



ISPRA

Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale

SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA

Organo Cartografico dello Stato (legge n° 68 del 2. 2. 1960)



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
Direzione generale per le dighe, le infrastrutture idriche ed elettriche



REGIONE PUGLIA

MEMORIE

DESCRITTIVE DELLA

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

VOLUME XCII

Parte Prima

**Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia:
dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa**

*The groundwater and the seawater intrusion in Apulia: from research to the
emergency in the safeguard of the water resource*

di

Vincenzo COTECCHIA

Direttore responsabile: Claudio CAMPOBASSO

REDAZIONE a cura del Servizio Cartografico, coordinamento base dati e tavoli europei

Responsabile della Produzione Cartografica-Editoriale: Domenico TACCHIA

Coordinamento Editoriale, allestimento digitale: Maria Luisa VATOVEC

REGIONE PUGLIA Sezione Attuazione del Programma

Responsabile Unico del Procedimento: ing. Domenico RAIO

Stampa: Grafica 080 Modugno (BA)

*A Maria,
Compagna di vita*



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti

Direzione generale per le dighe, le infrastrutture idriche ed elettriche

La corretta gestione delle risorse idriche è possibile solo se integrata ad una consapevole pianificazione del territorio, estesa anche in ambito interregionale; ciò assume una marcata valenza in Puglia dove le risorse idriche, in assenza di invasi, provengono dalle regioni limitrofe attraverso i grandi schemi idrici - Sinni, Pertusillo, Sele, Ofanto e Fortore -, e dalla complessa rete di pozzi di emungimento che attingono risorsa idrica dagli acquiferi sotterranei presenti nel territorio pugliese.

In tale ottica, nell'ambito del Programma di interventi finanziati con il Decreto n.1179 del 14 ottobre 2004, il *Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti* ha ritenuto necessario ed opportuno promuovere e finanziare una attività di studio volta a definire compiutamente gli aspetti legati alla vulnerabilità delle risorse idriche sotterranee perché sia possibile una consapevole azione di protezione e di utilizzo sostenibile.

L'obiettivo è di implementare le conoscenze degli Enti competenti con strumenti in grado di fornire un supporto tecnico scientifico per consapevoli e responsabili azioni finalizzate alla gestione ottimale delle risorse idriche.

La monografia che si presenta affronta in maniera ampia e sistematica tali aspetti e contribuisce ad arricchire le basi conoscitive e scientifiche per una corretta implementazione della gestione delle acque sotterranee e superficiali, necessario presupposto per uno sviluppo sostenibile del territorio e delle comunità.

IL DIRETTORE GENERALE

Dott. Vincenzo Cinelli

Prefazione

L'acqua costituisce una delle risorse vitali per la vita dell'Uomo anche nell'epoca attuale dominata dalle tecnologie e dall'economia digitale. Per questo la Regione Puglia ha moltiplicato negli ultimi anni le iniziative finalizzate alla gestione del rapporto offerta/domanda d'acqua, nel rispetto degli ecosistemi regionali. Si tratta in particolare di attività finalizzate alla valutazione delle effettive disponibilità idriche, dei relativi livelli qualitativi e della definizione di criteri di gestione sostenibile delle stesse.

La soluzione delle problematiche inerenti la gestione delle risorse idriche disponibili risulta condizionata nel nostro territorio dalle specifiche caratteristiche orografiche, geologiche e geostrutturali che determinano la quasi totale assenza di corsi d'acqua superficiali. Le ricerche svolte negli ultimi decenni hanno tuttavia evidenziato la presenza di un notevole patrimonio idrico sotterraneo contenuto negli acquiferi regionali, cui si è fatto via via ricorso nel tempo per soddisfare la domanda idrica sia ad uso potabile, sia irriguo.

Il tema della gestione del ciclo integrato dell'acqua e della tutela ambientale riveste un ruolo particolarmente significativo nella nostra regione, nella quale è necessario definire adeguate ed efficaci azioni per migliorare la gestione e la salvaguardia delle risorse idriche; in questo contesto riveste un'importanza ancora più significativa il tema specifico delle acque sotterranee, fonte preziosa per la Puglia intera, alle quali negli ultimi decenni si è purtroppo fatto ricorso in modo estremamente diffuso e disordinato. Il Piano di Tutela delle Acque ha evidenziato la presenza sul territorio regionale di un numero molto elevato di pozzi (forse più di 100.000), realizzati negli ultimi decenni, cui si contrappone l'esigenza crescente di promuovere una gestione delle acque sotterranee attraverso il rispetto criteri di pianificazione derivanti da solide basi scientifiche e dalla profonda conoscenza degli ambienti idrogeologici sotterranei.

Sulla base delle suddette constatazioni la Regione Puglia ha incaricato il prof. Vincenzo Cotecchia, noto esperto e conoscitore degli acquiferi regionali, di redigere una Monografia sulle acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia, sulla base delle specifiche conoscenze acquisite sull'argomento a partire dalla metà del secolo scorso. L'obiettivo, pienamente raggiunto dall'Autore, è stato quello di fornire una documentata ricostruzione storica del complesso delle conoscenze riferite alle acque sotterranee regionali, aggiornato all'attualità, oltre che definire, su adeguate basi scientifiche, criteri generali di gestione sostenibile degli acquiferi e di progettazione delle opere di captazione.

L'auspicio è che i contenuti della Monografia del prof. Cotecchia possano rappresentare un punto di partenza conoscitivo e culturale, per il corretto, durevole e rinnovabile utilizzo degli acquiferi, contribuendo al pieno raggiungimento degli obiettivi di tutela e di valorizzazione di una risorsa così importante per la Puglia come quella dell'acqua.

Al prof. Cotecchia il più vivo ringraziamento ed apprezzamento per il suo ulteriore e qualificato contributo allo sviluppo di un territorio che nella disponibilità della risorsa idrica continuerà a trovare nei prossimi decenni una delle condizioni più rilevanti del proprio sviluppo.

Il presidente della Regione Puglia

Avv. Michele Emiliano

L'Uomo moderno si trova di fronte a pressanti emergenze ambientali che necessitano urgenti soluzioni, le quali devono tener conto del fragile e mutevole equilibrio ambientale, fortemente condizionato dalle azioni antropiche.

Un vecchio ma sempre attuale problema, finora relegato a zone limitate del pianeta, si presenta con forza all'attenzione di tutti: quello della presenza e distribuzione delle riserve idriche, che assume toni sempre più acuti a causa degli squilibri regionali nella disponibilità d'acqua, e ciò con particolare riferimento ai territori costieri, sovente interessati dall'intrusione marina nel continente.

La tutela della risorsa idrica è uno degli obiettivi strategici UE. La quantificazione delle risorse idriche disponibili, della possibilità di approvvigionamento sostenibile delle stesse e del relativo stato qualitativo diventano conoscenze indispensabili per poter avviare delle corrette azioni di gestione delle risorse stesse da parte delle Istituzioni.

In questa ottica, il Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo, che ha tra i propri compiti istituzionali anche quello di favorire lo studio degli aspetti e delle problematiche idrogeologiche del territorio nazionale, ha deciso di supportare e promuovere la realizzazione del presente volume della collana editoriale delle Memorie.

La Monografia sulle acque sotterranee della Regione Puglia, supportata da precisi ed esaurienti dati quantitativi, riporta, con dovizia di particolari, i risultati di studi multidisciplinari condotti negli ultimi decenni nell'ambito di vari Progetti di Ricerca nel territorio della Regione, gran parte dei quali coordinati dal Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia.

In particolare, i contenuti della Monografia evidenziano gli aspetti legati alla disponibilità, alla vulnerabilità, alla protezione ed allo sfruttamento sostenibile della risorsa idrica sotterranea e la caratterizzazione geostrutturale e idrogeologica degli acquiferi, considerandone a scala regionale anche il degrado qualitativo e quantitativo determinato dall'intrusione marina nel continente, fornendo quindi moderni criteri a supporto di una politica di gestione ottimale della risorsa stessa e della sua salvaguardia e tutela.

