

15. - AREA IDROGEOLOGICA DELLA MURGIA

15.1. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO E TETTONICO

La Murgia costituisce la più estesa unità idrogeologica presente in Puglia. Essa si estende dal fiume Ofanto sino all'allineamento Brindisi - Taranto, limitata da un lato dalla costa adriatica e dall'altro dalle scarpate che danno vita alla Fossa Bradanica (figg. 15.1, 15.2). La configurazione strutturale e morfologica della Murgia è stata già ampiamente delineata nel capitolo 1, cui si rimanda. Di seguito si riprendono dunque solo aspetti salienti condizionanti la circolazione idrica sotterranea murgiana.

15.1.1. - *Caratteri geo-litologici*

Da punto di vista geologico la Murgia è costituita essenzialmente da rocce carbonatiche di piattaforma, appartenenti alle formazioni geologiche del Calcarea di Bari (*Barremiano - Turoniano*) e dal Calcarea di Altamura (*Senoniano*). Le successioni di margine - scarpata, di età *Campaniano superiore-Maastrichtiano* (Calcarea di Ostuni e Calcarea di Caranna), affiorano unicamente nei dintorni di Ostuni (tav. 1 f.t. allegata al volume). Infine, ai bordi del complesso carbonatico murgiano, si rinvengono in trasgressione i depositi plioquaternari (Calcareniti di Gravina, Argille Subappennine e Depositi Marini Terrazzati, cap. 1), che, in piccoli lembi residuali, occupano anche talune aree interne della Murgia (tav. 1 f.t.).

Il Calcarea di Bari presenta spessori dell'ordine dei 2.000 m, ed è formato normalmente da una monotona sequenza di calcari detritici compatti e ben stratificati, spesso a grana fine o microcristallina che, nella parte alta della successione, si presentano nastroformi (calcari a chiancarelle). Di frequente, senza alcun ordine apparente, i calcari sono dolomitizzati. Dolomie e calcari dolomitici, occupanti la parte più bassa e media della serie (GRASSI, 1974), si rinvengono sia nel Calcarea di Bari sia nel Calcarea di Altamura, e condizionano fortemente le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero.

Nel Calcarea di Bari le dolomie di base affiorano solo in corrispondenza dell'anticlinale di Monte Acuto, lungo una ristretta fascia sviluppantesi dai dintorni di Andria fino a Nord di Corato. Le dolomie situate nella parte media della formazione sono spesso alternate con calcari dolomitici e con livelli di breccia calcarea - dolomitica. In generale i termini dolomitici possono rinvenirsi un po' ovunque nella sequenza carbonatica, sia come orizzonti interposti entro una successione calcarea, sia come litotipi prevalenti in seno alla stessa. Nel primo caso essi formano delle casuali intercalazioni o, talvolta, vere e proprie alternanze, come lungo la fascia costiera tra Giovinazzo e Mola. Lungo l'allineamento Andria - Corato - Terlizzi - Bitonto il tetto della successione dolomitica si approfondisce piuttosto rapidamente; nella zona di Terlizzi si posiziona a 500 m di profondità, mentre in prossimità di Bitonto raggiunge i 600 m di profondità.

Il Calcarea di Altamura, di spessore dell'ordine di 1.000 m, si differenzia dal Calcarea di Bari per una maggior frequenza di livelli macro - organogeni e biostromali, per il maggior spessore degli strati e per la presenza di tracce di emersione e di episodi salmastri (GRASSI, 1974). Nel calcarea di Altamura le dolomie occupano a luoghi la parte alta della serie, per uno spessore di un centinaio di metri. Queste sono ben visibili a Sud-Est del pulo di Altamura e si presentano cristalline e suddivise in banchi.

Particolarmente significativa ai fini della caratterizzazione della circolazione idrica sotterranea e della Vulnerabilità intrinseca dell'acquifero, è la presenza di intercalazioni siltitico - argillose, da considerarsi impermeabili, che, allorché a luoghi, si presentano discontinue e di spessore irrilevante; esse in alcuni casi danno vita a delle alternanze più potenti, che influenzano in modo significativo sia la circolazione idrica sotterranea sia l'alimentazione dell'acquifero.

15.1.2. - *Assetto morfo-strutturale*

L'elemento che segna il confine idrogeologico e morfo - strutturale tra le unità della Murgia e del Salento è rappresentato dalla Soglia Messapica, una paleostruttura riattivata dalla tettonica ed oggi sepolta dai sedimenti del ciclo plio - pleistocenico



Fig. 15.1 - Carta geologico-strutturale della Murgia. - *Geological-structural map of Murgia.*

(figg. 15.3, 15.4). La notevole difformità idrogeologica tra le due unità in parola è essenzialmente effetto di una evoluzione tettonico-carsica differenziata (GRASSI, 1983). Gli effetti di detta evoluzione sono stati tali che l'attuale ambiente idrogeologico della Murgia si è definito principalmente a seguito di eventi neotettonici, mentre l'ambiente del Salento ha sviluppato i propri caratteri attuali a seguito di una tettonica sia antica, sia recente. La porzione di piattaforma corrispondente all'attuale Murgia ha vissuto infatti una lunghissima fase di continentalità e solo agli albori del

Quaternario ha subito la prima ed unica ingressione marina, per cui il suo assetto morfostrutturale è dovuto essenzialmente alla neotettonica. L'evoluzione della rete idrica sotterranea è stata ivi favorita, in massima parte, da un vivace incarsimento ipogeo, legato ad un neocarsismo postcalabriano. Il processo paleocarsico, per quanto sviluppatosi in molti milioni di anni, è piuttosto epidermico, e quindi ha prodotto effetti poco significativi. Il processo neocarsico, invece, è stato principalmente sotterraneo e diaclastico, pilotato da una tettonica esplicitasi su un altopiano più

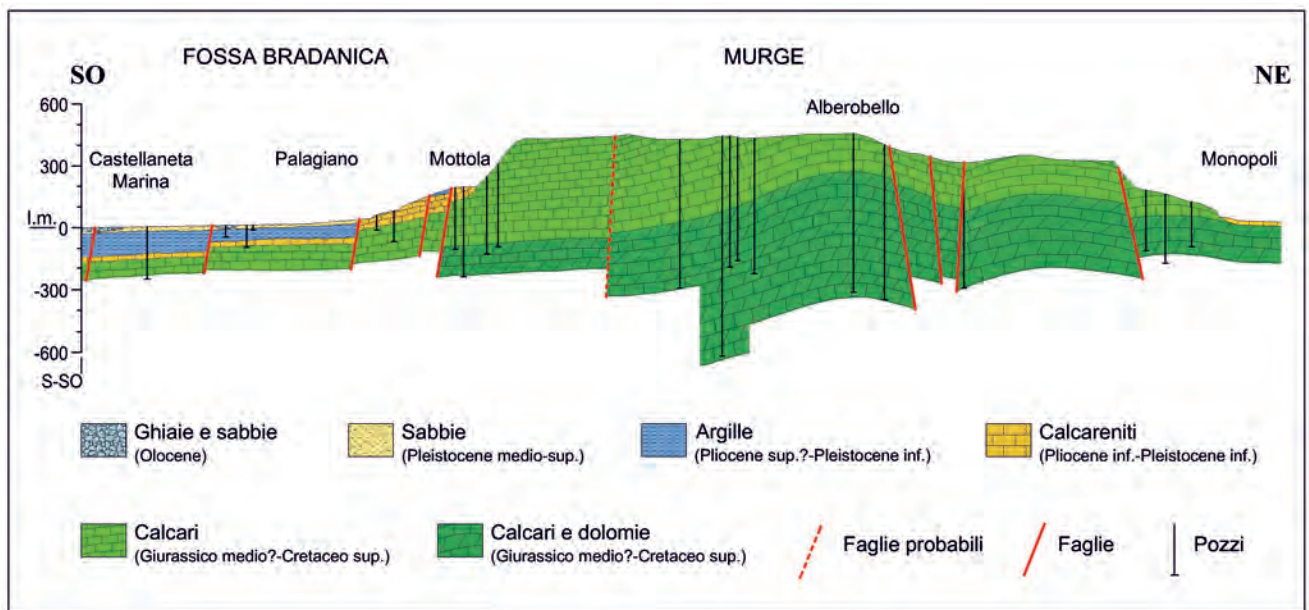


Fig. 15.2 - Sezione geologica schematica della Murgia.
- Schematic geological section of Murgia.

