

## IL BILANCIO IDROGEOLOGICO COME STRUMENTO PER UNA GESTIONE SOSTENIBILE DELLE IDROSTRUTTURE PUGLIESI

Michele Vurro, Ivan Portoghese, Annamaria De Girolamo

Istituto di Ricerca Sulle Acque, Sezione Territoriale di Bari, via F. De Blasio, 5 - 70123 Bari

### INTRODUZIONE

La pianificazione, la gestione e la protezione delle risorse idriche di un bacino costituisce un atto di grande impegno, ma anche di grande complessità; per ridurre in qualche modo quest'ultima è bene adottare un appropriato metodo operativo che consenta di individuare le varie fasi temporali, le azioni da svolgere ed i procedimenti da seguire nella maniera più razionale possibile ed evitando inutili sprechi e sovrapposizioni (IRSA, 1989). A tutti è ben noto che il Piano di bacino vuole affrontare problematiche connesse con la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per un razionale sviluppo economico e sociale e la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi. Si tratta pertanto di perseguire linee di sviluppo sostenibile.

In questo ambito uno strumento utile per la gestione ottimale della risorsa idrica è la valutazione del bilancio idrico, elemento di riferimento per i soggetti deputati a questo compito; tale bilancio assume una particolare importanza in regioni come la Puglia, dove la carenza di risorsa, le particolari caratteristiche morfologiche, geologiche, climatiche e la quasi assenza di idrografia superficiale hanno indotto negli anni uno sfruttamento intensivo delle risorse idriche sotterranee.

La presente nota riporta brevemente un modello di bilancio sviluppato presso l'IRSA ed i relativi risultati; successivamente descrive alcuni criteri di gestione utili a ridurre la pressione sulle acque sotterranee.

### IL BILANCIO IDROGEOLOGICO SVILUPPATO IN UN GIS

Il bilancio idrogeologico, messo a punto e presentato in dettaglio in due articoli (De Girolamo et al., 2001, 2002), considera l'intero sistema suolo-sottosuolo suddiviso in due sottosistemi interconnessi e posti in serie tra di loro: il primo è rappresentato dal suolo; il secondo dal sottosuolo (fig. 1).

Dal bilancio idrico del suolo è stata calcolata la ricarica naturale, come differenza tra gli ingressi al sistema (pioggia ed eventuale apporto irriguo) e le uscite (evapotraspirazione reale e deflusso superficiale). Successivamente è stato analizzato il bi-

lancio idrico del sottosuolo, valutando gli emungimenti per i diversi usi e gli scambi idrici sotterranei con altre unità idrogeologiche e con il mare. La stima degli emungimenti rappresenta un elemento cardine del bilancio del sottosuolo. Le portate emunte per uso potabile sono state quantificate sulla base dei dati forniti dall'Acquedotto Pugliese. La stima degli emungimenti per uso industriale è stata desunta da precedenti studi (Politec-

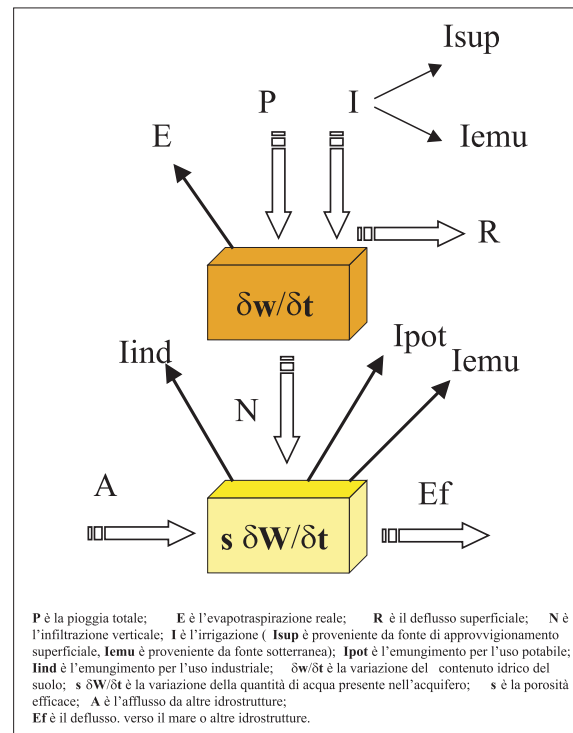


Figura 1 - Schema del Modello di Bilancio

lico di Bari, 2000). Gli emungimenti per uso irriguo sono stati stimati per via indiretta, non essendo disponibili dati certi circa le portate che i singoli operatori agricoli estraggono dalla falda. Il fabbisogno irriguo è stato ricavato sulla base dei valori dell'evapotraspirazione potenziale media mensile, calcolati con il modello Cropwat (Allen et al., 1998; Doorembos & Pruitt, 1975) in funzione delle colture presenti. La procedura si è sviluppata partendo dalle aree dove insistono colture considerate idroesigenti, in base alle caratteristiche clima-

tiche della Puglia. La localizzazione di tali colture è stata possibile utilizzando i risultati del progetto CORINE Land Cover (JRC, 1995) che riporta i diversi usi del suolo aggiornati al '94. Dal censimento ISTAT (1990) dell'agricoltura sono stati rilevati i dati relativi alle aree irrigate ed irrigabili. Sulla base dei dati suddetti sono state individuate le aree sicuramente irrigate, perché destinate a colture idroesigenti, e le aree destinate a quelle colture definite irrigabili, ossia parzialmente irrigate. Si è tenuto conto di entrambe le informazioni mediante un indice di parzializzazione dell'irrigazione. Successivamente sono state valutate le necessità idriche, quindi i volumi annui richiesti. Tali volumi sono stati attribuiti a risorse superficiali, ove disponibili, e nei rimanenti casi alla falda idrica sotterranea (Di Santo & Ranieri, 2000; INEA, 2001).