La Monografia rappresenta in pratica una *summa idrogeologica* delle conoscenze attualmente disponibili sulle acque sotterranee della Regione Puglia, frutto di attenta ed accurata, e direi anche appassionata, ricerca pluriennale del Curatore del volume.

Il Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo ha anche voluto contribuire fattivamente alla Monografia con una Nota riguardante il contenuto informativo dell'Archivio Nazionale delle indagini di sottosuolo *ex lege* 464/84 concernente la Regione Puglia e il suo potenziale interesse per alcune applicazioni di studio in campo idrogeologico e, più in generale, delle discipline pertinenti alle ricerche sul suolo e sottosuolo del territorio italiano.

Nella speranza che la Monografia possa raggiungere i propri obiettivi di stimolare e supportare una migliore gestione delle acque sotterranee regionali, coinvolgendo le Istituzioni e gli Enti territoriali preposti, si ringraziano tutti coloro che hanno fornito il proprio contributo scientifico e soprattutto il prof. ing. Vincenzo Cotecchia, curatore del Volume, per l'eccellente lavoro svolto.

Il dirigente del
Servizio Geologia Applicata e Idrogeologia - ISPRA
Dott. geol. Marco Amanti

Introduzione



Vengono qui di seguito illustrati scopi e ragioni della presente Monografia che, fra principi didattici, constatazioni di fatti e verifiche specialistiche effettuate *in situ*, propone soluzioni alle problematiche ivi sollevate, guardando ad un futuro orientato ad una gestione culturalmente adeguata e finalizzata alla salvaguardia ambientale, nonché all'uso discreto degli acquiferi sotterranei della Regione Puglia.

L'interesse di una pianificazione e di un'adeguata gestione delle acque sotterranee, infatti, -dal ritrovamento all'impiego delle stesse- è funzione del grande volume idrico che meteorologicamente si abbatte sull'intera regione (10 miliardi e più di mc di pioggia per anno). Malgrado la loro notevole ricarica, queste falde acquifere non sono state fino ad oggi adeguatamente considerate da chi ne ha consentito un uso indiscriminato, nonostante la presenza di una letteratura tecnica e scientifica che, specie negli ultimi decenni, ha illuminato i lettori riguardo ai risultati di monitoraggi effettuati *in situ* e al rigore che si imporrebbe di conseguenza, in vista di una pianificazione intelligente delle acque in argomento. La Monografia dedica, d'altronde, ampio spazio all'illustrazione di aspetti sovente ignorati dagli organi preposti alla salvaguardia dell'enorme patrimonio idrico sotterraneo pugliese, la cui assoluta singolarità sarà illustrata nel prosieguo della trattazione.

Apulia Siticulosa

Le acque sotterranee sono in sostanza l'unica risorsa idrica interna della regione Puglia. La natura carsica delle rocce estesamente affioranti nel territorio pugliese non ha consentito, infatti, la formazione di risorse idriche superficiali degne di rilievo, ad eccezione di quanto si verifica nel Tavoliere di Foggia e nei versanti dauni del territorio regionale, dove sono presenti corsi d'acqua a regime essenzialmente torrentizio.

Al tempo dei Romani la Puglia era considerata una regione dotata di scarsa disponibilità idrica. Orazio, nel I° secolo a.C., percorrendo la Via Appia da Roma a Brindisi, definì la Puglia "*Apulia Siticulosa*", terra aspra e afosa, assetata di acqua e oscurata da una cappa di polvere opprimente. Nel resoconto del suo viaggio, il poeta sottolinea lo stupore dei viandanti laziali e campani all'idea di dover pagare l'acqua che era invece ampiamente disponibile nelle loro regioni di provenienza e dunque considerata merce priva di valore.

Il problema della carenza d'acqua venne parzialmente risolto dagli arabi con l'introduzione della *noria* (fig. 2.2 del cap. 2), strumento rudimentale più volte citato nel prosieguo della trattazione, che permise di sollevare dai primi pozzi a scavo le acque sotterranee contenute negli acquiferi cretacicci presso costa e di innescare l'irrigazione di colture intensive e la produzione di ortaggi e alberi da frutta. Si andava, così, gradualmente diffondendo l'estrazione di acqua dal sottosuolo, disponibile anche in grande quantità.

L'enorme patrimonio idrico sotterraneo presente in puglia

Il carsismo e più in generale l'elevata permeabilità delle rocce affioranti, dovuta alla densa fratturazione tettonica cui la regione è stata quasi ovunque esposta, rappresentano una valenza pressoché universale del territorio regionale, cui si deve la formazione di un cospicuo patrimonio idrico sotterraneo. Nel territorio regionale le altezze di pioggia annue sono infatti dell'ordine di 500÷1.000 mm e forniscono un volume di pioggia annuo dell'ordine di 10 miliardi di mc per anno, di cui almeno il 20÷30% alimenta gli acquiferi sotterranei regionali. In particolare, gli acquiferi afferenti ai calcari del Cretaceo assorbono in un anno acqua di pioggia per 2÷3 miliardi di mc. Le acque sotterranee regionali rappresentano quindi un determinante patrimonio idrico per la regione. Basti considerare che il solo acquifero cretacico del Salento ammonta ad una riserva di acqua sotterranea stimata dell'ordine di 15÷30 miliardi di mc.

Non è casuale ricordare che prima dell'avvento dell'Acquedotto Pugliese, e dunque del trasferimento in Puglia di risorse idriche extra-regionali, le acque sotterranee erano l'unica fonte idrica disponibile per gran parte della regione. Queste venivano attinte con modalità e mezzi non certo paragonabili a quelli attuali, ma che rispondevano almeno in parte al fabbisogno idrico di una regione in continua crescita demografica ed economica.

Dalla Noria agli oltre 100.000 pozzi attuali

Quando, nel 1950, chi scrive si accingeva a svolgere le prime ricerche sulle acque sotterranee contenute negli acquiferi cretatici regionali, si potevano censire appena 450 pozzi, per la maggior parte eseguiti a scavo e dotati di noria. Successivamente, quando si resero disponibili tecniche di perforazione che consentivano di raggiungere le falde acquifere regionali anche a notevoli profondità, sembrò che le acque sotterranee potessero risolvere tutti i problemi legati al fabbisogno idrico della regione nei vari comparti, irriguo, potabile e industriale, oltre a rappresentare una risorsa idrica cui attingere durante i periodi di siccità. Negli ultimi decenni, invece, le acque sotterranee sono state considerate nella pratica quotidiana pressoché inesauribili, tanto da prestarsi ad un uso sostanzialmente incontrollato. Il Piano di Tutela delle Acque della Puglia registra un numero di pozzi in ambito regionale superiore a 100 mila, senza tuttavia fornirne ubicazione precisa ed informazioni esaustive sotto l'aspetto idrogeologico e idraulico, né raccordando il numero delle utenze alle effettive potenzialità delle falde acquifere, sovente individuate in maniera approssimativa. A tal riguardo il Servizio Geologico d'Italia - Dipartimento del Suolo dell'ISPRA ha eseguito un'analisi delle informazioni contenute nell'Archivio Nazionale Indagini del Suolo ex-lege 464/84, la quale, pur riguardando solo le indagini successive al 1984 e più profonde di 30 metri, ha evidenziato che il numero di pozzi esistenti in Puglia è almeno 6 volte maggiore del numero di indagini effettivamente comunicato ai sensi della Legge. Tuttavia, l'analisi eseguita ha evidenziato l'efficacia del suddetto archivio per la definizione delle caratteristiche idrostratigrafiche, che potranno contribuire, se opportunamente integrate e approfondite, alla corretta gestione della risorsa idrica sotterranea e, più generale, del suolo e sottosuolo del territorio italiano.

