

Regione Umbria

GIUNTA REGIONALE

PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE AGGIORNAMENTO 2016-2021



ALLEGATO 3.5

Siccità e cambiamenti climatici

**Analisi dei cambiamenti climatici e dei fenomeni di desertificazione e siccità:
il progetto SECLI**

Lo studio individua le strategie di adattamento che portino al miglioramento delle attività di monitoraggio, di prevenzione e di mitigazione in una prospettiva di utilizzo ottimale della risorsa con particolare riferimento agli usi idropotabili. La metodologia è articolata in quattro fasi comunque integrate fra loro, e che riguardano principalmente: *i) la conoscenza climatica del territorio regionale; ii) gli scenari idrologici plausibili in termini di precipitazione e deflussi; iii) gli effetti di tali scenari sul bilancio idrologico e iv) la gestione della risorsa*. Il progetto è rivolto alle istituzioni preposte al governo del territorio umbro che, sulla base dei risultati raggiunti, possono individuare strategie idonee di adattamento ai cambiamenti climatici.

CLIMA E EFFETTI AL SUOLO

La variabilità climatica è legata alla interazione tra fenomeni naturali, come la deriva dei continenti, le eruzioni vulcaniche, i movimenti planetari, e fattori antropici come l'alterazione della concentrazione dei gas serra ovvero di quei gas presenti in atmosfera (ossigeno, azoto, anidride carbonica, ..), che sono in grado di trattenere la radiazione termica e quindi di determinare il surriscaldamento del pianeta. In particolare, facendo riferimento alle concentrazioni di CO₂ queste si sono mantenute mediamente intorno a valori di 250 ppm fino al 1800 per poi aumentare drasticamente nell'ultimo secolo portandosi intorno ai 450 ppm. In Figura 2.5.1 vengono mostrati gli esiti di uno studio effettuato dall'ISAC sugli effetti dell'interazione tra forzante naturale ed antropica. In particolare, nel quadrante di sinistra della figura si nota come l'effetto combinato della forzante naturale e di quello antropico, dovuto all'aumento di CO₂, porti ad un incremento di temperatura. Se invece viene tolta la forzante antropica, cioè la produzione di CO₂, (quadrante di destra in Figura 2.5.1) la temperatura tende a normalizzarsi. E' evidente quindi l'effetto della forzante antropica sulla temperatura della superficie terrestre, e nonché dei mari alterando di fatto il ciclo idrologico, ovvero quello scambio continuo di flussi dell'acqua tra atmosfera terrestre, suolo e grandi riserve di acqua come i ghiacciai, laghi e soprattutto oceani.

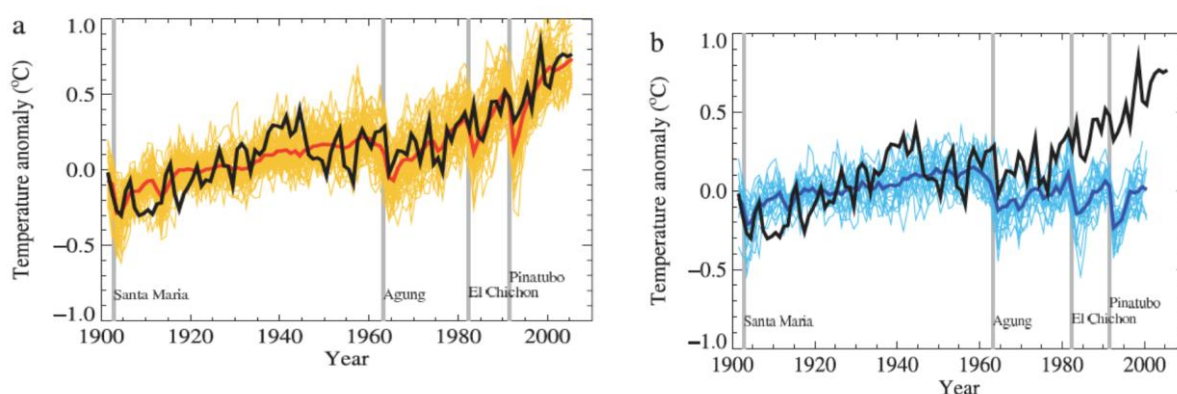


Figura 2.5.1: Confronto trend temperature tra osservato (linea nera) e media simulato scenari modelli climatici (linea rossa e linea blu). a) considerando l'incremento di emissioni CO₂; b) ipotizzando la riduzione di CO₂ (ISAC)

La conseguenza è che venendosi a modificare gli scambi energetici atmosfera-suolo, oltre la temperatura, anche la precipitazione viene ad essere alterata rispetto alla media annuale. Infatti, sulla base di uno studio dell'ISAC, quello che viene osservato è una diminuzione dei giorni piovosi, molto più accentuata nel centro-nord dell'Italia, ed un incremento delle intensità giornaliere, soprattutto nella parte nord-occidentale del nostro Paese, e che ha come diretta conseguenza l'accentuarsi di eventi estremi, rispettivamente siccità e alluvioni. E' evidente che quello poi che la popolazione recepisce dal cambiamento climatico sono gli effetti al suolo che questi eventi provocano. Tali effetti purtroppo sono amplificati da un uso del suolo "spregiudicato" che negli ultimi decenni, non tenendo conto delle più elementari regole di protezione del territorio, ha portato ad un accelerazione dello sviluppo urbanistico

con un incremento di fatto del rischio idraulico e quindi del pericolo delle popolazioni ad esso esposto. Infatti, analizzando gli eventi alluvionali occorsi nell'ultimo secolo è facile verificare come, a parità di evento meteorologico, gli effetti al suolo provocati dai fenomeni di piena sono stati, in termini di criticità, direttamente proporzionali al cambiamento verificatosi sul territorio stesso. Esempi di tal genere in Italia, ma anche in Umbria, se ne possono trovare numerosi. Analoghe considerazioni possono essere fatte per la siccità, influenzata certamente dai cambiamenti climatici ma esacerbata spesso da un'utilizzazione indiscriminata della risorsa.

IL PROGETTO SICCIÀ E CAMBIAMENTI CLIMATICI (SECLI)

Sulla base di quanto innanzi evidenziato, la Regione Umbria con i suoi organi direttivi è risultata sensibile alla problematica dei cambiamenti climatici e con fondi del Programma POR-FESR 2007-2013 ha finanziato il Progetto Siccità e Cambiamenti Climatici (SECLI) che intende, da un lato, fornire il quadro climatico regionale e, dall'altro, individuare gli scenari climatici futuri e quali implicazioni comporterebbero sulla gestione della risorsa idrica regionale. Da un punto di vista operativo, visto il carattere articolato della tematica, il progetto è stato sviluppato integrando differenti competenze istituzionali e scientifiche che hanno operato in piena sinergia avendo come principale denominatore comune lo studio dell'evoluzione del clima in Umbria e le eventuali conseguenze sulla risorsa idrica. In particolare, il progetto ha avuto una durata di tre anni (2010- 2011; 2013) ed è stato coordinato dal *Gruppo di Idrologia dell'Istituto di Ricerca di Protezione Idrogeologica* del CNR (IRPI CNR) e da tre Unità Operative di ricerca: i) *l'Istituto di Ricerca sulle Acque* del CNR (IRSA CNR), ii) il *Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale* (DICA) e iii) il *Dipartimento di Scienza della Terra* (DiST) entrambi dell'Università di Perugia. L'attività è stata sviluppata in piena collaborazione con l'Ufficio della Regione Servizio Risorse idriche e rischio idraulico e il Centro Funzionale di Protezione Civile regionale. Nella Figura 2.5.2 viene mostrata la catena di organizzazione del progetto articolato in Work Packages assieme alle tematiche e relativi responsabili scientifici.

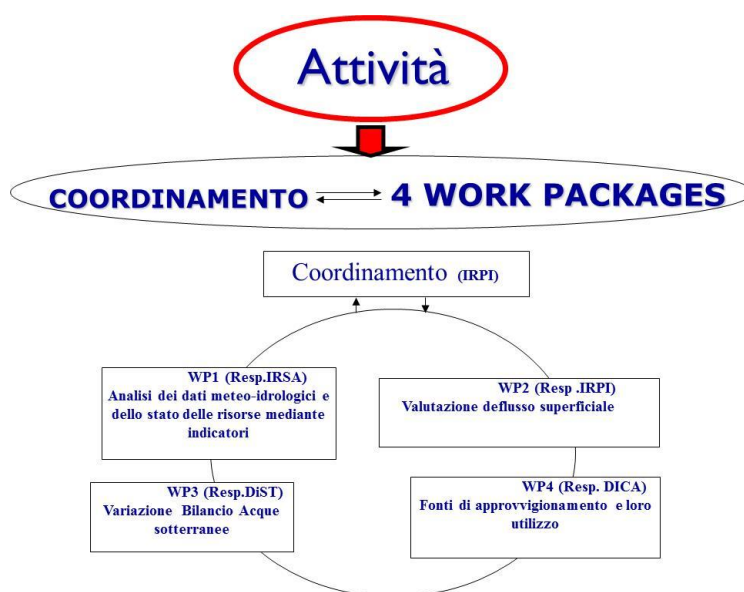


Figura 2.5.2: Sviluppo attività SECLI in Work Packages

Nei primi due anni (2010-2012), sulla base delle banche dati meteo climatiche disponibili sul territorio è stata effettuata l'analisi climatica in Umbria verificando l'esistenza di anomalie climatiche (trend) delle variabili idrologiche in particolare, temperatura e precipitazione. Valutate le anomalie si è andato a verificare attraverso una modellistica idrologica in continuo gli effetti di tali anomalie sulla formazione dei deflussi per i prossimi 60 anni e quindi sulla diponibilità della risorsa idrica. Per il biennio le analisi sono state indirizzate per tre aree pilota fondamentali nel contesto di pianificazione della risorsa idrica umbra: i) bacino dell'invaso di Montedoglio, ii) Acquifero di Petrignano, iii) sorgente di Bagnara. Nel terzo anno, l'analisi climatica è stata indirizzata utilizzando gli scenari forniti dai modelli climatici come input per la modellistica idrologica applicata ad ulteriori tre aree pilota e cioè: i) il bacino della diga di Casanuova sul

Fiume Chiascio, ii) l'acquifero di Petrignano-Cannara, iii) le sorgenti di Scirca, San Giovenale, Lupa e Valnerina. Va evidenziato che l'utilizzo accoppiato di modelli climatici, che forniscono a scala globale indicazioni sulle variazioni climatiche, e di modelli idrologici, che traducono queste stesse indicazioni, ricondotte a scala di dettaglio, in termini di variazioni del regime idrologico dei bacini idrografici, consentirebbe di individuare scenari di criticità per la risorsa idrica. Considerando tuttavia le incertezze legate ai modelli climatici, alla conoscenza ancora limitata sia della distribuzione dei campi di pioggia in aree a orografia complessa come gran parte del territorio italiano, sia dei processi di base alla formazione del deflusso, è stato evidenziato nel progetto SECLI che tali scenari non possono assumere un valore deterministico, ma rappresentano la base su cui indirizzare strategie di adattamento alla variabilità climatica per la risorsa idrica.

