse idriche del territorio provinciale di Latina in relazione agli usi industriali, civili e agricoli, al fine di individuare le criticità attuali e future e gli elementi per l'ottimizzazione della gestione. L'attività è stata svolta a seguito di incarico professionale conferito agli scriventi da Unindustria (prott. 71/LI e 71/LI del 13 giugno 2018) avente per oggetto "INDAGINE SULLA EMERGENZA IDRICA E LE RELATIVE RICADUTE SULLE STRUTTURE AZIENDALI DELLA PROVINCIA DI LATINA".

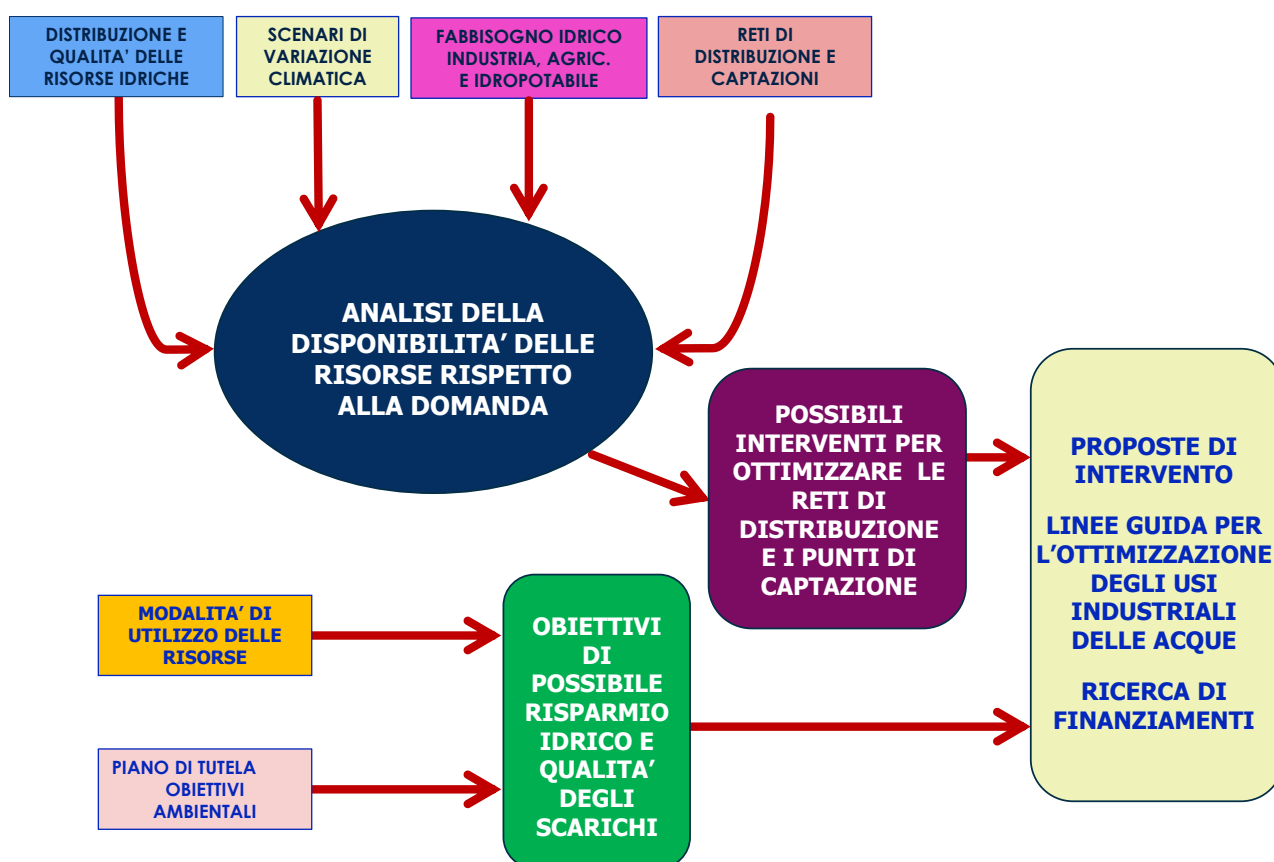
Lo studio si è concretizzato secondo i seguenti TASK:

- TASK 1 – Bilancio idrico
- TASK 2 – Analisi della domanda e degli usi
- TASK 3 – Analisi di sintesi, scenari e proposte operative

Il gruppo di lavoro, coordinato dai geologi Carlo Perotto e Carlo Gazzetti, ha coinvolto ricercatori del mondo accademico e professionisti esperti, da anni impegnati nello studio delle tematiche soprariportate.

I primi risultati dell'attività di ricerca svolta sono stati presentati nel simposio organizzato da Unindustria e Camera di Commercio il 30 gennaio 2019 presso l'impianto idrovoro di Mazzocchio in comune di Pontinia.

Lo schema concettuale degli obiettivi e delle finalità dello studio è sintetizzato nello schema che segue.



1. Ambito territoriale di riferimento

La genesi delle risorse idriche del territorio provinciale di Latina è connessa con bacini idrografici e idrogeologici che si estendono oltre i limiti amministrativi, su un'area complessiva (Fig.1.1) di circa 4'400 km² che comprende:

- la struttura idrogeologica del distretto vulcanico dei Colli Albani;
- i sistemi acquiferi terrigeni costieri e pedemontani della Pianura Pontina;
- le strutture idrogeologiche carbonatico-carsiche dei Monti Lepini, Ausoni, Monte Grande, Monti Aurunci e Monte Maio;
- i sistemi acquiferi terrigeni della Valle dell'Amaseno, della Piana di Fondi dell'area compresa tra Formia e Minturno (Sistema acquifero eterogeneo Sud Pontino)

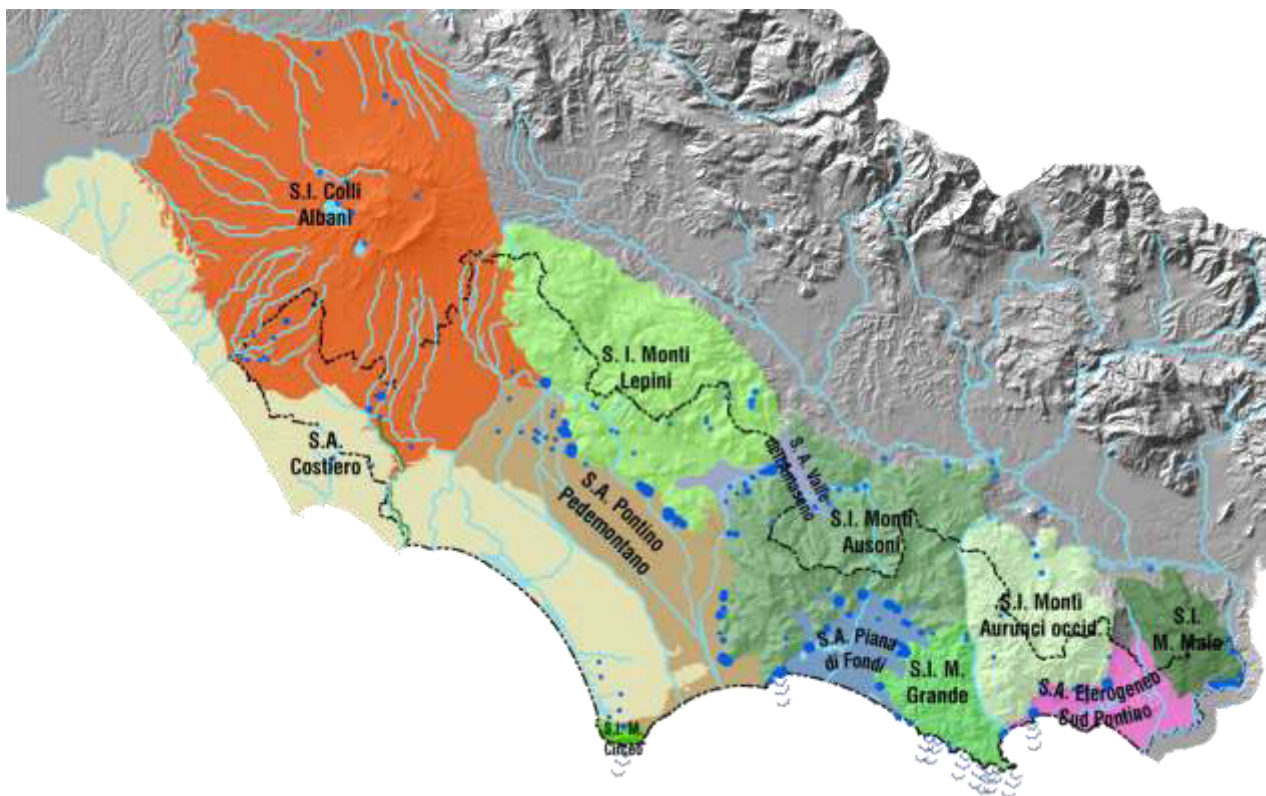


Fig.1.1– Reticolo idrografico principale (linee celesti), sorgenti (cerchi blu) e principali idrostrutture ricadenti in tutto o in parte nel territorio provinciale di Latina (limite nero tratteggiato)

Si aggiungono a quest'area le Isole Pontine che, non disponendo di risorse idriche superficiali e sotterranee vengono trattate nel presente studio con il solo riferimento alle strategie per l'approvvigionamento idropotabile.

I corsi d'acqua presentano lunghezza massima di qualche decina di chilometri con bacini idrografici che solo in pochi casi oltrepassano i limiti provinciali.

Il deflusso di base è alimentato da acque sorgive ed è pertanto indipendente dalla lunghezza dei corsi d'acqua (Tab.1). Fiumi, fossi e canali poco estesi possono presentare deflusso di base di oltre 5 m³/s e portate di ruscellamento limitate, mentre fossi e canali estesi con flusso di base trascurabile presentano al contrario portate di piena elevatissime.

Per quanto detto, anche il chimismo naturale delle acque può presentare caratteristiche molto variabili, in ragione dalle diverse facies idrochimiche delle acque sotterranee e delle acque superficiali di ruscellamento.

Corso d'acqua	Superficie Bacino (km ²)	Lunghezza asta principale (km)	Origine deflusso di base	Classe di flusso di base (m ³ /s)
Amaseno*	425.5	54.9	Sorgenti Acquifero carsico	0-5
Botte*	43.0	16.5	Falda freatica alluvionale**	0-0,5
Linea Pio*	56.2	29.3	Sorgenti Acquifero carsico	3-5
Pedicata – Navigazione	15.4	6.4	Sorgenti Acquifero carsico	3-4
Selcella*	103.0	21.2	Falda freatica alluvionale**	0,5-1
Ufente*	88.7	32,7	Sorgenti Acquifero carsico	3-5
Badino*	37.9	5.4	misto	8,5-16
Astura	86.4	20.2	Sorgenti lineari	0,5-1
Moscarello (Can. Acque Alte)	611.0	32.7	Acquifero vulcanico	0,3-0,7
Rio Martino (Can. Acque Medie)	194.9	33.8	Sorgenti Acquifero carsico e acquifero sabbioso costiero	1-2
Fiume Sisto	135.1	41.3	Sorgenti Acquifero carsico e acquifero sabbioso costiero	0,5-2
Can. Pedemontano (Fondi)	94.7	16.8	Sorgenti Acquifero carsico	0-0,3
Incastro (Ardea)	138.9	42.0	Sorgenti lineari	0,5-1
Rio d'Itri	55.0	13.2	Acquifero vulcanico	0-0,1
Ausente	109.9	17.0	Sorgenti sospese acquifero carsico	0-0,1
Rio S. Croce	35.3	9.3	Falda freatica alluvionale	0-0,1
			Sorgenti Acquifero carsico	0,5-1

Tab. 1.1 – Caratteristiche dei principali corsi d'acqua della Provincia di Latina (tratta da Progetto monitoraggio acque superficiali interne e costiere della Provincia di Latina, - modificata). * chiusi alla confluenza con il Canale Portatore a Ponte Maggiore; ** il flusso di base è alimentato anche da apporti artificiali dai bacini circostanti.

Gli acquiferi presenti nei contesti geologici sinteticamente richiamati, presentano caratteristiche idrostrutturali, qualità delle acque e potenzialità molto differenti.

Le principali risorse idriche si concentrano nelle strutture idrogeologiche carbonatico-carsiche costituite da unità tettonico-sedimentarie di piattaforma carbonatica meso-cenozoica, sovrascorse verso NE (Valle del Fiume Sacco – Valle Latina) su sedimenti torbiditici (Flysch) argillosi e arenacei (poco permeabili) e ribassate, verso NW, al disotto dei sedimenti delle piane costiere, da sistemi di faglie normali.

Nella figura 1.2 si riporta, come esempio delle condizioni tipo di questi acquiferi, una sezione schematizzata attraverso la dorsale dei Monti Lepini, tra la Valle Latina e la Pianura Pontina, in cui sono evidenziati alcuni elementi caratteristici quali:

- l'infiltrazione preferenziale delle piogge nelle rocce carbonatiche fratturate e carsificate;
- le condizioni di limite a flusso sotterraneo nullo lungo il contatto tettonico tra le rocce carbonatiche e il Flysch della Valle Latina;
- la direzione del deflusso sotterraneo e la presenza di importanti sorgenti al contatto tra i calcari e i sedimenti terrigeni, meno permeabili;

- la dislocazione tettonica dei calcari al disotto dei sedimenti della Pianura e la presenza di una falda artesianiana in continuità con quella della dorsale;
- la presenza di una falda freatica superficiale nella Pianura;
- la risalita preferenziale di fluidi idrotermali ricchi di cloruri, sodio, solfato, gas e altri elementi (Arsenico, Fluoruri ecc.), lungo faglie presenti al disotto della Pianura.

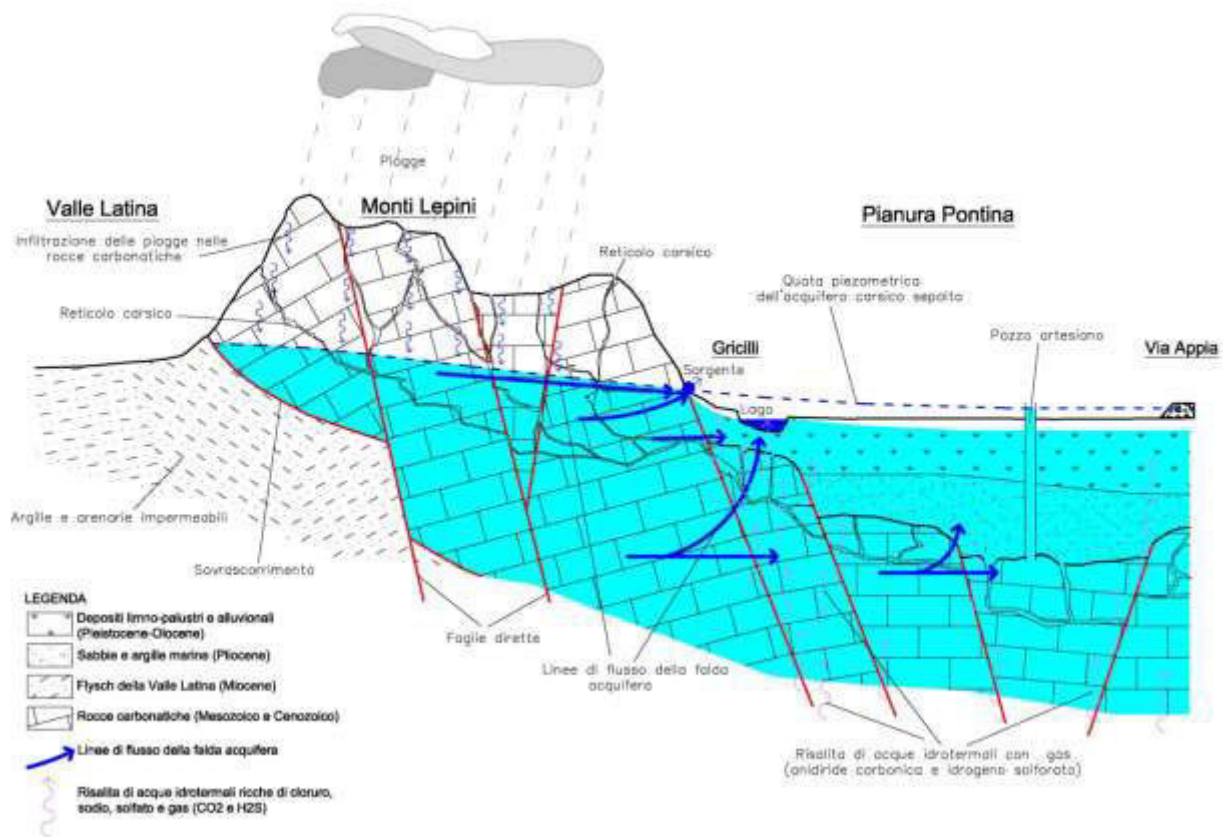


Fig.1.2 – Sezione geologica schematica della struttura idrogeologica dei Monti Lepini, tra la Valle Latina e la Pianura Pontina.

Le sorgenti poste al contatto tra le dorsali carbonatiche e i depositi terrigeni presentano portate molto elevate (Tab.1.2) con un apporto complessivo nel reticolo idrografico di circa $25 \text{ m}^3/\text{s}$.

Nella Pianura Pontina, il gruppo Ninfa alimenta il deflusso di base del Canale delle Acque Medie e per una piccola percentuale del Fiume Sisto, il Canale Linea Pio riceve le portate del gruppo Cavata-Cavatella, il Fiume Ufente le acque dei gruppi Sardellane e Gricilli; il Fiume Amaseno è invece alimentato dalle portate dei gruppi sorgivi dell'omonima valle.

Nel settore meridionale della Piana il Fiume Pedicata e il Canale di Navigazione ricevono le acque dei gruppi sorgivi alla base delle pendici dei Monti Ausoni.

Nella Piana di Fondi il deflusso di base del Canale Pedemontano, del Fosso Vetere e degli altri fossi e canali minori è sostenuto dalle sorgenti che circondano la piana ed alimentate dai Monti Ausoni e dalla struttura di Monte Grande.

Nel sud pontino l'unico corso d'acqua di una certa rilevanza è il Rio Santa Croce alimentato dalle sorgenti di Capo d'Acqua di Spigno.

Struttura	Sorgenti	Portata* (m³/s)
Monti Lepini	Gruppo Ninfa	1.7
	Gruppo Cavata-Cavatella	4.9
	Gruppo Sardellane	2.9
	Gruppo Gricilli	0.9
Monti Ausoni	Gruppo Valle dell'Amaseno	3.5
	Gruppo Pedicata-Feronia	3.5
	Gruppi della Piana di Fondi	2
Monte Grande	Sorgenti Tra la Piana di Fondi e Sperlonga	1.75
Monti Aurunci	Gruppo le Caldare e altri Valle Liri	0.67
	Gruppo Mazzoccolo	0.6
	Capo d'Acqua di Spigno	1.15
Monte Maio	San Giorgio-Liri	0.67
	Gruppo Suio	0.9

Tab.1.2 – Portate medie dei principali gruppi sorgivi alimentati dalle strutture idrogeologiche carbonatico-carsiche (elaborazione di dati inediti e tratti dalle fonti bibliografiche richiamate nel testo)

Con riferimento alle portate medie indicate nella tabella 1.2, si evidenzia come alcuni gruppi sorgivi, caratterizzati da una maggiore prevalenza della componente di flusso connessa con condotti carsici o in posizione di sfioro dei settori sommitali della falda idrica (sorgenti della valle dell'Amaseno, La Villa, Mazzoccolo, Capo d'Acqua di Spigno ecc.), presentino una più marcata variabilità stagionale, con picchi di portata molto elevati che, in mancanza di ricarica, raggiungono rapidamente valori molto inferiori alla media.

Gli acquiferi della struttura vulcanica dei Colli Albani si presentano con caratteristiche dissimili. L'edificio vulcanico Albano occupa un'area di circa 1500 Km², indicativamente compresa tra il Fiume Tevere e il Canale delle Acque Alte (Fig.1.1), caratterizzata da un rilievo centrale (area dei Castelli Romani) che degrada dolcemente verso le aree periferiche (Valle del Tevere, Costa tirrenica, Pianura Pontina, Valle del Sacco).

Il distretto vulcanico è sede di un potente acquifero piroclastico stratificato con, alla base, livelli acquiferi discontinui di sabbie e ghiaie, sostenuto al letto da una potente successione di sedimenti argillosi marini di età plio-pleistocenica.

Coerentemente con l'assetto morfologico e strutturale del vulcano, il deflusso sotterraneo della falda di base assume direzioni radiali rispetto al cono centrale, con quote piezometriche che progressivamente digradano da circa 350 m s.l.m., nell'area centrale, sino al livello del mare.

Le potenzialità e le direzioni di flusso della falda sono condizionate soprattutto dall'andamento del tetto delle argille di base che, per motivi tettonici, si innalza spostandosi da monte verso i settori costieri, sino ad affiorare lungo le incisioni dei fossi tra Ardea e Torre Astura.

Numerose piccole falde sospese danno luogo a sorgenti di interesse locale e/o paesaggistico, mentre la falda di base drena soprattutto nelle incisioni dei fossi presenti nei settori distali, più bassi in quota, dando luogo a sorgenti lineari in alveo.

Nella porzione dell'edificio vulcanico di interesse per il territorio provinciale, i maggiori apporti alla falda provengono dalle circolazioni idriche che si originano lungo le pendici sud-occidentali e meridionali dell'apparato vulcanico (Fig.1.3). La presenza e l'importanza dell'acquifero in oggetto è evidenziata sia dalle portate emergenti nei corsi d'acqua principali (sorgenti in alveo del F. Astura, del Fosso Grande e del Fosso Spaccasassi, Canale Acque Alte e relativi affluenti), caratterizzati da portate permanenti nell'ordine delle centinaia di l/s (Tab.1.3), sia dalla presenza di numerosi pozzi per uso domestico, irriguo, industriale e idropotabile, caratterizzati da elevate produttività.

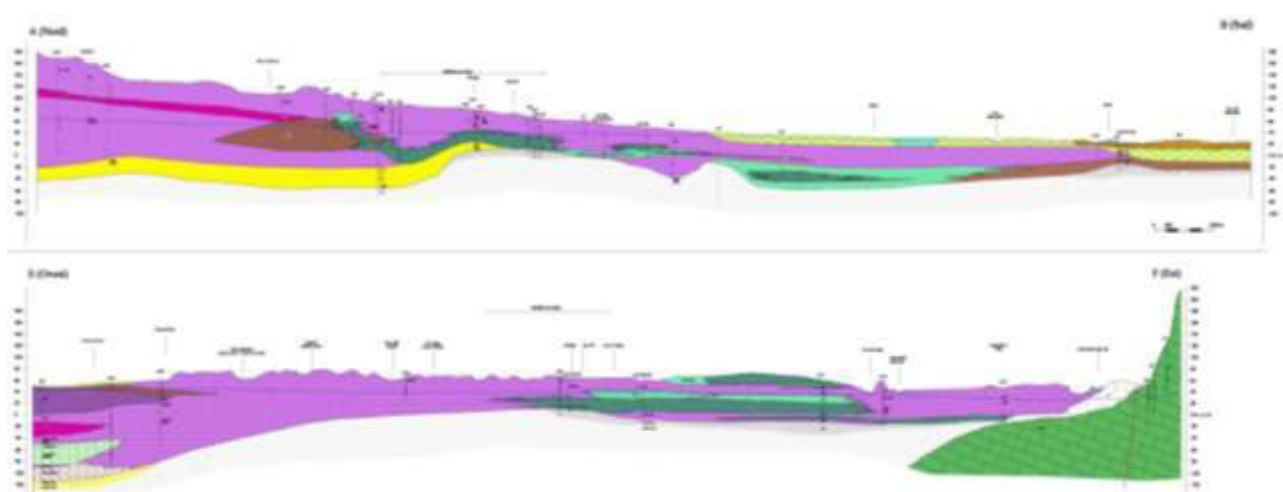


Fig.1.3 – Sezioni idrogeologiche longitudinale e trasversale lungo le pendici meridionali dei Colli Albani (da Gazzetti C & Ialongo N. – Studio geologico per il PRG di Cisterna di Latina).

Struttura	Sorgenti principali	Portata* (m ³ /s)
Colli Albani	Sorgenti in alveo Fosso Incastro e affluenti	0.89
	Sorgenti in alveo Fiume Astura	1
	Sorgenti in alveo Can Allacciante, Can. Acque Alte e affluenti	0.9

Tab.1.3– Portate medie del deflusso di base dei principali corsi d'acqua alimentati dai settori Meridionale e sud-occidentale dall'acquifero dei Colli Albani.

Gli acquiferi costieri presentano condizioni idrostrutturali e idrodinamiche complesse (Fig.1.4). Si osserva, in generale, una prima falda idrica freatica superficiale ospitata nei depositi della Duna Antica e una o più falde profonde nelle formazioni sabbiose piroclastiche (Gazzetti et al, 2015). Le due circolazioni sono generalmente idraulicamente separate, con quote piezometriche che differiscono da pochi decimetri a oltre 2 m (Gazzetti et. Al, 2015). La superficie freatica della falda superiore segue la morfologia della duna antica, con un alto piezometrico nei settori centrali e drenaggio verso i laghi costieri-mare (SW) e verso le aree più depresse della Pianura Pontina (SE), dove contribuisce ad alimentare il deflusso di base dei corsi d'acqua che incidono o delimitano la fascia dunare. La circolazione idrica profonda è in continuità idraulica

laterale con quella degli acquiferi carbonatici e vulcanici che delimitano la Pianura Pontina e, dalle misure disponibili, sembra presentare una direzione del deflusso diretta prevalentemente verso il mare. Condizioni simili caratterizzano gli acquiferi costieri della Piana di Fondi.

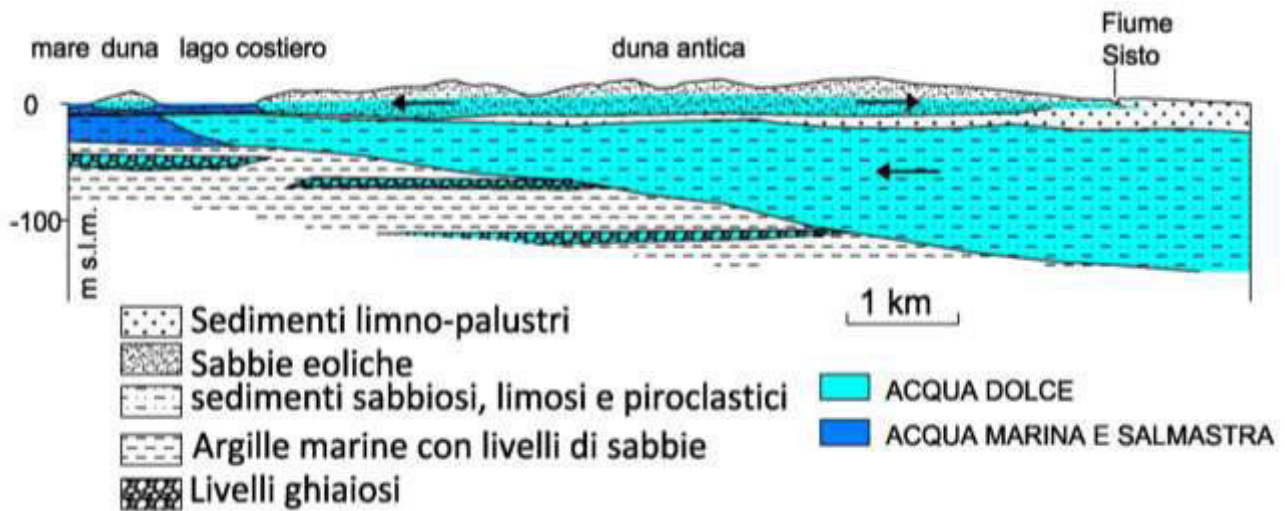


Fig.1.4 – Sezione idrogeologica schematica attraverso gli acquiferi costieri della Pianura Pontina (da Napoli et al, 2017)

Nelle aree interne della Pianura Pontina e della Piana di Fondi la circolazione idrica sotterranea è caratterizzata soprattutto da fenomeni di drenanza della falda artesianica contenuta nelle formazioni calcaree sepolte in profondità, in continuità idraulica con le strutture acquifere circostanti.

In queste aree la falda freatica, ricaricata dalle piogge, si incontra a quote molto prossime a quelle del piano di campagna ed è in genere drenata dai fossi e dai canali di bonifica.

Gli acquiferi eterogenei della Valle dell'Amaseno e dell'Area di Formia, Gaeta e Minturno sono caratterizzati da circolazioni idriche complesse, parzialmente compartimentate e con rapporti di scambio poco definiti rispetto agli acquiferi circostanti. In ogni caso, questi acquiferi non danno luogo ad emergenze con portate significative.

Dal punto di vista qualitativo, le analisi chimiche indicano in generale la presenza di tre facies idrochimiche predominanti: la facies bicarbonato-calcica, tipica degli acquiferi carsici delle dorsali carbonatiche; la facies bicarbonato-calcica tendente alla bicarbonato-alcina, tipica degli acquiferi vulcanici; la facies cloruro-alcina, caratteristica delle acque "contaminate" dalla risalita di fluidi di origine idrotermale associata alla presenza di importanti linee tettoniche, soprattutto nel graben pontino e al margine delle strutture carbonatiche (Gazzetti et al, 2011).

Valori elevati della salinità delle acque superficiali e sotterranee sono connessi con la presenza di abbondanti apporti di fluidi profondi mineralizzati con facies cloruro-alcine. Nella figura 1.5 si riporta la distribuzione dei valori di conducibilità elettrica specifica (indicativa del grado di mineralizzazione delle acque) rilevati nelle acque sotterranee e nelle principali sorgenti. Si evidenzia che i valori di salinità elevati riscontrati nelle sorgenti costiere tra Sperlonga e Gaeta sono associati a fenomeni di miscelazione con acque marine.

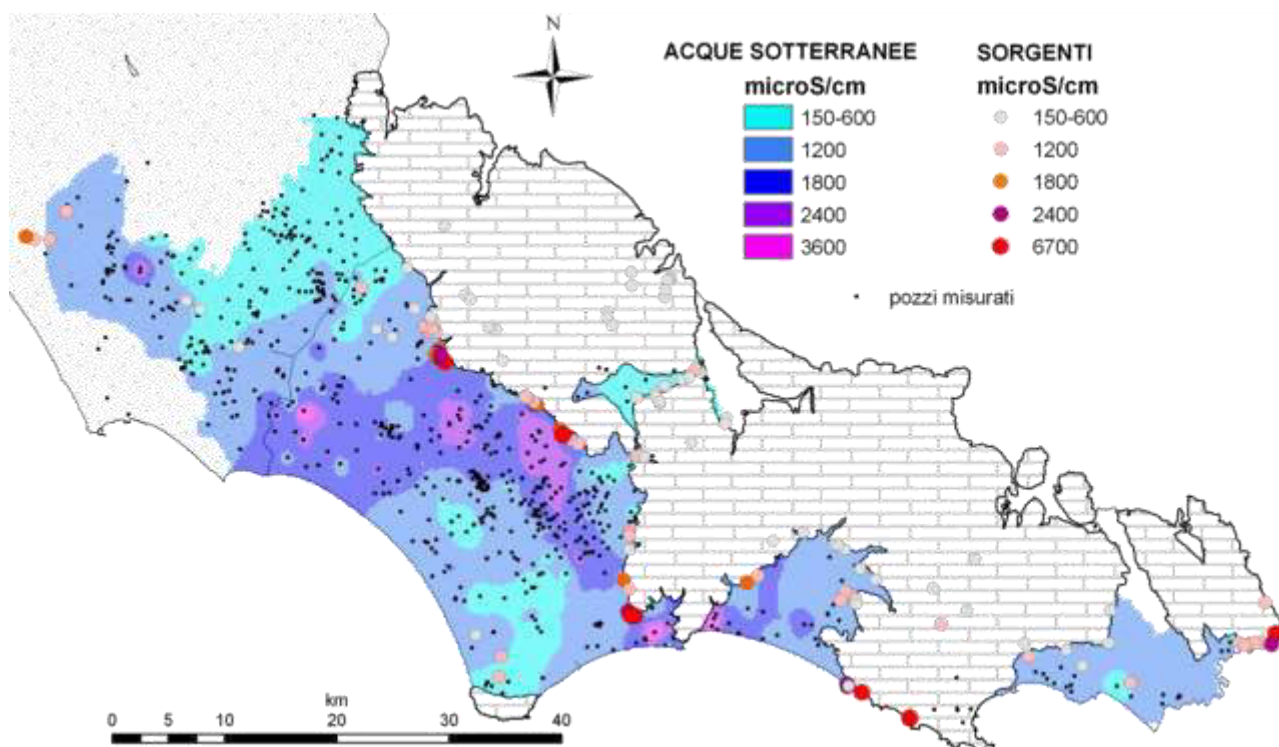


Fig.1.5 – Distribuzione dei valori di conducibilità elettrica specifica rilevati nelle acque sotterranee della Provincia di Latina (Gazzetti et al, 2011).