La scoperta dell'intrusione marina in puglia

Fin dagli inizi degli anni Cinquanta del Novecento, agli albori cioè dell'uso crescente delle acque sotterranee regionali, si è sperato che la risorsa fosse tanto cospicua da rispondere agevolmente alla domanda idrica, malgrado quest'ultima aumentasse vertiginosamente sin dal primo dopoguerra. La "ricerca" idrica si scontrava subito con l'infausta influenza di fenomeni dovuti a intrusione marina nel continente sul comportamento delle falde acquifere, anche a notevoli distanza dalla costa. Il fenomeno, a questa scala, è da ritenersi pressoché unico in Italia e tra i più importanti nel mondo, agevolato com'è dalla notevole permeabilità per fratturazione tettonica e dal conseguente carsismo degli acquiferi cretatici.

L'acqua di mare, una volta intrusa nel continente dagli affioramenti calcarei presso costa, si dispone, a causa della maggiore densità, alla base della falda di acqua dolce, la quale poggia su acqua marina intrusa nel continente. A tale proposito è opportuno ricordare che tutte le falde acquifere regionali trovano recapito finale a mare, lungo il notevole sviluppo di coste che caratterizza la regione.

Gli studi eseguiti in proposito dal 1950 sino ad oggi, avvalorati da accertamenti condotti per un lungo arco di tempo, hanno consentito un'analisi dettagliata dei caratteri idrogeologici della regione, particolarmente del carsismo presente a varie profondità, soffermandosi sulla permeabilità dei terreni affioranti e profondi fino ad alcune centinaia di metri sotto il piano campagna. Oggi molto è dunque noto sui caratteri idrogeologici delle formazioni acquifere regionali, sovente caratterizzate da una "permeabilità in grande", cui si devono fenomeni di intrusione marina continentale. Questa ha avuto luogo sin da tempi geologici pregressi, prima ancora che gli acquiferi dolci sovrastanti l'acqua di mare fossero disturbati dall'impiego antropico, come tratta estesamente la Monografia, con conseguenze sempre più gravi allorché l'esercizio delle utenze è stato incurante delle difficili condizioni di equilibrio, da studiare caso per caso, fra falda di acqua dolce e acqua marina sottostante.

Va ricordata, a questo punto, l'esecuzione di due importanti pozzi profondi nel Tavoliere di Foggia intorno al 1953. Tali perforazioni venivano ubicate fra il Gargano e il Tavoliere e fra quest'ultimo e la Murgia, a seguito di un'indagine geoelettrica profonda, coordinata da chi scrive, al fine di determinare la tettonica profonda rispetto al ritrovamento di rocce carbonatiche mesozoiche presenti sotto depositi in prevalenza argillosi pleistocenici. Scopo della ricerca era rilevare la presenza di falde acquifere dolci, pur a notevole profondità, nel carbonatico mesozoico di base dell'area del Tavoliere.

A tal riguardo, un pozzo veniva eseguito a Foggia e rilevava, all'incirca alla profondità di 1000 m sotto i depositi argillosi impermeabili del Terziario, i calcari mesozoici saturi di acqua salata, che risaliva nel pozzo li-

vellandosi con la quota del livello mare. Un altro pozzo, eseguito sulla strada Foggia-Manfredonia in prossimità del bivio per San Marco in Lamis, intercettava i calcari cretaci alla profondità di 800 m, rinvenendo in questi ultimi acqua di mare, come nel caso precedente.

Queste ricerche facevano seguito a precedenti tentativi effettuati nel 1925 dal Servizio Geologico di Stato, che dopo aver inutilmente perforato le argille plio-pleistoceniche per circa 700 m, cessava di accertare un'eventuale presenza di acqua dolce di falda nel sottosuolo del Tavoliere. I risultati di tali indagini idrogeologiche inducevano quindi a invertire la rotta della pianificazione idrica del Tavoliere, indirizzandola verso la possibilità di ricorrere, specie per l'approvvigionamento irriguo, ad invasi sui corsi d'acqua provenienti dall'Appennino, come il Fortore, l'Ofanto e altri corsi d'acqua secondari.

L'intrusione marina profonda nel continente trovava peraltro conferma nel pozzo per ricerca petrolifera di Gaudiano (Lavello), che, eseguito all'incirca a 40 km dalla costa in corrispondenza della Fossa Bradanica, riscontrava acqua di mare alla profondità di 1400 m. E qui vale la pena ricordare che la presente Monografia considera sovente, fra i dati disponibili, quelli stratigrafici, e ove possibile geoidrologici, derivanti da perforazioni effettuate nella regione per ricerche petrolifere.

Gestione inadeguata delle acque sotterranee, malgrado i risultati degli accertamenti e i primi strumenti di pianificazione idrica suggeriti

Gli emungimenti dagli acquiferi regionali sono stati a lungo attuati, talora massicciamente, senza alcun criterio di pianificazione, nonostante i risultati di numerosi studi e accertamenti eseguiti negli ultimi 60 anni, che hanno esplorato il sottosuolo regionale ricavandone preziosi elementi conoscitivi, estremamente utili per contenere il sollevamento dell'acqua marina presente alla base delle falde.

L'equilibrio tra la falda d'acqua dolce diretta verso la costa e l'acqua di mare intrusa nel continente rappresenta in questa trattazione l'argomento determinante, in ordine soprattutto alle profondità dell'“*interfaccia*” di separazione (o *zona di transizione*) acqua di mare – acqua dolce. Un argomento adeguatamente affrontato e risolto, sulla base di accertamenti attinti *in situ* e riferiti ad aree idrogeologiche regionali opportunamente prescelte.

Sulla tematica delle acque sotterranee presenti in Puglia è andata dunque maturando una vasta letteratura scientifica, grazie alla valida opera svolta da organismi di ricerca universitari e del C.N.R., nonché dalla Cassa per il Mezzogiorno, che ha dato diversi contributi ad adeguate ricerche pratiche e scientifiche. La soppressione, alla fine degli anni '80, di questo Ente e dei suoi Progetti Speciali, ha purtroppo dato luogo ad un frazionamento delle competenze nel settore idrico sotterraneo, determinando l'interruzione di programmi di importanza strategica per la Puglia, una regione tra le più esposte a problemi che necessitano di ricerche mirate per un corretto uso delle proprie risorse idriche. A tal riguardo non si può non sottolineare il ruolo un tempo attribuito a siffatte tematiche dall'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania (Bari), di cui va ricordato l'impegno profuso negli anni '50-'60, quando vennero eseguiti i primi accertamenti sistematici riguardo alle effettive disponibilità e qualità delle risorse idriche sotterranee regionali.

Dalla letteratura scientifica nel frattempo maturata sono derivati, infatti, i primi Piani di utilizzazione e le prime normative regionali, purtroppo disattese agli effetti di una gestione corretta e politicamente condivisa delle acque sotterranee. All'incirca 30 anni fa chi scrive era chiamato, infatti, a coordinare per la Regione la stesura del “*Piano di Risanamento delle Acque*” (1983) e poi, a cura del Provveditorato Regionale alle OO.PP. per la Puglia, della “*Variante al Piano Regolare Generale Acquedotti*”, studi propedeutici alla definizione del sistema integrato acquedottistico pugliese, limitato all'epoca solo a 4 lotti funzionali (I lotto 1989, II lotto 1991, III 1993 e IV lotto 1995).

Il “*Piano di Risanamento delle Acque*” forniva rilevanti indicazioni e motivate prescrizioni, la cui validità era da considerarsi emblematica, nonché prologo ad un inevitabile “*Riordino*”, riferibile agli attingimenti dalle falde. Sta di fatto che, malgrado gli approfondimenti e le conoscenze idrogeologiche tutt'ora pertinenti sull'argomento, l'attuazione di un “*Riordino delle Utenze*” rappresenta nei fatti solo un ricordo. L'attuale “*Piano di Tutela delle Acque*” fornisce, approssimativamente, l'ubicazione delle captazioni e degli emungimenti dalle falde, limitandosi alla densità dei pozzi su superficie unitaria del territorio regionale. I pozzi realizzati negli ultimi 60 anni sono cresciuti in modo spaventoso, tanto da raggiungere e superare le 100 mila unità, mentre gli uffici preposti provvedono ancora al rilascio di nuove utilizzazioni e concessioni, procedendo ad un'archiviazione dati che lo stesso Piano di Tutela considera poco congruente.