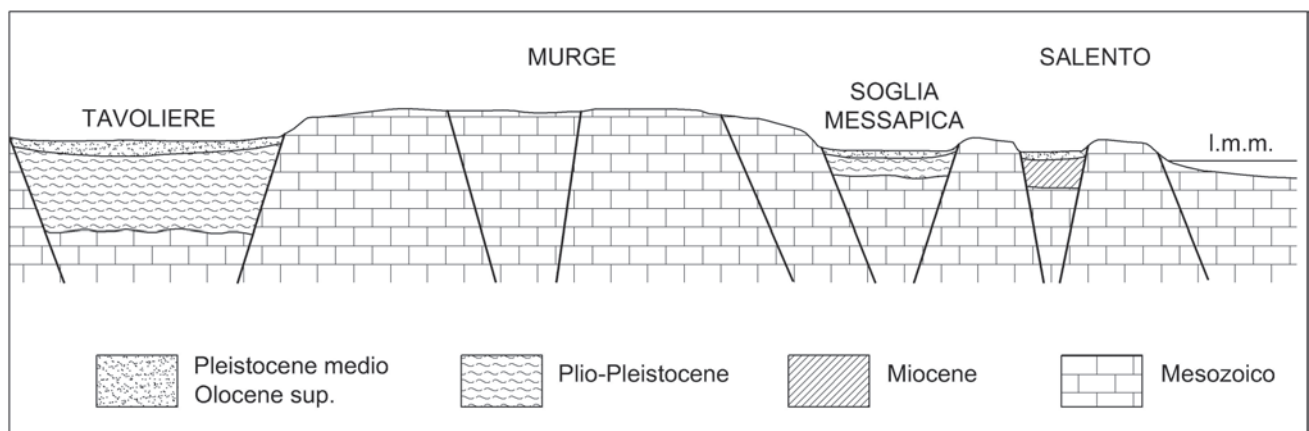


Fig. 15.3 - Sezione strutturale schematica, parallela alla costa adriatica, illustrante i rapporti fra l'unità murgiana e quelle limitrofe. (mod., da MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).

- Schematic structural section, parallel to the Adriatic coast, showing the relations between the Murgia unit and the nearby units (modified after MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).

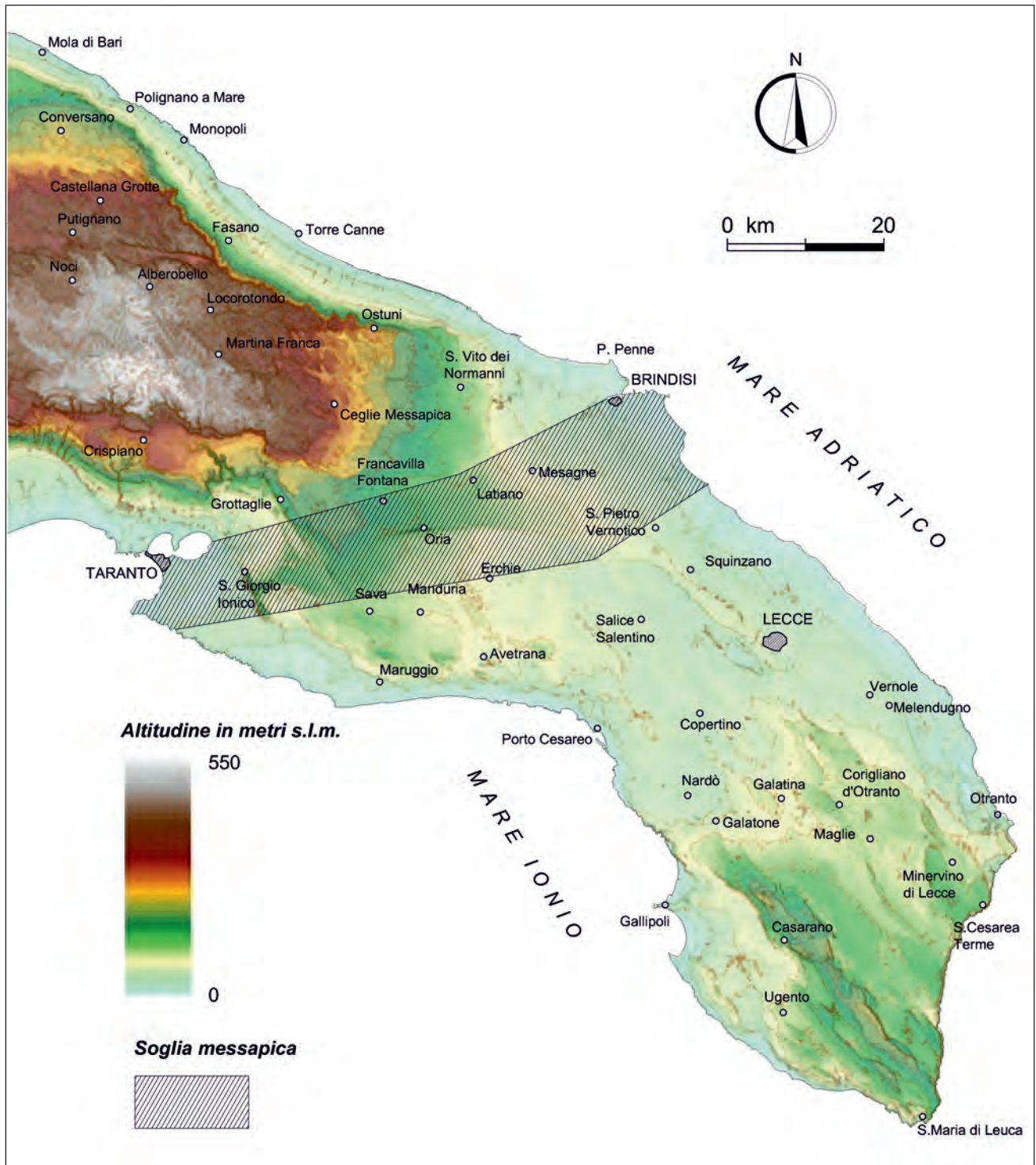


Fig. 15.4 - Digital Elevation Model (DEM) delle Murge Sud-Orientali e del Salento con indicazione della Soglia Messapica.
 - Digital Elevation Model (DEM) of Southern-Eastern Murge and Salento, with indication of the Soglia Messapica.

fratturato ed in via di sollevamento. La rete idrica sotterranea ha quindi raggiunto profondità mai raggiunte in precedenza, producendo un accentuato incarsimento. Detto incarsimento, sebbene esplicitosi in un arco di tempo relativamente breve, è stato

importante poiché incentivato dagli acquisiti valori di permeabilità, e dalla posizione dei punti di drenaggio (livello di base) e quindi delle significative velocità di drenaggio verticale nelle zone di percolazione e di deflusso sotterraneo.

