



L'area idrogeologica garganica veniva illustrata nel 1966 in "Idrogeologia del Gargano" (autori COTECCHIA & MAGRI), che a suo tempo costituiva un singolare contributo nazionale all'attuazione del Decennio Idrologico Internazionale dell'UNESCO (1964-1975). Nei circa 40 anni che hanno fatto seguito a detto lavoro, l'area garganica non ha formato oggetto di significativi approfondimenti idrogeologici corrispondenti al tempo trascorso, malgrado che l'area sia di sommo interesse pratico ed economico nell'intero contesto regionale, dal quale si distanzia notevolmente per contenuti geostrutturali e topografici, determinanti la idrogeologia dell'area. La falda idrica profonda del Gargano non è agevolmente raggiungibile, stanti le quote sovente notevoli dell'area e quindi le profondità che i pozzi sono indotti a raggiungere negli ammassi di calcari e calcari dolomitici del Cretacico e Giurassico, entrambi prevalenti nell'area. Ad oggi gli Enti che istituzionalmente sono impegnati nella gestione delle acque sotterranee regionali, non hanno dedicato attenzione adeguata all'area idrogeologica del Gargano. Sarebbe invece opportuno effettuare una ricerca scientifica aggiornata, che ponesse in luce il rapporto fra litologia, geologia strutturale, carsismo, permeabilità e idrologia delle formazioni costituenti l'area; tutte circostanze determinanti le disponibilità idriche sotterranee.

Emergerebbe quindi oggi l'opportunità di dedicare a quest'area idrogeologica una ricerca particolareggiata, coordinata e innovativa, che ai complicati e variegati motivi litostratigrafici e tettonici presenti faccia corrispondere risposte idrogeologiche, valide agli effetti della individuazione e quantificazione dei corpi idrici sotterranei. I bacini idrogeologici presenti nell'area sono infatti difficili da individuare distintamente fra loro. È difficoltosa infatti la individuazione delle direttrici fondamentali dei percorsi idrici sotterranei presenti, alimentati in ogni caso da ricariche idrometeoriche notevoli, stante la presenza di rocce per la gran parte permeabili e sovente carsicizzate.

Il Promontorio del Gargano è interessato dall'intrusione marina continentale, ancorché documentatamente soltanto sui versanti estremi ed in particolare sul versante Nord del Promontorio, affacciandosi sui laghi di Lesina e di Varano. L'intrusione marina sembra risparmiare la qualità delle acque sotterranee presenti al centro del Promontorio, anche se non è ivi da escludere la presenza di acqua di mare alla base dell'acquifero.

Nell'area in parola prevalgono ammassi mesozoici, cui negli ultimi 20÷30 anni la ricerca scientifica, grazie a rilevamenti accorti *in situ*, ha dedicato approfondimenti geostrutturali significativi, soprattutto agli effetti delle possibili deformazioni eccezionali telluriche. Mancano in ogni caso pozzi idrologici stratigraficamente utili, in numero adeguato, tanto da confermare vocazioni idrogeologiche delle formazioni litoidi predette.

L'area è interessata da cospicue ed evidenti manifestazioni sorgentizie, talora anche con temperature insolite dell'acqua emergente. In ogni caso è poco noto il rapporto fra manifestazioni sorgentizie e motivi geostrutturali.

Il capitolo si sofferma infine sullo *squeezing* tettonico, evidente lungo la Faglia del Candelaro fino all'estremo Nord-Ovest della Punta delle Pietre Nere, mettendo in risalto situazioni paesaggistiche e caratteri geotecnici di grande significato. Qui, in particolare a Marina di Lesina, si ritrovano situazioni idrogeologiche e geotecniche connesse alla presenza di gessi carsicizzati del Trias, nei quali la presenza di acqua sotterranea determina conseguenze geotecniche rischiose, per stabilità dell'area e degli edifici colà presenti.

- The hydro-geological area of the Gargano promontory was illustrated in Cotecchia and Magri's 1966 study, "Idrogeologia del Gargano". At the time, this was an original Italian contribution to the implementation of UNESCO's International Hydrological Decade (1964-1975). In the intervening 40 years or so, the hydro-geology of the Gargano area has not been the subject of any further detailed study, despite its great practical and economic importance in Puglia. The hydro-geology of the Gargano is quite different from the rest of the region because of its particular geo-structural and topographic features. The deep groundwater of the Gargano is difficult to extract because most of the promontory lies at high altitudes, meaning that wells need to be very deep in order to penetrate the carbonate Cretaceous and Jurassic limestones and dolomitic limestones prevalent in the area. The Boards responsible for managing the region's groundwater have not yet dedicated enough attention to the hydro-geology of the Gargano. However, it would be useful to carry out updated research focusing on the relationship between the lithology, structural geology, karstification, permeability and hydrology of the rock formations in the area, because all these factors affect groundwater availability.

A detailed, coordinated and innovative study of this hydro-geological area would provide adequate hydro-geological information about the complex and variegated litho-stratigraphic and tectonic features, making it possible to identify and quantify groundwater. It is difficult to distinguish the hydro-geological basins in the area from each other clearly. The principal directions of groundwater flow - recharged by substantial precipitation - are difficult to identify because of the presence of mostly permeable and often karstified rocks.

The Gargano promontory is subject to seawater intrusion, although documented only on mountain sides along the coast, especially on the northern slopes overlooking the Lesina and Varano lakes. Seawater intrusion does not appear to affect the quality of groundwater in the centre of the promontory, although it is possible that sea water lies at the bed of the aquifer.

The rock formations in the Gargano are prevalently Mesozoic, and in the last 20÷30 years detailed *in situ* surveys have involved geo-structural research, especially concerning the effects of possible exceptional deformations caused by telluric movements. In any case, we do not have sound stratigraphic data about enough hydro-geological wells to be able to confirm the hydrogeology of these rock formations.

There are a lot of springs in the Gargano, sometimes with unusual water temperatures, but the relationship between springs and geo-structural patterns is still poorly understood.

Finally, the chapter focuses on the tectonic squeezing that is evident along the Candelaro Fault as far as the north-west of Punta delle Pietre Nere, and highlights some very important landscapes and geo-technical features. In particular, at Marina di Lesina there are hydro-geological and geo-technical conditions connected with karstified gypsum, where groundwater makes the ground buildings on it unstable.

Parole chiave: Gargano, permeabilità, acquifero, sorgenti, selce, Maiolica, Cretacico, tettonica

Key words: Gargano, permeability, aquifers, springs, chert, Maiolica, Cretaceous, tectonics

Capitolo 14

L'Area idrogeologica del Tavoliere di Foggia è delimitata a sud dal fiume Ofanto, ad est dal mare Adriatico, ad ovest dall'arco collinare dell'Appennino Dauno ed a Nord dal corso del fiume Candelaro. In detta area idrogeologica la circolazione idrica sotterranea si esplica entro tre livelli sovrapposti.

A notevoli profondità, sotto alle argille plio-pleistoceniche, si rinvencono i calcari mesozoici contenenti la falda idrica profonda, intercettati a profondità sotto il livello mare dell'ordine di 1.000 m nelle aree interne. La profondità di rinvenimento del tetto dell'acquifero cretacico è determinata dalle condizioni geologico-strutturali che caratterizzano il confine tra il Tavoliere, il Promontorio del Gargano e l'altopiano murgiano. La falda idrica profonda è quasi sempre dotata di elevata salinità a causa dell'intrusione marina.

Le argille plio-pleistoceniche sovrastanti ai calcari del Cretacico rappresentano il livello di base della circolazione idrica sotterranea cosiddetta superficiale, che si sviluppa in un acquifero poroso costituito dai depositi fluvio-marini e alluvionali continentali, sabbiosi e ghiaiosi. Di questo acquifero è fornita, in questo capitolo, una dettagliata illustrazione litologico-stratigrafica e idrogeologica, seguita da una stima dei prelievi pregressi e di quelli in atto. Le condizioni di sovrasfruttamento riconosciute per l'acquifero superficiale sulla base dell'analisi delle portate estratte è in accordo con l'elevato e generale abbassamento dei carichi piezometrici della falda, rilevato sulla base di apposite campagne di indagini condotte dagli anni '50 ad oggi. Il ripristino dello stato di questo acquifero è attuabile, oltre che con la riduzione dei prelievi, anche con l'incremento della ricarica netta, realizzabile con bacini di infiltrazione e laminazione delle portate di piena dei corsi d'acqua.

Si illustra infine il cosiddetto "acquifero artesianico intermedio", costituito da lenti sabbiose profonde intercluse nella formazione delle argille plio-pleistoceniche. Le portate specifiche dei pozzi penetranti in questo acquifero sono molto modeste onde la falda non è in pratica da ritenersi rinnovabile nel breve termine.

- The Tavoliere of Foggia hydro-geological area is delimited by the Ofanto River to the south, the Adriatic Sea to the east, the Daunia Apennine hills to the west and the Candelaro stream to the north. Groundwater movement in this hydro-geological area takes place through three superimposed levels. At great depth, the Mesozoic limestones containing deep groundwater underlie the Plio-Pleistocene clays and are intercepted at a depth of about 1,000 m below sea level in inland areas. The depth to the top of the Cretaceous aquifer is the result of the geo-structural conditions of the boundary between the Tavoliere plain, the Gargano Promontory and the Murgia plateau. Deep groundwater is usually saline due to the intrusion of seawater. Plio-Pleistocene clays overlying the Cretaceous limestones represent the basal level of the so-called shallow groundwater that flows across a porous aquifer made up of sandy and gravelly fluvio-marine and continental alluvial deposits. The lithological-stratigraphic and hydro-geological features of this aquifer are described in detail in this chapter. An estimate is also given of past and present-day extraction from this aquifer. Over-exploitation conditions of this aquifer inferred from the analysis of pumped discharges, agree with the great and generalized lowering of the groundwater piezometric heads observed on the basis of specific surveys conducted from the 1950s to the present day. Possible actions to restore groundwater include reducing present-day extraction and increasing net recharge also through infiltration basins and flood routing of the waterways.

