

METODOLOGIE SPEDITIVE PER LA VALUTAZIONE DEL RISCHIO DI DEGRADO QUANTITATIVO E QUALITATIVO DELLE ACQUE SOTTERRANEE DELLA PUGLIA

*Polemio M. *, Dragone V. *, Limoni P.P. **, Romanazzi A. ****

Consiglio Nazionale delle Ricerche - Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica (CNR-IRPI)

*CNR-IRPI Bari, **CNR-IRPI Bari – Iscritto n. 97 Elenco Speciale Ordine dei Geologi della Puglia,

***Dottorando presso DISAAT - Università degli Studi di Bari

RIASSUNTO

La prevalente natura carsica del territorio limita la disponibilità di risorse idriche superficiali e conferisce valore particolare alle acque sotterranee della Puglia. Pregevoli per qualità, le acque sotterranee degli acquiferi pugliesi sono state prelevate in misura crescente a partire dai primi decenni del secolo scorso. La crescita dei prelievi ha sottoposto a notevoli “sollecitazioni” il sistema idrogeologico pugliese, dando concretezza ai rischi di degrado sia quantitativo sia qualitativo, rischi tra loro legati nel caso degli acquiferi costieri, quali sono quelli principali pugliesi.

L'articolo descrive, con intenzionale brevità, i principali antefatti normativi che hanno regolamentato e regolamentano l'utilizzo delle acque sotterranee pugliesi, ponendo l'attenzione sugli obiettivi che occorre perseguire per coniugare il massimo soddisfacimento della domanda idrica con la duratura tutela di tali preziose risorse naturali e degli equilibri ecologici connessi.

Per dare forza agli strumenti di gestione e di controllo e definire chiari obiettivi di tutela è necessario conoscere in modo quantitativo ed accurato quali siano i rischi reali. A questo fine si descrivono brevemente alcuni approcci metodologici accomunati dalla semplicità e dalla ripetibilità delle procedure in contesti non prioritariamente scientifici.

L'articolo descrive la variazione della disponibilità delle acque sotterranee pugliesi, fondamentalmente discutendo l'andamento dei trend piezometrici e delle portate delle sorgenti (minore attenzione è data al Gargano, per la scarsa disponibilità di dati, e al Tavoliere, per la minore qualità delle acque sotterranee). In sintesi, si osserva una tendenza alla riduzione della disponibilità spiccata ma, per fortuna, non monotona. Tale tendenza è solo in parte giustificabile in relazione alle modificazioni climatiche, che di certo hanno causato un calo della ricarica a partire dagli anni ottanta. Gli effetti più macroscopici riguardano la Murgia e il Tavoliere; rilevanti gli effetti in Salento, in particolare in relazione all'enfatizzazione dei rischi connessi all'intrusione marina.

Per la valutazione dell'evoluzione del fenomeno dell'intrusione marina si descrive il criterio a soglia,

che persegue l'individuazione del valore di soglia della salinità tra le acque sotterranee dolci e le acque sotterranee contenenti sia pure minime aliquote di acque saline di intrusione marina. Per le acque sotterranee degli acquiferi carbonatici pugliesi detta soglia è risultata pari a circa 0,5 g/l. A partire da tale soglia, si effettua un'analisi spazio-temporale, che permette di individuare le aree soggette a diversa vulnerabilità all'intrusione marina e di discriminare dove i rischi di degrado qualitativo sono più gravi.

In ogni caso emerge la drammaticità degli effetti dell'intrusione marina nel Salento e la presenza di estese porzioni del territorio della Murgia e del Salento a rischio di degrado qualitativo per intrusione marina.

L'articolo si conclude con alcune considerazioni sulla possibile implementazione delle conoscenze descritte in criteri di gestione delle acque sotterranee pugliesi.

INTRODUZIONE

Attualmente l'approvvigionamento potabile per il 75% della popolazione dell'Unione Europea è garantita dalle acque sotterranee (COST, 2005). Questo è solo tra i principali motivi per cui la tutela di questa risorsa naturale è al centro di numerose iniziative e direttive a scala europea. D'altra parte il sottosuolo custodisce una importante aliquota di acqua dolce, solo in modesta parte rinnovata dal ciclo idrologico, a prescindere dalle modificazioni climatiche in atto. L'entità dei prelievi sotterranei e la relativa sostenibilità è quindi un tema di grande rilievo. Indipendentemente dalle previsioni degli effetti delle modificazioni climatiche sui quantitativi di risorse idriche sotterranee disponibili, non vi è dubbio che si osserva un progressivo aumento del consumo idrico e una crescente difficoltà nel soddisfacimento della domanda idrica per i diversi usi, sia a scala globale che nazionale e locale.

La disponibilità non può peraltro prescindere dalla qualità delle risorse disponibili. Se per semplicità non considerassimo gli effetti dell'inquinamento propriamente detto, nell'area del bacino del Mediterraneo l'intrusione marina è motivo di degrado qualitativo delle acque degli acquiferi costieri di Spagna, Francia, Slovenia, Malta, Croazia, Grecia, Turchia e Italia, con

particolare riferimento agli acquiferi carsici costieri di Friuli, Sardegna, Sicilia e Puglia. La peculiarità degli acquiferi costieri, quali quelli principali pugliesi, è che il calo della disponibilità, reso esplicito dal calo piezometrico, induce un peggioramento qualitativo delle acque sotterranee per incremento della salinità, a seguito degli effetti dell'intrusione marina.

Per quanto riguarda la Puglia, per la scarsità delle acque superficiali, disponibili solo nel Tavoliere, le acque sotterranee costituiscono una risorsa fondamentale per la crescita socio-economica. Le modificazioni climatiche hanno comportato un calo della ricarica, osservato in particolare dal 1980 in poi in tutta l'Italia meridionale, che si è sovrapposto a un crescente utilizzo delle acque sotterranee pugliesi, rendendo sempre più realistici i rischi di degrado quantitativo (Polemio e Casarano 2008, Polemio et al. 2010). Il calo della disponibilità è di per se un fattore che può enfatizzare i rischi di degrado qualitativo a causa del fenomeno dell'intrusione marina, rischi che devono essere caratterizzati con la massima cura (Polemio et al. 2009a).

La scarsità di corpi idrici superficiali e la provvidenziale ricchezza della circolazione idrica sotterranea espongono le acque sotterranee al rischio di prelievi diffusi e complessivamente eccessivi, non tanto per l'uso potabile quanto per quello irriguo. L'entità complessiva dei prelievi, la posizione dei pozzi nonché la geometria di ciascun pozzo e la relativa portata emunta sono fattori che possono risultare significativi per preservare le acque sotterranee dolci dal degrado qualitativo per intrusione marina. Tale fenomeno di degrado

si può infatti produrre per un spostamento delle acque saline di intrusione marina che potremmo definire laterale o prevalentemente orizzontale, dalla costa verso l'interno, per l'effetto complessivo dei fenomeni che determinano l'entità del flusso idrico sotterraneo di acque dolci, e/o verticale, per il richiamo dall'alto esercitato anche da un singolo pozzo.

Se questo è il contesto, le conoscenze disponibili, alla cui divulgazione questo articolo vuole contribuire, devono essere utilizzate per la definizione e l'applicazione rigorosa dei migliori criteri di gestione (Figura 1), per coniugare la duratura tutela di tali preziose risorse naturali e degli equilibri ecologici connessi con il massimo soddisfacimento della domanda idrica, nell'interesse della crescita socio-economica delle comunità pugliesi. Tali criteri di gestione dovrebbero abbracciare sia la visione sinottica del complesso dei prelievi che la cura progettuale, esecutiva e di esercizio di ciascun pozzo di prelievo, coinvolgendo adeguatamente e obbligatoriamente le professionalità più competenti.