ANALISI CLIMATICA REGIONALE

Osservazioni al suolo

Sulla base delle serie idrologiche disponibili è stata effettuata una analisi delle anomalie climatiche in termini di precipitazioni e temperature. In particolare sono stati individuati degli indicatori standardizzati come lo Standardized Precipitation Index (SPI) su scala annuale e stagionale, facendo riferimento a precipitazioni giornaliere nel periodo 1917-2010 con l'individuazione di trend climatici e della loro ciclicità su lunghi periodi (vedasi Figura 2.5.3). L'elaborazione di tali indicatori di stato quantitativo finalizzati alla gestione degli eventi siccitosi ha consentito di disporre di uno strumento utile alla prevenzione e gestione degli eventi di siccità. A questo scopo si è fatto riferimento anche ad altre esperienze analoghe in ambito nazionale ed internazionale, come quelle del gruppo della CE *Water Scarcity and Droughts*.

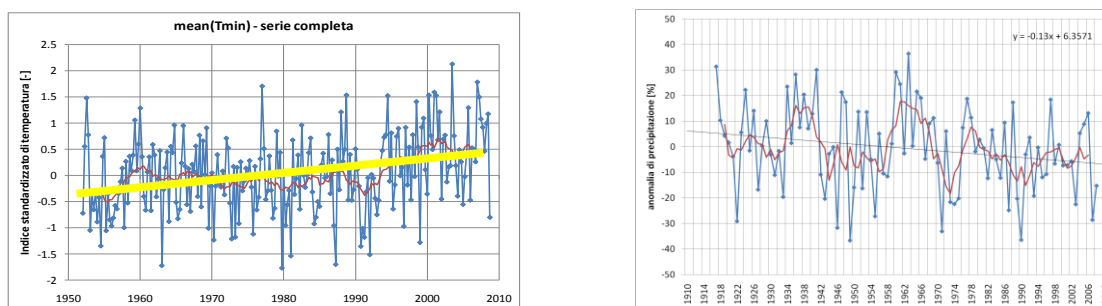


Figura 2.5.3: Trend climatici regionali delle temperature (a) e precipitazioni (b)

Come può notarsi dalla Figura 2.5.3 negli ultimi 60 anni vi è stato un incremento medio della temperatura a scala regionale di circa 0.8°C (Fig.2.5.3a) mentre in termini di precipitazioni si osserva un trend negativo che ha portato in 100 anni ad una riduzione delle precipitazioni giornaliere di circa 8%. (Fig.2.5.3b). Per lo studio dell'impatto di tali anomalie sulla risorsa idrica è stato ipotizzato l'invarianza dei trend per i prossimi 60 anni.

Scenari Modelli Climatici

Per la regione Umbria sono stati individuati gli scenari idrologici plausibili a seguito di cambiamenti climatici elaborati alla scala globale da modelli climatici ed adattati alla scala locale mediante diverse tecniche di downscaling, statistiche e dinamiche. In particolare, sulla base del database IPCC (2001), si è fatto riferimento agli Scenari A1b e A2 che fino al 2060 prevedono emissioni di CO_2 non sostanzialmente differenti (vedasi Figura 2.5.4).

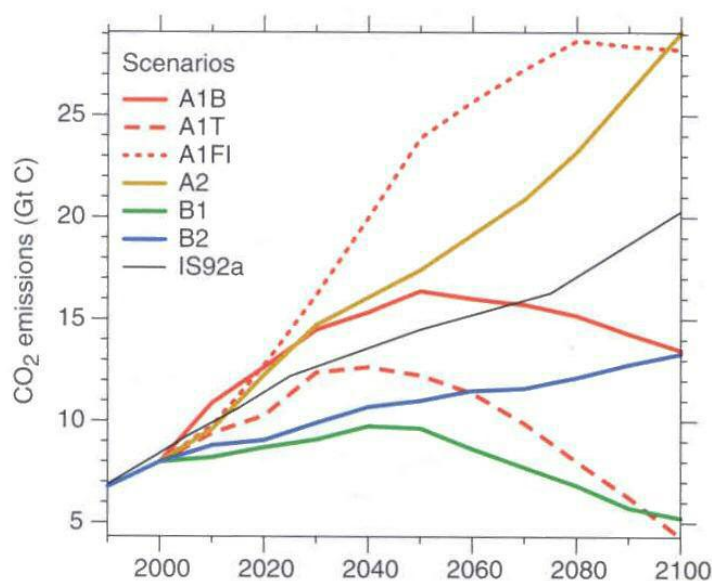


Figura 2.5.4: Scenari Emissioni CO2 modelli climatici

Per l'analisi, sono stati selezionati quattro modelli climatici avendo come criterio di selezione l'affidabilità e la risoluzione spaziale. In particolare, sono stati scelti i modelli: a) Hadley Center Coupled Model (HadCM3); b) Community Climate System Model (CCSM3); c) Parallel Climate Model (PCM) e d) ECHAM5-MPIOM. Per l'analisi, si è fatto riferimento a proiezioni giornaliere di temperatura e precipitazione per il periodo 2010-2060. Per esse, sono state acquisite le serie climatiche disponibili per il periodo di riferimento (baseline) 1960-1990 e effettuato un confronto con le serie osservate per lo stesso periodo. Va precisato che per i GCM sebbene la risoluzione temporale del dato è giornaliera quella spaziale è molto bassa e varia da circa 150 km a 300 km. Utilizzando opportune tecniche di downscaling, sono stati quindi individuati scenari climatici plausibili per le aree pilota di studio che rappresentano la base per qualsiasi analisi concernente il rapporto cambiamento climatico gestione risorsa. In Figura 2.5.5 viene mostrato per il modello climatico ECHAM e per la precipitazione un esempio di downscaling usando la tecnica lineare (LR) e della probabilità cumulata (CDF) sulla base delle serie idrologiche osservate alla stazione pluviometrica di Leonessa in prossimità della Sorgente Lupa (5b). Sulla base del downscaling si è individuato lo scenario futuro per il periodo 2010-2070 (5b)

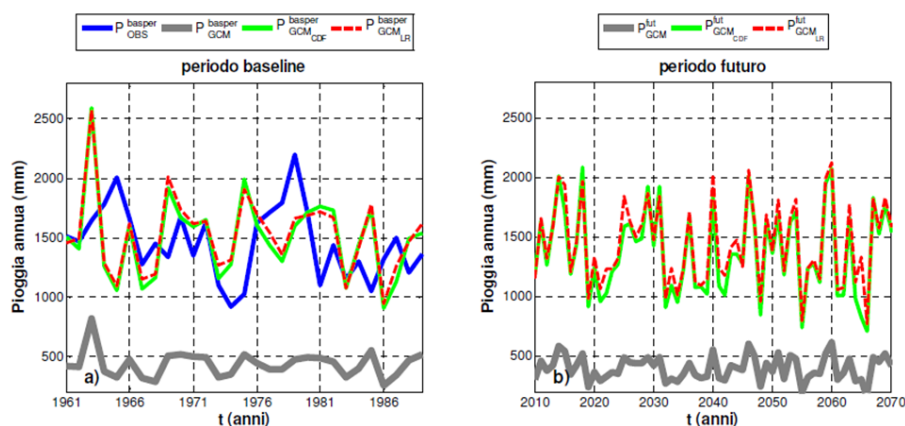


Figura 2.5.5: Modello climatico ECHAM: confronto osservato simulato e simulato downscalato per il periodo di baseline (a) e per il futuro (b)

Quello che si è notato che in termini di precipitazione a scala regionale la variazione prevista da tre modelli climatici per il periodo 2010-2070 in media non è sostanzialmente differente da quella ottenuta dal trend delle osservazioni al suolo.

Per quanto riguarda le temperature, in Figura 2.5.6 viene mostrato il confronto tra gli scenari di temperatura forniti dai modelli climatici non scalati (6a) e quelli scalati per il periodo 1960-2100 (6b). Come si può notare il trend di temperatura (6b) è abbastanza evidente con un incremento minimo di 1.6 °C che è circa il doppio di quello stimato sulla base delle serie idrologiche al suolo nell'ipotesi di invarianza del trend stesso, comportando una evidente maggiore criticità.