La ricognizione sistematica degli elementi idrostrutturali, sinteticamente descritti, consente di definire uno schema generale dei principali acquiferi e delle condizioni al contorno definite da:

- limiti a flusso nullo, ove le condizioni idrostrutturali non consentono il passaggio di acque sotterranee tra acquiferi adiacenti;
- limiti di drenaggio, dove il flusso sotterraneo converge nella quasi totalità nell'alveo dei corsi d'acqua;
- limiti di potenziale, dove il carico piezometrico determina condizioni dinamiche di flusso nullo;
- limiti di scambio, dove il passaggio di acque sotterranee tra acquiferi adiacenti è aperto nei due sensi;
- limiti di travaso, dove lo scambio tra acquiferi adiacenti ha direzione e verso definiti.

Con riferimento alla sottostante Figura 1.6, nelle fasi successive dello studio vengono definiti e/o stimati gli elementi necessari per individuare le direzioni di flusso, i limiti dei bacini idrogeologici e i volumi di travaso sotterraneo tra acquiferi adiacenti. Sono questi, infatti, gli elementi che assumono ruolo determinante per la quantificazione e la gestione delle risorse idriche.

Rispetto ai valori di portata richiamati nel presente paragrafo occorre evidenziare come questi siano riferiti a condizioni medie e come le portate varino sensibilmente nelle diverse stagioni con periodi di morbida, in genere compresi tra aprile e giugno e periodi di magra tra agosto e ottobre. In anni particolarmente piovosi o aridi i valori medi possono variare sensibilmente.

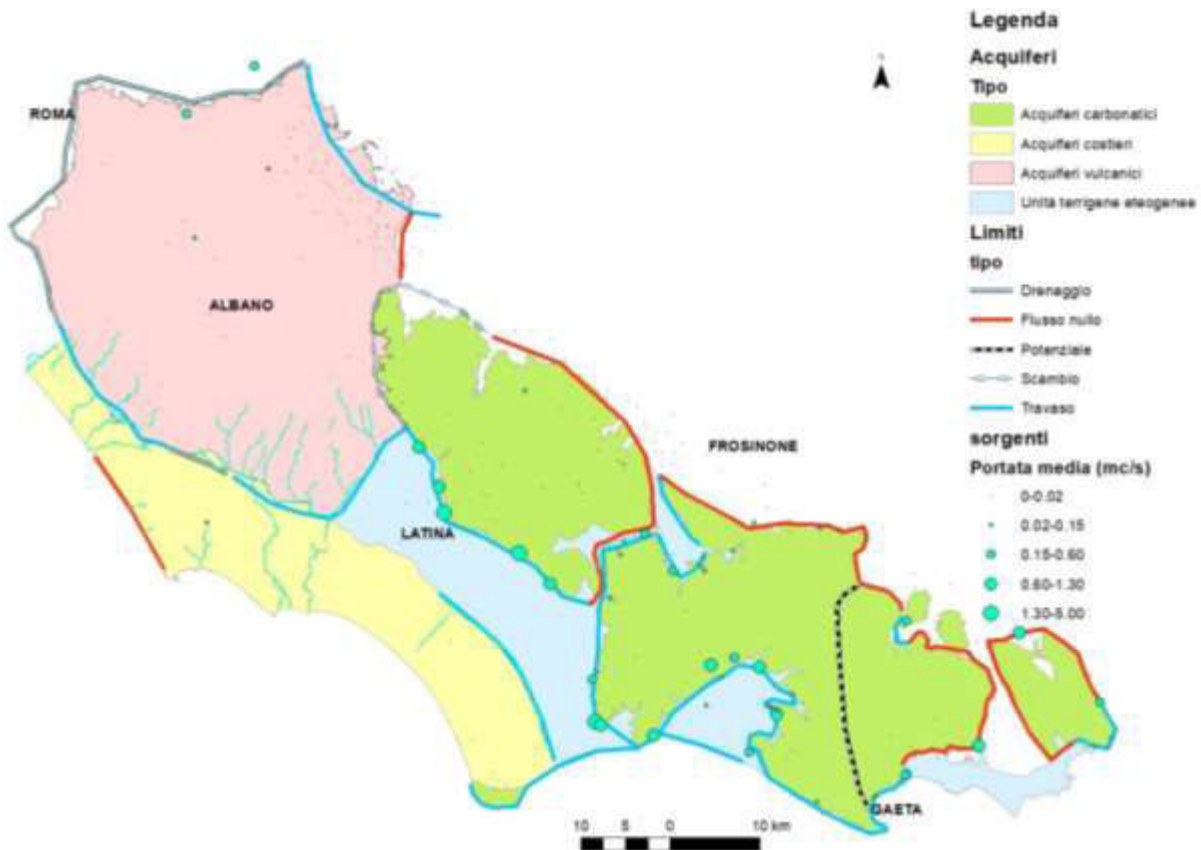


Fig.1.6 – Acquiferi principali, limiti al contorno e sorgenti

Per le finalità del presente studio è rilevante riportare un accenno alla crisi idrica conseguente alle scarse precipitazioni che hanno caratterizzato il periodo compreso tra l'autunno 2016 e l'estate 2017.

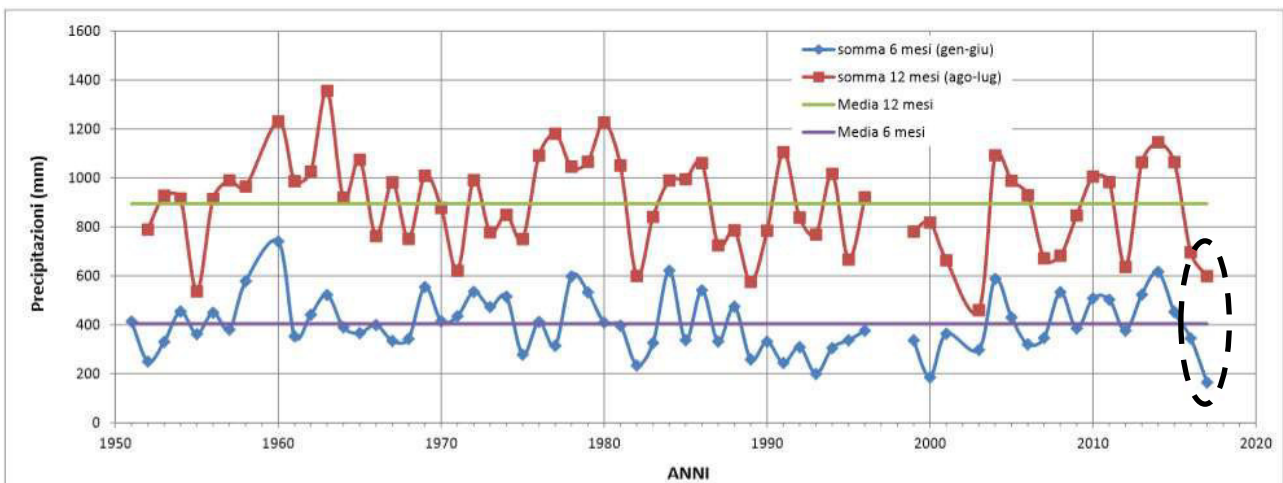


Fig.1.7 – Valori di precipitazione misurati dalla stazione di Latina del Servizio Idrografico tra il 1951 e il 2017. Per ogni anno vengono riportati i valori cumulati da gennaio a giugno e da agosto (anno precedente) a luglio (da Gazzetti & Sarandrea, 2017).

In Fig.1.7 si può osservare come, nella stazione di Latina, le precipitazioni cadute tra Agosto 2016 e Luglio 2017 siano state significativamente al di sotto (78% e 67%) della media pluriennale. Tali valori risultano comparabili con quelli di altri noti periodi aridi (2012, 2007/08, 2000/03) susseguitisi con alternanza apparente di 5/6 anni. L'eccezionalità dei fenomeni osservati sembra essere maggiormente connessa alla

carenza di precipitazioni tardo invernali e primaverili rilevate tra gennaio e giugno 2017, con un valore di 164,4 mm di afflussi alla stazione di Latina, pari a circa il 40% della media pluriennale. Tale valore, il più basso della serie storica di misure, si associa alla sequenza di 2 anni con caratteristiche di aridità.

Le condizioni descritte hanno determinato situazioni di carenza idrica nel settore agricolo della Pianura Pontina, crisi dei sistemi di captazione e distribuzione idropotabile con rilevanti effetti nella Valle dell'Amaseno e nel Sud Pontino e problematiche ambientali particolarmente gravi nell'area dei Giardini di Ninfa.

Alla fine del mese di agosto 2017 le portate sorgive di Ninfa risultavano praticamente nulle, mentre la portata complessiva dei gruppi sorgivi dei Monti Lepini risultava ridotta a soli circa 5 m³/s. Nel settore Pedicata-Canale di Navigazione, alla base dei Monti Ausoni, la portata complessiva delle sorgenti risultava ridotta a circa 2 m³/s.

Le sorgenti e il fiume nella Valle dell'Amaseno risultavano in secca, con un abbassamento del livello idrico della falda di ben 7 m al disotto della quota di sfioro.

Nella Piana di Fondi le sorgenti alimentate dalla struttura dei Monti Ausoni hanno evidenziato portate da nulle (La Villa) a molto inferiori rispetto ai valori minimi stagionali (San Magno, Capodacqua, Portella ecc.).

Nel Sud Pontino è stato segnalato un calo di circa il 30% delle portate derivabili dalle sorgenti Mazzoccolo e Capo d'Acqua di Spigno.

Quanto sinteticamente esposto evidenzia come il territorio provinciale, caratterizzato da una particolare ricchezza di acque, presenti comunque significativi elementi di vulnerabilità negli approvvigionamenti, attualmente non più in grado di soddisfare la domanda, soprattutto negli usi idropotabili ed irrigui, in annate particolarmente aride che, come evidenziato dalle serie pluviometriche, possono presentarsi con una ciclicità di 5/6 anni.

Tale vulnerabilità deve essere attentamente analizzata e corretta, anche alla luce delle variazioni climatiche attese che potranno comportare un aumento dell'idroesigenza e una variazione delle quantità e della distribuzione temporale delle risorse disponibili.

2. Aspetti metodologici e dati di base

2.1 Generalità

Elemento centrale dello studio è l'analisi della risorsa idrica disponibile rispetto alla domanda. Per essere efficace esso deve essere condotto sia considerando l'insieme dei corpi idrici presenti, sia a scala locale, suddividendo lo stesso in **ambiti di bilancio** che potremmo definire **strategici**. Tali ambiti, delineati sulla base delle diverse caratteristiche idrostrutturali, individuano i bacini di alimentazione dei principali gruppi sorgivi e settori di acquifero omogenei per caratteristiche idrochimiche, stratigrafiche e ove possibile, pressione esercitata dai prelievi.

Gli elementi essenziali da definire a scala di sistema idrogeologico e di ambito di bilancio strategico vengono sintetizzati nello schema di figura 9, laddove il presupposto è che il corretto sfruttamento della risorsa non deve, di norma, superare la quantità rinnovabile, ovvero ricostituita in ogni ciclo annuale dalle piogge.

Il primo elemento è l'analisi della ripartizione delle precipitazioni nelle tre componenti fondamentali:

- Evapotraspirazione – risorsa dispersa a seguito dei processi di evaporazione e di traspirazione da parte delle piante delle acque immagazzinate nel suolo.
- Ruscellamento – acque che raggiungono i fiumi e i canali attraverso fenomeni di scorrimento superficiale connessi con precipitazioni di forte intensità. Tenendo conto delle caratteristiche del territorio provinciale, caratterizzato da corsi d'acqua di lunghezza contenuta e dall'assenza di significativi bacini di ritenuta, tali acque possono essere considerate risorse che si disperdono a mare.
- Infiltrazione efficace – frazione delle precipitazioni che filtra in profondità fornendo la ricarica degli acquiferi consentendo il deflusso idrico sotterraneo e l'alimentazione del deflusso di base permanente di corsi d'acqua, sostenuto quasi esclusivamente da acque sorgive e di drenaggio delle falde acquifere.

Si ribadisce, per chiarezza, che il flusso di base permanente dei corsi d'acqua provinciali è sostanzialmente sostenuto dall'emergenza di acque sotterranee (sorgenti) e che il prelievo dalle falde attraverso i pozzi determina in maniera più o meno diretta, una diminuzione del flusso sorgivo e di drenaggio conseguente all'abbassamento dei livelli piezometrici.

Il valore dell'infiltrazione efficace, ad eccezione di pochi piccoli invasi artificiali a scala aziendale, costituisce pertanto la quantità massima di risorsa rinnovabile per il soddisfacimento dei fabbisogni sia per quanto riguarda la domanda antropica che per il mantenimento degli equilibri ambientali.

Le acque per uso irriguo sono necessarie per compensare il deficit idrico delle colture, destinate quindi, in gran parte, a disperdersi per evapotraspirazione.

Le acque ad uso civile e per i processi produttivi rientrano in larga parte nel sistema delle acque superficiali (deflusso di base), sotto forma di scarichi, e contribuiscono al soddisfacimento sia della domanda per uso irriguo che per il mantenimento del deflusso minimo vitale.

Il concetto di **deflusso minimo vitale** e la sua definizione, sia in termini di mantenimento degli ecosistemi e degli equilibri idraulici che di esigenza culturale e paesaggistica, costituisce un elemento chiave per la

gestione compatibile delle risorse idriche. Tale esigenza deve tenere conto inoltre della necessità di mantenere adeguate condizioni di carico piezometrico e di flusso nelle falde idriche per garantire sia gli equilibri di scambio tra i diversi corpi idrici che il mantenimento delle caratteristiche fisico-chimiche delle acque.

Il bilancio tra le risorse idriche rinnovabili, la domanda antropica e i fabbisogni ambientali fornisce in definitiva il valore delle risorse potenzialmente ancora sfruttabili, o in casi di eccessivo sfruttamento, delle risorse idriche da restituire all'ambiente per la tutela dei sistemi ecologici e per il mantenimento dei flussi nei corpi idrici.

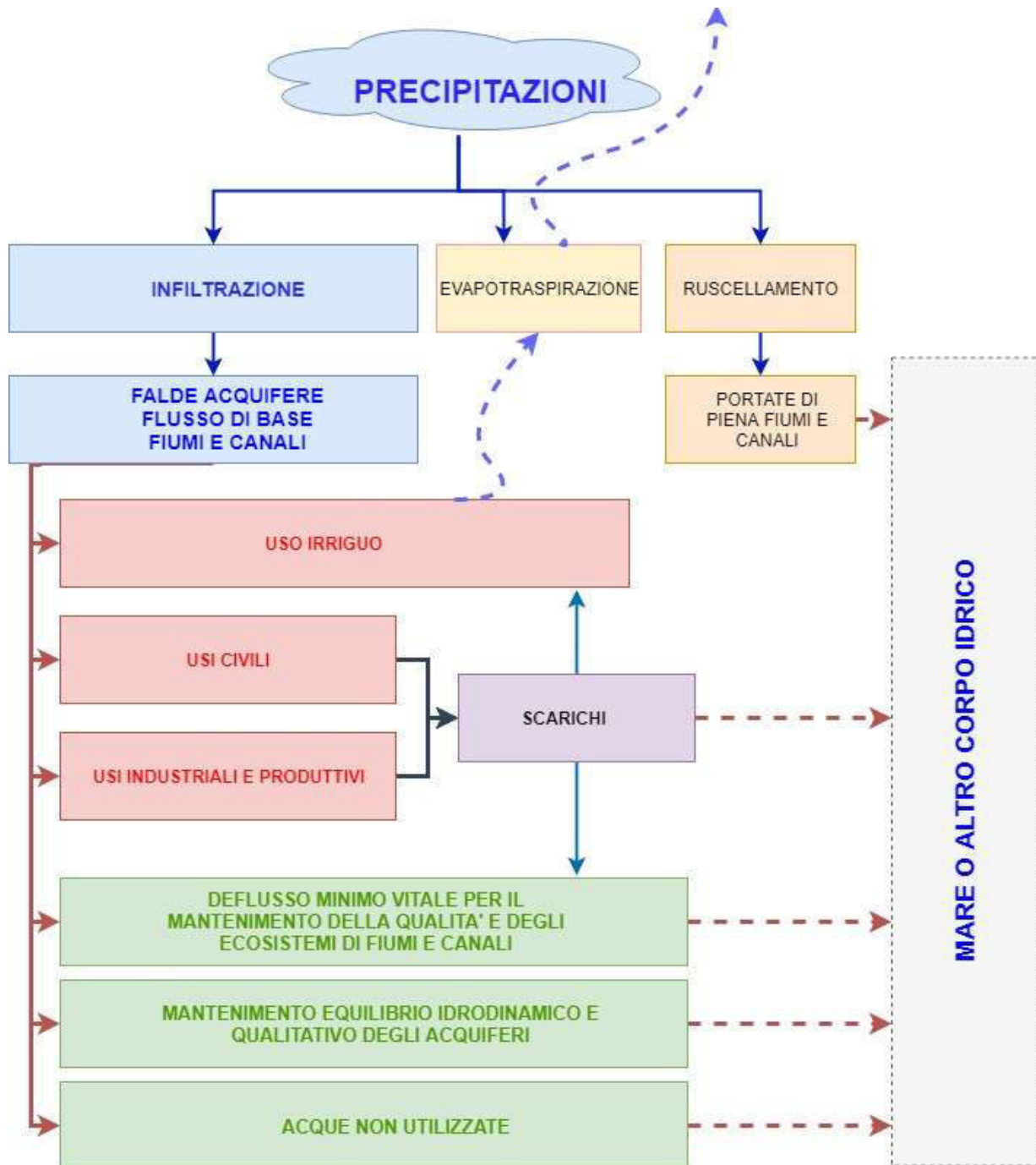


Fig. 2.1. – Schema concettuale degli elementi del bilancio idrico per i sistemi acquiferi e per gli ambiti strategici della Provincia di Latina.

2.2 Ripartizione delle precipitazioni

Il calcolo del bilancio idrogeologico distribuito è stato affrontato con scansione temporale mensile, risolvendo in continuo, per ogni mese e per ogni cella della griglia di calcolo di dimensioni 300 m x 300 m, le seguenti relazioni.

$$ETP = 0.0023 (T_{media} + 17.8) (T_{max} - T_{min})^{0.5} RA \quad (\text{Hargreaves Samani, 1985}) \quad (1)$$

dove:

- ETP è l'evapotraspirazione potenziale
- T_{media} è la temperatura media mensile
- T_{max} è la temperatura massima media mensile
- T_{min} è la temperatura minima media mensile
- RA è la radiazione solare netta extratmosferica

$$ETr = ETP * K_C \quad (2)$$

dove:

- ETr è l'evapotraspirazione colturale potenziale
- K_C è il coefficiente colturale del tipo di copertura vegetale presente

$$Evr = ETr \quad \text{se } P + U_{i(mese)} \geq ETr \quad (3)$$

$$Evr = P + U_i \quad \text{se } P + U_{i(mese)} \leq ETr \quad (4)$$

dove:

- EVr è l'evapotraspirazione reale del mese
- P è la precipitazione mensile
- $U_{i(mese)}$ è il volume d'acqua utilizzabile dalle piante immagazzinato nel terreno all'inizio del mese.

Il valore di U_i è calcolato per ogni mese come risultato del bilancio della frazione d'acqua immagazzinabile nel suolo (mm) tra -30 e -150 kPa (Available Water Capacity) espresso come segue:

$$U_{i(mese)} = AWC \quad \text{se } U_{f(mese\ precedente)} + P - ETr \geq AWC \quad (5)$$

$$U_{i(mese)} = U_{f(mese\ precedente)} + P - ETr \quad \text{se } 0 \leq U_{f(mese\ precedente)} + P - ETr \leq AWC \quad (6)$$

$$U_{i(mese)} = 0 \quad \text{se } U_{f(mese\ precedente)} + P - ETr < 0 \quad (7)$$

Il valore di $U_{f(mese\ precedente)}$ viene calcolato utilizzando una procedura concettualmente analoga a quella descritta per $U_{i(mese)}$.

E' interessante osservare che, per quanto esposto, si può ritenere che la differenza tra EVr (evapotraspirazione reale) e ETr (evapotraspirazione colturale potenziale) di seguito indicata come DA sia

rappresentativa del fabbisogno irriguo medio mensile di una determinata coltura o specie vegetale presente nell'area analizzata (Capelli G. et. al, 2005).

Gli altri parametri del bilancio possono essere ricavati dalle seguenti relazioni:

$$R_{\text{anno}} = \sum (P_{\text{mese}} - \text{EVR}_{\text{mese}}) * \text{CK} \quad (8)$$

$$Ie_{\text{anno}} = \sum (P_{\text{mese}} - \text{EVR}_{\text{mese}} - R_{\text{mese}} + \text{Endo}_{\text{mese}}) \quad (9)$$

dove:

- R_{anno} è il ruscellamento annuo
- CK è il coefficiente di deflusso
- Ie_{anno} è l'infiltrazione efficace annua
- Endo è il contributo dell'infiltrazione concentrata nelle aree endoreiche

Risulta evidente che tale procedura di risoluzione del bilancio idrico, opportunamente calibrata sulla base di serie storiche di misure delle portate sorgive e dei livelli piezometrici, consente di valutare gli effetti delle modifiche nell'uso del suolo e delle variazioni mensili delle temperature e delle precipitazioni, anche nel quadro degli scenari attesi per le previsioni climatiche di lungo periodo. La disponibilità di queste informazioni consente di affrontare il problema della pianificazione per la tutela e la gestione delle risorse idriche su basi quantitative (Capelli et al., 2005).

2.2.1 Definizione dei fattori fisici territoriali

I parametri fisici territoriali che caratterizzano il modello sono pertanto costituiti dalla carta dei suoli, dalla carta litologica, dalla carta della copertura del suolo e dal DEM (Digital Elevation Models), parametrizzati per ricavare i fattori territoriali del bilancio idrico distribuito:

- mappa dell'AWC (Available Water Capacity) che esprime il volume di acqua che può essere trattenuto nel suolo tra -30 e -150 kPa, corrispondente al volume potenzialmente utilizzabile dalle piante;
- mappa del CK (Coefficiente di ruscellamento) secondo Kennesey (1930) derivante dalla sommatoria di tre coefficiente parziali ricavati da: Acclività, Permeabilità dei litotipi affioranti, Tipo di copertura vegetale;
- mappe mensili del KC (Coefficiente colturale) che esprimono la proporzionalità tra l'evapotraspirazione della coltura di riferimento (*Festuca arundinacea*) rispetto a quella della coltura presente in sito.
- Mappe delle aree endoreiche e delle aree di infiltrazione concentrata all'interno delle aree endoreiche (caldere del distretto vulcanico, depressioni carsiche) ricavata dal DEM e da analisi geomorfologiche.

Per quanto alla mappa dell'AWC (Fig.2.2), la stessa è stata ricavata utilizzando la Carta dei Suoli della Provincia di Latina (Arnoldus A. H., Perotto, Sarandrea 2009) e dalla carta dell'AWC redatta per l'area dei Colli Albani nell'ambito degli studi per la redazione del Piano di Tutela Quantitativa dei Colli Albani (Capelli et al, 2005; DGR Lazio 248/2010). Per le aree dei Monti Lepini, dei Monti Ausoni-Aurunci e di Monte Maio esterne al territorio Provinciale si è proceduto alla digitalizzazione e alla correlazione dei vari suoli presenti e censiti nella Carta "*The soils of southern Lazio and adjacent Campania (Sevink et al, 1984)*"

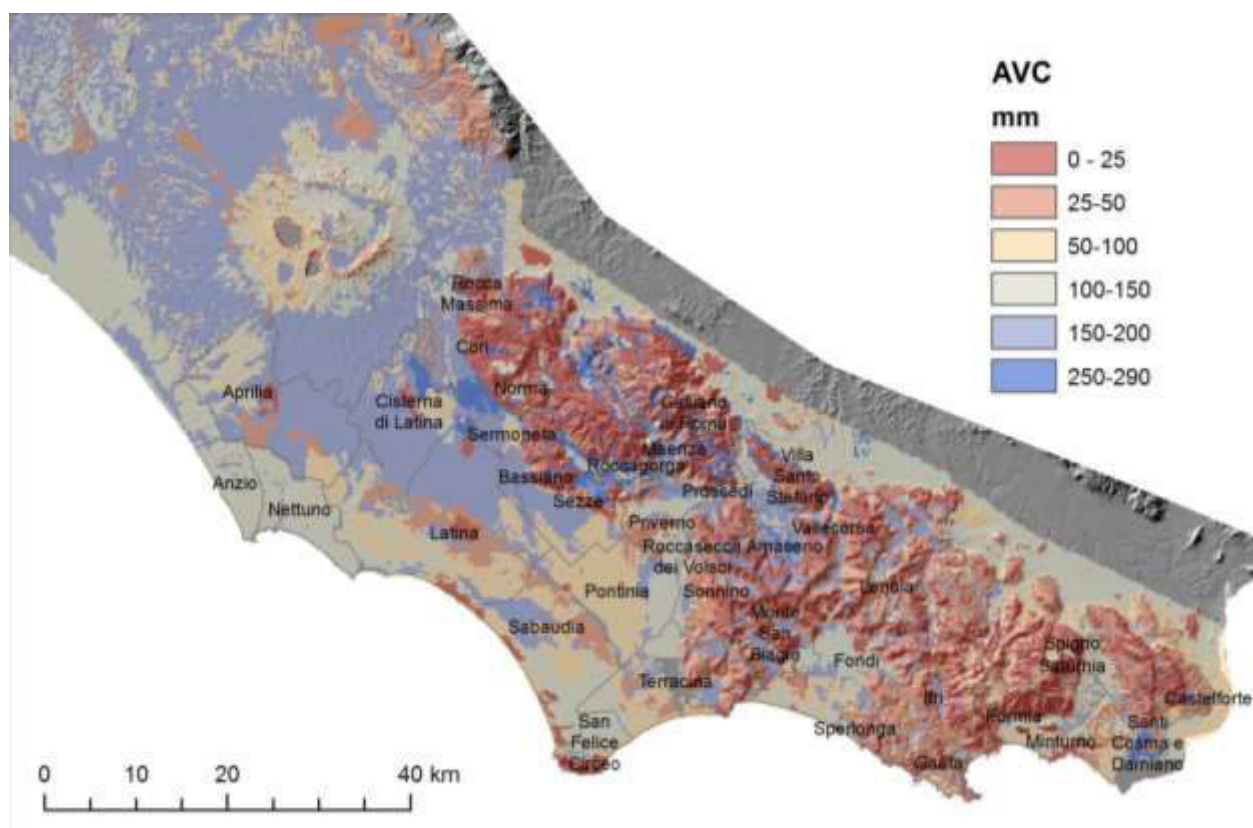


Fig.2.2. – Carta dell'AWC (Available Water Capacity) dei suoli

Per la stima del ruscellamento è stato utilizzato il metodo sviluppato da Kennessey (1930) che, data la relativa semplicità di implementazione e il diffuso utilizzo, può essere applicato con una certa attendibilità e confidenza con il valore dei risultati.

Per una definita porzione di territorio il metodo calcola il coefficiente di deflusso medio annuo. Tale coefficiente deriva dalla somma di tre componenti dovute: all'acclività dei versanti; alla permeabilità dei terreni affioranti; alla copertura vegetale.

A ciascuna cella viene attribuito il valore del coefficiente di ruscellamento (CK) secondo le indicazioni della tabella che segue (Tab.2.1).

FATTORI COMPONENTI L'INDICE DI KENNESSEY	Indice di aridità		
	< 25	tra 25 e 40	> 40
PERMEABILITA'			
Molto scarsa	0,21	0,26	0,30
Scarsa	0,16	0,21	0,25
Mediocre	0,12	0,16	0,20
Buona	0,06	0,08	0,10
Elevata	0,03	0,04	0,05
ACCLIVITA'			
> 35%	0,22	0,26	0,30
10% < A < 35%	0,12	0,16	0,20
3,5% < A < 10%	0,01	0,03	0,05
< 3,5%	0,00	0,01	0,03
COPERTURA VEGETALE			
Assente (roccia nuda)	0,26	0,28	0,30
Pascoli	0,17	0,21	0,25
Culture – arbusti	0,07	0,11	0,15
Bosco d'alto fusto	0,03	0,04	0,05

Tab. 2.1 – Coefficienti parziali di ruscellamento (Kennessey, 1930)

Per la scelta del valore, oltre alle caratteristiche fisiche del territorio si fa riferimento (Tardi & Vittoriani, 1977) all'indice di aridità (Ia):

$$Ia = [P/(T + 10) + 12p/t] / 2 \quad (10)$$

Dove:

- P = precipitazione media annua
- T = Temperatura media annua
- p = precipitazione del mese più arido
- t = temperatura del mese più arido

Per l'area studiata l'indice presenta valori inferiori a 25 indicando l'opportunità di prendere a riferimento i valori della prima colonna.

Si evidenzia come, mentre per gli acquiferi vulcanici e terrigeni in generale i valori indicati abbiano fornito buoni livelli di correlazione con i dati sperimentali (Capelli et al, 2005), nel caso degli acquiferi carbonatici l'applicazione del coefficiente di Kennessey, senza una opportuna calibrazione, fornisce valori fortemente sovrastimati, in quanto non riesce a tenere conto dell'elevatissima permeabilità dei calcari fratturati e carsificati.

Si è perciò proceduto ad effettuare una calibrazione mediante l'analisi di serie idrometriche di stazioni poste a valle di bacini idrografici estesi essenzialmente su formazioni carbonatiche.

Si riporta ad esempio in figura 10 l'idrogramma delle portate misurate alla stazione idrometrica del Servizio Idrografico Regionale, posta sul Fiume Ufente, in località Ponte Ferraioli. La stazione sottende un bacino idrografico di 42,8 km², esteso sui versanti sud-occidentali dei Monti Lepini. Per l'anno considerato (2008) si osserva un valore del ruscellamento di circa 1,92 Mmc, corrispondenti a circa 44.9 mm sull'intero bacino e a circa il 9,2 % della precipitazione efficace (Pe) che nel periodo è stata valutata in 488,8 mm.

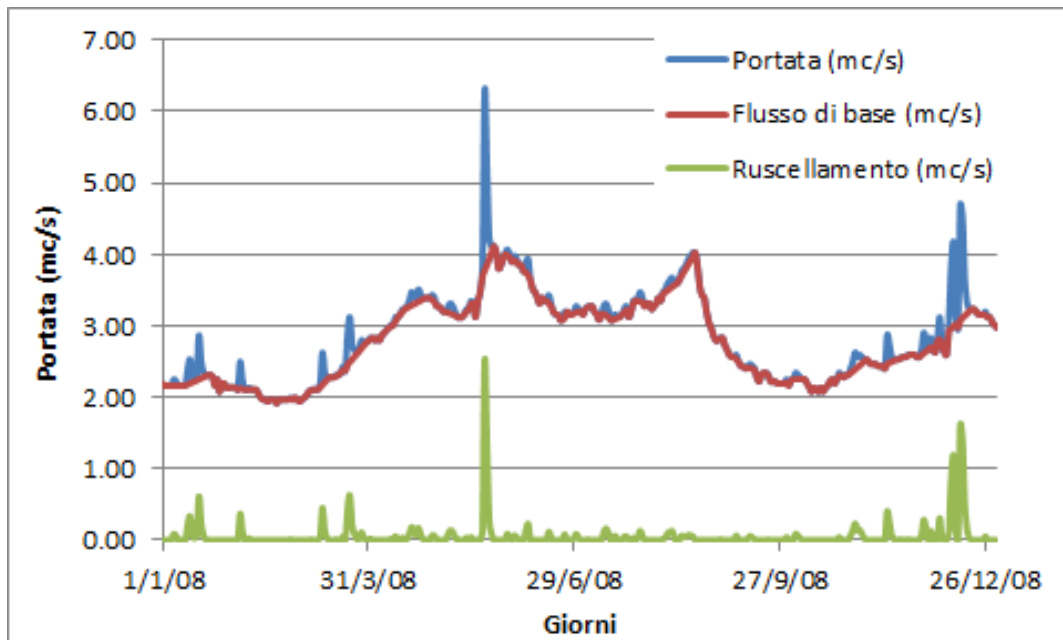


Fig.2.3 – Fiume Ufente a Ponte Ferraioli – Portate giornaliere con evidenziazione delle componenti connesse con il deflusso di base e il ruscellamento

Sulla base di queste considerazioni e tenendo conto dell'estensione relativa delle formazioni carbonatiche all'interno dei diversi bacini idrografici è stato possibile calcolare un fattore correttivo del coefficiente di Kennessey pari a 0,287 per le aree caratterizzate dalla presenza di formazioni carbonatiche carsificate affioranti e/o sub-affioranti, ottenendo una mappa dei valori calibrata per l'area di studio (Fig.2.4).

Per quanto riguarda gli aspetti connessi con l'uso del suolo, a ciascuna categoria della Nuova Carta dell'Uso del Suolo della Regione Lazio sono stati assegnati specifici coefficienti colturali (Kc) mensili (Fig.2.5).

Per i territori agricoli, i coefficienti colturali sono stati ricavati dal lavoro di Doorenbos J. e Pruitt W.A.O. pubblicato sul quaderno FAO n° 24 del 1977 (*Guidelines for prediction Crop water requirements*). Tali coefficienti sono funzione dello stadio vegetativo delle diverse specie vegetali nonché delle condizioni climatiche dell'area in cui le specie si sviluppano. La validità dei coefficienti colturali utilizzati è confermata da prove sperimentali compiute in diverse zone del mondo.

I coefficienti colturali non forniti dalle tabelle FAO sono stati ottenuti da altre pubblicazioni scientifiche (Capelli et al, 2005; Motawi A., 1993) e/o attraverso medie in funzione della "somiglianza colturale" delle specie vegetali considerate.

