

30. - CONCLUSIONI: GESTIONE ETICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE REGIONALI BASATA SULL'INTERPRETAZIONE IN TEMPO REALE DEL MONITORAGGIO IDROMETROGRAFICO E QUALITATIVO

30.1. - IL PUNTO DI PARTENZA CONOSCITIVO PER UNA CORRETTA GESTIONE DEGLI ACQUIFERI REGIONALI: L'INTRUSIONE MARINA

A conclusione dei precedenti capitoli segue una sintesi critica, nell'intento di favorire la gestione etica dell'enorme patrimonio idrico sotterraneo regionale. Verranno, dunque, sottolineati i punti più significativi, sui quali basarsi per apportare le necessarie correzioni all'attuale gestione delle falde acquifere.

Si tratta soprattutto di acquiferi soggetti a intrusione marina continentale, compendiate nelle sezioni idrogeologiche delle figure 30.1÷30.4, ove sono raffigurati i motivi e le forme, note e presunte, che caratterizzano l'appoggio delle falde idriche dolci su acqua di mare intrusa nel sottosuolo regionale.

Sulla base delle conoscenze maturate sul fenomeno dell'intrusione marina in Puglia, va prioritariamente ricordato che detta intrusione avviene nei calcari mesozoici, sottostanti alla potente sequenza

di argille terziarie dello spessore dell'ordine dei 1000 m del Tavoliere di Foggia, già negli anni Cinquanta accertata, così come esposto nei capitoli 13 e 14. La sezione idrogeologica di figura 30.1 va dalla Faglia del Candelaro al T. Carapelle; le formazioni calcareo-dolomitiche del Gargano, interessate dalla falda profonda, in corrispondenza della "Faglia del Candelaro" s'immergono sotto ai terreni plio-pleistocenici e quaternari del Tavoliere, fino ad introdursi ad Ovest sotto al margine della crosta appenninica, costituente la base dei versanti della Daunia. Tutte le perforazioni profonde consultate, eseguite lungo tale percorso vuoi per ricerca idrica, vuoi per ricerca petrolifera, hanno riscontrato la presenza di acqua marina o comunque di elevata salinità. Nei calcari mesozoici presenti in profondità nel Tavoliere, è possibile infatti rinvenire acque sotterranee dolci solo in prossimità dei lineamenti tettonici, che ne segnano il confine con il promontorio del Gargano e con l'altopiano murgiano ("Faglia dell'Ofanto"), ove il tetto della formazione mesozoica presenta quote tali da consentire una circolazione idrica sotterranea dolce.

Sempre negli anni Cinquanta si riscontrava intrusione marina nelle formazioni mesozoiche del Salento, come illustrato nella sezione idrogeologica di figura 30.2, in cui si riporta a grandi linee l'interpretazione geostrutturale con la indicazione di alcune isoaline, in particolare di quella che raffigura semplicemente il tetto dell'acqua di mare, assunta pari a 40 g/l. Quest'ultima evidenza con grande chiarezza la comunicazione marina sotterranea fra Mare Adriatico e Mare Ionio. L'estesa falda di acqua dolce del Salento presente nei calcari cretatici galleggia ovunque sull'acqua di mare, con conseguenze che il capitolo 18 ha ampiamente illustrato. Al centro della penisola salentina il tetto dell'acqua di mare intrusa nel continente si rinviene a profondità dal livello mare dell'ordine di 200 m. Tuttavia, lo spessore della falda di acqua dolce che presenta una concentrazione salina inferiore a 5 g/l, è dell'ordine di 100 m, a causa del notevole spessore della zona di transizione.

L'intrusione marina nel continente interessa anche l'acquifero cretatico del Gargano, come illustrato nel capitolo 13. Nello schema di sezione idrogeologica della figura 30.3 si dà per scontata la presenza di acqua di mare anche sotto le forma-

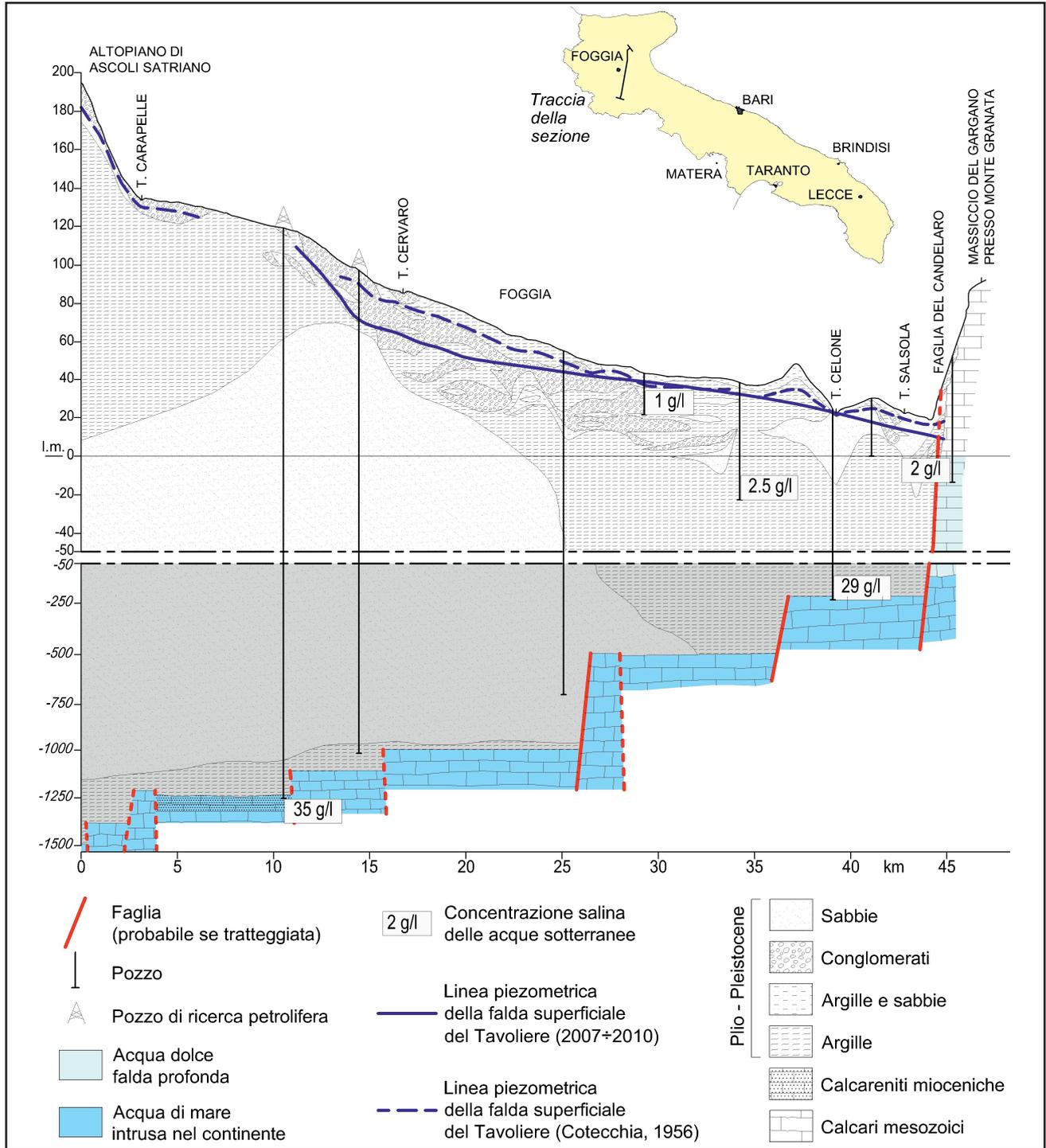


Fig. 30.1 - Sezione idrogeologica schematica del Tavoliere di Foggia.
 - Schematic hydro-geological section of the Foggian Plateau.

zioni cretastico-giurassiche del centro del Gargano. Tuttavia, sia la isoalina 40 g/l, sia la linea piezometrica della falda di acqua dolce, sono state solamente tratteggiate per le porzioni interne del Promontorio, ove mancano esaurienti dati conoscitivi idrogeologici. Sono pertanto plausibili variazioni

significative delle altezze piezometriche della falda lungo una stessa verticale, per cui la relazione di Ghybern-Herzberg non è di agevole utilizzazione per stimare la profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua di mare; la profondità di rinvenimento dell'acqua di mare nelle aree interne del Gargano,