I movimenti di subsidenza, che hanno portato all'ingressione pleistocenica, ed i successivi movimenti di sollevamento, hanno interessato in modo differenziale i diversi blocchi della piattaforma, sia a grande scala che a livello di blocchi elementari. Come conseguenza si osservano orizzonti rocciosi a diverso grado di permeabilità a diretto contatto laterale. Ciò, oltre che esaltare il carattere già marcatamente anisotropo della formazione, comporta la presenza di isole di roccia carbonatica fortemente permeabile inglobate in un insieme poco o per niente permeabile. In figura 15.5 vengono ad esempio riportati alcuni istogrammi di frequenza delle fratture determinati sulla base delle stratigrafie di pozzi variamente ubicati nella Murgia, con indicazione delle forme carsiche individuate. Essi indicano la forte eterogeneità dei livelli permeabili, che si presentano a diverse profondità, non sempre correlabili lateralmente. Si fa osservare che la stratigrafia relativa al pozzo ubicato in prossimità della città di Bitonto indica la quasi assenza di fratturazione e carsismo sino a profondità dell'ordine dei 480 m sotto il livello del mare.

In prossimità della costa il grado di fratturazione e di carsificazione diventa in genere più omogeneo e intenso, a luoghi confrontabile con quello tipico del Salento. Detta circostanza è confermata dalla distribuzione del coefficiente di permeabilità, che in alcune aree costiere della Murgia raggiunge i valori tipici della Penisola Salentina (tav. 3 f.t.).

Il movimento differenziale prodottosi fra il blocco salentino e quello murgiano durante il Quaternario in corrispondenza della Soglia Messapica, ha quindi fortemente condizionato l'assetto idrogeologico delle due aree (GRASSI, 1983). Le aree più interne della Murgia hanno subito un sollevamento anche dell'ordine dei 400÷450 m, superiore rispetto al Salento di almeno 250 m. Il movimento relativo tra i due blocchi attigui ha determinato l'apporto idrico esistente tra le due aree idrogeologiche. Il Salento, di molto più permeabile e meglio drenato dai mari, configura un'area di drenaggio delle acque di falda murgiana e la Soglia Messapica ha il ruolo di "zona cuscinetto", con caratteri idrogeologici di transizione.

Il passaggio dall'area idrogeologica della Murgia a quella del Tavoliere di Foggia è più netto del pas-

saggio a Sud con il Salento (GRASSI *et alii*, 1986). Il passaggio dai calcari mesozoici a notevoli profondità dell'area del Tavoliere di Foggia a quelli della Murgia avviene in corrispondenza della faglia dell'Ofanto (cap. 1). Tra le due aree si introduce la cosiddetta Piana di Barletta (COTECCHIA *et alii*, 1957), ossia un bassopiano leggermente inclinato verso il mare, con quote altimetriche che si aggirano intorno ai 50 - 60 m s.l.m. Essa rappresenta una zona di sprofondamento dei calcari cretacei, ricoperti da terreni più giovani, pliocenici e quaternari. Il distacco del basamento Cretacico dagli affioramenti di Andria e Canosa si verifica ad opera di faglie pressoché parallele ed orientate in direzione Est - Ovest. A ridosso della faglia dell'Ofanto i calcari cretacei continuano quindi ad approfondirsi sotto i terreni pleistocenici del Tavoliere ivi condizionando quindi la circolazione idrica profonda (cap. 14).

15.1.3. - *Carsismo*

Le ripetute variazioni di quota subite dal livello di base della circolazione idrica sotterranea ad opera dei movimenti relativi tra mare e continente nel Terziario e Quaternario, hanno notevolmente influenzato i processi di carsificazione, dando vita ad un carso policiclico (GRASSI *et alii*, 1982; GRASSI, 1983). Nella Murgia l'attività carsica non ha ovunque la stessa intensità ed evidenza. L'incarsimento sotterraneo è spesso molto più sviluppato di quello epigeo e si rinviene in ben definiti intervalli lungo la verticale mesozoica. Oggi si osservano apparati protocarsici il cui stato di fossilizzazione è ora del tipo olofossile completo (cavità riempite di bauxite nelle Murge di Spinazzola), ora olofossile incompleto, ora di tipo merofossile, ora giovanile. Ad aree manifestanti un macrocarsismo si affiancano aree interessate da un microcarsismo. Si rilevano poi aree in cui il fenomeno carsico è completamente assente, pur essendo i litotipi palesemente carsificabili.

Allo stato attuale non si hanno ancora sufficienti elementi per effettuare valide correlazioni sia fra i diversi orizzonti carsificati individuati lungo la verticale della serie mesozoica, sia fra questi ed i numerosi episodi di innalzamento e di abbassamento che il livello di base della circolazione idrica sotter-

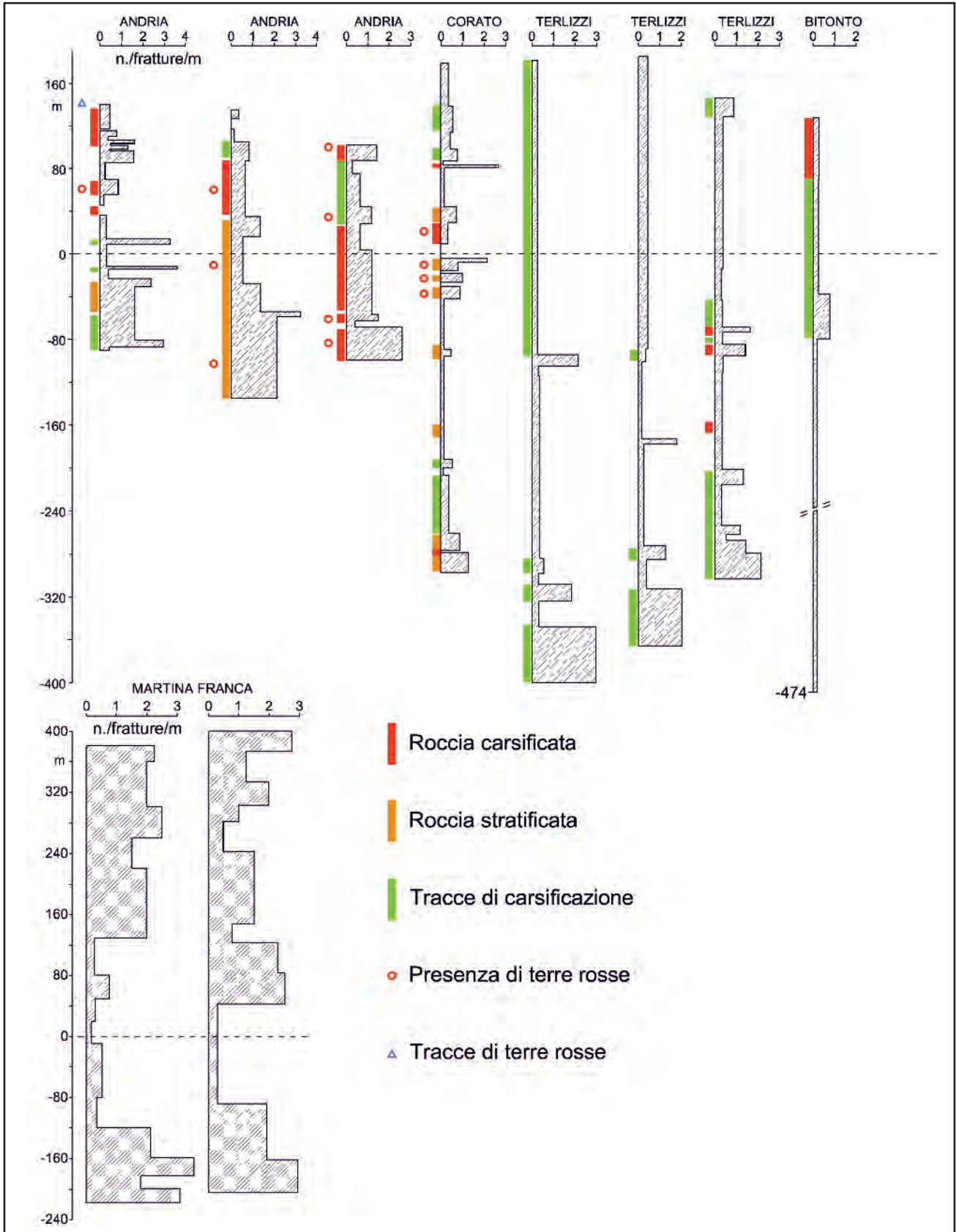


Fig. 15.5 - Istogrammi della frequenza delle fratture calcolata sulle carote estratte durante l'esecuzione di alcuni pozzi significativi della Murgia, con indicazione dello stato di incarsimento e presenza di terre rosse (mod., da GRASSI, 1983).