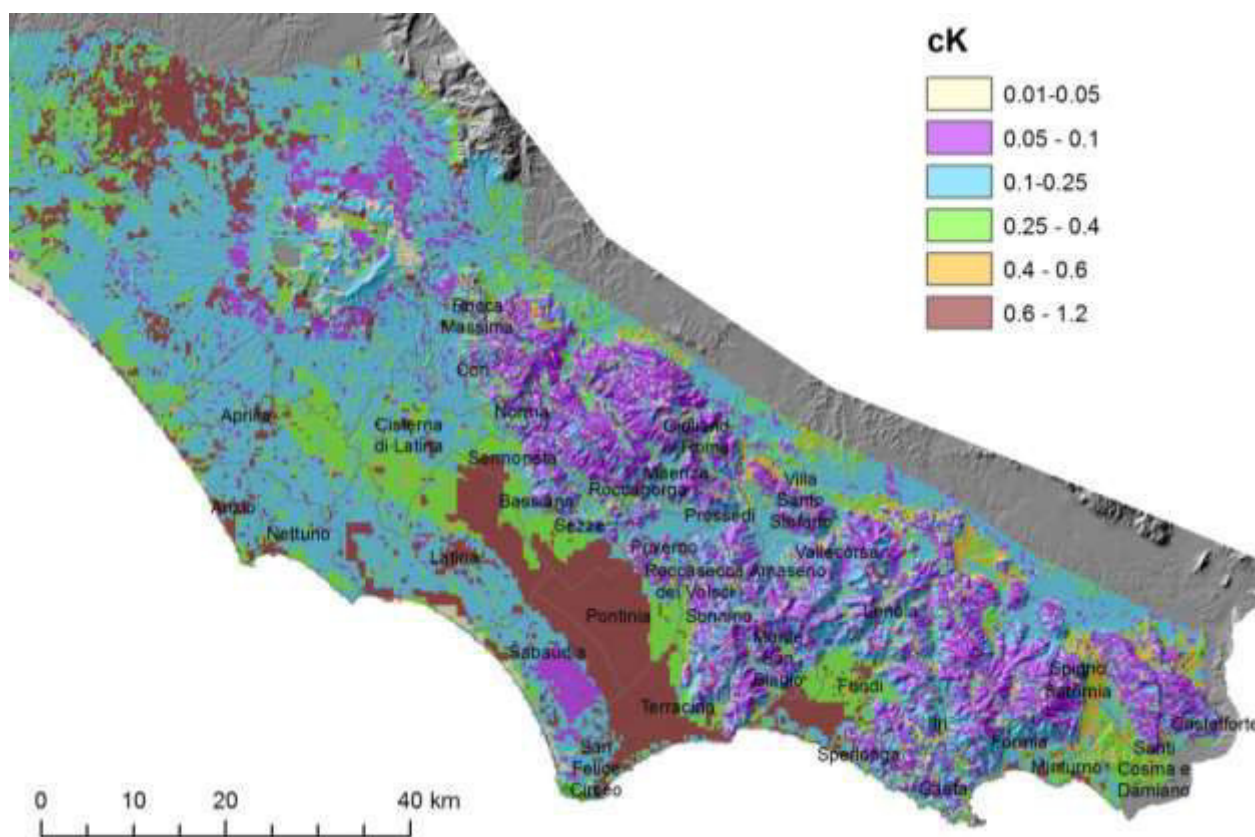


Fig.2.4 – Carta coefficienti di ruscellamento cK di Kennessey calibrati sull'area.

La caratterizzazione dei fattori fisici territoriali è stata quindi completata mediante la ricognizione e la mappatura delle aree endoreiche, svolta attraverso le seguenti attività:

- analisi delle curve di livello su CTR 1:10.000;
- analisi in ambiente GIS del DTM (5 m e 10 m).

Le aree endoreiche (Fig.2.6.) rivestono un ruolo particolare in quanto si configurano sia come settori di infiltrazione concentrata che come aree di particolare esposizione delle falde acquifere rispetto ad eventuali dispersioni di sostanze contaminanti.

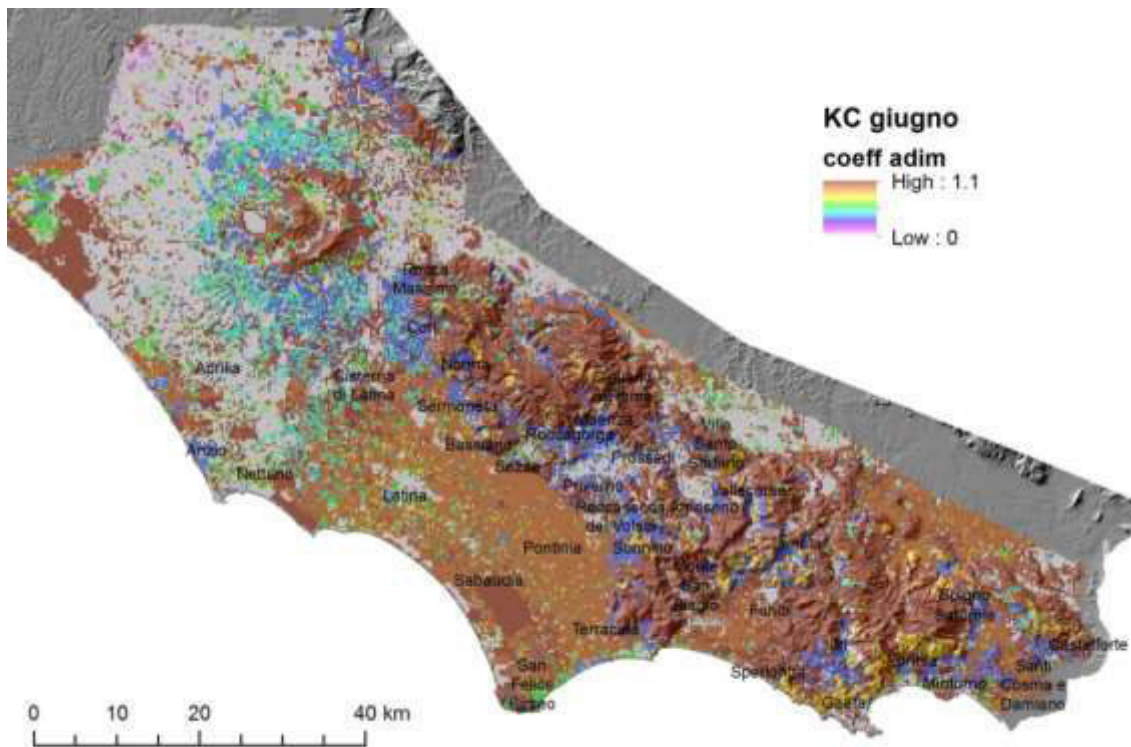


Fig.2.5 – Esempio di carta mensile dei coefficienti culturali mensili KC (mese di giugno)

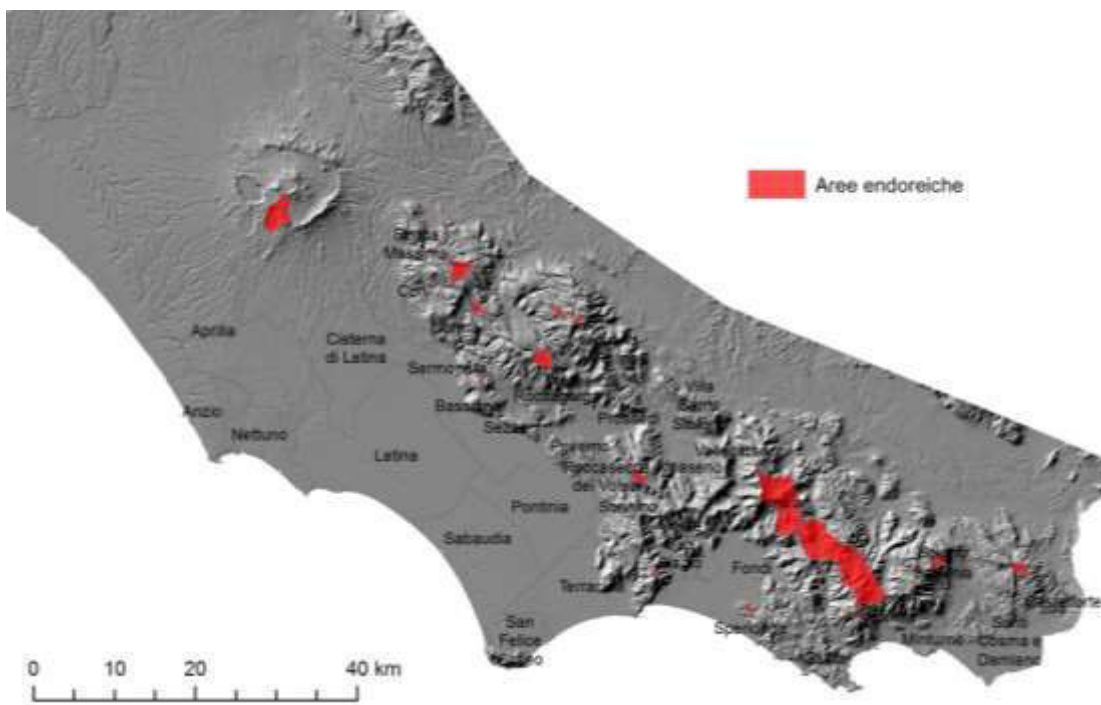


Fig.2.6 – Aree endoreiche di estensione rilevante

2.2.2 Spazializzazione dei dati meteoroclimatici

La ricostruzione spaziale delle piogge (P) e delle temperature massime (Tx), minime (Tm) e medie (Td) è stata realizzata applicando il mapping geostatistico automatizzato (Bruno & Raspa, 1995, Raspa et al, 2018) che prevede i seguenti passi operativi:

1. Calcolo mediante lo stimatore MINQUE (Minimum Norm Quadratic Unbiased Estimation - Rao,1971) di tutte le funzioni di covarianza generalizzata $K(h)$ ammissibili
2. Esecuzione della validazione incrociata con ciascuna delle funzioni $K(h)$ calcolate e selezione di quella che dà i migliori risultati in termini di validazione incrociata, ossia quella che soddisfa contemporaneamente due esigenze opportunamente pesate:
 - Varianza degli errori più vicina allo zero
 - Varianza degli errori standardizzati più vicina a 1
3. Kriging (intrinseco) della variabile di interesse nei punti di coordinate assegnate eseguito con la funzione selezionata $K(h)$

Il programma richiede i seguenti file di ingresso:

- file contenente le coordinate dei punti di misura (x_j, y_j) , $j = 1, 2, \dots, n$;
- file contenente la tabella delle misure nei suddetti punti Z_{ij} , $i=1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$; dove m è il numero di variabili, ossia il numero di misure effettuate nello stesso punto;
- file contenente le coordinate dei punti in cui deve essere effettuata la stima o le caratteristiche della griglia di calcolo: estensione, coordinate dell'origine e passo della cella.

I dati spazializzati sono stati quindi elaborati in ambiente GIS (QGIS) per ricavare le mappe di base mensili pluriennali dei diversi parametri.

Ai fini del calcolo del bilancio idrico medio è stata analizzata la serie dei dati mensili di precipitazione e temperatura registrata dalle stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Regionale nel decennio 1991-2000 per la ricostruzione di 120 mappe mensili di precipitazione mensile (Fig. 2.7) e 360 mappe complessive per le temperature massime, minime e medie mensili (Fig.2.8).

Il valore medio distribuito rappresentativo per ciascun mese del decennio di riferimento è stato quindi calcolato operando la media delle dieci mappe ricostruite per ciascun mese per ogni parametro.

L'applicazione di tale metodologia ha consentito quindi di ricavare una rappresentazione significativa dei valori caratteristici delle variabili climatiche considerate per ogni settore del territorio esaminato. Utilizzando tali valori risulta pertanto possibile ricavare le potenzialità idriche medie del sistema idrogeologico.

Si evidenzia che all'interno di un decennio, i valori possono differire notevolmente per la ricorrenza di anni caratterizzati da condizioni eccezionali di aridità e anni particolarmente piovosi. Tuttavia, come meglio specificato nei capitoli successivi, nel quadro di una **gestione ottimizzata delle risorse**, gli squilibri temporanei indotti dagli anni siccitosi possono essere compensati dalle eccedenze degli anni successivi, nel quadro di una sostenibilità media.

Ciò, ovviamente, non risulta più valido se, per effetto dell'evoluzione climatica, si introduce una significativa variazione nei valori medi stagionali e annuali pluriennali.

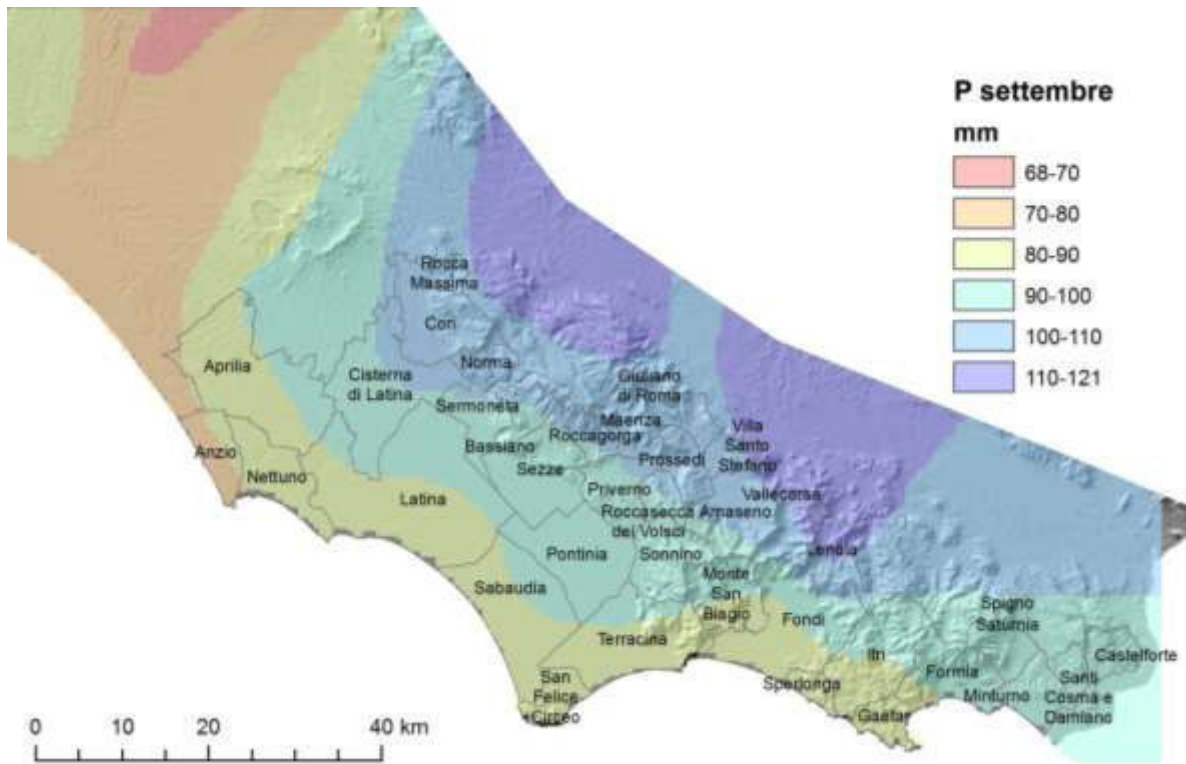


Fig.2.7 – esempio di precipitazione mensile ricostruita (settembre)

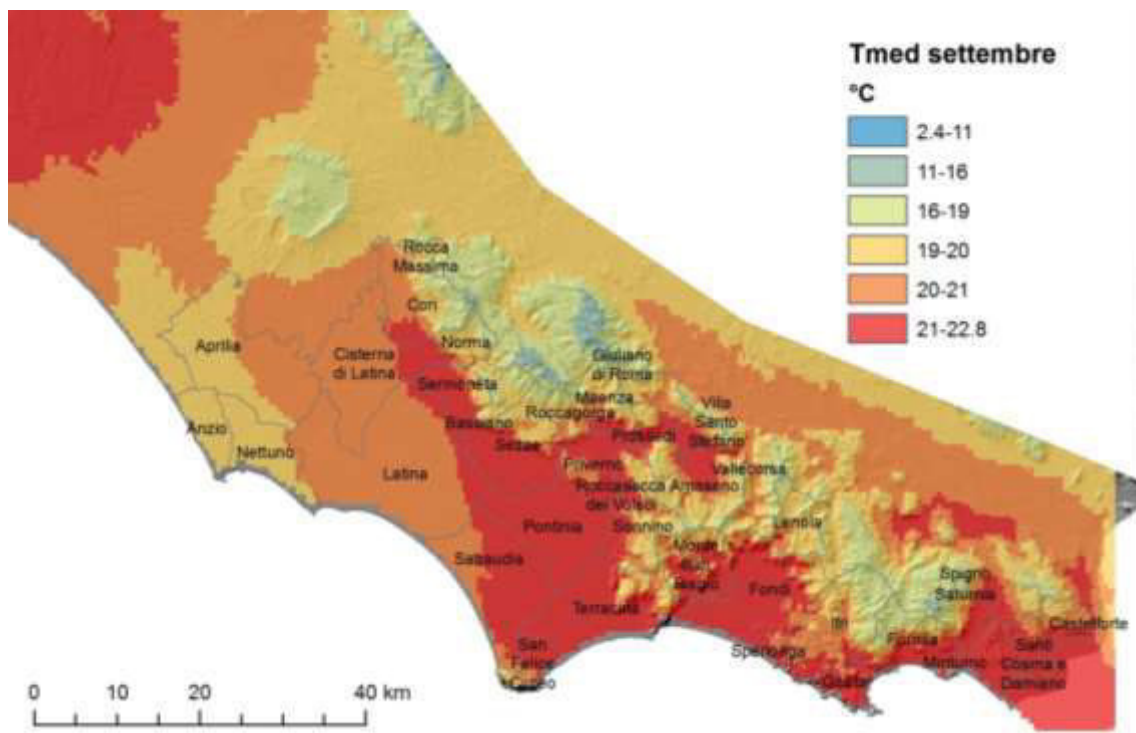


Fig.2.8 – esempio di temperatura mensile ricostruita (settembre)

2.3 Scenari di previsione climatica

Le **proiezioni climatiche** debbono ormai essere prese in seria considerazione per valutare la variazione delle future disponibilità di risorse idriche e poter prevedere e programmare le più opportune azioni di mitigazione e adattamento, onde rafforzare la capacità di resilienza della società ai cambiamenti climatici (Fowler, 2007).

Tuttavia, causa l'elevato livello d'incertezza e la bassa risoluzione spaziale delle proiezioni ad oggi disponibili (Weisheimer A. 2014; Dequé, 2007; Boorman, 1997), è necessario porre mano ad una serie di pre-elaborazioni prima della loro utilizzazione nelle valutazioni d'impatto e nei modelli di gestione delle risorse idriche, onde diminuire il "*bias*" tra i dati osservati al suolo e le previsioni fornite dai modelli.

Nel presente lavoro i modelli previsionali di riferimento sono stati scelti sulla base di considerazioni sul grado di corrispondenza degli stessi con le serie storiche disponibili. Per il down-scaling dei valori, viene proposta e applicata una variante della tecnica di down-scaling statistico denominata "Delta method" (Gazzetti et al, in stampa; Ramirez et alii, 2010). Il Delta method si basa sull'interpolazione spaziale delle anomalie climatiche e sulla somma di detta superficie interpolata ad una baseline ad alta risoluzione spaziale calcolata utilizzando i dati storici delle stazioni di monitoraggio.

Utilizzando i dati ricavati dalle recenti proiezioni climatiche disponibili nell'ambito del programma EURO CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment), si propone quindi una rilettura del bilancio idrico dell'area ricalcolato sulla base dei valori medi mensili di precipitazione, temperatura massima, temperatura minima e temperatura media ricavati dai modelli di previsione climatica per il decennio 2041-2050, su una griglia con passo di 300m x 300m mantenendo invariate le matrici dei parametri morfo-pedologici e di uso del suolo di riferimento descritti nel precedente paragrafo.

Sono state utilizzate le mappe a scala mensile di Precipitazione, Temperatura Massima e Temperatura Minima ricavate da tre diversi modelli generati nell'ambito del programma EURO CORDEX. In particolare sono stati selezionati due modelli climatici globali (GCM) ed un modello regionale climatico (RCM) ad alta risoluzione spaziale (high resolution regional coupled model system):

- CNRM-M5-CERFACS (Centre National de Recherches Météorologiques, France) // RCA4 (Roosby Center, Sweden)
- ICHEC-EC-EARTH (Irish Centre for High-End Computing, Ireland) // RCA4 (Roosby Center, Sweden)
- IPSL- CM5A (Institut Pierre-Simon Laplace - Climate Modelling Center, France) // RCA4 (Roosby Center, Sweden)

Per ogni combinazione di modelli e per i parametri meteorologici sopra indicati (Precipitazione, Temperatura Massima, Temperatura Minima e Temperatura media) sono state selezionate le simulazioni storiche relative al periodo 1991 – 2000 e le proiezioni per il decennio 2041-2050 relative allo scenario climatico RCP4.5 - (Representative Concentration Pathways, IPCC, 2014) che fa riferimento a scenari intermedi della probabile evoluzione delle diverse forzanti climatiche (emissioni di gas serra, inquinanti e uso del suolo) nel periodo 2041 - 2050. I dataset utilizzati sono disponibili in coordinate geografiche nel sistema di riferimento EPSG 4326 (WGS 84) e presentano una risoluzione di circa 0,11°, pari a circa 12,5 km.

In parallelo, utilizzando le serie storiche giornaliere delle stazioni di monitoraggio ricadenti nella zona di studio, sono stati calcolati i valori mensili medi di precipitazione e temperatura massima, minima e media per il decennio 1991 – 2000. Tali valori sono stati utilizzati per affinare ulteriormente la correzione del *Bias* a scala locale, confrontando i valori medi mensili sull'area di studio delle mappe storiche del decennio 1991 - 2000 rispetto al valore medio calcolato utilizzando le mappe dei *dataset* dei diversi modelli di previsione per lo stesso periodo storico. I coefficienti di correzione sono stati quindi applicati alle proiezioni climatiche (scenario RCP45) del decennio 2041 - 2050.

Nelle tabelle che seguono si riporta il confronto dei valori medi sull'area, delle variabili climatiche misurate nel periodo 1991-2000 e delle diverse proiezioni climatiche analizzate rispetto al decennio 2041-2050.

La temperatura media annua misurata nell'area di studio nel decennio 1991-2000 (Tab.2.2) è risultata pari a 15,59°C. Rispetto a questo valore l'innalzamento medio annuo della temperatura prevista nel decennio 2041-2050 risulta contenuto entro 0,87°C per il modello CNRM fino a un massimo di 1,64°C per il modello IPSL che, a differenza degli altri dataset analizzati, presenta una maggiore uniformità dell'incremento per i diversi mesi. In tutti i modelli, le variazioni più significative (incremento di oltre 2°C) riguardano i mesi da giugno a settembre (Tab.2.2 e Fig.2.9).

L'analisi delle temperature minime e massime medie mensili evidenzia che l'escursione termica media si mantiene intorno al valore di 8 °C, con valori minimi (tra circa 6 e 7,5 °C) nei mesi invernali e massimi (tra circa 8,5 e 9,5 °C) nei mesi estivi. Ovviamente si tratta di dati medi che a scala locale, come evidenziato nel paragrafo successivo, possono variare di parecchie unità.

MESI	T media 1991-2000	T media 2041-2000 (modelli Bias Corrected)		
	Osservata (°C)	Modelo CNRM	Modelo ICHEC	Modelo IPSL
Gen	8.72	10.55	9.00	10.81
Feb	8.58	8.51	10.05	10.93
Mar	10.85	10.60	12.21	12.05
Apr	12.60	13.24	12.88	14.11
Mag	17.12	17.61	18.99	17.78
Giu	21.18	23.01	22.86	23.63
Lug	23.86	25.63	25.97	25.46
Ago	24.53	26.57	26.00	27.27
Sett	20.80	21.30	22.71	23.22
Ott	17.15	18.04	18.53	18.62
Nov	12.51	12.96	13.83	13.13
Dic	9.13	9.41	10.33	9.73
MEDIA	15.59	16.45	16.95	17.23
	Variazione °C	0.87	1.36	1.64

Tab.2.2 - Confronto tra le temperature medie osservate nel periodo 1991-2000 e le temperature medie previste da diversi modelli di previsione climatica (scenario RCP4.5).

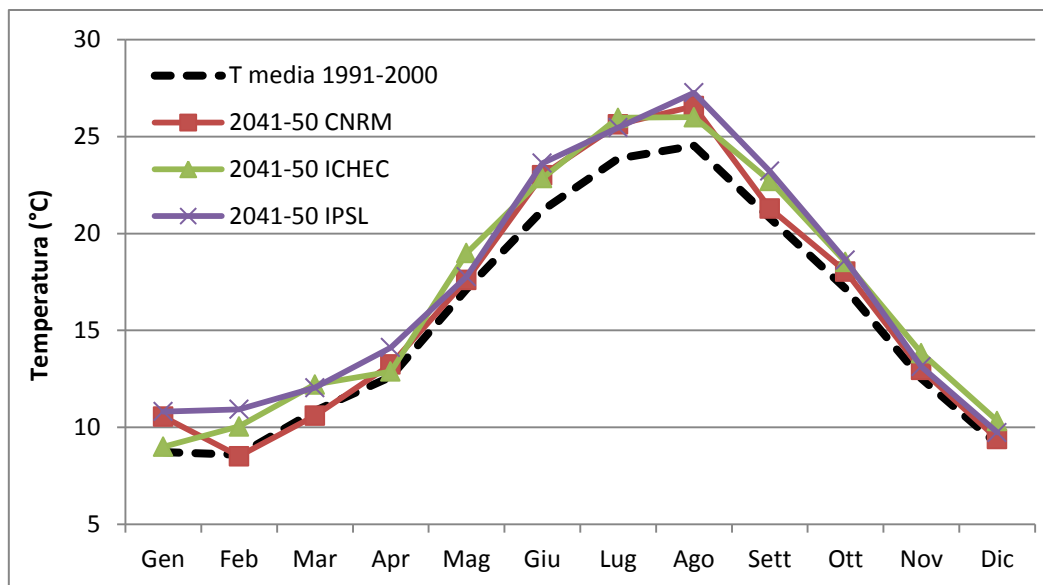


Fig.2.9 - Confronto tra le temperature medie osservate nel periodo 1991-2000 e le temperature medie previste da diversi modelli di previsione climatica (scenario RCP4.5).

Per quanto alle precipitazioni, le medie calcolate evidenziano differenze significative tra i valori ricavabili dai diversi modelli di previsione analizzati. Si può osservare come (Tab.2.3), rispetto al valore medio del decennio 1991-2000, pari a 1048,72 mm/anno, i valori medi previsti per il decennio 2041-2050 risultino inferiori dell'8% nel modello CNRM e superiori del 28% e del 7% nei modelli ICHEC e IPSL. Marcate differenze tra i risultati dei diversi modelli si rilevano anche nella distribuzione delle piogge a scala mensile (Fig.2.10). Tutti i modelli evidenziano la tendenza al decremento o, al massimo, all'invarianza delle precipitazioni estive e incrementi delle precipitazioni nei mesi autunnali con valori comunque poco uniformi.

MESI	P media 1991-2000	P media 2041-2000 (modelli Bias Corrected)		
	Osservata (mm)	Modelo CNRM	Modelo ICHEC	Modelo IPSL
Gen	60.70	72.02	83.44	91.22
Feb	67.89	58.30	68.80	71.64
Mar	69.77	58.23	95.99	51.42
Apr	108.44	75.71	95.26	92.47
Mag	63.88	84.95	73.82	99.91
Giu	28.81	28.19	25.19	20.00
Lug	20.92	20.98	16.17	21.21
Ago	43.33	43.47	22.70	42.80
Sett	94.75	103.89	85.92	73.48
Ott	174.00	140.87	152.99	167.04
Nov	171.76	174.73	144.03	222.27
Dic	144.46	104.75	200.82	168.72
SOMMA	1048.72	966.09	1065.13	1122.17
	Variazione %	-8%	2%	7%

Tab.2.3. – Confronto tra le precipitazioni medie osservate nel periodo 1991-2000 e le precipitazioni medie previste da diversi modelli di previsione climatica (scenario RCP4.5).

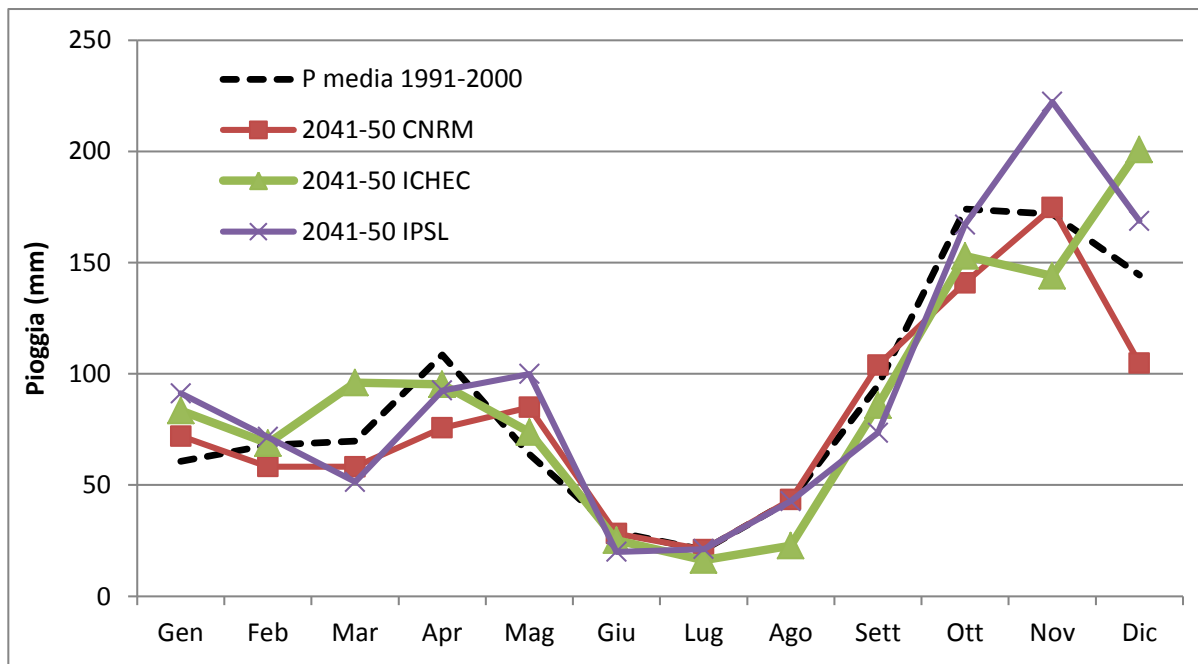


Fig.2.10 - Confronto tra le precipitazioni medie osservate nel periodo 1991-2000 e le precipitazioni medie previste da diversi modelli di previsione climatica (scenario RCP4.5).

2.3.1 Spazializzazione delle previsioni climatiche

La risoluzione spaziale dei modelli sopra indicati è di $0,11^\circ$ (circa $12.5 \text{ km} \times 12.5 \text{ km}$), valore purtroppo inadeguato per studi d'impatto nel nostro territorio dove la topografia, le condizioni climatiche, i suoli e l'uso del suolo variano significativamente nell'intorno di pochi chilometri. Questa considerazione può essere generalizzata per la maggior parte degli acquiferi dell'area mediterranea.

Onde rispondere alla crescente domanda di previsioni climatiche con risoluzione spaziale adeguata per una valutazione degli effetti delle variazioni climatiche su scala di bacino idrogeologico e idrografico, la comunità scientifica internazionale ha sviluppato diversi metodi (down-scaling) per un aumento della definizione della scala di dettaglio (Gazzetti et al, in stampa; Murphy J, 1998; Schmidli 2005).

Nel presente lavoro si propone una variante (Gazzetti et al, in stampa) della tecnica di down-scaling statistico denominata "Delta method" (Hijmans et al., 2005) che spazializza i dati di variazione climatica utilizzando la struttura spaziale (baseline) ricavata dall'interpolazione dei dati storici delle stazioni di monitoraggio. Un esempio di baseline è il database globale WorldClim (Fick, 2017) che include i dati del periodo 1961 – 1990 con una risoluzione di 30 arc-secondi. Il Delta method è stato applicato a scala globale (Ramirez-Villegas and Jarvis, 2010) utilizzando i 24 diversi modelli di circolazione generale (GCM) del quarto report del IPCC. Nello studio richiamato le anomalie sono state aggregate per periodi temporali "timeslice" di 30 anni e poi sommate alle mappe di base di temperatura minima, temperatura massima e precipitazione cumulata. La temperatura media è stata calcolata come la media tra temperatura minima e temperatura massima, ipotizzando una distribuzione normale.

I fenomeni meteo-climatici si caratterizzano per avere una fortissima variabilità sia nel tempo che nello spazio, tuttavia è noto il loro forte legame con le caratteristiche fisiche del territorio; orografia, distanza dal mare, posizione relativa rispetto ai principali flussi atmosferici a scala regionale/globale (Houze, 2012 ;

Rotunno R, 2002 ; Broccoli 1992). Il Delta method presuppone che su scala mensile multi-annuale la struttura di correlazione spaziale dei fenomeni meteorologici possa ritenersi costante e rappresentativa di tutti i possibili eventi che in media accadono su un territorio: di conseguenza può essere replicata per spazializzare le proiezioni climatiche aggregate sempre su scala mensile multi-annuale.