In ogni caso, il Riordino delle utenze previsto dal Piano di Risanamento del 1983 è più che mai necessario, nell'attuale contesto di applicazione dei criteri di valorizzazione e salvaguardia degli acquiferi sotterranei, sui quali questo studio si sofferma ampiamente. In proposito è importante programmare la gestione e la pianificazione delle utenze, secondo criteri scientificamente convalidati da frequenti monitoraggi idraulici e qualitativi *in situ*.

L'impiego di acqua sotterranea interessata alla base dall'influenza dell'intrusione marina si attua oggi nel mondo grazie ai monitoraggi in tempo reale riguardanti la risposta degli acquiferi all'emungimento

Una gestione produttiva degli acquiferi, benché spesso complicata dalla presenza di acqua di mare alla base delle falde di acqua dolce, è comunque possibile; come del resto si verifica da tempo nel mondo, in particolare nei paesi più avanzati, laddove tale fenomenologia è monitorata e superata nell'impiego di acquiferi influenzati alla base dall'intrusione marina. In presenza di fenomenologie di questo tipo, è tuttavia indispensabile un *management* virtuoso, basato su criteri idrogeologici ed idraulici, cui questo studio fa riferimento in senso didattico e pratico-funzionale. Occorre in proposito osservare ed interpretare in tempo reale i monitoraggi quantitativi e qualitativi regionali, spesso prossimi alle opere di captazione, che consentano l'estrazione sostenibile della risorsa idrica sotterranea, a patto che questa sia di qualità accettabile. A tale riguardo vengono proposti utili confronti con quanto studiosi di vari paesi hanno recentemente messo a punto, illustrando situazioni idrogeologiche e idrauliche pressoché simili a quelle della regione Puglia.

La presenza in aree costiere di acquiferi da salvaguardare dall'intrusione marina (ma in questa regione vanno considerate tali anche aree sorprendentemente interne e lontane dalle coste), ha da decenni stimolato la comunità scientifica internazionale, riguardo agli aspetti legati all'emungimento dalle falde in siffatte condizioni. I "Salt Water Intrusion Meeting (SWIM)", incontri scientifici biennali organizzati sin dal 1968 cui il presente studio dà ampio spazio, rappresentano significativi momenti di confronto fra ricercatori, dirigenti e studiosi interessati alla materia.

Il progetto dei pozzi nei confronti del salt-water upconing

La predisposizione e il corretto esercizio idraulico dei pozzi, condizionati da fenomeni riferibili alla presenza di intrusione marina sugli acquiferi sotterranei sovrastanti, impongono un'adeguata progettazione e l'adozione di criteri idrogeologici e idraulici basati sui principi che regolano il fenomeno della formazione del cono di intrusione marina, noto nella letteratura internazionale come *salt-water upconing*. È indispensabile, insomma, che le opere di captazione siano progettate da professionisti competenti e non da tecnici ignari delle conseguenze idrogeologiche e idrauliche dell'esercizio di un pozzo quando le acque dolci di falda galleggiano su acqua di mare. Purtroppo, la geometria dei pozzi eseguiti negli ultimi decenni è il risultato di troppo facili intese fra committenza e perforatori, nonostante si raggiungano sempre più di frequente profondità dell'ordine di 1000 m, con adeguamento in "corso d'opera" tra esecutore e committenza!

Comportamenti di questo genere contribuiscono all'occultamento di dati idrogeologici preziosi, che sarebbero invece desumibili da perforazioni accortamente interpretate sotto il profilo stratigrafico e idrogeologico in corso d'opera. Solo dando spazio all'analisi della piezometria della falda, del chimismo delle acque estratte e del comportamento idraulico in corso di emungimento è possibile acquisire risultati sperimentali credibili, riguardo alla potenzialità degli acquiferi attraversati e alla corretta penetrazione in falda del pozzo in esame. Un'analisi eseguita su circa 1.000 degli oltre 100.000 pozzi in esercizio mostra che il 20% dei pozzi preleva acque sotterranee con concentrazione salina superiore a 2 g/l, e che il 30% dei pozzi presenta percentuali di penetrazioni in falda superiori a 40%, circostanze queste ultime da considerarsi a rischio, in ragione dell'approssimarsi della base del pozzo all'acqua di mare presente sotto l'acquifero dolce.

Il *Piano di Tutela* delle acque prevede, in tema di acque sotterranee, che il rinnovo delle concessioni relative a pozzi esistenti sia condizionato dalla correzione dimensionale e idraulica, a seguito dell'esame delle depressioni idrodinamiche applicate durante l'emungimento e delle penetrazioni in falda, secondo criteri troppo semplificati e alquanto dubbi. Tali rimedi avrebbero dovuto riguardare anche il "corso d'opera", che ha dato luogo sovente a percentuali di penetrazioni in falda dei pozzi scorrette e maldestre e ubicazioni in situazioni idrogeologiche inadatte. Gli argomenti affrontati in questo studio riguardano appunto il comportamento idrodinamico dei pozzi in funzione della loro penetrazione negli acquiferi regionali, suggerendo adeguati criteri progettuali che, pur se non immediati, vanno acquisiti dopo i necessari approfondimenti idrogeologici e idraulici *ad hoc* e compiuti in corso d'opera da professionisti competenti.

Sorgenti costiere e pozzo orizzontale

In conseguenza di quanto sin qui affermato, è lecito chiedersi come mai, nell'avvalersi di acque sotterranee per necessità spesso promiscue di approvvigionamenti idrici regionali, non ci si soffermi a sufficienza sull'uso delle sorgenti costiere. Queste ultime, dotate di portate notevoli drenanti le falde lungo costa, derivano talora da bacini idrogeologici molto estesi e lontani dalle coste. Come questo studio il-

lustra, le principali sorgenti regionali note (cap. 4) presentano una portata media totale pari a non meno di $20 \text{ m}^3/\text{s}$, equivalente cioè ad oltre un quinto della portata complessiva delle falde dirette verso costa, che defluisce quindi in mare attraverso sorgenti diffuse o spesso concentrate, in gran parte ignote. Sorgenti costiere che danno luogo a deflussi caratterizzati, in corrispondenza dell'emergenza finale, da acque dolci già abbondantemente mescolate con acqua marina, sicché il chimismo delle acque sorgive è tale da renderle di non facile e immediato utilizzo, a meno che non si definiscano adeguati trattamenti per ricondurne il chimismo entro limiti accettabili, caso per caso (fine irriguo, potabile, industriale). A tale proposito, considerato che le acque delle sorgenti costiere sono rappresentate approssimativamente da acque dolci contenenti il 5-10% di acqua marina, va studiata la possibilità di captare le acque sotterranee dirette alle sorgenti, a monte delle scaturigini lungo costa, e cioè prima che subiscano l'incidente contaminazione salina che si verifica in prossimità dell'emergenza finale. Nel proseguo della trattazione si affronterà l'argomento dei cosiddetti "Pozzi orizzontali"; pozzi che, seguendo all'inizio un percorso verticale dalla superficie topografica del suolo fino a raggiungere in profondità il tetto della falda idrica, procedono poi con cunicoli suborizzontali drenanti acqua sotterranea al *top* della falda. Si tratta di un modo diverso di guardare all'estrazione delle acque di falda, per ridurre il fenomeno del *salt-water upconing* già citato, consentendo il prelievo delle acque di falda dalla sommità della porzione di acquifero diretta alla sorgente, prima che l'acquifero dolce si accosti ai punti di emergenza costiera.

Si ricorderà in proposito il pozzo Guardati (cap. 18), che all'inizio del secolo scorso forniva approvvigionamento idrico alla città di Lecce, oggi "non più di moda". L'Acquedotto Pugliese, sempre in tema di "pozzo orizzontale", ha provveduto 60 anni fa, su indicazione di chi scrive, all'esecuzione del pozzo "Trepuzzi", che oggi, in splendida forma, fornisce acqua potabile a oltre 100mila abitanti.