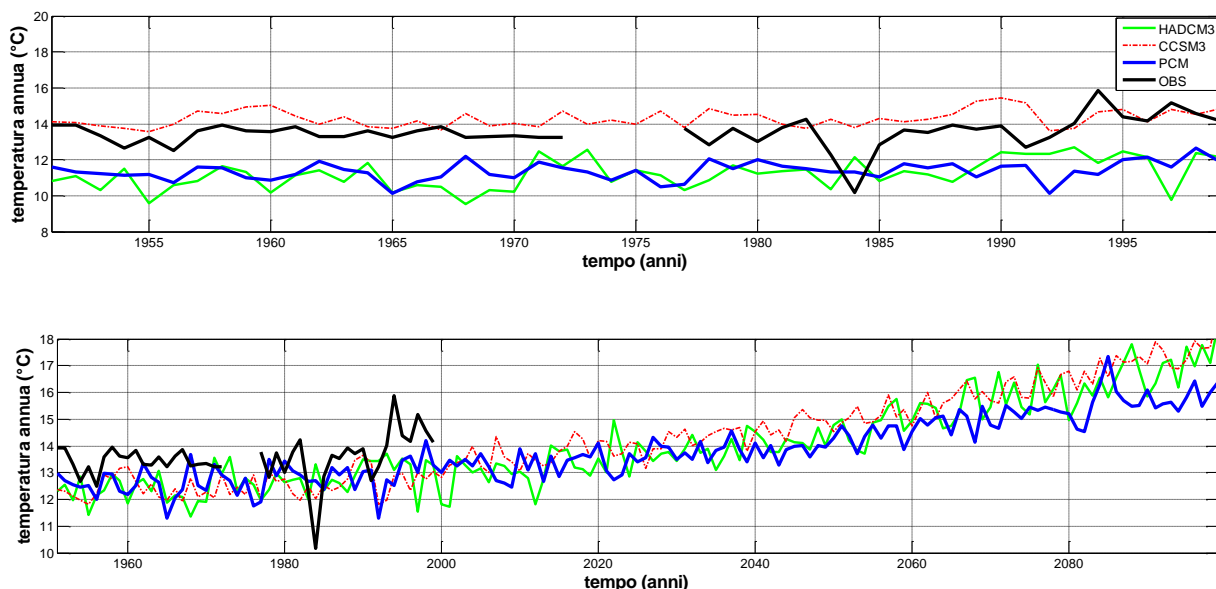


Figura 2.5.6: Confronto tra scenari di temperatura per i tre modelli climatici per il periodo di riferimento non downscalati(a) e quello futuro downscalati (b)

Sulla base degli scenari delle serie climatiche del periodo 2010-2070, sono state generate mediante un modello stocastico delle serie sintetiche di pioggia e temperatura che mantenessero le proprietà statistiche delle serie annuali fornite dai modelli climatici. In altri termini, sono stati generati 100 anni di dati di precipitazione e temperatura che avessero le stesse proprietà statistiche (media, varianza) del 2010, 100 anni con quelle del 2011 e così via fino al 2070. In definitiva sono state generate 60 serie di lunghezza 100 anni ognuna delle quali conserva le proprietà statistiche rispettivamente degli anni 2010 (la prima), 2011 (la seconda), ..., 2070 (l'ultima). Al fine tuttavia di considerare la non stazionarietà delle serie, attraverso una procedura di inversione delle matrici, sono state generate nuovamente 100 serie di 60 anni, ognuna delle quali aveva il primo anno con la proprietà statistica dell'anno corrispondente, i.e., il 2010, il secondo il 2011 e infine il sessantesimo anno la proprietà statistica del 2070. In questo modo si sono ottenute 100 serie di precipitazione e temperature non stazionarie, ognuna con media sul periodo di 60 anni differente. Considerando quindi il campione costituito dalle medie sul periodo di 60 anni con numerosità 100 (numero delle serie), per tenere conto della variabilità sono stati selezionati per esso i tre percentili, ovvero il 5%, 50% e 95% e sono state individuate le tre serie corrispondenti sia di temperatura che di precipitazione. E' chiaro che la situazione di criticità per le precipitazioni è data dalla serie con il minimo percentile (5%), il contrario per le temperature (95%). Il definitivo il modello climatico più gravoso è identificato dalla serie con il minimo percentile di pioggia e massimo percentile di temperatura. E' doveroso fare una precisazione sullo scenario 2010-2070. Questo va inteso non in termini annuali nel senso che nel 2020 si potrebbe verificare una determinata precipitazione e temperatura, bensì come il quadro delle possibili criticità che potrebbero verificarsi nei prossimi 60 anni.

In Tabella 1 e Figura 2.5.7, assieme alla media delle osservazioni al suolo per il periodo 1957-2012, per ciascun modello climatico sono mostrati i valori dei suddetti percentili sia per la precipitazione che per la temperatura utilizzando le due differenti tecniche di downscaling. Quello che si nota è che per le precipitazioni il modello climatico che fornisce lo scenario più critico rispetto all'osservato è ECHAM con

una riduzione massima per il percentile 5% di 11%, usando la tecnica lineare per il downscaling. In termini di temperatura, la massima variazione si ha per il modello CCSM3 per il percentile 95% e pari a 3.1°C.

RISULTATI

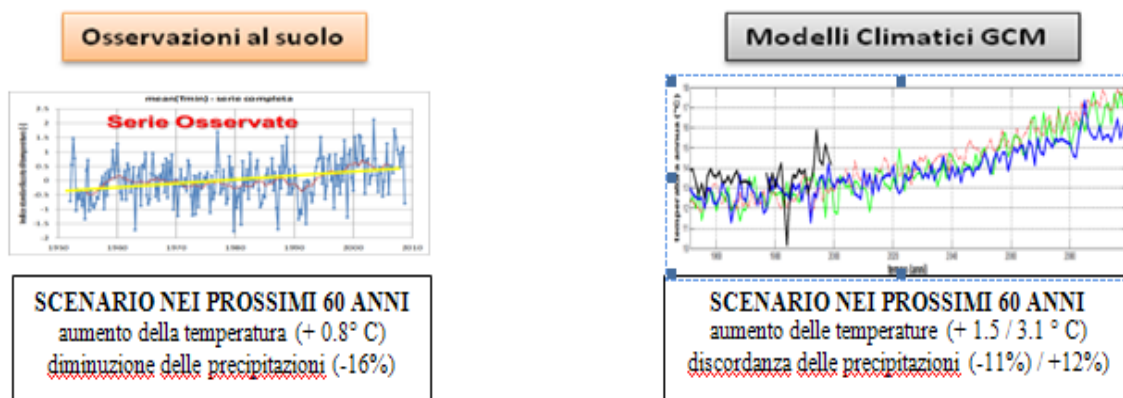


Figura 2.5.7: Confronto tra osservazioni al suolo e modelli climatici GCM

Tabella 2.5.1: Valori di Precipitazione e Temperatura per i tre modelli climatici e per differenti tecniche di downscaling (lineare LINRESC e quantile CDF) per il periodo 2010-2070 e per tre differenti percentili

	P PCM CDF	P PCM LINRESC	P CCSM3 CDF	P CCSM3 LINRESC	P ECHAM CDF	P ECHAM LINRESC	MEDIA P 1957-2012
5° percentile	816 (-3.2 %)	877 (+4.0 %)	851 (+0.9 %)	862 (+2.3 %)	798 (-5.3 %)	750 (-11.0 %)	843
50° percentile	852 (+1.1 %)	909 (+7.8 %)	891 (+5.7 %)	907 (+7.6 %)	826 (-2.0 %)	787 (-6.6 %)	
95° percentile	893 (+5.9 %)	946 (+12.2 %)	934 (+10.8 %)	938 (+11.3 %)	857 (+1.7 %)	825 (-2.1 %)	

	T PCM	T CCSM3	T ECHAM	MEDIA T 1957-2012
5° percentile	15.4	16.7	16.3	13.9
50° percentile	15.9	16.9	16.5	
95° percentile	16.4	17.0	16.6	

IMPATTI VARIABILITÀ CLIMATICA SULLA GESTIONE DELLA RISORSA IDRICA IN UMBRIA

Le serie non stazionarie generate stocasticamente per lo scenario futuro 2010-2070, sia per l'ipotesi di invarianza trend che derivato dai modelli climatici, sono state utilizzate come sollecitazione meteorica per una modellistica idrologica e/o idrogeologica che ha consentito di valutare gli effetti di tali anomalie climatiche sulla formazione dei deflussi in ciascuna area pilota oggetto del progetto. In Figura 2.5.8, a titolo di esempio, viene schematizzata la metodologia adottata in SECLI, per l'area pilota dell'invaso di Montedoglio dove, la serie sintetica di portata è ottenuta utilizzando come input per il modello idrologico in continuo MISDc, sviluppato dall'IRPI, la combinazione più critica delle serie di precipitazione e di temperatura da invarianza trend e cioè quella corrispondente al percentile 5% per la pioggia e 95% per la temperatura.

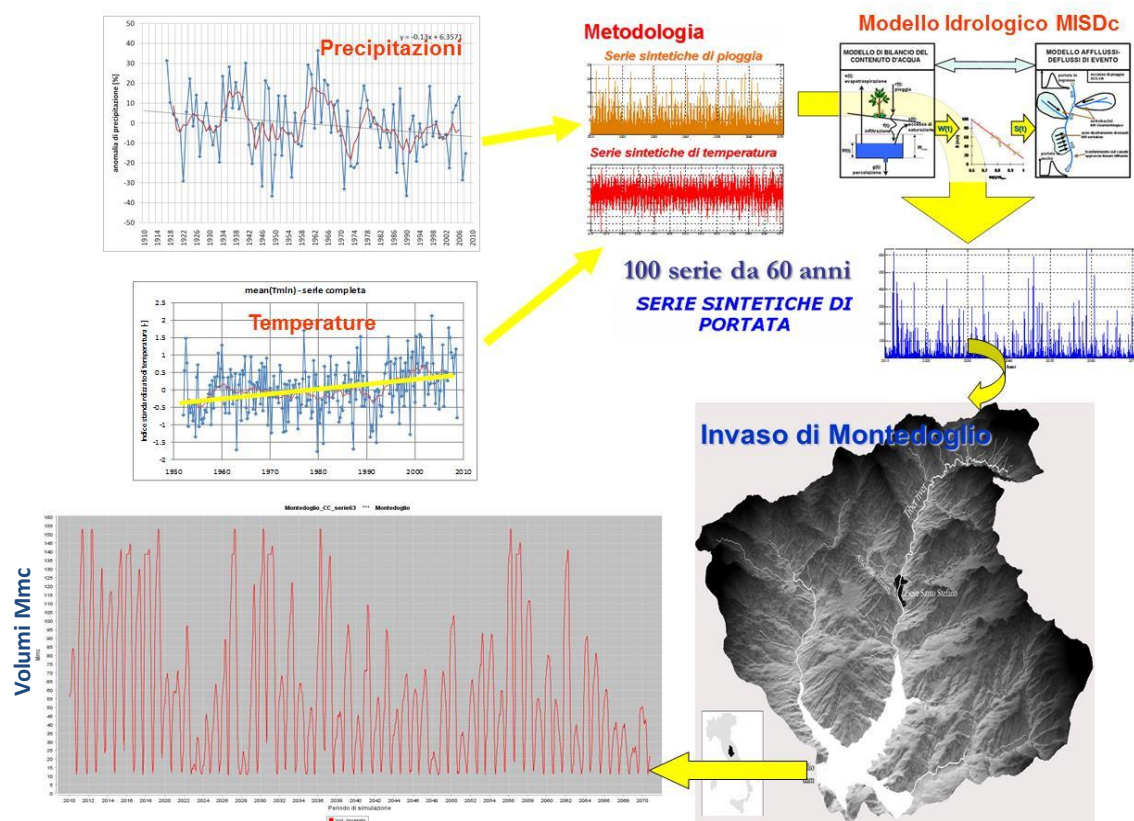


Figura 2.5.8: Schema Metodologia valutazione deflusso a seguito di cambiamenti climatici. Area pilota bacino di Montedoglio