La metodologia è stata applicata a scala regionale con parametri distribuiti, considerando il mese come unità di tempo e il km<sup>2</sup> come cella di discretizzazione. Le equazioni del bilancio sono state implementate in un GIS e tutte le operazioni di sovrapposizione e di elaborazione sono state effettuate tramite l'utilizzo del modulo di analisi spaziale dell'ArcView (ESRI, 1996). Il procedimento è stato, pertanto, ripetuto per le unità idrogeologiche pugliesi. Il codice sorgente è una miscela di operazioni personalizzate GIS, attraverso l'uso del linguaggio di programmazione Avenue, di operazioni logico-matematiche (interrogazioni, Boolean e espressioni del calcolo) e funzioni matematiche connesse con le relazioni idrologiche (estrazione di acqua di suolo, generazione dello

scorrimento superficiale). L'interfaccia grafica è stata realizzata utilizzando lo standard ArcView. Il tool si apre come un comune progetto ArcView nel quale le procedure, i dati, le mappe e le operazioni sono immagazzinate secondo un percorso predefinito (Portoghese et al., 2003a). L'input consiste in:

- pioggia mensile (Dipartimento dei Servizi Tecnici, 1951-1994) e evapotranspirazione potenziale;
- tipo di suolo inclusa la percentuale di superfici impermeabili;
- vegetazione incluso informazioni sulla irrigazione e coefficienti culturali mensili, Kc;
- mappe del suolo incluso informazioni sullo spessore e sulle caratteristiche idrauliche (Regione Puglia, 1999, 2002);
- afflussi e efflussi da corpi idrici circostanti l'area di interesse.

A titolo esemplificativo la figura 2 mostra il calcolo della quantità di acqua per irrigare le colture presenti in un territorio prescelto e le relative statistiche, la figura 3 riporta il calcolo della ricarica naturale annua per l'intera regione Puglia, la figura 4 mostra il grado di saturazione di una zona della Penisola salentina in un determinato mese dell'anno.

## I RISULTATI

Il bilancio idrogeologico è stato effettuato considerando ciascuna idrostruttura nella sua globalità, introducendo uno o più termini complessivi per gli scambi di massa con altri corpi idrici (falda, mare). I risultati dettagliati, ottenuti considerando i valori medi del periodo osservato, sono stati riportati

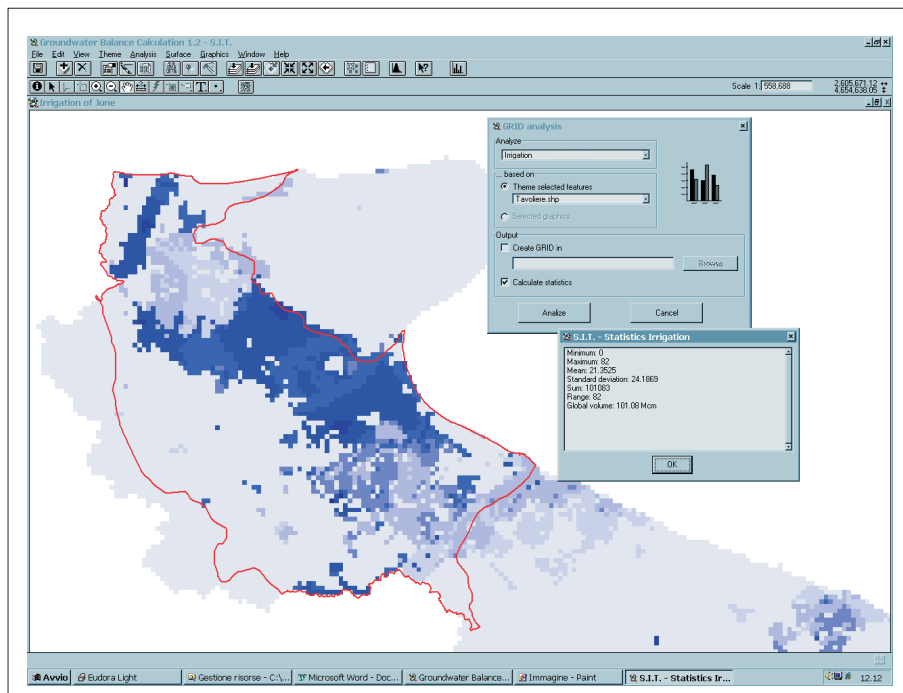


Figura 2 - Quantità annua di acqua per l'irrigazione- Statistica per una area selezionata [Portoghese et al., 2003a]

