

Riassunti Abstracts



Capitolo 1

Il capitolo illustra i principali caratteri geologici della regione Puglia, fortemente connessi all'evoluzione geologico-strutturale del sistema orogenico dell'Appennino Meridionale con i suoi tre domini strutturali Catena-Avanfossa-Avampaese. Si evidenziano sinteticamente le principali tappe evolutive della storia geologica della regione, le caratteristiche litologiche delle formazioni geologiche affioranti, le successioni stratigrafiche e strutturali, nonché i principali lineamenti tettonici e morfologici del territorio pugliese, in cui è possibile distinguere cinque aree fisiografiche: il Gargano, la Murgia, il Salento, il Tavoliere delle Puglie e il settore pugliese dell'Appennino Dauno.

L'illustrazione geologica appena riassunta riguarda *in primis* le manifestazioni idrogeologiche, cui sono strettamente legati lo stato delle acque sotterranee regionali e soprattutto l'intrusione marina, riscontrabile in una regione caratterizzata da una notevole permeabilità. Aspetti più specifici, riferibili al rapporto geologia-idrogeologia sono invece trattati in capitoli *ad hoc* (capp. 13-18), dedicati alle aree idrogeologiche (Gargano, Tavoliere di Foggia, Murgia, Piana di Brindisi, Arco Ionico Tarantino e Salento), che assumono particolare valenza rispetto al monitoraggio e alla salvaguardia delle acque sotterranee, minacciate da fenomeni di intrusione marina continentale.

Viene poi trattato il fenomeno del carsismo, tanto nei suoi aspetti generali quanto nell'accezione pugliese, con particolare riferimento al controllo esercitato dall'assetto geologico e strutturale sullo sviluppo dei processi carsici. Il territorio della regione è infatti caratterizzato dalla presenza in affioramento di rocce solubili, costituite in netta prevalenza da carbonati e solo subordinatamente evaporiti. Il carsismo è, insomma, tra i principali processi che controllano non solo la genesi e l'evoluzione delle forme del paesaggio alla superficie, ma anche i vuoti nel sottosuolo, particolarmente significativi agli effetti dell'idrogeologia sotterranea. Immediata conseguenza della dissoluzione delle formazioni carbonatiche pugliesi, sono i prodotti generalmente terrosi, definiti localmente Terre rosse, e le bauxiti, anch'esse connesse alla dissoluzione carsica delle rocce carbonatiche della regione. Si tratta di "rocce residuali", formatasi a partire dalle rocce carbonatiche, aggredite dal carsismo, e successivamente dall'alterazione spinta del materiale residuale. Sono presenti solo in determinate aree della regione, un tempo mirate alla produzione di alluminio e presentano oggi un paesaggio davvero singolare.

- This Chapter illustrates the main geological features of Apulia region, which are closely related to the geological and structural evolution of the orogenic system of the Southern Apennine, with its three structural Thrust Belt-Foredeep-Foreland domains. The main evolutionary stages of the Apulia's geological history are briefly described in the following, together with the lithological characteristics of geological outcropping formations, the stratigraphic and structural sequences and the main tectonic and morphological elements of the region. The latter, for sake of simplicity, can be subdivided in the following five physiographic areas: Garganian Promontory, Murcian Plateau, Salento, Foggian Lowland, Apulian section of the Daunian Apennines. This geological summary is aimed to introduce the reader to the detailed description of the Apulian hydrogeological setting, that rules the current groundwater state and the seawater intrusion dynamics, the latter strongly promoted by the high hydraulic conductivities characterising the region. Specific aspects of the relationship between geology and hydro-geology are extensively described from the Chapter 13 to the Chapter 18, each one dedicated to the so-called "hydro-geological area" (Garganian Promontory, Foggian Lowland, Murcian Plateau, Brindisi Plateau, Taranto Ionian Arch and Salento Peninsula), with reference to which monitoring and management of Apulian groundwaters are planned.

The geological introduction is followed by a description of karst phenomena, with special reference to the karst processes observed in Apulia. In fact the region is characterized by the presence of outcropping soluble rocks, mostly represented by carbonates, with a lower portion of evaporites. Karst dissolution controls creation and evolution not only of surface landscape forms, but also of underground cavities, particularly important for hydrogeology. This Chapter then deals with the karst phenomena observed in Apulia, also taking into account the influence of the geo-structural context on the development of karst processes.

Direct consequence of Apulian carbonate rock dissolution are the so-called "red soils". Bauxites are "residual soils" that also originate from karst dissolution of carbonate rocks, in particular when this process is followed by considerable soil alteration. These materials are found only in some very limited areas of the region, that once were characterized by aluminium production and actually represent small striking landscapes.

Parole chiave: Geodinamica, litologia, stratigrafia, tettonica, geomorfologia, carsismo

Key words: Geodynamics, lithology, stratigraphy, tectonics, geomorphology, karst

Capitolo 2

Le risorse idriche sotterranee della Puglia sono sostanzialmente contenute nelle successioni carbonatiche mesozoiche, oggetto di intensa fratturazione tettonica. La notevole presenza di affioramenti calcarei fessurati e carsicizzati, dunque fortemente permeabili all'acqua, non ha consentito lo sviluppo di una vera e propria idrografia superficiale, ad eccezione di quanto si verifica nel Tavoliere di Foggia, dove la presenza di Argille azzurre plio-pleistoceniche sovrastanti lo zoccolo mesozoico di base – che proviene dal promontorio del Gargano e si immerge sotto l'alloctono appenninico ad ovest – ha permesso la formazione di un'estesa copertura alluvionale, ove hanno trovato sede numerosi corsi d'acqua.

La notevole permeabilità di queste formazioni carbonatiche, se da un lato consente l'agevole infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo, dall'altro determina presso costa l'ingressione delle acque marine nel continente. Queste ultime, per ragioni di densità, vanno dunque a costituire il livello base della circolazione idrica sotterranea profonda. Il passaggio tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare, spesso considerato netto, avviene invero in modo graduale, per il tramite di una zona di transizione, la quale subisce spostamenti e variazioni di spessore e forma a seconda delle condizioni di ricarica della falda e di quelle relative al suo impiego.