Purtroppo ben poche sorgenti regionali costiere sono state in passato oggetto di ricerche geologico-strutturali, idrogeologiche e idrauliche finalizzate all'individuazione di metodi ottimali di captazione. A tale proposito vanno qui citati gli accertamenti svolti alla fine degli anni '60 in corrispondenza delle sorgenti Chidro e Idume, i cui risultati non sono stati tuttavia considerati ai fini della programmazione idrica regionale, specie da parte degli organi istituzionali preposti.

Tuttavia, per dotare il presente studio di risultati rappresentativi e aggiornati sugli affioramenti delle falde lungo costa, si è proceduto ad effettuare una serie di accertamenti emblematici presso la sorgente Chidro (in agro di S. Pietro in Bevagna), che hanno prodotto risultati inappellabili riguardo al depauperamento idraulico subito in un breve lasso di tempo dall'acquifero. L'argomento, ampiamente trattato più avanti, rappresenta una base conoscitiva esemplare e funzionale, utile alle investigazioni *in situ* occorrenti per lo studio qualitativo e quantitativo delle acque sgorganti lungo costa nella regione Puglia.

Ancora in tema di sorgenti, vanno infine ricordati gli studi, gli accertamenti sperimentali e le modalità esecutive osservate nel Progetto di Ricerca, condotto alla fine degli anni Ottanta, in corrispondenza della sorgente sottomarina "citro" Galeso, presente a circa 18 m di profondità nei fondali del Mar Piccolo di Taranto. Questo tipo di sorgente sottomarina è una manifestazione carsica, la cui particolare morfologia –ottimamente studiata per realizzare un'opera di presa adeguata della sorgente– rappresenta un modello originale, di validità scientifica e pratica nella singolare materia trattata. L'esperimento ha potuto contare sul contributo della Cassa per il Mezzogiorno; le indagini eseguite hanno consentito di formulare un significativo modello idraulico dell'opera di presa del detto "citro", con cui è stato possibile portare alla superficie del mare una portata variabile tra 600 e 800 l/s, con concentrazione salina dell'ordine di 3-4 g/l. Il caso del citro Galeso è quindi da considerarsi un'opportunità avveniristica, proiettata alla soluzione dei problemi di approvvigionamento idrico che assillano l'area tarantina: si è potuto effettuare un prelievo di acqua da sorgente sottomarina anche a notevole profondità sotto il mare.

Il progressivo degrado quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee pugliesi

È essenziale, a questo punto, sottolineare il progressivo degrado quantitativo e qualitativo subito dalle acque sotterranee regionali nelle condizioni di gestione e attingimento adottate ormai da decenni e tutt'ora in atto. Nel Tavoliere di Foggia le riduzioni di altezza piezometrica misurate sono in alcune zone dell'ordine di diverse decine di metri, mentre le falde contenute negli acquiferi cretaci della regione sono interessate da un progressivo incremento di concentrazione salina e dal sollevamento e/o incremento di spessore della zona di transizione, che separa l'acquifero dolce dalla sottostante acqua di mare. Esempi emblematici a tal riguardo sono rintracciabili in tutto il territorio regionale. Facendo particolare riferimento alla Penisola Salentina, è significativo evidenziare il degrado quantitativo e qualitativo registrato in corrispondenza della già citata sorgente Chidro. Si è infatti passati dalla portata

di circa 2,5 m³/s osservata negli anni '30 alla portata recentemente misurata (2011), grazie al *Progetto di monitoraggio regionale Tiziano*, di circa 1 m³/s. In quest'area è stata inoltre rilevata una riduzione di spessore della falda di acqua dolce di circa 70 m in 40 anni, provocata dal sollevamento di acque salmastre provenienti dalla zona di transizione e attribuibile a disequilibrio idraulico fra l'acqua dolce di falda e quella marina sottostante, un fenomeno che la trattazione illustrerà in maniera particolareggiata più avanti.

Inadeguatezza della normativa nazionale in tema di salvaguardia delle falde acquifere dall'intrusione marina

Dopo quanto osservato sul degrado quantitativo e qualitativo delle falde acquifere regionali, e tenendo in debito conto la singolarità che i caratteri idrogeologici degli acquiferi pugliesi mostrano quasi ovunque, va detto che tale singolarità ha ben poco in comune, nella sostanza, con quanto si può constatare sull'insieme del territorio nazionale, generalmente punteggiato da sorgenti di trabocco o di strato presenti nel continente.

Con specifico riferimento all'acquifero cretacico salentino, si osserva infatti che quest'ultimo è ovunque sostenuto alla base da acqua di mare, la cui presenza nel sottosuolo del Salento determina la comunicazione, sotto il profilo idrogeologico e idraulico, tra Mare Adriatico e Mare Ionio, passando cioè al di sotto dell'intera Penisola Salentina (fig. 30.2) da un estremo all'altro. Andando ad altre aree idrogeologiche regionali, è plausibile che anche le porzioni più interne dell'acquifero murgiano e di quello garganico siano interessate da intrusione marina, con conseguenze illustrate nelle pagine che seguono. In proposito, vale la pena osservare con attenzione le figure 30.1÷30.4 del capitolo 30, che raffigurano le sezioni fondamentali alla base dei lineamenti idrogeologici della regione Puglia da un estremo all'altro. Tali sezioni evidenziano chiaramente l'idrogeologia e l'intrusione marina regionale fin qui considerate.

Alla peculiarità del sistema idrogeologico pugliese dovrebbe corrispondere l'adozione di specifici metodi di controllo e gestione della risorsa idrica sotterranea, cui la Normativa nazionale dedica purtroppo ben poco spazio. Quest'ultima, infatti, è assai vaga riguardo all'intrusione marina negli acquiferi permeabili, ed è lungi dal considerare criteri corretti da imporre a monitoraggi ambientali mirati *in situ*.

Va qui sottolineata altresì l'eccessiva frammentazione e disorganizzazione determinate dall'arcaicità di strumenti e criteri di pianificazione oggi in auge. È evidente insomma che in materia di pianificazione e gestione delle risorse idriche sotterranee regionali le definizioni e l'attuazione delle stesse norme andrebbero assegnate a un unico soggetto pubblico, dotato di strumenti e personale adeguati, quest'ultimo estremamente qualificato e responsabile dei "Distretti di gestione degli acquiferi", cui la trattazione fa riferimento nel capitolo 11 sulle *Normative*.

Vulnerabilità e aree di salvaguardia dei pozzi potabili

Allargando i confini delle normative alla salvaguardia delle acque derivate da acquiferi sotterranei per uso potabile, lo studio illustra, con particolare riferimento all'inquinamento chimico e tossicologico derivante da attività antropiche sul territorio, i metodi di mappatura *della vulnerabilità* intrinseca degli acquiferi, specie se fratturati e carsicizzati. Vengono poi illustrati alcuni casi di inquinamento concentrato, determinato da attività antropiche che occorre studiare adeguatamente ai fini della salvaguardia delle opere di captazione dagli acquiferi soprattutto se destinati al consumo umano.

L'argomento è considerato con riferimento a specifici distretti regionali estrattivi dalle falde utilizzate dall'Acquedotto Pugliese, ubicati dalla Murgia al Salento. In proposito, si palesano alcune difficoltà nell'applicazione della Normativa ambientale vigente, visto il contrasto fra l'uso del suolo circostante alle opere e le condizioni ottimali rispondenti ad una captazione adeguata di acqua sotterranea protetta al proprio intorno. Va infatti ricordato che la presenza di pozzi privati, spesso neppure censiti, si approssima talora oltre misura a quelli oggi destinati all'uso potabile.

La salvaguardia dei pozzi potabili impone insomma riflessioni di vario ordine circa il loro futuro, visto che attualmente la disposizione delle captazioni risponde più alla necessità di disporre di ubicazioni prossime alla rete idrico-potabile dell'AQP, che ad esigenze idrogeologiche e idrauliche adeguate. I pozzi a scopo potabile, infatti, sono sorti in un lontano passato, perlopiù in seguito ad interventi urgenti che miravano ad assicurare l'approvvigionamento idrico in periodi di particolare siccità. Risultato di situazioni di emergenza, l'inadeguata ubicazione di pozzi è invece persistita, tanto da richiedere talora oggi la ricollocazione e il ridimensionamento idrogeologico e idraulico delle utenze in atto.