In questo lavoro, avendo a disposizione un data set molto più ricco e robusto rispetto a quello di Ramirez-Villegas, costituito da proiezioni climatiche a maggiore risoluzione spaziale (12.5 Km), lunghe serie storiche di dati osservati e un'area di studio relativamente piccola (circa 4400 Km²), con una densità di stazioni di monitoraggio relativamente alta, si è ritenuto di poter effettuare l'analisi a scala mensile aggregando le anomalie per periodi di 10 anni per ricavare una valutazione più significativa dell'entità della variazione climatica attesa.

Utilizzando questo presupposto si è proceduto a spazializzare i valori della proiezione climatica utilizzando le mappe delle medie mensili pluriannuali ricavate per il periodo 1991-2000 mediante l'applicazione in ambiente GIS della seguente l'espressione:

$$X_i^c(x, y) = X_i(x, y) + \mu_i^c - \mu_i \quad (11)$$

dove:

- $X_i(x, y)$ è la variabile stimata X relativa al mese i, associata alla cella (centrata nel punto di coordinate) (x, y)
- μ_i è il valore medio areale sull'intera griglia (area di studio) della variabile stimata $X_i(x, y)$ relativa al mese i
- μ_i^c è il valore medio della proiezione climatica sull'area di studio, relativa al mese i
- $X_i^c(x, y)$ è la proiezione climatica ad alta risoluzione spaziale della variabile stimata X nella cella (x, y) , relativa al mese i.

Mediante l'applicazione della procedura descritta sono state quindi ricavate le mappe mensili medie pluriennali di P, Tx, Td e Tm per i tre diversi modelli di previsione climatica considerati rispetto al decennio 2041-2050, per un totale di 144 mappe.

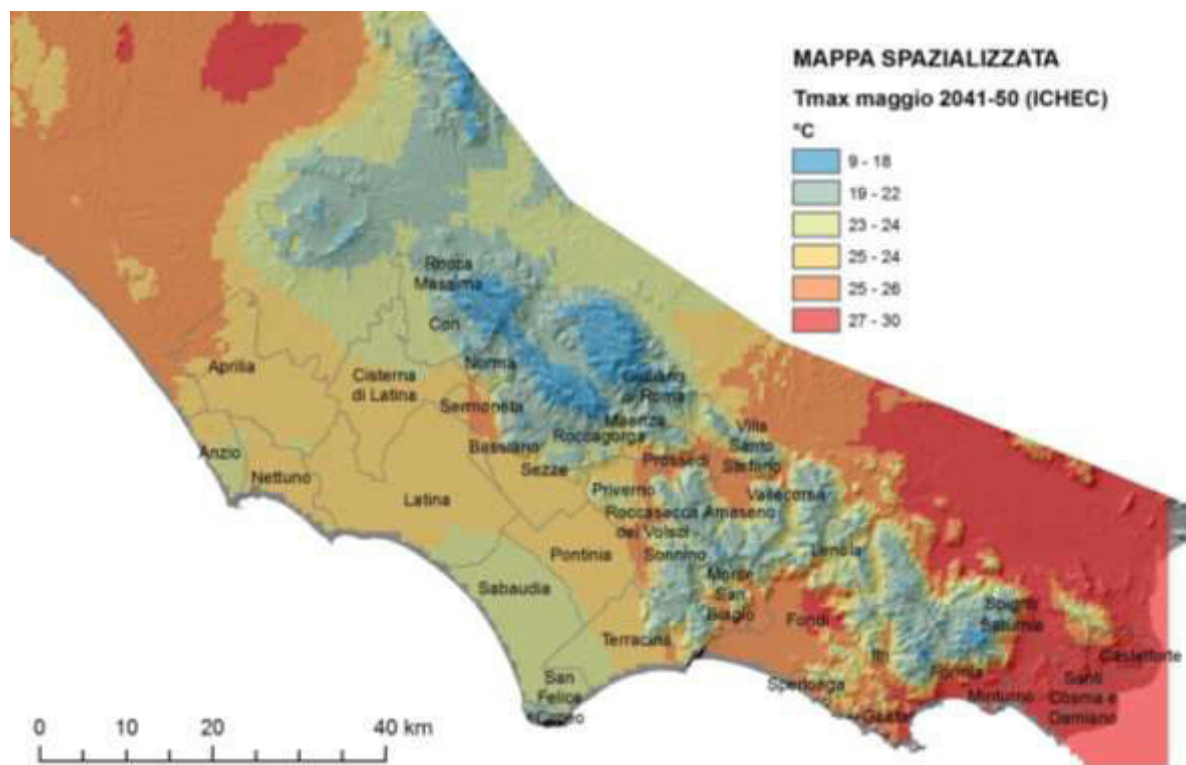
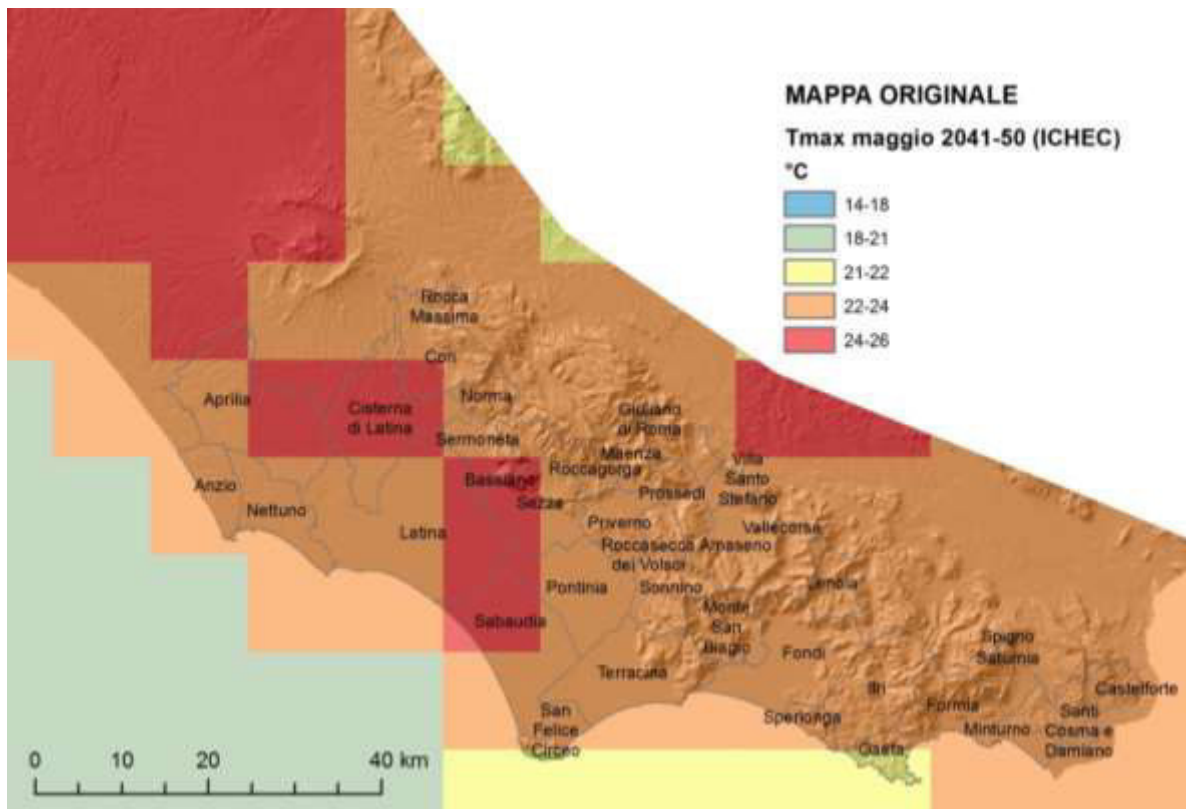


Fig.2.11 – Modello ICHEC – Esempio di mappa di previsione climatica con risoluzione di circa 0,11° (circa 12,5 km) nel formato originale e nel formato spazializzato con risoluzione di 300 m mediante la procedura descritta.

2.4 Studio della domanda e dei prelievi idrici

Gli acquiferi e i corsi d'acqua della provincia di Latina sono soggetti ad un regime di prelievo molto elevato, connesso con gli usi irrigui, industriali e civili che interferiscono in modo significativo con i fabbisogni necessari per gli obiettivi di tutela ambientale e di mantenimento quantitativo e qualitativo dei corpi idrici.

Negli archivi della pubblica amministrazione, per i soli territori ricadenti nella Provincia di Latina, risultano registrati oltre 37'000 pozzi (Fig.2.12), mentre ulteriori 17.500 insistono sull'acquifero dei Colli Albani e lungo la fascia costiera tra Ardea e Nettuno nella porzione di territorio ricadente nella Provincia di Roma.

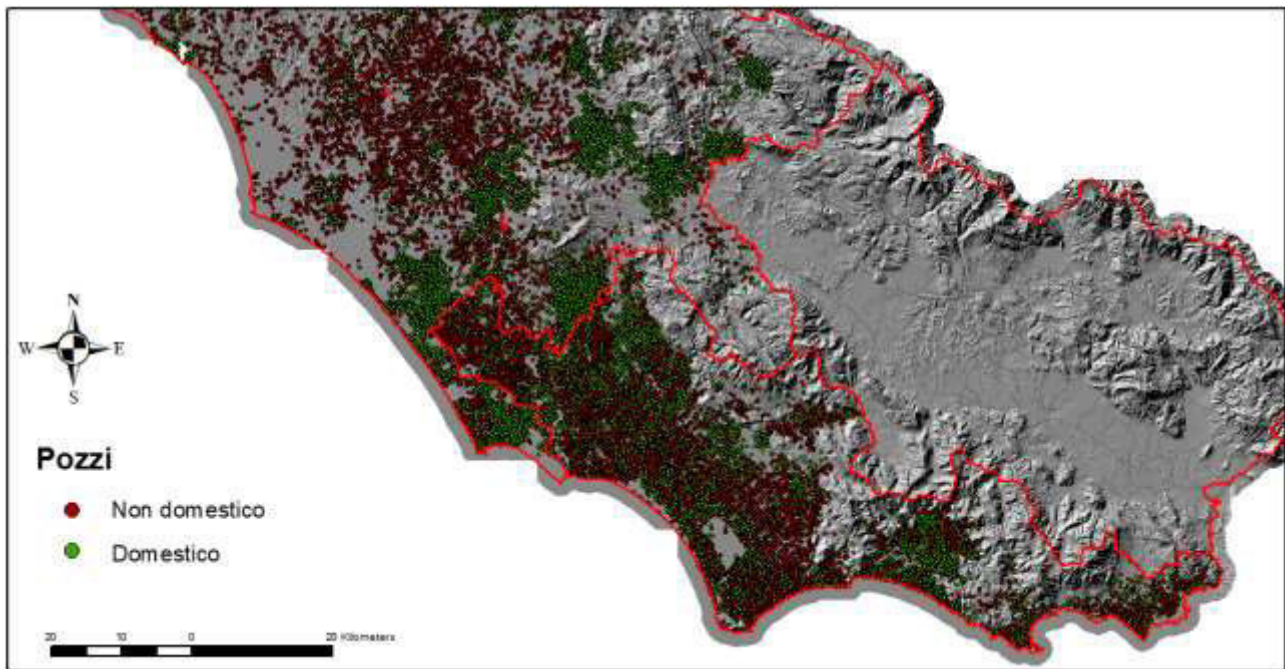


Fig.2.12 – Ubicazione di pozzi e derivazioni noti nel territorio delle provincie di Latina e di Roma

Di questi pozzi si conoscono le portate di esercizio e/o i volumi autorizzati. Tuttavia tali informazioni si riferiscono ai quantitativi massimi autorizzati in concessione e non risultano, in generale, rappresentativi dei volumi effettivamente emunti nel corso dell'anno dai corpi idrici interessati, in genere meno elevati.

La figura 2.12 evidenzia comunque una concentrazione elevatissima di captazioni nelle aree di pianura, nel distretto vulcanico albano e nelle fasce basso-collinari. Oltre i pozzi censiti si deve tenere conto anche di un numero non trascurabile di captazioni non denunciate.

Se si escludono i pozzi per uso domestico, limitati al soddisfacimento del fabbisogno idropotabile e all'irrigazione dei giardini di nuclei familiari soprattutto in aree non servite dalla rete acquedottistica, le altre captazioni sono finalizzate all'aa domanda irrigua e delle attività industriali e produttive nei vari settori.

La stima dell'entità del fabbisogno idrico e del prelievo associato nei diversi settori del territorio è stata ricavata analizzando distintamente, con diverse metodologie, gli elementi costituenti dei seguenti ambiti:

- Civile
- Industriale e terziario
- Irriguo

2.4.1 Uso irriguo

Il fabbisogno irriguo di una determinata coltura può essere definito come la quantità di acque che deve essergli fornita artificialmente in un determinato periodo, oltre quanto la pianta stessa può reperire dalla frazione di pioggia immagazzinata nel suolo, indicativamente tra -30 e -150 kPa (Available Water Capacity). Si tratta ovviamente di un valore teorico ottimale, in quanto nel processo possono subentrare altre variabili minori, quali: l'evaporazione diretta dal suolo e dalle foglie bagnate, fenomeni di costipazione del suolo stesso ecc. Tuttavia il valore così definito può essere ritenuto ragionevolmente rappresentativo del processo analizzato.

Con riferimento a quanto descritto nel paragrafo 1.2 (equazioni 1 e 2), il fabbisogno idrico complessivo potenziale di una coltura può essere equiparato al valore dell'evapotraspirazione potenziale ETr (equazione 2).

L'evapotraspirazione reale EVr (equazioni 3 e 4) è il risultato del bilancio tra la domanda potenziale (ETr) e la reale disponibilità di acqua nel suolo. La differenza tra ETr ed EVr esprime pertanto il deficit idrico da colmare con l'irrigazione per il soddisfacimento del fabbisogno colturale.

Nel caso della vegetazione naturale, non irrigata, le condizioni di deficit idrico si traducono in condizioni di stress idrico, al limite in condizioni di appassimento, come osservabile nella vegetazione erbacea di molti settori delle pianure costiere e delle aree collinari del territorio pontino.

La risoluzione del bilancio idrico distribuito come riportato nel paragrafo 1.2 consente pertanto di ricavare una stima del fabbisogno irriguo a scala mensile per ogni cella della griglia di calcolo.

Nel grafico in figura 2.13 si riportano gli andamenti mensili delle Precipitazioni (P), dell'EVr e dell'ETr calcolati su una cella della griglia del modello di calcolo coltivata a frutteto (Kiwi) tra Latina e Cisterna (valori medi del decennio 1991-2000).

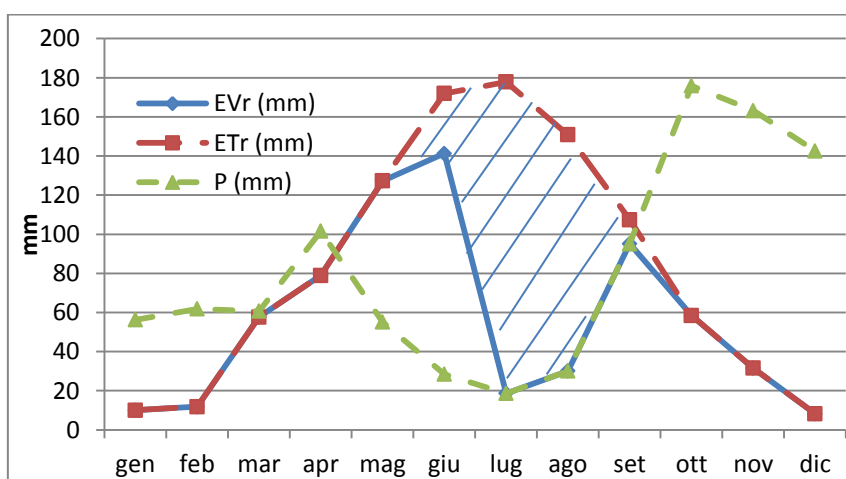


Fig.2.13 – Precipitazioni (P), Domanda potenziale (ETr) ed Evapotraspirazione reale (EVr) per un campo a Kiwi tra Latina e Cisterna di Latina (Valori medi calcolati nel periodo 1991-2000).

L'area compresa tra la curva dell'ETr e la curva dell'EVr rappresenta il valore del deficit idrico del suolo rispetto al fabbisogno colturale, ovvero il volume di irrigazione necessario per lo sviluppo ottimale della coltura.

Per la stima del fabbisogno irriguo attuale e previsto, nel presente studio viene utilizzata la metodologia descritta con riferimento alle sole aree in cui l'uso del suolo indica la presenza di colture escludendo dal computo le aree con vegetazione naturale, i boschi e tutte le aree non soggette ad irrigazione.

2.4.2 Usi Industriali e produttivi

Per lo studio degli usi industriali e produttivi, dopo aver reperito informazioni presso industrie e altre attività produttive (si veda la scheda censimento allegata) si è proceduto con l'applicazione di una metodologia di stima indiretta, basata sull'analisi dei dati a scala di sezione di censimento dell'ultimo censimento dell'industria (ISTAT, 2011) ed usando coefficienti di consumo idrico ricavati dalla letteratura di settore calibrati con i dati disponibili a scala locale.

Per la stima dei coefficienti di consumo idrico per addetto sono stati utilizzati due studi, molto significativi, condotti negli ultimi anni nell'Italia centrale:

- Strumenti e strategie per la tutela e l'uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio (Capelli et al, 2005);
- Stima dei consumi idrici dell'industria e del terziario in Toscana (IRPET Istituto Regionale per la Programmazione Economica della Toscana, 2009).

Nel primo studio il calcolo del fabbisogno idrico delle industrie è stato eseguito analizzando gli studi condotti dall'IRSA sui quantitativi idrici richiesti dalle industrie (IRSA, 1973). Questi studi hanno preso in considerazione un ampio campione statistico di attività industriali, con lo scopo di valutare un volume idrico necessario in funzione degli addetti impiegati. Secondo tali studi, dunque, l'esigenza idrica di ogni industria può essere valutata in funzione di due fattori:

- Tipo di attività produttiva svolta nell'industria
- Numero di addetti presenti nell'industria

Nella tabella 7, tratta dallo studio Capelli et alii 2005, vengono rilevate le attività manifatturiere ed i volumi provenienti dagli studi per l'aggiornamento del P.R.G.A. del Lazio settentrionale (Regione Lazio, 1997) nonché dai risultati dello studio IRSA (1973). Rispetto alle fonti bibliografiche citate, la tabella riporta anche la classe "altre industrie manifatturiere". Per questa classe il valore di riferimento è stato ottenuto calcolando la media dei consumi idrici di 12 diversi tipi di attività manifatturiera.

I volumi di acqua in tabella sono stati oggetto di verifica mediante il confronto con le richieste di concessione di sfruttamento di pozzi presentate da alcune aziende all'Autorità di Bacino del Tevere e all'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio. Dal confronto i dati bibliografici sono risultati piuttosto congruenti con le richieste pervenute; si può pertanto ritenere che i dati riportati in Tab.8.1 siano rappresentativi per l'area di studio. In particolare il dato preso come riferimento per il calcolo del fabbisogno idrico è stato quello ridotto del 20%. Tale riduzione è stata applicata secondo le previsioni della Banca Mondiale (1992) che indicano, nei prossimi venti anni, un risparmio idrico nel comparto industriale di un valore compreso tra il 15% e il 25%.

In funzione di questa distinzione dei consumi idrici sono stati trattati i dati del censimento ISTAT del 2011 a livello di sezione di censimento correlando le diverse categorie imprenditoriali con il consumo idrico annuo per addetto.

FABBISOGNI IDRICI DELLE INDUSTRIE		
CATEGORIA IMPRENDITORIALE (ISTAT)	m³/anno/addetto*	(m³/anno/addetto) diminuito del 20%
DA - industrie alimentari, delle bevande e del tabacco	2461	1969
DB - industrie tessili e dell'abbigliamento	1725	1380
DC - industrie conciarie, fabbricazione di prodotti in cuoio, pelle e similari	912	730
DD - industria del legno e dei prodotti in legno	1100	880
DE - fabbricazione di pasta-carta, carta e prodotti di carta; stampa ed editoria	7360	5888
DG - fabbricazione di prodotti chimici e di fibre sintetiche e artificiali	5115	4092
DH - fabbricazione di articoli in gomma e materie plastiche	1100	880
DI - fabbricazione di prodotti della lavorazione di minerali non metalliferi	1700	1360
DJ - produzione di metallo e fabbricazione di prodotti in metallo	1950	1560
DK - fabbricazione macchine ed apparecchi meccanici; installazione e riparazione	424	339
DL - fabbricazione macchine elettriche e apparecchiature elettriche ed ottiche	280	224
DM - fabbricazione di mezzi di trasporto	1164	931
DN* - altre industrie manifatturiere	1174	939

Tab.2.4 – Fabbisogni idrici specifici definiti per le diverse categorie imprenditoriali (da Capelli et al, 2005).

Lo studio dell'IRPET applica una metodologia analoga. In questo caso l'obiettivo è stato quello di avere una immagine quanto più precisa possibile dei consumi reali. Per tale ragione l'Istituto ha calibrato i coefficienti di consumo idrico per addetto sulla base di una estesa ricerca a livello regionale che ha tenuto conto dei seguenti fattori per ogni tipologia di attività industriale e del terziario:

- prelievi autorizzati;
- scarichi idrici autorizzati;
- questionari alle industrie e alle attività del terziario sulle produzioni, sugli addetti e sui prelievi e sugli scarichi effettuati.

Sulla base di queste informazioni lo studio arriva a definire il consumo medio annuo per addetto connesso a circa 107 gruppi di attività ATECO 2002, dal gruppo 111 al gruppo 366, riguardanti appunto i diversi settori della produzione industriale e del terziario.

Tuttavia nel corso delle elaborazione dati, si è rilevato che i valori stimati dall'IRPET erano eccessivamente sottostimati rispetto alle maggiori attività produttive dell'area pontina. Pertanto si è ritenuto opportuno utilizzare i soli dati ricavati dagli indici utilizzati negli studi della Regione Lazio.

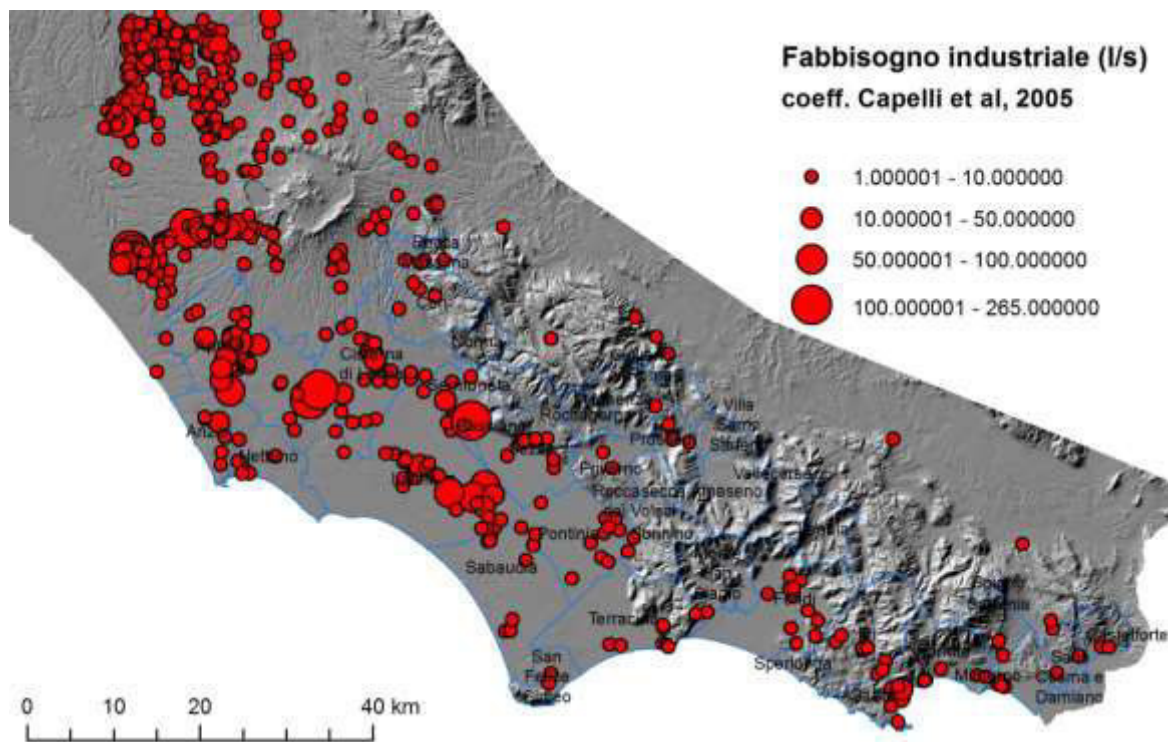


Fig.2.14 – Distribuzione del fabbisogno idrico industriale e terziario (elaborazione di dati del censimento ISTAT 2011).

2.4.3 Uso Civile (acquedotti)

Il fabbisogno per gli usi civili residenziali, se si escludono alcune significative aree rurali nelle piane costiere e nei settori montani e collinari, è soddisfatto dalla rete acquedottistica (ATO 4) gestita da Acqualatina S.p.A.

Le reti sono alimentate da captazioni di sorgenti e pozzi collocati in settori strategici dei corpi idrici, caratterizzati da acque di buona qualità che riforniscono aree fino ad alcune decine di chilometri di distanza.

La rete di distribuzione principale dell'ATO 4 si estende per oltre 4.000 km ed è alimentata da un volume medio alla fonte di circa 4 m³/s di acqua. Nella tabella che segue e in figura 2.15 si riporta una elaborazione sintetica dei dati forniti da Acqualatina S.p.A. relativi al bilancio idrico delle portate immesse nella rete verso i diversi comuni, nell'anno 2016.

Per semplicità di esposizione, vengono riportati i valori minimi e massimi mensili da cui si può ricavare un'indicazione sulle portate complessive che possono variare da un minimo di circa 3,3 m³/s a un massimo di circa 4,8 m³/s

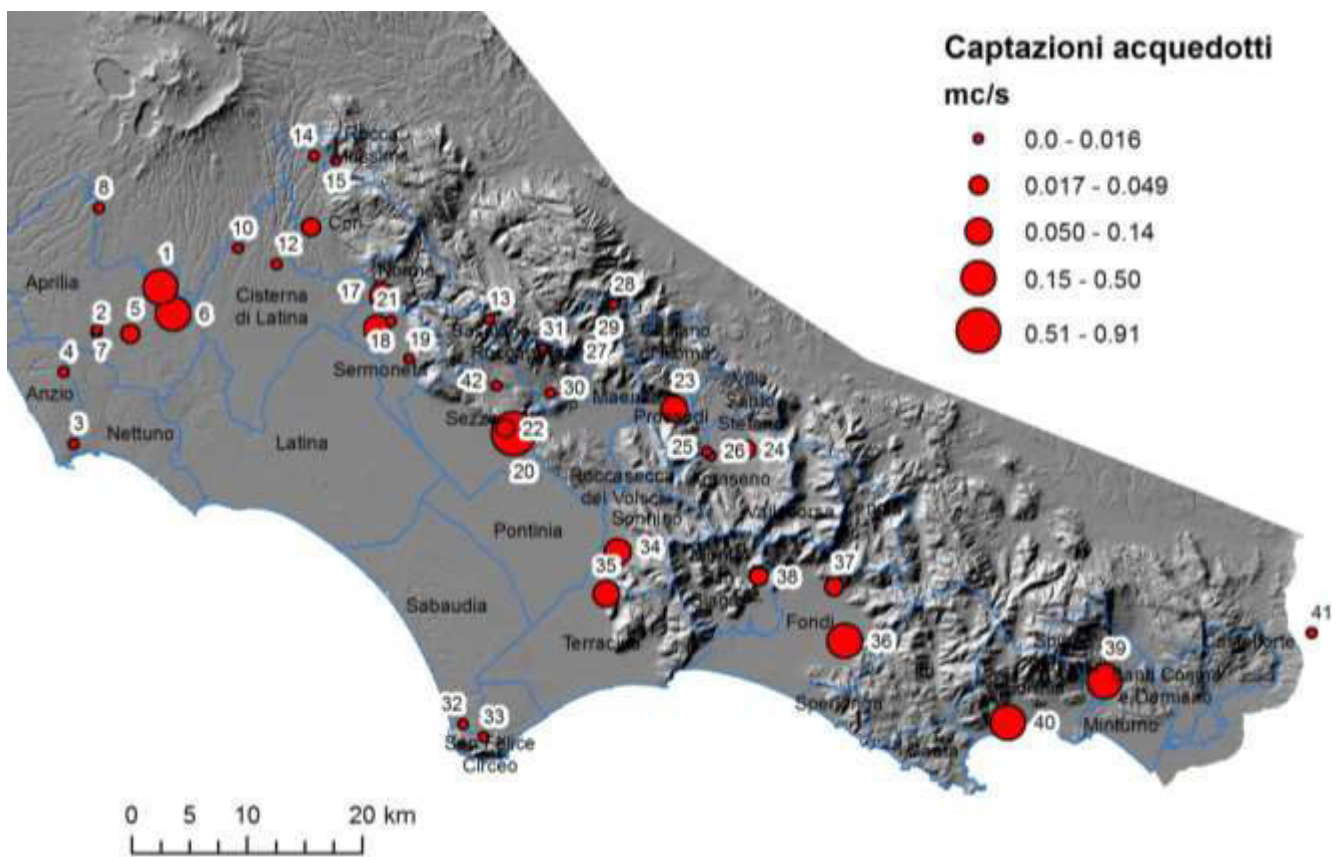


Fig.2.15 – Schema delle sorgenti di approvvigionamento idropotabile della rete acquedottistica dell'ATO 4.

N°	SORGENTE	COMUNE SERVITO	PORTATA MIN (l/s)	PORTATA MAX (l/s)
1	Sorgenti di Carano	Aprilia	0.7	3.9
		Anzio	215.9	246.4
		Nettuno	14.0	79.0
		Latina (serb. Tor del Giglio)	72.4	106.8
2	Campo pozzi Via Muzio		0.0	0.0
3	Colle Marucchi	Anzio	0.0	56.1
4	Campo pozzi Via della Spadellata	Anzio	0.0	5.8
5	Campo pozzi Campo di Carne - Via G. Civile	Anzio	11.4	38.0
6	Carano Giannottola	Aprilia	134.1	157.7
		Anzio	75.1	89.8
		Nettuno	178.4	226.0
7	Campo di Carne Via G. Civile (Tribolato)		0.0	0.0
8	Campoleone	Aprilia	6.7	8.0
9	Borgo Flora		0.0	0.0
10	Casotto Spallato		0.0	0.0
11	Dante Alighieri		0.0	0.0
12	Zona 167		0.0	0.0
13	Sorgente S. Angelo	Bassiano	0.0	0.0
14	Madonnella	Cori	6.6	10.0
15	La chiusa	Roccamassima	0.9	3.7
16	Pozzi Cori Ex FF SS	Cori	10.1	36.6
		Cisterna	85.1	112.8
17	Ninfa	Sermoneta	9.9	12.3
		Norma	25.3	28.5
		Bassiano	11.0	16.9
		Sermoneta	10.6	18.9
18	Pozzo Via delle Vigne	Sermoneta	10.6	18.9
19	Sorgente Monticchio Via R. Vecchia	Sermoneta	6.2	18.0
		Cori	22.0	22.0
ATO 2 - fornitura		Roccamassima	-10.7	11.5
20	Sardellane	Latina	476.7	571.3
		Pontinia	63.0	85.4
		Sezze	94.1	144.4
		Sabaudia	36.3	79.9
		Priverno	58.1	111.6
		San Felice	45.4	75.7
21	Pozzo Carabinieri	Latina	95.4	131.5
42	Fonte La Penna	Sezze	0.0	25.0
22	Mole Muti	Sezze	19.7	38.0
23	Fiumicello	Maenza	16.6	20.2
		Priverno	48.9	65.2
		Prossedi	11.6	13.8
		Roccagorga	11.8	17.6
		Roccasecca Dei V.	12.8	12.8
		Sonnino	18.0	19.0
		Villa S. Stefano	6.5	10.2
24	Fontana Grande	Amaseno	19.1	37.4
25	Pozzi Celma	Amaseno	0.0	10.0
26	Capo d' Acqua d' Amaseno	Amaseno	0.0	20.8
27	Monte Acuto	Maenza	0.0	2.0
28	Sorgente Le Mole (Monte Acuto)	Maenza	0.0	2.3
29	S. Arcangelo pozzo	Maenza	0.7	7.0
30	Pozzo Prunacci	Roccagorga	10.5	14.0
31	S. Erasmo sorgente	Roccagorga	1.2	1.4
		Giuliano di Roma	18.0	22.1
		Villa S. Stefano	0.2	0.7
ATO 5 - fornitura 1				
32	Pozzi Selvapiana	San Felice	2.8	20.8
33	Sorgente Mezzomonte	San Felice	1.8	7.9
34	Colle Francescone	Sonnino	11.3	36.8
		Terracina	103.7	134.1
35	Ponticelli	Terracina	56.7	197.7
		Fondi	242.3	299.5
36	Vetere	Sperlonga	21.2	42.0
		Itri	44.3	49.4
		Fondi	6.0	15.6
37	Vitruvio sorgente	Lenola	33.3	42.3
		M. S. Biagio	0.0	0.0
		M. S. Biagio	16.8	30.2
38	S. Vito	M. S. Biagio	16.8	30.2
ATO 5 - fornitura 2		Castro D.V.	5.6	14.6
		Lenola	-2.6	-12.9
		Vallecorsa	10.8	12.0
39	Capodacqua di Spigno	Gaeta	26.3	77.1
		Acea Ato 5	2.1	3.4
		Castelforte	48.1	53.6
		Formia	90.2	158.4
		Minturno	177.2	192.7
		Spigno S.	24.2	26.5
40	Mazzoccolo	SS. Cosma e D.	56.1	51.6
		Gaeta	132.9	183.0
		Ponza	0.0	18.8
		Ventotene	0.0	5.2
		Formia	204.0	253.3
	Napoli (nave cisterna)	Ponza	0.0	27.8
	Napoli (nave cisterna)	Ventotene	0.0	8.4
41	Forma del Duca	Acea Ato 5	3.1	3.1
		Castelforte	0.0	1.0

Le dotazioni idriche immesse in rete riportate nella figura e nella tabella precedente sono soggette a perdite idriche fisiche dichiarate dal gestore dei servizi idrici nell'ordine del 58%. Alle perdite si sommano elementi di criticità connessi con la qualità di base delle acque che caratterizzano alcune delle principali fonti di approvvigionamento:

- intorbidimento delle acque delle sorgenti di Mazzoccolo e Capodacqua di Spigno per effetto di trasporto solido connesso con la presenza di circuiti carsici particolarmente rapidi;
- concentrazioni limite di Arsenico o altri elementi in traccia di origine naturale, nelle aree di captazione di Sardellane, Carano, Forma del Duca, pozzi nell'area di Cisterna ecc. con la necessità di interventi di miscelazione e trattamento delle acque.