L'intrusione marina, come acclarato dalle prime ricerche condotte in Puglia già a partire dagli anni '50, interessa con continuità il territorio pugliese e si spinge spesso nelle aree più interne, sino a raggiungere la fossa bradanica, come evidenziano alcune perforazioni eseguite per ricerche petrolifere.

Il mare rappresenta dunque il recapito finale lungo costa della falda. La Puglia non presenta infatti sorgenti sub-aeree continentali, salvo qualche raro caso, per cui le acque della falda profonda si riversano totalmente a mare, secondo modalità che assecondano le condizioni idrogeologiche locali presso costa.

I calcari mesozoici, permeabili per fratturazione e conseguente carsismo, possono essere spesso considerati, sotto il profilo idraulico, equivalenti ad un "mezzo poroso". Sulla base di oltre 4.000 prove di portata ed altre forme di monitoraggio idraulico eseguite su altrettanti pozzi, variamente distribuiti lungo il territorio regionale, è stata redatta la Carta della Permeabilità, con riferimento sia all'acquifero mesozoico sia all'acquifero quaternario alluvionale – permeabile per porosità – del Tavoliere di Foggia. Il risultato ottenuto dimostra la corrispondenza esistente tra la morfologia della superficie piezometrica e la distribuzione del coefficiente di permeabilità degli acquiferi.

Le condizioni di equilibrio che caratterizzano il sistema costituito dall'acqua dolce di falda e la sottostante acqua di mare condizionano profondamente le possibilità e le modalità di impiego della falda di acqua dolce. L'estrazione di acque sotterranee da un sistema siffatto determina, infatti, oltre alla formazione di un cono di intrusione marina nella falda, anche il sollevamento, su scala regionale, dell'interfaccia acqua dolce - acqua di mare. Allo stato attuale non è corretto determinare il bilancio idrico dei corpi idrici sotterranei, come attestano invece numerosi documenti pubblicati sull'argomento, a causa dell'assenza di un censimento "ragionato" degli oltre 100.000 pozzi sorti nel territorio regionale senza un'adeguata pianificazione. Anche se si volesse procedere, pur in forma sommaria, ad un siffatto bilancio, sarebbe comunque necessario interpretare il risultato conseguibile alla luce delle complesse leggi che regolano l'equilibrio tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare. È necessario insomma procedere ad un attento monitoraggio delle principali grandezze idrauliche e chimico-fisiche delle acque di falda, partendo da dati chimici ed idraulici e dalla conoscenza delle ubicazioni delle estrazioni dalla falda, sorte in Puglia con straordinaria diffusione ed improvvisazione nel corso degli ultimi cinquant'anni.

- Apulia's underground water resources essentially flow in the Mesozoic carbonate platform subject to intense tectonic fracturing. Extensive fissured and karstified limestone outcrops, highly permeable to water, have not favoured the development of a real surface hydrography, except in the Foggian Lowland. In this area blue Plio-Pleistocene clays are based on the Mesozoic bottom layer which extends from the Garganian Promontory and plunges below the allochthonous Apennines in the west. The blue clays have allowed the alluvium-layer presence where several streams, which flow from Daunian Sub-Apennines to the sea, have found place.

Although on the one hand the high permeability of carbonate formations allows water to infiltrate easily into the subsoil, on the other hand it also causes seawater intrusion along the coast. Due to its higher density, intruding seawater constitutes the base layer where deep freshwater floats on. The boundary between the freshwater and the salt-water zones is not sharp but instead it is a gradual change over a finite distance thanks a transition zone which undergoes displacements and variations in thickness and shape determined by recharge and pumping conditions.

As already confirmed in first investigations made as early as in the '50s in Apulia, seawater intrusion marks out the whole regional territory and, as proved by some drillings performed for oil exploration, it reaches the Fossa Bradanica as well.

Along the coast, the sea is the groundwater last receptacle. As matter of fact, in Apulia there aren't continental sub-areal springs, except a few rare cases from where the deep groundwater fully discharges into the sea following the local hydrogeological conditions nearby the coast.

Since Mesozoic limestones are permeable owing to fracturing and karstification, from the hydraulic point of view they can usually be considered as a "porous medium". Thanks to a hydraulic monitoring system and more than 4,000 pumping tests performed on as many wells variously distributed in the region, it was thus possible to draw the Lowland Permeability Map. This map refers to both the Mesozoic aquifer and the alluvial Foggian Quaternary one which is permeable by porosity. The obtained outcome shows the close connection between the piezometric surface morphology and the aquifers permeability coefficient distribution.

Equilibrium conditions between the freshwater and the salt-water in the intrusion process considerably affect the ways and potentials of groundwater use. In fact, pumping from a system like this causes not only a salt-water rising up toward the well screen fishing in the freshwater (upconing), but also the rising up of fresh and seawater interface on regional scale. As reported in several documents on this subject, the nowadays situation doesn't allow to carry out an underground water balance estimation. This happens especially because there is no reliable and "planned" wells census. As matter of fact, over 100,000 wells have been drilled throughout the region without any planning which considers the local groundwater budget. Even assuming of carrying out a simplified and inadequately approximate water balance, it is necessary to look at results considering the complex laws which define the equilibrium between freshwater and the underlying salt-water. Therefore, as soon as possible, it's strictly necessary fulfilling a careful monitoring of the major hydraulic, chemical and physical features of groundwater. Starting from chemical and hydraulic data analysis, this survey has to consider the wells placement in the region that, over the last fifty years, has been drilled in a uncontrolled and unplanned way.

Parole chiave: Permeabilità, superficie piezometrica, idrogeologia, acquifero, intrusione marina, bilancio idrico, oscillazioni piezometriche
Key words: Permeability, water table, hydrogeology, aquifer, salt-water intrusion, water balance, piezometric fluctuations

Capitolo 3

La conoscenza della distribuzione della concentrazione salina delle acque di falda e l'analisi delle sue variazioni nel tempo sono tra i principali fattori che concorrono ad una corretta gestione delle acque sotterranee contenute negli acquiferi mesozoici regionali. Negli acquiferi costieri oggetto di intrusione marina, infatti, l'evoluzione della concentrazione salina delle acque di falda è strettamente connessa alla geometria e allo stato quantitativo del corpo idrico sotterraneo. Il controllo della concentrazione salina rappresenta, dunque, un valido supporto per l'individuazione di eventuali depauperamenti della falda in atto, anche quando la concentrazione salina dell'acqua di falda presenta valori tali da permetterne l'uso potabile. Ciò comporta l'adozione di criteri di gestione e pianificazione idrica regionale molto diversi da quelli adottati in altre zone del territorio nazionale non affette da intrusione marina, dove è sufficiente eseguire un semplice controllo della rispondenza del chimismo delle acque di falda ai valori tabellari normativi.