- Frequency histograms of fractures calculated on borehole cores extracted during the drilling of wells in Murgia, with indication of karst development and presence of terre rosse (modified, after GRASSI, 1983).

ranea ha subito fino ad oggi. Anche se le oscillazioni marine tirreniane ed oloceniche sono state ormai riconosciute e datate, mancano dati finalizzati al riconoscimento degli orizzonti carsificati. I pozzi terebrati che sinora hanno consentito di riconoscere localmente detti orizzonti non hanno infatti una distribuzione areale tale da consentire una loro correlazione. In linea generale si può però affermare che alla fine del Terziario le masse carbonatiche mesozoiche erano a luoghi già ben carsificate. Ciò è testimoniato dallo spessore con il quale la terra rossa ricopriva la superficie carsica, spesso riempita da depositi marini quaternari, così come testimoniato da numerosi pozzi e scavi a cielo nell'intera Murgia. Durante la regressione tardo - tirreniana, conclusasi con il livello del mare a 100÷120 m al di sotto di quello attuale, si è avuto un generale ringiovanimento delle morfologie carsiche di superficie, mentre in profondità gli effetti sono dipesi dal locale grado di evoluzione della rete idrica sotterranea. Laddove l'ambiente carsico era ancora giovane, gli effetti sono stati, in genere, modesti. La migrazione in profondità della circolazione idrica sotterranea ha però prodotto vistosi effetti riattivando apparati carsici già parzialmente fossilizzati dalla precedente trasgressione. Flussi prima sub orizzontali si sono evoluti in senso verticale. In alcuni casi i condotti di tipo fluviale sono stati definitivamente abbandonati, come avvenuto per le Grotte di Castellana. Durante la successiva trasgressione flandriana, tutt'ora in corso, l'evoluzione degli apparati carsici è stata frenata ed è stato favorito l'intasamento della rete idrica da parte delle terre rosse. L'innalzamento della circolazione idrica sotterranea è andata quindi ad interessare un ambiente carsico reso molto complesso dai precedenti fenomeni di trasgressione e regressione. Molti condotti hanno cominciato a funzionare in pressione, come ad esempio succede in corrispondenza di sorgenti carsiche ascendenti sottomarine, che oggi si rinvencono nelle immediate vicinanze della linea di costa.

Visto nel suo insieme il carsismo murgiano si presenta quindi molto elaborato ed a luoghi in un avanzato stadio di sviluppo, sia per il gran numero di varietà di forme carsiche di superficie, sia per la complessa vascolarizzazione ipogea. La copertura di terre rosse, talora spessa, è in larga parte effetto

della notevole influenza che la componente climatica ha esercitato sull'incarsimento della regione. Agendo in modo preferenziale sulle fratture e producendo abbondante terra rossa, la carsificazione assoggetta infatti i calcari murgiani a due opposte tendenze, i cui effetti concorrono a far sì che la rete ipogea subisca una continua e complessa evoluzione. L'azione del carsismo tende a migliorare i caratteri di permeabilità dell'acquifero carbonatico, ed allo stesso tempo apporta gradualmente incrementi nelle capacità di immagazzinamento. La terra rossa, per contro, riduce sia l'infiltrazione dalla superficie sia la permeabilità e la capacità di immagazzinamento.

15.2. - CARATTERISTICHE DI PERMEABILITÀ DEI CALCARI CRETACEI

Lo stato di fratturazione conseguente alle vicissitudini tettoniche cui la regione è andata incontro, insieme all'incarsimento, determinano i caratteri di permeabilità dell'acquifero murgiano, differenziandolo in modo sostanziale dalle altre aree idrogeologiche regionali, sia nell'interazione con l'acqua di mare, sia nella distribuzione delle quote piezometriche (COTECCHIA, 2005).

Una delle caratteristiche idrogeologiche peculiari dell'acquifero murgiano è quella di possedere, in generale, una permeabilità piuttosto bassa, marcatamente disomogenea e anisotropa, specie alle profondità ove è presente la falda carbonatica profonda (GRASSI, 1973; 1983; GRASSI *et alii*, 1977; GRASSI & TADOLINI, 1974). Infatti, generalmente al di sotto del livello marino, a luoghi anche a profondità dell'ordine dei 400-500 m sotto il livello mare, la fratturazione è assente o scarsa e discontinua. Solo a luoghi, e spesso senza nessun ordine apparente, in questo insieme praticamente impermeabile si rinvencono livelli o isole di roccia particolarmente fratturata e più o meno interessata dal carsismo. Ne discende che lungo una stessa verticale, sia al di sopra sia al di sotto del livello mare, frequentemente si rinvencono livelli rocciosi a permeabilità estremamente variabile. I singoli livelli maggiormente permeabili, separati tra loro da livelli di roccia praticamente impermeabile, presentano spessori variabili dall'ordine di qualche metro

sino all'ordine delle decine di metri e sono spesso non correlabili tra loro. Tuttavia, facendo riferimento ad una scala territoriale, è possibile ricavare informazioni generali sulla circolazione idrica sotterranea, anche quando, come succede nell'Alta Murgia, la falda è in pressione a profondità notevolissime, circostanza invero insolita per un acquifero carsico collegato idraulicamente con il mare.

Nelle porzioni costiere si ha invece che la falda circola in genere in condizioni freatiche, benché sia possibile anche qui rilevare localmente una circolazione idrica confinata a notevoli profondità, come succede ad esempio nella zona Ruvo - Terlizzi (MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004), o in prossimità di Bitonto.

Come già detto, il passaggio dall'ambiente idrogeologico murgiano a quello salentino avviene attraverso la Soglia Messapica, che in termini idrogeologici può essere identificata come una fascia, larga circa 12 km, che congiunge Brindisi - Francavilla Fontana - Taranto - Manduria - S. Pietro V. (fig. 15.4). In detta area si ha un graduale passaggio dai caratteri di permeabilità tipici dell'acquifero murgiano a quelli dell'acquifero salentino (tav. 3 f.t.; fig. 15.6). L'incremento di permeabilità che si sviluppa attraverso la Soglia Messapica determina una notevole riduzione delle quote piezometriche e quindi dello spessore della lente di acqua dolce, cui consegue una variazione del chimismo delle acque a causa dalla contaminazione marina.

L'acquifero carbonatico murgiano, permeabile per carsismo e fratturazione, non sempre è assimilabile ad un mezzo poroso equivalente. L'applicabilità di detto modello andrebbe quindi valutata per ogni caso specifico, in base alle condizioni idrogeologiche locali ed alla scala del problema. Ai fini della redazione della tavola 3 (f.t.) si è ritenuto accettabile detta equivalenza, stante la scala ed il carattere descrittivo di detta carta tematica. I valori di permeabilità qui indicati per la Murgia vanno quindi assunti con cautela, tenendo conto che in talune aree, come ad esempio nelle porzioni centrali dell'Alta Murgia, non è stato ancora possibile indagare i rapporti esistenti tra la permeabilità della formazione ed il suo stato di fratturazione ed incarsimento.

La distribuzione del coefficiente di permeabilità calcolata per l'Area Idrogeologica della Murgia se-

condo i criteri illustrati nel capitolo 2 (tav. 3 f.t.; fig. 15.6) evidenzia una variazione del coefficiente di permeabilità da valori significativamente elevati, dell'ordine del cm/s per alcune porzioni costiere del territorio (es. litorali di Barletta, Bari e a Sud di Monopoli), a valori molto bassi, dell'ordine di 10^{-5} cm/s nelle porzioni centrali dell'Alta Murgia, ove l'acquifero è presente a diverse centinaia di metri sotto il livello del mare. Anche in prossimità della costa si rilevano valori piuttosto bassi del coefficiente di permeabilità, dell'ordine di 10^{-3} cm/s, come succede in prossimità degli abitati di Bisceglie e Giovinazzo, il che condiziona le modalità di efflusso della falda a mare.