Finally, the so-called "intermediate confined aquifer" consisting of deep sandy lenses embedded in the Plio-Pleistocene clays is described. The specific discharges of wells penetrating this aquifer are quite modest and groundwater can hardly be renewable in the short term.

Parole chiave: Tavoliere delle Puglie, faglia, acquifero superficiale, idrogeologia, litologia, Argille Azzurre, Argille Varicolori

Key words: Apulian Plateau, faults, surficial aquifers, hydrogeology, lithology, Argille Azzurre, Argille Varicolori

Capitolo 15

La Murgia è l'area idrogeologica più estesa fra quelle evidenziate in Puglia. Essa si estende dal fiume Ofanto sino alla cosiddetta Soglia Messapica, ove si osserva il graduale passaggio all'adiacente area idrogeologica del Salento. A NNE essa è bagnata dal mar Adriatico, mentre a SSO è limitata dai versanti che degradano fino alla sponda sinistra della fossa Bradanica.

I caratteri di permeabilità dell'acquifero murgiano, permeabile per fratturazione e carsismo, sono fortemente legati alle vicissitudini tettoniche cui la regione è andata incontro ed al conseguente stato di incarsimento presente fino alla quote più basse della Fossa Bradanica. La caratteristica idrogeologica peculiare della Murgia è rappresentata dalla bassa permeabilità della formazione calcarea nelle zone interne e dal conseguente elevato valore della cadente piezometrica ivi misurato per la falda, le cui condizioni idrogeologiche risultano ancor oggi non completamente note. L'analisi dei dati disponibili, anche riferiti a perforazioni molto profonde eseguite di recente sull'Alta Murgia per ricerca d'acqua, indica infatti la necessità di procedere a mirati accertamenti idrogeologici, per chiarire molti aspetti determinanti le modalità con cui si svolge la circolazione idrica sotterranea ed eventuale intrusione marina. Sempre con riferimento all'Alta Murgia vengono inoltre analizzati i risultati ottenuti dall'applicazione del cosiddetto approccio *multi-tracing*, che ha consentito di ottenere interessanti informazioni circa le condizioni di alimentazione e deflusso delle acque profonde, con riferimento particolare all'alimentazione delle acque sotterranee del Salento.

L'acquifero murgiano, in prossimità della costa è in genere caratterizzato da valori di permeabilità decisamente superiori. A tal riguardo si ha modo di illustrare, con notevole dettaglio, le condizioni che caratterizzano la circolazione idrica sotterranea in corrispondenza della città di Bari, ove il progetto e la realizzazione di talune opere sotterranee, hanno rappresentato un'occasione importante per indagare nel delicato equilibrio esistente tra la falda di acqua dolce, defluente verso costa con modestissima cadente piezometrica, e la sottostante acqua di mare in un acquifero presentante elevatissima permeabilità.

La falda contenuta nell'acquifero murgiano viene dettagliatamente descritta anche con riferimento al suo chimismo, specie con gli effetti prodotti dall'intrusione marina sulla qualità delle acque di falda. Sulla base dei pochi dati ad oggi disponibili, vengono illustrati i caratteri idrogeologici più salienti dell'acquifero degradante verso l'area bradanica, caratterizzata dalla presenza, anche a notevoli profondità, della formazione carbonatica mesozoica alimentata da quella murgiana.

Le falde propriamente superficiali sono presenti solo nei depositi terrazzati, presenti lungo il margine Nord occidentale e nei terreni post-cretacei, che sovrastano i calcari mesozoici.

Il capitolo si chiude con l'illustrazione delle problematiche inerenti alla vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero carbonatico

murgiano e alla delimitazione delle aree di salvaguardia di talune opere di captazione di acque sotterranee destinate al consumo umano nell'area di Monopoli-Polignano a Mare. Per detta area vengono proposte metodologie idonee al tracciamento delle zone di rispetto dei pozzi anche con l'ausilio di codici di calcolo numerico. La trattazione evidenzia la difficoltà di procedere alla perimetrazione delle aree di salvaguardia, stante le carenze di monitoraggi idraulici nei confronti dei numerosi pozzi privati prossimi a quelli potabili, evidenziando nel contempo le problematiche relative all'inquinamento salino dei pozzi potabili determinati dal *salt-water upconing*.

- Murgia is the widest hydrogeological unit in Apulia region. It extends from the Ofanto river up to the so-called soglia Messapica, where it gradually joins the Salento hydrogeological unit. This hydrogeological area is touched by the Adriatic Sea on the North-NorthEast side, whereas on the Sud-SudWest side is limited by the slopes that gently grade down up to the left bank of the so-called Fossa Bradanica.

The murgian aquifer is characterized by permeability presence of karst phenomena and fractures, the latter strictly related to the tectonic events that the region has experienced. Karstic and fracturing phenomena become less marked in the inland portion of the murgian limestone formation, that is then characterized by lower permeabilities and higher hydraulic gradient. The analysis of limited data actually available, referred also to very deep boreholes recently drilled on the Murgia Hills for water exploration, points to the need of clarifying groundwater flow and seawater intrusion dynamics.

Results obtained by the application of the so-called multi-tracing approach are reported. This approach has provided useful information on the supply and flow conditions of deep groundwaters, with special reference to those flowing towards the Salento hydrogeological area.

The murgian aquifer is generally characterized by higher permeabilities near the coast. In this regard, the conditions of the groundwater movement underneath Bari are illustrated in detail. With respect to this city, some underground works allowed exploring the tricky balance between fresh groundwater, outflowing towards the coast with very small hydraulic gradients, and the underlying seawater in a very highly permeable aquifer.

Groundwater chemistry of the murgian aquifer is also thoroughly described, especially referring to the effects of seawater intrusion on groundwater quality. Based on the few data available so far, the main hydrogeological features of the aquifer grading down to the Fossa Bradanica are illustrated. The latter is characterized by the presence, even at great depth, of the Mesozoic carbonate formation, that receives water from the murgian formation. Shallow groundwaters are present in the terraced deposits only, along the north-western margin and in the post-Cretaceous formations located on the top of the Mesozoic limestones.

The chapter ends showing the problems related to the vulnerability to pollution of the murgian carbonatic aquifer and to the delimitation of the protection areas of some groundwater capture works designed for human purposes, with special reference to the zones of Monopoli and Polignano a Mare. For such areas, adequate methodologies for defining protection areas of wells are proposed, even with the help of numerical analyses. It will emerge that, because of difficulties in the hydraulic monitoring of many private wells located in the vicinity of the potable ones, protection area confinement is rather difficult to be pursued. Problems linked to the salt pollution of potable wells due to the so-called "salt-water upconing" are then discussed.

Parole chiave: Fossa Bradanica, vulnerabilità dell'acquifero, carsificazione, Calcarea di Bari, idrogeologia, intrusione di acqua salata
Key words: Bradanic Trough, aquifer vulnerability, karstification, Calcarea di Bari, hydrogeology, salt-water intrusion

Capitolo 16

La piana di Brindisi si colloca nell'ambito della soglia messapica, la porzione di territorio che, in termini idrogeologici, segna il graduale passaggio dall'ambiente propriamente murgiano a quello salentino. Nell'ambito di detta piana i caratteri idrogeologici presentano peculiarità connesse al particolare assetto geologico-strutturale del basamento carbonatico del cretaceo, che dall'entroterra, intorno a Francavilla Fontana, si approfondisce progressivamente verso il litorale adriatico, raggiungendo nella parte terminale, antistante al litorale, quote abbondantemente inferiori a quella medio marina.

Lo studio di quanto sotto il profilo idrogeologico si è evidenziato nella Piana di Brindisi nello spazio di 50 anni circa, eseguito attraverso l'analisi del comportamento idrologico e idraulico dell'acquifero carbonatico, evidenzia un modello di cattiva gestione delle risorse idriche sotterranee, perdurato per diversi decenni, tanto da ravvisare in questo capitolo il progressivo degrado sia qualitativo che quantitativo della risorsa idrica dolce presente nel sottosuolo cretaceo, sede un tempo di una falda di acqua dolce cospicua. Pertanto, dall'esame dei risultati attinti a seguito di indagini idrogeologiche svolte in varie occasioni, è stato possibile verificare un progressivo incremento del contenuto salino della falda già a partire dal tetto dell'acquifero carbonatico, determinato sia da peculiari condizioni idrogeologiche, sia da quelle d'uso. Venendo alle acque sotterranee presenti negli acquiferi superficiali della piana, si evidenziano i caratteri geomorfologici e geoidrologici dei depositi sabbioso-calcarenitici del Pleistocene, e al tempo stesso, l'uso indiscriminato della risorsa idrica dolce colà presente, alla quale è ben difficile fare ricorso per le necessità irrigue ed industriali di un'area di così esteso interesse agronomico e socio-economico, stante la sua modesta potenzialità.