Lo studio si sofferma dunque sulle condizioni ottimali che si imporrebbero, qualora si procedesse alla realizzazione delle cosiddette "Zone di Rispetto" competenti, secondo norma e caso per caso, alla protezione

delle opere di captazione e delle porzioni di falde idriche adottate per l'uso potabile. In tale ottica si forniscono esempi pratici di possibili applicazioni -sotto il profilo pratico e scientifico- delle metodologie note, premessi gli indispensabili accertamenti *in situ* delle condizioni idrogeologiche e dei comportamenti idraulici delle captazioni in auge dalle falde interessate.

Accertamenti e monitoraggi delle fenomenologie idrogeologiche ad oggi attuati

Si è potuto procedere alla stesura di questa Monografia sulla base dei risultati di studi effettuati nell'arco degli ultimi cinquant'anni, e fondati su accertamenti idrogeologici e idraulici *ad hoc*, svolti *in situ*, grazie ai finanziamenti di Enti istituzionali, come la Cassa per il Mezzogiorno, l'Ente Irrigazione, il C.N.R., il Ministero dei LL.PP. oggi Ministero delle Infrastrutture e indirettamente anche dalla CEE.

Durante l'operazione di attingimento dalle falde venivano svolti indagini e accertamenti -cui chi scrive ha preso direttamente parte-basati su perforazioni che raggiungevano gli acquiferi regionali e si spingevano a volte sino all'acqua di mare sottostante alle falde. I riferimenti e gli esempi pratici hanno riguardato la falda carsica della Murgia, quella Salentina, del Gargano e dei terreni alluvionali del Tavoliere; tutte aree che nel lontano passato non sono state mai studiate in tale ottica. In proposito, lo studio illustra in particolare i risultati di accertamenti svolti nelle sei principali aree idrogeologiche della Regione.

E qui va ricordata la Relazione datata 1957 (sempre di grande attualità), su risultati scientifici di enorme importanza e il cui testo integrale è inserito nel CD allegato. Già nel lontano '57, infatti, si proponevano suggerimenti per la progettazione e l'esercizio di pozzi e altre opere di captazione dalle falde. Dalla Relazione emerge insomma un bagaglio conoscitivo ricco di dati idrogeologici risalenti ad un periodo storico in cui gli emungimenti degli acquiferi erano molto ridotti, e non paragonabili a quelli accumulatisi nell'arco di cinquant'anni sul territorio regionale.

Sempre negli anni Cinquanta si procedeva ai primi studi organici sulla falda superficiale contenuta nei depositi quaternari del Tavoliere, che facevano seguito ad una indagine geoelettrica *ad hoc* di grande rilevanza, la quale suggeriva l'esecuzione di perforazioni profonde, in grado di individuare l'ingressione marina continentale sottostante alla potente coltre di terreni argillosi plio-pleistocenici che separa i depositi quaternari acquiferi superficiali dal Mesozoico calcareo profondo. Un'apposita nota (inserita nel CD allegato), che chi scrive ha avuto la fortuna di redigere insieme con i colleghi Felice Ippolito e Giulio De Marchi (1958), riguardava specificatamente l'idrogeologia e le disponibilità idriche dei depositi alluvionali quaternari, al tempo straordinariamente acquiferi del Tavoliere. Tale studio faceva seguito a quelli avviati già nel 1886 dal Ministero dell'Agricoltura e proseguiti dal Consorzio Gen. per la Bonifica e la Trasformazione Fondiaria della Capitanata (FG).

Fra gli studi e le ricerche sull'intrusione marina continentale in Puglia, particolarmente significativi sono i risultati del primo *Progetto Finalizzato* - che il Consiglio Nazionale delle Ricerche affidava a chi scrive, autore del *Quaderno n. 20 dell'Istituto di Ricerca sulle Acque-CNR del 1977*, dal titolo "*Studi e ricerche sulle acque sotterranee e sull'intrusione marina in Puglia (Penisola Salentina)*" (v. CD allegato). Il testo, ben noto agli operatori del settore, presenta e riassume ricerche svolte per oltre venti anni sull'influenza esercitata dall'intrusione marina su falde acquifere e pozzi, e riporta elementi conoscitivi straordinari. La ricerca veniva accolta favorevolmente dall'UNESCO, come contributo italiano al "*Decennio Idrologico Internazionale*".

Tra la fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta venivano inoltre effettuati monitoraggi strategici, finalizzati ad accertamenti stratigrafici ed idrogeologici nonché a controlli dell'idraulica sotterranea riguardo agli acquiferi dell'intera regione, i cui risultati sono stati ampiamente utilizzati in questa Monografia. Si ricordano in proposito le relazioni redatte da chi scrive: "*Interventi finalizzati a fronteggiare l'emergenza idrica del 1988 in Puglia e Basilicata*" (1992), promosse dall'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese e il lavoro dal titolo: "*Studio delle potenzialità idriche superficiali e sotterranee nelle aree della Murgia e del Salento* (1992)" svolto per conto della Soc. Aquater (ENI). A questa stessa data risale l'istituzione della prima vera rete di monitoraggio profondo delle falde idriche in Puglia, curata dall'Ente Irrigazione, sulla scorta del programma POP 1989-'91, che ha fornito dati di cui si è tenuto conto nella stesura della trattazione. A conclusione di questa serie di monitoraggi, chi scrive redigeva nell'ottobre 1998 una Relazione conclusiva, a tratti critica, dal titolo "*Progetto per l'ampliamento e l'ammodernamento della rete per il controllo idrometrografico e qualitativo delle falde idriche nella Regione Puglia*"; relazione storica ai fini dell'evidenziazione del progressivo depauperamento dell'acquifero superficiale del Tavoliere di Foggia e del peggioramento delle condizioni quantitative e qualitative delle acque di falda presenti negli acquiferi carsici del rimanente territorio regionale. Le fenomenologie descritte costituivano un serio avvertimento rivolto agli organi preposti alla gestione della risorsa idrica sotterranea della Regione.

Il Ministero delle Infrastrutture ravvisò dunque la necessità di avviare un aggiornamento particolareggiato

delle conoscenze a riguardo, promuovendo sintesi e indagini sulle fenomenologie di degrado degli acquiferi sotterranei pugliesi, cui faceva seguito la relazione, a firma di chi scrive, sulla “*Ricerca scientifica finalizzata all’analisi ed alla verifica dello stato qualitativo delle risorse idriche sotterranee nelle aree del Tavoliere di Foggia, del Promontorio del Gargano e dell’Alta Murgia, al fine del possibile impiego nell’approvvigionamento idrico potabile della Regione Puglia*” (2003). Si evidenziava inoltre un costante, progressivo degrado della falda profonda nella Murgia meridionale e nel Salento nella successiva relazione “*Accertamenti e studi finalizzati alla verifica dello stato quantitativo e qualitativo delle risorse idriche sotterranee nelle aree della Murgia meridionale, della penisola salentina, ai fini di un adeguato impiego di dette risorse per l’agricoltura e per l’approvvigionamento idrico potabile, in casi di emergenza, nel contesto della salvaguardia ambientale e di una pianificazione dei prelievi possibili*” (2005).

Gli scambi di informazioni fra chi scrive e il Ministero delle Infrastrutture proseguirono con continuità e impegno da entrambe le parti, interessate all’acquisizione di dati più recenti sulle fenomenologie oggetto di studio, considerate allarmanti dal Ministero agli effetti della salute degli acquiferi regionali e del loro futuro. A tali circostanze faceva paradossalmente riscontro, in ambito burocratico-amministrativo, una sostanziale continuità da parte degli uffici preposti al rilascio o al rinnovo delle concessioni, il che continuava a consentire una gestione molto rischiosa delle acque sotterranee.