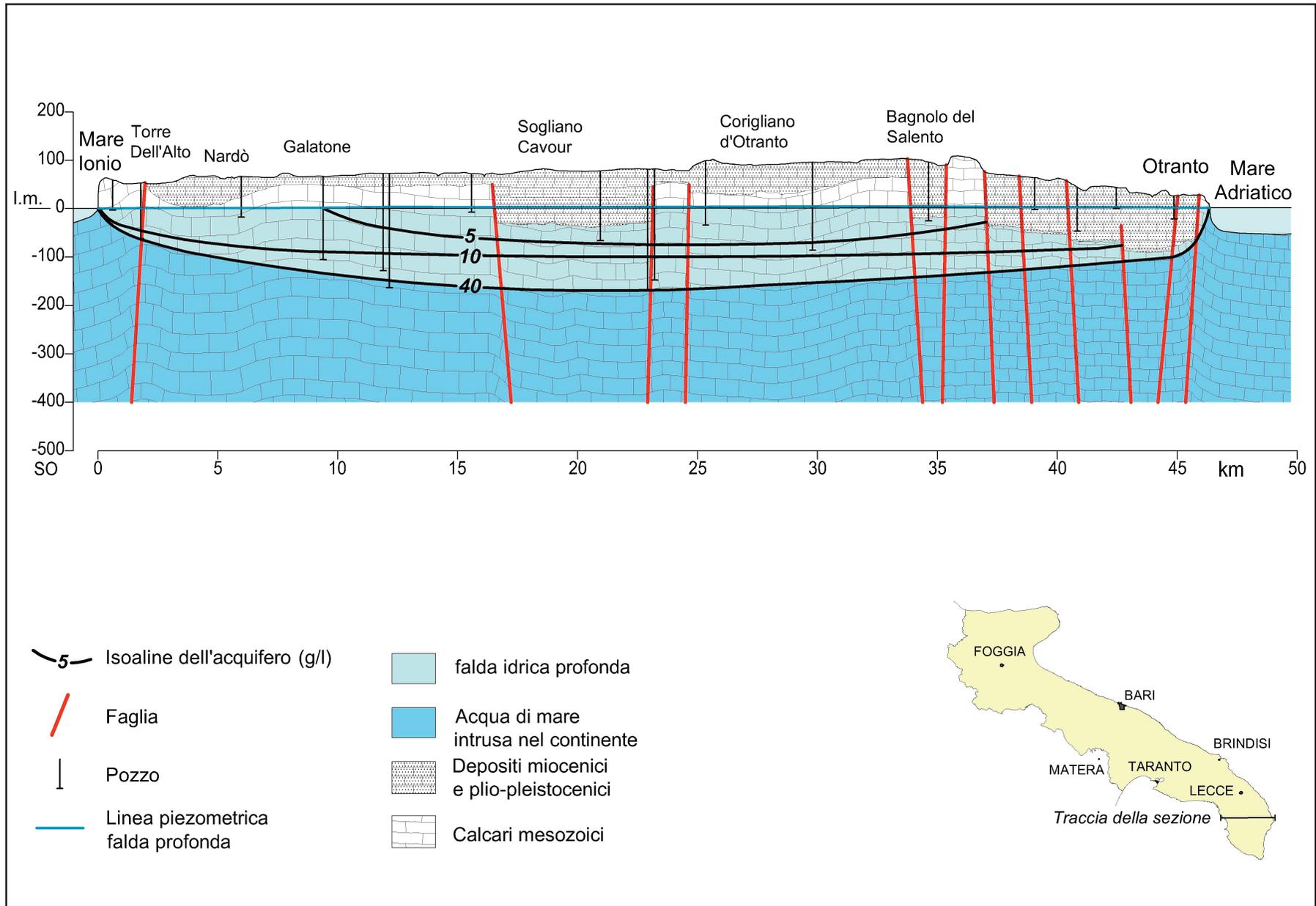


Fig. 30.2 - Sezione idrogeologica schematica del Salento.
- Schematic hydro-geological section of the Salento area.

è stata pertanto giocoforza sola ipotizzata.

Infine, l'intrusione marina interessa le formazioni carbonatiche della Murgia, persino nelle aree più interne, quelle cioè che dall'Alta Murgia si spingono fino alla Fossa Bradanica (fig. 30.4); qui, sulla base di dati tratti da stratigrafie e presenze idriche sotterranee, rinvenute in pozzi profondi perforati per ricerca idrica e petrolifera, sono stati acquisiti interessanti dati conoscitivi sulla piezometria delle acque sotterranee e sulla presenza di acqua di mare nelle rocce mesozoiche. Alcuni pozzi profondi, eseguiti in corrispondenza dell'Alta Murgia, come ampiamente illustrato nel capitolo 15, hanno indicato una riduzione dell'altezza piezometrica della falda

con la profondità, il che non consente l'applicazione della relazione di Ghybern-Herzberg per il calcolo della profondità dell'interfaccia. Dunque, come per il Gargano, la piezometria della falda e l'isoalina 40 g/l riportate nella sezione idrogeologica di figura 30.4 sono solo ipotizzate in corrispondenza delle porzioni più interne (Alta Murgia).

30.2. - INCERTEZZE RICHIEDENTI L'INTEGRAZIONE DI ACCERTAMENTI RISPETTO A QUELLI GIÀ ESPLETATI

Le conclusioni cui perviene la presente trattazione si basano sull'analisi di un elevatissimo numero di dati geologico-stratigrafici, idrogeologici,

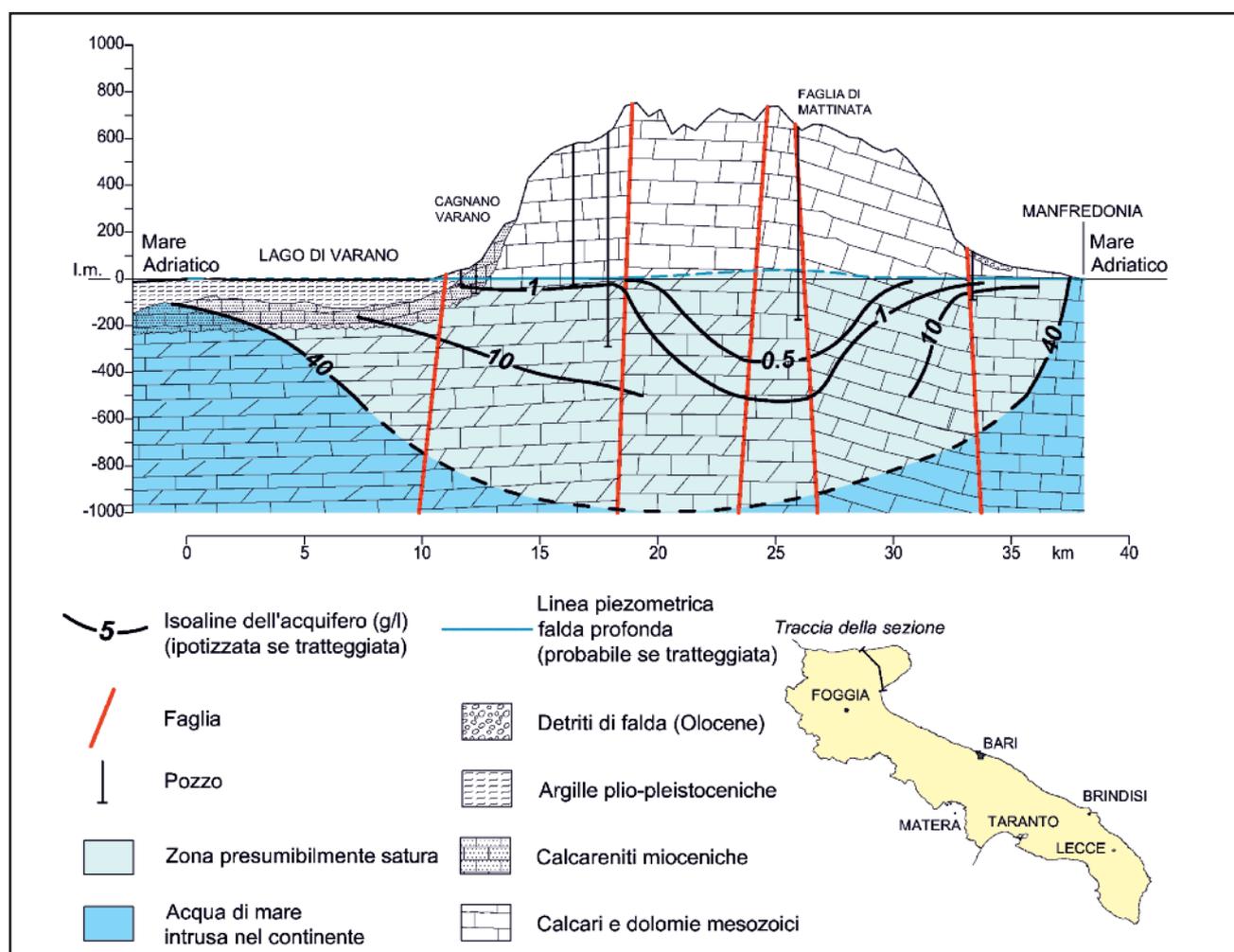


Fig. 30.3 - Sezione idrogeologica schematica del Gargano. Nelle porzioni centrali del Gargano sono plausibili variazioni significative del carico piezometrico lungo una stessa verticale. In detta zona la linea piezometrica è stata solo tratteggiata ed è relativa ai tratti acquiferi più superficiali, ossia quelli esplorati con i pozzi. In dette condizioni non può ritenersi valida la relazione di Ghyben - Herzberg, per cui la profondità dell'isoalina 40 g/l, assunta nello schema coincidente con il tetto dell'acqua di mare, è stata solo ipotizzata.

- Schematic hydro-geological section of the Gargano area. Significant variations of the hydraulic head along a single vertical are likely to occur in the middle of the Gargano area. In this zone the piezometric line has been represented as a dashed line and is referred to the shallow aquifers, i.e. those investigated by means of wells. In such conditions the Ghyben - Herzberg equation is no longer valid, so the depth of the line referred to the salinity value of 40 g/l (corresponding to the top of the sea water in the schematic representation) is just hypothetical.

idraulici e idrochimici, variamente distribuiti nello spazio e nel tempo. Sono stati, infatti, esaminati ben 3400 pozzi e 160 sorgenti, consultate oltre 4000 determinazioni idrochimiche condotte su acque di falda variamente acquisite e 1700 profili multiparametrici, attuati da 60 anni a questa parte.

La conoscenza delle condizioni di equilibrio tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare è tuttavia limitata a porzioni di territorio che, in un lontano passato, sono state oggetto di importanti momenti di ricerca, effettuata attraverso metodologie e tecniche di indagine testate e applicate con successo (cap. 9), specie riguardo alla Penisola salentina e alle fasce costiere della Murgia e in parte del Gargano. Gli acquiferi cretaci appartenenti alle porzioni centrali del Gargano e dell'Alta Murgia sono invece da considerarsi ancora inesplorati dal punto di vista geostrutturale ed idrogeologico. Si tratta infatti di ambienti carbonatici complessi, di età variabile fra livelli diversi del Mesozoico, e caratterizzati da una permeabilità marcatamente discontinua, fortemente condizionata da lineamenti tettonici e dal conseguente carsismo profondo. Queste circostanze sarebbero da approfondire, sotto il profilo pratico e insieme scientifico, se si volesse raggiungere una conoscenza idrogeologica rispondente alle disponibilità di risorse idriche sotterranee profonde. A tale proposito il Piano d'Ambito 2009 considera le zone interne del Gargano e della Murgia alla stregua di "serbatoi", dai quali è possibile attingere acqua sotterranea per fini idropotabili (cap. 29), specie in periodi di crisi idrica, dando prova in ciò di un ottimismo che andrebbe supportato da adeguate ricerche (stratigrafiche e idrogeologiche), che valutino la disponibilità di acque sotterranee profonde e ne consentano la relativa utenza.

A tale proposito è interessante segnalare come la ricerca di acque sotterranee nella Murgia si sia spinta sin nelle aree più interne, con perforazioni che oltrepassano i 1000 m dal piano campagna, raggiungendo profondità forse mai raggiunte in Italia per tale scopo.

Tra gli argomenti meno studiati e meno noti della idrogeologia regionale troviamo le sorgenti, disseminate in gran numero lungo la parte costiera, le quali costituiscono il recapito finale degli acquiferi dolci sin qui considerati. In particolare, le principali sorgenti costiere oggi note disperdono in mare una

portata d'acqua dolce pari ad almeno 20 mc/s.