- The Brindisi Plain is part of the Soglia Messapica, the area marking the gradual hydro-geological transition from the Murgia to the Salento peninsula. The hydro-geological characters of this plain present specific features related to the typical geological and structural conditions of the Cretaceous carbonate basement; this gradually descends towards the Adriatic coast from around Francavilla Fontana, so that the final part along the coast is much lower than the mean sea level. The hydro-geological events occurring in the Brindisi Plain over a period of about 50 years have been studied by analyzing the hydrological and hydraulic behaviour of the carbonate aquifer, and the results highlight decades of mismanagement of groundwater resources. As illustrated in this chapter, this situation has led to the progressive deterioration in the quality and quantity of the fresh groundwater in the Cretaceous subsoil, which once contained a substantial quantity of fresh groundwater. Therefore, analysis of the results of several hydro-geological surveys has made it possible to observe a progressive increase in the salinity of groundwater, starting from the top of the carbonate aquifer. This is due to the specific hydro-geological situation and also to the way the groundwater is used. As for the groundwater present in the shallow aquifers of the plain, the chapter highlights the geo-morphological and geo-hydrological characteristics of the Pleistocene sandy-calcarenitic deposits, and also the indiscriminate use of the limited amount of fresh groundwater they contain, quite insufficient for the irrigation and industrial requirements of an area with such a high level of agricultural and socio-economic activity.

Parole chiave: Piana di Brindisi, carta geologica, carta idrogeologica, carta tettonica, chimismo delle acque, pozzi, acquifero superficiale, acquifero profondo

Key words: Brindisi Plain Italy, geologic maps, hydrogeologic maps, tectonic maps, water chemistry, wells, surficial aquifers, deep aquifers

Capitolo 17

La configurazione geomorfologica di quest'area è particolarmente singolare nel contesto regionale, in virtù di una saldatura geostutturale, significativa e variegata in senso idrogeologico, e la presenza di un passaggio armonioso dalle propaggini delle Murge tarantine ai terreni plio-pleistocenici via via affioranti lungo la costa ionica. Queste circostanze determinano la forma arcuata, a gradinata discendente verso la costa, laddove all'impalcatura di base calcareo-dolomitica del Cretaceo si sostituiscono i terreni pleistocenici trasgressivi di copertura, rappresentati per esempio ad Ovest, lato Valle Bradano, dai terrazzi conglomeratico-sabbiosi dei terrazzi del Pleistocene.

La variegata permeabilità che le citate formazioni possiedono determinano condizioni di acquiferi profondi confinati o freatici, in ogni caso significativi sotto il profilo idrogeologico. L'area in parola converge, per motivazioni fondamentalmente geostutturali, verso il Mare Piccolo di Taranto, laddove si concentrano i principali flussi di acque sotterranee, alimentati ove dalle Murge tarantine, ove dai terreni costituenti la parte Nord-orientale del Salento.

La caratteristica morfologia ad anfiteatro, determinata fondamentalmente dal *top* dei calcari cretaccici di base e dai terreni trasgressivi sabbioso-conglomeratici del Plio-Pleistocene, costituisce una successione di ripiani e di scarpate, che sulla sinistra Bradano termina con i terrazzamenti marini pleistocenici, rappresentanti sotto il profilo idrogeologico acquiferi di modesta portata. Nel presente capitolo si evidenzia il ruolo particolare dell'idrogeologia profonda, presente soprattutto nel fessurato carsico del Cretaceo, discontinuamente ricoperto dalle Argille azzurre subappennine, largamente presenti nel Golfo di Taranto. Le formazioni calcaree cretacciche, che dalle Murge si dirigono verso il Mar Grande, contengono un potente acquifero in pressione, interessato dall'intrusione marina.

L'Arco Ionico Tarantino è stato oggetto negli ultimi decenni di uno studio scientifico, condotto sulla base di criteri di geologia nucleare, sulle variazioni delle linee di costa, che principalmente nel Pleistocene hanno determinato da Taranto a Capo Spulico una geomorfologia molto significativa, che tuttavia non sembra interessare, agli effetti idrogeologici, i potenziali acquiferi sotterranei di interesse.

La falda profonda presenta spartiacque ben motivati per ragioni geostutturali e di permeabilità. La circolazione idrica sotterranea profonda è complicata dalla presenza dell'intrusione marina, che il presente capitolo ben determina sulla base di informazioni stratigrafiche e idrogeologiche derivanti dalla presenza di pozzi profondi. Il fondale del Mar Piccolo sembra costituire un bacino di raccolta significativa, nel quale sono largamente presenti i citri carsici, che da decenni sono stati rilevati. Questi ultimi sono riconducibili alla falda profonda dei calcari cretaccici presenti nell'area.

L'influenza di un'intrusione marina estesa nell'area determina condizionamenti importanti sulla gestione degli abbondanti deflussi idrici sotterranei di acqua dolce di determinante utilità per le attività agricole e antropiche in generale.

Nell'area sono presenti anche sorgenti subaeree di trabocco (Sorgente Tara), che insieme alle acque carsiche sgorganti dai citri carsici dei fondali del Mar Piccolo, rappresentano il recapito finale della falda profonda.

Completa e conclude il capitolo la ricerca scientifica idrogeologica e idraulica, effettuata qualche decennio fa per portare alla superficie del mare il deflusso sorgentizio sottomarino del citro definito "Citro Galeso". A tal riguardo, particolare importanza è data alle tecnologie sperimentali adottate.

- The geo-morphology of this area is quite unusual in Apulia, with a hydro-geologically significant and varied geo-structural setting created by the gentle transition from the southernmost Taranto Murgia hills down to the Plio-Pleistocene outcrops along the Ionian coast. This has resulted in an arch of terraces descending to the Ionian coast, where the Cretaceous limestone-dolomite bedrock is replaced by transgressive Pleistocene cover formations, like the conglomerate-sandy Pleistocene terraces found to the west on the Bradano Valley side.

The variegated permeability of these formations creates deep confined or unconfined hydro-geologically important aquifers. For reasons which are basically geo-structural, the main underground water flows in the surveyed area converge towards the Mar Piccolo at Taranto; these are fed either by the Taranto Murgia or by the northern-eastern Salento.

The typical semicircular morphology has mostly been created by the top of the underlying Cretaceous limestones and by the transgressive Plio-Pleistocene sand-conglomerates, and consists of a succession of terraces and scarps. On the left bank of the River Bradano, these end in marine Pleistocene terracing, whose aquifers have a relatively small discharge.

This chapter highlights the special role of the deep groundwater, mostly contained in the fissured Cretaceous karst formations, which are discontinuously covered with the sub-Apennine blue clays widespread in the Gulf of Taranto. Cretaceous limestone formations extend from the Murgia towards Taranto's Mar Grande, and contain a thick confined aquifer subject to seawater intrusion.

In recent decades, scientific research based on nuclear geology has been carried out on the Ionian Arch of the Gulf of Taranto in order to investigate the mostly Pleistocene shoreline variations. These are responsible for the morphology between Taranto and Capo Spulico, which although significant, seems to have no hydro-geological effects on the potential aquifers surveyed.

Deep groundwater water divides are caused by geo-structure and permeability, and water flow is complicated by seawater intrusion, as illustrated in this chapter using stratigraphic and hydro-geological information from deep wells. The bed of the Mar Piccolo appears to be an important outlet, and contains a great number of freshwater submarine karst springs or "citri", which have been surveyed for decades. These springs originate from the deep aquifer contained in the area's Cretaceous limestone formations.

The presence of extensive seawater intrusion in the area greatly affects management of the abundant fresh groundwater which is very important for agriculture and for general purposes.

Besides the karst waters bubbling out of the karst submarine springs ("citri") in the bed of the Mar Piccolo, this area also has subaerial overflow springs (Tara spring) that receive discharge from the deep aquifer.

This chapter ends with the hydro-geological and hydraulic survey carried out several decades ago to raise "Citro Galeso" spring water from the seabed to the surface. Special emphasis is given to the experimental technologies used.

Parole chiave: Golfo di Taranto, sorgente sottomarina, Mesozoico, terrazzo marino, acquifero profondo, acquifero superficiale, captazione d'acqua

Key words: Gulf of Taranto, submarine springs, Mesozoic, marine terraces, deep aquifers, surficial aquifers, water harnessing

Capitolo 18

Il Salento rappresenta in Puglia l'area idrogeologica maggiormente ospitante acqua sotterranea. La particolare topografia, espressione di una blanda geomorfologia strutturale, se da un lato favorisce oltremodo l'alimentazione di falde talora presenti a più livelli sull'intero territorio, determina tuttavia un'intrusione marina continentale, determinante la comunicazione diretta nel sottosuolo del Sud Salento tra mare Adriatico e mare Ionio. L'acqua marina rappresenta pertanto ovunque la base di falde acquifere, presenti nei calcari e dolomie di base presente nei calcari Mesozoici di base di differenziata permeabilità del Mesozoico.

Acque sotterranee si rinvencono talvolta anche nelle formazioni calcarenitiche terziarie e quaternarie abbondantemente affioranti. Questo capitolo illumina esaurientemente in ordine alla conoscenza dello spessore che assume la falda acquifera dolce, malgrado i frequenti contatti laterali con terreni calcarenitici terziari (sovente poco permeabili).