Tenendo conto della stratificazione salina delle acque di falda e della sua variazione con la profondità, nel capitolo si determina

la distribuzione nello spazio della salinità media di livelli di falda, che presentano profondità proporzionale al carico piezometrico, così da poter rappresentare la salinità media di tratti di falda dotati di caratteristiche chimiche omogenee e confrontabili tra loro. Ciascun tratto di falda è stato analizzato con riferimento sia ai recenti dati del monitoraggio del "Progetto Tiziano" (2007÷2010), sia a dati storici (1970÷1990). Il confronto tra i risultati ottenuti ha consentito di individuare importanti porzioni di acquifero che mostrano un evidente peggioramento della qualità delle acque di falda.

- In order to achieve a correct underground water management of Mesozoic regional aquifers, the knowledge about groundwater salinity distribution and its temporal variation is needed. As matter of fact, in coastal aquifers affected by seawater intrusion, groundwater salinity evolution is strictly related to the groundwater budget and groundwater layout. Groundwater salinity monitoring thus represents a sound support tool to survey the occurrence of any ongoing groundwater depletion even when the values of groundwater salt concentration are suitable for potable uses. Due to the outlined situation, water management and planning criteria have to be quite different from those applied in other Italian regions which are not affected by seawater intrusion. In fact in these regions the sufficient procedure is a simple monitoring of groundwater chemical features compared to the regulations criteria which are usually related to the water usage. By considering the groundwater salinity stratification and its variation with depth, this chapter deals with average salinity depiction of groundwater layers which show proportional thickness to the piezometric load. Therefore every roughly homogeneous groundwater layer can be described by its average salinity content and can be compared to the others. Each groundwater layer was analyzed both on the basis of the latest data provided by a monitoring project named "Tiziano Project" (2007÷2010) and the historical data (1970÷1990). Outcomes comparison allowed to identify large portions of the investigated aquifers with clear evidence of deteriorating groundwater quality over time.

Parole chiave: Concentrazione salina, acquifero, stratificazione salina, intrusione marina, carico piezometrico idrogeologia
Key words: Salinity distribution, aquifer, salinity stratification, salt-water intrusion, piezometric head, hydrogeology

Capitolo 4

Le sorgenti regionali sono, nella maggior parte dei casi, manifestazioni della falda profonda che, proveniente dal basamento carbonatico fratturato del Cretacico, si riversa generalmente lungo costa a mare. La storia della raccolta dati e del rilevamento di queste sorgenti, a partire dall'inizio del secolo scorso, non fa menzione di forme di monitoraggio idrologico e idrogeologico essenziali per la gestione e pianificazione dell'uso di tali risorse sorgentizie. I dati di portata non sono, in genere, rapportati all'evoluzione periodica giornaliera del livello medio marino, come tali misure richiederebbero, visto che le sorgenti derivano spesso da una falda poggiate su acqua di mare di intrusione continentale. Il che avrebbe dovuto essere una premessa ineludibile in tema di monitoraggio delle sorgenti, in vista di una captazione pilotata, tale da ridurre il contenuto salino riscontrabile nelle sorgenti stesse, pesantemente interessate da fenomeni di influenza marina.

Il capitolo presenta i risultati di indagini effettuate, dagli anni Venti in poi, sulla qualità e la portata delle sorgenti più evidenti, illustrandone le modalità di affioramento e le opere realizzate ad oggi, in corrispondenza delle scaturigini sorgentizie.

Considerata l'importanza di una rappresentazione "campione" di un'indagine idrogeologica adeguata alle fenomenologie sorgentizie costiere della regione, il capitolo illustra i preoccupanti risultati dell'indagine condotta sulla Sorgente Chidro, oggetto da oltre quarant'anni di un depauperamento quantitativo strabiliante, indice di un più generale impoverimento della falda acquifera della media parte del Salento.

I risultati ottenuti sottolineano, dunque, nei confronti della salvaguardia della qualità e quantità delle sorgenti, la possibilità della loro utilizzazione solo a condizione che le sorgenti vengano indagate e studiate sulla falsariga di quanto fatto fra il 2011 e il 2012 per la sorgente Chidro.

- In Apulia most springs discharge along the coast and come from the deep groundwater flowing through the Cretaceous fractured carbonate basement. Since the beginning of the last century, data collection and springs survey were carried out with no hydrological and hydrogeological monitoring that aimed at possible management and usage planning of such spring resources. In addition, discharge data do not usually take into account the periodic tidal fluctuation, as it would be appropriate for these kinds of measurements because these springs usually gush from groundwater floating on the intruded seawater. This should have been the prerequisite for springs monitoring aiming at controlled pumping, if possible, so as to reduce the salinity content which characterized those springs affected by an excessive seawater intrusion.

This chapter focuses on the above circumstances and illustrates the findings reported in studies and surveys from 1920 onwards about most significant springs quality and discharge. The analysis has been carried out describing as much as possible the emerging types and the capture works made so far on the surveyed springs.

Hitherto data collection appears sterile and without any reliable outcomes which can help to the best usage of these springs. In order to give an important example of a correct hydrogeological survey over coastal springs, this chapter reports the valuable, but not pleasant, results of Chidro Spring analysis. This spring is often considered as a regional example owing to its large irrigation usage since 40 years ago. Furthermore the spring depletion is an important sign of Middle Salento's groundwater impoverishment.

The Chidro Spring studies should be considered the correct pattern that has to be followed over Apulia springs analysis because it allows the springs protection regarding quantity and quality of their water.