Altre problematiche sono legate al regime impulsivo di alcune importanti sorgenti alimentate prevalentemente da condotti carsici e poste in posizione di "sfioro" rispetto alla falda di base; tra di esse si segnalano le sorgenti e le captazioni poste nella media valle del Fiume Amaseno e le sorgenti di Mazzoccolo e Capodacqua di Spigno.

In concomitanza con il periodo di marcata aridità dell'anno 2017, l'approvvigionamento idrico si è ridotto di oltre il 30% nelle aree servite dalle sorgenti di Capodacqua di Spigno e Mazzoccolo e di quasi il 50% nella valle dell'Amaseno (sorgente Fiumicello, Capodacqua di Amaseno ecc.).

Le portate addotte e le criticità della rete acquedottistica devono essere valutate in rapporto all'entità e alla distribuzione del fabbisogno idrico residenziale. Per tale ragione, nel corso dello studio si è proceduto ad effettuare una stima della domanda idrica sulla base della popolazione residente e fluttuante a scala di sezione di censimento (ISTAT 2011).

Il fabbisogno idrico teorico medio di ciascuna sezione di censimento è stato quindi calcolato associando una domanda giornaliera di 250 l/abitante residente e fluttuante.

Per la stima degli abitanti fluttuanti si è tenuto conto della quantità e della distribuzione delle abitazioni non occupate, come indicatore della presenza di flussi di abitanti stagionali. Il coefficiente pari a 3 abitanti fluttuanti per abitazione non occupata è stato ricavato in base a considerazioni scaturite dall'analisi della variazione stagionale del quantitativo (peso) di rifiuti smaltiti nei diversi comuni.

Il valore ricavato può essere approssimativamente considerato rappresentativo del fabbisogno idrico teorico stagionale di punta. Tuttavia è evidente che oltre gli usi residenziali, le acque della rete idrica alimentano parzialmente anche i servizi igienici di molte attività del terziario e che possono esservi, soprattutto nel periodo estivo, usi impropri connessi con l'irrigazione di giardini o altro.

Tali considerazioni fanno ritenere plausibile che il fabbisogno idrico stimato possa essere in parte sottostimato rispetto ai reali usi attuali.

Risulta evidente (Fig.2.16) come la domanda idrica sia concentrata nelle principali città (Latina, Aprilia, Gaeta, Formia, Anzio, Nettuno, Cisterna, Sezze ecc.) e lungo le fasce costiere da Ardea a Nettuno, Tra San Felice Circeo e Terracina, tra Gaeta e Minturno.

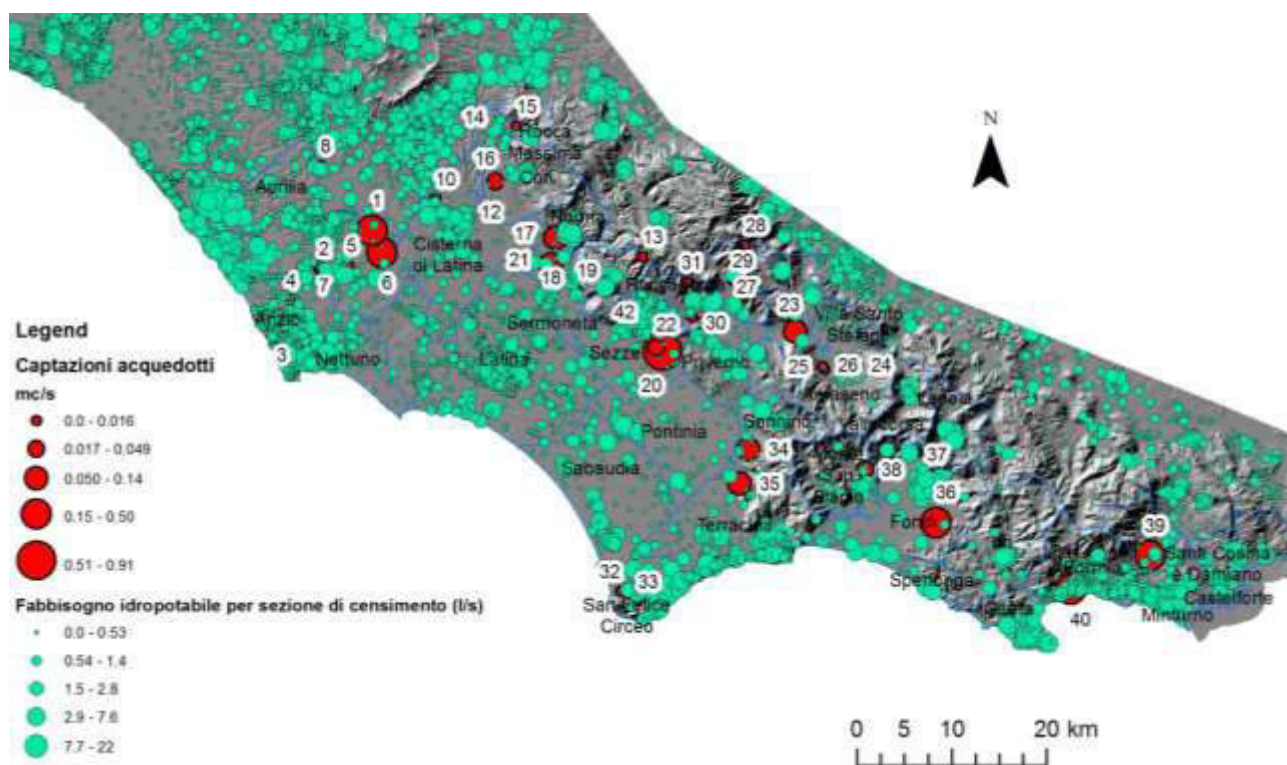


Fig.2.16 – Rappresentazione schematica della domanda idrica per gli usi idropotabili calcolata per l'area di studio a scala di sezione di censimento ISTAT.

COMUNE	STIMA DA DATI ISTAT	COMUNE	STIMA DA DATI ISTAT
	Fabbisogno (l/s)		Fabbisogno (l/s)
Amaseno	13.9	Norma	19.1
Anzio	247.4	Pontinia	40.3
Aprilia	212.8	Priverno	44.9
Bassiano	7.9	Prossedi	5.8
Castelforte	14.0	Roccagorga	17.5
Cisterna di Latina	105.2	Rocca Massima	5.4
Cori	35.1	Roccasecca dei Volsci	4.3
Fondi	138.6	Sabaudia	77.9
Formia	156.5	San Felice Circeo	63.4
Gaeta	115.1	Sermoneta	26.7
Giuliano di Roma	12.7	Sezze	82.3
Itri	35.8	Sonnino	28.0
Latina	384.1	Sperlonga	15.5
Lenola	14.8	Spigno Saturnia	8.7
Monte San Biagio	20.0	Santi Cosma e Damiano	23.1
Maenza	13.2	Terracina	239.1
Minturno	91.3	Vallecorsa	13.2
Nettuno	161.1	Villa Santo Stefano	6.3

Tab.2.5 – Fabbisogno idrico teorico di punta per usi residenziali (abitanti residenti più fluttuanti) stimato mediante elaborazione dei dati del censimento ISTAT 2011.

2.5 Definizione del modello idrogeologico e stima delle risorse disponibili

Per una valutazione delle risorse idriche disponibili rispetto alla domanda e agli usi è necessario effettuare un'analisi idrogeologica quantitativa ad un livello di dettaglio superiore rispetto a quanto attualmente disponibile nei diversi studi idrogeologici pubblicati richiamati in bibliografia e alle cartografie, con particolare riferimento a:

- Carta Idrogeologica della Regione Lazio 1:100.000 (Capelli et alii, 2012)
- Carta dei sistemi idrogeologici della Regione Lazio 1:200.000 (Boni et alii, 1988)
- Carta Idrogeologica del Sistema acquifero della Pianura Pontina 1:100.000 (Sappa G., 2007)

Le cartografie e gli studi richiamati, pur riportando importanti elementi per la comprensione della circolazione idrica sotterranea e delle potenzialità degli acquiferi, non propongono un definito modello idrogeologico della circolazione idrica sotterranea con un dettaglio tale da poter essere utilizzato come riferimento per un approccio quantitativo alla gestione delle risorse idriche.

Per le finalità del presente studio si è pertanto cercato di effettuare una lettura critica delle basi conoscitive richiamate, confrontando le condizioni strutturali e i limiti dei diversi corpi idrici imposti dall'assetto geologico, con i vincoli di natura quantitativa imposti dalle condizioni di ricarica (analizzata in maniera distribuita), dalle portate emergenti, dai prelievi in atto e dall'andamento piezometrico.

Secondo lo schema operativo sintetizzato nelle figure 2.17 e 2.18 si è quindi proceduto a definire ed evidenziare le condizioni al contorno delle unità idrogeologiche individuate nella Carta della Regione Lazio 1:100.000 (Capelli et al., 2012) individuando le seguenti situazioni:

- limite a flusso nullo, dove sussistono condizioni stratigrafiche e strutturali che non consentono scambi di acque sotterranee tra acquiferi adiacenti;
- limite di travaso sotterraneo, dove il contatto tra due acquiferi è caratterizzato da scambi idrici di entità significativa e verso definito;
- limite di potenziale, dove sussistono condizioni di spartiacque o di convergenza tra bacini idrogeologici differenti, la cui posizione può variare in funzione dei regimi di ricarica e di prelievo idrico;
- limite di scambio, dove sussistono condizioni di scambio reciproco tra acquiferi adiacenti.

I limiti definiti al contorno e all'interno delle idrostrutture hanno portato a suddividere il territorio in **ambiti strategici di bilancio** rispetto ai quali, con riferimento alla figura 2.18., stimare i parametri della seguente equazione:

$$I_e + T_{in} - A = Q_e + S + T_{out}$$

Dove

- I_e = Infiltrazione efficace
- T_{in} = Travaso in ingresso (da altre strutture)
- Q_e = Prelievo da pozzi
- S = Flusso di sorgente
- T_{out} = Travaso in uscita (verso altre strutture)
- A = Risorsa immagazzinata

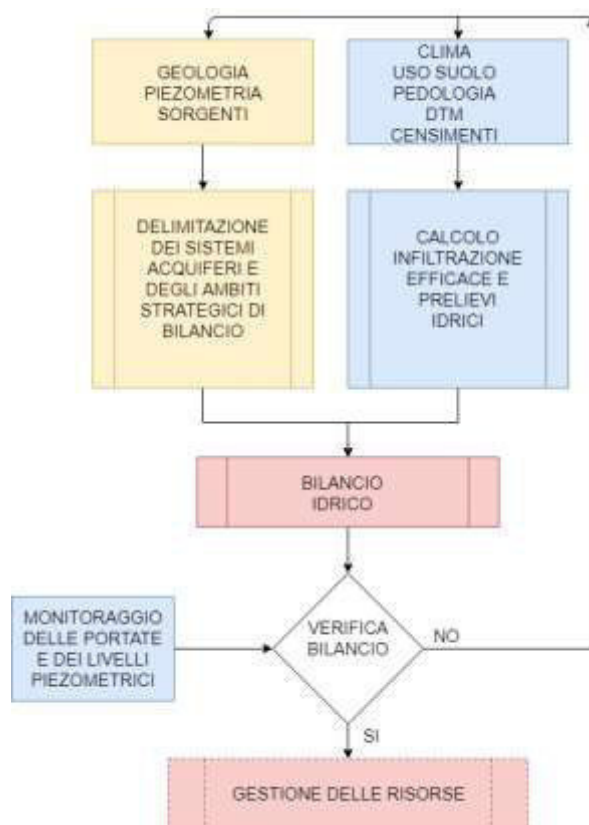


Fig.2.17 – Schema concettuale utilizzato per la definizione del modello idrogeologico di riferimento

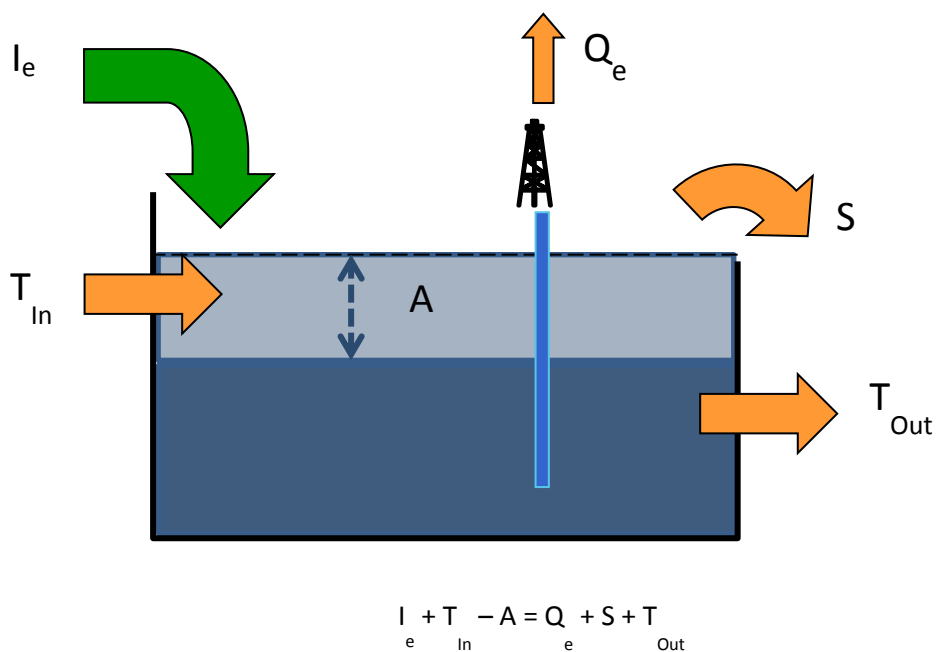


Fig.2.18 – Schema di verifica del bilancio idrogeologico

Lo schema idrogeologico di riferimento è sintetizzato nella carta idrogeologica allegata al presente documento in cui vengono riportati:

- i limiti delle principali strutture idrogeologiche;
- le curve isopiezometriche tratte dalla Carta della Regione Lazio 1:100.000 (Capelli et al, 2012);
- le principali sorgenti;
- i tratti d'alveo drenanti rispetto alle acque sotterranee;
- i limiti di potenziale che delimitano gli ambiti strategici di bilancio (Fig.2.19);
- le aree in cui le acque sotterranee presentano salinità elevate (conducibilità elettrica specifica maggiore di 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$) per effetto di contaminazioni di origine naturale profonda o miscelazione con acque marine;
- le direzioni del deflusso sotterraneo;

La carta descrive pertanto un modello concettuale di riferimento dell'assetto idrogeologico del territorio pontino. Si tratta ovviamente di una rappresentazione statica che sintetizza i caratteri della situazione attuale sulla base delle informazioni disponibili. Ove necessario, con particolare riferimento alle situazioni più problematiche, evidenziate nel seguito, per il dimensionamento delle azioni più opportune sarà necessario effettuare un'analisi in termini dinamici mediante lo sviluppo di una modellazione di tipo numerico.

Nella figura 2.19 si riporta lo schema degli ambiti strategici di bilancio delineati sulla base delle evidenze piezometriche e idrostrutturali e sulla base dei vincoli imposti dal confronto tra le portate potenziali di infiltrazione stimate e le portate sorgive note.

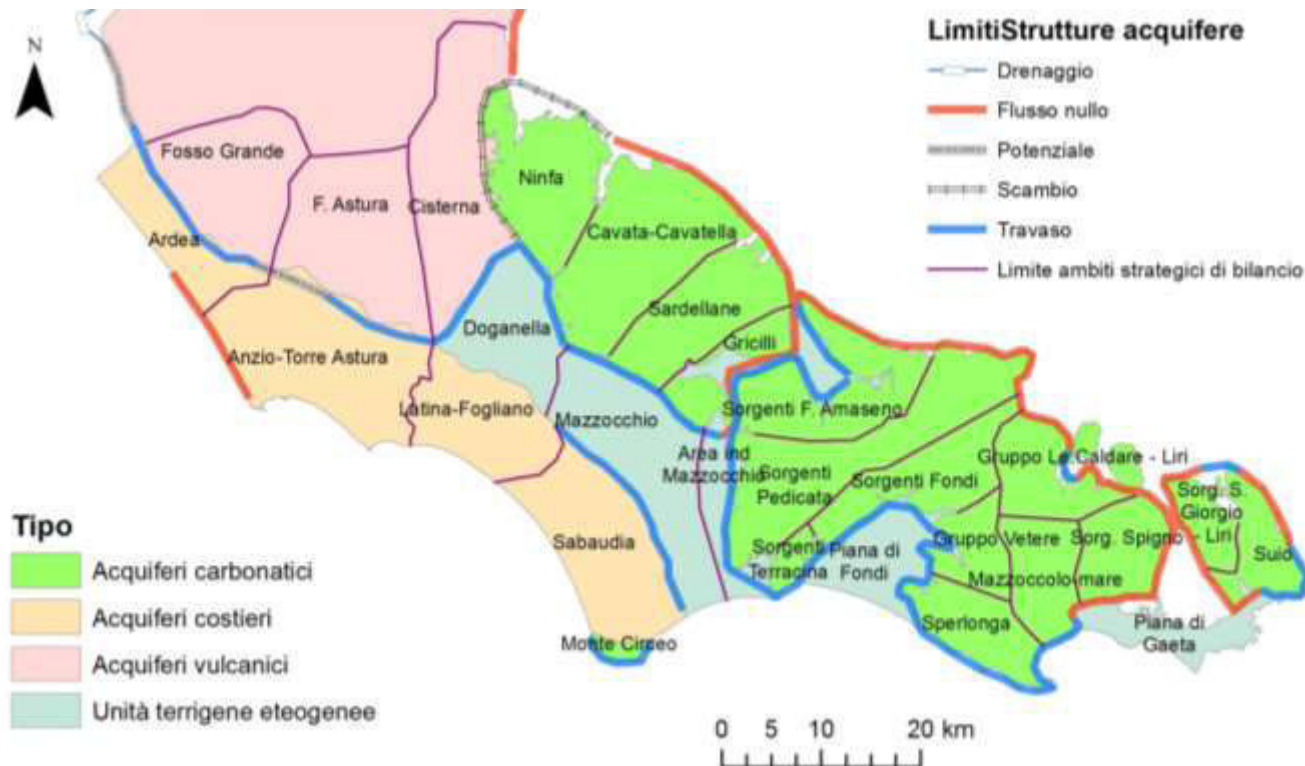


Fig.2.19 – Rappresentazione schematica degli ambiti strategici di bilancio definiti per l'area di studio.

3 Risultati e analisi

3.1 Risorse idriche rinnovabili attuali e previste

L'elaborazione dei dati meteorologici rilevati e simulati dai modelli di previsione climatica, tenendo conto delle caratteristiche pedologiche, di uso del suolo e morfologiche del territorio, ha consentito di ricavare stime accurate delle precipitazioni (P) dell'evapotraspirazione (Evr), del ruscellamento medio annuo (R) e dell'infiltrazione efficace (IE).

Quest'ultimo parametro corrisponde all'aliquota di piogge che filtra verso le falde acquifere, ovvero alla ricarica della risorsa rinnovabile.

Le tabelle 3.3, 3.4, 3.5 e 3.6, alla fine del presente paragrafo, riportano i valori medi annui dei parametri calcolati nei diversi scenari climatici analizzati, cumulati rispetto agli ambiti strategici di bilancio definiti.

Per una lettura d'insieme dei dati, nella tabella 3.1 sono sintetizzati, per chiarezza di esposizione, i valori cumulati delle variabili idrologiche stimate sull'intera area di studio. Tutti i valori sono stati riportati in m³/s, onde consentire una lettura immediata dei risultati e facilitare i confronti con le portate dei prelievi idrici e delle sorgenti.

PERIODO	1991_2000	Modelli previsione 2041-2050		
	Sperimentale	CNRM	ICHEC	IPSL
AREA km ²	4226.94	4226.94	4226.94	4226.94
Pioggia	138.22	127.15	140.42	148.07
Evr (m ³ /s)	54.44	55.75	52.89	56.78
Ra (m ³ /s)	21.64	17.30	22.09	24.09
IE (m ³ /s)	63.01	53.39	66.37	68.50
Variazione IE		-18.0%	5.1%	8.0%

Tab.3.1 – Variabili idrologiche stimate cumulate sull'area di studio

Rispetto ai valori medi calcolati sulla base dei dati sperimentali del periodo 1991-2000, dai diversi modelli di previsione climatica si ricavano valori non uniformi, che indicherebbero, per il decennio 2041-2050, una potenziale riduzione della ricarica degli acquiferi nell'ordine del 18% (modello CNRM) o lievi incrementi, tra circa il 5% e l'8%, per i modelli ICHEC e IPSL, correlati ad un modesto aumento delle precipitazioni annue.

In Fig.3.1 sono confrontati graficamente i valori dell'Infiltrazione efficace (IE) dei diversi ambiti.

Il confronto evidenzia come le variazioni attese dell'IE per il decennio 2041-50 non risultino omogenee nei diversi ambiti, con sensibili differenze dovute alle diverse caratteristiche dei suoli, della morfologia e della copertura vegetale presente.

Tenendo conto del fatto che le proiezioni utilizzate per il decennio 2041-2050 sono relative a scenari intermedi della probabile evoluzione delle diverse forzanti climatiche e della marcata riduzione della ricarica degli acquiferi evidenziata dal modello CNRM, **nel quadro degli obiettivi dello studio è opportuno ritenere cautelativamente possibile che le risorse idriche rinnovabili a disposizione possano rimanere quasi invariate o ridursi di alcuni punti percentuali.**

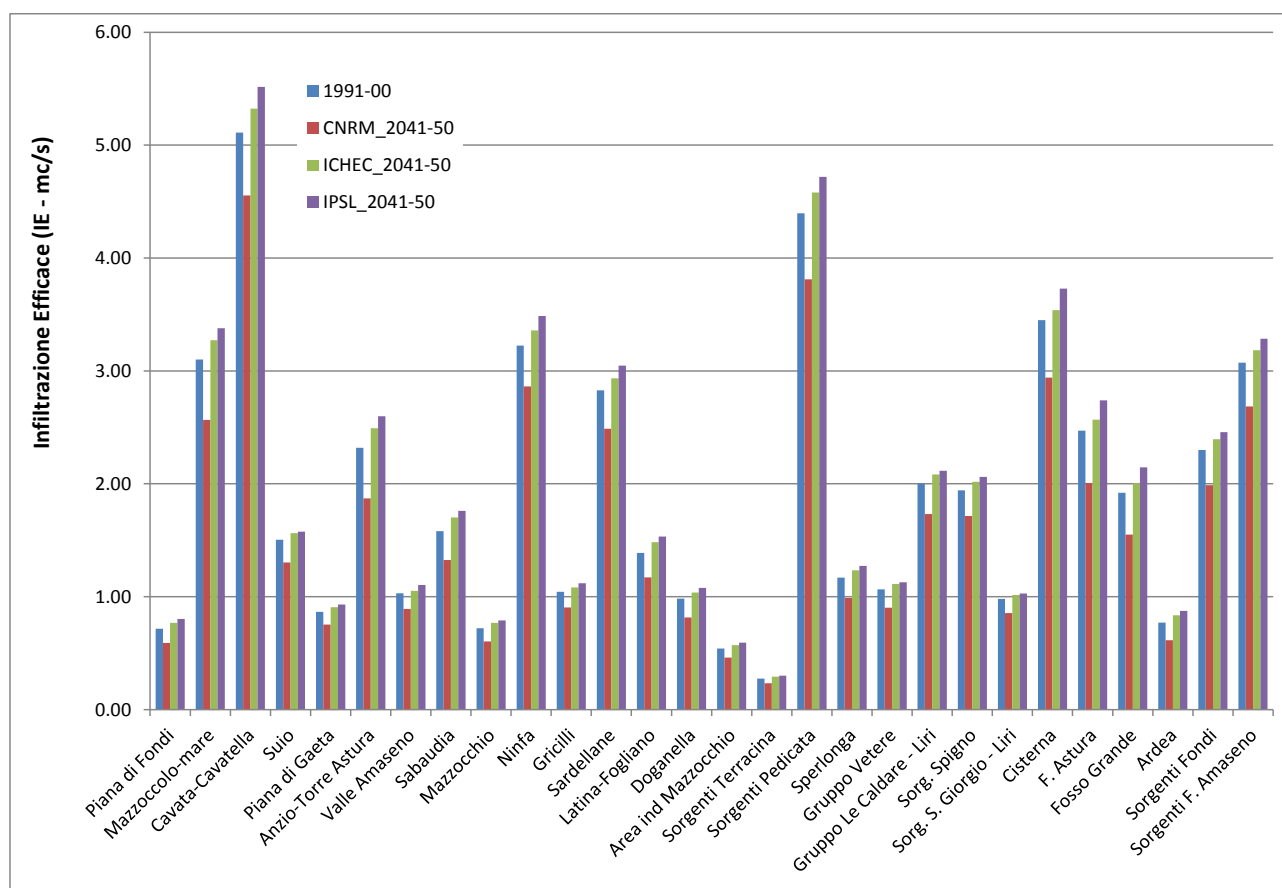


Fig.3.1. – Infiltrazione efficace calcolata per gli ambiti strategici di bilancio nei diversi scenari e modelli meteo-climatici considerati.

Nella tabella 3.2 si riporta un'ulteriore sintesi dei valori dell'infiltrazione efficace aggregata a scala di sistema o struttura idrogeologica.

ACQUIFERO	1991_2000	Modelli previsione 2041-2050		
	Sperimentale	CNRM	ICHEC	IPSL
Ausoni-Aurunci	19.33	16.62	20.17	20.72
Circeo	0.10	0.08	0.10	0.11
Colli Albani	17.98	14.63	19.20	19.84
Costieri nord	3.09	2.49	3.33	3.47
Lepini	12.21	10.81	12.70	13.17
M. Maio	2.48	2.16	2.58	2.61
Piana di Fondi	0.72	0.59	0.77	0.80
Piana di Gaeta	0.87	0.75	0.91	0.93
Piana Pontina Costiera	2.97	2.50	3.19	3.29
Piana Pontina ped.	2.25	1.88	2.38	2.46
Valle Amaseno	1.03	0.89	1.05	1.10

Tab.3.2. – Infiltrazione efficace stimata aggregata a scala di struttura e sistema idrogeologici

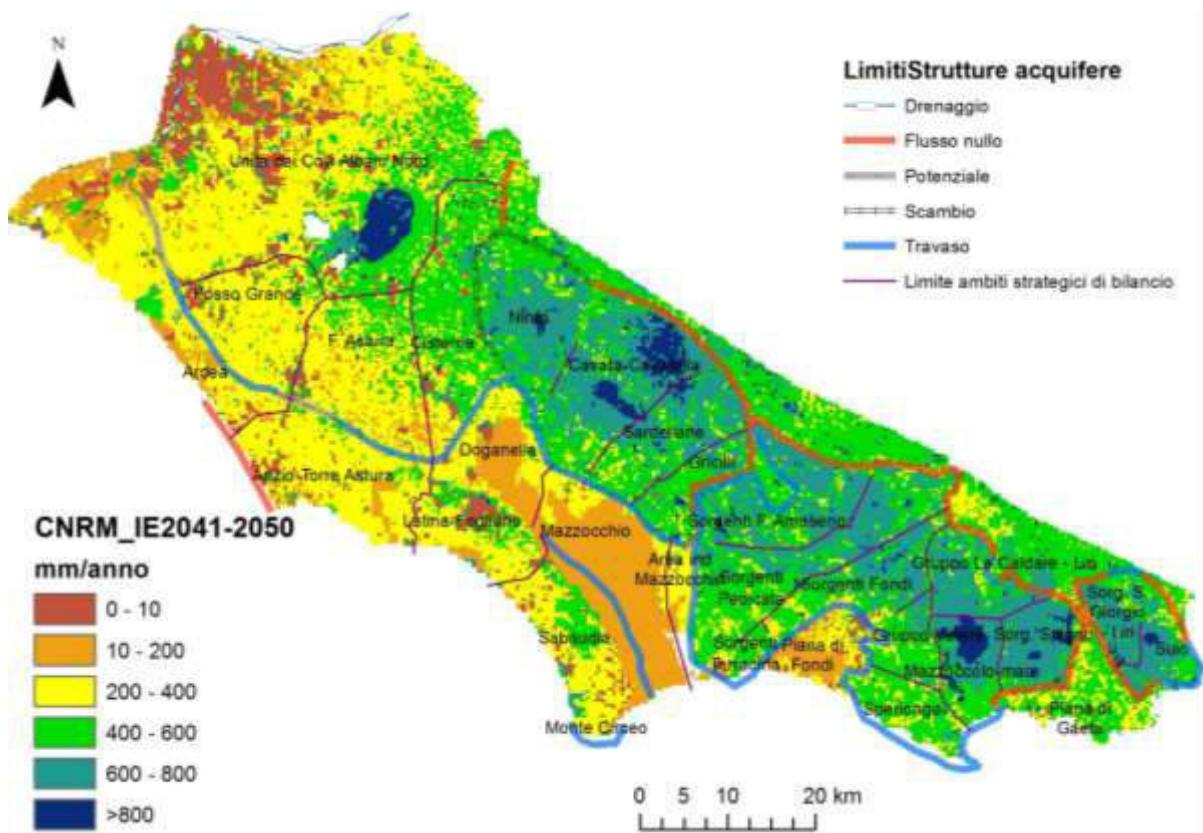
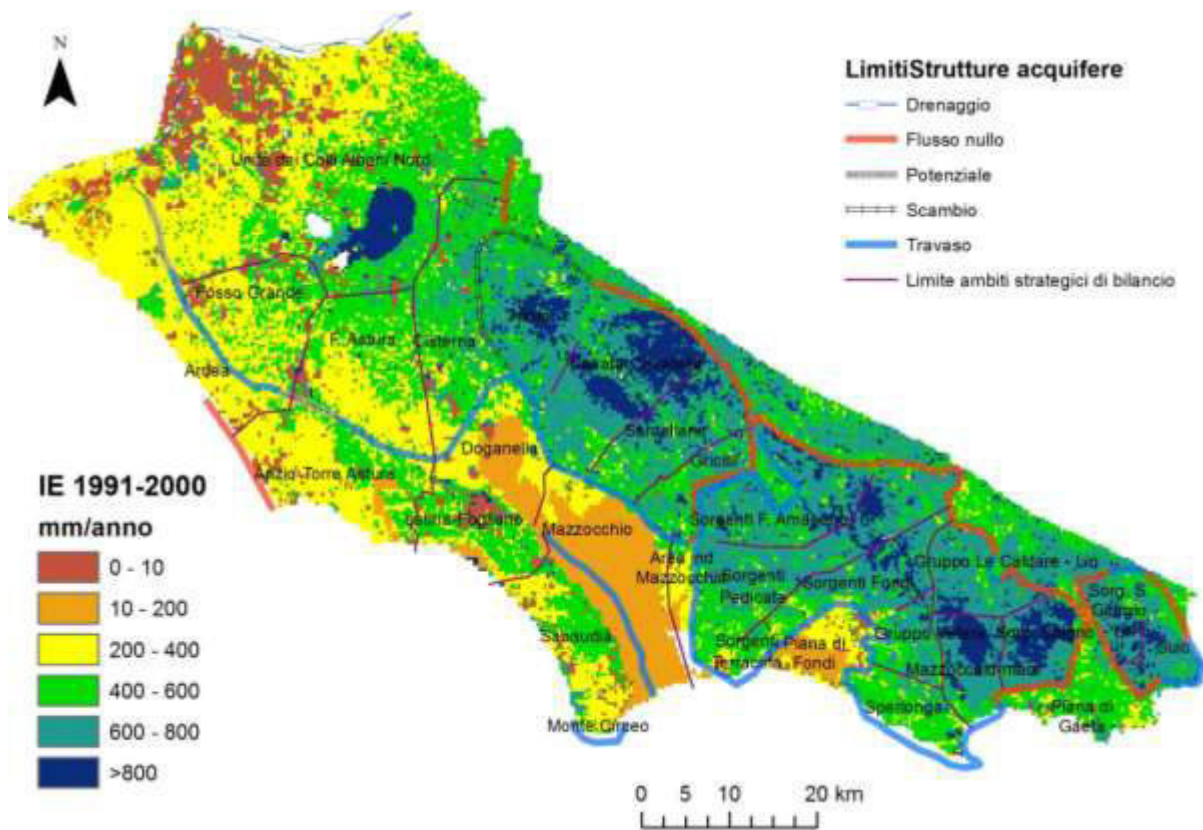