La scarsa attenzione prestata alle sorgenti dagli organi preposti alla pianificazione idrica regionale rappresenta un paradosso, considerato l'enorme volume idrico che ogni anno continua ad "alimentare il mare" e che invece potrebbe essere intercettato per destinarlo a vari usi, con metodologie da studiare caso per caso, in funzione delle condizioni geostrutturali e idrogeologiche che caratterizzano l'emergenza degli acquiferi in prossimità della costa. Occorre, in particolare, adoperarsi nelle dovute forme per determinare localmente le porzioni degli acquiferi interni diretti a queste sorgenti e intercettarne il flusso idrico sotterraneo prima del miscelamento finale presso costa. Quest'ultimo, responsabile della elevata salinità (4-5 g/l) delle acque sorgive, ne ha da sempre ostacolato l'uso determinando un chimismo ritenuto inadeguato.

L'Introduzione alla presente Monografia aveva già sottolineato la paradossale mancanza di dati idrogeologici e idraulici sulle sorgenti costiere, giungendo all'ipotesi di riconsiderare compiutamente tale argomento, all'interno di un'adeguata pianificazione del patrimonio idrico sotterraneo dell'intera regione.

30.3. - IL CORRETTO ESERCIZIO DELLE UTENZE DEGLI ACQUIFERI INFLUENZATI DALL'INTRUSIONE MARINA

La presenza dell'acqua di mare alla base della falda di acqua dolce condiziona la circolazione idrica sotterranea della falda stessa (capp. 2 e 5), nonché la pianificazione, la progettazione e la gestione delle utenze.

L'estrazione di acqua dolce di falda determina infatti un sollevamento dell'acqua di mare alla base, fenomeno che può svilupparsi sia su scala regionale, a causa del regime di emungimento dovuto all'insieme delle opere di captazione in esercizio variamente distribuite sul territorio, sia alla scala del pozzo singolo, il cui esercizio può determinare la formazione del cono di intrusione marina, fenomeno trattato nel capitolo 12 e denominato *salt-water upconing*.

L'analisi delle condizioni di equilibrio, che si riscontrano in corrispondenza della interfaccia (o zona di transizione) che segna il passaggio dalla falda di acqua dolce alla sottostante acqua di mare, è in effetti una premessa fondamentale, che dovrebbe indirizzare la corretta pianificazione e gestione delle

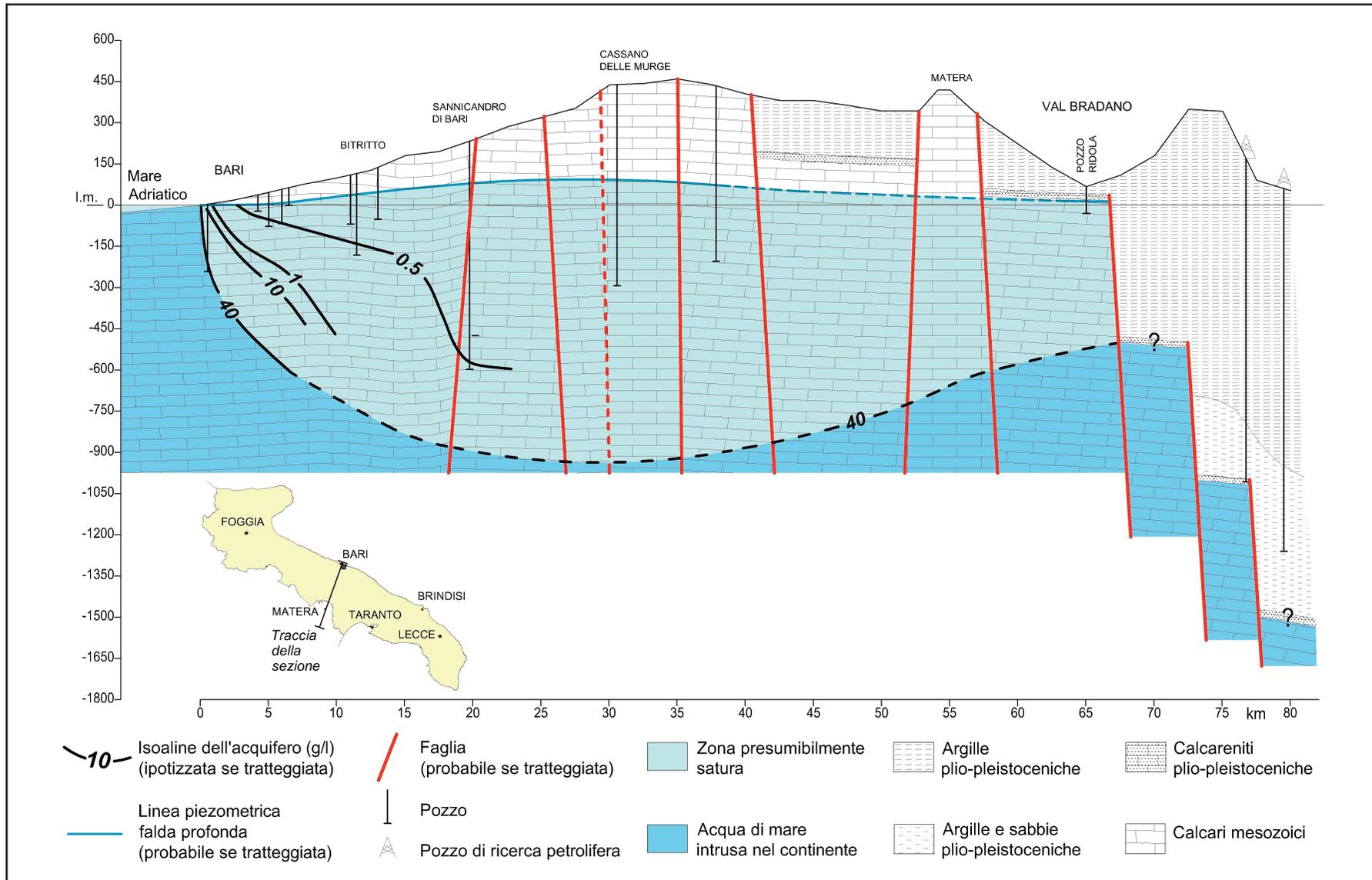


Fig. 30.4 - Sezione idrogeologica schematica della Murgia. Nelle porzioni centrali della Murgia sono plausibili variazioni significative del carico piezometrico lungo una stessa verticale. In detta zona la linea piezometrica è stata solo tratteggiata ed è relativa ai tratti acquiferi più superficiali, ossia quelli esplorati con in pozzi. In dette condizioni non può ritenersi valida la relazione di Ghyben - Herzberg, per cui la profondità dell'isoalina 40 g/l, assunta nello schema coincidente con il tetto dell'acqua di mare, è stata solo ipotizzata.

- Schematic hydro-geological section of the Murge area. Significant variations of the hydraulic head along a single vertical are likely to occur in the middle of the Murge area. In this zone the piezometric line has been represented as a dashed line and is referred to the shallow aquifers, i.e. those investigated by means of wells. In such conditions the Ghyben - Herzberg equation is no longer valid, so the depth of the line referred to the salinity value of 40 g/l (corresponding to the top of the sea water in the schematic representation) is just hypothetical.

acque sotterranee, come del resto indicavano già i primi studi e accertamenti condotti in questa regione negli anni Cinquanta del Novecento.

L'intrusione marina alla base degli acquiferi dolci è stata invece spesso ignorata nella pianificazione della risorsa idrica sotterranea regionale e dai progettisti di opere di emungimento e captazione. Oggi si contano nella regione oltre 100.000 pozzi, la cui ubicazione e progettazione originarie sono state effettuate in maniera semplicistica o addirittura lasciate al caso. Le effettive potenzialità idriche degli acquiferi, determinate dalle condizioni di ricarica e dalle caratteristiche di permeabilità degli stessi, non hanno sicuramente guidato la scelta adeguata della posizione da attribuire alle utenze, così come il fenomeno del *salt-water upconing* non è mai stato adeguatamente considerato nella progettazione delle singole opere attingenti dalle falde, specie nella determinazione della penetrazione del pozzo in falda e della portata di esercizio tali da scongiurare il sollevamento e l'irruzione nel pozzo dell'acqua di mare. L'ubicazione dei pozzi, le stratigrafie desunte durante la perforazione, la relativa profondità, le portate presumibili di tali opere e, in particolare, il rapporto fra depressione idrodinamica prodotta dal pompaggio e il conseguente chimismo delle acque estratte, sono circostanze che nella maggior parte dei casi sono state scarsamente o inadeguatamente considerate.

Lo stesso Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia ha dovuto arrendersi di fronte alle difficoltà di censire le opere di captazione distribuite sul territorio regionale; dei pozzi censiti, infatti, il Piano fornisce una carta della densità delle opere attingenti alle falde, che fornisce comunque un risultato strabiliante, in termini di numero dei pozzi esistenti, oltre che per l'irrazionale concentrazione di pozzi in alcune zone del territorio regionale.

30.4. - IL DEGRADO QUANTITATIVO E QUALITATIVO PROGRESSIVO DELLE FALDE RILEVATO DAI MONITORAGGI IDROGEOLOGICI SINO AD OGGI ESEGUITI SUL TERRITORIO REGIONALE

Molti sono i monitoraggi degli acquiferi regionali oggi disponibili e tutti, compreso l'ultimo in termini cronologici, il cosiddetto "*Progetto Tiziano*", hanno evidenziato un progressivo depauperamento e una

progressiva salsificazione delle falde idriche regionali.

Questi fenomeni sono stati minuziosamente ricostruiti e inequivocabilmente dimostrati dalla presente trattazione, sulla base di dati conoscitivi acquisiti dal secolo scorso fino ad oggi.

L'analisi della distribuzione della concentrazione salina delle acque di falda, illustrata nel capitolo 3, ha evidenziato un degrado qualitativo, sviluppatosi in particolare negli ultimi decenni. Il confronto tra la distribuzione della concentrazione salina rilevata nell'ambito del *Progetto Tiziano* (2007-2010) e quella determinata sulla scorta di dati acquisiti nel periodo 1970-1990, ha evidenziato un incremento di salinità delle porzioni più superficiali delle falde, che ha interessato circa l'80% dell'intero territorio regionale (fig. 3.14).

L'illustrazione particolareggiata delle aree idrogeologiche in cui è stato suddiviso il territorio regionale (Gargano, Tavoliere, Murgia, Arco Ionico Tarantino, Piana di Brindisi, Salento) ha permesso di individuare, ove consentito dalle acquisizioni di dati idrogeologici nel tempo, un progressivo sollevamento della zona di transizione tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare, con riferimento particolare agli acquiferi cretaci.