Interessante risulta il confronto tra il coefficiente di permeabilità dell'acquifero e la penetrazione dei pozzi in falda, intesa come la distanza tra la superficie di falda ed il fondo pozzo. Come si può osservare in figura 15.7, per valori del coefficiente di permeabilità maggiori di 10^{-1} cm/s circa, non si rinvencono mai penetrazioni maggiori di 100 m circa. Penetrazioni superiori a 300 m sono invece adottate quando il coefficiente di permeabilità è inferiore a 10^{-5} cm/s circa. Il valore del coefficiente di permeabilità medio dell'acquifero in sostanza guida il comportamento del perforatore che, in presenza di un acquifero poco permeabile, è costretto ad incrementare la penetrazione del pozzo al fine di incrementarne la portata specifica, esigenza questa non presente nel caso di acquifero molto permeabile (GRASSI & TULIPANO, 1983).

15.3. - ALIMENTAZIONE DELL'ACQUIFERO PROFONDO

La ricarica dell'acquifero carbonatico profondo della Murgia è dovuta alle precipitazioni atmosferiche insistenti nell'area. In particolare, le piogge del semestre ottobre-marzo rappresentano circa il 70÷80% delle piogge annuali ed in detto periodo è minima la evapotraspirazione (COTECCHIA, 1958; GRASSI, 1973).

Le piogge nelle parti centrali della Murgia raggiungono altezze medie annue dell'ordine di 600-700 mm, e tendono a diminuire verso la costa Nord-occidentale, dove raggiungono valori dell'ordine dei 500 mm (cap. 7). Questa disuniformità di apporto pluviometrico, l'eterogeneità dei terreni di

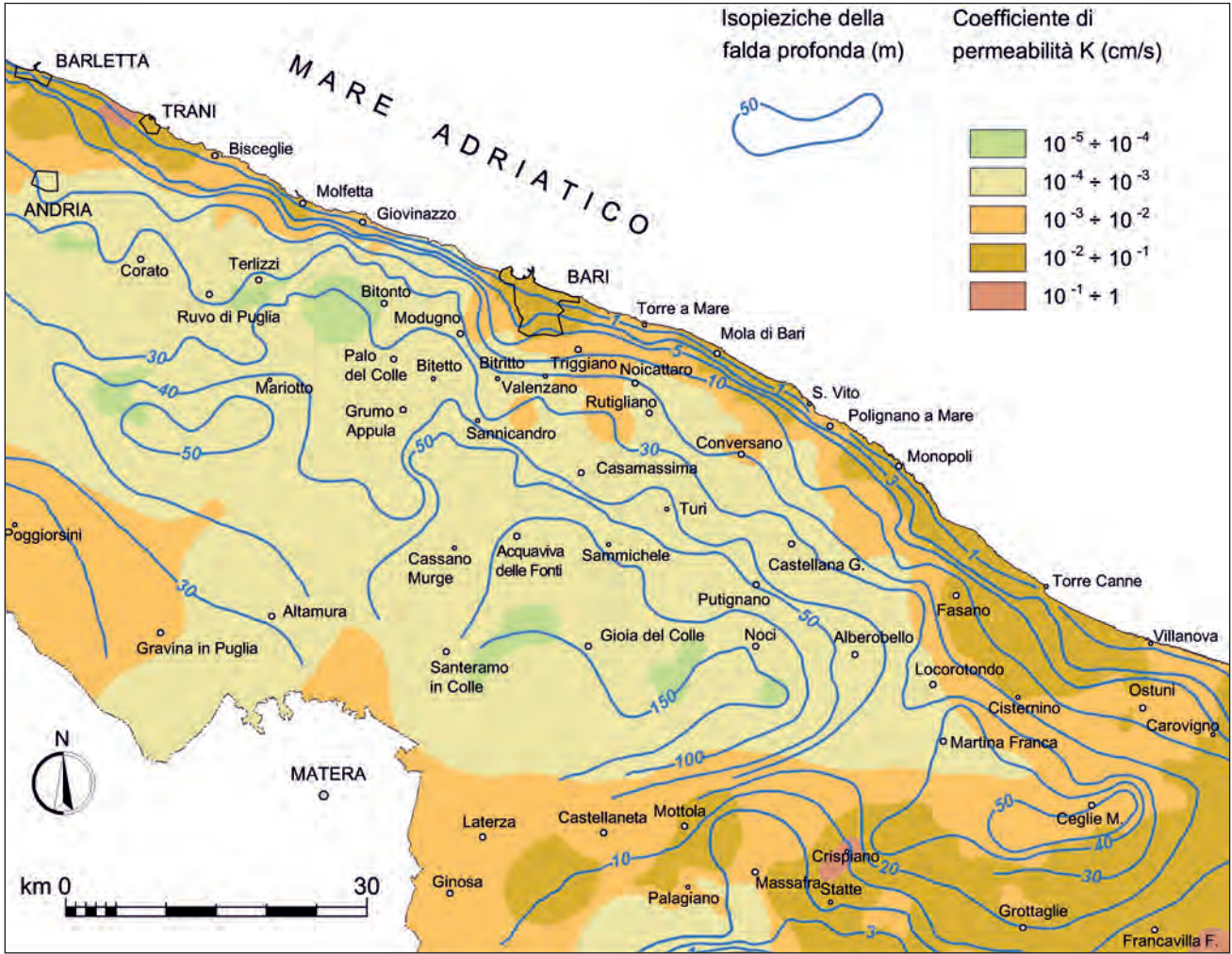


Fig. 15.6 - Isopeziche della falda idrica profonda e distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero carbonatico appartenente all'area idrogeologica della Murgia.

- Water table contour lines of the deep aquifer, and permeability coefficient distribution of the carbonate aquifer in the Murge hydrogeological area.

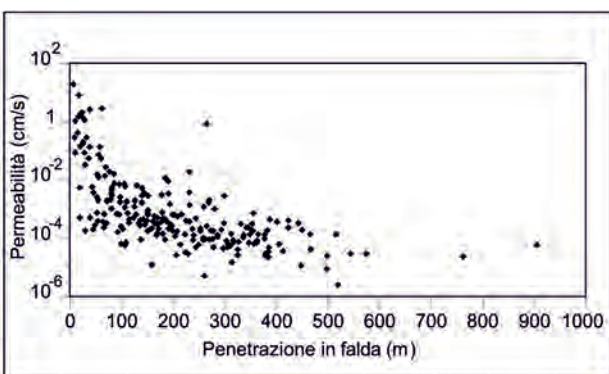


Fig. 15.7 - Penetrazione in falda e coefficiente di permeabilità determinati per un elevato numero di pozzi appartenenti all'area idrogeologica della Murgia.

- Well penetration and permeability coefficient determined for a high number of wells in the Murge hydro-geological area.

copertura e il diverso grado di incarsimento delle rocce cretache, affioranti e non, rendono disuniforme il tasso di ravvenamento dalla falda profonda.

L'infiltrazione avviene sia in forma diffusa sia in forma sostanzialmente concentrata. La ricarica diffusa si sviluppa sostanzialmente in quelle aree dotate di una fratturazione e di un carsismo uniformi. Lì dove il carsismo, la fratturazione della roccia, nonché le condizioni morfostrutturali lo consentono, si sviluppano invece ruscellamenti superficiali localizzati in bacini endoreici, ove si esplica una ricarica essenzialmente concentrata.