È difficile riassumere in breve la geologia e la conseguente idrogeologia variegata del tavolato, prevalentemente carbonatico e geometricamente articolato dalla sovrapposizione di terreni calcarenitici del Terziario e del Plioistocene sullo zoccolo calcareo-dolomitico mesozoico di base. Sta di fatto che in ogni caso l'acquifero cretacico profondo, poggiante sull'acqua marina intrusa alla base, è sovente in diretto contatto con gli acquiferi superficiali, presenti ove nelle calcareniti terziarie, ove in formazioni alluvionali quaternarie.

La piatezza del territorio in argomento agevola la ricarica naturale delle falde acquifere, il cui attingimento è favorito dalla modesta soggiacenza. Questa circostanza ha favorito l'aumento progressivo delle captazioni dalle falde negli ultimi decenni, sia per l'agricoltura, sia per l'approvvigionamento idrico potabile. Va tuttavia osservato che le opere attingenti dagli acquiferi non rispettano correttamente né criteri idrogeologici, né idraulici adeguati, in ordine alla necessità di arrestare il depauperamento progressivo e contenere il *salt-water upconing*, che danno via via luogo al peggioramento del chimismo della risorsa acquifera in parola.

Inoltre, questo capitolo evidenzia, sulla base dell'esame obiettivo della caratterizzazione stratigrafica, idrogeologica e di progettazione idraulica di gran parte dei pozzi, percentuali errate di penetrazione dei pozzi in falda presenti nell'area in parola e inadeguate portate di esercizio, cui consegue un degrado qualitativo delle acque estratte. L'esercizio dei pozzi non sempre è correlato a criteri corretti di idrogeologia e di idraulica sotterranea, cosicché si è in presenza oggigiorno di una espansione progressiva della zona di transizione acqua dolce-acqua di mare. Questa circostanza via via provoca non soltanto la riduzione della porzione di acquifero di acqua dolce disponibile, bensì un sollevamento progressivo dell'acqua di mare.

Va ricordato infine che, con una ricerca scrupolosamente svolta nell'area Chidro, laddove l'omonima sorgente nello spazio di quattro decenni ha presentato una riduzione di portata da 2.600 l/s ad appena 1.000 l/s, ha evidenziato un disastro ecologico in atto, che si può riassumere in breve in uno stravolgente sollevamento dell'interfaccia acqua dolce-acqua di mare nello spazio appena di 40 anni e il suo progressivo accostamento alla base dei numerosi pozzi presenti nell'area.

- The Salento is the hydro-geological area of Apulia with the greatest expanse of groundwater. Its special topography is the expression of a gentle structural geomorphology, and greatly facilitates recharge of the aquifers present at various levels throughout the area, but it also leads to seawater intrusion; this means that in the southern Salento the Adriatic Sea is directly connected underground to the Ionian Sea. Seawater thus underlies the groundwater everywhere in the Mesozoic limestones and dolomites. Groundwater is also present in the tertiary and quaternary calcarenite, abundant outcrops. This chapter looks extensively at knowledge of the thickness of the freshwater aquifer of Mesozoic, with differential permeability despite the frequent lateral contacts between Tertiary calcarenite formations (often with poor permeability).

It is not easy to give a brief summary of the geology and resulting varied hydro-geology of this predominantly carbonate tableland, with its geometrical conformation of Tertiary and Pleistocene calcarenite formations superimposed on the underlying Mesozoic limestone-dolomite. However, the deep Cretaceous aquifer resting on intruded seawater is often in direct contact with shallow aquifers present in Tertiary calcarenites and in Quaternary alluvial formations.

The flatness of the landscape facilitates natural recharge of aquifers, and abstraction is made easier by the fact that the water table does not lie very deep below the ground surface. In recent decades this has meant ever-increasing groundwater abstraction for agriculture and human consumption. Nevertheless, it has to be said that wells drawing from aquifers do not correctly comply with either hydro-geological or hydraulic criteria that might stop the progressive impoverishment of groundwater, and limit the salt-water upconing which causes the chemical deterioration of groundwater.

However, based on objective analysis of the stratigraphic, hydro-geological and hydraulic characterization of most wells, this chapter points out mistaken percentages of well penetration into the groundwater in the surveyed area and inadequate pumping discharge, with a consequent deterioration in the quality of pumped water. This chapter shows that well operation is not always correlated with the correct hydro-geological and hydraulic criteria, so that the fresh water-salt water transition zone is progressively expanding. This is gradually leading to a reduction in the amount of available fresh water and to a progressive rise in the level of seawater in the aquifer.

Finally, careful research done in the Chidro area shows that the discharge of the Chidro spring has fallen from 2,600 l/s to as little as 1,000 l/s in only four decades. This highlights an ecological disaster that is taking place. In other words, in the space of just 40 years there has been an extraordinary rise in the freshwater-seawater interface, which has progressively approached the base of the many wells in the area.

Parole chiave: Salento, Miocene, Sorgente sulfurea, Le Serre, carsismo, composizione salina, idrogeologia, acquifero superficiale, litostratigrafia, grotta

Key words: Salento, Miocene, Sulfur spring, Le Serre, karst, saline composition, hydrogeology, surficial aquifers, lithostratigraphy, caverns.

Capitolo 19

Questo capitolo tratta alcuni esempi di elevato inquinamento concentrato delle acque sotterranee nella regione Puglia, provocato dallo svolgimento di attività industriali.

I casi studiati si riferiscono alle aree dell'ex EniChem Agricoltura di Manfredonia, che produceva fertilizzanti, dell'ex Fibronit di Bari, che produceva fibrocemento, dell'ex Gasometro di Bari che produceva gas di città e del Sito Inquinato di Interesse Na-

zionale (SIN) di Brindisi; rispetto ai precedenti casi connessi ad attività industriali da tempo dismesse, il SIN di Brindisi è occupato da agglomerati industriali oggi ancora attivi.

Lo stabilimento EniChem, situato a circa 1 km da Manfredonia, ha prodotto sino al 1995 fertilizzanti, caprolattame per la produzione di fibre artificiali e tecnopolimeri, ed intermedi aromatici. Le indicazioni emerse da alcuni sondaggi, finalizzati alla caratterizzazione ambientale del sito, hanno fatto rilevare, in una porzione epidermica del sottosuolo, composta da conglomerati ad elementi calcarei immersi in matrice essenzialmente sabbiosa a scarso grado di cementazione, la presenza di metalli pesanti come zinco, mercurio, cromo e arsenico, oltre a svariati componenti organici (fra cui IPA), distribuiti a “macchia di leopardo” in tutta l’area esaminata. Nelle acque sotterranee prelevate dall’acquifero carbonatico profondo si è riscontrato un generale incremento di salinità derivante dall’intrusione marina, oltre a zone con elevate concentrazioni di arsenico, zinco, fenoli, toluene, rame, nichel, piombo e manganese, la cui provenienza è ricollegabile al ciclo produttivo dell’azienda.

L’ex stabilimento Fibronit di Bari produceva, fino al 1985, fibrocemento sversando, in alcune aree interne, residui solidi di lavorazione del cemento–amianto, che mescolati al terreno di natura prevalentemente sabbiosa, costituiscono tuttora uno strato di riporto dello spessore di circa cinque metri. Le indagini hanno inoltre rivelato la presenza di un cospicuo numero di fibre di amianto nella falda idrica, la cui superficie in alcuni casi si trova a quote superiori ai livelli più profondi del suddetto strato di riporto. Ne scaturisce quindi una pericolosità connessa alla possibilità che le fibre, presenti nell’acqua di falda sottostante allo Stabilimento Fibronit, possano disperdersi nell’intorno, con la conseguenza di rischio per la salute umana.

L’ex Gasometro di Bari, ubicato in zona ad elevata densità abitativa, ha prodotto, a partire dal carbon fossile, sino alla fine degli anni sessanta, gas di distillazione, noto come “gas di città”. Dagli anni 70, con l’avvento della metanizzazione, l’impianto è stato dismesso. A partire dal 1999 sono state svolte svariate campagne di indagine, che hanno rivelato una contaminazione diffusa dei suoli e della falda profonda carbonatica da parte di idrocarburi, metalli pesanti, cianuri e fenoli. Lo stato attuale delle conoscenze acquisite non ha consentito tuttavia, nonostante siano stati avviati l’analisi di rischio e il progetto operativo di bonifica, se vi siano effettivamente rischi connessi alla migrazione dei contaminanti attraverso le matrici ambientali.

Il SIN di Brindisi si estende approssimativamente per un’area pari a 11.000 ha e comprende, oltre ad aree agricole ed industriali, anche 5.500 ha di aree marine. Le indagini sulle acque sotterranee dell’area hanno evidenziato diversi tipi di contaminazione della falda superficiale circolante nei depositi prevalentemente sabbiosi sovrastanti alla potente formazione delle argille pleistoceniche.

- This chapter focuses on some examples of point-source groundwater pollution in Apulia region associated with industrial activities.

The case studies include the areas of the former EniChem Agriculture fertilizer factory in Manfredonia, the former Fibronit asbestos-cement plant in Bari, the former gasometer in Bari and the Polluted Site of National Interest (SIN) in Brindisi; with reference to the previous case studies which are mainly related to the decommissioned industrial activities, the SIN site in Brindisi is nowadays still interested by industrial activities.