EVOLUZIONE DELLA NORMATIVA INERENTE LA GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE

Focalizzando l'attenzione sull'attività normativa italiana degli ultimi cinquant'anni, un importante tentativo di definire strumenti di gestione delle risorse idriche sotterranee fu realizzato con la legge 319/76, nota anche come "Legge Merli", che impose la definizione su base regionale di piani di risanamento delle acque. Iniziava così la stagione del decentramento alle

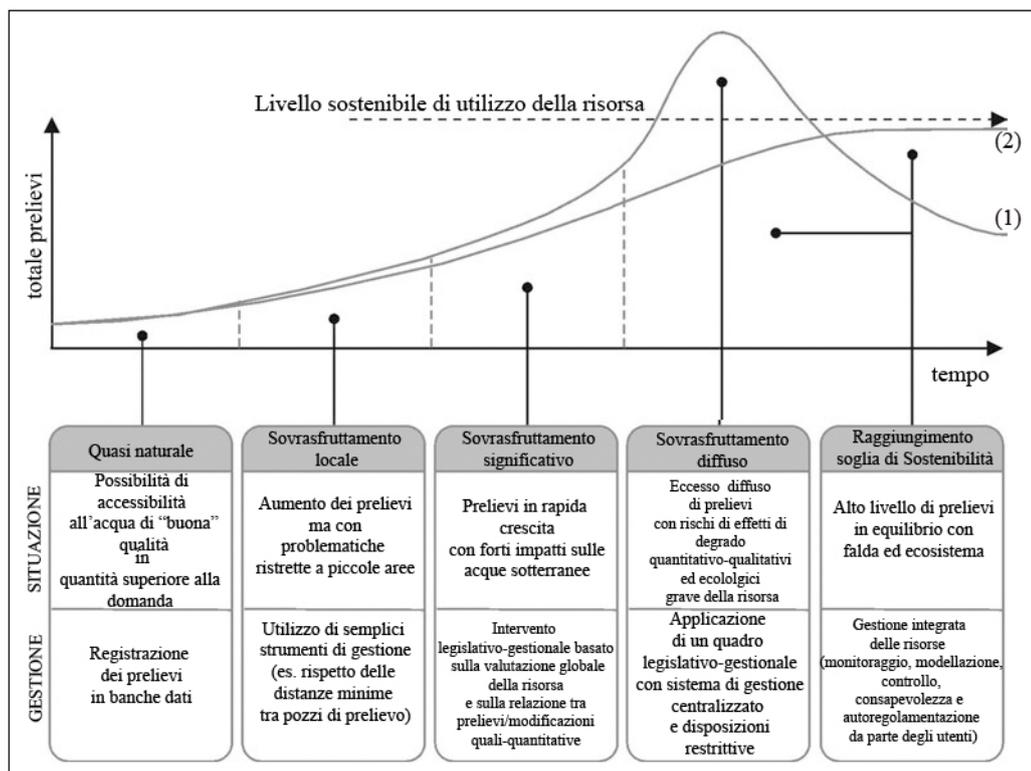


Figura 1 - Livelli di utilizzo delle risorse idriche sotterranee e criteri di gestione superiore ai prelievi fino alla condizione di sovra sfruttamento (da GWATE, 2006 modificato). 1) regime dei prelievi con superamento della soglia di sostenibilità, 2) regime di prelievi crescente e sostenibile

Regioni di numerose competenze, quali quelle in materia di pianificazione, monitoraggio e controllo dei corpi idrici.

L'attuazione del Piano di Risanamento delle Acque (PRA) avveniva in Puglia nel 1983, mediante la promulgazione di una legge regionale. Il PRA costituiva il primo organico strumento di pianificazione regionale, finalizzato alla protezione delle risorse idriche pugliesi ed alla formulazione dei criteri di base per una loro corretta utilizzazione.

Fino ad allora l'estrazione di acque sotterranee, non solo in Puglia, era regolamentata esclusivamente per aspetti di natura amministrativa, non tenendo in nessuna considerazione l'ubicazione dell'opera, la sua geometria, il contesto idrogeologico in cui si inseriva, la portata emunta e i relativi effetti. In pratica non si considerava la tutela quantitativa delle risorse idriche sotterranee, per quanto fossero considerate da tempo e per legge un bene pubblico.

Con l'introduzione del PRA il territorio pugliese veniva suddiviso in zone in funzione del rischio di degrado delle acque sotterranee (zona di vietato emungimento, zona di possibile emungimento, zona di possibile emungimento ad uso potabile).

Il PRA della Puglia, dopo aver sviluppato la tematica riguardante le acque sotterranee, ossia dopo aver definito gli aspetti idrogeologici sulla base delle specifiche ricostruzioni della piezometria con relativa definizione degli spartiacque, valutato i caratteri di permeabilità degli acquiferi e i processi di alimentazione, individuando le aree di alimentazione della falda profonda, mise in evidenza gli aspetti qualitativi delle acque sotterranee stesse, attraverso l'individuazione delle suscitate zone. Tutto ciò avrebbe dovuto comportare un diverso grado di utilizzo delle acque sotterranee sul territorio pugliese (sia in termini quantitativi che di destinazione d'uso).

A titolo di esempio, l'autorizzazione alla perforazione di nuove opere di captazione era negata nelle zone di vietato emungimento, nelle quali fondamentalmente la problematica maggiore era l'elevato contenuto salino delle acque sotterranee, a causa della presenza del fenomeno dell'intrusione marina. Queste aree, nelle quali la qualità delle acque sotterranee era compromessa, si sviluppavano essenzialmente lungo la fascia costiera. L'autorizzazione a nuove perforazioni veniva concessa invece nelle altre aree, dove al più venivano imposta delle limitazioni alle portate di prelievo e/o alla destinazione d'uso.

Successivamente, a livello nazionale, il D.P.R. 236/88 "attuazione della direttiva CEE 80/778 concernente la qualità delle acque sotterranee destinate al consumo umano", fissava i valori guida e le concentrazioni massime ammissibili dei parametri chimico fisici più importanti, introducendo così un utile "stru-

mento" per definire la qualità delle acque sotterranee in modo semplice e in termini oggettivi.

Negli anni novanta, la crescente consapevolezza del pregio e della vulnerabilità della principale risorsa naturale, l'acqua, si concretizzava in nuove e più ambiziose normative. Negli anni novanta, la crescente consapevolezza del pregio e della vulnerabilità della principale risorsa naturale, l'acqua, si concretizzava in nuove e più ambiziose normative. La legge 36/94, detta "legge Galli", introduceva il criterio di uso sostenibile della risorsa.

Complessi criteri di gestione quali-quantitativa delle risorse idriche venivano successivamente esplicitati dal D.Lgs. 152/99, detto "decreto Ronchi", poi integrato dal D.Lgs. 258/2000, noto nel complesso come nuovo testo unico delle acque. Tali norme hanno prescritto la redazione su base regionale del Piano di Tutela delle Acque (PTA), la cui attivazione spegne l'efficacia del PRA. I PTA nascono con lo scopo di preservare o ripristinare idonee condizioni qualitative e quantitative dei corpi idrici, mediante l'individuazione di obiettivi minimi da conseguirsi con i più opportuni strumenti di gestione.

Il PTA deve perseguire la tutela integrata quali-quantitativa dei corpi idrici preservando lo stato quali-quantitativo definito "buono" o conseguendolo entro il 22/12/2015, applicando criteri che dovranno tener conto degli obiettivi imposti, per i corpi idrici sotterranei esplicitamente individuati dal successivo D.Lgs. 30/09. Per quanto previsto da normative nazionali anteriori, il PTA è sostanzialmente coerente con l'approccio introdotto a scala europea dalla direttiva sull'acqua, la 60/2000. In sostanza, il PTA è uno strumento di gestione che in modo ciclico deve seguire per i corpi idrici tre fasi: la caratterizzazione, la quantificazione degli attributi quali-quantitativi e delle tendenze in atto, l'individuazione degli obiettivi quali-quantitativi e delle misure necessarie per conseguirli.

Il PTA della Regione Puglia è stato adottato nel 2007 (D.G.R. 883/07) e approvato nel 2009 (D.G.R. 230/2009). La D.G.R. 177/11 ha ufficializzato il primo aggiornamento del PTA inerente i corpi idrici superficiali, fotografando uno stato qualitativo per nulla tranquillizzante.

Per quanto attiene alle acque sotterranee, la stessa delibera informa che si è in attesa degli esiti del cosiddetto Progetto Tiziano, inerente il monitoraggio delle acque sotterranee pugliesi, oramai in corso da alcuni anni e prossimo alla conclusione. In funzione delle conoscenze emerse con tali aggiornamenti, si potranno definire diverse misure per conseguire gli obiettivi previsti o da definire.

Allo stato, il PTA distingue le risorse idriche sotterranee in 4 classi dal punto di vista quantitativo, dalla A alla D, procedendo dalla migliore alla peggiore (dove

la classe D è definita a impatto antropico nullo o trascurabile ma con intrinseche caratteristiche di scarsa potenzialità idrica). Per gli aspetti qualitativi sono individuate 5 classi, dalla 1 alla 4, procedendo dalla migliore alla peggiore, oltre alla classe 0, definita a impatto antropico nullo o trascurabile pur se dalla scadenti caratteristiche chimico-fisiche in quanto la bassa qualità è dovuta fenomeni naturali. Ciò premesso, il PTA pone le acque sotterranee in classe "C", ovvero riconosce l'esistenza di un "impatto antropico significativo con notevole incidenza dell'uso sulla disponibilità della risorsa evidenziata da rilevanti modificazioni agli indicatori generali", mentre da un punto di vista qualitativo, ad esclusione dell'acquifero della Murgia, classificato in classe 2, ovvero a ridotto impatto antropico e con buone caratteristiche idrochimiche, pone tutti i rimanenti corpi idrici sotterranei in classe 4, ovvero con caratteristiche chimico-fisiche scadenti.