Fig.3.2. – Confronto delle mappe di infiltrazione efficace annua media del periodo 1991-2000 e del periodo 2041-2050.

valori medi annui periodo 1991-2000					
AMBITO STRATEGICO	AREA km ²	P (m ³ /s)	Evr (m ³ /s)	R (m ³ /s)	IE (m ³ /s)
Monte Circeo	9.09	0.22	0.09	0.02	0.10
Piana di Fondi	98.82	2.95	1.26	0.89	0.72
Mazzoccolo-mare	81	2.85	0.81	0.23	3.10
Cavata-Cavatella	215.91	8.34	2.61	0.64	5.11
Suio	64.62	2.43	0.81	0.21	1.50
Piana di Gaeta	65.52	2.34	0.79	0.68	0.87
Anzio-Torre Astura	234.18	6.40	2.90	1.14	2.32
Unità dei Colli Albani Nord	880.56	26.01	11.16	4.78	10.14
Valle Amaseno	56.43	2.13	0.86	0.24	1.03
Sabaudia	176.31	4.95	2.02	1.09	1.58
Mazzocchio	202.05	6.31	2.89	2.73	0.72
Ninfa	144.36	5.52	1.78	0.53	3.22
Gricilli	52.92	1.92	0.71	0.17	1.04
Sardellane	132.84	5.00	1.72	0.46	2.83
Latina-Fogliano	130.77	3.81	1.47	0.90	1.39
Doganella	124.47	4.12	2.06	1.08	0.98
Area ind Mazzocchio	60.21	1.88	0.69	0.31	0.54
Sorgenti Terracina	18	0.53	0.18	0.03	0.27
Sorgenti Pedicata	215.82	7.74	2.72	0.62	4.40
Sperlonga	79.83	2.40	0.81	0.37	1.17
Gruppo Vetere	55.26	1.90	0.71	0.15	1.06
Gruppo Le Caldare - Liri	86.04	3.27	1.13	0.24	2.00
Sorg. Spigno	78.84	2.94	0.76	0.25	1.94
Sorg. S. Giorgio - Liri	41.94	1.62	0.52	0.12	0.98
Cisterna	212.4	7.65	3.23	0.97	3.45
F. Astura	200.52	6.44	3.17	0.80	2.47
Fosso Grande	167.31	4.82	2.25	0.66	1.92
Ardea	91.44	2.41	1.07	0.60	0.77
Sorgenti Fondi	109.89	3.98	1.42	0.32	2.30
Sorgenti F. Amaseno	139.59	5.32	1.84	0.41	3.07
TOTALE	4226.94	138.22	54.44	21.64	63.01

valori medi annui periodo 2041-2050 - Modello CNMR					
AMBITO STRATEGICO	AREA km ²	P (m ³ /s)	Evr (m ³ /s)	R (m ³ /s)	IE (m ³ /s)
Monte Circeo	9.09	0.20	0.09	0.03	0.08
Piana di Fondi	98.82	2.69	1.26	0.67	0.59
Mazzoccolo-mare	81	2.64	0.86	0.20	2.57
Cavata-Cavatella	215.91	7.78	2.67	0.57	4.56
Suio	64.62	2.26	0.86	0.18	1.30
Piana di Gaeta	65.52	2.17	0.81	0.33	0.75
Anzio-Torre Astura	234.18	5.79	2.93	0.68	1.87
Unità dei Colli Albani Nord	880.56	23.71	11.43	4.00	8.13
Valle Amaseno	56.43	1.98	0.88	0.21	0.89
Sabaudia	176.31	4.49	2.02	1.11	1.33
Mazzocchio	202.05	5.78	2.89	2.18	0.60
Ninfa	144.36	5.14	1.82	0.47	2.86
Gricilli	52.92	1.79	0.74	0.14	0.91
Sardellane	132.84	4.66	1.77	0.40	2.49
Latina-Fogliano	130.77	3.46	1.48	0.69	1.17
Doganella	124.47	3.80	2.08	0.90	0.82
Area ind Mazzocchio	60.21	1.72	0.69	0.26	0.46
Sorgenti Terracina	18	0.49	0.19	0.03	0.23
Sorgenti Pedicata	215.82	7.17	2.83	0.54	3.81
Sperlonga	79.83	2.19	0.83	0.14	0.99
Gruppo Vetere	55.26	1.76	0.74	0.12	0.90
Gruppo Le Caldare - Liri	86.04	3.04	1.20	0.21	1.73
Sorg. Spigno	78.84	2.74	0.81	0.22	1.72
Sorg. S. Giorgio - Liri	41.94	1.51	0.55	0.11	0.86
Cisterna	212.4	7.09	3.32	0.83	2.94
F. Astura	200.52	5.91	3.25	0.65	2.01
Fosso Grande	167.31	4.38	2.30	0.54	1.55
Ardea	91.44	2.17	1.08	0.23	0.61
Sorgenti Fondi	109.89	3.69	1.49	0.28	1.99
Sorgenti F. Amaseno	139.59	4.96	1.92	0.36	2.68
TOTALE	4226.94	127.15	55.75	17.30	53.39

valori medi annui periodo 2041-2050 - Modello ICHEC					
AMBITO STRATEGICO	AREA km ²	P (m ³ /s)	Evr (m ³ /s)	R (m ³ /s)	IE (m ³ /s)
Monte Circeo	9.09	0.229712	0.09	0.04	0.10
Piana di Fondi	98.82	2.998849	1.20	0.84	0.77
Mazzoccolo-mare	81	2.889932	0.77	0.24	3.27
Cavata-Cavatella	215.91	8.456226	2.48	0.67	5.32
Suio	64.62	2.466679	0.78	0.22	1.56
Piana di Gaeta	65.52	2.377419	0.77	0.70	0.91
Anzio-Torre Astura	234.18	6.525496	2.78	1.10	2.49
Unità dei Colli Albani Nord	880.56	26.47056	11.03	4.44	11.09
Valle Amaseno	56.43	2.157231	0.86	0.25	1.05
Sabaudia	176.31	5.044783	1.91	1.37	1.70
Mazzocchio	202.05	6.419368	2.77	2.75	0.77
Ninfa	144.36	5.593433	1.70	0.55	3.36
Gricilli	52.92	1.95128	0.70	0.17	1.08
Sardellane	132.84	5.072291	1.66	0.48	2.93
Latina-Fogliano	130.77	3.874957	1.39	0.85	1.48
Doganella	124.47	4.186942	2.00	1.15	1.04
Area ind Mazzocchio	60.21	1.90785	0.66	0.63	0.57
Sorgenti Terracina	18	0.541947	0.17	0.04	0.29
Sorgenti Pedicata	215.82	7.848457	2.63	0.65	4.58
Sperlonga	79.83	2.444048	0.77	0.38	1.23
Gruppo Vetere	55.26	1.931773	0.68	0.15	1.11
Gruppo Le Caldare - Liri	86.04	3.313264	1.09	0.25	2.08
Sorg. Spigno	78.84	2.985079	0.72	0.26	2.02
Sorg. S. Giorgio - Liri	41.94	1.642356	0.50	0.13	1.02
Cisterna	212.4	7.759732	3.22	0.99	3.54
F. Astura	200.52	6.540894	3.14	0.83	2.57
Fosso Grande	167.31	4.904236	2.22	0.68	2.01
Ardea	91.44	2.454567	1.02	0.52	0.83
Sorgenti Fondi	109.89	4.036215	1.38	0.33	2.39
Sorgenti F. Amaseno	139.59	5.395855	1.79	0.42	3.18
TOTALE	4226.94	140.42	52.89	22.09	66.37

valori medi annui periodo 2041-2050 - Modello IPSL					
AMBITO STRATEGICO	AREA km ²	P (m ³ /s)	Evr (m ³ /s)	R (m ³ /s)	IE (m ³ /s)
Monte Circeo	9.09	0.25	0.10	0.04	0.11
Piana di Fondi	98.82	3.18	1.29	1.01	0.80
Mazzoccolo-mare	81	3.04	0.87	0.25	3.38
Cavata-Cavatella	215.91	8.85	2.65	0.70	5.52
Suio	64.62	2.58	0.89	0.22	1.58
Piana di Gaeta	65.52	2.50	0.83	0.71	0.93
Anzio-Torre Astura	234.18	6.95	3.03	1.34	2.60
Unità dei Colli Albani Nord	880.56	28.06	11.55	5.30	11.22
Valle Amaseno	56.43	2.26	0.90	0.26	1.10
Sabaudia	176.31	5.36	2.12	1.41	1.76
Mazzocchio	202.05	6.78	3.03	2.82	0.79
Ninfa	144.36	5.85	1.81	0.57	3.49
Gricilli	52.92	2.05	0.75	0.18	1.12
Sardellane	132.84	5.31	1.77	0.50	3.05
Latina-Fogliano	130.77	4.11	1.54	0.98	1.53
Doganella	124.47	4.41	2.15	1.19	1.08
Area ind Mazzocchio	60.21	2.02	0.72	0.64	0.59
Sorgenti Terracina	18	0.57	0.19	0.04	0.30
Sorgenti Pedicata	215.82	8.24	2.86	0.67	4.72
Sperlonga	79.83	2.59	0.85	0.39	1.27
Gruppo Vetere	55.26	2.03	0.77	0.15	1.13
Gruppo Le Caldare - Liri	86.04	3.47	1.21	0.25	2.12
Sorg. Spigno	78.84	3.13	0.81	0.27	2.06
Sorg. S. Giorgio - Liri	41.94	1.72	0.56	0.13	1.03
Cisterna	212.4	8.14	3.37	1.04	3.73
F. Astura	200.52	6.90	3.28	0.89	2.74
Fosso Grande	167.31	5.21	2.34	0.73	2.14
Ardea	91.44	2.62	1.11	0.64	0.87
Sorgenti Fondi	109.89	4.23	1.51	0.34	2.46
Sorgenti F. Amaseno	139.59	5.65	1.93	0.44	3.29
TOTALE	4226.94	148.07	56.78	24.09	68.50

Tab.3.3, 3.4, 3.5,3.6. – Valori medi delle variabili idrologiche stimate

3.2 Fabbisogno e prelievi idrici attuali e previsti

3.2.1 Irriguo

Il fabbisogno irriguo costituisce una delle principali voci di prelievo di acque superficiali e sotterranee con valori medi annui sull'intera area di studio nell'ordine dei 6,29 m³/s che potranno subire un incremento, secondo i modelli previsionali adottati, fino a circa 8,25 m³/s (modello ICHEC).

ACQUIFERO	Fabbisogno irriguo medio annuo (m ³ /s)			
	1991_2000	Modelli previsione 2041-2050		
	Sperimentale	CNRM	ICHEC	IPSL
Ausoni-Aurunci	0.44	0.44	0.52	0.45
Circeo	0.00	0.00	0.00	0.00
Colli Albani	2.01	2.10	2.71	2.23
Costieri nord	0.92	1.00	1.21	0.96
Lepini	0.16	0.17	0.21	0.18
M. Maio	0.11	0.11	0.12	0.11
Piana di Fondi	0.48	0.52	0.59	0.52
Piana di Gaeta	0.20	0.21	0.24	0.21
Piana Pontina Costiera	0.99	1.09	1.28	1.04
Piana Pontina Pedemontana	0.91	1.07	1.31	0.96
Valle Amaseno	0.06	0.06	0.08	0.06
TOTALE	6.29	6.77	8.28	6.73

Tab.3.7. – Fabbisogno irriguo medio annuo cumulato nelle diverse strutture e sistemi idrogeologici.

Nel settore irriguo, il valore medio annuo del fabbisogno risulta tuttavia poco indicativo, in quanto la domanda si concentra nei mesi estivi superando i 31 m³/s nel mese di luglio, con incrementi previsti tra il 2041 e il 2050, fino a picchi di oltre 35 m³/s (Fig.3.3).

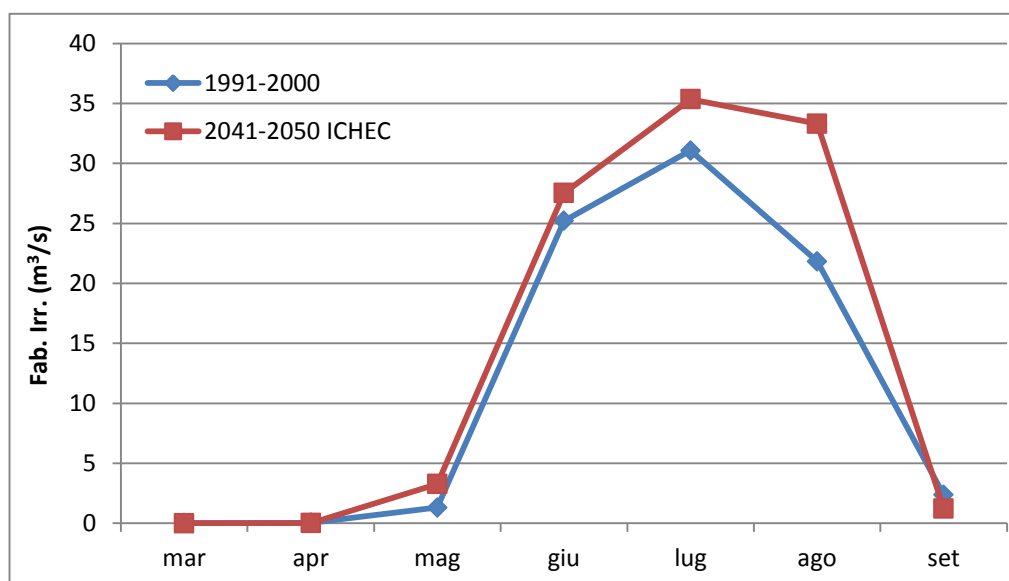


Fig.3.3. – Andamento mensile della domanda irrigua nell'intera area di studio

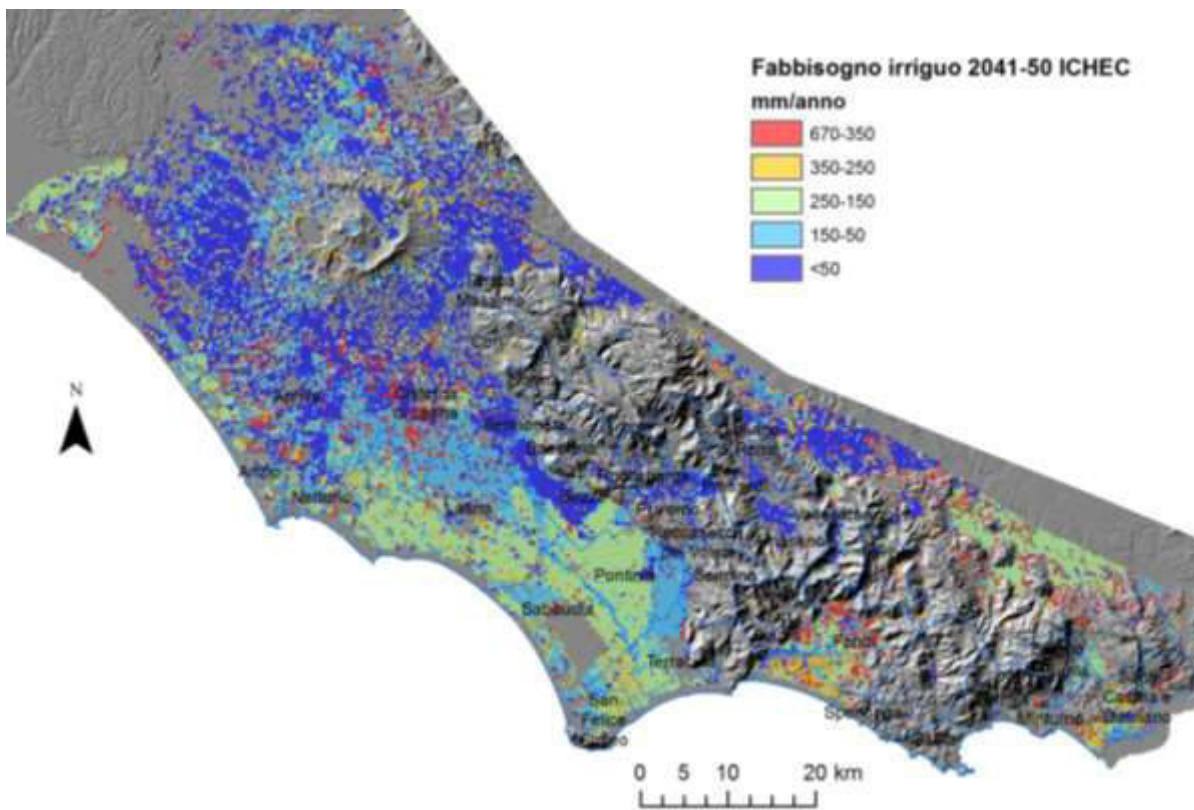
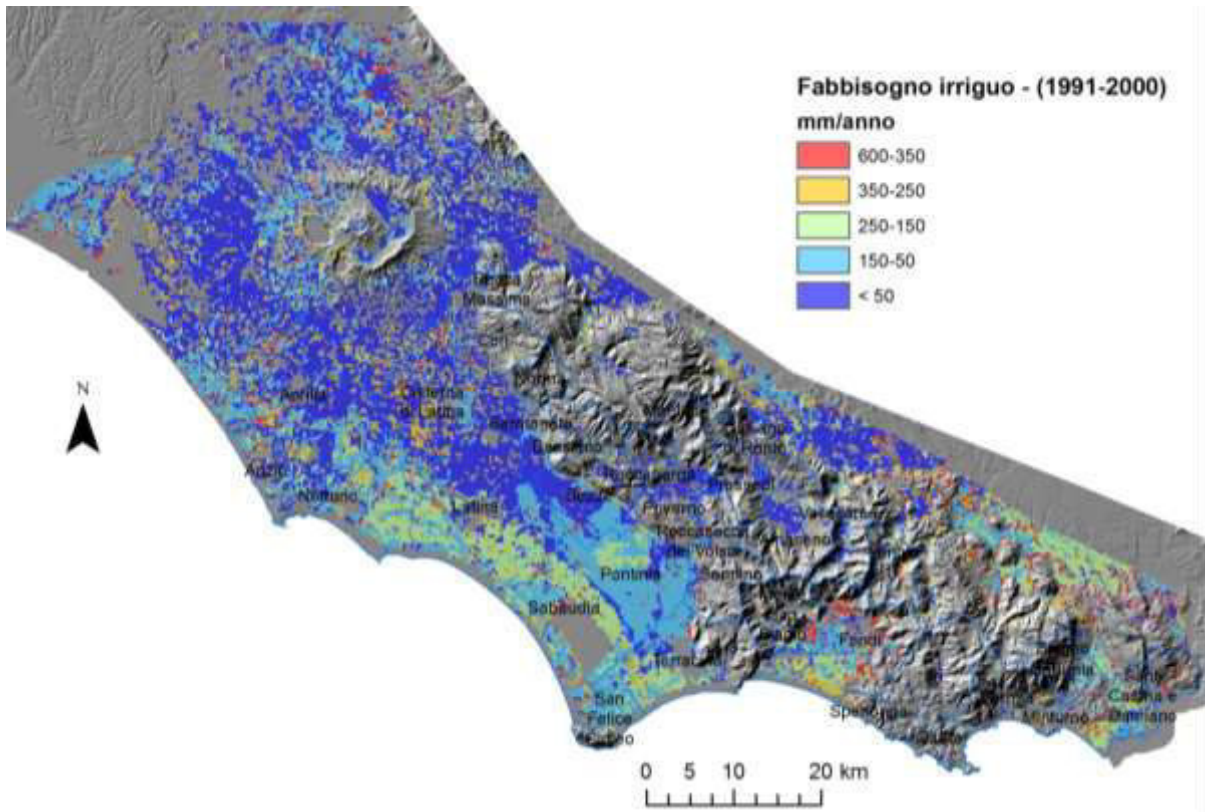


Fig.3.4. – Fabbisogno irriguo attuale e previsto

Il fabbisogno irriguo si concentra soprattutto nelle pianure, nelle aree basso collinari e nell'area dei Colli Albani (Fig.3.4 e Tab. 3.8).

Fabbisogno irriguo medio mensile (m ³ /s) - 1991-2000							
ACQUIFERO	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set
Ausoni-Aurunci	0.00	0.00	0.05	1.36	2.29	1.77	0.04
Circeo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Colli Albani	0.00	0.02	0.45	3.24	11.52	10.61	1.35
Costieri nord	0.00	0.00	0.28	3.65	4.36	3.08	0.36
Lepini	0.00	0.00	0.01	0.45	0.92	0.77	0.01
M. Maio	0.00	0.00	0.04	0.43	0.47	0.33	0.01
Piana di Fondi	0.00	0.01	0.11	2.35	2.19	1.37	0.30
Piana di Gaeta	0.00	0.00	0.07	1.05	0.81	0.55	0.05
Piana Pontina Costiera	0.00	0.01	0.22	6.36	4.23	1.76	0.13
Piana Pontina ped	0.00	0.01	0.09	6.20	3.92	1.28	0.13
Valle Amaseno	0.00	0.00	0.00	0.11	0.34	0.30	0.00
Fabbisogno irriguo medio mensile (m ³ /s) - 2041-2050 ICHEC							
ACQUIFERO	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set
Ausoni-Aurunci	0.00	0.00	0.18	1.44	2.50	2.22	0.02
Circeo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Colli Albani	0.00	0.00	0.91	3.67	12.84	14.76	0.73
Costieri nord	0.00	0.00	0.59	4.00	5.23	4.77	0.17
Lepini	0.00	0.00	0.03	0.46	1.00	1.01	0.00
M. Maio	0.00	0.00	0.14	0.43	0.50	0.41	0.00
Piana di Fondi	0.00	0.00	0.23	2.47	2.36	1.89	0.18
Piana di Gaeta	0.00	0.00	0.16	1.11	0.88	0.79	0.03
Piana Pontina Costiera	0.00	0.01	0.79	6.68	4.74	3.37	0.02
Piana Pontina ped	0.00	0.00	0.23	7.10	4.90	3.68	0.07
Valle Amaseno	0.00	0.00	0.01	0.15	0.39	0.40	0.00
Fabbisogno irriguo medio mensile (m ³ /s) - 2041-2050 CNMR							
ACQUIFERO	mar	apr	mag	giu	lug	ago	set
Ausoni-Aurunci	0.00	0.01	0.11	1.29	2.21	1.72	0.00
Circeo	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.00
Colli Albani	0.00	0.09	0.96	3.48	11.04	9.89	0.13
Costieri nord	0.00	0.00	0.72	3.92	4.50	2.97	0.04
Lepini	0.00	0.00	0.02	0.40	0.87	0.74	0.00
M. Maio	0.00	0.00	0.10	0.41	0.47	0.32	0.00
Piana di Fondi	0.00	0.01	0.27	2.47	2.14	1.34	0.05
Piana di Gaeta	0.00	0.00	0.17	1.06	0.78	0.54	0.01
Piana Pontina Costiera	0.00	0.02	1.00	6.52	4.10	1.67	0.00
Piana Pontina ped	0.00	0.02	0.33	7.35	4.17	1.14	0.01
Valle Amaseno	0.00	0.00	0.00	0.12	0.34	0.29	0.00

Fig.3.8 – Fabbisogno irriguo aggregato per strutture e sistemi idrogeologici

Nell'area pedemontana della Pianura Pontina e nelle Piana di Fondi l'acqua per l'irrigazione viene principalmente captata dalla rete naturale ed artificiale alimentata dalle acque sorgive delle dorsali carbonatiche e dei Colli Albani e in parte minore dai pozzi.

Nel settore costiero della Pianura Pontina si ritiene che gli impianti irrigui alimentati da acque superficiali possano coprire non più del 40% della domanda irrigua e che il restante fabbisogno sia soddisfatto con acqua di pozzo. Nelle restanti aree l'irrigazione viene effettuata esclusivamente con acqua profonda. Le figura 3.5 riporta i valori medi annui e di picco (mese di luglio) del fabbisogno irriguo calcolato negli ambiti strategici di bilancio.

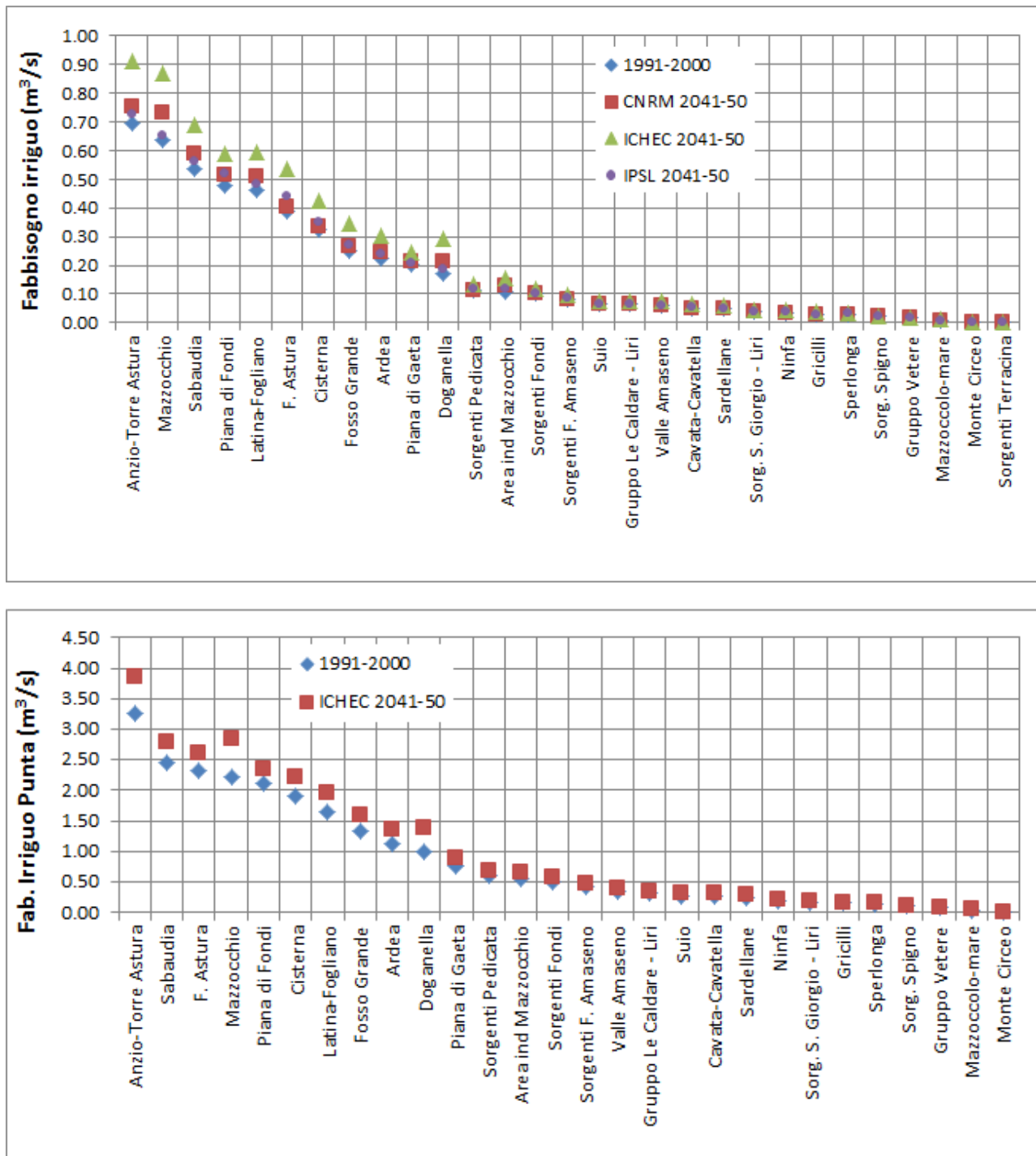


Fig.3.5. – Fabbisogno irriguo medio annuo e fabbisogno irriguo di punta (mese di luglio) negli ambiti strategici di bilancio

Nel complesso il fabbisogno irriguo medio annuo attuale presenta valori compatibili con i valori medi delle risorse idriche rinnovabili. L'analisi a scala mensile evidenzia tuttavia **che i valori della domanda idrica irrigua nei mesi estivi sono paragonabili o localmente superiori ai valori medi del deflusso di base**. Ciò comporta, in questi mesi, un deficit che, vista l'elevatissima presenza di pozzi, viene colmato da prelievi in falda nella Pianura Pontina, nella Piana di Fondi e nelle altre aree a forte vocazione agricola.

Nello scenario di variazione climatica si osserva un generale incremento del fabbisogno irriguo medio e di punta, a fronte di condizioni di ricarica immutate o peggiorative. **Tale evoluzione, a parità di usi colturali, determinerà un aggravamento della carenza idrica estiva, con conseguente incremento degli emungimenti da pozzo, con rischio di depauperamento qualitativo e quantitativo degli acquiferi.**

Tale evoluzione dovrà pertanto essere valutata nel dettaglio di ogni ambito strategico di bilancio, al fine pianificare le più opportune strategie di adattamento.

3.2.2 Idropotabile

Il prelievo complessivo emunto dagli acquiferi per alimentare la rete di adduzione idropotabile (ATO4) è compreso tra circa 3,2 m³/s e 4,7 m³/s concentrati prevalentemente sulle principali idrostrutture (Tab.3.9):

- Monti Ausoni-Aurunci 2,1 m³/s;
- Colli Albani 0,96 m³/s
- Monti Lepini 1,35 m³/s

Acquifero	Ambito strat. Bilancio	Portata (l/s)	Portata punta (l/s)
Asoni-Aurunci	Gruppo Vetere	307.8	390.9
Asoni-Aurunci	Mazzoccolo-mare	336.9	460.3
Asoni-Aurunci	Sorg. Spigno	424.2	563.3
Asoni-Aurunci	Sorgenti F. Amaseno	145.3	227
Asoni-Aurunci	Sorgenti Fondi	56.1	88.1
Asoni-Aurunci	Sorgenti Pedicata	171.7	368.6
Circeo	Circeo	1.8	7.9
Colli Albani	Cisterna	16.7	46.6
Colli Albani	F. Astura	697.3	917.6
Costieri nord	Anzio-Torre Astura	11.4	99.9
Lepini	Cavata-Cavatella	6.2	18
Lepini	Ninfa	132.2	174.2
Lepini	Sardellane	805.7	1158
Pianura Pontina Cost.	Sabaudia	2.8	20.8
Pianura Pontina ped.	Doganella	106	150.4
TOTALE		3222.1	4691.6

Tab.3.9. – Portate captate da pozzi e sorgenti per l'alimentazione della rete acquedottistica

Ambito strategico di bilancio	CAPTAZIONE	Portata (l/s)	Portata punta (l/s)
Cisterna	Borgo Flora	0.0	0.0
Anzio-Torre Astura	Campo di Carne Via G. Civile (Tribolato)	0.0	0.0
Anzio-Torre Astura	Campo pozzi Campo di Carne - Via G. Civile	11.4	38.0
Anzio-Torre Astura	Campo pozzi Via della Spadellata	0.0	5.8
Anzio-Torre Astura	Campo pozzi Via Muzio	0.0	0.0
F. Astura	Campoleone	6.7	8.0
Sorgenti F. Amaseno	Capo d' Acqua d' Amaseno	0.0	20.8
Sorg. Spigno	Capodacqua di Spigno	424.2	563.3
F. Astura	Carano Giannottola	387.6	473.5
Cisterna	Casotto Spallato	0.0	0.0
Sorgenti Pedicata	Colle Francescone	115.0	170.9
Anzio-Torre Astura	Colle Marucchi	0.0	56.1
Cisterna	Dante Alighieri	0.0	0.0
Sorgenti F. Amaseno	Fiumicello	126.2	158.8
Sorgenti F. Amaseno	Fontana Grande	19.1	37.4
Sardellane	Fonte La Penna	0.0	25.0
Ninfa	La chiusa	0.9	3.7
Cisterna	Madonnella	6.6	10.0
Mazzoccolo-mare	Mazzoccolo	336.9	460.3
Sardellane	Mole Muti	19.7	38.0
Sardellane	Monte Acuto	0.0	2.0
Ninfa	Ninfa	131.3	170.5
Sorgenti Pedicata	Ponticelli	56.7	197.7
Sorgenti F. Amaseno	Pozzi Celma	0.0	10.0
Cisterna	Pozzi Cori Ex FF SS	10.1	36.6
Sabaudia	Pozzi Selvapiana	2.8	20.8
Doganella	Pozzo Carabinieri	95.4	131.5
Sardellane	Pozzo Prunacci	10.5	14.0
Doganella	Pozzo Via delle Vigne	10.6	18.9
Sardellane	S. Arcangelo pozzo	0.7	7.0
Sardellane	S. Erasmo sorgente	1.2	1.4
Sorgenti Fondi	S. Vito	16.8	30.2
Sardellane	Sardellane	773.6	1068.3
Sardellane	Sorgente Le Mole (Monte Acuto)	0.0	2.3
Circeo	Sorgente Mezzomonte	1.8	7.9
Cavata-Cavatella	Sorgente Monticchio Via R. Vecchia	6.2	18.0
Cavata-Cavatella	Sorgente S. Angelo	0.0	0.0
F. Astura	Sorgenti di Carano	303.0	436.1
Gruppo Vetere	Vetere	307.8	390.9
Sorgenti Fondi	Vitruvio sorgente	39.3	57.9
Cisterna	Zona 167	0.0	0.0
TOTALE		3222.1	4691.6

Tab.3.10 – Captazioni per uso idropotabile della rete acquedottistica (ATO 4) e ambiti strategici di bilancio

Le principali captazioni sono dislocate nei seguenti ambiti strategici:

- F. Astura con le captazioni dell'area di Carano (circa $0,9 \text{ m}^3/\text{s}$);
- Sardellane, dove dalle omonime captazioni vengono derivati fino a $1,06 \text{ m}^3/\text{s}$;
- Mazzoccolo-mare, dove si ha un prelievo fino a $0,46 \text{ m}^3/\text{s}$ in prossimità delle sorgenti Mazzoccolo;
- Sorgenti Spigno, con derivazioni fino a $0,56 \text{ m}^3/\text{s}$ dalle omonime sorgenti;
- Gruppo-Vetere, con captazioni fino a $0,39 \text{ m}^3/\text{s}$.