Lungo le aree costiere dell'Area Idrogeologica del Gargano (cap. 13), e in particolare a ridosso dei Laghi di Lesina e di Varano, l'irrazionale concentrazione di opere di captazione ha determinato un significativo degrado dello stato quantitativo e qualitativo della falda profonda. Il confronto tra log salinometrici eseguiti nel periodo 1996-2003 con quelli più recentemente eseguiti nell'ambito del *Progetto Tiziano* (2007-2010), ha indicato l'incremento della concentrazione salina della falda profonda, contenuta nell'acquifero mesozoico, e un sollevamento della zona di transizione, a volte dell'ordine di dieci metri! (fig. 13.11).

Nelle zone costiere dell'Area Idrogeologica della Murgia è stato possibile rilevare un significativo degrado dello stato quantitativo e qualitativo della falda: nei tratti di costa compresi tra Barletta e Trani nonché nel tratto Bari-Monopoli-Fasano si è constatato un aumento di concentrazione salina delle acque di falda da 0,5 g/l (fig. 15.33) fino a 8 g/l in alcuni casi (fig. 3.14).

Nell'area Idrogeologica della Piana di Brindisi (cap. 16) e nell'Arco Ionico Tarantino (cap. 17) è

stato rilevato, in non pochi pozzi, un incremento generalizzato della salinità delle acque di falda, oltre che un progressivo sollevamento della zona di transizione all'acqua di mare, in alcuni casi dell'ordine di 10 – 20 m (figg. 16.16, 17.16 e 17.17).

Infine, nell'Area Idrogeologica del Salento (cap. 18) si è riscontrato negli ultimi decenni un generale sollevamento dell'acqua di mare, che ha interessato, oltre alle zone costiere della penisola, anche quelle più interne, ove i pozzi spia disponibili hanno indicato un sollevamento della zona di transizione dell'ordine di 10–15 m (figg. 18.34-18.36; 18.39-18.41). Il maggior numero di dati disponibili per l'Area Idrogeologica del Salento rispetto alle altre, ha consentito di stimare il volume di acqua dolce di falda che ha subito negli ultimi decenni un incremento di concentrazione salina a causa del sovrasfruttamento della falda. Il calcolo eseguito ha evidenziato che il volume di acqua dolce con concentrazione salina inferiore a 0,5 g/l ha subito una riduzione, nel passaggio dal periodo 1970÷1990 al periodo 2007÷2010, di circa 2,5 volte. Considerato che il volume di acqua dolce di falda contenuto nell'acquifero cretatico salentino è stato stimato in circa $14\div 29 \times 10^3 \text{ Mm}^3$, il volume di acqua dolce di falda perso è dunque almeno pari a 8 miliardi di m^3 .

Difficile, e in alcuni casi pressoché impossibile, è stata l'interpretazione dei dati idraulici e idrochimici delle sorgenti regionali costiere. Come già osservato, sarà necessario in futuro ottimizzare gli studi e le ricerche, che dovrebbero essere rivolti all'idraulica e alla dinamica idrogeologica, capaci di deliberare in ordine alla utilizzazione di almeno parte di dette sorgenti. In ogni caso, i dati disponibili a riguardo hanno consentito di accertare condizioni di degrado quantitativo e qualitativo delle emergenze costiere, sviluppatasi specie negli ultimi decenni (cap. 4). A tal proposito la trattazione si è soffermata sulla sorgente Chidro (Area Idrogeologica del Salento), ove è apparso un sorprendente decremento di portata fra gli anni '20 e l'attualità (fig. 30.5), da 2500 l/s (Servizio Idrografico, 1926-1951) a circa 1000 l/s (*Progetto Tiziano*, 2011). La riduzione di portata osservata è associabile ad un depauperamento dello stato quantitativo della falda profonda, che presentava all'inizio degli anni Sessanta uno spessore pari a circa 100 m, mentre oggi tale spessore si limita

a 30 m! In prossimità della sorgente Chidro, la falda profonda ha quindi subito una riduzione di spessore di circa 70 m in soli 40 anni. Il degrado osservato è inequivocabilmente prodotto dalle estrazioni dall'acquifero cretatico da parte del gran numero di pozzi insorti negli ultimi tre decenni, che nei soli territori di Manduria e Avetrana ammonta a circa 1700. Si tratta di un esempio di assenza di pianificazione, che invece dovrebbe mirare alla corretta utilizzazione dell'acquifero, disponendo un'opera di captazione centralizzata. Oggi, in prossimità della sorgente Chidro, sono presenti i resti di un'opera di presa che non ha più alcun senso, riferibile com'è alla vecchia idea di utilizzare la sorgente nel contesto delle opere dell'Acquedotto Irriguo Sinni-Salento (cap. 29), che riguardano interventi strategici nel contesto della razionalizzazione e della pianificazione idrica delle acque sotterranee dell'intero Salento. Oggi sarebbe utile valutare piuttosto l'ipotesi di indagare il bacino idrogeologico che alimenta la sorgente Chidro, per realizzare un cunicolo orizzontale alla sommità della superficie della falda diretta alla sorgente, definito "pozzo orizzontale" nel capitolo 12, che permetterebbe di intercettare le acque sotterranee dirette alle scaturigini costiere, prima che queste subiscano un eccessivo mescolamento con l'acqua marina intrusa nel continente.

Anche in prossimità della sorgente Tara (Area Idrogeologica dell'Arco Ionico Tarantino) è stato rilevato un sollevamento della zona di transizione (cap. 4). Non è possibile tuttavia stabilire lo spessore della falda prima dell'uso della sorgente e della proliferazione dei pozzi nell'area, in quanto il primo profilo salinometrico disponibile in un pozzo spia ubicato in prossimità della sorgente risale al 1995, mentre la sorgente e l'acquifero corrispondente sono utilizzati già dagli anni Cinquanta del Novecento. Dal 1995 al 2007 è stato in ogni caso riscontrato nel suddetto pozzo spia un sollevamento di circa 15 m della zona di transizione e una progressiva riduzione della quota piezometrica (fig. 4.34). L'assenza di misure di portata recenti non consente di verificare se a questo sollevamento della zona di transizione abbia corrisposto una riduzione di portata della sorgente.

Il degrado quantitativo riguarda anche i corpi idrici presenti negli acquiferi regionali post-cretatici, spesso definiti superficiali. Tra questi, molto grave

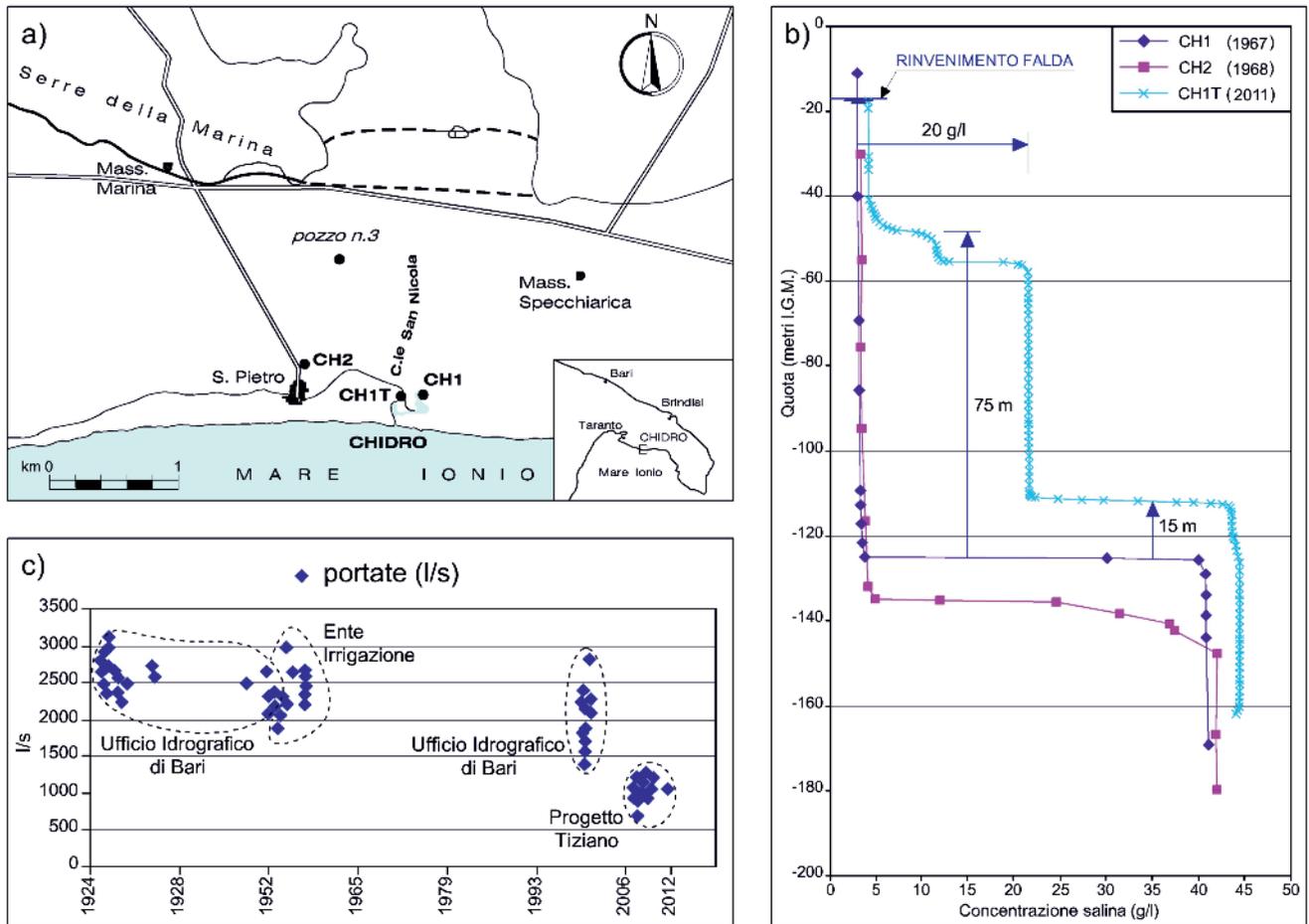


Fig. 30.5 - Sorgente Chidro: a) Planimetria con ubicazione dei pozzi CH1, CH2 e CH1T; b) Log salinometrici eseguiti nel 1970 nei pozzi spia CH1 e CH2 e nel 2011 nel pozzo spia CH1T; c) Andamento nel tempo della portata sorgentizia.

- Chidro spring; a) Planimetry with the location of the wells CH1, CH2 and CH1T; b) Salinity logs performed in 1970 in the spy wells CH1 and CH2 and performed in 2011 in the spy well CH1T; c) Spring flow rate variation with time.