In funzione di tali caratteristiche, qui riassunte, e delle peculiarità del territorio, il PTA definisce due tipi di strumenti: i vincoli di uso delle acque sotterranee, al fine di regolare i prelievi, e i vincoli di utilizzo del territorio, al fine di mitigare i rischi di impatto antropico. Per ciascun tipo si distinguono diverse zone e prescrizioni. Focalizzando l'attenzione, per brevità, sui vincoli di uso delle acque sotterranee e, in particolare, sul rilascio di nuove concessioni di prelievo, il PTA suddivide la Puglia in quattro tipi di zone. Nella *zona di tutela quantitativa*, posta esclusivamente nel Tavoliere, non possono essere rilasciate nuove concessioni per prelievi da pozzo; nella *zona di tutela qualitativa*, aree costiere in cui sono stati evidenziati fenomeni di degrado qualitativo riferibile all'intrusione marina (secondo criteri non descritti in termini quantitativi), sono rilasciate nuove concessioni esclusivamente per il prelievo di acque di intrusione marina per specifici usi produttivi (itticoltura e mitilicoltura fondamentalmente), per impianti di scambio termico o per dissalazione; nella *zona quali-quantitativa*, le concessioni possono essere rilasciate con il rispetto di alcuni vincoli relativi al singolo pozzo; la quarta zona non è esplicitamente denominata dal PTA e non è quindi esplicitamente delimitata ma corrisponde al restante territorio, quello non coperto dalle predette zone, per cui non sono previste specifiche restrizioni o prescrizioni, potremmo quindi definirla *zona libera*. Tale zona potrebbe avere un ruolo rilevante sull'efficacia del PTA dato che copre una vasta estensione del territorio regionale. Se si focalizza l'attenzione sulle strutture idrogeologiche che ospitano le risorse idriche di maggior pregio, si consideri che tale zona copre oltre il 60% del territorio a sud dell'Ofanto e include quasi del tutto il Gargano.

Un aspetto fondamentale dell'approccio su cui è basato il PTA è la procedura che porta alla zonazione

delle modalità di uso delle acque sotterranee. Nei documenti che costituiscono il PTA non è esplicitato, con il dovuto dettaglio, il criterio o la procedura adottata per delimitare le zone, non essendo individuati i parametri di riferimento e i valori guida o soglia, con l'effetto che le zonazioni non sono incontrovertibilmente replicabili da terzi e, soprattutto, non potranno essere agevolmente e incontrovertibilmente apprezzati, in termini di estensione delle aree interessate, gli effetti benefici conseguiti dalle misure di tutela introdotte.

INQUADRAMENTO GEOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

In Puglia si possono distinguere quattro principali Strutture Idrogeologiche (SI): Gargano, Tavoliere, Murgia e Salento (Figura 2). Il Tavoliere si sostanzia in un acquifero poroso superficiale in cui la circolazione idrica sotterranea, a letto limitata da una formazione argillosa potente centinaia di metri, avviene in condizioni freatiche nelle porzioni più interne del territorio e in pressione più a valle, fino alla costa. La qualità delle acque sotterranee in genere non consente l'uso potabile.

Risorse idriche sotterranee di alta qualità, si rinvennero nelle altre SI della regione: il Gargano (trattato marginalmente nell'articolo per la minore disponibilità di dati), la Murgia e il Salento. Tali SI hanno in comune alcuni aspetti principali, di seguito brevemente riassunti: sono sede di ampi e potenti acquiferi costituiti da rocce calcaree e/o calcareo-dolomitiche del Mesozoico; la permeabilità, sia pure con marcate differenze da luogo a luogo e tra le SI, per tutte le strutture è molto variabile, da media ad elevata, per il disomo-

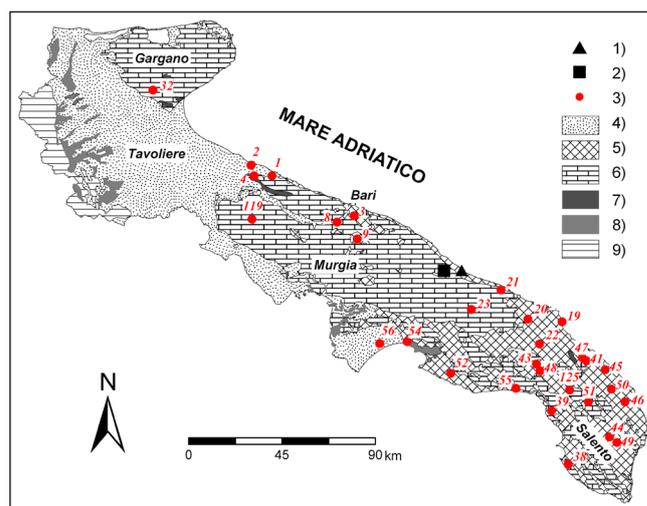


Figura 2 - Carta geologico-tecnica schematica della Puglia ed ubicazione dei punti di monitoraggio piezometrico. 1) sorgente; 2) stazione pluviometrica di Fasano; 3) pozzi di monitoraggio; 4) argille sabbiose, sabbie argillose, sabbie e ghiaie; 5) sabbie, limi, calcareniti, calcari e dolomie; 6) calcari e dolomie; 7) calcareniti ed arenarie; 8) argille marnose; 9) alternanze di sedimenti calcareo-marnosi

geneo e anisotropo effetto del carsismo e della fratturazione; sono interessate dal fenomeno dell'intrusione marina; presentano soltanto sorgenti costiere subaeree e/o sottomarine; lontano dalla costa, la circolazione idrica sotterranea avviene diffusamente a quote inferiori al livello mare.

Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla letteratura scientifica; di seguito si segnalano, senza poter essere esaustivi, alcuni tra i riferimenti più importanti e la relativa bibliografia (Cotecchia, 1956; Cotecchia e Magri, 1966; Cotecchia et al., 1971; Grassi et al., 1972; Cotecchia, 1977; Cotecchia et al., 1983; Tadolini, 1990; Fidelibus e Tulipano, 1991; Maggiore et al., 2004; Maggiore e Pagliarulo, 2004; Cotecchia et al., 2005; Polemio et al. 2009a).

IL DEGRADO QUANTITATIVO DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La variazione della disponibilità delle risorse idriche sotterranee può essere valutata con numerose metodologie; tale molteplicità può essere rappresentata distinguendo due diversi approcci. A ciascuno di questi approcci corrispondono diverse metodologie, che abbracciano un ampio campo multidisciplinare.

In estrema sintesi, il primo approccio si basa sull'applicazione del bilancio idrologico, la stima della ricarica e delle risorse non rinnovabili e il confronto di queste risorse con la domanda.

Il secondo approccio si basa sul monitoraggio ovvero sull'analisi degli effetti combinati di tutti i fattori che determinano la progressiva variazione della disponibilità, evitando di quantificare i singoli contributi che devono essere stimati seguendo il primo approccio. In questo secondo caso, la valutazione del degrado quantitativo in Puglia è stata perseguita mediante l'analisi di serie temporali piezometriche e di portata sorgiva, integrate da serie climatiche di dati termo-pluviometrici. I dati utilizzati provengono da reti di monitoraggio (Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori pubblici, dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia, Lucania e Irpinia, Protezione Civile e altri settori della Regione Puglia) e da ricerche storiche e rilievi in sito svolti direttamente dall'IRPI. Per l'analisi delle serie temporali piezometriche sono stati selezionati 30 pozzi, tra un gruppo di 63 già utilizzati in passato (Polemio et al. 2009b) (Figura 2). Le serie storiche piezometriche selezionate sono disponibili, ad eccezione del Tavoliere, nel periodo 1965-2010, sia pure con diverse lacune. Nel caso del Tavoliere sono state utilizzate serie storiche

dal 1929 al 1994, integrate con campagne di dettaglio eseguite negli anni successivi (per il Tavoliere si consideri Polemio et al. 1999 e Polemio et al. 2005). Il trend di ogni serie piezometrica è stato quantificato mediante il coefficiente angolare (CA) della retta di regressione e statisticamente validato mediante il test di Mann-Kendall (livello di significatività 95%). La tendenza piezometrica è risultata generalmente negativa, evidenziando quindi una diffusa tendenza, anche se in alcuni casi molto lenta, al decremento piezometrico o al calo della disponibilità della risorsa (Tabella 1). Il calo piezometrico tendenziale appare grave per Murgia, Tavoliere e Salento.

strutture idrogeologiche	Numero serie storiche	dati		MPAC	trend piezometrico più probabile al 2003
		dal	al		
MURGIA	30	1965	2010	-0,05	forte decremento
SALENTO	17	1965	2010	-0,02	decremento
TAVOLIERE	12	1929	2002	-0,03(1)	forte decremento
GARGANO	4	1975	2010	-0,003	basso decremento (2)