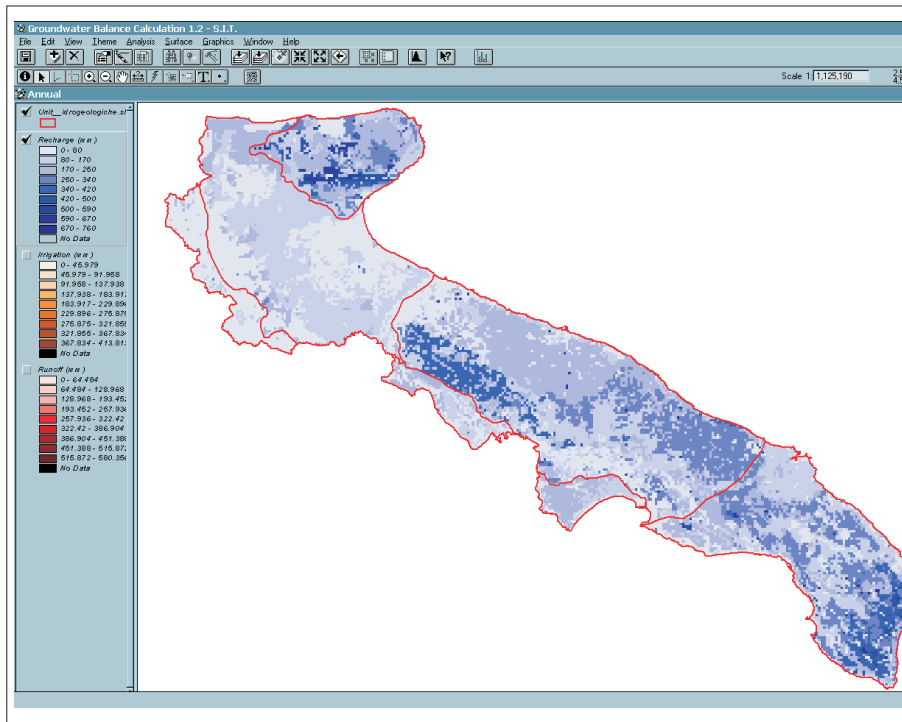


Figura 3 - Mappa della ricarica naturale annuale [Portoghese et al., 2003a]

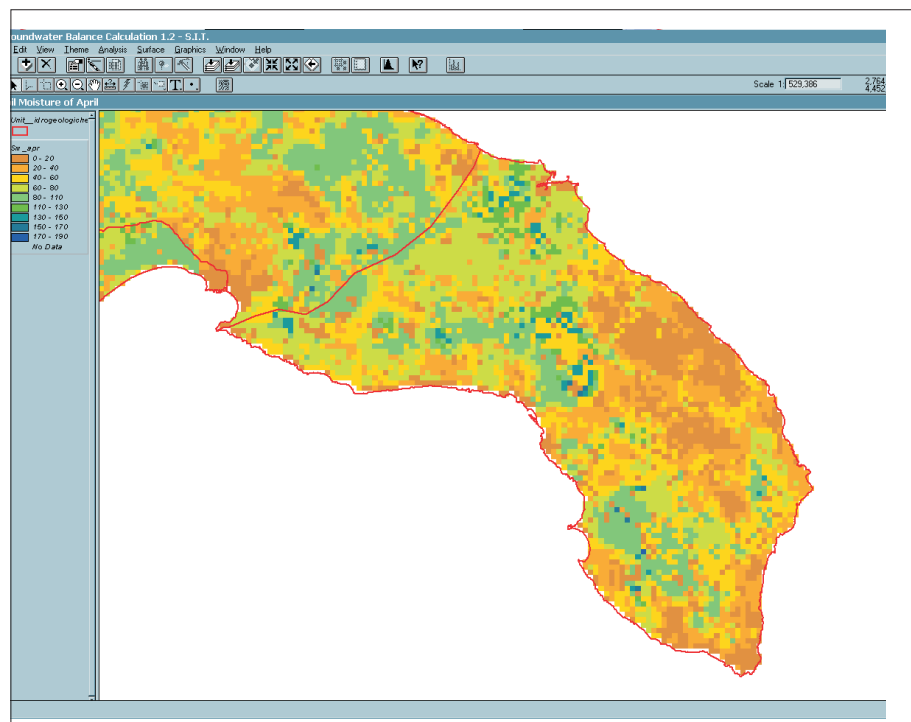


Figura 4 - Grado di saturazione di una zona della penisola salentina in un determinato mese dell'anno [Portoghese et al., 2003a]

tati in due articoli già pubblicati (De Girolamo et al., 2001, 2002), mentre in questa comunicazione si porrà l'attenzione allo scostamento di un anno di magra (il 1990) rispetto all'anno medio. La tabella 1 riporta sinteticamente i risultati ottenuti applicando il modello a dati climatici medi del periodo di riferimento considerato.

Per le Murge annualmente, in media, l'altezza di pioggia assume valori compresi tra 550 e 650

mm con l'80% delle precipitazioni concentrate nei mesi autunno-invernali, come risulta dai dati registrati nelle stazioni distribuite sui bacini idrografici della regione.