Parole chiave: Sorgenti, acquifero superficiale, monitoraggio, residuo secco, portata, chimismo, sezione idrogeologica
Key words: Springs, surficial aquifers, monitoring, dry residue, discharge, chemical composition, hydro-geological section

Capitolo 5

L'analisi quantitativa dei rapporti esistenti tra l'acqua dolce di falda e l'acqua di mare intrusa alla base degli acquiferi è essenziale per procedere a forme corrette e razionali di gestione e uso delle falde idriche in Puglia, specie quelle contenute negli acquiferi carbonatici mesozoici. Il capitolo riporta una rivisitazione storica degli approcci analitici sviluppatasi nel tempo, per poter studiare dal punto di vista quantitativo l'equilibrio acqua dolce-acqua di mare. Nel corso della trattazione si farà cenno all'eccellente contributo del professor van Dam della Technische Hoogeschool di Delft, personalità di spicco dei *Salt-Water Intrusion Meetings*.

Partendo dalla relazione di Ghyben-Herzberg, si sintetizzano i limiti di applicabilità dei modelli teorici che prevedono l'esistenza di una interfaccia netta di separazione tra acqua dolce di falda e acqua di mare, per poi giungere agli attuali modelli interpretativi, basati sull'analisi della dispersione idrodinamica, di cui si forniscono i principi fondamentali. Si tratta di una metodologia di calcolo idonea tanto allo studio dell'equilibrio acqua dolce-acqua di mare su scala regionale, quanto allo studio della formazione del cono di intrusione marina sotto pozzi in emungimento (*salt-water upconing*). Essa consente, in particolare, di interpretare i risultati del monitoraggio idrogeologico, ineludibile premessa allo studio del bilancio idrico degli acquiferi. I moderni strumenti di calcolo offerti dall'idraulica sotterranea sono, insomma, essenziali nelle fasi di pianificazione e gestione delle risorse idriche sotterranee della Puglia.

- Quantitative analysis of the relationship between fresh groundwater and intruded seawater at the base of aquifers is essential for correct and sound planning of groundwater management in Apulia, especially for the groundwater in the Mesozoic carbonate aquifers. This chapter proposes a historical review of analytical approaches developed over time, in order to make a quantity analysis of the freshwater-seawater balance. This review is useful to understand the fundamental features of the problem for the purpose of a correct and critical application of the latest computer-based computation methods. Reference will also be made to the excellent contribution of prof. van Dam from Technische Hogeschool in Delft, a leading personality in Salt-Water Intrusion Meetings.

Starting from Ghyben-Herzberg relation, the chapter briefly illustrates the applicability limits of the theoretical models based on the assumption of an abrupt freshwater-seawater interface before moving to the current interpretation models based on analysis of hydrodynamic dispersion that is also briefly illustrated. This computation method can be applied both to study freshwater - seawater balance on a regional scale, and to investigate upconing salt-water. In particular, it allows to correctly interpret the results of hydro - geological monitoring, which is the essential prerequisite to studying the aquifer water balance. The modern computation tools currently available for underground hydraulics are thus important both for planning and management of the region's groundwater resources.

Parole chiave: Intrusione di acqua salata, cono di intrusione marina, acquiferi carbonatici, dispersione idrodinamica, acqua dolce di falda
Key words: Salt-water intrusion, upconing, carbonate aquifers, hydrodynamic dispersion, fresh groundwater.

Capitolo 6

Il fenomeno dell'intrusione marina nel continente ha da sempre richiamato l'attenzione di studiosi e specialisti nella gestione delle risorse idriche sotterranee di tutto il mondo, considerate le ripercussioni socio-economiche legate al degrado qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee presenti nelle aree costiere. Il capitolo riporta dunque una sintetica rivisitazione dei "Salt-Water Intrusion Meeting (SWIM)", che illustra il ruolo storico di tale prassi scientifica, nata nel Nord Europa ed estesa ormai anche agli USA. Verranno, dunque, trattati i principali argomenti oggetto di discussione nell'ambito degli incontri SWIM, organizzati a cadenza pressoché biennale sin dal 1968. Vanno ricordati, in particolare, il professor J.C. van Dam dell'Università di Delft in Olanda e il professor W. De Breuck del Laboratorio di Geologia e Idrogeologia di Gent, in Belgio, oltre al professor W. Richter, fondatore degli incontri.

Verranno, dunque, descritti alcuni strumenti e metodi sperimentati con successo per la difesa degli acquiferi dall'intrusione marina: su scala locale, con la formazione di barriere di vario genere, talora con la ricarica, indotta o artificiale, oppure con l'estrazione pilotata di acqua salata o di acqua salmastra della zona di transizione.

Completterà la trattazione una sintetica descrizione di alcuni contesti idrogeologici, fra i più rilevanti del mondo, interessati da fenomeni di intrusione marina su piccola e grande scala. Saranno presentati alcuni casi esemplari (Olanda - Paesi Bassi; Augusta, Sicilia-Italia, Campo de Dalias, Almeria-Spagna, Israele), caratterizzati, come avviene in Puglia, da un significativo peggioramento qualitativo e quantitativo delle acque di falda per sovrasfruttamento.

- Salt-water intrusion has always attracted the attention of scientists and specialists in groundwater resources management all over the world, because of the socio-economic consequences often related to deterioration in the quality and quantity of groundwater in coastal areas. This chapter aims to reaffirm the importance of scientific research in solving such a complex and important problem, and presents a short review of the "Salt-Water Intrusion Meetings (SWIMs)" to demonstrate the historical role of these scientific meetings initially held in Northern Europe and now also extended to the USA. This chapter thus describes the main topics that have constantly been discussed and explored during these meetings held almost every two years since 1968. The competence and scientific commitment of the first SWIM pioneers have been immensely important for the purposes of this monograph, and it is a pleasure to mention two outstandingly qualified scientists among them - Prof. Br. Ir. J. C. van Dam from Delft University in the Netherlands and Prof. Dr. W. De Breuck from the Laboratory for Applied Geology and Hydrogeology of Ghent in Belgium-as well as the founder of these meetings, the late Prof. W. Richter.

This chapter describes some successfully tested tools and methods for the protection of aquifers from salt-water intrusion; on a local scale, by the formation of different types of barriers, sometimes through induced or artificial recharging in coastal areas, and sometimes by controlled extraction of salt-water or of brackish transition water.

The chapter ends with a short description of some of the world's most significant hydro-geological contexts affected by salt-water intrusion on small and large scales. Some of these are more extensively illustrated (Holland-the Netherlands; Augusta, Sicily-Italy; Campo de Dalias, Almeria-Spain, Israel), because they exemplify significant and ascertained deterioration in the groundwater quality and quantity caused by over-exploitation, as in Apulia.