Tabella 1 - Dati disponibili e trend piezometrico (MPAC, coefficiente angolare piezometrico minimo espresso in m/mese).(1) Valore calcolato al 1994, (2) la valutazione è incerta per il limitato numero di serie storiche disponibili

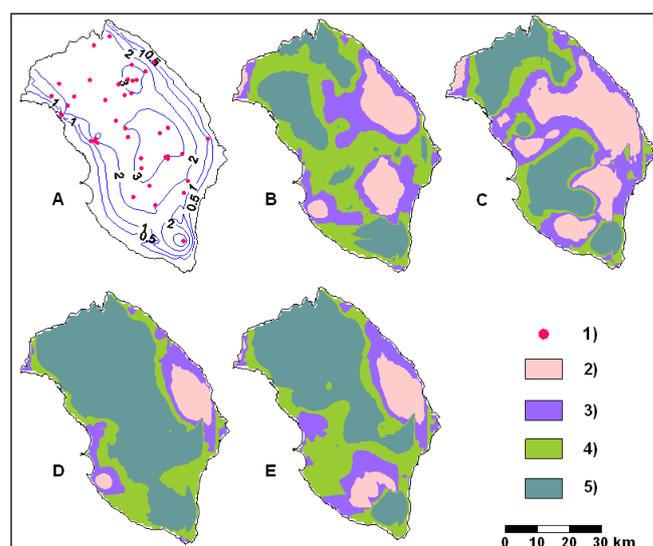


Figura 3 - Variazioni piezometriche storiche nell'acquifero profondo del Salento. (A) superficie piezometrica di riferimento (1930, m slm); variazioni piezometriche (VP, m) del 1976 (B), del 1996 (C), del 2003 (D) e del 2010 (E). Legenda: 1) pozzi; 2) $VP > 0,5m$; 3) $0,5m < VP < 0m$; 4) $0m < VP < -0,5m$, 5) $VP > -0,5m$

Con il fine di approfondire e passare dalla conoscenza puntuale a quella areale, si è selezionato il Salento per applicare un approccio spaziale multi-temporale. Il Salento, infatti, presenta una specifica criticità, per quanto il calo tendenziale non sia tra i più elevati, in quanto tale calo allarma per i potenziali effetti negativi in termini di degrado qualitativo per intrusione marina. L'approfondimento ha previsto la ricostruzione della superficie piezometrica del Salento negli anni: 1930, 1976, 1996, 2003 e 2010. Nel 1930 il numero di pozzi esistenti era basso: quindi tale superficie si può ritenere alquanto naturale. La Figura 3 rappresenta le variazioni piezometriche riferite al 1930. Le aree nelle quali si assiste ad un decremento piezometrico tendono ad aumentare, anche se tale incremento conosce delle pause, come nel 1996. Si consideri che il 1996 è corrisposto a un periodo particolarmente piovoso nell'ambito di una anomala successione di periodi siccitosi, osservati, a partire dal 1980 (Polemio e Casarano, 2008). Calcolato il volume fittizio racchiuso tra ciascuna superficie delle variazioni piezometriche e il livello del mare, è stata calcolata, per tutto il Salento e per ciascun intervallo temporale, l'altezza media relativa a tale volume o, in altre parole, la variazione piezometrica media riferita al 1930. Il calo medio è risultato: 0,17 m nel 1976, 0,02 m nel 1996, 0,88 m nel 2003 e 0,40 m nel 2010.

Le sorgenti costiere rappresentano il recapito finale della circolazione idrica sotterranea per i principali acquiferi pugliesi. Le variazioni della portata di ciascuna sorgente dipende dalle variazioni di disponibilità in una porzione molto vasta dell'acquifero e quindi tali variazioni sono legate all'effetto combinato della variabilità climatica e dei prelievi nella medesima area.

Considerando la disponibilità di dati storici, è stata selezionata una tra le più significative sorgenti costiere pugliesi, la sorgente Fiume Grande, posta in prossimità del limite Murgia-Salento (Figura 2). La portata è stata misurata nel periodo 1926-1951 dal Servizio Idro-

grafico Italiano (LL.PP., 1953) e dal 2008 a tutt'oggi dall'IRPI-UOS di Bari (Polemio et al., 2009b). La serie storica consiste di 46 misure, disponibili da ottobre 1926 a settembre 2011 (non sono disponibili misure dal 1952 al 2007). La portata misurata varia tra 124 (settembre 2008) e 1132 l/s (agosto 1935), con un valore medio di 552 l/s (Figura 4). Tramite il calcolo della regressione lineare si evidenzia che la portata nel periodo di osservazione ha manifestato un decremento pari a 4,43 l/s per anno. Contestualmente anche il trend delle piogge, misurate nella stazione pluviometrica di Fasano (Figure 2 e 4), ha mostrato un blando andamento decrescente, pari a 0,10 mm per anno. Sia il tale trend locale della piovosità effettiva che il trend della piovosità efficace a scala regionale (Polemio e Casarano, 2008) giustificano solo in piccola parte il trend negativo della portata sorgiva. Ne consegue che si deve ritenere plausibile che il trend crescente dei prelievi sia la principale causa del calo tendenziale dell'efflusso sorgivo (Polemio et al. 2010).

Si deve quindi concludere che il calo tendenziale della ricarica, osservato grossomodo a partire dal 1980 (Polemio e Casarano, 2008), non giustifica i vistosi cali di disponibilità. D'altra parte il calo della disponibilità era molto probabilmente già evidente prima, come effetto del crescente emungimento da pozzi, che si è via via incrementato a partire dagli anni cinquanta.

IL DEGRADO QUALITATIVO E L'INTRUSIONE MARINA

Per quanto attiene il degrado qualitativo delle acque sotterranee, la causa principale è da addebitarsi al fenomeno dell'intrusione marina, particolarmente sentito in Puglia in considerazione della notevole estensione della linea di costa (circa 900 km), che la espone più di altre regioni al rischio di degrado qualitativo per intrusione marina. In questa nota non si trattano volutamente gli aspetti connessi all'inquinamento antropico propriamente detto, fenomeno comunque

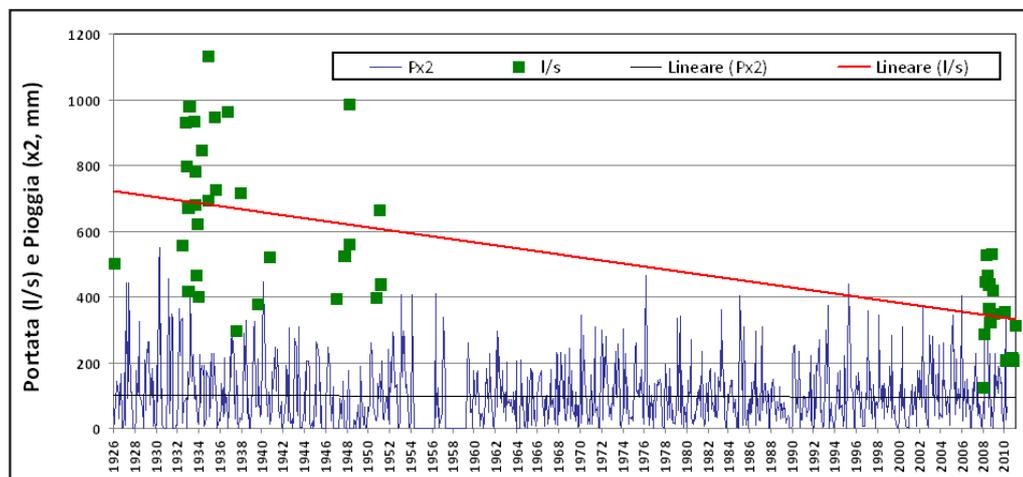


Figura 4 - Portata della sorgente Fiume Grande e piovosità nella stazione di monte (1926-2010).
 Legenda: 1) Piogge mensili (x 2), 2) portata sorgente (l/s); 3) retta di regressione delle portata

preoccupante nella regione, stante la notevole vulnerabilità intrinseca degli acquiferi (Polemio et al., 2006; Polemio et al., 2009c).

Gli effetti in Puglia dell'intrusione marina sono noti da decenni e sono stati oggetto da tempo di attenti studi (Cotecchia, 1977; Tadolini, 1990; Fidelibus e Tulipano, 1991). Detti effetti si sono aggravati per il proliferare di pozzi, perforati in maniera indiscriminata sull'intero territorio regionale, per utenze private, senza un reale studio di fattibilità. In ogni caso, a partire dagli anni trenta, si è osservato un aumento progressivo delle perforazioni, in particolare dalla fine degli anni cinquanta (Polemio et al., 2010).