è il degrado riscontrato in corrispondenza dell'acquifero superficiale del Tavoliere di Foggia (cap. 14), per il quale si dispone di dati piezometrici nel tempo, tali da consentire lo studio dell'evoluzione della piezometria della falda in circa 60 anni (tav. 4 f.t.; fig. 30.1). Nel passaggio dagli anni '50 del secolo scorso, quando nella zona erano censiti circa 4250 pozzi, ad oggi, ove si contano almeno 30.000 pozzi, si è registrata una riduzione delle altezze piezometriche spaventosa, che in alcune aree ha raggiunto valori dell'ordine di 60 m, tanto da determinare una quota piezometrica misurata nei pozzi inferiore a quella del livello mare. In tali aree, l'ingressione del mare nell'acquifero appare oggi inibita dalla presenza di formazioni argillose presso la costa. Non è però da escludere che in futuro le acque marine invadano completamente queste porzioni di acquifero, pur in tempi e in modi non presagibili.

Il progressivo incremento di concentrazione salina delle acque di falda è stato riscontrato, soprattutto per le Aree Idrogeologiche della Murgia e del Salento, anche dall'analisi delle serie storiche di dati relativi all'esercizio dei pozzi potabili gestiti dall'Acquedotto Pugliese (cap. 20). I dati disponibili, che per alcuni pozzi risalgono agli anni '70 del secolo scorso, indicano un generale incremento della concentrazione di ione cloruro delle acque di falda captate (figg. 20.10÷20.12). Alcuni pozzi potabili ubicati nelle aree centrali del Salento, che presentavano negli anni Settanta una concentrazione di ione cloruro inferiore a 100 mg/l, presentano oggi valori dello stesso ione anche superiori a 200 mg/l. La causa dell'incremento di salinità delle acque estratte ai fini potabili è imputabile tanto ad una errata progettazione di origine dei pozzi, ossia al *salt-water upconing*, quanto al degrado dello stato quantitativo e qualitativo delle

acque di falda rilevato su scala regionale e determinato dal sovrasfruttamento degli acquiferi. I valori di concentrazione di ione cloruro e di concentrazione salina rilevati sono, in alcuni casi, tali da consentire per tali acque un giudizio favorevole alla possibilità di utilizzo potabile; tuttavia i trend evolutivi sono preoccupanti, in quanto indicano il depauperamento e la salsificazione delle acque di falda ad opera dell'acqua di mare intrusa nel continente.

Il degrado dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei è indubbiamente da imputare all'eccessivo sfruttamento degli acquiferi regionali. L'analisi delle precipitazioni eseguita nel periodo 1921÷2008, pur avendo evidenziato una riduzione delle piogge con particolare riferimento alla stagione invernale, non ha indicato l'esistenza di trend climatici suscettibili di produrre effetti preoccupanti sulla ricarica delle falde regionali nel lungo periodo (cap. 7).

Al degrado della falda profonda dovuto all'intrusione marina nel continente, si è affiancato, negli ultimi decenni, l'inquinamento dovuto ad attività antropiche. Gli acquiferi carbonatici sono infatti spesso caratterizzati da una elevata vulnerabilità intrinseca (cap. 10), che determina la forte suscettibilità degli stessi ad ingerire e diffondere sostanze inquinanti rilasciate sulla superficie del suolo. L'analisi dei caratteri chimici delle acque di falda estratte ai fini potabili (cap. 20) e lo studio sull'inquinamento dovuto ai nitrati (cap. 21) hanno indicato situazioni di degrado dello stato qualitativo delle acque sotterranee, con tendenze al peggioramento ancora in atto (figg. 20.30, 20.31 e 21.2). Al degrado qualitativo delle acque sotterranee concorre lo svolgimento di attività industriali sul territorio, le quali rappresentano molto spesso sorgenti concentrate di inquinamento delle acque sotterranee, con conseguenze illustrate nel capitolo 19.

30.5. - LA RETE DEI POZZI POTABILI

I volumi idrici estratti dalle falde regionali per il potabile provengono da raggruppamenti di pozzi denominati dall'AQP "comprensori". Il numero di pozzi impiegati o potenzialmente impiegabili a tale scopo è cresciuto notevolmente nel tempo, soprattutto tra la fine degli anni Ottanta e l'inizio degli anni Novanta, in occasione della grave crisi idrica che ha

interessato il territorio pugliese. L'incremento delle portate d'acqua estratte è avvenuto attraverso la continua crescita del numero di pozzi, comportando la necessità di acquisire, in condizioni di emergenza, pozzi già esistenti, oltre che realizzarne di nuovi. La rete di pozzi che via via veniva a formarsi era dunque costituita da opere di captazione spesso non note dal punto di vista geometrico-costruttivo, la cui ubicazione, determinata sulla base di criteri prettamente funzionali, spesso non era rispettosa dei criteri di salvaguardia della risorsa idrica sotterranea. La pluralità dei soggetti intervenuti nella realizzazione dei pozzi e la variabilità delle epoche cui sono attribuiti, rende difficile il reperimento di dati costruttivi ed idrogeologici, necessari alla corretta interpretazione dei comportamenti idraulici sotto emungimento.

Attualmente sul territorio regionale sono presenti 360 opere di captazione per l'approvvigionamento idrico potabile, che comprendono sia quelle in uso sia quelle di utilizzo potenziale. L'80 % dei volumi estratti dalle falde regionali per il potabile riguarda i pozzi della provincia di Lecce, nel cui territorio la domanda di acqua potabile è oggi soddisfatta sostanzialmente attraverso le estrazioni dalla falda profonda contenuta nell'acquifero cretaceo. Nel 1988 il numero di pozzi potabili in esercizio nella Penisola Salentina era 107, pari a circa il numero di pozzi impiegati nel 2009 (112), e ciò indica che le scelte attuate durante la crisi idrica sono nella sostanza rimaste immutate sino ad oggi.

La scelta di derogare ai principi di salvaguardia e corretta gestione delle acque sotterranee, per fini di approvvigionamento potabile, poteva giustificarsi con la necessità di superare gravi crisi idriche, ma oggi richiede qualche riflessione. Alla luce dei fatti storici che hanno portato alla nascita della rete dei pozzi potabili e in relazione alle condizioni di degrado quantitativo e qualitativo osservate per i corpi idrici sotterranei regionali, è indispensabile giungere ad una revisione della rete di pozzi potabili. Revisione che -effettuata da organi preposti alla gestione e salvaguardia degli acquiferi- dovrebbe portare alla conferma dei pozzi corretti e alla modifica o cancellazione di quelli non rispondenti a corretti criteri idrogeologici ed idraulici.

La gestione dei pozzi potabili deve necessariamente essere attuata alla luce dei principi che re-

golano il fenomeno dell'intrusione marina. Data l'importanza dei pozzi potabili per l'approvvigionamento idrico regionale, la progettazione (o la verifica) di questi ultimi dovrebbe avvenire tramite l'applicazione di idonei modelli matematici. Questi ultimi consentirebbero infatti di determinare le caratteristiche dimensionali e la portata di esercizio in grado di assicurare lo sfruttamento dei pozzi senza rischi di *salt-water upconing*.

Sarebbe poi opportuno utilizzare la gran mole di dati chimici, rilevati dal Servizio di Vigilanza Igienica dell'AQP, per l'integrazione della banca dati proveniente dal monitoraggio in tempo reale delle acque sotterranee di cui si dirà in seguito.

Infine, per ogni pozzo o insiemi di opere di captazione potabili, è necessario definire le aree di salvaguardia, secondo quanto richiesto dal D.Lgs. 152/2006. In particolare, urge perimetrare con criteri idraulici e gestire le zone di rispetto, come ampiamente trattato nel capitolo 10 e nei capitoli 15 e 18, con particolare riferimento alle Aree Idrogeologiche della Murgia e del Salento.

30.6. - IL MONITORAGGIO IN TEMPO REALE PER UNA GESTIONE ETICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La corretta gestione degli acquiferi e la razionale pianificazione idrica, vanno considerate vere e proprie esigenze etiche, prima che politico-economiche, come avviene nella maggior parte dei paesi avanzati, specie se esposti alle problematiche idrogeologiche non sempre favorevoli come quelle che caratterizzano la Puglia. Non mancano, infatti, paesi esposti ad intrusione marina che adottano criteri di gestione delle risorse idriche sotterranee basati sulla interpretazione quasi in tempo reale di adeguati monitoraggi idrogeologici (cap. 28). Il controllo dello stato quantitativo e qualitativo delle falde durante l'esercizio delle utenze consente infatti di esprimere un giudizio sullo stato di salute delle acque sotterranee ad oggi e di fare previsioni sulla loro evoluzione futura.

In occasione del "*Progetto per l'ampliamento e l'ammodernamento della rete per il controllo idrometrografico e qualitativo delle falde idriche della Regione Puglia (1998)*", veniva prevista, per la prima volta in Puglia, una rete di monitoraggio idrogeologico allo scopo di

gestire in tempo reale l'uso delle falde regionali, il cui esercizio ebbe però breve durata (cap. 27). Un obiettivo, questo, mai raggiunto in seguito. I monitoraggi attuati sinora, infatti, sono stati utili unicamente per caratterizzare e classificare le acque sotterranee, mancando l'interpretazione in tempo reale dei dati acquisiti. Neanche il Progetto Tiziano ha guardato adeguatamente ai criteri di gestione da imporre all'uso delle acque sotterranee regionali, come ricordato più volte in questa trattazione. La Regione Puglia ha individuato l'ARPA Puglia e l'Autorità di Bacino della Puglia come nuovi soggetti deputati alle attività inerenti, rispettivamente, al monitoraggio qualitativo e quantitativo delle acque sotterranee. Alla luce degli argomenti affrontati in questa sede, è opportuno sottolineare la necessità che i risultati ottenuti dai monitoraggi qualitativi e quantitativi vengano interpretati in modo congiunto. Infatti, il degrado dello stato quantitativo della falda è molto spesso segnalato dal sollevamento e/o aumento di spessore della zona di transizione e dall'incremento della concentrazione salina della falda dolce, rilevabili dal monitoraggio qualitativo e in misura molto inferiore dagli abbassamenti piezometrici.