Parole chiave: Intrusione di acqua salata, acquifero, ricarica indotta, ricarica artificiale, falda, sovrasfruttamento

Key words: Salt-water intrusion, aquifers, induced recharging, artificial recharging, groundwater, over-exploitation

Capitolo 7

Per poter valutare l'infiltrazione delle acque piovane è importante analizzare, oltre al loro quantitativo, la dinamica delle precipitazioni. Piogge di tipo convettivo, con precipitazioni intense ma brevi, contribuiscono alla ricarica degli acquiferi in misura molto minore delle piogge di tipo stratiforme, caratterizzate da bassa intensità e lunga durata. Le precipitazioni molto intense sono poi

caratterizzate da centri di scroscio di dimensioni minori della distanza fra le stazioni pluviometriche, sicché la rete dei pluviometri presenti sul territorio finisce con l'essere inadeguata a quantificare i volumi di pioggia effettivi. L'analisi climatica, eseguita analizzando piogge giornaliere e dati meteorologici, ha evidenziato come nella zona Nord occidentale della Puglia (Gargano, Tavoliere, Murgia settentrionale) prevalgano precipitazioni di tipo stratiforme, mentre nella zona della Murgia meridionale e del Salento precipitazioni di tipo convettivo.

Si prosegue con un'analisi delle variazioni climatiche di medio-lungo termine per individuare eventuali *trend* climatici suscettibili di determinare un impatto sulla disponibilità delle risorse idriche sotterranee. L'analisi, eseguita con riferimento ai dati di pioggia registrati alle stazioni pluviometriche presenti nel territorio pugliese nell'ultimo secolo circa, ha evidenziato un'estrema variabilità del clima nel periodo 1921÷2008. Si è tuttavia individuata un'importante riduzione delle precipitazioni negli anni Ottanta e all'inizio degli anni Novanta del secolo scorso che ha interessato tutto il territorio regionale. Per alcune stazioni si sono potuti ricavare dati di pioggia precedenti al 1921, che hanno evidenziato una continua riduzione delle precipitazioni, caratteristica della seconda metà del XIX secolo e della prima metà del secolo scorso. La riduzione delle precipitazioni osservata è concentrata soprattutto nella stagione invernale e ha interessato le porzioni di territorio più distanti dalla costa, comportando una maggiore incidenza agli effetti dell'alimentazione degli acquiferi regionali.

La riduzione delle piogge osservata, pur modesta, non indica insomma, un *trend* climatico evidente con effetti preoccupanti sulla ricarica delle falde regionali nel lungo periodo. Si rileva, piuttosto, il susseguirsi di periodi di siccità che possono influenzare negativamente il ravvenamento delle falde anche per lunghi periodi di tempo. Il carattere fisiologico con cui in Puglia si alternano periodi umidi e secchi impone una pianificazione idrica pluriennale.

- In order to evaluate rainwater infiltration, it is necessary to analyse precipitation patterns and quantity. Convective precipitation is generally more intense and of shorter duration than stratiform precipitation and contributes much less to groundwater recharge. Very intense precipitation generally has smaller storm centres than the distance between rain gauge stations, so that the network of rain gauges on the land may be insufficient to quantify the amount of rain that actually falls on the ground. Analysis of daily rainfall and weather data has shown that stratiform precipitation is prevalent in the north-western area of Apulia (Gargano, Tavoliere plain, Northern Murgia), while convective precipitation is prevalent in the Southern Murgia and Salento areas.

This chapter proceeds to analyse the medium and long-term climate variations in order to detect possible trends that may have an impact on the availability of groundwater resources. Analysis of the rainfall data recorded in Apulia over the last century has revealed extreme climatic variability between 1921 and 2008. However, it was possible to observe a considerable reduction in precipitation across most of the region in the period around the 1980s. Rainfall data prior to 1921 were available for some weather stations, and showed that there was a continual and more considerable reduction in rainfall in the second half of the 19th century and the first half of the 20th century. This reduction was mostly concentrated in the winter, and involved areas of land further from the coast, meaning that it had greater effects on the recharge of the region's aquifers.

The observed reduction in rainfall is quite small and does not indicate an evident climatic trend that might produce worrying effects on the recharge of regional groundwater in the long term. However, the succession of droughts observed may have negative effects on groundwater recharge also in the long term. The physiological alternation of wet and dry periods in Apulia means that there is a need for long-term planning of water resource management, with programmes designed to cover a span of years.

Parole chiave: Piogge convettive, piogge stratiformi, siccità, risorsa idrica, clima, pluviometro

Key words: Convective precipitations, stratiform precipitations, drought, groundwater resource, climate, rain gage

Capitolo 8

Per poter studiare l'evoluzione dei caratteri chimici delle acque sotterranee regionali oggetto di fenomeni di mescolamento con acque marine intruse nel continente, nonché di inquinamento legato ad attività antropiche, occorre analizzare i caratteri chimici delle acque che alimentano gli acquiferi regionali, ovvero delle acque meteoriche che incidono sul territorio. È stata dunque determinata la composizione chimica e salina delle precipitazioni naturali liquide e secche, ed analizzata la loro variabilità sul territorio regionale in rapporto ad altitudine, pluviometria e distanza dal mare.

L'analisi eseguita ha consentito di verificare che la concentrazione dei principali ioni marini (Na⁺, K⁺ e Cl⁻), presenti in acque sotterranee non contaminate dal mare o da inquinamento antropico, è praticamente identica a quella presente nelle acque di alimentazione. La presenza di questi ioni nelle acque sotterranee, insomma, in concentrazioni maggiori di quelle presenti in acque di alimentazione è molto probabilmente attribuibile a intrusione marina.

- Chemical composition of rainwater recharging the aquifers has to be analyzed if one is intended to evaluate the evolution of groundwater chemical characters, the latter influenced by seawater intrusion and pollution produced by human activities. Chemical and saline composition of wet and dry precipitations were determined for this purpose, together with their variability across the region in relation to elevation, amount of rainfall, distance from the sea, etc...

The analysis conducted on groundwaters not contaminated by seawater or manmade pollution allowed for verifying that the concentration of the major marine ions (Na⁺, K⁺ and Cl⁻) detected in these waters is comparable to that observed in the recharge waters. This suggests that the presence of these ions in concentrations is probably attributable to the seawater intrusion phenomenon.