Le procedure di regolarizzazione che hanno fatto seguito al PRA del 1983, protrattesi per lungo tempo, portavano alla segnalazione di alcune decine di migliaia di pozzi. Nonostante gli sforzi compiuti dal legislatore per ridurre l'abusivismo, è opinione diffusa tra i tecnici che operano nel settore che circa un 50% di perforazioni sia rimasta sostanzialmente abusiva.

La mancanza di conoscenza sulle opere di prelievo in esercizio (effettivo numero, ubicazione, geometria e portata emunta per ciascun pozzo esistente) limita moltissimo la nostra capacità di contenere a livelli minimi o quasi naturali gli effetti dell'intrusione marina.

L'analisi spaziale e temporale degli effetti dell'intrusione marina sulla qualità delle acque sotterranee può essere affrontata con livelli di complessità notevole, difficilmente applicabili, al di fuori di un contesto scientifico, nella pratica quotidiana. Partendo da tale constatazione, l'IRPI ha definito criteri quanto più possibile semplici e speditivi ma che garantiscano, al tempo stesso, la dovuta accuratezza.

Se si considera un ipotetico acquifero costiero carsico affiorante e si concentra l'attenzione sulle modifiche della salinità che l'acqua piovana subisce lungo il percorso che la porta a divenire prima acqua di infiltrazione, alla trasformazione in acqua di falda, fino al raggiungimento del punto di efflusso naturale, posto lungo la costa, si osserva che la salinità progressivamente aumenta, man mano che l'acqua si avvicina al mare. Più in dettaglio, la salinità subisce delle modeste e trascurabili variazioni, per interazione con il suolo e la roccia, fin quando l'acqua si muove nelle zone interne dell'acquifero, in cui il fenomeno dell'intrusione marina al più si manifesta a rilevanti profondità, interessate da una modesta o nulla circolazione idrica. Un significativo aumento della salinità nelle acque sotterranee dolci si riscontra solo quando le stesse si avvicinano al mare e l'acqua di falda, finora dolce, sempre più vicina alla zona di transizione, entra in contatto con acque saline o salmastre, la cui presenza è dovuta al fenomeno dell'intrusione marina.

Il processo è quindi schematizzabile in due fasi: la prima si compie dalla precipitazione meteorica al flusso

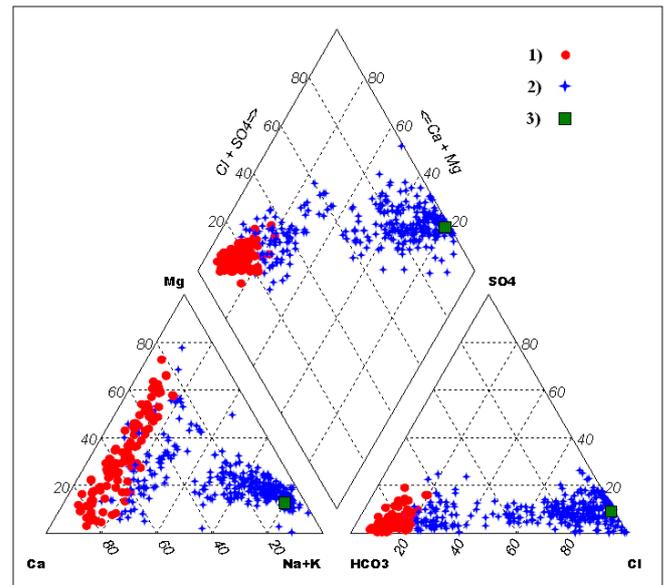


Figura 5 - Diagramma di Piper dei campioni d'acqua sotterranea prelevati in pozzi e sorgenti. Legenda: 1) Acqua sotterranea dolce miscelata con percentuali variabili di acqua salina di intrusione marina (Gruppo S); 2) Acqua sotterranea dolce (Gruppo D); 3) Acqua di mare

idrico sotterraneo senza contatto con acque di intrusione marina, in cui le acque sotterranee sono dolci e subiscono limitate e trascurabili variazioni di salinità, mentre la successiva invece è una fase di progressivo diluizione delle acque sotterranee dolci in acque saline dovute all'intrusione marina.

Se questo è schematicamente il processo da caratterizzare, il criterio più semplice per caratterizzarlo si basa sulla determinazione di un valore soglia discriminante tra le due tipologie di facies delle acque sotterranee: dolce e salata. La soglia deve essere determinata, per un generico acquifero costiero, considerando le condizioni idrogeologiche locali, il clima, le caratteristiche chimico-fisiche delle piogge, le precipitazioni secche sul suolo di particolato atmosferico, la natura geochimica delle rocce ed eventuali fattori naturali locali che potrebbero influenzare la variabilità della salinità nelle acque sotterranee.

Per dare attuazione pratica a tale idea, è stata costituita una banca dati di oltre 500 analisi di laboratorio di acque sotterranee campionate fra il 1995 ed il 2003 negli acquiferi carbonatici pugliesi, prevalentemente in Murgia e Salento, sia mediante campionamenti dinamici sia statici, in questo caso operando con specifici campionatori a diverse profondità, anche sotto la cosiddetta interfaccia tra le acque dolci di falda e quelle saline di intrusione marina (Figura 5) (Polemio et al., 2009a).

Dopo un'attenta valutazione geochimica, è emerso che i campioni di acque sotterranee con facies idrochimica $\text{Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$, $\text{Ca}^{2+}\text{-Mg}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ e $\text{Mg}^{2+}\text{-Ca}^{2+}\text{-HCO}_3^-$ sono tipici delle acque sotterranee dolci per i

nostri acquiferi carbonatici, tenuto conto della natura chimica delle precipitazioni e delle caratteristiche del suolo e degli acquiferi. Tale "tipizzazione", particolarmente semplice, è risultata coerente con le conoscenze pregresse (Cotecchia et al., 1971; Cotecchia, 1977; Alaimo et al., 1989; Fidelibus e Tulipano, 1991). Allo stesso tempo, la discussione dei dati idrochimici è risultata perfettamente coerente con la concettualizzazione geochemica ipotizzata. La variabilità del chimismo delle acque sotterranee degli acquiferi carbonatici pugliesi è determinata principalmente dal mescolamento o diluizione in proporzioni variabili di acque dolci in acque saline di intrusione marina e solo secondariamente, in termini quantitativi, dai processi di interazione matrice solida/liquida.

Le acque così esaminate possono essere suddivise in due tipologie, acque dolci (gruppo D) e tutte le altre (gruppo S), costituite da acque sotterranee con percentuali variabili ma non nulle di acqua salina di intrusione marina (Figura 5). A posteriori si è osservato che tutti i campioni selezionati di acque dolci sono stati prelevati in pozzi ubicati lontano dalla costa.

La salinità dei campioni del gruppo D, espressa come TDS (*Total Dissolved Solids*), varia da 0,19 a 0,87 g/l. La media e la deviazione standard sono risultate rispettivamente pari a 0,41 e 0,13 g/l. I percentili al 50, 75 e 90% sono risultati rispettivamente 0,38, 0,47 e 0,61 g/l. Prendendo in considerazione il percentile 75%, il valore medio e la deviazione standard, il valore soglia può essere stabilito pari a circa 0,5 g/l per

gli acquiferi carsici costieri pugliesi. Si noti che tale valore, determinato con un approccio geochemico e statistico, è pari a quanto segnalato in letteratura a seguito di prolungate osservazioni (Cotecchia et al., 1983).

Definito il valore, il metodo della soglia si presta a valutazioni spatio-temporali delle modificazioni della salinità. A tale fine si deve tracciare l'isoalina 0,5 g/l, in quanto rappresenta la linea soglia della salinità (LSS). La LSS è riferita ad un definito intervallo temporale e divide l'acquifero in due porzioni non stazionarie: la prima, interna rispetto alla costa, posta a monte della LSS, che include le aree di ricarica dove sono presenti le acque sotterranee dolci (salinità minori della soglia); la seconda posta a valle della LSS, dove le acque, fluendo verso la costa, progressivamente si arricchiscono di acque saline di intrusione marina. Lo studio del movimento della LSS nel tempo può dare importanti informazioni sulla variabilità degli effetti dell'intrusione marina, sull'avanzare e retrocedere del dominio dell'acque dolci e sulla vulnerabilità degli acquiferi a questo fenomeno.

Utilizzando i dati disponibili, l'analisi dell'evoluzione nel tempo in Murgia e Salento può essere riferita agli anni 1981, 1989, 1997 e 2003 (Polemio e Limoni 2001; Polemio et al., 2009). I dati relativi agli anni 1981 e 1989 sono stati raccolti durante l'indagine effettuata nell'ambito di due piani regionali per la gestione delle risorse idriche: il PRA e il Piano Regolatore Generale degli Acquedotti (LL.PP. 1989). In entrambi i casi i punti di campionamento appartenevano alla coeva rete di monitoraggio (gestita in quegli anni e per lungo tempo dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia, Lucania e Irpinia) e a privati.