Attraverso i parametri climatici sono stati stimati i valori dell'evapotraspirazione potenziale che sono compresi tra 1070 e 1160 mm. L'ammontare della ricarica media annuale, riferita all'intera struttura idrogeologica, è stata valutata in

Unità Idrogeologica	Murge	Tavoliere	Arco Ionico	Salento
Superficie (km <sup>2</sup> )	6012	4737	485	4321
Pioggia totale (Mm <sup>3</sup> )	3547	2635	263,6	2787
Evapotraspirazione Reale (Mm <sup>3</sup> )	1885 (53,2%)	1462 (55,4%)	135,8 (51,5%)	1832 (65,7%)
Deflusso superficiale (Mm <sup>3</sup> )	592 (16,7%)	734,8 (28%)	61,5 (23,3%)	109 (4%)
Ricarica totale (Mm <sup>3</sup> )	1068 (30,1%)	439 (16,6%)	66,3 (25,2%)	846 (30,3%)
Emungimenti irrigui (Mm <sup>3</sup> )	204,3	443	62	192
Emungimenti potabili (Mm <sup>3</sup> )	32,7	0	0	84
Emungimenti industriali (Mm <sup>3</sup> )	97,5	0	0	72
Efflussi verso il mare (Mm <sup>3</sup> )	95+378	63	5	867
Apporto da altre Unità Idrogeologiche (Mm <sup>3</sup> )	0	0	0	284
Efflussi verso altre unità idrogeologiche (Mm <sup>3</sup> )	284	0	0	0
Deficit idrico (Mm <sup>3</sup> )	22,9	67	Circa 0	85

*Tabella 1 - I risultati del bilancio ottenuti per unità idrogeologica*

1068 Mm<sup>3</sup> concentrata nei mesi autunnali e invernali (ottobre-marzo), scarsa in settembre ed aprile, inesistente negli altri mesi; in novembre e in dicembre i valori si attestano intorno a 37 mm. Rispetto all'intero territorio regionale le Murge presentano valori di ricarica naturale consistenti dovuti alla particolare morfologia del territorio, alla litologia delle rocce affioranti e allo spessore esiguo dei terreni di copertura. Infatti, il volume della ricarica rappresenta il 44% della ricarica naturale calcolata sull'intero territorio regionale a fronte di una superficie del 38%. Nelle Murge, il deflusso in corrispondenza della costa, che si manifesta sia in forma concentrata che diffusa, è dell'ordine di 3 m<sup>3</sup>/s (Grassi & Tulipano, 1983). Gli emungimenti stimati nelle Murge per l'uso irriguo ammontano a 204 Mm<sup>3</sup>, mentre per l'uso potabile risultano pari a 33 Mm<sup>3</sup> e quelli per l'uso industriale sono stati valutati in 98 Mm<sup>3</sup>. Dall'analisi quantitativa sul sistema idrico murgiano emerge un deficit annuale medio di circa 23 Mm<sup>3</sup>. Lo stato di deficit è inoltre confermato dall'osservazione dell'andamento temporale di alcune grandezze idrologiche e chimiche relative alle acque sotterranee presenti nell'acquifero murgiano.

Annualmente, in media, l'altezza di pioggia nel Salento assume valori compresi tra 600 e 700 mm con l'80% delle precipitazioni concentrate nei mesi autunno-invernali. In particolare, le piogge tendono ad aumentare dal confine murgiano alla punta più estrema della penisola salentina, distribuendosi secondo fasce omogenee pressoché perpendicolari alle linee di costa. L'evapotraspirazione potenziale annuale è compresa tra 1050 e 1150 mm; la stessa diminuisce dal versante ionico a quello adriatico. I valori massimi si rilevano nel

mese di luglio, con punte superiori a 190 mm, mentre i valori minimi, compresi mediamente fra 30 e 35 mm, sono concentrati nei mesi invernali. L'ammontare della ricarica annuale, riferita all'unità idrogeologica del Salento, è stata stimata in circa 846 Mm<sup>3</sup> a fronte di un valore delle precipitazioni di circa 2787 Mm<sup>3</sup> e rappresenta circa il 30% delle piogge totali. La ricarica è concentrata nei mesi autunnali e invernali (ottobre-marzo), è scarsa in settembre ed aprile ed inesistente negli altri. I valori massimi, che mediamente si attestano intorno a 37mm, si rilevano nei mesi di novembre e dicembre. Gli emungimenti stimati per l'uso irriguo ammontano a 192 Mm<sup>3</sup>, mentre per l'uso potabile risultano pari ad 84 Mm<sup>3</sup> e quelli per l'uso industriale sono stati valutati in 72 Mm<sup>3</sup>. Nel Salento esiste un deflusso a mare diffuso su larghi fronti, in corrispondenza dei livelli rocciosi a elevata permeabilità, e manifestazioni sorgentizie di cospicua entità, in prossimità di soglie impermeabili. Numerosi studi condotti in passato, sia di tipo generale, ad esempio il PS14 (Cassa del Mezzogiorno, 1969), che di settore (Cotecchia & Tulipano, 1989; Stefanon & Cotecchia, 1969) hanno consentito, anche mediante tecniche di rilevamento con sistema termovisivo all'infrarosso, l'individuazione degli efflussi costieri su questa area (Cotecchia et al., 1978; Tulipano, 1988). La stima della portata complessivamente drenata è stata determinata mediante confronto con sorgenti di portata nota (Chidro, Boraco, etc.) ed è certamente superiore a 25-30 m<sup>3</sup>/s (Cotecchia, 1979). Dall'analisi quantitativa sul sistema idrico salentino emerge un deficit idrico annuale medio di circa 85 Mm<sup>3</sup>. Anche in questa unità idrogeologica lo stato di deficit è confermato dall'osservazione dell'an-

damento temporale di alcune grandezze idrologiche e chimiche delle acque sotterranee presenti nell'acquifero salentino.