Parole chiave: Chimismo, pluviometria, acque di pioggia, stazioni di campionamento, acqua sotterranea

Key words: Chemical composition, pluviometry, rainwater, monitoring stations, groundwater

Capitolo 9

Il capitolo illustra le tecniche di indagine adottate con successo da studi pregressi dedicati alle acque sotterranee della regione. Si tratta spesso di ricerche in sito, ampiamente testate e volte all'acquisizione di dati cui si fa riferimento in diversi capitoli di questa monografia. La caratterizzazione degli acquiferi ha registrato infatti momenti di brillante ricerca in passato, con la messa

a punto di metodologie che dovrebbero tuttora costituire il punto di partenza di una corretta gestione delle acque sotterranee in Puglia.

L'esperienza accumulata nel corso degli anni mostra la concretezza delle conoscenze idrogeologiche acquisite, proprio grazie alle tecniche d'indagine qui riassunte. Spesso si tratta di indagini di semplice applicazione, ma condizionate da criteri rigorosi e da comprovata affidabilità. In tal senso è utile evidenziare l'efficacia dell'applicazione del cosiddetto approccio *multitracing*, data la complessità degli ambienti idrogeologici che caratterizzano la regione. Un approccio, questo, particolarmente indicato negli ambienti carbonatici, fessurati e carsici, dove occorre eseguire la verifica incrociata di informazioni idrogeologiche desumibili da più tecniche di indagine, per la valutazione di numerosi parametri fisici, chimici, isotopici utili al monitoraggio degli acquiferi.

- This Chapter illustrates the survey techniques successfully and consciously adopted in previous studies concerning Apulian groundwaters. In such researches various in situ investigations were extensively tested and carried out, whose data are often mentioned in other Chapters. In fact, during researches excellently conducted in the past, survey methods were developed with the aim of performing the characterization of the Apulian aquifers, herein illustrated. These surveys methods then should represent the starting point for a reliable and correct regional groundwater management.

Experience was gained in using the survey techniques here illustrated over several years, so that the use of these investigation techniques make the acquired hydrogeological knowledges trustworthy. Very often these investigations are simple to be conducted, although they are based on strict criteria. One noteworthy example of such investigations is the employ of the so-called "multitracing approach", especially if one considers the complex hydrogeological environments of the Apulia region. This approach is particularly suitable for fissured and karst carbonate environments, for which it is necessary to interconnect and cross-check hydro-geological data from different survey techniques, with the aim of obtaining the many physical, chemical and isotopic parameters needed for groundwater monitoring, as extensively shown in this monograph.

Parole chiave: Tracciante radioattivo, velocità di filtrazione, C-14, deuterio, prospezione geofisica, sonda a neutroni, sonda a raggi X

Key words: Radioactive tracers, filtration velocity, C-14, deuterium, geophysical exploration, neutron probe, X-rays probe

Capitolo 10

Questo capitolo illustra i criteri e gli strumenti finalizzati alla determinazione della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento ed alla sua corretta rappresentazione ("mapping"). A tal riguardo particolare importanza viene data agli studi condotti dal prof. Massimo Civita, da tempo stimato esperto della materia ed autore di testi esplicativi sull'argomento.

Il *mapping* della vulnerabilità è uno strumento imprescindibile per la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee ed, in particolare, di quelle finalizzate all'uso potabile. Esso, tuttavia, può rispondere a detto scopo solo se analizzato partendo dalla conoscenza geologica ed idrogeologica del territorio, partendo cioè dall'osservazione delle superfici del suolo e dal possesso dei parametri riguardanti i caratteri idrogeologici degli acquiferi regionali e dei terreni della zona non satura.

La determinazione della vulnerabilità intrinseca ed integrata degli acquiferi è vista, secondo le più recenti normative nazionali e regionali, quasi come un obiettivo risolutivo delle problematiche concernenti la salvaguardia degli acquiferi. Le difficoltà e le incertezze insite nel suo *mapping* tendono tuttavia ambizioso detto obiettivo. A tal riguardo, in questo capitolo saranno illustrate le difficoltà presenti in Puglia nella valutazione delle modalità con cui eventuali inquinanti presenti in superficie possono raggiungere gli acquiferi carsici profondi. Raramente si dispone, infatti, di dettagliate conoscenze geologico-strutturali, geomorfologiche ed idrogeologiche, come il *mapping* della vulnerabilità richiederebbe. La prevalenza di caratteri legati al carsismo degli acquiferi carbonatici, affioranti o ricoperti da terreni post-cretacei e varietà litologiche a variabile grado di permeabilità, determinano singolari modalità di ricarica degli acquiferi, che si avrà modo di illustrare in questo capitolo, anche facendo riferimento a ricariche alloctone che possono interessare gli acquiferi carsici regionali in occasione di eventi meteorici particolarmente intensi. Viene inoltre trattato il difficile argomento riguardante la perimetrazione delle aree di salvaguardia delle opere di captazione delle acque sotterranee destinate al consumo umano, illustrando i criteri più idonei per detta perimetrazione, applicabili allorché lo stato conoscitivo dei caratteri idrogeologici e dell'uso degli acquiferi regionali, dove captati per il potabile, lo consenta.

Il capitolo quindi chiude con un paragrafo dedicato alla definizione della vulnerabilità all'inquinamento e la perimetrazione delle aree di salvaguardia nel distretto estrattivo dell'Acquedotto Pugliese di Casamassima - Valenzano. Si tratta di un caso esemplare dal punto di vista metodologico, dove le incertezze insite nella definizione dei parametri idrogeologici necessari per la corretta perimetrazione della zona di rispetto dei pozzi potabili, hanno indirizzato la ricerca verso l'esecuzione di analisi parametriche.

- This Chapter illustrates criteria and tools for determining and mapping aquifer vulnerability to pollution. Special emphasis is given to the studies carried out by Prof. Massimo Civita, highly esteemed expert and author of different texts on the subject.

Mapping of aquifer vulnerability is essential for groundwater resources protection, in particular with reference to the aquifers for drinking water extraction. However, a successful aquifer vulnerability mapping can be conducted only starting from geological and hydrogeological knowledges of the area under analysis, id est starting with observations of the ground surface and with detailed analyses of the hydrogeological features of the regional aquifers and, in particular, of the materials situated in the unsaturated zone.