A causa dell’aggravamento dello “stato di salute” delle falde acquifere, la Regione si impegnava quindi a varare un nuovo monitoraggio *in situ*, definito “*Progetto Tiziano*” (2007÷2012). Dei risultati di tale monitoraggio chi scrive ha preso atto, specie in riferimento ai dati sul chimismo delle acque di falda intercettate, procedendo alla loro interpretazione e confrontandoli con dati idrogeologici e idraulici già acquisiti. Durante il monitoraggio, chi scrive aveva in ogni caso la possibilità di dialogare utilmente con il Responsabile della Regione preposto alla materia, per cui i nuovi dati provenienti dal Tiziano completavano utilmente la ricerca, finendo ancora una volta per constatare il progressivo degrado qualitativo e quantitativo delle falde acquifere, sottoposte ai controlli citati in questa Introduzione.

Affidamento del Progetto di Ricerca alla base di questa Monografia

Intanto la rilevanza delle situazioni di degrado delle falde, evidenziate da accertamenti segnalati al Ministero delle Infrastrutture con le apposite relazioni datate 2003 e 2005, induceva la struttura ministeriale a promuovere un circostanziato “*Progetto di Ricerca*”, finalizzato all’ordinata ricostruzione storica e critica dell’effettivo “stato di salute” delle acque sotterranee regionali e all’utilizzo futuro delle notevoli conoscenze pratiche e scientifiche acquisite. Il Progetto, sfociato in questa Monografia, è stato dunque avviato e finanziato dal Ministero (*Direzione Generale per le Dighe, Infrastrutture Idriche e Elettriche*), nell’ambito di utilizzo dei fondi P.O.N. Risorse Idriche, individuando come soggetto beneficiario e attuatore la Regione Puglia, in particolare l’Ufficio dell’Area Politiche per lo Sviluppo economico, il lavoro e l’innovazione – Servizio Attuazione del Programma della Regione. Chi scrive ha avuto pertanto la possibilità di coordinare e sviluppare tale lavoro sulla base di una RELAZIONE METODOLOGICA dettagliata, richiestagli dal Ministero e dalla Regione al contempo, finalizzata appunto ai servizi da prestare, dal titolo “*Le acque sotterranee e l’intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all’emergenza nella salvaguardia della risorsa*”.

Con tale iniziativa si è infatti voluto documentare, evidenziando tutti i dati conoscitivi reperiti, l’effettivo “*stato di salute*” della risorsa idrica sotterranea regionale, motivandone le cause di degrado remote e attuali; rapportabili queste ultime in sostanza ai numerosi e disordinati emungimenti, spesso episodici, dalle falde acquifere. Il lavoro, così come proponeva il Ministero, ha guardato quindi sin dove possibile ai criteri e agli strumenti mirati al risanamento nonché ad una corretta gestione degli acquiferi, in vista della loro salvaguardia.

Assecondando il contenuto della predetta *Relazione Metodologica*, approvata dal Ministero e Regione Puglia, a questa Monografia è annessa una *Cartografia Tematica* che riassume i dati geologico-strutturali, idrogeologici, idrochimici e idraulici degli acquiferi regionali. Particolare importanza rivestono, in proposito, le informazioni riportate nelle Carte Idrogeologiche, che riassumono i caratteri di permeabilità, i dati piezometrici afferenti agli acquiferi cretaci regionali, per i quali viene illustrata la distribuzione della concentrazione salina.

L’auspicio è che gli argomenti citati nell’*Indice* che segue siano adeguatamente considerati dagli *Organi preposti alla tutela degli acquiferi e delle relative utenze*. È necessario, infatti, che la *società civile* venga a conoscenza dei motivi che richiedono con urgenza l’attuazione di criteri e strumenti mirati al risanamento e alla salvaguardia della preziosa risorsa idrica sotterranea regionale. Il tutto con l’auspicio che si riesca ad evitare nel prossimo futuro una catastrofe idrogeologica “preannunciata”, circostanza richiedente una inversione di rotta nell’uso della risorsa idrica sotterranea regionale in parola.

Introduction

The purpose of this Monograph is to present an updated overview of aquifers in Apulia with a view to offering possible solutions supported by educational principles, verification of facts and on-the-spot investigations. The aim is to establish a starting point for sound, culturally adequate and environmentally-friendly management of the region's groundwater resources in the future.

An immense volume of rain (over 10 billion cubic meters per year) falls on the Region, and so it is vitally important to achieve adequate groundwater planning and management throughout the whole process from groundwater location to its use. Despite such substantial recharge, the aquifers have not yet received adequate attention; their indiscriminate use has been allowed despite the results of in situ monitoring in technical and scientific literature - especially of recent decades - which has created awareness of the serious approach required for rational groundwater planning. This Monograph also extensively illustrates aspects which are often ignored by the authorities responsible for protecting the Apulia's huge groundwater resources, whose total uniqueness will be illustrated.

Groundwater is basically the only internal water resource in Apulia. The extensive karst rock outcrops in the region have not favoured the formation of significant surface water resources, except in the Tavoliere area of Foggia Province and in the Daunian hills, where there are watercourses which are essentially of torrential regime.

The Romans considered Apulia an arid region. As Horace rode along the Appian Way from Rome to Brindisi in the 1st century BC, he called it "Apulia Siticulosa": a harsh land of parching heat, thirsting for water and stifled by a pall of dust. His account emphasizes the surprise of travellers from Latium and Campania when they had to pay for water in Apulia; water was so abundantly available in their own regions that it was considered a worthless commodity.

The water problem was partially solved by the Arabs who introduced the water-wheel (noria) (fig. 2.2, Chapter 2), a rudimentary tool often mentioned in this Monograph. This was used to raise groundwater from the first wells bored into the Cretaceous aquifers and to begin irrigating intensive crops, allowing the cultivation of vegetables and fruit trees. Plenty of groundwater was available, and extraction from the aquifers gradually spread.

Almost every area of Apulia has karst rock formations and highly permeable rocky outcrops created by intense tectonic fracturing, and these account for the Region's vast groundwater resources. Apulia's yearly rainfall is 500÷1.000 mm, providing a volume of 10 billion cubic meters per year, of which at least 20÷30% recharges the Region's aquifers. In particular, the Cretaceous aquifers absorb 2÷3 billion cubic meters of rainfall a year. The Region's groundwater is thus a very important water resource. The Salento's Cretaceous aquifer alone is estimated to contain as much as 15÷30 billion cubic meters of groundwater.

Before Acquedotto Pugliese-AQP (Apulian Water Board) began conveying water to Apulia from outside the Region, groundwater was the only water resource available in most of Apulia. Abstraction methods were certainly very different from those used at present, but they were able to at least partly satisfy the water requirements of a Region experiencing continuous demographic and economic growth. In fact, when deep drilling techniques became available, groundwater seemed to offer the solution to all the water problems of irrigation, towns and industry, as well as being available for use in periods of drought. However, groundwater has been considered almost infinitely available in the last few decades, so that it is indiscriminately extracted by over a hundred thousand wells; their location is often unknown, and there is no exhaustive hydro-geological and hydraulic information about them.

In this regard the Italian Geological Survey ISPRA's Department of Soil Defence screened all files recorded by the National Archive Soil Survey related to the former law 464/84. Although such screening were only limited to investigations carried out starting from the 1984 and with a drilling depth not less than 30 metres, it emphasizes as the number of existing bored shafts on the Apulian area is at least six times greater than the formally declared ones as requested by law. However, the same screening also emphasizes as such archive can be a very useful tool to track and define the overall hydrostratigraphic aspects which can be then used to properly manage and control the groundwater resource at regional, as well as, at national level.

From the early 1950s, when use of the Region's groundwater began to increase, the "search" for water immediately encountered the unwelcome problem of seawater intrusion, even relatively far from the coast. The extent of seawater intrusion into Apulia's aquifers is almost unique in Italy and among the worst cases in the world, facilitated by the high permeability due to tectonic fracturing and the resulting karst features of Cretaceous aquifers.