L'Arco Ionico è caratterizzato da valori medi annui di pioggia compresi tra 500 mm e 550 mm. L'evapotraspirazione potenziale annua è compresa tra 1150 mm e 1200 mm, con punte massime di 187 mm nel mese di luglio. La ricarica media annua ammonta a 66 Mm<sup>3</sup> che, a fronte di un volume di pioggia media annua di 264 Mm<sup>3</sup> risulta pari al 25%.

La falda superficiale è nettamente distinta da quella profonda, dato l'assetto geologico; pertanto, le precipitazioni ricaricano esclusivamente la falda idrica superficiale.

Le portate emungibili per pozzo variano fino ad un massimo di 30 l/s circa, in funzione del grado di permeabilità e dello spessore dell'acquifero (Maggiore, 1993).

Da un esame delle colture presenti nella zona, con la metodologia precedentemente descritta, sono stati stimati i fabbisogni irrigui che ammontano a 90 Mm<sup>3</sup>. Gli emungimenti potrebbero essere sottostimati, in quanto calcolati per un uso del suolo riferito al 1994.

Attualmente, grazie all'utilizzazione dei deflussi del Bradano e del Sinni, i consorzi forniscono, attraverso una rete di distribuzione, un volume annuo di 28 Mm<sup>3</sup> (Di Santo & Ranieri, 2000). Il deficit tra il fabbisogno irriguo e la disponibilità, da fonte idrica superficiale ammonta a circa 62 Mm<sup>3</sup>: questo viene soddisfatto attraverso prelievi da falda. Negli ultimi anni, infatti, nella zona sono stati realizzati numerosissimi pozzi che attingono dagli acquiferi superficiale e profondo. Come è possibile rilevare dai dati relativi alle autodenunce (L.R.18/99) e alle autorizzazioni presentate al Genio Civile di Taranto, i pozzi sono circa 16.000 per l'intera provincia. Nell'idrostruttura in esame ricadono i territori comunali di Ginosola, Castellaneta, Palagiano, Palagianello e Massafra con circa 6.000 pozzi che attingono per la maggior parte alla falda idrica superficiale. Risulta opportuno evidenziare che i dati sui pozzi censiti non sono completi, per cui non è possibile rilevare le reali portate emunte, ma solo operare una stima attendibile delle stesse. Si può quindi, concludere che la falda superficiale rimane sostanzialmente in equilibrio.

La Capitanata è una delle zone più calde e, allo stesso tempo, delle meno piovose della penisola. I valori medi annui delle altezze di pioggia sono compresi tra 450 mm e 550 mm. L'evapotraspirazione potenziale annua, a causa delle alte temperature estive, è compresa tra 1140 mm e 1200 mm, con punte massime di 195 mm nel mese di luglio.

Applicando la metodologia in esame, la ricarica media annua ammonta a 439 Mm<sup>3</sup> che, a fronte di un volume di pioggia media annua di 2635 Mm<sup>3</sup>, risulta pari al 17%. Nel Tavoliere la circolazione idrica nell'acquifero superficiale, in alcune zone, è frazionata su più livelli che risultano idraulicamente interconnessi, in modo da costituire un insieme di vasi comunicanti, in un sistema molto complesso dotato di litotipi con permeabilità diversa (Ippolito et al., 1958). Le colture presenti nella zona necessitano di un fabbisogno irriguo che ammonta a circa 550 Mm<sup>3</sup>, come risulta dalla metodologia implementata, quindi i 140 Mm<sup>3</sup> distribuiti dal Consorzio non sono sicuramente sufficienti a soddisfare la richiesta idrica per uso irriguo dell'intera superficie attrezzata. La differenza tra richiesta irrigua e i volumi erogati da fonti superficiali viene soddisfatta attraverso prelievi da falda che non sono sufficienti e quindi emerge un sovrappiù della falda idrica sotterranea.

In conclusione i risultati dell'approccio metodologico utilizzato sembrano affidabili e consentono di evidenziare un deficit di risorsa generalizzato. Infatti, per le Murge ed il Salento, l'abbassamento dei livelli piezometrici e l'aumento della salinità riscontrati in punti di controllo localizzati negli acquiferi, confermano il deficit emerso dal calcolo del bilancio e mostrano il degrado qualitativo legato essenzialmente alla contaminazione salina. Ugualmente preoccupante è la situazione del Tavoliere, dove, da diversi anni, si sta attingendo massicciamente dal sottosuolo, intaccando pesantemente il volume della falda idrica sotterranea e non rispettando le condizioni di equilibrio della stessa. Gli sfruttamenti eccessivi, infatti, hanno indotto, anche in questa idrostruttura, un notevole abbassamento dei livelli piezometrici; a questi devono aggiungersi i rischi di degrado del suolo agrario legati all'utilizzo in agricoltura di acque con contenuti salini elevati.