Stimati in questo caso gli afflussi all'invaso di Montedoglio, così come per quello di Casanuova che tengono conto delle anomalie climatiche è possibile valutare un possibile utilizzo condiviso della risorsa tra le varie utenze, mediante l'utilizzo di un modello di gestione. Per l'invaso di Montedoglio è stato utilizzato il modello SimBaT (Simulazioni Bacino Tevere) sviluppato dal DICA che a una scala temporale settimanale ha valutato scenari di gestione dell'invaso stabilendo che la maggiore criticità non è tanto nel trend climatico che sicuramente ha un impatto sui nodi idropotabili della Regione Umbria, quanto piuttosto nella situazione di "stress" a cui potrebbe essere sottoposto l'invaso di Montedoglio a seguito delle elevate richieste di utilizzo dalle diverse utenze umbro-toscane, dettagliate nei programmi di pianificazione regionali. In particolare, considerando come periodo annuale la 22° settimana, in cui si ha la completa ricarica della falda, in presenza di trend climatico la soglia di invaso minimo che garantirebbe per la gestione dell'invaso un deficit inferiore al 10% è valutata essere pari a circa 125 Mmc.

Per il bacino del Fiume Chiascio sotteso alla diga di Casanuova è stata effettuata la messa a punto del modello WEAP, sviluppato dall'Istituto Ambientale di Stoccolma, mediante l'individuazione di ciascun elemento topologico caratterizzante il bacino e la risorsa idrica. WEAP, analogamente a SimBaT, è un software basato su un approccio integrato alla pianificazione delle risorse idriche che opera secondo il principio base del bilancio idrico e può essere applicato a sistemi urbani, industriali, o agricoli, a singoli sottobacini o a sistemi idrici complessi. In particolare, per l'area in esame sono stati implementati, grazie anche all'ausilio di tecniche GIS, il Bacino dell'Alto Chiascio, il corso d'acqua, le varie sorgenti e gli acquiferi presenti nel Bacino o ad esso limitrofi, le domande urbane ed irrigue e le rispettive derivazioni da acque superficiali o sotterranee, nonché la diga di Casanuova. In Figura 2.5.9 viene riportato lo schema topologico adottato in WEAP.

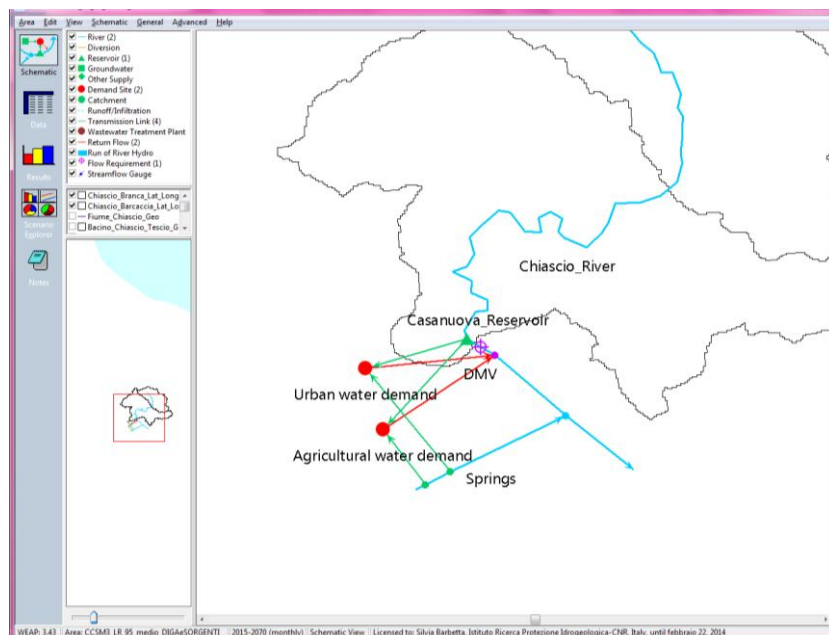


Figura 2.5.9: Schema topologico di WEAP per l'invaso Chiascio: sono rappresentate le risorse (invaso e sorgenti), i prelievi per uso potabile e irriguo e il rilascio per garantire il minimo deflusso vitale

Per quanto riguarda la gestione della risorsa per il bacino sotteso dalla diga si può affermare che nell'ipotesi di scenario più gravoso (minima precipitazione prevista), qualora i prelievi avvenissero solo dall'invaso, in assenza del contributo delle sorgenti (Scirca e Bagnara), i nodi urbani e irrigui posti a valle della diga di Casanuova riscontrerebbero problemi di deficit idrico, abbastanza frequente, soprattutto per lo scenario a breve termine. In Figura 2.5.10 viene mostrato l'andamento della domanda insoddisfatta per l'uso potabile nell'ipotesi di un Volume Utile alla diga di 15 Mmc e 25 Mmc nell'ipotesi di un fabbisogno potabile di 41Mmc e in assenza dell'uso irriguo. E' evidente come la criticità è presente per l'intero periodo futuro anche se si ipotizzasse l'assenza dei prelievi agricoli. L'ipotesi, alquanto realistica, di incrementare il volume utile invasabile (da 15 a 25 Mm³) ha mostrato una significativa riduzione del deficit nell'ipotesi di minima precipitazione prevista e l'annullamento dello stesso per le condizioni meno gravose (percentile 95%, massima precipitazione prevista).

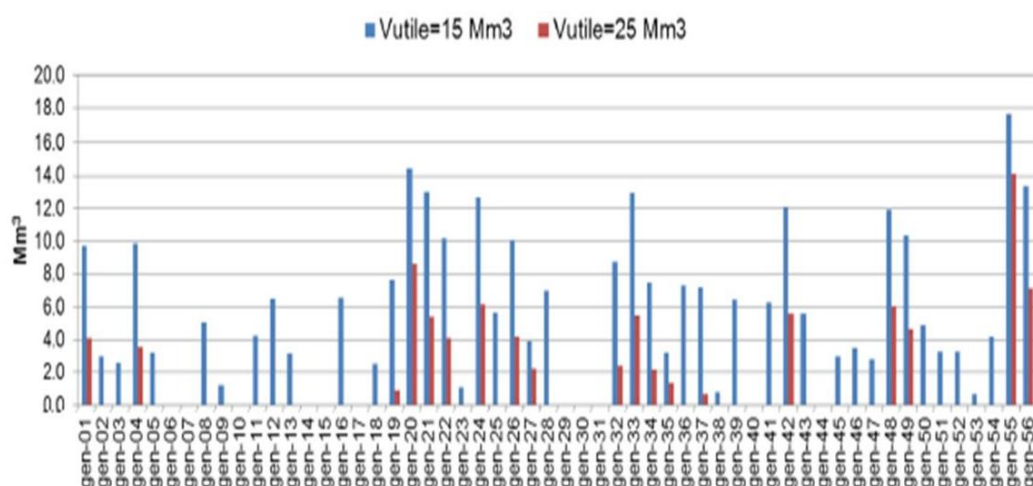


Figura 2.5.10. Domanda insoddisfatta uso potabile bacino Chiascio per ipotesi scenario precipitazione più critico modello climatico ECHAM (percentile 5%) e per Volume utile 15 Mmc e 25 Mmc

In Figura 2.5.11 viene mostrato la domanda insoddisfatta nell'ipotesi di considerare anche l'irriguo per un fabbisogno di 45 Mmc e potabile nel caso di un Volume utile disponibile dell'invaso pari a 70 Mmc. Invece è stato verificato che l'utilizzo della risorsa invasabile a regime consentirebbe da sola di soddisfare la

domanda urbana e irrigua permettendo di indirizzare il contributo delle sorgenti al soddisfacimento di utenze diverse da quelle attuali, anche nelle ipotesi più gravose climatiche.

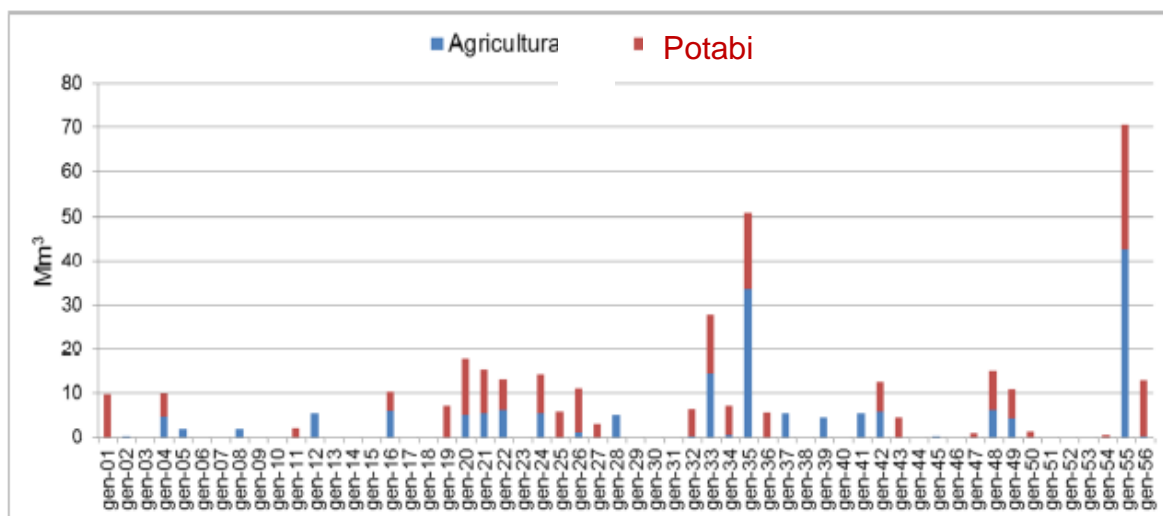


Figura 2.5.11: Domanda insoddisfatta uso potabile e agricolo bacino Chiascio per ipotesi scenario precipitazione più critico modello climatico ECHAM (percentile 5%) e per volume utile 70 Mmc