Monitorare le falde acquifere equivale a seguire il percorso dell'acqua, che comprende i momenti di ricarica, i processi di infiltrazione e il conseguente flusso idrico sotterraneo, influenzato dalle estrazioni delle utenze, sino al recapito finale rappresentato dal mare. È quindi necessario monitorare innanzitutto le piogge (cap. 7), con criteri idonei alle applicazioni in idraulica sotterranea, e non solo alla difesa del suolo. La scelta dell'ubicazione dei pluviometri dovrebbe scaturire, infatti, dall'analisi dei bacini e le modalità di acquisizione dei dati dovrebbero consentire di distinguere le precipitazioni stratiformi da quelle convettive, così da poter determinare il volume d'acqua effettivamente disponibile per la ricarica degli acquiferi. L'analisi dei legami esistenti tra le precipitazioni meteoriche e la ricarica dei corpi idrici sotterranei deve essere eseguita con metodi di calcolo che consentano di comprendere i meccanismi di ricarica. A tal riguardo, nel capitolo 22, sono state eseguite con successo alcune applicazioni di metodi di calcolo numerico (EPR-MOGA) per l'interpretazione della risposta della falda alle precipi-

tazioni, in diverse condizioni idrogeologiche.

Sarebbe inoltre auspicabile uno studio dettagliato e aggiornato del chimismo delle acque di pioggia e della sua variazione con la distanza dalla costa (cap. 8). Gli studi oggi disponibili, pur fornendo interessanti dati a riguardo, sono stati realizzati in tempi remoti.

Il monitoraggio della falda deve quindi permettere di stabilire, in tempo reale, il suo stato quantitativo e qualitativo, in ragione del regime di emungimento applicato dalle utenze. È necessario quindi il continuo controllo e delle altezze piezometriche e della stratificazione salina nei pozzi, da individuare nell'ambito di una razionale rete di monitoraggio. L'interpretazione in tempo reale del monitoraggio consentirà di adottare tempestivamente azioni finalizzate alla inversione di eventuali tendenze negative.

Il monitoraggio sistematico e costante delle risorse idriche sotterranee rappresenta insomma una condizione indilazionabile per gestire adeguatamente la risorsa stessa, per ravvisarne costantemente le effettive disponibilità e prevenire i rischi legati al degrado qualitativo.

30.7. - I DISTRETTI DI GESTIONE DEGLI ACQUIFERI

I tentativi di censimento delle utenze degli acquiferi avviati sinora a vario titolo, non hanno consentito di fornire i dati idrogeologici e idraulici in forme tali da finalizzare l'archiviazione dei dati alla pianificazione e gestione delle risorse idriche sotterranee. Sul territorio regionale esistono oggi almeno 100.000 pozzi che richiedono un adeguato censimento. Censirli immettendone i dati tecnici in un unico archivio, così come è stato fatto sinora, ha una validità unicamente amministrativa, certo non tecnico-pratica.

I pozzi devono infatti essere suddivisi in gruppi che distinguano gli acquiferi da cui attingono, e non semplicisticamente le aree geografiche di appartenenza, adottando i criteri utilizzati per la individuazione delle Aree Idrogeologiche regionali presentate in questa Monografia. Le modalità di ricarica delle falde regionali, infatti, il moto di queste ultime all'interno degli acquiferi e il deflusso a mare, variano da zona a zona del territorio pugliese, in relazione alle caratteristiche geologico-strutturali, idrogeologiche

e morfologiche locali, cui spesso si associa una sostanziale differenza anche nelle problematiche di tipo idrogeologico, connesse con la gestione e la salvaguardia delle risorse idriche sotterranee. A queste ultime si associano poi, area per area, impronte socio-economiche che spesso ricalcano le singolarità idrogeologiche.

Nell'ambito di ciascuna Area Idrogeologica, in relazione alla caratterizzazione geologica ed idrogeologica della stessa fornita nella Monografia, risulta poi agevole l'individuazione degli acquiferi in cui i pozzi risultano effettivamente penetranti.

In proposito, il capitolo 11 sottolinea la necessità di individuare, nell'ambito del territorio regionale, Distretti di Gestione degli Acquiferi, all'interno dei quali eseguire il suddetto censimento.

Il censimento dei pozzi dovrebbe essere pertanto documentato e finalizzato alla raccolta e all'archiviazione dei dati geografici, costruttivi, geologici e idrogeologici di un pozzo, ovvero: ubicazione, quota assoluta, profondità, stratigrafia dei terreni e delle rocce attraversate, quota piezometrica della falda, quota rinvenimenti idrici, risultati prova di portata, risultati di analisi chimico-fisiche sulle acque di falda, portata d'acqua concessa e acquifero intercettato. Ove tali dati non fossero disponibili per i pozzi già esistenti, occorre cercarli tramite opportuni accertamenti. Questi devono inoltre essere finalizzati a contrastare il dilagante fenomeno dell'abusivismo nella esecuzione di pozzi, attraverso l'individuazione dei pozzi realizzati senza i controlli e le autorizzazioni preventive necessarie. L'ubicazione dei pozzi abusivi può essere raggiunta tramite controlli diretti a tappeto sul territorio e rilievi satellitari.

Solo a tali condizioni il censimento delle opere di captazione potrà fornire elementi utili che migliorino le conoscenze di carattere geostrutturale, idrogeologiche ed idrauliche degli acquiferi anche al fine di integrare le informazioni già disponibili presso l'Archivio Nazionale delle indagini di sottosuolo *ex lege* 464/84, costituito di norma dal Servizio Geologico d'Italia (cap. 26) e gli archivi costituiti per il presente progetto di ricerca.

È inoltre necessario che l'archivio venga periodicamente aggiornato registrando la portata d'acqua effettivamente estratta, quest'ultima da valutarsi con l'uso di idonei misuratori di portata, di cui tutti

i pozzi dovrebbero essere muniti, come tra l'altro indicato dalle più recenti normative (cap. 11). Solo siffatto aggiornamento può, infatti, consentire il raggiungimento di un obiettivo importante nella gestione quale il bilancio idrico degli acquiferi, argomento che verrà specificato più avanti.

La pianificazione e il controllo dello stato quantitativo e qualitativo delle risorse idriche sotterranee devono afferire ad un'unica Unità Centrale istituita dalla Regione Puglia. Ciascun distretto dovrebbe, a livello locale, curare la gestione e il monitoraggio di porzioni di acquifero, eseguire il censimento delle opere di captazione esistenti sul territorio di propria competenza, controllare il corretto esercizio delle utenze, seguendo le linee guida dettate dall'Unità Centrale.

Ciascun distretto deve provvedere al rilascio di nuove concessioni, da subordinare ai risultati del monitoraggio idrogeologico in tempo reale, e alla valutazione della sostenibilità delle concessioni già rilasciate, le quali andrebbero dunque confermate per numero ed entità della portata concessa. Tra le competenze da attribuire ai distretti vi è poi il controllo della corretta progettazione ed esecuzione delle singole opere di captazione, che dovrebbero essere ispirate ai principi che regolano il *salt-water up-coning*, come questa Monografia insegna. I pozzi esistenti che non siano stati progettati correttamente, dovranno essere rivisti nelle loro caratteristiche dimensionali e di esercizio. Dovranno quindi essere rivisti i rapporti esistenti tra la penetrazione del pozzo in falda e la depressione della superficie piezometrica in condizioni di emungimento. Ciò potrà richiedere la riduzione di penetrazione di alcuni pozzi, da eseguire attraverso la loro parziale cementazione alla base, oppure, in casi estremi, la chiusura del pozzo e dunque la sua totale cementazione.

I distretti dovrebbero infine definire la più razionale distribuzione spaziale delle opere di captazione sul territorio, la quale dovrebbe basarsi sull'analisi delle condizioni di flusso della falda e di permeabilità degli acquiferi, oltre che sulla qualità delle acque di falda confrontate con le portate estratte.

Il numero e la competenza geografica dei distretti in argomento può essere stabilita sulla base delle informazioni fornite dalla presente trattazione con riferimento alla Aree Idrogeologiche regionali, ciascuna delle quali può eventualmente

essere suddivisa in più distretti, in ragione della distribuzione dei pozzi presenti e delle locali condizioni idrogeologiche degli acquiferi, oltre che in relazione alla presenza sul territorio di importanti attività economiche idroesigenti.

È evidente che i distretti devono essere dotati di strumenti e di personale altamente qualificato. Ciascun distretto dovrebbe essere dotato di laboratori mobili, atti a controllare la veridicità dei dati dichiarati per i pozzi, oltre che per rilevare dati idraulici e idrochimici dai pozzi censiti. A tal riguardo va segnalato che alla fine degli anni Novanta L'Ente Irrigazione si dotò di laboratori mobili (cap. 27), oggi in stato di abbandono presso l'impianto di captazione della sorgente Tara.

Il personale attivo nei distretti deve essere opportunamente istruito e formato, così come accade per il personale di agenzie di protezione di risorse idriche sotterranee dei paesi avanzati. Solo a siffatto modo, ingegneri, chimici, agronomi e geologi, ognuno nel rispetto delle proprie competenze, potranno associativamente contribuire alla costituzione del bagaglio culturale necessario per affrontare la gestione degli acquiferi.

In linea di massima i pozzi che costituiscono l'attuale rete di monitoraggio delle acque sotterranee della Regione Puglia possono ritenersi idonei, per numero e ubicazione, al controllo idrometrografico e qualitativo delle acque di falda su scala regionale. Manca tuttavia la continua elaborazione ed interpretazione dei dati via via acquisiti dai controlli predetti nell'ambito dei distretti di gestione.

Sulla base dei risultati del monitoraggio fin qui suggerito, ogni distretto dovrà provvedere, se necessario, alla riduzione degli emungimenti concessi agli utenti. Queste disposizioni sono normate all'estero, laddove, oltre che controllare le utenze regolarmente consentite, vengono tassativamente spenti gli emungimenti non concessi, con il rigore che dette operazioni esigono per i motivi fin qui illustrati.

È evidente che l'operatività dei Distretti di Gestione degli Acquiferi sarebbe facilitata dalla costituzione di reti consortili e dalla creazione di Consorzi tra agricoltori, eventualmente obbligatori, nell'ambito dei quali individuare le opere di captazione necessarie, da ubicare e progettare. Oggi il territorio regionale è ridotto a una "grovia", laddove

il singolo agricoltore rifiuta qualsiasi forma associativa e provvede liberamente alla realizzazione del proprio pozzo. Sarebbe invece auspicabile che le acque sotterranee fossero distribuite da reti consortili, anche attraverso i Consorzi di Bonifica. È evidente che la creazione di reti consortili, facenti capo ad opere di captazione ben note e gestite, consentirebbe un efficace controllo quantitativo e qualitativo della risorsa idrica sotterranea in argomento. I Consorzi, che in passato si occupavano anche di ricerca in materia di acque sotterranee, potrebbero adoperarsi concretamente per il corretto utilizzo e la salvaguardia del patrimonio idrico presente all'interno delle aree di propria competenza.