Seawater intrudes into the continental rock formations through the calcareous outcrops along the coast, and then its greater density causes it to sink to the base of the aquifer, so that it lies underneath the fresh groundwater. It is worth recalling that the entire Region's groundwater flows into the sea along its long coastline.

Studies which have been carried out from 1950 to date, backed up by the surveys carried out over several decades, have enabled detailed analysis of the Region's hydro-geological features, and especially of the karst formations found at various depths. Studies have focused on the permeability of surface outcrops and also of formations at depths up to several hundred

meters below ground. A great deal is now known about the hydro-geology of the Region's aquifers, which are often permeable on a large-scale, and this accounts for seawater intrusion.

Two important deep wells were bored in the Tavoliere area of Foggia Province in about 1953.

One well was near Foggia and, at a depth of about 1000 m below the impermeable clay deposits of the Tertiary, drilling penetrated the Mesozoic limestone saturated with salt water; this rose up the well shaft until it reached sea level.

The same happened in the second well on the road between Foggia and Manfredonia, when drilling struck the Cretaceous limestone at a depth of 800 m.

This Monograph focuses on the balance between fresh water flowing to the coast and intruding seawater, especially with regard to the depth of the seawater-fresh water separation "interface" (or transition zone). The subject has been adequately dealt with and settled on the basis of *in situ* surveys referring to suitably selected hydro-geological areas of the Region.

A large body of literature has developed on the subject of groundwater in Apulia Region, providing the base for the first Plans for groundwater use and the Region's first laws; sadly, these have been disregarded and have not contributed to sound and politically shared management of groundwater resources.

However, profitable aquifer management is possible, although often complicated by the presence of seawater underlying the fresh groundwater. This has long been the case in the world, particularly in more advanced countries where this type of situation is monitored and overcome in the use of aquifers overlying intruded seawater. This kind of problem requires virtuous management based on hydro-geological and hydraulic criteria. This study is founded on these criteria and uses them for educational and practical-functional purposes. It is necessary to carry out real-time observation and interpretation of regional groundwater monitoring in quantitative and qualitative terms. In this respect, the Monograph proposes some useful comparisons with the work of scientists from various countries, and it illustrates hydro-geological and hydraulic situations very similar to those in Apulia.

For decades, the presence of aquifers in coastal areas (areas surprisingly far from the coast are considered as such in Apulia) requiring protection from seawater intrusion has stimulated the international scientific community to investigate groundwater abstraction in such conditions. The scientific meetings Salt Water Intrusion Meeting (SWIM) have been held every two years since 1968 and are extensively mentioned in this study; these are valuable opportunities for researchers, managers and scientists to exchange data and ideas.

The location and correct hydraulic functioning of wells require adequate planning and the adoption of hydro-geological and hydraulic criteria based on the principles regulating salt-water upconing. In short, wells have to be designed by qualified experts rather than by technicians unaware of the hydrogeological and hydraulic consequences of using a well when fresh water overlies seawater.

Analysis of about 1,000 of the over 100,000 working wells shows that 20% of the wells withdraw groundwater with a salt concentration of over 2 g/l, and that 30% have penetration percentages greater than 40%; these are at risk because the base of the well is very near to the level of the seawater underneath the freshwater aquifer.

As a consequence, it is legitimate to wonder why there is no sufficient interest in the use of coastal springs when it comes to extracting groundwater.

As illustrated in this study, the Region's main documented springs (Chapter 4) have a total average discharge of no less than 20 m³/s, equivalent to over one-fifth of the total groundwater flowing towards the coast; it then flows into the sea through diffused or often concentrated springs, most of which are uncharted.

The final outflow of these coastal springs consists of fresh water already abundantly mixed with seawater, and it is unfit for immediate use unless treated to restore its chemical composition to acceptable limits for each specific case (irrigation, municipal water supply, industry). Considering that coastal spring waters consist of fresh water containing approximately 5-10% seawater, it should be investigated how to tap groundwater upstream of the coastal springs, before the seawater contamination takes place near where it finally comes to the surface.

This Monograph will also discuss the so-called "horizontal wells". These wells are initially vertical from the ground surface, and extend down into the top of the aquifer. They then continue as inclined groundwater draining shafts, enabling groundwater extraction before the freshwater aquifer approaches its coastal outlet points.

It is unfortunate that geological-structural, hydro-geological and hydraulic research aimed at identifying optimal tapping methods has so far investigated only very few of the Region's coastal springs.

Here it is worth referring to the studies, surveys and executive solutions in the Research Project of the late 1980s on the Galeso submarine spring or "citra", located at a depth of about 18 m below the sea-level of Taranto's Mar Piccolo.

The surveys enabled the design of an important hydraulic model for the pumping station of this undersea spring, making it possible to extract a quantity of water varying between 600 and 800 l/s, with salt concentration of 3-4 g/l from the seabed to the surface. The case of "citra Galeso" should therefore be considered a futuristic way of solving the water supply problem affecting the Taranto area.

It is then essential to stress the progressive degradation of the quality and quantity of Apulia's groundwater in the management and withdrawal conditions that have been adopted for years and which continue at present. In some parts of the

Tavoliere area of Foggia Province, the piezometric height has fallen by tens of meters, and the groundwater in the Region's Cretaceous aquifers are subject to a continuous increase in salt concentration and to the rise and/or increased thickness of the transition zone separating the freshwater groundwater from the underlying seawater. Emblematic examples abound in Apulia. The Chidro spring in the Salento peninsula has undergone significant quantitative and qualitative degradation; its flow has decreased from the 2.5 m³/s measured in the 1930s to about 1 m³/s recorded in 2011. In addition, a reduction of about 70 m in the thickness of the fresh groundwater aquifer has been observed over 40 years. This is attributable to the hydraulic imbalance between fresh groundwater and the underlying seawater.

As regards the protection of groundwater intended for drinking purposes from chemical and toxicological pollution caused by human activities, our study illustrates the methods for mapping vulnerable aquifers, especially when these are fractured and karstified. Then some cases of man-induced concentrated pollution are illustrated. This requires adequate study in order to protect aquifer catchment systems, especially if the water is destined for human consumption.

This study also looks at the optimal conditions that would become necessary if the so-called "Protection Zones" for wells and groundwater were implemented; some practical examples are given of possible application of known methodologies.

The extent of groundwater degradation has led the Ministry of Infrastructures to promote a detailed "Research Project". This aims at a systematic historical and critical reconstruction of the effective "state of health" of the Region's groundwater and at future use of the substantial practical and scientific data acquired. This Monograph is the result of the Project, which was therefore initiated and funded by the Ministry (General Directorate for Dams, Water and Electrical Infrastructures - Direzione Generale per le Dighe, Infrastrutture Idriche e Elettriche), having designated Regione Puglia as the beneficiary and implementing body, in particular the Ufficio dell'Area Politiche per lo Sviluppo economico, il lavoro e l'innovazione – Servizio Attuazione del Programma della Regione (Economic development, Labour and Innovation Area Policies – Implementation Service of the Region's Programme).

This initiative was intended to use all the data it acquired to document the real "state of health" of the Region's groundwater, and to explain the causes of remote and present degradation; the present degradation is essentially due to numerous wells carrying out uncontrolled and often intermittent withdrawal from groundwater. In accordance with the Ministry's recommendation, this work has considered as far as possible the criteria and tools targeted at protecting the aquifers via reclamation and sound management.

The Monograph includes Thematic Maps illustrating geological-structural, hydro-geological, hydro-chemical and hydraulic data of the Apulia's aquifers. The hydro-geological maps contain very important information, summarizing the permeability features and piezometric data of the Region's Cretaceous aquifers, and illustrating the distribution of salt concentration.

It is hoped that the Bodies responsible for protecting aquifers and their uses will take sufficient notice of the subjects listed in the Index. Society must become aware of the reasons for the urgent need to implement criteria and measures for reclamation and protection of the Region's precious groundwater resources. It is also to be hoped that we may succeed in preventing an inevitable hydro-geological disaster in the near future, a situation that calls for a radical change in the use of the Region's groundwater.

Vincenzo Coleccchia