Per l'acquifero di Petrignano-Cannara la metodologia ha indirizzato le variazioni del livello freatico indotte da un'eventuale diminuzione della ricarica a seguito della riduzione di precipitazione e dal contemporaneo sfruttamento dell'acquifero. A tal fine è stato applicato un modello di acquifero alluvionale sviluppato dall'IRSA CNR che dopo essere stato calibrato sulla base della piezometria esistente ha fornito degli scenari freatici nell'ipotesi di anomalia climatica dedotta sia dalle osservazioni al suolo (invarianza di trend) che dai modelli climatici. In Figura 2.5.12 viene mostrato l'andamento dell'altezza piezometrica per l'area campo pozzi di Petrignano nell'ipotesi dei prelievi attuali e con presenza e assenza del trend climatico. Come può notarsi l'effetto del trend climatico si traduce in una riduzione di circa 5 metri della falda (confronto linea rossa (No Trend) e gialla (Trend)). Inoltre, nel grafico viene mostrato l'effetto benefico sulla piezometria a seguito della riduzione dei prelievi così come pianificato nel Piano Regolatore Regionale degli Acquedotti (PRRA), pari a circa $\frac{1}{4}$ di quello attuale, prefigurando una situazione di assoluta sostenibilità nello sfruttamento dell'acquifero.

Analizzando poi gli scenari forniti dai modelli climatici, lo scenario peggiore previsto (ECHAM P5%-T95%), considerando i valori attuali di emungimento dall'acquifero a scopo idropotabile e irriguo, appare piuttosto critico, pur se ancora sostenibile. Gli abbassamenti simulati sono risultati significativi (oltre i 20 m rispetto alla condizione indisturbata attuale) in particolar modo nell'area di Torchiagina. In linea generale è possibile concludere che dal punto di vista degli abbassamenti della falda l'impatto degli emungimenti a scopo irriguo è più significativo nell'area della piana di Petrignano che nell'area della Valle Umbra sud. In un'ottica cautelativa di gestione sostenibile della risorsa, si auspica quindi una diminuzione media complessiva della pressione sull'acquifero dagli attuali prelievi di 1000 l/s a circa 700 l/s.

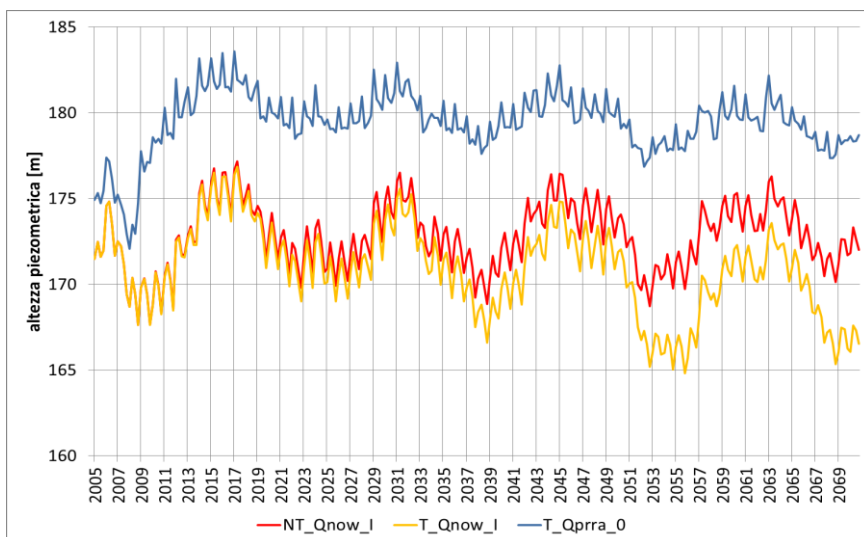


Figura 2.5.12: Scenario piezometria 2010-2070 per il campo pozzi di Petrignano nell'ipotesi di assenza trend e con prelievi attuali, anche Irrigui, (NT_Qnow_I), trend e prelievi attuali (T_Qnow_I) e trend e prelievi regolamentati dal PRRA

Per il sistema delle sorgenti analizzato, il comportamento in termini di risposta al cambiamento climatico non è univoco. Per la sorgente Scirca, ad esempio, dove la trasformazione da piogge e temperature a portate è stata effettuata mediante il modello SPRING 4 sviluppato dal DiST, opportunamente calibrato, i diversi scenari delle serie osservate così come dei modelli climatici forniscono indicazioni di un aumento dell'aridità complessiva e una diminuzione delle portate medie annue. Tale risultato, pur con le incertezze del caso, è coerente con quanto indicato dalla maggioranza degli scenari dell'IPCC. E' interessante l'analisi della Sorgente di San Giovenale in termini di Eccedenza Idrica intesa, in generale, come la differenza tra precipitazione e evapotraspirazione. L'eccedenza rappresenta quindi quella parte di precipitazione che in parte alimenta l'acquifero e viene denominata Infiltrazione Efficace, individuata da un coefficiente che dipende dalle caratteristiche del suolo, e in parte è deflusso superficiale. Si è poi individuata una correlazione tra l'eccedenza idrica e la portata della sorgente. Quindi valutazioni sull'eccedenza idrica si riflettono in termini di portata. Considerando i vari scenari di precipitazione e temperatura forniti dai modelli climatici, in Tabella 2.5.2 viene mostrato per tale sorgente il confronto in termini di eccedenza idrica tra diversi periodi passati e futuri. Per il periodo di baseline (1960-1990) e il periodo futuro 2015-2042 si nota una diminuzione media di circa 4% dell'eccedenza idrica. Confrontando invece il periodo (1998-2009) in cui si sono verificate le due crisi idriche per la regione Umbria e cioè 2001 e 2007, rispetto al periodo 2015-2042 si nota un incremento medio dell'eccedenza di circa il 18%. Questo significa che le piogge nel periodo 1998-2009 sono risultate inferiori a quelle previste dai modelli climatici per il 2015-2042, confermando ulteriormente la criticità dei due fenomeni siccitosi occorsi nel primo decennio del 2000. Analoghe considerazioni possono farsi per il confronto con il periodo 2043-2070, dove si evince che le precipitazioni previste sono inferiori a quelle del 2015-2042 visto che la variazione di eccedenza idrica rispetto al 1998-2009 è pari al +7-8% anziché +18.2%. Il massimo negativo si ha nella ipotesi dello scenario più critico ovvero massima temperatura (percentile 95%) e minima pioggia (percentile 5%) fornito dal modello climatico PCM utilizzando la tecnica di downscaling basato sulla probabilità cumulata (QM). E' chiaro quindi come gli scenari non forniscono, in generale, un quadro unico in termini di risposta delle sorgenti e degli altri casi investigati in SECLI, tuttavia questi possono essere d'indirizzo per il decisore al fine di attuare strategie di adattamento della risorsa ai possibili cambiamenti climatici.

Tabella 2.5.2: Sorgente San Giovenale. Confronto variazione eccedenza idrica per diversi periodi passati e futuri sulla base di diverse combinazioni di scenari climatici e tecniche di downscaling

Serie Sintetica	Variazione ECC (%) 1961-1990 2015-2042	Variazione ECC (%) 1961-1990 2043-2070	Variazione ECC (%) 1998-2009 2015-2042	Variazione ECC (%) 1998-2009 2043-2070
SG_T_CCSM3_5_P_CCSM3_QM_95	-7.0	-7.4	+24.7	+14.0
SG_T_CCSM3_5_P_CCSM3_LINRESC_95	+3.0	-1.0	+26.7	+21.9
SG_T_CCSM3_95_P_CCSM3_QM_5	-6.5	-17.2	+15.0	+2.9
SG_T_CCSM3_95_P_CCSM3_LINRESC_5	-1.4	-24.0	+21.3	-6.5
SG_T_PCM_5_P_PCM_QM_95	-10.9	-1.1	+9.6	+21.6
SG_T_PCM_5_P_PCM_LINRESC_95	+8.1	+3.1	+33.0	+26.8
SG_T_PCM_95_P_PCM_QM_5	-20.9	-19.5	-2.7	-1.0
SG_T_PCM_95_P_PCM_LINRESC_5	-5.9	-15.3	+15.8	+4.3
SG_T_CCSM3_50_P_CCSM3_QM_50	+2.8	-16.0	+26.5	+3.4
SG_T_CCSM3_50_P_CCSM3_LINRESC_50	+5.0	-12.9	+29.1	+7.2
SG_T_PCM_50_P_PCM_QM_50	-14.4	-11.5	+5.3	+8.8
SG_T_PCM_50_P_PCM_LINRESC_50	+4.8	-10.4	+29.0	+10.2
SG_ECHAM_95_P_ECHAM_LINRESC_5	-22.1	-28.6	-4.2	-12.2
MEDIA	-3.95	-12.5	+18.2	+7.8

Quanto sviluppato dal Progetto SECLI finalizzato, da un lato, allo studio climatico regionale in un contesto di cambiamento climatico e, dall'altro, a conoscere in termini quantitativi la risposta di alcuni sistemi idrici strategici per la governance della risorsa idrica in Umbria, può essere sintetizzato nei seguenti punti.

- 1) Una gestione ottimale della Risorsa Idrica non può non tener conto degli effetti dei cambiamenti climatici che vanno indirizzati al fine di individuare misure efficaci per il soddisfacimento del fabbisogno.
- 2) A tal fine, il progetto SECLI ha fornito delle indicazioni su come il clima regionale può cambiare sia sulla base di osservazioni idrologiche al suolo che di scenari climatici forniti dai modelli di circolazione globale.
- 3) Rispetto ai dati osservati si è visto che gli scenari climatici GCM sono molto più cautelativi, per i prossimi 60 anni. In termini di temperatura, l'incremento minimo previsto è circa il doppio (1.6°) di quello derivato dal trend osservato dei dati al suolo (0.8°). In termini di precipitazione, per gli scenari GCM non viene osservato un trend statisticamente significativo, sebbene nelle ipotesi più cautelative si evidenzia una riduzione media della precipitazione del 12%, non dissimile da quella rilevata dai dati osservati.
- 4) L'analisi degli effetti dei cambiamenti climatici su alcuni sistemi idrici dell'Alto e Medio Tevere hanno evidenziato la necessità di promuovere azioni di tutela per la governance della risorsa idrica.