According to the latest national and regional regulations, assessment of intrinsic and integrated aquifer vulnerability is considered a key point for solving all the problems referred to the aquifer protection. Difficulties and uncertainties linked to the aquifer vulnerability mapping, however, make the target quite challenging. This Chapter illustrates the difficulties of assessing how a pollutant located on the ground surface may reach deep karst aquifers, with particular reference to the case of Apulian aquifers. For the Apulia region, in fact, detailed geostructural, geomorphological and hydrogeological knowledges, needed for a proper aquifer vulnerability mapping, are infrequently available. After all, the prevalent presence of karst carbonate aquifers, either outcropping or overlaid by post-Cretaceous soils and materials with different degrees of permeability, produces peculiar aquifer recharge dynamics. Such dynamics are illustrated in this Chapter, even with reference to possible allocthonous recharges that could reach the regional karst aquifers because of very intense rainfall events. The Chapter also deals with the complex problem linked to the delimitation of the protection areas for pumping well of groundwater extracted for human use, illustrating the most appropriate delimitation criteria. The latter are unfortunately applicable only when the hydrogeological features of the aquifers and the use of their groundwaters are sufficiently known.

The Chapter ends with a paragraph dealing with the definition of pollution vulnerability and with the delimitation of protection areas with reference

to the Casamassima-Valenzano water extraction district (as defined by Acquedotto Pugliese S.p.A). This is a good methodological example because sensitivity analyses were performed in order to face the difficulties of defining the hydrogeological parameters needed for the delimitation of protection zones for drinking water wells.

Parole chiave: Vulnerabilità dell'acquifero, risorse idriche, pozzo per acqua, idrogeologia, captazione d'acqua
Key word: *Aquifer vulnerability, water resources, water wells, hydrogeology, water harnessing.*

Capitolo 11

Il presente capitolo passa in rassegna i principali strumenti normativi che, a partire dal Piano di Risanamento delle Acque (Legge Merli, 1976) e fino al Piano di Tutela delle Acque (2009), hanno segnato nel tempo, a livello regionale, le politiche di pianificazione idrica e salvaguardia delle acque sotterranee. L'attuale politica normativa non sempre risulta effettivamente rivolta alle modalità ottimali di impiego delle acque sotterranee in parola, e ciò malgrado che sull'uso di queste ultime si siano da tempo lumeggiate le relative fenomenologie, divulgandone ampiamente i risultati. I corretti criteri di gestione di detta risorsa sotterranea sono importanti per la salvaguardia lungimirante della stessa soprattutto nei confronti dell'ingressione marina sottostante alle falde acquifere sempre più stressate da un uso scorretto.

I criteri che dovrebbero essere alla base delle politiche di gestione della risorsa idrica in parola sono per la gran parte non considerati dalle attuali normative; queste ultime, infatti, non tengono conto adeguatamente dei condizionamenti idrogeologici e idraulici dell'intrusione marina sulla risorsa idrica sotterranea della regione Puglia, spesso trascurata dagli organi di controllo, disattendendo peraltro a quella cultura occorrente per garantire l'uso futuro e la salvaguardia della stessa.

Dalla presente Monografia emerge la complessità delle determinazioni politiche e gestionali occorrenti, oggi frammentate e ripartite in una pluralità di strumenti di pianificazione, spesso approssimati, e di soggetti istituzionali frequentemente impreparati rispetto alle competenze occorrenti per una corretta interpretazione, in tempo reale, dei comportamenti idrogeologici e idraulici della risorsa idrica in argomento, sottoposta ad un uso da tempo incontrollato. Le normative a livello nazionale trascurano la particolare condizione idrogeologica pugliese caratterizzata dall'ingressione marina continentale, donde derivano effetti di *salt-water upconing* ed altre circostanze pressoché singolari in Puglia, rispetto a quanto accade invece nel restante territorio nazionale. Perfino la informatizzazione dei dati riguardanti le ubicazioni e le caratteristiche dimensionali, idrogeologiche, idrauliche e di esercizio delle opere di captazione risultano in Puglia, presso gli enti preposti, approssimate, frammentate, disordinate ed inattendibili. Impera quindi la disattenzione sulle problematiche che questa Monografia illustra. Se si vuole salvaguardare durevolmente la risorsa acquifera sotterranea della regione Puglia è necessario procedere ad una estrazione corretta dell'acqua dolce poggiate sull'acqua di mare, scongiurando quindi i *salt-water upconing*. Stanti le carenze fin qui illustrate, le falde acquifere di questa regione vanno potenzialmente decrescendo nel tempo e la qualità delle stesse degradandosi sempre più, e ciò soprattutto in ragione dei predetti fenomeni, evidenziando nella pratica un disimpegno culturale degli operatori responsabili del rispetto delle regole.

Per quanto detto sopra, merita urgente attenzione la circostanza che, impegnati concretamente nella gestione della risorsa idrica in parola siano uffici competenti, corroborati da centri di ricerca qualificati.

A fronte delle decine di migliaia di pozzi presenti sul territorio, dei quali si ignorano ubicazioni precise, si manifesta la necessità di riordinare gli stessi, riferendoli o raccordandoli a veri e propri "Distretti regionali di gestione degli acquiferi", che dovrebbero riordinare le opere ubicandole correttamente e riferendole a condizioni idrogeologiche e idrauliche insieme. Tra le attività di cui dovrebbero farsi carico i Distretti di gestione degli acquiferi predetti, non sono da sottovalutare i severi controlli riguardanti il rilascio di nuove concessioni e la valutazione della sostenibilità di quelle in atto.

- Starting with the Water Action Plan (Piano di Risanamento delle Acque) (Merli Act 1976) and the Water Management Plan (Piano di Tutela delle Acque 2009), this chapter reviews the main regulations which have marked regional policy on protection and management of Apulia's groundwater. The current regulations are not always directed towards the best ways of using groundwater, even though the surveys carried out and the results obtained are common knowledge. It is important to adopt the correct criteria for groundwater management in order to ensure long-term protection of this resource. This is especially true in the case of protecting the increasingly misused aquifers against the intrusion of the underlying seawater.