Vista l'affidabilità del modello sono state effettuate alcune simulazioni di scenario; in particolare è stato scelto un anno siccitoso, il 1990, e sono stati analizzati i risultati di tali simulazioni. In tale anno la riduzione della pioggia media su tutta la regione rispetto alla media di tutto il periodo è stata pari al 30%. La tabella 2 riporta le variazioni percentuali anche delle altre grandezze in gioco; si può notare che la ricarica si riduce praticamente del doppio e ovviamente l'irrigazione cresce con ulteriore incremento della pressione sulle falde idriche sotterranee. Questa amplificazione del fenomeno è dovuta alla non linearità del fenomeno, infatti il serbatoio suolo tende a smorzare le punte, gli effetti più evidenti, in caso di incremento della precipitazione, ma riduce l'infiltrazione in caso di

<i>Variazioni percentuali - anno medio vs anno 1990</i>	pioggia	Etr-Irrigazione	Deflusso	Ricarica	Irrigazione
Tavoliere	-30%	-15%	-57%	-67%	30%
Arco Ionico	-30%	-16%	-52%	-59%	22%
Murge	-30%	-13%	-55%	-56%	26%
Salento	-30%	-15%	-53%	-53%	25%

Tabella 2 - *Variazioni percentuali di alcune grandezze idrologiche tra l'anno medio ed un anno siccitoso*

riduzione della piovosità. La figura 5 riporta la differenze in termini volumetrici delle differenti grandezze tra l'anno medio ed il 1990. Si può notare come la ricarica si riduce drasticamente ed il conseguente incremento dell'irrigazione in presenza di anni siccitosi. Si può pertanto concludere che gli effetti sulle falde di una siccità idrologica si ripercuote per l'anno in corso e sicuramente per gli anni successivi (Portoghesi et al., 2003b).

#### POSSIBILI CRITERI DI GESTIONE

I risultati descritti precedentemente e quelli riportati in precedenti memorie (De Girolamo et al., 2001, 2002) testimoniano una forte pressione esercitata sulle risorse idriche sotterranee della Puglia a seguito di emungimenti dalle falde idriche sotterranee mediamente superiori ai valori di ricarica media annua. Infatti, negli acquiferi carbonatici costieri l'intrusione salina è in costante avanzamento mentre in quelli porosi si sono registrati consistenti abbassamenti del livello piezometrico.

Si rende, quindi, necessario mettere in essere

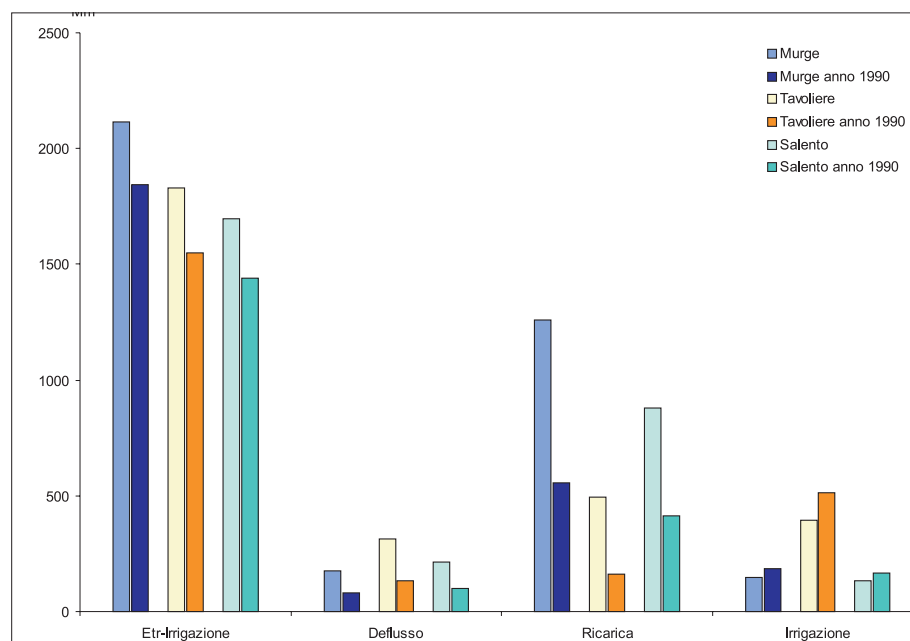
alcune scelte pianificatorie alternative, il cui obiettivo è ripristinare lo stato di equilibrio delle falde.

Le misure tecnicamente attuabili possono essere le seguenti:

- riutilizzo delle acque reflue depurate;
- approvvigionamento idrico da regioni limitrofe;
- riduzione delle perdite;
- eliminazione degli sprechi mediante adozione di sistemi irrigui efficienti;
- adozione di una politica tariffaria che consideri l'acqua un bene prezioso, quindi basata sull'effettivo consumo e non a corpo;
- adozione di colture idonee alle disponibilità idriche.

Il recupero delle acque reflue assume particolare importanza per le considerevoli quantità disponibili. Sebbene debbano essere ancora superati alcuni problemi di carattere economico e tecnico, il riuso rappresenta un percorso ormai obbligato. Si ritiene opportuno evidenziare, a tale proposito, che la disciplina del riutilizzo irriguo delle acque è

Figura 5 - *Confronto tra anno medio e anno siccitoso (1990) delle grandezze idrologiche significative, in Mm<sup>3</sup>*



stata fortemente penalizzata. E' ben noto, infatti, che a seconda della fonte di approvvigionamento (acque di fiume o acque depurate), l'irrigazione utilizza acque con tassi di inquinamento ben differenti, talvolta per ordini di grandezza. Quindi, si ritiene opportuno individuare valori di concentrazioni limite per il riutilizzo validi per il tipo di coltura e di distribuzione e più rispondenti ai criteri di economicità e affidabilità tecnica dei trattamenti.