I dati relativi al 1997 sono stati raccolti utilizzando i punti di campionamento appartenenti alla rete regionale di monitoraggio ed alcune sorgenti costiere; quelli relativi al 2003 sono derivati da una campagna realizzata dall'IRPI, su punti di campionamento selezionati tra quelli già precedentemente considerati. Per ridurre al minimo gli effetti della variabilità stagionale, i dati utilizzati per ciascun orizzonte temporale sono stati selezionati il più possibile coevi. La LSS è stata determinata utilizzando il metodo del kriging (Deutsch e Journel, 1992), gestito in ambiente GIS.

Dal 1981 al 1989 la LSS è migrata gradualmente verso l'entroterra, anche a causa degli effetti delle modificazioni climatiche in termini di riduzione della ricarica osservata dal 1980 in poi (Polemio e Casarano, 2008). In sovrapposizione all'effetto del clima, nel Mezzogiorno, ed in Puglia in particolar modo, la tipica risposta a situazioni di emergenza legate a periodi siccitosi è quella di aumentare il prelievo dai già numerosi pozzi esistenti, insieme con la creazione di ulteriori pozzi. L'AQP (Acquedotto Pugliese, già EAAP),

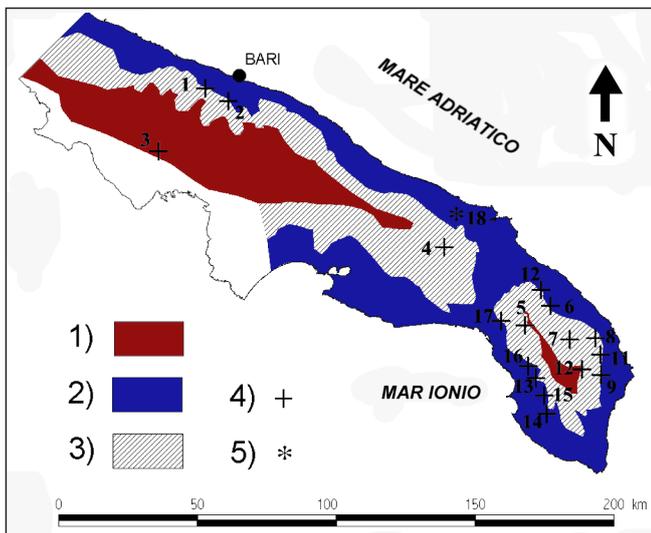


Figura 6 - Mappa delle aree vulnerabili all'intrusione marina e pozzi per la valutazione del trend del cloruro. Legenda: 1) Zona interna (area di ricarica), salinità sempre minore di 0,5 g/l, bassa o nulla vulnerabilità all'intrusione marina; 2) Zona costiera (area di efflusso), salinità sempre maggiore di 0,5 g/l, alta vulnerabilità all'intrusione marina; 3) Zona intermedia o transitoria, salinità variabile nel tempo rispetto alla soglia (minore o maggiore di 0,5 g/l), da media ad alta vulnerabilità all'intrusione marina; 4) Punti di rilevazione dei cloruri; 5) pozzo selezionato

perforò decine di pozzi, utilizzando i fondi forniti dalle autorità nazionali in risposta alla siccità 1988-1990. Inoltre, molte centinaia di pozzi furono realizzati da privati a scopo irriguo. Non stupisce quindi che l'effetto prevalente osservato nel periodo 1981-1989 è rappresentato dall'arretramento della LSS, un avanzamento del fronte dell'intrusione marina e quindi un peggioramento qualitativo delle acque sotterranee.

I rilievi del 1997 segnalano che lo spostamento verso l'entroterra o arretramento della LSS si è fermato o che, a luoghi, ha presentato un'inversione di tendenza, a causa del breve periodo piovoso degli anni 1996-1997. Infine, i rilievi del 2003 segnalano un prevalente avanzamento della LSS, come effetto della grave siccità osservata nei primi anni del millennio.

Tre diverse zone sono distinguibili in base alla sovrapposizione delle LSS multitemporali (Figura 6). La prima è il luogo dei punti in cui la salinità è risultata sempre sotto la soglia; tale zona coincide con una vasta porzione della Murgia interna e una stretta striscia nel mezzo della Penisola Salentina. Sulla base delle osservazioni svolte dal 1981 al 2003, quest'area si può considerare a bassa vulnerabilità per il rischio di degrado qualitativo per intrusione marina.

La seconda zona coincide con un'ampia fascia costiera, quella in cui la salinità è sempre risultata maggiore della soglia. In tale area gli effetti sulla salinità dell'intrusione marina sono da considerarsi un fenomeno di lunga data, sostanzialmente stazionario (Cotecchia et al. 1983 e 2005). Questa zona include ampie strisce di territorio lungo la costa adriatica e ionica, strisce che si raccordano grossomodo laddove la penisola è più stretta, tra Brindisi e Porto Cesareo. Questa zona si deve considerare ad alta vulnerabilità per il rischio di degrado qualitativo per intrusione marina.

La terza è una zona intermedia o transitoria poiché la variazione di salinità al suo interno è funzione del clima, del ciclo dell'acqua e soprattutto dello sfruttamento.

Un successivo affinamento della discussione richiede misure periodiche e sistematiche, che presto la rinnovata rete di monitoraggio regionale potrà fornire nel lungo periodo.

Per approfondire l'analisi delle modificazioni temporali della qualità delle acque sotterranee in relazione all'intrusione marina in assenza di serie storiche di salinità, si può ricorrere all'analisi della correlazione lineare esistente tra la salinità e altri parametri, quali la conducibilità elettrica specifica dell'acqua, qui non trattata per brevità (si veda Polemio et al., 2008) o la concentrazione di alcuni ioni, tra cui il cloruro.

Per gli acquiferi carbonatici e costieri della Puglia, si è utilizzata l'ottima correlazione lineare tra il TDS e la concentrazione di cloruro il cui coefficiente è risultato pari a 0,98 (Cotecchia et al., 2005). Applicando alla concentrazione di cloruri il metodo della soglia utilizzato per il TDS, il valore è risultato pari a 44 mg/l. Per tutti i campioni della banca dati, se la concentrazione dei cloruri è maggiore di 100 mg/l, la salinità risulta maggiore di 0,5 g/l (Polemio et al., 2008). In altre parole, per valori di concentrazione di cloruri tra 44 e 100 mg/l è probabile la presenza in basse percentuali di acque saline di intrusione marina, per valori maggiori di 100 mg/l è estremamente probabile.

Al fine di validare quanto emerso dall'analisi dell'LSS, si sono considerate le serie storiche della concentrazione di cloruri, misurata in pozzi utilizzati dall'AQP per l'approvvigionamento di acqua potabile, seguendo le procedure stabilite dalle vigenti normative nazionali. Le serie temporali ottenute sulla base delle determinazioni dell'AQP sono state selezionate tenendo conto di diversi criteri, tra cui la durata, il numero di lacune e la qualità complessiva dei dati. Tra tutte le serie disponibili, sono state selezionate un totale di 17 serie storiche di dati mensili continui. La tendenza lineare è stata espressa con il coefficiente angolare (Tabella 2). Si noti che i dati più recenti utilizzati sono successivi al periodo piovoso 1996-1997 nel caso della Murgia (1998) e si sovrappongono all'inizio del più recente periodo siccitoso nel caso del Salento (2000 e 2001). Considerati i quattro pozzi disponibili per la Murgia, la tendenza, espressa quantitativamente mediante il coefficiente angolare, è risultata in prevalenza moderatamente negativa (pozzi 1, 2 e 3), con un benefico calo di concentrazione di cloro che almeno in parte è dovuto al periodo piovoso osservato in corrispondenza del

Tabella 2 - Serie storiche annuali della concentrazione di cloruro (mg/l). L'ubicazione dei pozzi è riportata in Fig. 6; SI) Struttura Idrogeologica, M) Murgia, S) Salento, 75) 75° percentile, DS) Deviazione Standard, AI) Anno inizio misure, AF) Anno fine misure, CA) Coefficiente angolare della retta di regressione (mg/l anno-1).