Until 1995, the EniChem factory about 1 km from Manfredonia produced fertilizers, caprolactam for the production of artificial fibres and thermoplastics and aromatic intermediates. When boreholes were drilled to investigate the site, heavy metals like zinc, mercury, chrome and arsenic, and various organic components (including PAHs) were found in a superficial portion of the subsoil consisting of limestone conglomerate in a predominantly sandy and poorly cemented matrix. This causes scattered points of pollution in the area. A general increase in salinity due to seawater intrusion was found in groundwater taken from the deep carbonate aquifer; in some areas, high concentrations of arsenic, zinc, phenols, toluene, copper, nickel, lead and manganese concentrations were also found, often associated with the manufacturing cycle at the surface.

Asbestos was manufactured on the site of the former Fibronit factory in Bari until 1985, and asbestos-cement waste was dumped in some on-site areas. This waste is still on-site mixed with the predominantly sandy soil to form a backfill layer approximately 5 meters thick. The surveys carried out have revealed that there are a great number of asbestos fibres in the groundwater whose water table is sometimes a few meters above the lowest backfill levels. The fibres found in groundwater around Fibronit factory are potentially dangerous because they can disperse into neighbouring areas, with resulting risks for human health.

Until the late sixties, the former gasometer of Bari, in the midst of the residential area, produced “town gas” from coal. Numerous surveys have been carried out since 1999, and have highlighted widespread contamination of soils and groundwater due to hydrocarbons, metals, cyanides and phenols. Nevertheless, despite risk analysis and the launch of an operational reclamation project, present understanding does not make it possible to ascertain if there really is a risk that contaminants migrate through environmental matrices.

The SIN site in Brindisi covers an area of around 11,000 ha including agricultural and industrial areas, as well as 5,500 ha of marine areas. By the investigations of the groundwater conditions, several contaminations were detected for the shallow aquifer flowing into the sandy deposits overlying a thick layer of Pleistocene clays.

Parole chiave: Amianto, idrocarburi, bonifica, acqua sotterranea, inquinamento

Key words: Asbestos, hydrocarbons, reclamation, ground water, pollution

Capitolo 20

Le acque sotterranee regionali sono largamente adottate, soprattutto nel Salento, per soddisfare il fabbisogno idrico potabile, attraverso una rete di 360 pozzi, comprendente sia pozzi in uso sia pozzi potenzialmente utilizzabili. Detta rete di pozzi si è costituita via via nel tempo nella necessità di dare risposta a periodi di grave crisi idrica e ciò ha molto spesso comportato la necessità di andare in deroga ai corretti principi di gestione e salvaguardia delle risorse idriche sotterranee. La gestione dei pozzi potabili deve però rispondere, oltre che alle normative riguardanti il consumo umano delle acque estratte, anche a criteri idrogeologici ed idraulici di gestione e salvaguardia, specie quando gli acquiferi sono interessati dall’intrusione marina.

Le serie storiche di dati chimici riguardanti campioni d’acqua estratti da pozzi gestiti dall’AQP hanno rivelato significativi incrementi della concentrazione dello ione cloruro e dello ione nitrato.

L’incremento della concentrazione di ione cloruro è da attribuire al sollevamento dell’acqua di mare presente alla base della falda, dovuto sia al *salt-water upconing* sia al depauperamento generale della falda profonda carbonatica determinato da un uso non sostenibile della stessa, attuato, oltre che dai pozzi potabili, anche dai pozzi irrigui ed industriali. Al fine di interrompere il *trend* negativo osservato è necessario procedere al progetto di ogni singola opera di captazione, con il quale determinare geometria e portata di esercizio compatibili con le locali condizioni idrogeologiche degli acquiferi. Inoltre, è necessario procedere alla va-

lutazione dei volumi idrici complessivamente estratti dagli acquiferi e della loro sostenibilità nel lungo termine. L'incremento della concentrazione dei nitrati è invece da attribuire alle attività antropiche che si svolgono alla superficie, il che indica la necessità di procedere con urgenza alla perimetrazione della zona di rispetto dei pozzi, secondo criteri idrogeologici e idraulici appropriati.

I dati analizzati indicano quindi la necessità di eseguire una revisione dell'attuale rete di pozzi potabili regionale, finalizzata alla conferma dei pozzi corretti ed alla modifica o cancellazione di quelli non rispondenti ai criteri idrogeologici ed idraulici di gestione e salvaguardia degli stessi.

Il Servizio di Vigilanza Igienica dell'AQP preleva migliaia di campioni di acqua all'anno per analisi chimico - fisiche e batteriologiche al fine di garantire gli *standard* di qualità richiesti per le acque potabili ai punti di distribuzione. La gran mole di dati acquisiti potrebbe però integrare la banca dati proveniente dalla rete di monitoraggio delle acque sotterranee per la gestione degli acquiferi, ciò nell'ipotesi di conoscere i dati geometrico-costruttivi ed idrogeologici dei pozzi potabili.

- In Apulia, especially in the Salento peninsula, groundwater is widely used to meet drinking water requirements via a network of 360 wells; these include currently used or potentially useable wells. This network has developed gradually over time to respond to periods of severe drought, and this has often made it necessary to depart from the correct principles of groundwater management and protection. Nevertheless, potable well management must comply with the regulations governing groundwater use for human consumption, and with hydro-geological and hydraulic management and protection criteria, especially when aquifers are exposed to intruding seawater.

The time series of chemical data of water samples from Acquedotto Pugliese-AQP (Apulian water board) wells have shown significant increases in chloride and nitrate ion concentration over the years. The increased chloride ion concentration stems from the rising level of underlying seawater, caused by salt-water upconing and by the general impoverishment of deep carbonate groundwater due to unsustainable use for human consumption as well as for agriculture and industry.

In order to stop this negative trend, each single well must be designed by determining geometry and pumping discharge compatible with the local hydro-geological conditions of the aquifers. In addition, it is necessary to assess the total water volumes abstracted from the aquifers and their long-term sustainability.

In contrast, increased nitrate concentration is due to human activities above ground, and indicates the need for urgent delimitation of well protection zones based on appropriate hydro-geological and hydraulic criteria.

The data analysed indicate the need to re-examine the region's current network of potable wells in order to make sure that they are functioning correctly; those which do not comply with the criteria for hydro-geological and hydraulic management and protection must be modified or eliminated.

The AQP Sanitation Surveillance Service (Servizio di Vigilanza Igienica) carries out thousands of chemical, physical and bacteriological analyses on water samples every year in order to ensure the quality standards required for tap water. The huge amount of data acquired could be used to supplement the database of the groundwater monitoring network for aquifer management, assuming knowledge of the geometrical-structural and hydro-geological data of potable wells.

Parole chiave: Captazione d'acqua, consumo idrico, qualità dell'acqua, ione cloruro, ione nitrato

Key word: Water harnessing, water consumption, water quality, chloride ion, nitrate ion

Capitolo 21

Nel contesto della salvaguardia idrogeologica delle acque sotterranee pugliesi, mirando alla qualità dei corpi idrici sotterranei, emerge la necessità di controllare e monitorare la presenza e l'evoluzione dei nitrati e dei nitriti. I credibili monitoraggi attuati negli ultimi decenni evidenziano infatti progressivi incrementi col tempo della concentrazioni di dette sostanze inquinanti, fino a determinare situazioni di degrado della falda profonda che il presente capitolo evidenzia.

L'uso smisurato di fertilizzanti in agricoltura, unitamente agli scarichi civili ed industriali, sono fra le cause predominanti dell'aumento della concentrazione dello ione nitrato nelle acque superficiali e profonde della regione.

Il presente capitolo accenna alle conseguenze della presenza di nitrati, riferendosi all'attuale normativa e ai valori limite delle concentrazioni di detti elementi.

Si illustrano infine i risultati ottenuti dagli accertamenti compiuti nell'ultimo periodo sullo stato di inquinamento da nitrati delle acque sotterranee della regione, e ciò fin dove è stato possibile sulla base dei dati conoscitivi raccolti per le distinte aree idrogeologiche che la presente Monografia individua.

- Nitrates and nitrites are some of the aquifer components that affect groundwater quality in the hydrogeological context of Apulian region. Reliable monitoring has proved that they have considerably increased in the last decades. Excessive use of fertilizers in agriculture, together with municipal and industrial wastewaters, are some of the prevailing causes of increased concentration of the nitrate ion in shallow and deep groundwaters of the region.

This chapter outlines the effects of nitrates and nitrites on environmental protection, referring to the current regulations and based on relevant chemical parameters highlighting acceptable threshold values. This chapter refers to recent surveys on the state of nitrate pollution of groundwaters in the region, based on the data collected from distinct geographical areas specified in this Monograph.

Parole chiave: Ione, nione nitrato, qualità dell'acqua, fertilizzanti, falda, inquinamento

Key words: Ions, nitrate ion, water quality, fertilizers, nappes, pollution

Capitolo 22

Lo studio della risposta di un acquifero alle precipitazioni è un problema di fondamentale importanza per la gestione delle risorse idriche sotterranee. Negli ultimi anni si è diffuso nella comunità scientifica l'uso di modelli cosiddetti data-driven, ossia tecniche di modellazione numerica attraverso le quali la dinamica dei sistemi è analizzata a partire da sequenze storiche di dati ingresso-uscita. Si tratta di modelli che consentono di cogliere alcune relazioni non sempre evidenti fra i parametri che condizionano i si-

stemi naturali, specie quando caratterizzati da forte complessità e non linearità, aiutando la comprensione dei fenomeni e processi fisici attraverso la cosiddetta “*scientific knowledge discovery*”.