Nell'Alta Murgia i terreni di copertura sono praticamente assenti, manca una sostanziale vegetazione arborea ed il carsismo raggiunge il suo massimo sviluppo, per cui l'infiltrazione avviene essenzialmente in modo concentrato. In dette zone assume un ruolo importante l'immagazzinamento nell'epicarso ed alle profondità sovrastanti l'acquifero, che, anche quando poco permeabili, possono

immagazzinare significativi volumi idrici.

Alle quote più basse, invece, i calcari sono in strati suborizzontali o debolmente inclinati, i terreni di copertura e la vegetazione arborea occupano vaste aree ed il carsismo è presente in superficie con poche ed atipiche forme, per cui l'infiltrazione avviene sostanzialmente in modo diffuso (GRASSI, 1974). Va però evidenziato che un'infiltrazione diffusa non necessariamente da origine ad un drenaggio sotterraneo altrettanto diffuso. Non mancano, infatti, situazioni in cui in seno alla massa calcarea sono presenti orizzonti o isole maggiormente permeabili per fratturazione locale che canalizzano il drenaggio sotterraneo. Viceversa, un'infiltrazione concentrata può dar vita ad una circolazione idrica sotterranea diffusa, laddove la roccia è dotata in profondità di elevata permeabilità per fessurazione intensa e uniformemente distribuita.

In generale per la Murgia si stima una ricarica media annua dell'acquifero profondo dell'ordine di 1.000 Mmc (COTECCHIA, 1958; COTECCHIA & TADOLINI, 1993, DE GIROLAMO *et alii*, 2002; PTA, 2009). Le acque di infiltrazione, oltre che defluire verso il Mar Adriatico ed il Mar Ionio, si riversano nell'adiacente unità idrogeologica del Salento, con una portata variabile nell'intervallo 8-10 mc/s (COTECCHIA, 1979a), che corrisponde a circa il 25% della ricarica totale. Esse inoltre si riversano anche nei calcari profondi del Tavoliere e della Fossa Bradanica.

Al fine di redarre un credibile bilancio idrico dell'acquifero murgiano è necessaria sia la stima degli emungimenti attuati con le opere di captazione (cap. 2), sia la valutazione delle portate d'acqua verso le altre aree idrogeologiche innanzi dette. È necessario, inoltre, fare una distinzione tra le opere di captazione che attingono dalla porzione della falda che ha recapito finale nel Mar Adriatico, da quelle invece che attingono alle porzioni di falda che effluiscono nel Salento, nell'Arco Ionico Tarantino, nel Tavoliere e nella Fossa Bradanica. Detta analisi dovrebbe essere di base per una definizione razionale della distribuzione sul territorio delle opere di captazione, che dovrebbe essere relazionata alle effettive disponibilità idriche delle diverse porzioni dell'acquifero, oggi individuabili sulla base della distribuzione delle quote piezometriche e del coefficiente di permeabilità (tavv. 3, 4 f.t.).

15.4. - PIEZOMETRIA DELLA FALDA PROFONDA

La distribuzione delle quote piezometriche dell'acquifero carbonatico murgiano (tav. 4 f.t.; fig. 15.6) è sostanzialmente differente per le tre porzioni che lo compongono (Alta Murgia, Media Murgia e Bassa Murgia) ed è fortemente condizionata dalla distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero.

La permeabilità relativamente bassa che caratterizza l'acquifero nell'Alta Murgia determina una cadente piezometrica molto elevata, che raggiunge anche valori dell'ordine di alcuni punti per cento, a fronte di modeste cadenti piezometriche, di pochi decimi per mille, nelle zone costiere della Bassa Murgia, di permeabilità molto elevata. Nell'Alta Murgia si registrano le altezze piezometriche più elevate della falda profonda regionale, dell'ordine di 200 m s.l.m. (COTECCHIA, 1992a; 1992b, 2003; 2005). La Media Murgia è caratterizzata da valori di cadente piezometrica dell'ordine di alcuni punti per mille, quindi intermedi tra quelli dell'Alta Murgia e della Bassa Murgia. Detti valori di cadente piezometrica si presentano anche nelle zone costiere meno permeabili, dove le quote piezometriche si mantengono piuttosto elevate, assumendo valori dell'ordine di alcuni metri s.l.m.

Nelle aree costiere le quote piezometriche risentono in modo significativo delle oscillazioni del livello mare, sia per la vicinanza dalla costa, sia per l'elevata permeabilità. Le connesse variazioni nel tempo delle quote piezometriche sono però modeste, in genere inferiori al metro. Nelle aree interne le variazioni delle altezze piezometriche sono invece strettamente connesse alle condizioni di ricarica, che possono generare escursioni anche dell'ordine delle decine di metri (cap. 2).

Le altezze piezometriche della falda hanno subito negli ultimi decenni significativi decrementi, apprezzabili soprattutto nelle porzioni della Media Murgia ed Alta Murgia (POLEMIO & DRAGONE, 1999; POLEMIO *et alii*, 2009; POLEMIO *et alii*, 2011), determinati da condizioni di sovrasfruttamento della falda. Nelle aree costiere le riduzioni di quota piezometrica conseguenti agli emungimenti sono inferiori, e ciò in quanto la falda risente degli emungimenti maggiormente come sollevamento

ed aumento di spessore della zona transizione all'acqua di mare, e quindi come incremento della concentrazione salina.

La distribuzione delle quote piezometriche riflette molto bene quella del coefficiente di permeabilità (fig. 15.6). Partendo dall'area Nord, si riconosce una prima via preferenziale di drenaggio determinata dalla elevata permeabilità dei calcari lungo il litorale compreso tra Barletta e Trani, che determina un arretramento delle curve isopieziche a partire già da est di Andria, ed un deflusso non ortogonale alla costa, bensì diretto verso la città di Trani (COTECCHIA *et alii*, 1957), sede di importanti sorgenti (cap. 4). Analoga situazione viene a determinarsi in prossimità della città di Bari e di Monopoli. Nelle aree poste a Nord ed a Sud della città di Ostuni, si osserva un arretramento delle curve isopieziche, che avanzano invece in prossimità dell'abitato di Ostuni, ove il coefficiente di permeabilità dell'acquifero subisce una riduzione di circa due ordini di grandezza. L'arretramento delle curve piezometriche a Nord di Ostuni indica chiaramente il drenaggio operato sulla falda da parte delle importanti sorgenti ubicate a Sud di Torre Canne.

Nella zona Sud dell'acquifero murgiano, si osservano gli effetti dell'incremento del coefficiente di permeabilità caratterizzante il passaggio alla limitrofa Area Idrogeologica del Salento, ove le altezze piezometriche e la cadente piezometrica sono notevolmente inferiori. Così, a partire da Gioia del Colle e procedendo verso Sud-Est, si rileva un efflusso della falda murgiana in quella salentina, con linee di flusso che, partendo dalla porzione Sud-orientale dall'Alta Murgia, si sviluppano grossomodo a raggiera. A partire da Gioia del Colle, dove le altezze piezometriche assumono valori dell'ordine di 150÷200 m s.l.m., si perviene quindi Martina Franca, dove raggiungono valori di circa 50 m s.l.m., e dove vi è un ulteriore contributo alla ricarica. Procedendo ancora verso Sud-Est, si rileva poi il graduale incremento del coefficiente di permeabilità e la conseguente riduzione delle quote piezometriche che, in prossimità dell'allineamento Brindisi - Taranto, raggiungono i valori tipici della penisola salentina, dell'ordine di alcuni metri sul livello del mare. A partire da Martina Franca si ha inoltre l'efflusso della falda mur-

giana nel mar Adriatico in corrispondenza della Piana di Brindisi (cap. 16) e nel mar Ionio in corrispondenza dell'Arco Ionico Tarantino (cap. 17).