Pozzi	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
SI	M	M	M	M	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S	S
Min	25,7	28,2	18,9	25,5	85,2	237,4	80,5	38,1	56,1	74,5	31,1	134,8	201,4	170,4	138,5	178,7	266,3
Media	35,6	63	32,6	32,3	106,1	314,9	146,6	58,9	90,9	91,1	40	189,1	227,4	204,9	193,7	214,4	354,1
75	37,4	74,5	35,5	35,1	119,8	345,9	192,9	49,7	106,1	99,4	42,1	205,4	238,5	219,4	205,6	223,3	376,3
Max	40,4	80,9	37,8	51,1	141,3	378,4	238,2	67	147,1	104,9	65,7	236,1	261,3	244,9	273,4	230,3	390,5
DS	3,05	11,54	7,66	5,59	14,47	34,28	53,05	7,1	25,54	9,29	8,28	26,65	16,2	21,89	24,64	12,95	35,92
AI	1973	1973	1968	1975	1973	1969	1973	1980	1973	1971	1981	1973	1968	1969	1975	1981	1973
AF	1998	1998	1998	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2001	2000	2000
CA	-0,08	-0,16	-0,56	0,01	1,53	2,19	5,72	3,16	2,56	0,06	0,08	-0,48	0,77	2,04	1,06	1,3	-0,76

termine delle serie temporali disponibili. Il trend positivo molto basso osservato per il pozzo 4 sembrerebbe un'eccezione; si noti però che questo trend è statisticamente non significativo in quanto non ha superato il test di Mann-Kendall. Il pozzo 3, situato lontano dal mare, ha il valore minimo dei massimi annuali delle 17 serie storiche ed è l'unico, insieme al pozzo murgiano n.1, ad avere tutta la serie delle concentrazioni annuali sotto la soglia.

Tutti i pozzi della Murgia, ad eccezione del pozzo n. 2, hanno sia concentrazione media annua di cloruri minore della soglia che deviazione standard particolarmente bassa.

L'analisi delle serie storiche, usando la massima risoluzione temporale, ha fornito risultati coerenti con l'analisi delle LSS, che utilizzano la massima densità spaziale di informazioni.

Considerazioni simili sono emerse dall'analisi delle serie temporali del Salento, dove il degrado della qualità delle acque sotterranee da intrusione marina è risultato grave. Alla fine del 2000 la tendenza dei cloruri è risultata positiva, con un intervallo dei coefficienti angolari delle rette trend compreso tra 0,06 e 5,72 mg/(l anno), con le uniche eccezioni dei pozzi n. 12 e n. 17, situati lungo la cosiddetta soglia Messapica (ritenuto tradizionalmente il limite tra Murgia e Salento, attraverso il quale ingenti flussi idrici sotterranei si versano dalla prima struttura idrogeologica alla seconda), dove il copioso flusso di acque sotterranee contribuisce all'alimentazione del corpo idrico salentino.

Vi è da considerare che in zone in cui la salinità aumenta molto, i pozzi finiscono per essere abbandonati o, comunque, i prelievi localmente diminuiscono, favorendo un locale miglioramento della qualità della risorsa. Queste situazioni complicano l'analisi delle tendenze della salinità nel Salento, laddove la stessa è tendenzialmente abbastanza elevata. Tale aspetto si riscontra sia nel caso del pozzo n.17, nel quale si osserva la massima concentrazione annua di cloruri sia nel pozzo n.12, al quale si associa un non basso valore della concentrazione minima annua (135 g/l). Si noti infine che numerosi sono i pozzi del Salento che hanno concentrazione media annua dei cloruri molto maggiore di 100 mg/l.

Il fenomeno del degrado qualitativo per intrusione marina colpisce più estesamente il Salento rispetto alla Murgia, come indicato dall'andamento delle LSS, e provoca un livello di degrado della qualità più grave, come dimostra l'analisi delle tendenze.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La definizione del criterio a soglia ha permesso di individuare tre zone a diversa vulnerabilità all'intrusione marina. L'individuazione di tali zone permette di formulare alcune proposte sulle modalità di utilizzo.

Nella zona interna, risultata non vulnerabile all'intrusione marina, i prelievi potrebbero essere aumentati, in funzione della domanda, in particolare per soddisfare il fabbisogno potabile di acqua di ottima qualità. Tale incremento dovrebbe tener conto, anno per anno, dell'effettiva ricarica osservata.

Più in particolare, i prelievi complessivi nella zona interna e intermedia dovrebbero essere comunque minori, anno per anno, della ricarica. Ciò comporta che i prelievi possano sia aumentare che diminuire di anno in anno. Anomale successioni di anni siccitosi e, in genere, periodi particolarmente critici per l'approvvigionamento idrico potrebbero essere affrontati con criteri più complessi applicati a periodi pluriennali, purché tutti gli effetti siano attentamente studiati, sia in termini idrogeologici che probabilistici (ad esempio, considerando che si osservi una successione di anni particolarmente poco piovosi).

Il sovrasfruttamento, tendenzialmente osservato in questi ultimi decenni o atteso in futuro per la naturale variabilità climatica annuale, dovrebbe essere annullato fondamentalmente con riduzioni dei prelievi nella zona intermedia, dove e nella misura in cui si renda necessario.

I prelievi nella zona intermedia, tenuto conto dell'ubicazione e della geometria di ciascun pozzo, dovrebbero essere autorizzati in modo da preservare una sorta di fascia di protezione qualitativa tra la zona interna e quella intermedia, fissata in ragione di un criterio di qualità (valore di salinità), il cui perdurare nel tempo dovrebbe essere verificato per mezzo del monitoraggio.

Gli effetti di ciascun punto di prelievo nella zona intermedia dovrebbero essere valutati mediante un vero e proprio progetto o scenario di prelievo che espliciti come si preveda di adeguare i prelievi alla variabilità della ricarica, tenuto conto delle locali peculiarità idrogeologiche, o come verrebbero recepite le prescrizioni imposte dalle autorità di gestione (ricorso ad altre fonti, serbatoi, interruzione o riduzione dei prelievi). Infine, i criteri di gestione in tale zona dovrebbero essere aggiornati nel tempo in modo da garantire che la salinità media in tale zona non aumenti.

I prelievi nella zona costiera potrebbero essere incoraggiati purché si dimostri, caso per caso e in modo dettagliatamente accurato, sia che non provochino effetti negativi economici e/o ambientali sia che i prelievi inducano un contributo, sia pure modesto, al contrasto del fenomeno dell'intrusione marina. Il secondo aspetto fa riferimento ad una classica soluzione di controllo dell'intrusione marina mediante barriera idraulica per emungimento, con lo scopo di ridurre il carico potenziometrico delle acque di intrusione marina (Cotecchia et al. 1997). Tale effetto, di certo teoricamente plausibile nel caso di prelievi di acque di intrusione

marina, dovrebbe essere enucleato mediante accurate simulazioni numeriche in funzione delle peculiari situazioni idrogeologiche locali. Allo stesso tempo, l'autorità di gestione potrebbe incoraggiare tali prelievi pianificandoli in porzioni di tale zona, formulando linee guida dettagliate, con lo scopo di proteggere i prelievi di acque dolci realizzati a monte.

In ogni zona i criteri formulati superano definitivamente l'approccio autorizzativo basato sul riscontro di quanto risultante nel singolo pozzo ma puntano ad una valutazione globale, a scala di zona, dell'effetto di ciascun pozzo/prelievo.

Queste proposte, formulate in modo preliminare, individuano criteri e obiettivi che non sono certo gli unici attraverso i quali perseguire la duratura salvaguardia delle risorse idriche sotterranee pugliesi e degli equilibri ecologici che da queste dipendono.

In ogni caso, se i criteri proposti fossero realmente applicati, le acque sotterranee dolci sarebbero pienamente tutelate nel tempo dagli effetti dell'intrusione marina, garantendo al contempo la massima disponibilità idrica di pregio.

BIBLIOGRAFIA

ALAIMO R., AURELI A., FIDELIBUS M.D., TULIPANO L. (1989) - *Chemical and isotopical methodologies in the studies on origin and evolution of groundwaters flowing in the coastal carbonate and karst aquifer of Apulia (southern Italy)*. In: De Breuck W, Walschot L (eds) 10th SWIM Proceedings, vol 70. Natuurwetenschappelijk Tijdschrift, Gent, Belgium, 317-325.

COST (2005) - COST Action 621, *Groundwater management of coastal karstic aquifers*. European Commission, Directorate-General for Research, Report EUR 21366, Lussemburgo.

COTECCHIA V. (1956) - *Gli aspetti idrogeologici del Tavoliere delle Puglie*. L'Acqua, 11-12, 168-180, Roma.

COTECCHIA V. (1977) - *Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)*. Quaderni dell'Istituto di Ricerca sulle Acque, 20, 1-466.

COTECCHIA V., FERRARI G., FIDELIBUS M.D., POLEMIO M., TADOLINI T., TULIPANO L. (1995) - *Considerazioni sull'origine e rinnovabilità delle acque presenti in livelli sabbiosi profondi del Tavoliere di Puglia*. Quaderni di Geologia Applicata, 1/suppl., 1163-1173, Bologna.

COTECCHIA V., GRASSI D., POLEMIO, M. (2005) *Carbonate aquifers in Apulia and seawater intrusion*, *Giornale di Geologia Applicata*, 1, 219-231.

COTECCHIA V., LATTANZIO M., POLEMIO M. (1997) *Metodologie di studio dell'inquinamento salino degli acquiferi*. VI Workshop del Progetto Strategico "Clima, Ambiente e Territorio nel Mezzogiorno", Taormina, Dicembre 1995.