Nel presente lavoro sono illustrate le principali caratteristiche e potenzialità di questo tipo di approcci ed i risultati ottenibili con riferimento ad alcuni casi della regione pugliese, con specifico riferimento ad una tecnica (EPR-MOGA) messa a punto nell'ambito del Politecnico di Bari. Le applicazioni svolte sono riuscite a descrivere sia la risposta lenta della falda alle precipitazioni tipica dell'acquifero poroso superficiale di Brindisi, sia la risposta rapida tipica dell'acquifero mesozoico del Salento in prossimità della città di Lecce. È stato inoltre possibile analizzare una condizione che può essere definita intermedia, tipica dell'Alta Murgia, ove la complessità dei meccanismi di ricarica determina una certa influenza delle precipitazioni sulle altezze piezometriche della falda sia nel breve che nel lungo periodo.

Nel complesso lo studio ha consentito di evidenziare le potenzialità e prospettive di questo tipo di approccio nello studio dei sistemi idrogeologici, sia per la comprensione dei meccanismi di ricarica, sia, e soprattutto, in prospettiva gestionale degli acquiferi. I modelli, se determinati sulla base di un numero sufficiente di dati affidabili, consentono infatti di eseguire previsioni sia nel breve che nel lungo periodo, diventando quindi uno strumento utile sia in fase di interpretazione del monitoraggio idrogeologico in tempo reale sia in fase di pianificazione idrica, essendo di ausilio per la redazione di un bilancio idrico affidabile degli acquiferi.

- The study of the dynamics of groundwater system, as response to rainfall supply, is a hot topic. In the last years has had a large diffusion the use of data-driven models where the dynamic of a natural system is studied on the base of a time series of input and output data. This class of model made it possible to give evidence of sometimes hidden relation between input and output data specially when the relation are strongly not linear, improving the knowledge of the system on the base of the relation input-output time series (“scientific knowledge discovery”).

Here have been presented the main characteristics and potentialities of this sort of approach in hydrogeology, with special reference to some cases of the apulia region modeled using a general tool (EPR-MOGA) pointed out in the technical university of Bari. The cases presented has shown how this technique is able to model both the slow response of the brindisi porous aquifer both the fast response of the salento karst aquifer. It has been able also to model intermediate situation as that of the high Murgia aquifer where the groundwater supply is related both to fast and slow infiltration path.

Here potentialities and achievements of this kind of methods are presented, in particular focusing both on the groundwater supply dynamics both in groundwater management perspective. This kind of model if based on a quite long and reliable time series, is a powerful tool for the interpretation of monitoring data to point out a reliable groundwater budget, that is an indispensable element for groundwater management

Parole chiave: Acquifero poroso, acquifero mesozoico, precipitazioni, modellazione numerica, ricarica della falda

Key words: Porous aquifer, Mesozoic aquifer, rainfall, numerical modeling, recharge

Capitolo 23

L'utilizzo di acque salmastre in agricoltura ha origini remote. Nella prima metà del secolo scorso diverse istituzioni scientifiche hanno avviato indagini e ricerche sulla qualità delle acque irrigue, prendendo in considerazione parametri fisici, chimici e microbiologici.

Riguardo ai parametri chimici, i criteri di valutazione delle acque irrigue proposti da vari autori si basano sul contenuto in sali disciolti, sulla qualità di questi ultimi e sul contenuto in elementi tossici per la pianta.

Su queste basi AYERS & WESTCOT (1976, 1985) hanno formulato le linee guida per la valutazione della qualità delle acque irrigue. Tale valutazione fondamentale si basa sulla variazione delle produzioni delle colture al variare della salinità media della zona radicale. Quest'ultima, però, varia durante il ciclo colturale e nello spazio, anche in funzione dell'entità del flusso di acqua nel sistema continuo suolo – pianta – atmosfera, dipendente dalle condizioni ambientali, e presenta difficoltà e incertezze nel valutarla, trattandosi di un fenomeno dinamico e non statico come proposto da Ayers e Westcot.

Consci di quest'ultimo aspetto, fondamentale nel sistema biologico, alcuni studiosi hanno proposto indici di tipo dinamico, tra cui *The dynamic salinity stress index* (SSD) proposto da Dalton e altri (1977).

Si accenna alle ripercussioni della salinità delle acque sul terreno e sulle colture a livello sia fisiologico sia morfologico e produttivo. Su quest'ultimo aspetto sono riportate le tolleranze delle specie vegetali alla salinità proposte da MAAS & HOFFMAN (1977), VAN GENUCHTEN & HOFFMAN (1984), FLAGELLA *et alii* (1998) e SHANNON & GRIEVE (1999).

Inoltre, sono riportate alcune considerazioni sulle possibilità di utilizzo delle acque salmastre a scopo irriguo, sugli accorgimenti da adottare se usate e sui possibili effetti delle acque di falda presenti in Puglia sui terreni con esse irrigati.

Infine, considerando che la presenza di acqua salmastra nel sottosuolo è connessa all'eccessivo sfruttamento della falda, si accenna alla necessità di ridurre i prelievi, evitando la contrazione delle superfici irrigate e delle produzioni unitarie delle colture, facendo ricorso ad altre fonti idriche (acque reflue affinate e altri recuperi di acque superficiali) e attraverso strategie diverse miranti a ridurre i fabbisogni irrigui delle colture.

- Brackish water has been used in agriculture since ancient times. In the first half of the 20th century, various scientific bodies launched investigations into the quality of irrigation water, taking physical, chemical and microbiological parameters into account.

Various authors proposed chemical parameters based on dissolved salt content, salt quality and the content of elements toxic to plants.

On this basis, AYERS & WESTCOT (1976, 1985) formulated guidelines for assessing irrigation water quality.

This is primarily based on changes in crop production related to average salinity in the root zone. However, the root zone varies during the crop cycle and in space, and also depends on the magnitude of water flow in the soil - plant - atmosphere continuum according to environmental conditions. In addition, it is difficult to assess because it is not a static but rather a dynamic phenomenon, as proposed by Ayers and Westcot.

Aware of this crucially important aspect of the biological system, some researchers have proposed dynamic indexes, like the dynamic salinity stress index (SSD) advanced by Dalton and others (1977).

*The effects of water salinity on the physiology and morphology of soil and crops and on production are mentioned. With regard to production, the salinity tolerance of plant species proposed by MAAS & HOFFMAN (1977), VAN GENUCHTEN & HOFFMAN (1984), by FLAGELLA *et alii* (1998) and SHANNON & GRIEVE (1999), is given.*

In addition, there are comments on the potential use of brackish water for irrigation, on measures to take in the event of its use, and on the possible

effects of Apulian groundwater used on irrigated land.

Finally, because the presence of brackish water in the subsoil is related to over-exploitation of groundwater, the need to curb withdrawals is stated. However, this should not involve reducing the area of irrigated land and crop yield per hectare, but should involve using other water sources (treated wastewater and reuse of surface water) and the application of strategies designed to reduce the irrigation water requirements of crops.

Parole chiave: Acqua salmastra, agricoltura, irrigazione, qualità dell'acqua, salinità, atmosfera

Key words: Brackish water, agriculture, irrigation, water quality, salinity, atmosphere.

Capitolo 24

Il degrado quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee indica la necessità di attuare un approvvigionamento idrico alternativo o integrativo per l'agricoltura e per l'industria nella regione. A tal fine grande importanza assume il cosiddetto *wwr*, ossia il "wastewater reuse" (riutilizzo delle acque reflue trattate), da intendersi come strategia atta a ridurre la estrazione di acqua sotterranea e, in luogo di quest'ultima, fare ricorso alle acque reflue trattate, secondo metodologie ormai ben consolidate nei paesi civili.

In Puglia sono stati già registrati indubbi successi nelle tecnologie di trattamento delle acque reflue da destinare all'agricoltura; sono infatti 40 gli impianti di affinamento realizzati, malgrado si registrino clamorosi casi di insuccesso, dovuti alla circostanza che il costo dell'affinamento viene ritenuto talora inaccessibile.

Va pertanto considerato adeguatamente, sia sotto il profilo tecnologico che politico-economico, il trattamento più fruibile di una risorsa, quella delle acque reflue, non convenzionale, ma già adoperata con successo in Paesi nei quali è ormai pratica largamente accettata dall'agricoltore. In Israele, in particolare, l'uso dei reflui trattati rappresenta un metodo frequente e non più rivoluzionario.

Passando a parlare di altra risorsa alternativa e non convenzionale, va considerata la dissalazione di acqua marina o meglio ancora di acque salmastre, e ciò anche se dalla fine degli anni '70 l'eccessivo rincaro del costo del petrolio decretava l'abbandono di questa possibilità, facendo prevalere l'opzione politica di approvvigionare il Mezzogiorno mediante il trasporto di acque dalle regioni limitrofe. Ma quest'ultima soluzione non è immediata nè facile politicamente da conseguire, il che induce, in Puglia, all'adozione di dissalatori quantomeno per l'uso potabile. Il costo pare decisamente accettabile se si dissala piuttosto acqua salmastra, come quella delle sorgenti costiere di questa regione. Nel detto ordine di idee il mercato della dissalazione si espanderà certamente in Puglia e inderogabilmente per gli usi potabili, stanti le riduzioni che si renderanno necessarie in ordine alla captazione di acque sotterranee, motivate da quanto gli altri capitoli della presente Monografia illustrano.