Seguono numerose altre captazioni (Ninfa, Fiumicello, Colle Francescone, Pozzo Carabiniere) con portate nell'ordine dei 100/200 l/s.

Le risorse ad oggi captate, nell'ambito di una rete di adduzione e distribuzione caratterizzata da perdite complessive nell'ordine del 58% (dati Acqualatina, 2017) risultano appena sufficienti in condizioni climatiche medie, sottodimensionate negli anni siccitosi e per il futuro, visti gli scenari meteo-climatici attesi.

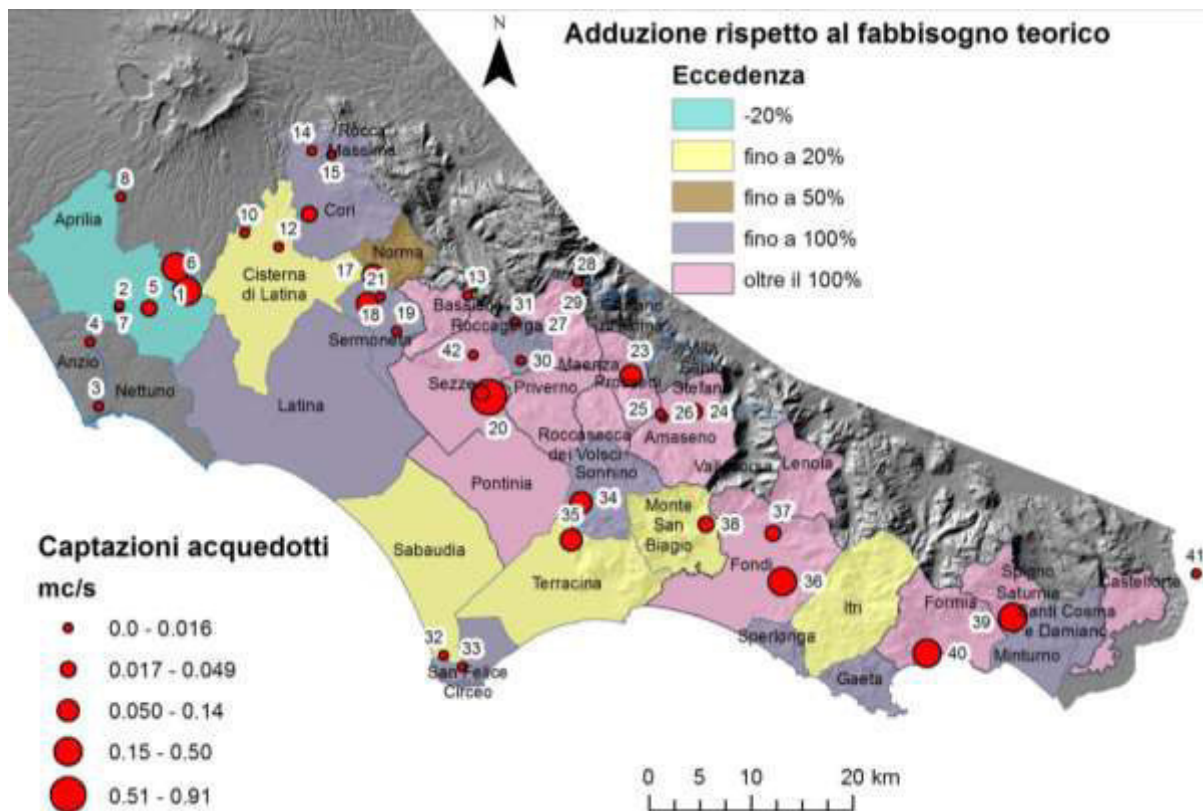


Fig.3.6. – Principali captazioni della rete acquedottistica e rapporto percentuale tra fabbisogno idrico stimato e portata addotta all'origine verso le reti di distribuzione dei comuni.

La figura 3.6 mostra il rapporto percentuale tra fabbisogno idrico stimato e portata prelevata all'origine verso le reti di distribuzione comunali, definibile come "eccedenza teorica di adduzione". Tale parametro consente di ricavare importanti considerazioni sullo stato delle reti di distribuzione idrica.

Si osservano infatti ;

- aree con eccedenza negativa (-20% nel comune di Aprilia), dove il difetto di adduzione rispetto alla domanda stimata, tenendo conto anche della presenza di perdite molto elevate, indica che solo limitate porzioni del territorio sono servite dalla rete acquedottistica che, necessariamente dovrà raggiungere un numero molto più elevato di utenze, con necessità di reperire ulteriori risorse idriche;
- aree con eccedenza nell'ordine del 20% (comuni di Sabaudia, Cisterna di Latina, Terracina, Monte San Biagio, Itri) dove, considerando il valore delle perdite idriche, le reti di distribuzione devono raggiungere ancora numerose utenze, con conseguente aumento delle portate da addurre;
- nelle restanti aree, risulta evidente il fenomeno delle dispersioni idriche con valori che superano anche il 100% della domanda come nei territori di Pontinia, nei comuni collinari e montani della Valle dell'Amaseno, nei comuni del Sud Pontino.

In un'ottica previsionale si deve ritenere che, complessivamente, il sistema di captazione e adduzione idropotabile, con un'azione di recupero delle perdite ed il reperimento di nuove risorse da riservare però per gli usi strategici e/o di soccorso negli anni siccitosi, debba poter disporre entro i prossimi 15/20 anni di un incremento di circa il 50% delle risorse, pari a circa 2,3 m³/s.

Considerando l'obiettivo proposto da Acqualatina (Acqualatina, 2017) di una riduzione delle perdite di sistema intorno al 35% entro il 2032, con un recupero di circa 1,06 m³/s, risulta necessario tutelare, riservare e rendere fruibili all'occorrenza, ulteriori 1,3 m³/s di risorse, utilizzabili nelle annate critiche.

3.2.3 Industriale

Il fabbisogno idrico stimato per gli usi del settore industriale e del terziario per il comprensorio provinciale si attesta intorno ai 4,3 m³/s (Tab.3.11), comprendendo anche gli ambiti strategici posti al di fuori delle aree di diretto interesse per la Provincia di Latina (Fosso Grande, Unità dei Colli Albani Nord, Ardea). Se si escludono tali ambiti, interessati dalla presenza di notevoli concentrazioni industriali, il fabbisogno complessivo si attesta intorno ai 2,05 m³/s.

ACQUIFERO	FABBISOGNO INDUSTRIALE (l/s)
Ausoni-Aurunci	62.8
Circeo	1.5
Colli Albani	3110.2
Costieri nord	370.2
Lepini	54.7
Monte Maio	7.1
Piana di Fondi	29.7
Piana di Gaeta	46.7
Pianura Pontina cost.	256.9
Pianura Pontina ped.	386.8
Valle Amaseno	6.1
TOTALE	4332.8

Tab.3.11 – Fabbisogno idrico per le attività industriali e del terziario stimato per le diverse idrostrutture.

ACQUIFERO	Ambito strat. Bilancio	FABBISOGNO INDUSTRILE (l/s)
Ausoni-Aurunci	Gruppo Le Caldare - Liri	1
Ausoni-Aurunci	Gruppo Vetere	7
Ausoni-Aurunci	Mazzoccolo-mare	6
Ausoni-Aurunci	Sorg. Spigno	1
Ausoni-Aurunci	Sorgenti F. Amaseno	5
Ausoni-Aurunci	Sorgenti Fondi	4
Ausoni-Aurunci	Sorgenti Pedicata	5
Ausoni-Aurunci	Sorgenti Terracina	2
Ausoni-Aurunci	Sperlonga	32
Circeo	Monte Circeo	1
Colli Albani	Cisterna	158
Colli Albani	Unità dei Colli Albani Nord	1996
Costieri nord	Anzio-Torre Astura	318
Costieri nord	Ardea	52
Lepini	Cavata-Cavatella	7
Lepini	Gricilli	9
Lepini	Ninfa	11
Lepini	Sardellane	28
Monte Maio	Sorg. S. Giorgio - Liri	4
Monte Maio	Suio	3
Piana di Fondi	Piana di Fondi	30
Piana di Gaeta	Piana di Gaeta	47
Pianura Pontina cost.	Latina-Fogliano	217
Pianura Pontina cost.	Sabaudia	40
Pianura Pontina ped.	Area ind Mazzocchio	45
Pianura Pontina ped.	Doganella	200
Colli Albani.	F. Astura	312
Colli Albani.	Fosso Grande	644
Pianura Pontina ped.	Mazzocchio	142
Valle Amaseno	Valle Amaseno	6
TOTALE		4333

Tab.3.12 – Fabbisogno idrico per le attività industriali e del terziario stimato per le diverse idrostrutture e ambiti strategici di bilancio

Si può ritenere che la domanda idrica industriale sia quasi integralmente soddisfatta da pozzi di proprietà delle aziende stesse e che allo stato attuale presenti ricadute minime sul sistema di adduzione e distribuzione idropotabile.

Durante il periodo di crisi idrica del 2017 il sistema industriale, pur riscontrando sensibili abbassamenti nei livelli di falda, non ha evidenziato particolari situazioni di carenza idrica. Tuttavia la crisi dei sistemi di approvvigionamento idropotabile e irriguo può determinare disservizi per gli addetti e interruzione della filiera agroalimentare, strategica per il settore industriale pontino.

In quest'ottica, una politica tesa al risparmio idrico con l'ottimizzazione dei processi, assume importanza rilevante anche nel settore industriale.

Nel quadro previsionale, ipotizzando nei prossimi decenni un trend di sviluppo industriale positivo, l'obiettivo ragionevole deve essere quello di mantenere gli attuali livelli complessivi di prelievo operando su politiche e tecniche di risparmio idrico.

In considerazione della forte interazione esistente tra le acque di scarico (civili ed industriali) e i prelievi effettuati nei corpi idrici superficiali dal comparto agricolo per l'irrigazione, assume invece un alto valore strategico il trattamento spinto delle acque di scarico, al fine di un miglioramento dello stato qualitativo delle acque immesse nei fiumi e nei canali.

4 Bilancio idrico

Questo paragrafo è dedicato ad una sintesi analitica del bilancio idrico delle diverse idrostrutture e degli ambiti strategici di bilancio, basata sul modello concettuale di circolazione idrica ricostruito, sui valori stimati delle variabili idrologiche, su considerazioni generali legate ai dati disponibili per quanto alla variabilità dei flussi sorgivi, tenendo conto delle considerazioni sopra esposte sugli attuali regimi nella domanda e nei prelievi idrici e sui possibili scenari attesi.

Con riferimento allo schema idrogeologico provinciale descritto in precedenza e riassunto nella tavola allegata, di ogni ambito strategico di bilancio si analizzano i valori caratteristici, sintetizzati nella tabella 4.1, valutando gli scambi e i vincoli imposti dagli usi delle risorse idriche negli ambiti circostanti.

ACQUIFERO	AMBITO STRAT. BILANCIO	valori di riferimento 1991-2000						2041-2050 ICHEC	
		IE	Sorgenti	Idropotabile	Industr e terz.	Irriguo med anno	Irriguo punta	Irriguo punta	
		mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	
Ausoni-Aurunci	Gruppo Le Caldare - Liri	2.00	0.67		0.001	0.06	0.31	0.34	
	Gruppo Vetere	1.06	1	0.39	0.007	0.02	0.09	0.10	
	Mazzoccolo-mare	3.10	0.6	0.46	0.006	0.01	0.04	0.05	
	Sorg. Spigno	1.94	1.15	0.56	0.001	0.02	0.10	0.12	
	Sorgenti F. Amaseno	3.07	3.5	0.23	0.005	0.08	0.42	0.49	
	Sorgenti Fondi	2.30	2	0.088	0.004	0.10	0.51	0.57	
	Sorgenti Pedicata	4.40	3.5	0.37	0.005	0.12	0.60	0.68	
	Sorgenti Terracina	0.27	0.1		0.002	0.00	0.00	0.00	
	Sperlonga	1.17	0.75		0.032	0.03	0.14	0.16	
	TOTALE AMBITI	19.33	13.27	2.10	0.06	0.44	2.22	2.50	
Circeo	Monte Circeo	0.10		0.008	0.001	0.001	0.01	0.01	
Colli Albani*	Cisterna	3.45	0.2	0.046	0.158	0.32	1.92	2.22	
	F. Astura	2.47	0.7	0.92	0.312	0.39	2.34	2.62	
		TOTALE AMBITI	5.92	0.90	0.97	0.47	0.71	4.25	4.84
Costieri nord	Anzio-Torre Astura	2.32	1	0.1	0.318	0.70	3.27	3.87	
Lepini	Cavata-Cavatella	5.11	4.9	0.018	0.007	0.05	0.27	0.31	
	Gricilli	1.04	0.9		0.011	0.03	0.15	0.18	
	Ninfa	3.22	1.7	0.17	0.009	0.03	0.19	0.22	
	Sardellane	2.83	2.9	1.15	0.028	0.05	0.25	0.29	
		TOTALE AMBITI	12.21	10.40	1.34	0.06	0.16	0.86	1.00
M. Maio	Sorg. S. Giorgio - Liri	0.98	0.67		0.004	0.04	0.18	0.19	
	Suio	1.50	0.9		0.003	0.07	0.28	0.31	
		TOTALE AMBITI	2.48	1.57	0.00	0.01	0.11	0.45	0.50
Piana di Fondi	Piana di Fondi	0.72			0.03	0.48	2.11	2.36	
Piana di Gaeta	Piana di Gaeta	0.87			0.047	0.20	0.77	0.88	
Piana Pontina Costiera	Latina-Fogliano	1.39			0.217	0.46	1.65	1.95	
	Sabaudia	1.58		0.02	0.04	0.53	2.44	2.79	
		TOTALE AMBITI	2.97	0.00	0.02	0.26	0.99	4.10	4.74
Piana Pontina ped.	Area ind Mazzocchio	0.54			0.045	0.11	0.55	0.65	
	Doganella	0.98		0.15	0.2	0.17	0.99	1.40	
	Mazzocchio	0.72			0.142	0.63	2.22	2.85	
		TOTALE AMBITI	2.25	0.00	0.15	0.39	0.91	3.75	4.90
Valle Amaseno	Valle Amaseno	1.03			0.006	0.06	0.34	0.39	
TOTALE AREA		50.18	27.14	4.68	2.05	4.77	22.13	25.99	

Tab.4.1 – Sintesi delle variabili idrologiche caratteristiche stimate per i diversi ambiti strategici di bilancio.

L'analisi è finalizzata ad ottenere:

- il quadro complessivo delle risorse disponibili suddivise per ambiti;
- l'individuazione degli ambiti in cui il regime attuale dei prelievi determina condizioni di criticità;
- gli areali sensibili ad incrementi dei prelievi;
- gli ambiti in cui sono disponibili nuove risorse da sfruttare per il superamento delle criticità attuali, ma soprattutto come futura riserva strategica.

4.1.1 Colli Albani

F. Astura (IE infiltrazione efficace 2,47 m³/s)

Comprende i versanti meridionali del distretto vulcanico dei Colli Albani le cui acque sotterranee fluiscono prevalentemente verso la Valle dell'Astura.

La somma delle portate emergenti (sorgenti e sorgenti lineari) verso il Canale Allaciant Astura e dei prelievi per i diversi usi, considerando che in questo settore il fabbisogno irriguo è soddisfatto prevalentemente da pozzi, presenta un valore medio molto elevato (oltre 2,32 m³/s) rispetto alle risorse rinnovabili.

Nei mesi estivi, se si considerano i valori di punta del fabbisogno irriguo (oltre 2,3 m³/s), l'acquifero viene sovrasfruttato con grave rischio per gli importanti approvvigionamenti idropotabili presenti (Campi pozzi Carano ecc.) ed i volumi derivati, ad opera del Consorzio di Bonifica, dal Canale Allacciant Astura, per l'irrigazione dei settori costieri della Pianura Pontina (Ambito strategico Latina-Fogliano). Si sottolinea che il deflusso superficiale mantiene comunque portate significative, ancorché di scarsissima qualità, sostenute dalla reimmissione di una cospicua frazione dei circa 1,2 m³/s di acque prelevate per usi Civili ed Industriali.

Si aggiungono alle valutazioni riportate diffuse problematiche dovute alla qualità delle acque sotterranee (presenza di Arsenico ed altri elementi in traccia) e superficiali.

Valutazione: Area sensibile, con potenziali problemi di sovrasfruttamento.

Cisterna (IE 3,45 m³/s)

Comprende i versanti sud-orientali dei Colli Albani, con drenaggio superficiale e sotterraneo verso il Canale delle Acque Alte.

Anche in questo caso i diversi usi sono soddisfatti da prelievi di acque sotterranee. I valori del prelievo idropotabile riportati in tabella 4.1 non comprendono le captazioni a monte del comune di Cisterna di Latina (Zone di Velletri, Ardena ecc.) che possono essere valutate nell'ordine dei 0,3 m³/s (Capelli et al, 2005). Complessivamente i prelievi idrici medi annui sono nell'ordine di 1 m³/s, con valori di punta nei mesi estivi nell'ordine dei 2,3 m³/s.

Il bilancio idrico tra IE e prelievi complessivi mantiene comunque valori positivi che, al netto delle portate emergenti, indicano l'esistenza di un travaso sotterraneo significativo verso gli acquiferi della Pianura Pontina (Ambito di Doganella) variabile tra circa 1 e 2 m³/s.

Anche in questo Ambito le acque sotterranee sono caratterizzate da problemi qualitativi diffusi per la presenza di Arsenico ed altri elementi in traccia.

Valutazione: Area in cui è possibile reperire nuove risorse idriche ma con problemi inerenti: la valutazione delle interferenze con i prelievi in atto; le caratteristiche qualitative della risorsa idrica.

4.1.2 Costieri Nord

Anzio-Torre Astura (IE 2,32 m³/s)

Presenta un assetto idrogeologico eterogeneo caratterizzato da acquiferi sabbioso/piroclastici di limitato spessore e alimentati esclusivamente dalle precipitazioni locali e settori (Valle del Fiume Asura) in continuità con l'acquifero dei Colli Albani.

L'incremento di portata del fiume Astura appare connesso sia con l'emergenza del travaso sotterraneo dai Colli Albani (Ambito Astura) sia con il drenaggio delle falde locali. Nei mesi estivi, le acque del fiume Astura sono in gran parte derivate per l'irrigazione della Pianura Pontina costiera (Ambito Latina-Fogliano).

I prelievi idrici per usi industriali e irrigui di punta raggiungono valori nell'ordine dei 3,5 m³/s.

Valutazione: Area sensibile, con potenziali problemi di sovrasfruttamento.

4.1.3 Monti Lepini

Ninfa (IE 3,22 m³/s)

Questo ambito comprende la porzione della dorsale carbonatica lepina le cui acque sotterranee alimentano le sorgenti di Ninfa e il travaso sotterraneo verso gli acquiferi della Pianura Pontina pedemontana (Ambito di Doganella).

La somma dei prelievi e delle portate sorgive medie raggiunge circa 2 m³/s indicando, in questo settore, la presenza di una portata significativa di travaso sotterraneo verso gli acquiferi della Pianura Pontina.

In questo caso la valutazione del livello di sensibilità dell'Ambito di bilancio deve tenere conto del valore strategico del mantenimento delle portate sorgive. L'area delle sorgenti di Ninfa riveste, infatti, un ruolo centrale per i seguenti aspetti:

- equilibrio ambientale per la sussistenza dei Giardini di Ninfa, dato il loro altissimo valore storico-paesaggistico, per i quali è fondamentale il mantenimento di un adeguato deflusso sorgivo anche nelle situazioni di criticità;
- mantenimento dell'importante captazione idropotabile posta a monte della sorgente;
- mantenimento delle portate delle derivazioni irrigue del Consorzio di Bonifica (Piegale, Casale delle Palme) lungo il corso d'acqua a valle;
- alimentazione del primo tratto del Fiume Ninfa-Sisto e del Canale delle Acque Medie.

Tale equilibrio presenta elementi di criticità e di vulnerabilità negli anni siccitosi (vedi 2017) che richiedono appropriate azioni di alleggerimento delle interferenze tra i diversi usi.

Valutazione: Area con elementi di criticità che rendono problematico lo sfruttamento di ulteriori risorse idriche.

Cavata Cavatella (IE 5,11 m³/s)

I prelievi sono trascurabili rispetto ai volumi emergenti (circa 4,9 m³/s) che tramite i fiumi Cavata e Cavatella si riversano nel Canale Linea Pio. Il travaso sotterraneo verso la Pianura Pontina è valutabile nell'ordine dei 0,2 m³/s.

Anche per questo Ambito il mantenimento delle portate sorgive presenta un valore altamente strategico in quanto il sistema dei fiumi Cavata-Cavatella-Linea Pio rappresenta il cardine del sistema di approvvigionamento della rete irrigua della Piana Pontina.

A tal proposito si deve considerare che nei periodi estivi la portata del Canale Linea Pio, a monte della confluenza nel Canale Portatore, è praticamente nulla per effetto delle numerose derivazioni ad uso irriguo.

Valutazione: Area con elementi di criticità che rendono problematico lo sfruttamento di ulteriori risorse idriche.

Sardellane (IE 2,83 m³/s)

Le portate emergenti stimate (circa 2,9 m³/s) e i prelievi a scopo idropotabile (circa 1,15 m³/s) dell'omonimo importante campo pozzi e di altre captazioni minori superano, in maniera significativa, il volume dell'IE. Anche tenendo conto di possibili approssimazioni nella valutazione delle portate sorgive e dell'IE, la differenza lascia ipotizzare la possibilità di un significativo richiamo di acque profonde dai settori della Pianura Pontina indotto dal pompaggio del campo pozzi posto al margine tra le due idrostrutture.

Questo ambito, strategico per l'attuale assetto della rete acquedottistica, presenta problemi di qualità delle acque nei settori prossimi al margine della Pianura Pontina, caratterizzati da importanti risalite di fluidi mineralizzati che si miscelano con le acque di falda. La qualità delle acque può pertanto risultare fortemente condizionata dalla variazione degli equilibri idrodinamici.

Valutazione: Area con elementi di criticità che rendono problematico lo sfruttamento di ulteriori risorse idriche.

Gricilli (IE 1,04 m³/s)

I prelievi idrici sono trascurabili, anche perché le acque emergenti, circa 0,9 m³/s, risultano fortemente mineralizzate e solfuree. Le sorgenti contribuiscono all'alimentazione del deflusso di base del Fiume Ufente, le cui acque sono in parte utilizzate a scopo irriguo per i settori meridionali della Pianura Pontina.

E' possibile il reperimento di risorse idriche nei settori interni dell'Ambito, con problematiche associate alla complessità dell'assetto idrostrutturale.

Valutazione: Area con potenziali ulteriori risorse idriche sfruttabili ma con importanti elementi sensibili da approfondire.

4.1.4 Monti Ausoni

Sorgenti F. Amaseno (IE 3,07 m³/s)

Non si tratta di un vero e proprio Ambito di bilancio, in quanto le sorgenti non costituiscono l'emergenza dell'acquifero di base, ma sono alimentate dallo sfioro del tetto dell'acquifero e da circolazioni idriche parzialmente sospese a forte controllo carsico.

Queste caratteristiche conferiscono alle acque sorgive valori di bassa salinità, ma portate fortemente influenzate dal regime delle precipitazioni che possono rapidamente passare (alcuni mesi) da valori molto elevati (maggiori di 4 m³/s a portate quasi nulle).

Il bilancio idrico di quest'area deve essere valutato in associazione con quello dell'Ambito "Sorgenti Pedicata" per quanto riguarda l'emergenza del deflusso di base.

Al di fuori del regime variabile delle sorgenti, si ritiene che in questo settore sia comunque possibile reperire risorse idriche strategiche in profondità.

Valutazione: Area ove è possibile lo sfruttamento di nuove risorse idriche strategiche

Sorgenti Pedicata (IE 4,4 m³/s)

Le acque di questo Ambito, geologicamente molto complesso, alimentano con una portata media di circa 3,5 m³/s il Fiume Pedicata e il Canale di Naigazione. Si tratta di corsi d'acqua poco sfruttati per l'irrigazione, le cui acque defluiscono rapidamente a mare.

Si aggiunga che all'emergenza, per motivi di natura geologica, la maggior parte delle acque ha valori di salinità molto elevati con conducibilità elettrica specifica superiore a 3000 μS/cm.

In questo settore è quindi possibile reperire nuove risorse idriche strategiche per l'irrigazione, prelevandole dai corsi d'acqua e importanti risorse idropotabili se prelevate nei settori pedemontani tra le località Frasso e Sonnino Scalo.

Valutazione: Area ove è possibile lo sfruttamento di nuove risorse idriche strategiche

Valle Amaseno (IE 1,03 m³/s)

Per chiarezza di esposizione questo Ambito viene riportato impropriamente tra quelli dei Monti Ausoni, le cui risorse sono strettamente connesse.

La valle dell'Amaseno è costituita da acquiferi terrigeni eterogenei sovrastanti alle unità carbonatico-carsiche dei monti Ausoni e Lepini. Le falde degli acquiferi terrigeni possono fornire risorse utilizzabili localmente.

Valutazione: Risorse idriche di interesse locale

Sorgenti Fondi (IE 2,3 m³/s)

Questo ambito è caratterizzato dalla presenza di sorgenti carsiche con portata fortemente variabile e sorgenti con portate più stabili. I volumi emergenti, pari a circa 2 m³/s, contribuiscono in maniera determinate all'alimentazione del sistema irriguo della Piana di Fondi che presenta fabbisogni di punta superiori ai 2,5 m³/s (considerando anche le parti ricomprese nell'ambito considerato).

Gli usi idropotabili sono nell'ordine dei 0,88 m³/s, mentre gli altri usi risultano sostanzialmente trascurabili.

Quanto sinteticamente esposto fa ritenere difficile il reperimento di ulteriori importanti risorse idriche in questo settore.

Valutazione: Area con elementi di criticità che rendono problematico lo sfruttamento di ulteriori risorse idriche.

4.1.5 Monte Grande

Gruppo Vetere (IE 1.06 m³/s)

I volumi delle portate sorgive desumibili dalla documentazione bibliografica (circa 1 m³/s) sommate alle portate da campi pozzi posti a monte delle sorgenti principali (circa 0.39 m³/s) superano il valore dell'IE. Si tratta probabilmente di uno squilibrio legato ad approssimazioni nelle stime delle portate emergenti (sono disponibili poche misure) probabilmente minori e dell'IE. Tuttavia i valori forniscono una significativa indicazione sull'entità minima dei travasi sotterranei in questo settore.

Tenendo conto della necessità di mantenere adeguati equilibri idrodinamici per la captazione e adeguate risorse per il mantenimento dei fabbisogni ambientali, si ritiene che non vi sia margine in questo settore per ulteriori importanti emungimenti.

Valutazione: Area con elementi di criticità che rendono problematico lo sfruttamento di ulteriori risorse idriche.

Sperlonga (IE 1.17 m³/s)

I prelievi idrici in questo Ambito risultano sostanzialmente trascurabili. La falda acquifera defluisce in parte verso importanti sorgenti costiere (circa 0.75 m³/s), con acque generalmente salmastre, e in parte direttamente in mare.

In questo Ambito è pertanto possibile ed auspicabile la ricerca di nuove risorse idriche strategiche nei settori più interni, nelle vallate a monte di Sperlonga o di Gaeta o nella Valle del Rio di Itri.

Valutazione: Area ove è possibile lo sfruttamento di nuove risorse idriche strategiche

4.1.6 Monti Aurunci

Mazzoccolo-mare (IE 3.1 m³/s)

L'ambito è caratterizzato da un importante carsismo superficiale e sotterraneo con valori di infiltrazione efficace, quindi, molto elevati e portate sorgive (sorgenti Mazzoccolo) a marcata variabilità stagionale (236-1200 m³/s – Cassa per il Mezzogiorno, 1970).

Al netto delle portate emergenti e di quelle emunte per uso idropotabile (0,46 m³/s), il deflusso del travaso sotterraneo verso le sorgenti costiere e sottomarine risulta molto elevato, probabilmente superiore a 1,5 m³/s.

Come per l'Ambito di Sperlonga è pertanto ipotizzabile ed auspicabile la ricerca di nuove risorse idriche strategiche nei settori più interni come ad esempio la valle del Rio di Itri.

Valutazione: Area ove è possibile lo sfruttamento di nuove risorse idriche strategiche.

Sorgenti Spigno (IE 1.94 m³/s)

L'areale è anch'esso caratterizzato da un marcato carsismo superficiale e sotterraneo con portate sorgive molto variabili (tra 536 e oltre 2000 m³/s) che alimentano il flusso di base del Rio Santa Croce, con importanti funzioni ambientali ed ecologiche. E' pertanto necessario mantenere un adeguato rilascio delle portate sorgive.

La media delle portate sorgive e delle portate derivate (circa 1,7 m³/s), confrontata con quella della IE indica che il travaso sotterraneo è molto contenuto, nell'ordine dei 0,25 m³/s.

Le condizioni evidenziate indicano che in questo ambito non vi sia margine per ulteriori importanti emungimenti.

Valutazione: Area con elementi di criticità che rendono problematico lo sfruttamento di ulteriori risorse idriche.

4.1.7 Monte Maio

Suio (IE 1.50 m³/s)

Le acque emergenti in questo settore (circa 0.9 m³/s), prossimo all'area vulcanica di Roccamonfina, presentano un notevole innalzamento termico con fenomeni di miscelazione con fluidi profondi mineralizzati che danno luogo ad acque solfuree calde utilizzate per scopi idrotermali.

Il bilancio idrico evidenzia la presenza di travasi sotterranei significativi verso le alluvioni del Fiume Liri-Garigliano.

Valutazione: Area ove è possibile lo sfruttamento di nuove risorse idriche strategiche per acque minerali e scopi idrotermali.

4.1.8 Piana di Gaeta (IE 0,87 m³/s)

L'area è caratterizzata, nel settore settentrionale, dalla presenza di formazioni argillose prive di risorse idriche di qualche interesse.

Nella fascia costiera sono presenti formazioni sedimentarie eterogenee sia per genesi che per caratteristiche idrogeologiche ospitanti acquiferi compartimentati le cui risorse sono sfruttate da pozzi per usi domestici ed irrigui.

Valutazione: Risorse idriche di interesse locale.

4.1.9 Piana di Fondi (IE 0,72 m³/s)

L'infiltrazione efficace in questo ambito determina essenzialmente la saturazione delle coltri superficiali (sedimenti eluvio-colluviali, sabbie costiere, conoidi alluvionali) dando luogo a una circolazione idrica freatica, drenata per lo più dalla fitta rete di fossi e canali e quindi di scarso interesse produttivo.

Le captazioni da pozzi profondi, talvolta con caratteristiche di artesianesimo, intercettano le acque degli acquiferi carbonatici circostanti che convergono nella piana per fenomeni di drenanza laterale e/o profonda.

Eventuali opere di captazione in questo settore possono essere realizzate per utilizzi agricoli e produttivi, tuttavia è importante valutarne gli effetti sugli equilibri idrodinamici locali e degli acquiferi circostanti.

Valutazione: Area con potenziali ulteriori risorse idriche sfruttabili ma con importanti elementi sensibili da valutare.

4.1.10 Pianura Pontina pedemontana

Il settore interno della Pianura Pontina, compreso tra il Canale delle Acque Alte a Nord, le dorsali dei Monti Lepini e Ausoni a NE ed E, il limite di affioramento dei depositi costieri di Duna antica, indicativamente marcato dal Fiume Sisto, può essere suddiviso in tre distinti Ambiti strategici di bilancio.

Doganella (IE 0.98 m³/s)

Il settore settentrionale della Pianura Pontina, compreso tra i Colli Albani a NW (Ambito di Cisterna) e i monti Lepini a NE (Ambiti di Ninfa e Cavata-Cavatella), riceve, da queste strutture, apporti di acque sotterranee molto elevati, nell'ordine dei 2,5 m³/s.