In most cases, the current regulations disregard the criteria that should underpin groundwater management policies, and fail to take due account of the hydro-geological and hydraulic effects of seawater intrusion on the region's groundwater. So far, politicians and public officials in charge of groundwater have neglected it and have failed to apply the measures needed to safeguard aquifers and their future use.

This Monograph highlights the complexity of the political and management decisions required; these are often fragmented and subdivided among a wide range of approximative planning instruments and authorities, which are often unable to give a correct real-time interpretation of the hydro-geological and hydraulic dynamics of long overexploited aquifers. National regulations fail to consider Apulia's specific and well-documented problems with seawater intrusion, the cause of salt-water upconing and other conditions which are almost unique to this region in comparison with the rest of Italy.

Even the computerized data that the competent public bodies possess about the location, dimensions, hydro-geological, hydraulic and pumping characteristics of wells are often imprecise, fragmented, confused and unreliable. The problems highlighted in this Monograph are widely neglected. Sustainable protection of the region's groundwater requires that the fresh groundwater overlying seawater be extracted in a way which prevents salt-water upconing. Failure to do this means that the quantity and quality of the region's groundwater may very well decrease over time as a result of the neglect by those responsible for ensuring that the regulations are respected.

For this reason, there is a pressing need for competent offices assisted by qualified research centres to be really involved in groundwater management.

There are tens of thousands of wells present in the region, but the absence of reliable data about their precise location is unknown and makes it necessary to create an inventory and to include them in specific districts for the management of the region's aquifers. These so-called "Distretti regionali di gestione degli acquiferi" should take stock of the current situation and correctly map the wells on the basis of hydro-geological and hydraulic conditions. In addition, these districts should also be responsible for strict controls on the issue of new well permits and for assessing the sustainability of the existing ones.

Parole chiave: Bonifica, captazione d'acqua, Piano di Risanamento delle Acque, Piano di Tutela delle Acque, normative, sostenibilità
Key words: *Reclamation, water harnessing, Water Action Plan, Water Management Plan, regulations, sustainability*

Capitolo 12

Il capitolo fornisce gli elementi base per la progettazione e la gestione dei pozzi penetranti in acquiferi interessati da intrusione marina. Negli acquiferi mesozoici regionali, infatti, l'emungimento può determinare la formazione di un cono di intrusione marina, con conseguente irruzione di acque marine nel pozzo. Per relazionare la qualità dell'acqua di falda emunta alle caratteristiche costruttive e di esercizio dei pozzi, vengono analizzati i dati disponibili per 930 pozzi penetranti negli acquiferi mesozoici regionali. L'analisi ha evidenziato che molti pozzi, specie se prossimi alla costa, presentano penetrazioni in falda troppo elevate rispetto allo spessore della falda di acqua dolce, tali da indurre, anche a seguito di modeste portate di esercizio, il *salt-water upconing* e il conseguente prelievo di acque di falda con elevata concentrazione salina. Si evidenzia inoltre l'inopportunità di definire valori limite della percentuale di penetrazione in falda dalle opere di captazione e della concentrazione dello ione cloruro delle acque estratte di validità generale per l'intero territorio regionale. Le deliberazioni normative dovrebbero, infatti, imporre analisi particolareggiate e il relativo dimensionamento dei pozzi, coadiuvati da un monitoraggio che consenta di valutare l'evoluzione temporale del chimismo della falda.

Il *salt-water upconing* viene analizzato alla luce della teoria della dispersione idrodinamica, in grado di cogliere gli aspetti fondamentali del fenomeno, tra cui l'evoluzione della forma e posizione della zona di transizione durante l'emungimento. L'applicazione della teoria della dispersione idrodinamica, con l'ausilio di codici di calcolo numerico, consente di risolvere situazioni molto complesse dal punto di vista geometrico ed idrogeologico, come l'esistenza di eterogeneità ed anisotropie nell'acquifero e notevoli spessori della zona di transizione. Viene tuttavia evidenziata, attraverso il confronto tra i risultati ottenibili con questo approccio di calcolo e quelli basati sull'adozione di approcci semplificati, la validità di formule analitiche semiempiriche, disponibili fin dagli inizi degli anni Cinquanta, e valide in condizioni idrogeologiche semplici.

Il capitolo si chiude con alcuni confronti tra le condizioni di esercizio di un pozzo verticale e quelle di un cunicolo orizzontale drenante (sovente definito "pozzo orizzontale"), molto utile per evitare il *salt-water upconing*.

- This chapter illustrates the basic parameters required for the design and management of wells penetrating in aquifers with seawater intrusion. As matter of fact, in regional Mesozoic aquifers, pumping may cause the formation of salt-water upconing with resulting seawater intrusion in the well. With the purpose of relating the pumped water quality to the design and running wells features, data from 930 wells penetrating in the regional Mesozoic aquifers are analyzed. The analysis has shown that most wells in Apulia, especially those near the coast, are too deep into the aquifer compared to the thickness of fresh groundwater and thus they cause salt-water upconing even at small pumping rates, with the consequent extraction of highly saline groundwater. Furthermore the study has underlined that a unique relation between limit values of the well penetration percentage into groundwater and chlorine concentration in pumped water can't be valid for the whole region. For this reason the regulations should force particular analysis related to locale scale assisted by a monitoring which allows the temporal evolution of the chemical groundwater characteristics.

Salt-water upconing is thus analyzed using the hydrodynamic dispersion theory that can account for the basic aspects of the phenomenon, including the change in shape and position of the transition zone during the pumping operations. Hydrodynamic dispersion theory application, through techniques of numerical modelling and analysis, also allows solving problems with complex geometric and hydrogeological conditions, as for instance when there is a heterogeneous and anisotropic aquifer with a considerable thickness of the transition zone. Nevertheless the validity of semi-empirical analytical formulas is underlined comparing the results obtained from numerical analysis with those got from simplified methods. The former formulas, related to simple hydrogeological conditions, are provided by the author since the early '50s.

Finally, some comparisons are made between the pumping conditions of vertical and horizontal wells that, in Apulia conditions, might often help prevent the salt-water upconing.

Parole chiave: Pozzo, acquiferi mesozoici, intrusione di acqua salata, idrodinamica di captazione, qualità dell'acqua

Key words: Wells, Mesozoic aquifers, salt-water intrusion, catchment hydrodynamics, water quality