30.8. - ANALISI DELL'EQUILIBRIO ACQUA DOLCE – ACQUA DI MARE DI INTRUSIONE CONTINENTALE

Particolare attenzione dovrà essere posta alla modellazione matematica per lo studio della circolazione idrica sotterranea in presenza di acqua di mare alla base della falda. Metodologie siffatte sono oggi largamente utilizzate e con successo nel mondo (capp. 5 e 6). Detta modellazione è infatti un utile strumento decisionale sia in fase di pianificazione sia in fase di gestione e controllo delle utenze in atto.

La Monografia ha trattato le varie metodologie di analisi dell'equilibrio acqua dolce-acqua di mare negli acquiferi costieri, applicabili con diverso grado di approssimazione. È possibile infatti adottare sia metodi di calcolo semplificati, che ipotizzano l'esistenza di un'interfaccia netta di separazione tra acqua dolce e acqua salata, sia metodi di calcolo basati sullo studio del trasporto dei sali per dispersione idrodinamica.

La modellazione matematica consente, ad esempio, di interpretare i risultati del bilancio idrico degli acquiferi, per studiare l'evoluzione dell'equilibrio acqua dolce-acqua di mare a seguito di un assegnato regime di emungimento. I modelli matematici che consentono di analizzare il trasporto dei sali, possono essere usati per interpretare i risultati del monitoraggio della salinità e della conducibilità elettrica delle acque di falda e della zona di transizione. Ciò consente di individuare e studiare i fenomeni alla base del peggioramento quantitativo e qualitativo delle acque sotterranee, e dunque di controllarne e

prevederne l'evoluzione. Questi stessi modelli consentono poi di valutare l'efficacia di interventi di recupero dello stato quantitativo delle falde, come l'individuazione di nuovi scenari di utenze sostenibili della risorsa idrica in parola.

La scelta del metodo di calcolo più idoneo ad ogni singolo caso di studio, dovrebbe derivare da un'attenta riflessione sulle effettive condizioni idrogeologiche e sulla possibilità di reperire i dati di *input* necessari. A tale riguardo va osservato che modellazioni matematiche eseguite con complessi *software* di calcolo ma che lamentano una carenza di dati di *input* credibili, forniscono risultati inaffidabili e privi di valenza tecnica e pratica. Oggi si tende purtroppo a costruire modelli numerici di estrema complessità, con risultati spesso illustrati con mappe ed immagini tridimensionali di grande impatto, adottando però dati di *input* sulle condizioni idrogeologiche e sull'uso degli acquiferi inappropriati o arbitrari. Il suggerimento fornito in proposito dal prof. Voss in occasione dell'ultimo *Sea Water Intrusion Meeting* tenutosi in Brasile nel 2012, è che la modellazione numerica sia la più agevole e semplice possibile, in quanto i modelli devono essere utilizzati come strumento di supporto decisionale (cap. 6).

Facendo riferimento agli acquiferi della Puglia, abbiamo visto come il regime di emungimento oggi applicato agli acquiferi cretatici regionali non sia noto con un sufficiente grado di accuratezza, così come mancano, per ampie porzioni del territorio, informazioni idrauliche ed idrogeologiche necessarie a calibrare adeguatamente modelli numerici sofisticati. Si è quindi deciso, nella stesura di questa trattazione, di non suggerire analisi numeriche delle condizioni di equilibrio su scala regionale tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare. In futuro, si dovranno dunque individuare i dati necessari all'applicazione della modellazione matematica nella pianificazione, gestione e controllo delle risorse idriche sotterranee, compiendo nella materia gli approfondimenti costruttivi necessari.

30.9. - NECESSITÀ DI RIDURRE GLI EMUNGIMENTI

Le acque sotterranee pugliesi sono state oggetto di prelievi dissennati, finalizzati alla copertura del fabbisogno idrico soprattutto irriguo, sia in sta-

gioni normali sia in periodi di emergenza. Il Piano di Tutela delle Acque riporta il fabbisogno idrico annuo stimato nel 1999 per il comparto irriguo, industriale e potabile, pari a circa 1.500 Mm³, che verrebbe soddisfatto per almeno 800 Mm³ dalle risorse idriche sotterranee (cap. 29).

Il progressivo incremento della domanda d'acqua irrigua, che ha caratterizzato lo sviluppo socio-economico della nostra regione negli ultimi decenni, non è stato adeguatamente considerato nella programmazione e progettazione degli interventi sul territorio. L'assenza di risorse idriche certe per il comparto agricolo ha quindi determinato il proliferare di pozzi privati e il continuo incremento degli emungimenti dai corpi idrici sotterranei, attuati sempre più disordinatamente.

Il degrado quantitativo della maggior parte dei corpi idrici sotterranei evidenziato da questa Monografia indica la necessità di ridurre gli emungimenti. Per poter effettivamente ridurre la portata globalmente estratta coi pozzi è necessario individuare risorse idriche alternative a quelle sotterranee, da destinare principalmente all'uso irriguo. A tal riguardo, nel capitolo 29, sono state suggerite alcune delle opere programmate per l'approvvigionamento idrico regionale, alcune già progettate o addirittura parzialmente realizzate, e mai completate. La realizzazione e/o il completamento di tali opere, insieme a quelle previste dalla pianificazione regionale, potrebbe garantire la copertura di buona parte del fabbisogno irriguo, consentendo una sostanziale riduzione degli attingimenti dagli acquiferi regionali. Una significativa riduzione delle portate estratte con i pozzi può essere raggiunta, inoltre, attraverso la captazione delle sorgenti costiere, alle condizioni corrette più volte illustrate in precedenza in questa Monografia. Quelle note scaricano annualmente in mare circa 630 Mm³ d'acqua, che sarebbe opportuno almeno in parte intercettare con metodiche mirate alla riduzione della concentrazione salina, prevedendo l'estrazione delle acque sotterranee dai bacini idrogeologici di monte, prima che queste raggiungano i punti terminali di emergenza a mare delle sorgenti stesse.

Il monitoraggio idrometrografico e dello stato qualitativo dei corpi idrici sotterranei durante l'esercizio delle utenze consentirà di stabilire le aree verso cui indirizzare risorse idriche alternative a quelle sot-

terranee estratte con i pozzi. Va in ogni caso evidenziato il grave degrado osservato per l'acquifero cretaceo del Salento e per quello quaternario superficiale del Tavoliere di Foggia. In tali aree è indispensabile ridurre gli emungimenti, garantendo risorse idriche alternative per il sostentamento dell'economia agricola. Nel Tavoliere di Foggia, in particolare, è da valutare la possibilità di realizzare, in prossimità dei terreni assorbenti dell'Alto Tavoliere, vasche di espansione che, laminando le portate di piena dei torrenti, o delle importanti incisioni presenti nel territorio, costituiscano importanti volumi idrici oggetto di rilascio lento e naturale in falda. Sempre con riferimento al Tavoliere di Foggia, occorre rivedere le opere di bonifica eseguite, per incrementare la ricarica dell'acquifero superficiale, ferma restando la necessità di gestire il rischio idraulico e salvaguardare gli aspetti igienico-sanitari del territorio. La realizzazione di opere idrauliche (eventualmente controllate da remoto) che consentano di variare le portate d'acqua drenate, in modo da ridurre il rischio idraulico durante le piene e contenere le acque per l'infiltrazione in falda, dovrebbe guidare adeguatamente il progetto delle opere di bonifica.

È da valutare attentamente la possibilità di attuare una ricarica artificiale derivando-acqua dai fiumi e torrenti che attraversano il Basso Tavoliere, nel rispetto dei loro deflussi minimi vitali, e immettendola nell'acquifero attraverso pozzi che superino le formazioni argillose impermeabili più superficiali.

Stabiliti i volumi idrici disponibili per la ricarica a seguito degli interventi auspicati e la massima portata estratta dall'acquifero, si possono applicare modelli numerici per la stima degli effetti degli interventi detti, come il tempo necessario per il ripristino dei volumi originari della falda (prima fase di gestione). Successivamente si potranno progettare nuove procedure di utilizzo delle acque sotterranee del Tavoliere (seconda fase di gestione), anche adottando portate sensibilmente superiori a quelle adottate nella prima fase, in relazione alla distribuzione dei carichi piezometrici e alla natura e permeabilità dell'acquifero. L'ubicazione dei pozzi dovrebbe seguire criteri razionali per evitare depauperamenti locali della falda, basati sulla conoscenza delle aree di alimentazione, dei caratteri di permeabilità dell'acquifero e della distribuzione dei carichi piezometrici

della falda, tutti elementi da acquisire con adeguato grado di approssimazione.

La riduzione degli emungimenti dagli acquiferi potrà raggiungersi anche attraverso l'adozione di metodi irrigui, che consentano di realizzare elevate efficienze distributive dell'acqua e di individuare variabili irrigue più corrispondenti alle situazioni pratiche locali (cap. 23). In tal senso i Distretti di Gestione degli Acquiferi dovrebbero offrire assistenza tecnica agli agricoltori, oltre che coordinare l'utilizzo di risorse idriche alternative, come le acque salmastre e reflue trattate. Le acque salmastre sono utilizzabili tal quali in agricoltura con risultati economici soddisfacenti, alle condizioni esaurientemente esposte nel capitolo 23. Analogamente, le acque reflue trattate possono essere adottate in agricoltura, secondo metodologie ormai ben consolidate in altri paesi, mentre l'utilizzo di acque salmastre da dissalare può trovare una giustificazione economica nel potabile (cap. 24). Con riferimento alle acque reflue va ricordata la possibilità teorica di utilizzare le stesse per la ricarica degli acquiferi e per il contrasto dell'intrusione marina presso costa, un argomento che richiederebbe riflessioni e confronti istituzionali, a fronte delle difficoltà normative che si riscontrano in proposito.

30.10. - IL BILANCIO IDRICO DEGLI ACQUIFERI

Il censimento delle opere di captazione, in particolare se dotate di strumenti di controllo delle utenze, potrà consentire di stabilire l'effettivo volume idrico prelevato dagli acquiferi regionali, e definire un credibile bilancio idrico. La stima degli emungimenti per l'uso irriguo eseguita a partire dall'analisi dell'uso del suolo, come quella riportata nel Piano di Tutela delle Acque, può fornire solo valori approssimati dell'effettivo volume idrico estratto, sicuramente non idonei alla definizione e al controllo dello stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei.