COTECCHIA V., MAGRI G. (1966) - *Idrogeologia del*

Gargano. Geol. Appl. e Idrog., Bari, Italia, vol. I.

COTECCHIA V., TADOLINI T., TITTOZZI P. (1971) - *Chemical characteristics of rainfall and effects on Apulian groundwater*, *Geologia Applicata e Idrogeologia*, 6, 175-196.

COTECCHIA V., TADOLINI T., TULIPANO L. (1983) - *Sea water intrusion in the planning of groundwater resources protection and utilization in the Apulia region (Southern Italy)*, 8th SWIM, Geol. Appl. e Idrog., Bari, 367-382.

DEUTSCH CV., JOURNAL AG. (1992) - *Geostatistical software library and user's guide*. Oxford University Press, New York.

FIDELIBUS M.D., TULIPANO L. (1991) - *Mixing phenomena due to seawater intrusion for the interpretation of chemical and isotopic data of discharge waters in the Apulian coastal carbonate aquifer (Southern Italy)*. Hydrogeology of salt water intrusion. Verlag Heinz Heise, Bruggeman GA (ed), Hannover, 317-327.

GRASSI D., TADOLINI T., TAZIOLI G.S., TULIPANO L. (1972) - *Ricerche sull'anisotropia dei caratteri idrogeologici delle rocce carbonatiche mesozoiche della Murgia Nord-occidentale*. Geol. Appl. e Idrogeol., vol XII, 187-213.

GWATE (2006) - *Sustainable Groundwater Management - Concepts and Tools*. Briefing Note Series, Note 1. World Bank, Washington DC, USA.

LL.PP. (1953) - *Le sorgenti italiane. elenco e descrizione (Regione Pugliese)*. Ministero dei Lavori Pubblici, Vol. I, Roma.

LL.PP., (1989) - *Piano Regionale Generale degli Acquedotti (Regione Puglia)*. Ministero dei Lavori Pubblici, Bari.

MAGGIORE M., MASCIALE R., MASSARI R., PAPPAGALLO G., PASSARELLA G., VURRO M. (2004) - *Caratteri idrostrutturali del Tavoliere di Puglia ed elaborazione di una carta geolitologica a finalità idrogeologiche*. *Geologi e territorio*, 2/2004, 6-16.

MAGGIORE M., PAGLIARULO P. (2004) - *Circolazione idrica ed equilibri idrogeologici negli acquiferi della Puglia*. *Geologi e Territorio*, Suppl. n. 1/2004, Bari.

POLEMIO M. (2000) - *Degradation risk owing to contamination and overdraft for Apulian groundwater resource (southern Italy)*. In: Andah, K. Editore *Water resources management in a vulnerable environment for sustainable development*, Italian IHP-UNESCO National Committee, Grifo Publishers, Perugia, p. 185-194.

POLEMIO M. (2005) - *Seawater intrusion and groundwater quality in the Southern Italy region of Apulia: a multi-methodological approach to the protection*. In Maraga F. e Arattano M. Editori, *Progress in surface and subsurface water studies at the plot and small basin scale*, Volume 77: Technical Documents in

Hydrology, UNESCO, IHP, Parigi, 171-178.

POLEMIO M., CASARANO D. (2008) - *Climate change, drought and groundwater availability in southern Italy*. In Dragoni W. e Sukhija B.S. Editori, Climate Change and Groundwater, Volume 288, Special Publications, The Geological Society, Londra, 39-51.

POLEMIO M., CASARANO D., LIMONI, P.P. (2009c) - *Karstic aquifer vulnerability assessment methods and results at a test site (Apulia, southern Italy)*. Natural Hazards Earth System Sciences, 9, 1461-1470.

POLEMIO M., CASARANO D., LIMONI P.P. (2010) - *Apulian coastal aquifers and management criteria*. In Condesso de Melo M.T., Lebbe L., Cruz J.V., Coutinho R., Langevin C. e Buxo, A. Editori, SWIM 21 - 21st Salt Water Intrusion Meeting, ISBN 978-972-97711-5-6, Azorre, 203-206.

POLEMIO M., DRAGONE V., DI CAGNO M. (1999) - *Effetti antropici e naturali sul degrado quantitativo delle acque sotterranee del Tavoliere*. Quaderni di Geologia Applicata 4, 143-152.

POLEMIO M., DRAGONE V., LIMONI P. P. (2005) - *Groundwater as main resources of a wide semiarid region: the case of Apulian region (southern Italy)*. Proceedings of AVR05-Aquifer Vulnerability and Risk 2nd Int. Workshop, 4th Congress on the Protection and Management of Groundwater, ISBN 88-901342-2-4, Parma, 1-5.

POLEMIO M., DRAGONE V. E LIMONI P.P. (2008) - *Salt contamination of Apulian aquifers: spatial and time*

trend. 1st SWIM-SWICA meeting (19th SWIM & 3rd SWICA jointed meeting), ISBN 978-88-902441-2-4, Cagliari, 115-121.

POLEMIO M., DRAGONE V., LIMONI, P.P. (2009a) - *Monitoring and methods to analyse the groundwater quality degradation risk in coastal karstic aquifers (Apulia, southern Italy)*, Environmental Geology, 58, 299-312.

POLEMIO M., DRAGONE V., LIMONI P.P. (2009b) - *The piezometric stress in the coastal aquifers of a karstic region, Apulia, Italy*. In Taniguchi M., Dausman A., Howard K., Polemio M. ed Lakshmanan E. Editori, Sustainability of groundwater in highly stressed aquifers, Volume 329, IAHS Publications, IAHS, 138-144.

POLEMIO M., LIMONI P.P. (2001) - *L'evoluzione dell'inquinamento salino delle acque sotterranee della Murgia e del Salento*. Memorie della Società Geologica Italiana, v. 56, p. 327-331.

POLEMIO M., LIMONI, P.P., MITOLO D., VIRGA R. (2006) - *Il degrado qualitativo delle acque sotterranee pugliesi*. Giornale di Geologia Applicata 3, 25-31.

REGIONE PUGLIA (1984) - *Piano di Risanamento delle Acque*. L.R. 24/1983, BUR, 132/83, Vol.1-8, Bari.

TADOLINI, T. (1990) - *Salt concentration cyclic changes in the waters of the salentine karstic aquifer (Puglia, southern Italy)*. 11th Salt Water Intrusion Meeting, Gdansk, Poland, 42-54.

A mio padre

Un grande poeta del Novecento, rievocando il tuo passato, parlerebbe della cresta sgargiante di un superbo gallo: ti rivedo infatti, con la tua impeccabile uniforme di Capostazione Superiore, che con il tuo cappello rosso licenzi un treno. E' il ricordo di un bambino, che dal finestrino di quel treno saluta commosso il padre.

Il ricordo si ripete dopo tanti anni, ma a ...partire adesso sei tu.

Ti ho visto gigante che con un possente fischio ti ergevi su tutti e comandavi i treni; ti ho visto uomo che con grande caparbieta superavi gli ostacoli; ti ho visto padre quando accarezzandomi di notte superavi la tua idea di genitore; ti ho sentito fragile quando improvvisi problemi si ergevano sulla tua strada; ti ho visto deluso quando non hai avuto ragione delle aspettative ed oggi ti saluto disperato per tutte quelle parole non dette, perché ero ancora piccolo, e per quelle che il rispetto e la discrezione mi hanno sempre impedito di farlo in età adulta.

Molti principi morali ho appreso dal tuo comportamento, sempre ispirato a rettitudine; e dalle tue parole, sempre misurate e mai sprecate per una riservatezza rigorosa, ma pronta ad aprirsi, se l'occasione lo permetteva, alla più schietta allegria. Talvolta mi apparivi brusco ed autoritario, ma la tua era solo la fermezza di chi è nel giusto e confida nel Signore. La sacralità della famiglia, la lealtà verso il prossimo, il rispetto delle tradizioni, gioioso e talvolta venato di bonaria ironia, sono gli altri valori che nel corso della tua esistenza hai saputo donare. Eri speciale anche nella pazienza e nella perizia con cui, dimostrando capacità creative, fabbricavi artistici oggetti, all'esclusivo scopo di ricavarne una personale soddisfazione.

Pur colpito, nel corso degli anni, da numerose malattie anche gravi, hai sempre lottato coraggiosamente per la tua salute, senza mai perdere il buon umore, fino al giorno in cui hai intuito che l'ultimo nemico era più forte.

Da allora hai iniziato un lunghissimo cammino di dolore.

Io, però, ora voglio ricordare il tuo gentile sorriso, con cui più che con lunghi discorsi (ed eri prodigo di felici battute) mi tranquillizzavi dopo un giusto rimprovero. Grazie papà.



Silvio Spizzico