Al fine di dare la massima visibilità al Progetto SECLI, è stata sviluppata una piattaforma Web-GIS (vedasi Figura 2.5.13) dove sono state raccolte le informazioni in termini di dati sulla rete idrometeorologica regionale, serie idrologiche al suolo e fornite dai modelli climatici, nonché i rapporti tecnici redatti con i risultati del progetto. Accedendo al sito <http://www.secli.cfumbria.it/secli/> è possibile visionare quanto brevemente e non esaurientemente discusso in questo articolo.



Figura 2.5.13: Homepage della piattaforma WEB-GIS del progetto SECLI

IMPATTI SULLA RISORSA IDRICA AD USO IDROPOTABILE

Invaso di Montedoglio. Sulla base delle diverse analisi effettuate si è verificato che utilizzando gli scenari termo-pluviometrici ottenuti sulla base dei trend climatici osservati a livello regionale, le differenti procedure di analisi adottate hanno fornito degli scenari di disponibilità di utilizzo della risorsa idrica non sostanzialmente differenti. Tuttavia, la criticità maggiore individuata non è tanto nel trend climatico che sicuramente ha un impatto sui nodi idropotabili della Regione Umbria, quanto piuttosto nella situazione di “stress” a cui potrebbe essere sottoposto l’invaso di Montedoglio a seguito delle elevate richieste di utilizzo dalle diverse utenze umbro-toscane, dettagliate nei programmi di pianificazione regionali.

Acquifero alluvionale di Petrignano. L’acquifero, sulla base delle previsioni di emungimento previsti dal PRRA (300 l/s nel periodo estivo), è sicuramente destinato a migliorare notevolmente le sue capacità di disponibilità idrica, non causando significativi abbassamenti delle altezze piezometriche nella zona del campo pozzi (sia in assenza che in presenza di prelievi a scopo agricolo), prefigurando così una situazione di assoluta sostenibilità dell’acquifero anche in condizioni di cambiamenti climatici. Al contrario, l’azione combinata di una diminuzione della ricarica a seguito di un trend climatico mantenendo i prelievi al livello attuale, determina un abbassamento nella zona del campo pozzi maggiore di circa 5 m rispetto all’impatto dei soli emungimenti, con evidente criticità nella gestione dell’acquifero stesso.

Acquifero carbonatico di Bagnara. Per l’acquifero di Bagnara, dalle elaborazioni effettuate è stato trovato che la sorgente, considerando il trend climatico locale imposto, nelle condizioni più pessimistiche subirebbe una diminuzione del 25% della portata media rispetto al periodo (1984-2009) passando da 100 l/s a 75 l/s.

Gestione risorsa idrica bacino diga Casanuova

Gli effetti dei diversi scenari climatici sulla gestione della risorsa idrica nel bacino del Fiume Chiascio sotteso dalla diga di Casanuova, con passo mensile, sono stati valutati mediante il modello di gestione WEAP sviluppato dall’Istituto dell’Ambiente di Stoccolma (Stockholm Environment Institute). WEAP è un software basato su un approccio integrato alla pianificazione delle risorse idriche che opera secondo il principio base del bilancio idrico e può essere applicato a sistemi urbani, industriali, o agricoli, a singoli sottobacini o a sistemi idrici complessi. In particolare, per l’area in esame sono stati implementati, grazie anche all’ausilio di tecniche GIS, il Bacino dell’Alto Chiascio, il corso d’acqua, le varie sorgenti e gli acquiferi presenti nel Bacino o ad esso limitrofi, le domande urbane ed irrigue e le rispettive derivazioni da acque superficiali o sotterranee, nonché la diga di Casanuova.

E’ stata effettuata la messa a punto del modello WEAP per il bacino del Fiume Chiascio mediante l’individuazione di ciascun elemento topologico caratterizzante il bacino e la risorsa idrica. Sono stati

acquisiti i dati idrometeorologici e quelli relativi alla domanda e alla risorsa disponibile nel bacino. Una volta calibrato, il modello è stato utilizzato per l'analisi, a scala mensile, degli effetti dei cambiamenti climatici sulla gestione della risorsa idrica nel bacino del Fiume Chiascio a partire dagli scenari forniti dai modelli climatici. In particolare, sono state simulate le portate in ingresso alla diga ed utilizzate come input per il modello implementato con il software SimBat (sviluppato dal DICA) che offre la possibilità di realizzare simulazioni, oltre che a passo mensile, anche settimanale.

Per quanto riguarda la gestione della risorsa per il bacino sotteso dalla diga si può affermare che:

- a) Nell'ipotesi di scenario più gravoso (minima precipitazione prevista), qualora i prelievi avvenissero solo dall'invaso, in assenza del contributo delle sorgenti (Scirca e Bagnara), i nodi urbani e irrigui posti a valle della diga di Casanuova potrebbero riscontrare problemi di deficit idrico, abbastanza frequente, soprattutto per lo scenario a breve termine;
- b) nell'ipotesi in cui i prelievi avvengano oltre che dall'invaso, anche dalle sorgenti, il deficit idrico permane, ma in misura inferiore;
- c) per l'ipotesi meno gravosa di massima precipitazione prevista, deficit idrici non trascurabili si osservano per lo scenario a breve termine sia in assenza che in presenza delle sorgenti, essendo nel primo caso chiaramente superiori;
- d) per lo scenario a medio termine la domanda è in alcuni casi insoddisfatta, ma soltanto quando il contributo delle sorgenti non è tenuto in considerazione. A lungo termine, infine, per entrambe le ipotesi di assenza e presenza delle sorgenti non si riscontrano problemi di carenza idrica;
- e) sulla base dei risultati ottenuti, si può affermare che eventuali deficit idrici sono causati non dalla mancanza di risorsa (i Volumi in ingresso alla diga sono considerevoli), ma dalla capacità di invaso, che, a breve termine, andrebbe incrementata per garantire la disponibilità della risorsa. L'ipotesi, alquanto realistica, di incrementare il volume utile invasabile (da 15 a 25 Mm³) ha mostrato, infatti, una significativa riduzione del deficit nell'ipotesi di minima precipitazione prevista e l'annullamento dello stesso per le condizioni meno gravose (massima precipitazione prevista);
- f) infine va evidenziato che l'utilizzo della risorsa invaso a regime consentirebbe da sola di soddisfare la domanda urbana e irrigua permettendo di indirizzare il contributo delle sorgenti al soddisfacimento di utenze diverse da quelle attuali.

Sorgenti Scirca, Lupa e San Giovenale.

Tenendo conto degli scenari climatici forniti dai modelli di circolazione globale si sono definiti i relativi effetti per i sistemi idrogeologici alimentanti le sorgenti Scirca, Lupa e San Giovenale.

Il lavoro svolto, a causa delle incertezze sull'evoluzione futura del clima, non fornisce indicazioni univoche, ma un insieme di intervalli probabili delle portate medie annue e dei valori minimi di portata che ci si deve aspettare nei prossimi decenni.

- In generale, è previsto un aumento della temperatura fino ad un massimo di 2.5 °C per il 2070.
- a) Per tutti i sistemi e per ogni grandezza considerata (Q_{min} , Q_{med} , mesi continui con portata al di sotto di una certa soglia) gli intervalli ottenuti dai diversi scenari comprendono il valore che si è verificato in passato.
- b) Per tutti i sistemi si rileva un aumento della variabilità della portata e della piovosità, con un conseguente incremento degli eventi estremi, in termini di frequenza ed intensità.
- c) Per la sorgente Scirca, i diversi scenari forniscono indicazioni nel senso di un'evoluzione verso decenni con un aumento dell'aridità complessiva e una diminuzione delle portate medie annue.
- d) Per la sorgente/campo pozzi di San Giovenale, gli scenari mostrano per i prossimi decenni una portata in media di circa il 10% maggiore di quella dell'ultimo decennio, ma comunque minore di quella del periodo di riferimento 1961-1990 di circa il 7%.
- e) La sorgente Lupa ha, rispetto agli altri sistemi, un comportamento diverso, nel senso che la maggior parte degli scenari indica un incremento non trascurabile delle portate. Il valore più basso dell'intervallo di portate medie fornite dai vari scenari è sostanzialmente uguale a quello del periodo 1998 - 2012. Tale inaspettato risultato è stato verificato, e confermato, per via empirica tramite correlazione a scala annuale tra piogge e portate. Da un'analisi delle serie

sintetiche di pioggia risulta che queste hanno in generale una piovosità più alta di quelle reali passate: dato che la piovosità è il fattore principale che genera le portate, queste in generale aumentano.

- f) Con riferimento alla sorgente Lupa, rimane aperto quanto le serie sintetiche, nel loro insieme, riflettano la futura evoluzione della piovosità. Va rilevato che anche alcuni GCMs prevedono per l'Appennino Centrale un aumento della piovosità, e quindi bisogna riconoscere che il problema sull'attendibilità degli scenari è aperto.
- g) In via cautelativa si ritiene che gli Enti preposti alla gestione delle risorse idriche debbano tenere conto del limite inferiore degli intervalli forniti dalle simulazioni. In generale, si dovrebbe assumere, fino a concrete indicazioni contrarie, un decremento delle portate non inferiore al 15% di quelle dell'ultimo periodo. L'aumento della variabilità della pioggia, indipendentemente dal valore medio annuo, implica inoltre un aumento della probabilità di eventi estremi e quindi di periodi siccitosi, alternati a periodi più piovosi. Questo coerentemente con il concetto di "fattore di sicurezza" o "principio di cautela" e con quanto messo in evidenza in altri lavori di carattere generale: negli ultimi 3000 anni nel Mediterraneo i periodi caldi hanno corrisposto a periodi più aridi (cf. solo per esempio Dragoni, 1998, Ortolani & Pagliuca, 2003). Peraltro, un decremento complessivo molto probabile della piovosità nel Mediterraneo Occidentale è previsto, oltre che dall'IPCC (2013), anche da vari recenti lavori (cf., solo per esempio, Gao & Giorgi, 2008; Gualdi *et al.*, 2013; Schneider *et al.*, 2013).
- h) Risultati più chiari si sarebbero ottenuti se i dati a disposizione fossero stati più affidabili e continui. E' imperativo che la rete di rilevamento dei dati idrometeorologici venga migliorata e tenuta in funzione in maniera continua, e che studi simili al presente lavoro siano eseguiti con regolarità, man mano che nuovi dati e nuovi strumenti concettuali saranno disponibili.
- i) E' stato dimostrato che la risposta dei sistemi idrogeologici alle variazioni climatiche dipende non solo dalla variazione di T, P e uso del suolo, ma anche dalla struttura geologica dei sistemi (Cambi & Dragoni, 2000; Di Matteo *et al.*, 2013): è quindi necessario che i sistemi strategici siano noti in dettaglio, in termini di struttura idrogeologica e campo piezometrico. Nel caso specifico va sottolineato che sia la Lupa e, ancor più, San Giovenale sono poco conosciuti ed andrebbero meglio studiati, magari con uso di tecniche isotopiche e qualche stima delle conduttività idrauliche e dei coefficienti di immagazzinamento.