Sarebbe necessaria, infatti, una revisione del bilancio idrico con frequenza almeno annuale, eseguita sulla base della conoscenza degli effettivi volumi idrici estratti e conseguente validazione, attuabile sulla base delle acquisizioni derivanti dalle operazioni di monitoraggio in tempo reale. Occorre a tal riguardo confrontare in modo continuo

il trinomio piezometria - concentrazione salina - portata d'acqua emunta. Ciò sarà possibile solo quando la Regione Puglia si doterà di un monitoraggio idrometrografico e qualitativo in continuo e in tempo reale. I discontinui momenti di monitoraggio sinora attuati, si ripetono a scadenza di ordine decennale; essi non consentono pertanto di seguire le dinamiche evolutive dell'equilibrio acqua dolce - acqua di mare in funzione dei prelievi.

Inoltre, il risultato del bilancio idrico deve essere interpretato alla luce dei principi idraulici che regolano l'equilibrio acqua dolce - acqua di mare, tenendo conto delle variazioni del volume di acqua dolce determinate dalle variazioni piezometriche della falda e dai conseguenti spostamenti e variazioni di forma e spessore della zona di transizione. Oggi detta analisi, come già detto, sarebbe possibile con l'impiego di modelli di calcolo numerico, una volta noti i parametri idrogeologici dell'acquifero e le condizioni d'uso nel tempo della falda.

30.11. - LA MONOGRAFIA QUALE PUNTO DI PARTENZA PER UN NUOVO PIANO DI TUTELA DELLE ACQUE DELLA PUGLIA

Questa Monografia rappresenta uno strumento conoscitivo sullo stato quantitativo e qualitativo delle risorse idriche sotterranee della Puglia, basato sulla raccolta ordinata e organica delle conoscenze acquisite nel tempo, a partire dall'inizio del secolo scorso, di cui riporta una ordinata interpretazione. Deve quindi essere intesa come uno strumento tecnico-operativo, tramite il quale impostare concrete azioni di salvaguardia delle risorse idriche sotterranee dalle forme di inquinamento salino ed antropico, per fornire criteri aggiornati per una politica di gestione sostenibile delle acque sotterranee regionali. La ricerca ha consentito, innanzitutto, di definire un aggiornato inquadramento geostrutturale, generale (cap. 1; tavv. 1 e 2 f.t.) e delle singole Aree Idrogeologiche (capp. 13-18), il cui orientamento idrogeologico costituisce il punto di partenza per la caratterizzazione degli acquiferi.

Sulla base di circa 3.000 prove di portata, eseguite su altrettanti pozzi variamente distribuiti sul territorio regionale, è stata redatta la carta che illustra la distribuzione del coefficiente di permeabilità degli

acquiferi cretatici, permeabili per fratturazione e carsismo, e di quello superficiale del Tavoliere di Foggia, permeabile per porosità (cap. 2; tav. 3 f.t.). Le recenti determinazioni di sito e laboratorio, condotte nell'ambito del *Progetto Tiziano*, hanno consentito di determinare la distribuzione della concentrazione salina delle acque di falda contenute negli acquiferi mesozoici (cap. 3, tav. 4 f.t.), mentre l'archivio storico dei pozzi presenti sul territorio regionale e archiviati per la redazione della presente Monografia, costituito da circa 3.400 pozzi, ha consentito di determinare la distribuzione delle altezze piezometriche della falda cretatica e di quella superficiale del Tavoliere di Foggia (tav. 4). Sulla base dei dati acquisiti su 160 sorgenti, nonché delle anomalie termiche fredde rilevate dall'indagine all'infrarosso termico condotta negli anni Settanta nell'ambito del Progetto Speciale 14 della Cassa per il Mezzogiorno, sono state ubicate le sorgenti note o presunte e la portata e la concentrazione salina delle sorgenti principali (cap. 4; tav. 4 f.t.). Tali elementi sono illustrati nel dettaglio, assieme ai caratteri geochimici delle acque sotterranee, nei capitoli dedicati alle singole aree idrogeologiche (capp. 13-18). Si tratta di elementi assolutamente utili per stabilire le effettive potenzialità idriche degli acquiferi e i caratteri quantitativi e qualitativi della falda.

Questa Monografia può quindi rappresentare la base per un aggiornamento del Piano di Tutela delle Acque. Non è infatti di per sé risolutiva delle problematiche emerse dalla ricerca svolta, sinteticamente illustrate in queste conclusioni; tuttavia essa individua soluzioni concrete, la cui adozione spetta agli organi preposti alla difesa e al corretto uso del patrimonio idrico sotterraneo regionale.

30.12. - RISCOPRIRE LA CENTRALITÀ NELLA PIANIFICAZIONE E GESTIONE DELLE RISORSE IDRICHE SOTTERRANEE: IL RICORDO DEL SERVIZIO IDROGRAFICO NAZIONALE E DELL'ENTE IRRIGAZIONE

Nel primo ventennio del secolo scorso iniziava l'attività del Servizio Idrografico Nazionale, organismo statale con il compito di osservare e studiare sull'intero territorio nazionale la presenza delle acque naturali, superficiali e sotterranee. In poco più di mezzo secolo il Servizio Idrografico

ha svolto attività di grande valenza tecnico-scientifica, per poi decadere, a partire dai primi anni Settanta, a causa della disgregazione dei Geni Civili ed il successivo avvento delle Regioni. Il numero di stazioni di misura freaticometriche dell'Ufficio Idrografico in Puglia è passato da 118 nel 1930 a 19 nel 1996. Nell'ottobre 2002 gli Uffici Idrografici sono stati trasferiti alle Regioni, comportando orientamenti differenti in funzione della loro collocazione nell'ambito delle singole amministrazioni. Analogamente, va ricordato il lento svuotamento dell'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia, Lucania e Irpinia, istituito nel 1947, che ha in sostanza segnato la nascita della ricerca sulle acque sotterranee in Puglia. L'Ente, grazie alla presenza di colleghi di grande competenza, ha eseguito importanti ricerche sulle acque sotterranee, fornendo dati necessari alla corretta caratterizzazione dei corpi idrici sotterranei.

Il tramonto di Istituzioni costì importanti ha portato ad una dispersione delle conoscenze e delle energie, cui si è affiancato un contesto normativo sempre più complicato, la continua delega di competenze tra Stato e Regioni e la creazioni di nuovi Ministeri ed Agenzie, che ha reso sempre più frammentata e disorganica l'azione amministrativa.

Di recente la Regione Puglia ha trasferito le funzioni amministrative sul demanio idrico alle Province, di cui oggi si discute l'abrogazione. Regna insomma la più totale confusione, con il continuo trasferimento di funzioni tra amministrazioni, impreparate dal punto di vista culturale e tecnico, a farsi carico della gestione di un così importante patrimonio idrico.

La Monografia illustra il tipo di *management* virtuoso adottato in Florida (cap. 28), dove il Distretto del Sud (SWFMD), nato nel 1961 come semplice Agenzia di protezione dalle inondazioni, oggi accentra competenze estese all'approvvigionamento idrico, alla protezione della qualità delle acque e alla salvaguardia dei sistemi naturali connessi alle risorse idriche, su un territorio con superficie pari a quasi 26.000 km² e popolazione complessiva di quasi 5 milioni di abitanti. La gestione delle acque sotterranee in Florida è da qualche decennio basata su criteri osservazionali, con

interpretazioni rigorose del monitoraggio eseguite in tempo reale, che consentono di individuare e mitigare situazioni rischiose.

Nell'attuale quadro normativo ed amministrativo è necessario che la Regione Puglia risponda con decisione, centralizzando l'attività di pianificazione, gestione e monitoraggio delle risorse idriche sotterranee, e istituendo distretti capaci di applicare i corretti principi di gestione delle risorse idriche sotterranee, basati sul monitoraggio idrogeologico.

A venti anni dall'approvazione della legge Galli (L. 36/94) che ha reso le acque pubbliche, è necessario mettere da parte politiche incentrate su condoni e sanzioni e passare all'adozione di politiche di gestione basate sull'etica dell'acqua.

30.13. - LA PUGLIA È VERAMENTE *SITICULOSA*?

L'introduzione di questa Monografia ricorda il viaggio compiuto da Orazio nel I secolo a.C. lungo la Via Appia sino a Brindisi, in occasione del quale la nostra terra veniva definita "*Siticulosa*".

All'inizio degli anni Cinquanta del secolo scorso venivano scoperti gli aspetti peculiari della circolazione idrica sotterranea profonda, che si svolge nell'imponente acquifero carbonatico mesozoico regionale, dove le acque di falda galleggiano su acque di mare di intrusione continentale e defluiscono così verso la costa. Ciò ha consentito di stabilire il recapito delle acque di pioggia che insistono sul territorio regionale, con altezze medie annue dell'ordine di 500÷1.000 mm, fornendo un volume di pioggia annuo dell'ordine di 10 miliardi

di mc (di cui almeno il 30% alimenta gli acquiferi sotterranei regionali). Di conseguenza, questa regione non può considerarsi "*Apulia Siticulosa*", se solo si considera il volume di acqua di falda, alimentato dalle piogge e defluente verso la costa attraverso gli acquiferi carbonatici mesozoici fin qui illustrati. Gli acquiferi cretaci, in particolare, ricevono una ricarica annua pari a 2÷3 miliardi di mc. Le acque sotterranee regionali rappresentano quindi un vero e proprio enorme patrimonio idrico per questa regione. Basti pensare che il solo acquifero cretaco del Salento contiene un volume di acque sotterranea stimato in circa 15-30 miliardi di m³ (cap. 18).

È stato peraltro constatato che le principali sorgenti costiere note forniscono una portata complessiva dell'ordine di ben 20 m³/s (cap. 4), ossia circa un quinto della portata complessiva delle sorgenti verso costa, pari a più di un terzo dell'intero fabbisogno idrico regionale. Le osservazioni fin qui svolte stanno a dimostrare, in sostanza, che questa regione non può considerarsi "*siticulosa*"; piuttosto trattasi di una regione ben dotata di acqua, benché sotterranea, la quale deve essere utilizzata con mezzi culturalmente adeguati, evitando inutili sprechi. Viceversa, le modalità episodiche o improvvisate, con le quali il patrimonio idrico in parola viene gestito e usato, rappresentano "vera e propria violenza" nei confronti della risorsa, soprattutto a causa degli indiscriminati prelievi, per uso irriguo, il cui soddisfacimento potrebbe talora trovare adeguata pianificazione mirata alla salvaguardia quantitativa e qualitativa delle acque sotterranee.