Un consistente quantitativo potrebbe essere fornito da acque superficiali provenienti soprattutto da fonti extraregionali mediante la realizzazione di invasi, di traverse e di adduttori in grado di soddisfare almeno i fabbisogni attuali. Da tutto ciò si rende più che mai urgente raggiungere un accordo di programma con il Molise e attuare gli interventi individuati e previsti nell'accordo di programma con la Basilicata (Di Santo & Ranieri, 2000).

Un ulteriore contributo alla riduzione del deficit può essere fornito dalla limitazione delle perdite e degli sprechi (es. azzerare gli sfiori dei serbatoi di regolazione, limitare le perdite distribuite attraverso la rete ormai obsoleta). Un elemento fondamentale è il miglioramento dell'efficienza irrigua; è noto che un costante processo di trasformazione dai sistemi irrigui tradizionali a sistemi più moderni ed efficienti è in atto. Nonostante queste trasformazioni, nella sola Capitanata, circa il 30% delle colture viene ancora irrigato con metodi scarsamente efficienti.

Si ritiene di poter ridurre il deficit anche attraverso una politica tariffaria che miri al risparmio ed alla salvaguardia della risorsa mediante modificazioni comportamentali da parte degli utenti finali. Questa politica potrà mettere in evidenza la possibilità di ottenere incentivi economici per chi utilizza metodi e strumenti coerenti con la protezione ambientale, mentre potrà introdurre tasse per chi produce senza considerare l'ambiente. La comunità internazionale ha messo a punto elementi normativi e gestionali coerenti con questa impostazione al fine di avviare una svolta indispensabile per progredire nella direzione di uno sviluppo sostenibile, come previsto dalla Direttiva Europea sulle Acque.

Pertanto le ipotesi tecniche finalizzate all'annullamento dei deficit idrici riscontrati in ciascuna idrostruttura vengono affrontate considerando la fattibilità tecnica e le vocazioni economiche del territorio di riferimento (ordinamenti culturali, pratiche agricole, etc.)

Le misure individuate prevedono di perseguire la strada del riutilizzo delle acque reflue, dopo gli opportuni trattamenti, di completare gli schemi di adduzione in fase di realizzazione e quelli previsti

e, infine, di favorire politiche mirate al risparmio idrico (riduzione delle perdite e degli sprechi). Dall'analisi dei volumi in ingresso agli impianti di depurazione presenti nella regione sono stati stimati per ciascuna idrostruttura i quantitativi utili al riuso in agricoltura. Tali risorse consentono di azzerare il deficit solo nelle Murge. Nel Tavoliere e nel Salento, invece, l'eliminazione del deficit richiede un ulteriore e cospicuo apporto da fonti extraregionali; per il Salento attraverso la realizzazione di una opera di adduzione e per il Tavoliere mediante la realizzazione di infrastrutture, alcune peraltro già previste. Gli emungimenti dalla falda potrebbero essere ridotti anche considerando la possibilità di utilizzare cascami di energia per la dissalazione di acqua di mare (Di Santo, 2001). Allo stato attuale questo tipo di approccio necessita di studi ed approfondimenti.

## CONCLUSIONI

Lo sfruttamento indiscriminato delle risorse idriche sotterranee, come ben noto, è un fenomeno piuttosto diffuso in Puglia a causa della crescente richiesta di acqua per i diversi usi. Pertanto, è più che mai indispensabile impedire il depauperamento delle risorse mediante una pianificazione sostenibile ed un monitoraggio attento del territorio, che, necessariamente, devono avere come base di partenza un quadro conoscitivo dettagliato e sintetico. La metodologia, utilizzando un modello di bilancio distribuito implementato in un sistema GIS, è stata validata su alcune idrostrutture campione della Puglia aventi caratteristiche differenti.

I risultati dell'approccio metodologico utilizzato sembrano affidabili e consentono di evidenziare un deficit di risorsa generalizzato. Infatti, per le Murge ed il Salento, l'abbassamento dei livelli piezometrici e l'aumento della salinità riscontrati in punti di controllo localizzati negli acquiferi, confermano il deficit emerso dal calcolo del bilancio e mostrano il degrado qualitativo legato essenzialmente alla contaminazione salina.

Ugualmente preoccupante è la situazione del Tavoliere, dove, da diversi anni, si sta attingendo massicciamente dal sottosuolo, intaccando pesantemente il volume della falda idrica sotterranea e non rispettando le condizioni di equilibrio della stessa. Gli sfruttamenti eccessivi, infatti, hanno indotto, anche in questa idrostruttura, un notevole abbassamento dei livelli piezometrici; a questi devono aggiungersi i rischi di degrado del suolo agrario legati all'utilizzo in agricoltura di acque con contenuti salini elevati.

Si rende indispensabile una limitazione degli emungimenti, che consenta un ripristino delle con-

dizioni di equilibrio della falda. La necessaria riduzione degli emungimenti, però, si scontra con le esigenze economiche del territorio in esame. Il presente lavoro mette in evidenza alcune strategie per la riduzione del deficit attraverso una politica di gestione, che consenta di utilizzare al meglio le risorse disponibili e al tempo stesso di salvaguardare i corpi idrici sotterranei.