- Degradation in quantity and quality of groundwater induces the need of alternative or additional water supplies for agricultural or industrial uses in Apulia region. This is the reason why the so called "wastewater reuse", widely diffused in the most developed countries, is assuming great importance for reducing groundwater extractions.

Wastewater treatment technologies have already been successfully used in Apulian agriculture. Fourty wastewater treatment plants have been just built in Apulia region, but not all the installations have given the expected results.

The most cost-effective unconventional use of treated wastewaters has then to be adequately taken into account both from technological and political-economic viewpoint, following the example of other countries, such as Israel, where farmers have accepted wastewater reuse as a common practice.

Seawater and brackish water desalination can also be considered as unconventional water resource. Desalination price, however, has drastically increased because of the raise in oil price started at the end of the '70s. Because of this, southern regions ask for water from neighboring regions instead of desalinating salt water. Asking for water from neighboring regions, however, is not simple to be politically achieved, then desalination plants have necessarily to be adopted in Apulia region at least for producing drinkable water. In this view, brackish water instead of seawater desalination would be much more convenient, considering that water coming from the coastal apulian springs could be treated. In the light of these remarks, the desalination business will certainly expand in Apulia region in the near future, particularly to the end of producing drinking water.

Parole chiave: Acque reflue, dissalazione, inquinamento, percolato, depurazione d'acqua, salinità

Key words: waste water, desalinization, pollution, sewage, water treatment, salinity

Capitolo 25

La presenza di una falda acquifera nei calcari cretaci del sottosuolo pugliese ha spesso costituito motivo di ostacolo alla progettazione e realizzazione di opere ed infrastrutture interrato. Le conoscenze maturate sulle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero cretaco ed idrauliche della falda consentono, invece, di prevedere con certezza gli effetti che dette opere esercitano sulla falda e, quindi, di pilotare i progetti verso soluzioni compatibili dal punto di vista ambientale, oltre che fattibili dal punto di vista tecnico ed economico.

Le esperienze maturate nell'ultimo cinquantennio nella città di Bari, ove le formazioni acquifere sono tra le più permeabili della regione, hanno consentito di acquisire importanti accorgimenti esecutivi, finalizzati a garantire la corretta progettazione ed esecuzione di opere sotterranee immerse in falda. L'opera interrata ivi eseguita più significativa dal punto di vista dei monitoraggi eseguiti durante e a completamento dell'opera è il parcheggio sotterraneo in Piazza Cesare Battisti in Bari. La preventiva impermeabilizzazione dell'ammasso roccioso, eseguita con il sistema M.P.S.P. (*Multiple packer sleeved pipes*), mediante diverse tipologie di miscele cementizie scelte in funzione dello stato di fratturazione ed incarsimento della roccia, ha consentito di eseguire lo scavo a cielo aperto, per una superficie complessiva di circa 7.000 mq e piano di fondo scavo disposto a circa 7 m sotto il livello di falda, prelevando al termine dello scavo una portata pari a soli 4 l/s. Inoltre, le previsioni progettuali hanno assicurato l'assenza di perturbazioni dei livelli di falda degne di rilievo, poi verificate attraverso il rigoroso monitoraggio in corso d'opera.

- The presence of groundwater in Cretaceous limestones in Apulia has often been an obstacle to the design and construction of underground facilities. However, knowledge acquired on characteristics of Cretaceous aquifer hydrogeology and of groundwater hydraulic characteristics makes it possible to

predict with certainty the effects of these facilities on groundwater, and accordingly to direct these projects towards environmentally-friendly, technically feasible and cost-effective solutions.

Bari is a city where aquifer formations are perhaps the most permeable in the region, and the experience acquired here over the last fifty years has made it possible to develop significant solutions aimed at ensuring correct design and construction of underground facilities that penetrate into the groundwater. The most significant underground construction in the city of Bari, in terms of monitoring performed with work in progress and on completion, is the underground car park in Piazza Cesare Battisti in Bari. Preliminary watertight sealing of the rock masses was carried out using the M.P.S.P. (Multiple Packer Sleeved Pipes) system and various types of grout mixes depending on state of the rock in terms of fracturing and karst dissolution. The next step involved open excavation of a total area of about 7,000 m² and a bottom excavation level about 7 meters below groundwater level, with a discharge as low as 4 l/s pumped out at the end of excavation. In addition, design stage forecasts ensured that there were no significant disturbances in groundwater levels, as was subsequently confirmed by careful monitoring while work was in progress.

Parole chiave: Calcarei cretaci, falda, permeabilità, scavo, infiltrazione, infrastrutture interrante
Key words: Cretaceous limestones, nappes, permeability, excavations, infiltration, underground facilities

Capitolo 26

Nel presente lavoro si propone un esempio di utilizzazione delle informazioni dell'Archivio Nazionale delle indagini di sottosuolo ex legge 464/84, costituito presso il Servizio Geologico d'Italia, per valutazioni di carattere idrostrutturale di un'area campione corrispondente all'intero territorio pugliese.

Dopo una presentazione introduttiva delle caratteristiche della banca dati di riferimento (in fase di ultimazione), viene riportata una statistica descrittiva di due specifici parametri tecnici presenti nel geodatabase: la quota dei livelli acquiferi incontrati durante le perforazioni per ricerche d'acqua e quella dei filtri nei pozzi. Sulla base della distribuzione di frequenza di tali informazioni presenti nel *geodatabase* rispetto a predefinite classi di quota si è potuto evidenziare, su scala regionale, gli intervalli stratigrafici interessati dal maggior numero di falde e, tra questi, quelli sfruttati dal maggior numero di pozzi.

Allo scopo di testare la validità del contenuto informativo del geodatabase sono state individuate profondità e quota dei livelli acquiferi in prossimità di due sezioni interpretative trasversali nelle aree del Tavoliere di Foggia e tra la Piana di Brindisi e il Salento. L'assunzione ovvia su cui si è basata l'interpretazione è che la densità e la continuità laterale dei punti corrispondenti alla posizione dei filtri dei pozzi a una determinata quota di posizionamento possa indicare la presenza ed il grado di importanza su scala "regionale" dei corpi idrici. Il risultato ottenuto in entrambe le sezioni è coerente rispetto alle conoscenze idrogeologiche locali e conferma la validità dei dati d'archivio relativi ai parametri considerati in questo studio.

- The graphical and cartographical applications illustrated in the present work, particularly aimed at a hydrostructural characterization of the Apulian territory, have been accomplished using the information coming from the Boreholes National Database, realized by the Geological Survey of Italy in appliance of the Italian governmental law N.464/84. The main features of this geodatabase, now close to a completion stage, have been briefly introduced; then, a descriptive statistics of the aquifer layer and wells filter position elevation values, both recorded during the drilling operations, has been pointed out. The vertical distribution of these elevation values with respect to selected classes of frequency has allowed us to define, at regional scale, the hydrostratigraphical levels hosting most of aquifer layers and among them, the most exploited ones.

Two interpretive cross-sections in the Tavoliere di Foggia and in the Piana di Brindisi-Salento areas have also been drawn, in order to demonstrate the geodatabase informative potentiality to show up the spatial distribution of aquifer layers with depth. The regional significance of each groundwater body is, of course, based on the lateral continuity and distribution at large scale of each aquifer respect to their occurrence in elevation along the cross-section outline. The obtained results are, for both cross-sections, in good agreement with the local hydrogeological evidences and then indirectly validate the information concerning the tested hydrogeological parameters stored in the Boreholes National Database.

Parole chiave: Archivio Nazionale L.464/84, indagini del sottosuolo, idrogeologia, livelli acquiferi, Puglia
Key words: Italian Law N.464/84 National Database, borehole survey, hydrogeology, aquifers, Apulia

Capitolo 27

Negli anni '90 veniva avviato su scala regionale il monitoraggio in continuo dello stato quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee della Puglia, secondo le prescrizioni già fornite dal Piano di Risanamento delle Acque nel 1984. Venne quindi istituita, invero con ritardo, una rete di controllo idrometrografico e qualitativo delle acque sotterranee, che, negli auspici dell'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia, Lucania ed Irpina, avrebbe dovuto nel tempo dare luogo ad una ragionevole gestione degli acquiferi regionali. Nel 1991 era infatti già previsto il controllo in continuo delle principali grandezze atte a definire lo stato qualitativo e quantitativo delle falde idriche regionali e la interpretazione in tempo reale dei risultati ottenuti dalle indagini di campo. La rete di monitoraggio ebbe però breve periodo di esercizio.

Il monitoraggio eseguito negli anni '90, anche se di breve durata, ha evidenziato un progressivo e significativo degrado qualitativo e quantitativo dei principali corpi idrici sotterranei regionali. Del preoccupante degrado delle falde idriche regionali, poi confermato da discontinui momenti di monitoraggio condotti alcuni anni dopo, venivano informati gli Enti preposti al controllo e alla salvaguardia delle stesse.

Il nuovo progetto di monitoraggio (detto Tiziano), benchè rilevi dati preziosi sul chimismo e sullo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei, non prevede l'interpretazione in tempo reale degli stessi. L'interpretazione dei dati acquisiti non è inoltre eseguita alla luce dei principi idraulici che regolano l'equilibrio tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare. Ciò non consente di fornire la corretta spiegazione dei fenomeni di degrado osservati, necessaria per definire, nel breve e nel lungo termine, le azioni da attuare per l'inversione delle tendenze negative osservate, e rispondere quindi pienamente agli scopi cui lo stesso progetto Tiziano era diretto all'origine.