Acquifero Valle Umbra

La valutazione degli effetti degli scenari climatici sull'acquifero in oggetto è stata effettuata mediante un modello numerico alle differenze finite che simula il flusso idrico sia nell'acquifero freatico di Petrignano che in quello confinato di Cannara. Il modello è stato calibrato sulla base dei dati di precipitazione e altezze piezometriche disponibili; particolare attenzione è stata posta alla valutazione dei termini del bilancio idrico: infiltrazione efficace stimata mediante il modello di Thornthwaite-Mather, interazione falda-fiume, emungimenti. Per quanto riguarda l'interazione falda-fiume ed il bilancio idrico sono stati analizzati i dati di idrometria e portata disponibili presso il servizio idrografico della regione Umbria ed i dati di emungimento forniti da Umbra Acque. Il modello così calibrato è stato utilizzato per simulare le variazioni di altezza piezometrica e bilancio determinate da scenari di precipitazione e temperatura forniti dall'IRPI CNR, che provengono dalle serie climatiche di quattro modelli di circolazione globale. Per l'area di studio si è quindi giunti alle seguenti conclusioni:

- Lo scenario medio di precipitazione prevede una precipitazione media annua pari a 787 mm/anno nel periodo 2013-2068, cui corrisponde una diminuzione del 6.6% rispetto alla media delle precipitazioni annue osservate nel periodo 1957-2012 nella stazione di Bastia Umbra (843 mm/anno). Lo scenario più critico in termini di riduzione della precipitazione prevede una diminuzione della precipitazione pari all'11.0% (750 mm/anno)
- Lo scenario medio di temperatura prevede una temperatura media annuale nel periodo 2013-2068 pari a 16.4 °C, cui corrisponde un aumento del 18.0% rispetto alla temperatura media osservata nel periodo 1957-2012 nella stazione di Petrignano (13.9 °C). Lo scenario peggiore prevede un aumento della temperatura del 22.3% (temperatura stimata media del periodo: 17.0 °C)
- In termini di evapotraspirazione potenziale, calcolata con il metodo di Thornthwaite-Mather, tale aumento di temperatura determina un aumento di ETP da 778 mm/anno (media del periodo 1957-

2012) a 900 mm/anno (+15.7%) nel caso dello scenario climatico più probabile; nel caso dello scenario climatico peggiore l'aumento di ETP arriva fino a 975 mm/anno (+ 25.3%)

- In termini di infiltrazione efficace, che costituisce il termine di alimentazione all'acquifero preponderante, lo scenario medio prevede una diminuzione contenuta (-2.6%); lo scenario peggiore prevede una diminuzione di I_{eff} pari a - 14.6% . Gli scenari di ricarica all'acquifero ottenuti sono stati utilizzati come input per un modello di flusso dell'acquifero in condizioni stazionarie, opportunamente calibrato e validato. Si sottolinea che l'utilizzo di un modello stazionario permette di prevedere l'andamento della superficie piezometrica e del bilancio idrico su un orizzonte temporale al limite infinito e va quindi considerata una scelta cautelativa rispetto all'utilizzo di un modello in condizioni transitorie.
- Tutti gli scenari futuri simulati, anche quelli più critici, considerando il livello attuale di sfruttamento a scopo idropotabile (circa 700 l/s), sono risultati sostenibili.
- Lo scenario medio previsto includendo anche gli emungimenti a scopo irriguo (circa 300 l/s) risulta anch'esso sostenibile
- Le previsioni del PRRA sono di una netta riduzione dei prelievi per uso potabile (circa la metà dell'attuale). Le simulazioni svolte confermano la sostenibilità di tale livello di emungimento in tutti gli scenari climatici.
- Lo scenario peggiore previsto, considerando i valori attuali di emungimento dall'acquifero a scopo idropotabile e irriguo, appare piuttosto critico, pur se ancora sostenibile. Gli abbassamenti simulati risultano molto significativi (oltre i 20 m rispetto alla condizione indisturbata attuale) in particolar modo nell'area di Torchiagina. In linea generale è possibile concludere che dal punto di vista degli abbassamenti l'impatto degli emungimenti a scopo irriguo è più significativo nell'area della piana di Petrignano che nell'area della Valle Umbra sud. Si ritiene che in prospettiva futura e in un'ottica cautelativa di gestione sostenibile della risorsa, una diminuzione media complessiva della pressione sull'acquifero dagli attuali 1000 l/s a circa 700 l/s sia auspicabile.
- La diminuzione dell'alimentazione all'acquifero è compensata da una diminuzione equivalente delle portate drenate dal sistema idrico superficiale. Non è stato valutato se tale diminuzione del deflusso di base possa avere un impatto significativo sull'ecosistema connesso con i corsi idrici superficiali interessati. Si sottolinea, tuttavia, che nello scenario climatico peggiore considerato le portate erogate ai corsi d'acqua superficiali vanno quasi ad annullarsi. Gli effetti sugli ecosistemi acquatici e terrestri sostenuti dal flusso di base di tali corsi d'acqua sono certamente da considerare.

Valnerina: Analisi su base documentale

Per quanto concerne le sorgenti della Valnerina, ed in particolare per l'idrostruttura carbonatica M.Aspra-Monte Coscerno l'analisi documentale ha evidenziato:

- L'analisi dei dati meteo-climatici del periodo 1951-2012 mostra per l'area in esame una diminuzione delle precipitazioni pari a -2.3 mm/yr circa dal 1951 al 2012 (ovvero circa 140 mm/anno di P in meno in 60 anni) significativa al 90% e trend positivi significativi (al 99%) delle temperature di 0.06 °C e 0.07 °C dal 1990 al 2013 per le minime e le massime rispettivamente in accelerazione dopo il 1980. La ricarica stimata mostra un trend di $-12 \text{ L s}^{-1} \text{ yr}^{-1}$, non significativo al 90%. Questo corrisponderebbe ad una diminuzione del 20% circa nei 60 anni di osservazione, per cui la ricarica media annua sarebbe scesa dai 3800 l/s degli anni 1950 a circa 3100 l/s. Tale grandezza ha una forte variabilità interannuale (il dato medio annuo varia infatti da poco più di 1 m³/s a oltre 6 m³/s). Questo risultato, benché non significativo dal punto di vista statistico, non sembra del tutto trascurabile. Purtroppo, come descritto nei punti seguenti, non sono stati reperiti dati storici relativi alla portata delle sorgenti della Valnerina sufficienti per confermare l'effetto della diminuzione stimata per la ricarica sulla portata erogata, e quindi sulla risorsa disponibile. L'analisi dei dati storici disponibili relativi alla portata di magra erogata sia dal fiume Nera che dall'acquifero in esame (quest'ultima valutata sulla base delle misure di portata differenziali in alveo) non permette di evidenziare trend della portata significativi, anche a causa della già citata forte variabilità interannuale dei pochi dati sperimentali disponibili. Si sottolinea che le informazioni disponibili sono discontinue e di qualità non eccellente.

- Non sono stati reperiti studi che valutino gli effetti dei cambiamenti climatici sull'area di studio. Simulazioni svolte nel passato (Preziosi 2007) stimano gli effetti di ipotetici prelievi dalla falda sulla portata erogata al fiume e sui potenziali idraulici nell'arco di 30 anni. Poiché dal punto di vista modellistico una riduzione dell'afflusso equivale ad un prelievo, l'ipotesi di prelievo di 900 L/s equivale ad una riduzione di alimentazione di 120 mm annui, ovvero una riduzione della ricarica alle falde da 480 mm/yr a 360 mm/yr. Questa rappresenterebbe, in 30 anni, uno scenario climatico particolarmente severo (si tratta di ricarica netta), e comunque l'impatto sulla disponibilità di risorsa appare ancora relativamente contenuto.
- Le simulazioni svolte nel passato, con un modello matematico regionale sviluppato per finalità scientifiche, mostrano che per l'acquifero in esame un prelievo pari a circa un quarto della sua ricarica ha effetti contenuti sia sulla portata erogata (che evidentemente diminuisce nel tempo di un quantitativo pari al prelievo) sia sui potenziali idraulici. Tali effetti, in particolare alla scala locale, sono però da rivalutare attentamente in sede operativa con un modello numerico di simulazione del flusso sotterraneo sviluppato *ad hoc*. Gli effetti sia sulla portata erogata al fiume Nera sia sui potenziali idraulici di un prelievo di tale entità, sommati alla diminuzione della ricarica stimata in questo studio, andrebbero attentamente considerati.

Le crisi idriche in Umbria

La Regione Umbria è stata interessata, in particolare a partire dall'inizio degli anni 2000, da un susseguirsi ciclico di periodi siccitosi (2002-2007-2011) che hanno portato alla dichiarazione dello stato di emergenza.

Di seguito vengono descritti i dati salienti delle crisi idriche succedutesi e gli interventi attuati.