A queste risorse si aggiungono l'IE e una notevole disponibilità di acque superficiali (Canale Acque Medie, Fiume Ninfa-Sisto, Fiume Cavata) che attualmente soddisfano la domanda irrigua, anche se non mancano pozzi per uso irriguo, idropotabile e industriale per oltre 0.35 m³/s.

Anche tenendo conto dei prelievi, il travaso sotterraneo da questo settore verso gli Ambiti adiacenti (Latina-Fogliano, a SW e Mazzocchio, a SE) risulta molto elevato, nell'ordine dei 3 m³/s. Queste portate contribuiscono, in maniera determinante, al mantenimento degli equilibri idrodinamici del sistema pontino.

Lo sfruttamento delle notevoli risorse idriche sotterranee di questo settore deve però tenere conto di alcune importanti limitazioni:

- il progressivo peggioramento qualitativo delle acque, per effetto di fenomeni di risalita di fluidi profondi, dai settori settentrionali verso quelli meridionali;
- l'interferenza con le portate delle sorgenti di Ninfa di ulteriori nuove captazioni nell'area settentrionale;
- la necessità di mantenere adeguati livelli di travaso sotterraneo verso gli Ambiti adiacenti.

Valutazione: Area con potenziali ulteriori risorse idriche sfruttabili ma con importanti elementi sensibili da valutare.

Mazzocchio (IE 0.72 m³/s)

Vengono raggruppati in questo ambito i settori topograficamente meno elevati della Piana Pontina. In questi territori l'infiltrazione efficace determina, essenzialmente, la saturazione dei terreni superficiali dando luogo a una circolazione idrica freatica che confluisce per lo più negli alvei della fitta rete di fossi e canali del sistema di drenaggio della bonifica e che deve garantire un adeguato franco di coltivazione.

Gli acquiferi profondi sono alimentati dal travaso sotterraneo proveniente in prevalenza dall'Ambito di Doganella e da quelli dei Monti Lepini per fenomeni di drenanza laterale e/o profonda con potenzialità di risorse rinnovabili complessive nell'ordine di 1,5 o 2 m³/s.

I numerosissimi pozzi presenti sia per usi produttivi e domestici che irrigui, insistono sugli acquiferi profondi, con prelievi medi annui nell'ordine dei 0,5 m³/s (la quota maggiore del fabbisogno irriguo è soddisfatta dalle acque superficiali) e probabili picchi di oltre 1 m³/s, causa di vistosi abbassamenti nei livelli piezometrici in tutta l'area.

In questo settore, l'eventuale ricerca di nuove risorse idriche presenta importanti limitazioni quali:

- la necessità di mantenere gli equilibri nelle aree costiere;
- l'interferenza con le portate sorgive dei Monti Lepini, già impegnate per il fabbisogno idrico dell'area;
- la qualità scadente delle acque reperibili nella Piana per effetto dei fenomeni di miscelazione di fluidi di origine idrotermale.

Valutazione: Area con potenziali ulteriori risorse idriche sfruttabili ma con importanti elementi sensibili.

Area industriale Mazzocchio (IE 0.54 m³/s)

Siamo nell'areale della Pianura Pontina prossimo ai versanti dei Monti Ausoni.

Le potenzialità idriche date dalla somma dell'IE e dei travasi sotterranei dai Monti Ausoni, sono di circa 1,5 m³/s con prelievi industriali non elevati (circa 0,045 l/s) cui si sommano i prelievi da pozzo per usi irrigui per il soddisfacimento di una frazione non nota del fabbisogno pari a circa 0,11 m³/s, con punte di oltre 0,55 m³/s. Rimane pertanto un significativo surplus di bilancio.

Considerando che il deflusso di base del Fiume Pedicata e del Canale di Navigazione (circa 3,5 m³/s) è nella gran parte inutilizzato, risulta possibile, in questo Ambito, ricercare nuove risorse idriche strategiche superficiali e sotterranee.

Valutazione: Area ove è possibile lo sfruttamento di nuove risorse idriche strategiche

4.1.11 Pianura Pontina costiera

Latina-Fogliano (IE 1,39 m³/s)

Siamo nel settore costiero compreso tra il Canale delle Acque Alte e l'ultimo tratto del Canale delle Acque Medie (Rio Martino), caratterizzato da un acquifero superficiale presente nelle sabbie della Duna Antica, alimentato dall'IE locale, e da falde acquifere profonde che ricevono gli apporti del travaso sotterraneo dall'Ambito di Doganella e scambi localizzati con la falda superficiale. Le potenzialità idriche complessive sono nell'ordine dei 2,5 m³/s.

Il prelievo di acque sotterranee stimato, nei periodi estivi di punta, supera 1,2 m³/s, considerando la somma della domanda industriale (0.22 m³/s) e il 60% della domanda irrigua di picco (circa 1 m³/s).

Le risorse necessarie per la salvaguardia dei livelli piezometrici di equilibrio idrodinamico e il mantenimento di una importante interfaccia con le acque marine non sono sufficientemente note.

Valutazione: Area sensibile, con potenziali problemi di sovrasfruttamento.

Sabaudia (IE 1,58 m³/s)

Valgono le considerazioni riportate per l'Ambito di Latina-Fogliano.

Le risorse idriche rinnovabili, date dalla IE e dai potenziali scambi con gli acquiferi della Pianura Pontina pedemontana sono nell'ordine di grandezza di non più di 2 m³/s, a fronte di prelievi di punta da pozzi (considerando anche in questo caso il solo 60% della domanda irrigua di punta) nell'ordine di 1,5 m³/s, in crescita.

Anche in questo caso, si deve rilevare che le risorse necessarie per la salvaguardia di adeguati livelli piezometrici per l'equilibrio idrodinamico e il mantenimento di un'adeguata interfaccia con le acque marine non sono sufficientemente note.

Gli stretti margini tra prelievi e risorse disponibili e il basso livello di conoscenza delle dinamiche che regolano gli equilibri dell'interfaccia tra acque dolci e acque marine nel settore costiero, fanno ritenere che questo Ambito possa già ora trovarsi o essere prossimo a condizioni di criticità.

Valutazione: Area sensibile, con potenziali problemi di sovrasfruttamento.



Fig.4.1. – Rappresentazione delle valutazioni di sintesi desumibili dal bilancio idrico

5 Elementi di criticità

Sulla base dei dati, delle valutazioni e delle considerazioni esposte, si riporta ora una sintesi degli elementi di criticità riscontrati e attesi, nel rapporto tra risorse idriche disponibili, domanda idrica e sistemi di approvvigionamento.

5.1.1 Stato attuale

I principali elementi di criticità riguardano:

- l'instabilità delle fonti di captazione del sistema acquedottistico del Sud Pontino e dell'area della Valle dell'Amaseno dove negli anni siccitosi il calo delle risorse idriche ha determinato la riduzione delle risorse captabili tra il 30% e il 50%;
- la difficoltà di reperire risorse idriche di qualità per l'approvvigionamento idropotabile nell'area compresa tra Cisterna, Aprilia, Anzio e Nettuno, anche in considerazione di un prevedibile aumento della domanda, connesso sia con l'incremento della popolazione residente e fluttuante che l'aumento delle utenze servite;
- la qualità delle acque captate nell'area di Sardellane (principale fonte di approvvigionamento del territorio pontino) dove i valori di Arsenico risultano elevati e potenzialmente incrementati da ulteriori captazioni che possono richiamare acque profonde e dai settori marginali della pianura Pontina;
- le interferenze tra le captazioni a scopo acquedottistico ed irriguo e il regime delle portate necessarie per il mantenimento dei Giardini di Ninfa;
- il soddisfacimento dei fabbisogni irrigui di punta nella Pianura Pontina (oltre 7,8 m³/s), nella Piana di Fondi (oltre 2,1 m³/s) e negli acquiferi costieri nord (oltre 3,2 m³/s) già ora al limite in condizioni climatiche medie e non più sostenibili in anni a basse piovosità, a meno della messa in esercizio di pozzi (già ora numerosissimi) i cui effetti sull'equilibrio idrodinamico delle falde non sono attualmente valutati;
- lo stato qualitativo *cattivo o scarso* evidenziato dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Lazio (Fig.5.1) per i principali Fiumi e Canali da cui dipende l'approvvigionamento dei sistemi irrigui della Pianura Pontina;
- il deficit di trattamento delle acque di scarico provenienti dal sistema industriale, dalle reti di scarico civili, dal settore zootecnico e dai numerosi nuclei abitativi e case sparse che, come evidenziato nel punto precedente, compromette e limita le possibilità di utilizzo per la produzione e la salvaguardia dell'ambiente di ingenti volumi idrici;
- la mancanza di una rete di monitoraggio capillare delle risorse idriche (Portate emergenti, deflusso di base, livelli idrici) e dei prelievi (portate concesse) che, come evidenziato dalle approssimazioni contenute nel presente studio, non consente di ottenere valutazioni precise a supporto della pianificazione delle azioni operative;

- la mancanza di un piano complessivo sull'uso della risorsa idrica capace di indirizzare le azioni dei diversi strumenti di pianificazione (Piano di Tutela, Piani urbanistici, Piani di investimenti ecc.) verso obiettivi strategici convergenti.

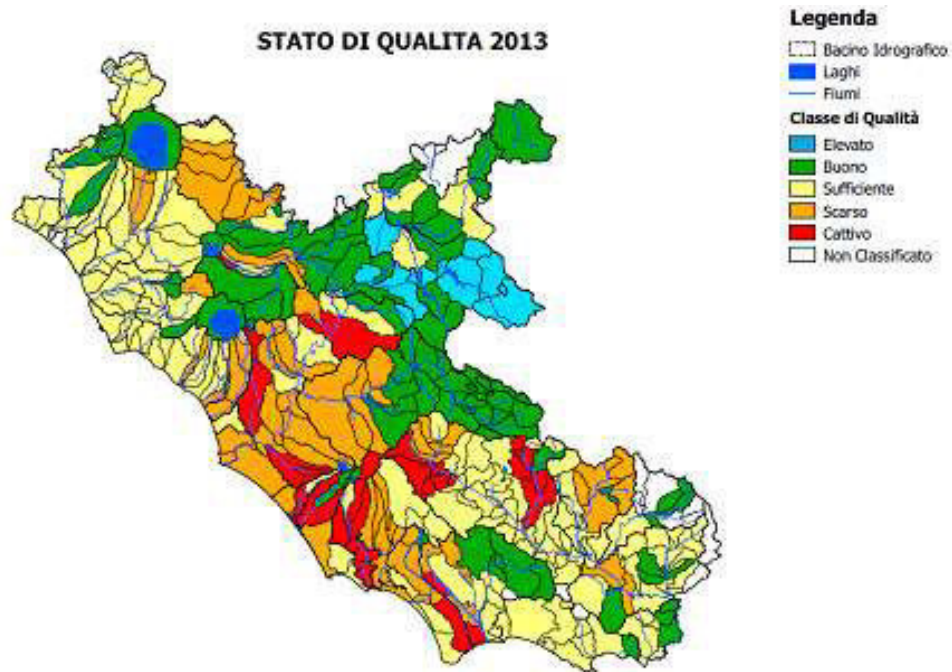


Fig.5.1 – Piano di tutela delle Acque della Regione Lazio. Stato di qualità delle acque superficiali

5.1.2 Quadro previsionale

Sulla base delle criticità individuate, gli elementi del quadro previsionale indicano:

- **Un previsto incremento, nell'ordine del 15%, dei fabbisogni irrigui di punta delle aree più idroesigenti, rispetto a risorse disponibili invariate o in leggera diminuzione;**
- **una prevista accentuazione dei valori estremi nell'alternanza di periodi umidi e periodi aridi che ha caratterizzato gli ultimi 50 anni con accentuazione delle criticità già riscontrate nella crisi idrica del 2017 e la conseguente esigenza di predisporre adeguate risorse idriche strategiche soprattutto per l'approvvigionamento idropotabile.**

6 Indicazioni per la tutela e la gestione delle risorse idriche

Premessa essenziale per una efficace strategia di azione per il superamento delle attuali criticità e per un progressivo adattamento del sistema alle variazioni climatiche attese, è **la formulazione di un piano operativo generale**, di livello regionale e provinciale, **in cui i dati di base e gli obiettivi strategici di medio e lungo periodo siano condivisi da tutti i soggetti interessati.**

Ciò presuppone la condivisione delle informazioni e il completamento di una rete di monitoraggio delle risorse idriche (portate emergenti, deflusso di base, livelli idrici), dei prelievi (portate concesse) e dell'evoluzione della domanda idrica, per ottenere valutazioni precise a supporto della pianificazione delle azioni operative.

Tra le azioni da intraprendere, dallo studio emergono alcune indicazioni:

Settore idropotabile:

- esigenza di completare il quadro delle azioni di medio e lungo periodo pianificate da Acqualatina per la riduzione delle perdite delle reti idriche entro un valore del 35% in un lasso temporale di 15 anni; potenziamento/adequamento delle captazioni di Mazzoccolo, Sardellane, Valle dell'Amaseno; trattamento delle acque caratterizzate da elevati valori di elementi indesiderabili;
- possibilità di ricercare nuove risorse nell'Ambito strategico di bilancio "Pedicata", nel settore di "Colle Francescone", per incrementare di circa 150 l/s i volumi captati da destinare all'approvvigionamento dei comuni di Terracina, San Felice e Sabaudia, liberando in tal modo risorse del campo pozzi di Sardellane, da addurre verso Latina onde eliminare l'apporto dell'area di "Carano" necessaria per le crescenti esigenze dei comuni di Aprilia, Nettuno e Anzio;
- possibilità di ricercare nuove risorse idriche di qualità (circa 300/400 l/s) lungo il versante pontino dei Monti Ausoni, da tutelare come riserva idrica strategica per le esigenze dei periodi di picco;
- ricerca di nuove risorse idriche (almeno 200 l/s) oltre quelle già programmate in loc. "Venticinque Archi" (circa 100 l/s) nella valle del Rio di Itri da mettere in riserva strategica onde sopperire alla variabilità delle portate derivabili dalle captazioni di Mazzoccolo e Capodacqua di Spigno;
- ricerca di nuove risorse idriche di qualità (almeno 200 l/s) nell'area interna dell'Ambito strategico di Sardellane (Settore tra Ceriara, Roccagorga e Maenza) da riservare per il miglioramento qualitativo delle acque di Sardellane e per gli usi strategici negli anni siccitosi;
- ricerca e captazione di risorse idriche strategiche profonde, per gli usi idropotabili, nella valle dell'Amaseno;
- prosecuzione del lavoro di collettamento e depurazione dei nuclei e delle case sparse attualmente non serviti e del miglioramento degli standard qualitativi di trattamento delle acque di scarico sia civili che industriali e zootecniche.

Settore irriguo:

Le criticità riguardano essenzialmente l'approvvigionamento dei periodi di punta dei mesi estivi. Le azioni possibili possono essere:

- la laminazione del fabbisogno idrico di punta attraverso una pianificazione delle rotazioni colturali e l'introduzione di colture precoci;
- la diffusione di sistemi irrigui ad elevata efficienza;
- la possibilità, previo accurato studio di fattibilità, di reimmissione in falda di un'aliquota significativa delle acque raccolte dalle coperture delle serre, al fine di sostenere i livelli idrici e di aumentare il volume delle risorse immagazzinate;
- l'incremento delle pratiche di contenimento del deflusso di base e di innalzamento dei livelli della falda freatica per l'irrigazione radicale, mediante opportuni sbarramenti nei fossi e nei canali nel periodo irriguo, come efficacemente praticato dai Consorzi di Bonifica;
- il reperimento di risorse irrigue di emergenza dai Fiumi Pedicata e Canale di Navigazione, nel rispetto delle tutele ambientali dell'area caratterizzata da valenze naturalistiche di pregio;
- studi di fattibilità per la realizzazione di campi pozzi strategici nella Piana Pontina e nella Piana di Fondi da destinare quali risorse di emergenza per le reti di distribuzione irrigua.

La fattibilità delle azioni connesse con quest'ultimo punto richiede un'attenta analisi dei rapporti idrodinamici tra gli acquiferi profondi della Pianura Pontina e gli acquiferi dei Monti Lepini ed Ausoni e degli equilibri di scambio con la falda profonda dell'acquifero costiero.

Settore industriale e terziario

L'approvvigionamento idrico del settore industriale e terziario non si appoggia su ampie reti di distribuzione, pertanto le azioni possibili riguardano le singole attività produttive. A fronte del quadro delineato è necessario che le aziende prevedano:

- il contenimento entro i valori attuali di prelievo e/o la riduzione dei consumi, attraverso investimenti per l'efficientamento dell'uso delle acque pur all'interno di auspicabili programmi di sviluppo;
- il potenziamento dei sistemi di trattamento delle acque di scarico, al fine di contribuire a migliorare lo stato qualitativo delle acque dei fiumi e dei canali, liberando quindi ingenti quantità di risorse da destinare ai diversi usi.

Gli aspetti qualitativi assumono un valore fortemente strategico, in quanto il cattivo stato qualitativo delle acque superficiali, oltre ai danni ambientali, limita gli usi irrigui favorendo lo sfruttamento di acque profonde prelevate da pozzi, con conseguente ingente perdita di risorse.

7 Conclusioni

Lo studio si è basato su una ricognizione dei diversi modelli idrogeologici del territorio pontino proposti da diversi autori e sull'elaborazione di dati climatici storici e previsionali, pedologici, di uso del suolo e idrologici editi ed inediti.

Per l'elaborazione dei dati è stata applicata una metodologia "*distribuita*" in parte innovativa.

Lo studio suddivide la parte riguardante le informazioni disponibili e le elaborazioni, in cui la valenza dei risultati, in relazione ai dati disponibili ha un valore oggettivo, da una parte finale in cui i dati e le elaborazioni vengono analizzati e valutati anche sulla base di elementi di stima per pervenire ad una classificazione dei corpi idrici e degli elementi critici nel rapporto tra risorse idriche disponibili, domanda idrica e sistemi di approvvigionamento.

Dalle risultanze dello studio emergono una serie di criticità rilevanti nel sistema di approvvigionamento e gestione delle risorse idriche che, oltre a determinare le situazioni di carenza idrica già osservate in occorrenza di annate particolarmente siccitose, evidenziano la necessità di avviare da subito una strategia di azioni condivise per il superamento delle criticità attuali e per l'adattamento alle variazioni climatiche attese.

Lo studio propone una serie di azioni e strategie di intervento che non vogliono e non possono essere esaustive ma che devono essere prese in considerazione nell'ambito di un auspicabile piano operativo generale, a livello regionale e provinciale, in cui i dati di base e gli obiettivi strategici di medio e lungo periodo per l'area vasta siano condivisi da tutti i soggetti interessati.

Bibliografia essenziale

- ALIMONTI C., BONO P., CAPELLI G., FEDERICI E., GAZZETTI C., MAZZA R., TALLINI M., TEOLI P. (2011) – *Schema della circolazione idrica sotterranea della dorsale dei Monti Lepini* – in Progetto Monti Lepini – Studi idrogeologici per la tutela e la gestione della risorsa idrica. Gangemi Editore, Roma.
- ALIMONTI C., BONO P., CAPELLI G., FEDERICI E., GAZZETTI C., MAZZA R., TALLINI M., TEOLI P. (2011) – *Individuazione delle aree di infiltrazione dei gruppi sorgivi* – in Progetto Monti Lepini – Studi idrogeologici per la tutela e la gestione della risorsa idrica. Gangemi Editore, Roma.
- ALIMONTI C., FEDERICI E., GAZZETTI C. (2011) – *Bilancio idrico distribuito e usi antropici della risorsa idrica lepina* – in Progetto Monti Lepini – Studi idrogeologici per la tutela e la gestione della risorsa idrica. Gangemi Editore, Roma.
- ALIMONTI C., PEROTTO C., GAZZETTI C., MARINUCCI E. (2006) – *Captazioni e risorsa idrica nel bacino di Mazzocchio*. Gangemi Editore, Roma, 128 pagine.
- ALIMONTI C., RASPA G., GAZZETTI C., PEROTTO C., SARANDREA P. (2005) – *Valutazione della vulnerabilità degli acquiferi della pianura Pontina mediante tecniche di bilancio distribuito con metodi geostatistici*. Atti del convegno Aquifer Vulnerability and Risk, 2nd International Workshop, Colorno, 21-22-23 Settembre 2005.
- AMMINISTRAZIONE PROVINCIALE DI LATINA - Progetto “Laghi costieri” redatto dall’Università degli Studi “La Sapienza” di Roma a cura del Prof. Paolo Bono (coordinatore generale) e del Prof. Augusto Vigna Taglianti (Responsabile Scientifico) (1985).
- ANTOLINI G, MARLETTO V (2017) - Atlante Climatico dell’Emilia-Romagna 1961-2015. Edizione 2017, Arpae Emilia-Romagna Servizio IdroMeteoClima.
- ARNOLDUS A.H., PEROTTO C., SARANDREA P. (2009) – I suoli della Provincia di Latina – Carta, database e applicazioni). Gangemi Editore, Roma.
- BAY L. & TARTAGLIA G. (1970) – *L’approvvigionamento idrico della Piana Pontina all’inizio degli anni settanta*. Cassa per il Mezzogiorno, Roma.
- BLANC A.C., CONFORTO B., DI RICCO G. & SAPPÀ M. (1961) – *Indagine sulle acque sotterranee dell’Agro Romano e Pontino*. Prima parte: Agro Romano. Cassa per il Mezzogiorno, Roma.
- BONI C. (1968) – *Utilizzazione delle riserve idriche permanenti per regolare il regime delle sorgenti di trabocco*. Geologica Romana, **7**, 405-415, Roma.
- BONI C. (1996) – *2° rapporto sulla consulenza tecnico scientifica relativa all’attività del Comitato di coordinamento dei progetti 29/280, 29/281, 29/282 del sistema idrico pontino*. Amm. Provinciale di Latina, Roma.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1986) – *Schema idrogeologico dell’Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 991-1012.
- BONI C., BONO P. & CAPELLI G. (1988) – Carta dei sistemi idrogeologici del territorio della Regione Lazio, scala 1:200.000. Regione Lazio, Univ. degli Studi “La Sapienza”, Roma.
- BONI C., BONO P., CALDERONI G., LOMBARDI S. & TURI B. (1980) – *Indagine idrogeologica e geochemica sui rapporti tra ciclo carsico e circuito idrotermale nella Pianura Pontina (Lazio meridionale)*. Geol. Appl. e Idrog., **15**, 203-247, Bari.
- BONO P., CARBONI M.G. & ESU D. (1980) – *Analisi petrografica e paleogeologica dei sondaggi Mazzocchio nella Pianura Pontina*. (Relazione inedita, citata in: M. MANFREDINI 1990). Roma.

- BOORMAN BD, SEFTON CEM (1997) - Recognising the uncertainty in the quantification of the effects of climate change on hydrological response. *Climatic Change* 35: 415–434.
- BROCCOLI A, MANABE S (1992) - The effects of Orography on Midlatitude Northern Hemisphere Dry Climates, *Journal of Climate*, Vol. 5 – Nov. 1992.
- BRUNO R. & RASPA G. (1995) - “La Pratica della Geostatistica Lineare - Il Trattamento dei Dati Spaziali”. Ed. Guerini, 1994, 170 pp.
- BUSUIOC, A., D. CHEN AND C. HELLSTRÖM (2001) - Performance of statistical downscaling models in GCM validation and regional climate change estimates: Application for Swedish precipitation, *International Journal of Clim* 21, 557-578.
- CAFFREY P. A. (2014) - Review of Downscaling Methods for Climate Change Projections. Center for International Earth Science Information Network (CIESIN), 2014.
- CAMPONESCHI B, NOLASCO F. (1983) – *Le risorse naturali della Regione Lazio* – vol. 7 “Roma e i Colli Albani” (1982), vol. 8 “Monti Lepini e Piana Pontina” (1983).
- CAMPONESCHI B. & NOLASCO F. (1983) – *Le Risorse naturali della Regione Lazio Monti Lepini e Piana Pontina*. Regione Lazio.
- CAPELLI G, MASTROLILLO L., MAZZA R., PETITTA M., BALDONI T., BANZATO F., CASCONI D., DI SALVO C., LA VIGNA F., TAVIANI S., TEOLI P. (2012) – *Carta Idrogeologica del Territorio della Regione Lazio* , scala 1:100.000 (4 Fogli) – Regione Lazio. S.EL.CA. Firenze.
- CAPELLI G., MAZZA R. & GAZZETTI C. (2005) – “*Strumenti e strategie per la tutela e l’uso compatibile della risorsa idrica nel Lazio*”. Quaderni di tecniche di protezione ambientale. Pitagora Editrice, Bologna, 216 pagine, 48 figure, 4 carte fuori testo. Pubblicazione finanziata dalla Regione Lazio (Autorità dei Bacini Regionali)
- CAPELLI G., SALVATI R., GARELLO M. & COLUMBRI A. (2002) – *Progetto Sinkhole del Lazio*. Regione Lazio & Dip. Di Scienze Geologiche, Univ. degli Studi di Roma TRE, Roma.
- CARLOMAGNO A. & PEROTTO C. (1982)– *Censimento delle sorgenti del territorio della Tredicesima Comunità Montana*. Rapporto Inedito, 1982.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO - *Progetti speciali per gli schemi idrici nel Mezzogiorno – Idrogeologia dell’Italia centro-meridionale*. Quaderni Cassa del Mezzogiorno (1983).
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1978) – *Indagini preliminari conoscitive delle risorse idriche dell’area di intervento del Progetto Speciale n. 29*. Relazione inedita, 1978.
- CATALANO G., GAZZETTI C., PEROTTO C., SARANDREA P. (2011) – *Rete di Monitoraggio* – in *Progetto Monti Lepini – Studi idrogeologici per la tutela e la gestione della risorsa idrica*. Gangemi Editore, Roma.
- CC-WATERS (2010) - *Climate Change and Impacts on Water Supply, Executive Summary WP3 – Climate Change*. EU Programme: South East Europe, Project code: SEE/A/022/2.1/X. Dec 2010 - <http://www.ccwaters.eu> .
- CONFORTO B. (1955) – *Contributo alla conoscenza idrogeologica della fascia costiera laziale*. *Geotecnica*, **6**, 278-295.

- CONFORTO B., DI RICCO G. & SAPPA M. (1962) – *Indagine sulle acque sotterranee dell'Agro Romano e Pontino*. Seconda parte: Agro Pontino. Cassa per il Mezzogiorno, Roma.
- CONSORZIO ACQUE (1992) – *Schemi idrici del Lazio meridionale*. Assessorato Lavori Pubblici e Informatica, Regione Lazio.
- DÉQUÉ, M., ROWELL D.P., LÜTHI D., GIORGI F., CHRISTENSEN J. H., ROCKEL B., JACOB D., KJELLSTRÖM E., DE CASTRO M. AND VAN DEN HURK B. (2007) - An intercomparison of regional climate simulations for Europe: assessing uncertainties in model projections. *Climatic Change* (81): 53-70
- DI FILIPPO M. & TORO B. (1980) – *Analisi gravimetrica delle strutture geologiche del Lazio meridionale*. *Geologica Romana*, **19**, 285-294, Roma.
- FICK S. ; HIJMANS R (2017) - WorldClim 2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology Int. J. Climatol.* (2017) DOI: 10.1002/joc.5086
- FOWLER, BLENKINSOPA AND TEBALDI (2007) - Review Linking climate change modelling to impacts studies: recent advances in downscaling techniques for hydrological modeling. *International Journal of Climatology Int. J. Climatol.* 27: 1547–1578 (2007)
- FUNICELLO R. & PAROTTO M. (1978) – *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeologiche sul margine tirrenico dell'Appennino Centrale*. *Geologica Romana*, **17**, 233-287, Roma.
- GAZZETTI C. (2011) - *Esperienze e approccio metodologico nella pianificazione per la tutela e la gestione degli acquiferi del Lazio* – Consiglio Nazionale dei Geologi – Forum Nazionale sull'acqua – Fino all'ultima goccia. Roma 18-19 ottobre 2011, pubblicato in *Geologia Tecnica & Ambientale*, volume 2/2012.
- GAZZETTI C., A. LOY A., PEROTTO C., ROSSI S., SARANDREA P., VALLE N. (2010) – *Origine dei carichi inquinanti e stato di eutrofizzazione delle acque interne della Provincia di Latina* – A Cura del Settore Ecologia e Ambiente della Provincia di Latina –Progetto Monitoraggio acque superficiali interne e costiere della Provincia di Latina. Gangemi Editore, Roma, 157 pagine
- GAZZETTI C., GOMEZ L., RASPA G., SARANDREA P., VERBENA G. (in stampa) – Stima degli effetti delle variazioni climatiche attese sul bilancio idrico dell'area del distretto vulcanico dei Colli Albani. *Rend. Online Soc. Geol. It.*, 2019
- GAZZETTI C., GOMEZ L.; SARANDREA P. & VERBENA G. (2016) – Calibrazione di modelli di flusso e trasporto delle falde acquifere della città di Latina. *Convegno Idrovulc2013. Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 39 (2016), pp. 97-100, 3 figs., 1 tab.
- GAZZETTI C., LOY A., ROSSI S., SARANDREA P. (2010) – *Atlante delle sorgenti della Provincia di Latina* - A Cura del Settore Ecologia e Ambiente della Provincia di Latina –Progetto Monitoraggio acque superficiali interne e costiere della Provincia di Latina. Gangemi Editore, Roma, 287 pagine
- HARGREAVES G.H. & SAMANI Z.A. (1985) – Reference Crop Evapotranspiration from Temperature. *Appl. Eng. Agric.*, vol. 1, no 2, 96-99.
- HOUZE R (2012) - Orographic Effects on Precipitating Clouds, *Reviews of Geophysics*, 2012
- IPCC (2014) - Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IRSA (1973) – L'impiego dell'acqua nell'industria. Quaderni IRSA.

- KOECK R (2012) - Climate Change and Impacts on Water Supply. CC-WaterS. CC WaterS Project Monography final. April 2012 - <http://www.ccwaters.eu>
- MANFREDINI M. (1967) – *Problemi idrogeologici della piana costiera laziale a sud dei Colli Albani*. L'Industria Mineraria, **6**, 229-237, Roma.
- MANFREDINI M. (1990) – *Idrografia pleistocenica della bassa valle del F. Tevere (Italia centrale)*. Il Quaternario, **3** (1), 39-59, Roma.
- MARINUCCI E., ALIMONTI C. & GAZZETTI C. (2005) – *Perdita idrica indotta dalle captazioni di acque sotterranee: il caso della Pianura Pontina*. Atti Convegno: “Aquifer Vulnerability and Risk, 2nd International Workshop - 4th Congress on the Protection and Management of Groundwater”, Parma, 21-23 Settembre 2005
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, SERVIZIO IDROGRAFICO (1934-1042) - Sorgenti Italiane: *Agro pontino e Bacino di Fondi*; Pubbl. n. 14, vol. III°, 1934; *Campania*; n. 14 vol. VII°, 1942.
- MINISTERO DI AGRICOLTURA, INDUSTRIA E COMMERCIO (1899) – Carta Idrografica d'Italia – Tevere. A cura di Eugenio Perrone. Tip. Nazionale di G. Bertero, 1899, Roma
- MOTAWI A. (1993) – Raccolta e analisi di dati e informazioni inerenti alcune problematiche legate all'agricoltura. SIET, Rapporto inedito.
- MURPHY J (1997) - An Evaluation of Statistical and Dynamical Techniques for Downscaling Local Climate, *Journal of Climate* Vol. 12 – 1997.
- NAPOLI R., PICCINI C., DI BENE C., FARINA R., MARCHETTI A., GAZZETTI C. & SARANDREA P. (2017)- Agricultural activities effects on groundwater contamination in a Nitrate Vulnerable Zone of Latina Province. . *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 42 (2017), pp. 46-49, 3 figs., 1 tab (doi:10.3301/ROL.2017.11).
- RAMIREZ-VILLEGAS J. JARVIS A (2010) - Downscaling Global Circulation Model Outputs: The Delta Method Decision and Policy Analysis Working Paper No. 1. 2010. International Center for Tropical Agriculture, CIAT, Cali, Colombia. CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security, CCAFS School of Earth and Environment, University of Leeds, UK
- RAO C.R. (1971) - Estimation of Variance and Covariance Components – MINQUE Theory. *Journal of Multivariate Analysis* 1, 257-275
- RASPA G., GAZZETTI C., GOMEZ L. & SARANDREA P. (2018) – Mappatura geostatistica automatizzata di parametri meteo-climatici per il bilancio idrico. *Rend. Online Soc. Geol. It.*, Vol. 46 (2018). (<https://doi.org/10.3301/ROL.2018.44>)
- SAPPA G. (2007) – *Carta Idrogeologica del Sistema Acquifero della Pianura Pontina*. S.EL.CA, Firenze.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA – Carta Geologica d'Italia, scala 1:100.000: Foglio 158 (Latina, 1963), a cura di A.G. Segre; Foglio 159 (Frosinone, 1961), a cura di B. Accordi.
- TECNOSTUDI AMBIENTE S.R.L. – Campagne di misura eseguite nell'ambito del “*Progetto monitoraggio eutrofizzazione acque superficiali interne e costiere*” della Provincia di Latina– anni 2003-2008. Provincia di Latina – Rapporto inedito.