La recente DGR 1749/2012 ha stabilito che l'ARPA e l'Autorità di Bacino sono i nuovi soggetti deputati, rispettivamente, al

monitoraggio qualitativo e quantitativo delle risorse idriche sotterranee regionali. Nel sistema idrogeologico pugliese lo stato qualitativo delle acque di falda è però direttamente correlato a quello quantitativo, per cui solo la loro analisi congiunta, eseguita con i criteri idraulici ampiamente illustrati nella presente Monografia, può fornire i presupposti per una corretta e razionale gestione delle risorse idriche sotterranee.

- Continuous monitoring of the quality and quantity of the region's groundwater in Apulia started in the 1990s, following the provisions of the Water Action Plan of 1984. Then, a network for recording groundwater-level and quality was established, much later than envisaged indeed and, according to the expectations of the Irrigation Board (Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione fondiaria in Puglia, Lucania e Irpinia), it was intended as a tool for sound management of Apulian groundwater. In fact, in 1991 continuous monitoring of the major magnitudes suitable for defining the quality and quantity of the region's groundwater and real time interpretation of the results obtained from field surveys was already envisaged; but the operation of the monitoring network was short-lived.

Monitoring performed in the 1990s, though of short duration, revealed a progressive and significant decline in the quality and quantity of the region's main groundwater bodies. This alarming decline of the region's groundwater bodies, subsequently confirmed by discontinuous periods of monitoring carried out few years later, was reported to the Boards in charge of their monitoring and protection.

The new monitoring project (called Tiziano), though providing valuable data on chemistry and quantity of groundwater bodies, does not include real time interpretation. Moreover, the interpretation of the acquired data is not made on the basis of the hydraulic principles regulating the equilibrium between freshwater and the underlying seawater. This does not allow us to give a proper explanation for the observed decline, which would be required to define short and long-term actions to be implemented to reverse the observed negative trends and then fully meet the original objectives of Tiziano project.

The recent resolution of the regional council, DGR 1749/2012, has established that ARPA (Agenzia Regionale per la Prevenzione e la Protezione dell'Ambiente) and the Basin Authority are the new subjects in charge of quality and quantity monitoring of the region's groundwater resources, respectively. In the Apulia hydro-geological system, groundwater quality and quantity are directly correlated with each other, so that only a joint analysis based on the hydraulic criteria largely illustrated in this Monograph can create the conditions for correct and sound management of groundwater resources.

Parole chiave: Monitoraggio, acqua sotterranea, qualità dell'acqua, gestione di risorse idriche, consumo idrico

Key words: Monitoring, ground water, water quality, water management, water consumption

Capitolo 28

Negli USA il problema dell'intrusione marina negli acquiferi costieri condiziona profondamente le modalità con cui viene attuata, con successo, la pianificazione idrica e l'osservanza di modalità gestionali della risorsa idrica sotterranea, dipendente in tempo reale dai comportamenti idrogeologici e idraulici degli acquiferi. Le fenomenologie derivanti dall'intrusione marina continentale sono costantemente controllate in rapporto agli impatti derivanti dalle estrazioni antropiche dalle falde acquifere, sovrastante all'acqua marina.

In Florida, regione da ritenersi (salvo la diversa scala dimensionale dei territori posti a confronto nel presente capitolo) molto simile dal punto di vista idrogeologico alla regione Puglia, le acque sotterranee rispondono a gran parte della domanda idrica regionale, perfino all'approvvigionamento idrico potabile della città di Miami. Gli acquiferi interessati alla base dall'intrusione marina sono pertanto monitorati e gestiti in modo sostenibile, grazie ad un virtuoso *management*, il cui punto di forza è sicuramente rappresentato dal monitoraggio idrometrografico e qualitativo, eseguito in continuo e interpretato in tempo reale.

Il *management* delle acque sotterranee della Florida prevede che durante l'esercizio possa essere variato l'uso delle falde acquifere in parola mediante interventi tempestivi di correzione degli attingimenti stessi, finalizzati alla riduzione dei pompaggi commisurati al comportamento piezometrico delle stesse falde. Questa prassi è largamente accettata dal cittadino, il quale contribuisce coscientemente rispettando le azioni intraprese per la salvaguardia degli acquiferi. Gli enti preposti a detti fini associano, peraltro, all'uso di dette risorse, l'impiego di quelle superficiali e non convenzionali.

L'auspicio è che nella regione Puglia si possano presto conseguire condizioni di esercizio e di tutela delle acque sotterranee simili a quelle della Florida.

- In the USA, the problem of seawater intrusion into coastal aquifers deeply affects the successful planning of water resources and the observance of groundwater management that depends on the real time hydro-geological and hydraulic behaviour of aquifers. The phenomena resulting from seawater intrusion are constantly monitored for the impacts resulting from the abstraction of the groundwater overlying seawater.

A region hydro-geologically quite similar to the Salento peninsula (except for the different dimensional scale of the land compared in this chapter) is Florida, where groundwater satisfies much of the state's water requirements and even drinking water supply of Miami. The aquifers overlying intruding seawater are thus maintained under real-time monitoring and their sustainability is ensured by virtuous management. This Florida's system's strength is certainly its continuous groundwater-level recording and quality monitoring with real time interpretation.

The applied groundwater management in Florida envisages that pumping may be promptly adjusted and reduced depending on the piezometric behaviour of groundwater. This practice is widely accepted by the citizens who consciously contribute to sound management, by complying with the actions performed to safeguard groundwater. On the other hand, the boards responsible for water resources management, manage groundwater with Florida's equally abundant surface and unconventional water resources.

Our hope is that Apulia region will soon be able to implement groundwater management and protection conditions as it is successfully done in Florida.

Parole chiave: Florida, intrusione di acqua salata, acquifero, subsidenza, captazione d'acqua, acque reflue, monitoraggio

Key words: Florida United States, salt-water intrusion, aquifers, subsidence, water harnessing, waste water, monitoring

Capitolo 29

L'assenza di una concreta e corretta pianificazione degli usi delle acque sotterranee presenti in questa regione ha indotto nel tempo ad una proliferazione straordinaria di pozzi privati e consortili, il cui esercizio, così come dimostrato nei precedenti capitoli, avviene in pratica senza controlli adeguati e lontani da una verifica in tempo reale delle condizioni di ricarica delle falde

e delle conseguenti potenzialità. Sono state espresse finora incertezze notevoli, riguardanti il numero reale dei pozzi presenti sul territorio regionale e la notevole portata d'acqua che globalmente si estrae dagli stessi.

Il degrado quantitativo e qualitativo delle risorse idriche sotterranee fin qui illustrato indica che l'esercizio dei pozzi presenti è allo stato attuale insostenibile, perché superiore e sordinato nei confronti delle potenzialità idrauliche degli acquiferi relativi. Si rende pertanto ad oggi necessaria una pianificazione idrica di emergenza, che individui acque sotterranee da salvaguardare. L'uso irriguo è nella pratica quello maggiormente penalizzato dal degrado quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee fin qui illustrato.

Considerati intanto gli interventi da programmare per il risanamento e la salvaguardia delle acque sotterranee in argomento, necessitano provvedimenti che assicurino, il superamento della riduzione e della sottrazione degli emungimenti dalle falde, circostanze inderogabilmente mirate alla salvaguardia delle stesse. A tal riguardo occorre quindi individuare fonti idriche strategiche alternative, seguendo all'incirca le indicazioni che questo capitolo brevemente illustra, fatte salve le indicazioni che possono derivare da competenze più adeguate, preposte oggi istituzionalmente nella materia. A tal riguardo, conviene ricordare principalmente l'Autorità di Bacino della Puglia. Trattasi quindi di provvedere, facendo ricorso a impianti idrici strategici già presenti in regione, a quella pianificazione regionale che, per la salvaguardia degli acquiferi studiati, individui disponibilità idriche che in parte sostituiscano quelle estratte dai pozzi.

- The absence of real and correct planning regarding use of the region's groundwater has eventually caused a huge proliferation of wells owned privately or by consortiums. As shown in the previous chapters, these wells are used without adequate monitoring or real-time checking of recharge conditions and the resulting groundwater potentials. There is still uncertainty about the real number of wells in the region and about the considerable total amount of water that is extracted from them.

The decline in groundwater quantity and quality illustrated indicates that the current rate of well use is unsustainable because it exceeds the aquifers' recharge potential. For this reason it is necessary to carry out emergency planning of water resources and to survey most groundwater in need of protection. In this way, it can be replaced with alternative sources of water for irrigation, certainly the sector most affected by the decline in groundwater quality and quantity illustrated.

Once the actions necessary to enhance and protect this groundwater have been defined, measures will then be required to cope with the resulting reduction in groundwater abstraction, a prerequisite for protecting it. It is necessary to consider using alternative strategic water resources, in the ways suggested briefly in this chapter, subject of course to the competent relevant authorities, of which the Puglia Basin Authority is certainly a major one. Regional planning should rely on the strategic water infrastructures already present in the region in order to identify alternative water resources which can partly replace abstraction from existing wells.

Parole chiave: Consumo idrico, risorse idriche, diga, acquedotto, captazione d'acqua, pozzi, sorgente, acqua potabile
 Key words: Water consumption, water resources, dams, aqueduct, water harnessing, wells, springs, drinking water