Crisi idrica 2002

Dall'analisi dei dati di pioggia basata su stazioni pluviometriche significative per rappresentare la situazione di tutto il territorio regionale, si è riscontrato nel periodo giugno 2001 –marzo 2002 un calo medio di precipitazione del 50% pari a mm. 360 rispetto ai 761 mm. medi che cadono in questo periodo; tali valori sono maggiormente critici nel comprensorio del Lago Trasimeno, in quanto in questa area il deficit ha raggiunto il 57% determinando un livello delle acque pari a meno 134 cm. rispetto allo zero idrometrico, posto a quota 257.88 m. s.l.m

A causa della scarsità delle precipitazioni manifestatesi in tale periodo, tutto il territorio regionale è stato interessato da una grave crisi idrica: i deflussi dei fiumi, i livelli delle falde e delle sorgenti hanno raggiunto in questi giorni valori mai toccati negli ultimi trenta anni, con gravi ripercussioni sugli approvvigionamenti idropotabili, irrigui e in particolare per il comprensorio del Lago Trasimeno con danni al comparto produttivo, all'ambiente e alla navigazione

Decisamente preoccupante è stato anche la condizione dei livelli delle sorgenti da cui si alimentano i principali acquedotti umbri, che erano ai livelli minimi storici con riduzioni rispetto all'inizio estate 2001, fino anche al 100 %, le falde sotterranee, pur mostrando abbassamenti significativi, hanno parzialmente sostenuto le attuali captazioni dai sistemi sorgentizi e garantito in parte l'erogazione del servizio idropotabile degli schemi idrici più rilevanti.

Tale situazione ha causato una grave crisi nel sistema dell'approvvigionamento idropotabile , il 92% della popolazione umbra è stata colpita dagli effetti di questa ' emergenza, 42 Comuni Umbri su 92 nei quali risiede il 65% della popolazione sono stati soggetti a turnazione del servizio idropotabile e/o costretti ad approvvigionarsi tramite autobotti.

Crisi idrica 2007

Il periodo gennaio 2006 – aprile 2007 è stato caratterizzato da una forte carenza di precipitazioni, mediamente in tutta la regione sono stati registrati 887 mm di pioggia anziché i 1196 mm che cadono mediamente nello stesso periodo (deficit di 309 mm pari al 25,8%).

Se si analizza l'intero ciclo idrologico dell'anno 2006, la carenza di precipitazioni diventa ancora più grave nel periodo ottobre-dicembre 2006; infatti, nel trimestre, sono piovuti solamente 121 mm contro i 308 della media (127 mm di pioggia in meno) con un deficit che supera il 60%. Questo deficit risulta

superiore a quello registrato nello stesso periodo del 2001, che ha poi portato alla dichiarazione di stato di calamità naturale nel 2002.

Il periodo gennaio - marzo 2007 è stato caratterizzato da precipitazioni nella media, mentre nel mese di aprile si è registrato un fortissimo deficit pluviometrico superiore all'82% (13,7 mm contro i 78,4 della media). Complessivamente il deficit del quadrimestre gennaio-aprile 2007 è superiore al 22%.

Per quanto concerne le acque sotterranee la sorgente di San Giovenale è passata dai 470 l/s del gennaio 2006 a 170 l/s, la sorgente di Bagnara è passata dai 270 l/s del gennaio 2006 a 20 l/s , tale diminuzione ha influenzato in maniera negativa gli approvvigionamenti dell'ATO 1.

La sorgente Lupa e è passata dai 250 l/s del gennaio 2006 a 70 l/s, tale diminuzione ha influenzato in maniera negativa gli approvvigionamenti dell'ATO 2.

La sorgente di Capodacqua è passata dai 150 l/s del gennaio 2006 ai 40 l/s, tale diminuzione ha influenzato in maniera negativa gli approvvigionamenti dell'ATO 3.

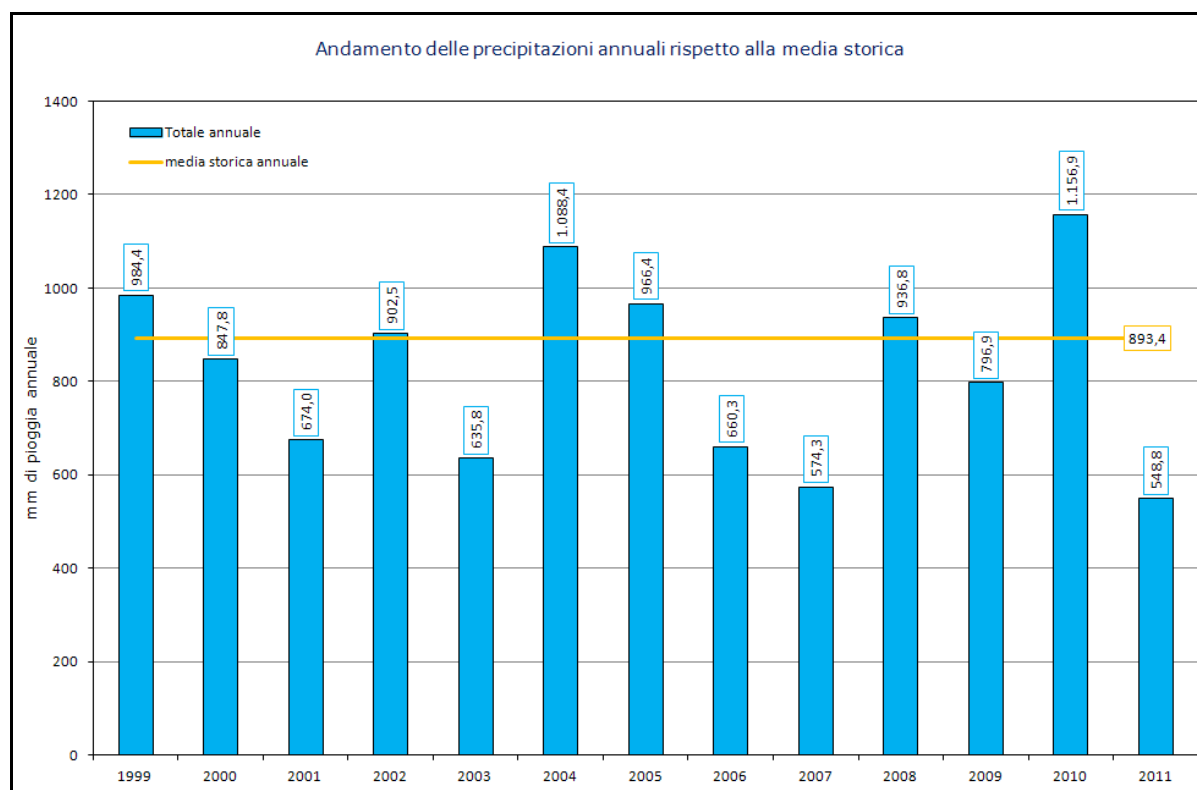
Questi valori dei deflussi delle sorgenti appenniniche sono stati molto vicini ai minimi storici registrati

Nel comprensorio del Lago Trasimeno nel periodo gennaio 2006 – giugno 2007 l'andamento delle precipitazioni è stato simile a quello del resto della regione, sono piovuti 794 mm contro i circa 1070 mm della media (deficit di 276 mm pari al 25,8%).

Crisi idrica 2011

A partire dal gennaio 2011 l'Umbria è stata nuovamente interessata da una situazione di crisi idrica dovuta ad una notevole scarsità di precipitazioni che, nei mesi di agosto e novembre 2001, ha fatto registrare deficit superiori anche al 90% rispetto alla media storica. Dopo un mese di aprile con precipitazioni sopra la media (+31,4%) ed un maggio in linea con i valori medi storici, nei mesi di giugno e luglio 2012 sono state registrate precipitazioni notevolmente inferiori alla media rispettivamente -63,3% e -60,7%. Anche nel mese di agosto 2012 le precipitazioni sono state inferiori alla media -22,0% (pari a 10,6 mm di pioggia in meno su tutto il territorio regionale).

Nel grafico seguente viene riportato l'andamento delle precipitazioni annuali, dal 2001 al 2011, rispetto alla media storica.



Esame delle portate delle sorgenti appenniniche

A titolo esemplificativo, di seguito sono evidenziati gli andamenti, in l/s, delle portate di alcune sorgenti che costituiscono le principali captazioni dei quattro ATI umbri. La tabella seguente contiene le portate del 31 agosto per gli anni dal 2006 al 2012. Come si può vedere i valori del 2012 sono stati quasi sempre notevolmente inferiori, e solo in alcuni casi confrontabili, rispetto a quelli degli anni precedenti.

	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
San Giovenale	149,5	275,7	402,4	259,8	265,4	137,7	325,4
Rasiglia Alzabove	158,6	241,7	318,7	254,4	228,1	213,6	300,5
Lupa	30,0	94,9	151,1	99,6	90,2	51,7	104,6
Bagnara	8,4	36,2	66,0	41,1	32,1	7,8	71,4
Capo d'Acqua di Nocera Umbra	55,4	54,7	83,2	68,0	69,3	45,4	71,1
Acquabianca di Foligno	16,0	28,1	46,2	27,8	30,2	29,7	44,3

Esame dei livelli di falda

A titolo esemplificativo, di seguito sono evidenziati gli andamenti, in metri rispetto al piano di campagna, dei livelli di falda dei principali acquiferi alluvionali regionali. La tabella seguente contiene i livelli di falda del 31 agosto per gli anni dal 2006 al 2012. Come si può vedere i valori del 2012 indicano rilevanti abbassamenti dei livelli rispetto a quelli degli anni precedenti.

	2012	2011	2010	2009	2008	2007	2006
pozzo comunale Petignano	33,93	29,04	27,38	29,12	32,19	32,03	27,83
pozzo Cannara ex Bonaca	11,12	8,37	6,61	8,20	9,27	9,98	7,45
pozzo Cannara R U	41,47	35,38	26,11	32,47	29,24	37,15	25,03
pozzo Gubbio Raggio Piccolo	41,98	21,00	20,58	25,10	40,78	41,50	20,70
pozzo Terni Maratta 2	5,56	5,70	6,09	6,90	6,85	7,83	6,69
pozzo Terni Lagarello 2	21,71	18,67	19,27	21,88	24,19	20,50	19,34

Lago Trasimeno

Il livello del lago al (31/08/2012) è stato pari a -140 cm, valore 56 cm al disotto rispetto a quello alla stessa data del 2011.