### RINGRAZIAMENTI

La ricerca è stata realizzata nell'ambito della convenzione stipulata tra IRSA e Regione Puglia mirante al completamento della fase conoscitiva finalizzata alla redazione del Piano di bacino regionale.

Si ringraziano il dott. E. Barca e il dott. D. Lamacchia per il contributo dato nella informatizzazione dei dati e nello sviluppo della banca dati a servizio del GIS ed il dott. P.P. Limoni per le interpretazioni geologiche e chimiche dei dati utilizzati nel GIS.

### BIBLIOGRAFIA

Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998). *Crop evapotranspiration guidelines for computing crop water requirements*. Rome, FAO Irrigation and drainage paper 56, 300.

Cassa del Mezzogiorno, (1969). Piano speciale 14: rilievo aereo infrarosso Puglia.

Cotecchia V., Tadolini T., Tulipano L. (1978). *Ground water temperature in the murgia karst aquifer*. International Symposium on Karst Hydrology. Budapest.

Cotecchia V. (1979). *Survey and monitoring ground-water in salinity problems in steams using automatic radioisotope gauges*. J. Hydrol., 47 (UNESCO Ihp Project 5.6.).

Cotecchia V., Tulipano L. (1989). *Le emergenze a mare, individuate anche con tecniche di telerilevamento, come vettori di carichi inquinanti dagli acquiferi carbonatici e carsici pugliesi all'ambiente costiero*. 1° Workshop Progetto Strategico Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno. Taormina, 11 dicembre 1989.

De Girolamo A.M., Limoni P.P., Portoghese I., Vurro M. (2001). *Impiego di tecniche GIS per la valutazione e rappresentazione del bilancio idrogeologico a scala regionale. Applicazione alla Penisola salentina*. L'acqua, 2, 57-70.

De Girolamo A.M., Limoni P.P., Portoghese I., Vurro M. (2002). *Il bilancio idrogeologico delle idrostrutture pugliesi: sovrasfruttamento e criteri di gestione*. L'acqua, 3, 33-45.

Di Santo A., Ranieri M. (2000). *Studi propedeutici all'accordo di programma Puglia-Basilicata per la gestione delle risorse idriche*. L'acqua, 2, 65 – 76.

Di Santo A. (2001). *Comunicazione personale*.

Doorembos J., Pruitt W. O. (1975). *Guidelines for predicting crop water requirements*. FAO Irrigation and drainage paper 24, Roma, 179.

Dipartimento dei Servizi Tecnici, Servizio Idrografico e Mareografico, Dipartimento di Bari, (1951-1994). *Annali Idrologici*. Poligrafico dello Stato, Roma.

ESRI, (1996). GIS ArcView Version 3.1.

Grassi D., Tulipano L. (1983). *Connessioni tra assetto morfostrutturale della Murgia (Puglia) e caratteri idrogeologici della falda profonda verificati anche mediante l'analisi della temperatura delle acque sotterranee*. Geologia Applicata e Idrogeologia. Vol. XVIII, Bari, 135-153.

INEA (2001). *Stato dell'irrigazione in Puglia*. Studio sull'uso irriguo della risorsa idrica sulle produzioni agricole irrigate e sulla loro redditività.

Ippolito F., Cotecchia V., De Marchi G., Dentice R. (1958). *Indagine sulle acque sotterranee del Tavoliere*. Puglia, Roma, Cassa per il Mezzogiorno, 56.

ISTAT (1990) Censimento dell'agricoltura.

Istituto di Ricerca sulle Acque, (1989). *Pianificazione delle risorse idriche del bacino del Po: criteri e linee guida*. Quad. IRSA 86.

Joint Research Centre (1995). *Corine land cover*. ISPRA, Italy.

Legge regionale n. 18, (1999). *Ricerca ed utilizzo delle acque sotterranee pugliesi*. Boll. Uff. Reg. Puglia n. 94 del 08/09/1999.

Maggiore M. (1993) *Hydrogeological aspects of apulian aquifers related to artificial recharge*. Quad. IRSA n. 94, 6.1-6.32.

Politecnico di Bari - Dipartimento di Ingegneria delle Acque, (2000). *Relazione generale della convenzione: programma delle attività connesse con la redazione dei Piani di Bacino Fase Conoscitiva*. Bari, maggio.

Portoghese I., Uricchio V., Vurro M. (2003a). *A GIS tool for hydrogeological balance evaluation at regional scale*. Semi-arid environments. Computer & Geosciences, (accettato per la pubblicazione).

Portoghese I., Giuliano G., Vurro M. (2003b). *Groundwater safe yield in semi-arid regions*. EGS-AGU-EUG joint assembly, Nice, France, april.

Regione Puglia (1999). *Progetto ACLA 1*.

Regione Puglia (2002). *Progetto ACLA 2*.

Stefanon S., Cotecchia V. (1969). *Prime notizie sulle caratteristiche di efflusso e sulle modalità di investigazione delle sorgenti subacquee ai fini di una loro captazione*. Quaderno 58, Roma, CNR - Istituto di Ricerca sulle Acque.

Tulipano L. (1988). *Temperature logs interpretation for identification of preferential flow pathways in the coastal carbonatic and karstic aquifer of the salento peninsula (Southern Italy)*. 21<sup>th</sup> Congress I.A.H. Karst hydrogeology and karst environmental protection. Guilin (China).