Lo spartiacque idrogeologico sotterraneo tra il settore adriatico e quello bradanico coincide sostanzialmente con la zona topograficamente più elevata della Murgia e risulta molto spostato verso la fossa bradanica. Tuttavia è incerto il recapito finale delle acque meteoriche insistenti sull'altopiano murgiano e che si riversano nella Fossa Bradanica. Allo stato attuale manca infatti una dettagliata ricostruzione delle isopieziche in detta area, per la quale è invece stato possibile ricostruire l'andamento del tetto dei calcari (tav. 2 f.t.). I sedimenti impermeabili della Fossa Bradanica dovrebbero costringere dette acque a riversarsi nel Mar Ionio, a Sud-Ovest della città di Taranto (MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004; FIDELIBUS, 2007).

Infine, è incerta anche la distribuzione delle caratteristiche di permeabilità e delle quote piezometriche nelle zone di passaggio tra i calcari mesozoici della Murgia a quelli del Tavoliere di Foggia, per la cui analisi, eseguita con i dati sino ad oggi disponibili, si rimanda al capitolo 14.

15.5. - CONDIZIONI DI EFFLUSSO A MARE DELLE ACQUE DI FALDA

L'efflusso a mare della falda si esplica attraverso sorgenti sub aeree o sottomarine. Sorgenti salmastre vengono spesso a giorno dai giunti di stratificazione e dalle fessure presenti nei calcari, e sono note localmente con il nome di Acque di Cristo (GRASSI, 1973). Solo di rado si osservano sorgenti caratterizzate da portate significativamente maggiori, come accade nel tratto di litorale compreso tra Monopoli ed Ostuni, ove sono ubicate le note sorgenti di Torre Canne. Nella Murgia Nord-orientale le uniche manifestazioni sorgentizie degne di rilievo sono presenti nel tratto costiero Barletta - Trani, mentre nella porzione Sud-occidentale vi sono le più importanti manifestazioni sorgentizie, costiere e sottomarine, che caratterizzano l'Arco Ionico Tarantino (capp. 4 e 17).

Nella Murgia, come per il Salento ed il Gargano, molto spesso il luogo dei punti estremi dell'interfaccia teorica acqua dolce - acqua di mare

(cap. 2), non coincide con la linea di costa, ricadendo molto spesso in mare (COTECCHIA *et alii*, 1957; GRASSI, 1973). Detta circostanza porta ad ipotizzare l'esistenza di ulteriori sorgenti sottomarine non note al largo della costa. Va poi evidenziato che la presenza di efflussi diffusi presso costa sfugge molto spesso ai tentativi di censimento delle sorgenti costiere.

Le sorgenti costiere note sono quindi solo una piccola parte di quelle effettivamente esistenti, e ciò può essere dimostrato anche da alcune valutazioni sul rapporto esistente tra la ricarica dell'acquifero e la portata complessiva delle sorgenti note.

La ricarica stimata per l'acquifero abbiamo visto essere pari a circa 1.000 Mm³. Se a detto valore di ricarica sottraiamo la portata d'acqua che dall'acquifero murgiano si riversa in quello salentino, che abbiamo visto essere dell'ordine di 250 Mm³, si ottiene una portata pari a circa 750 Mm³, che rappresenta quindi la portata d'acqua che si riversa nel Mar Adriatico e nei calcari cretacei della Fossa Bradanica e del Tavoliere di Foggia. L'analisi della superficie piezometrica della falda indica che questi ultimi due contributi sono da ritenere modesti rispetto al deflusso verso il Mar Adriatico, per cui la somma delle portate medie delle principali sorgenti, che è dell'ordine di 100 Mm³, è sicuramente una sottostima della portata che effettivamente defluisce nel Mar Adriatico.

I dati idrogeologici e idrochimici sino ad oggi disponibili sulle sorgenti dell'Area Idrogeologica della Murgia sono stati già analizzati nel capitolo 4.

15.6. - INTRUSIONE MARINA

I calcari cretacei della Murgia sono interessati dall'intrusione marina, che condiziona la circolazione idrica sotterranea. Allo stato attuale è stato possibile accertare l'esistenza di acqua di mare intrusa nel continente alla base dell'acqua di falda solo nelle porzioni di territorio murgiano più prossime alla costa, a distanze dell'ordine di alcuni chilometri. Va tuttavia evidenziato, secondo quanto già illustrato nel capitolo 2, che acqua salata, di presumibile origine marina, è stata rinvenuta nel pozzo Gaudiano (Lavello) a 1.400 m di profondità, ad una distanza di circa 40 km dalla costa, e nei

pozzi profondi di ricerca petrolifera eseguiti nella valle del Bradano, a profondità dell'ordine delle migliaia di metri. Tali rilievi sembrano quindi indicare che l'intera falda profonda murgiana sia galleggiante su acqua di mare.

Nelle aree costiere, ove si dispone di "pozzi spia", ossia di pozzi la cui profondità è tale da raggiungere l'acqua di mare alla base della falda idrica, è stato possibile osservare che la salinità delle acque di falda aumenta con la profondità ed il passaggio alla sottostante acqua di mare avviene attraverso una zona di transizione. Questa presenta, tuttavia, caratteristiche molto differenti da caso a caso, in relazione alle locali condizioni idrogeologiche, ossia ai valori della permeabilità ed alle condizioni idrauliche al contorno.

Nel paragrafo 15.8 saranno descritti i rapporti esistenti tra la falda di acqua dolce e l'acqua di mare in prossimità della costa in corrispondenza della città di Bari, ove la falda presenta modeste cadenti piezometriche (dell'ordine di alcuni decimi per mille) e circola in condizioni freatiche. Di seguito sono invece illustrati alcuni casi singolari di rilievi salinometrici eseguiti lungo pozzi spia in altri siti, a pochi km dalla costa, ove la circolazione idrica si svolge in pressione, sia a causa della presenza di livelli di roccia compatta, sia per la presenza di materiali poco permeabili. Si tratta di casi che, benché isolati e non necessariamente rappresentativi dell'intera area idrogeologica, sono di un certo interesse al fine di comprendere le varietà di situazioni che possono riscontrarsi nell'Area Idrogeologica della Murgia.

In prossimità del litorale di Barletta, a circa 5 km di distanza dalla costa, si osserva in corrispondenza del pozzo PS3BA il passaggio all'acqua di mare ad una quota pari a circa -320 m s.l.m. (fig. 15.8a). L'altezza piezometrica della falda misurata nel 1996 è pari a circa 7 m s.l.m. ed il tetto della falda (rinvenimento idrico) è a quota pari a circa -270 m s.l.m. L'acqua di falda tra -270 m e -320 m s.l.m. presenta però una salinità notevole, tipica della zona di transizione. L'applicazione della legge di Ghyben - Herzberg per detto pozzo fornisce un coefficiente:

$$\gamma[-] = \frac{\rho_d}{\rho_s - \rho_d} = 40, \quad (15.1)$$

superiore quindi a quello teorico, pari a circa 33,

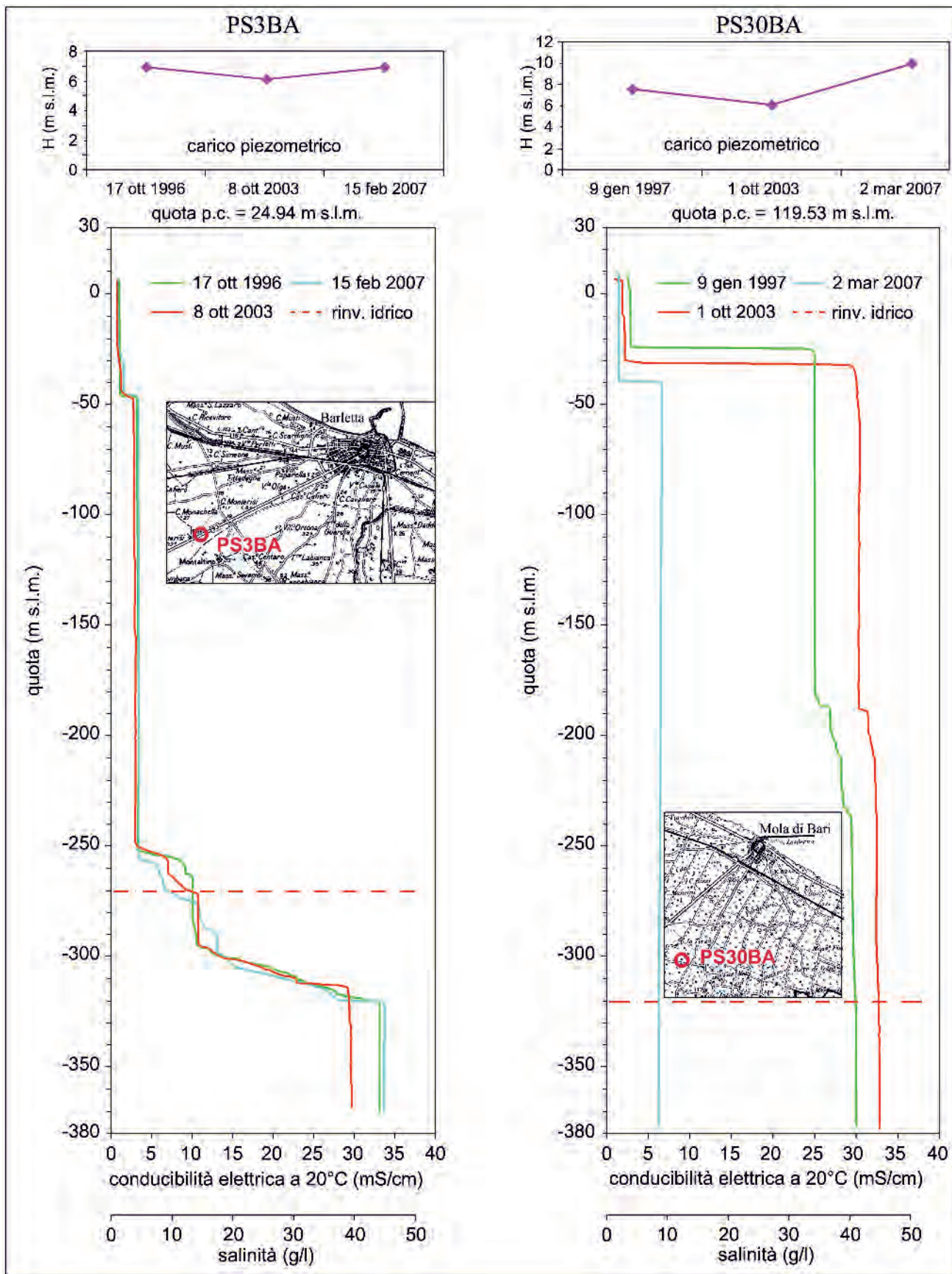


Fig. 15.8 - Log salinometrici e quote piezometriche misurate nel pozzo spia PS3BA, ubicato in agro di Barletta (a) e PS30BA ubicato in agro di Mola di Bari (b).
 - Salinity logs and piezometric beads measured in the observation wells PS3BA, located in the territory of Barletta (a), and PS30BA, located in the territory of Mola di Bari (b).

che si ottiene assumendo per il Mare Adriatico una densità $\rho_s = 1029,9$ g/l e per la falda di acqua dolce $\rho_d = 1000$ g/l, e ciò per le ragioni già ampiamente illustrate nei capitoli 2 e 5. Il confronto tra il *log* eseguito nel 1996 e quello eseguito nel 2003 per detto pozzo, da considerare valido per profondità superiori a quella del tetto della falda, segnala un sollevamento del tetto dell'acqua di mare di circa 10 m in 7 anni ed un incremento di salinità della falda nelle sue porzioni superiori, coerente con la riduzione della quota piezometrica rilevata tra le due date. In seguito, nel 2007, si è rilevato un incremento di quota piezometrica, cui consegue un nuovo coerente abbassamento del tetto dell'acqua di mare.

Il pozzo PS30BA ubicato in agro di Mola di Bari ad una distanza dalla costa pari a circa 6 km (fig. 15.8b), l'altezza piezometrica nel 1996 è risultata pari a circa 8 m s.l.m., per cui l'interfaccia teorica, in accordo con la relazione di Ghyben - Herzberg, dovrebbe disporsi ad una profondità dell'ordine di $-260 \div -270$ m s.l.m. A causa della presenza di livelli di roccia poco permeabili poiché scarsamente fratturati, l'acquifero è stato però rinvenuto ad una profondità superiore, pari a circa -320 m s.l.m., e ciò giustifica l'elevato contenuto salino riscontrato per la falda. Tra il 1997 ed il 2003, analogamente a quanto osservato per il pozzo PS3BA, si è osservato un incremento di salinità in accordo con la riduzione misurata della quota piezometrica. Ancora, nel 2007 si è misurato un significativo incremento della quota piezometrica ed una coerente riduzione della salinità delle acque di falda.

Il miglioramento della qualità delle acque di falda evidenziato nell'anno 2007 per i due pozzi spia qui esaminati è però da considerarsi solo un caso locale. Come vedremo infatti nel paragrafo 15.10, anche sulla base di determinazioni chimiche di laboratorio e di *log* termo - salinometrici eseguiti in pozzi che non si attestano nell'acqua di mare, sono ampie le porzioni di territorio murgiano sede, nel recente passato, di peggioramento della qualità delle acque di falda a causa della intrusione marina.

Nelle porzioni di territorio poste ad una distanza dalla linea di costa maggiore di $5 \div 6$ km

manca, come dianzi detto, un campione significativo di dati idrogeologici per l'analisi delle condizioni di equilibrio esistenti tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare. Le due sezioni idrogeologiche della Murgia riportate nella Carta Idrogeologica (Sezioni II-II' e III-III' in tav. 4 f.t.) riportano, infatti, la distribuzione della concentrazione salina delle acque di falda solo per le porzioni costiere. La prima sezione idrogeologica è stata tracciata tra la città di Bari e Matera, sino ad arrivare nella Valle del Bradano. L'isosalina corrispondente a 40 g/l, che in generale indica il tetto dell'acqua di mare intrusa nel continente e quindi il letto della zona di transizione, è stata tracciata a partire dal mar Adriatico solo per pochi chilometri entro terra. In corrispondenza della Valle del Bradano detta isosalina è stata tratteggiata in quanto rappresentante solo l'interfaccia teorica che, in relazione alla quota piezometrica misurata è possibile desumere dall'applicazione della legge di Ghyben - Herzberg. Non si è volutamente tracciato, neanche in tratteggio, il tetto dell'acqua di mare nelle porzioni più centrali della Murgia, in quanto l'applicazione della legge di Ghyben - Herzberg avrebbe comportato il posizionamento dell'acqua di mare a migliaia di metri sotto il livello del mare, stante le notevoli quote piezometriche misurate per la falda. Come vedremo nel paragrafo 15.7, è dunque necessario ivi condurre degli approfondimenti delle indagini idrogeologiche al fine di quantificare le variazioni con la profondità della quota piezometrica e quindi le locali condizioni di equilibrio tra la falda di acqua dolce e l'acqua di mare.

La seconda sezione idrogeologica è stata tracciata congiungendo le città di Bari e Taranto. Anche in questo caso non è stato possibile illustrare la stratificazione salina dell'acqua di falda nelle porzioni centrali della Murgia. È interessante però constatare che in corrispondenza dell'Arco Ionico Tarantino si ha un significativo ingresso nel continente della isoalina corrispondente a 0,5 g/l, circostanza connessa alla presenza presso costa di materiali impermeabili al di sopra dei calcari cretacei, i quali sono invece presenti a quote significativamente inferiori a quella del livello del mare (cap. 17).

15.7. - IDROGEOLOGIA DELL'ALTA MURGIA

Nei paragrafi precedenti sono stati delineati alcuni aspetti peculiari delle condizioni idrogeologiche dell'Alta Murgia, dove la falda presenta quote piezometriche molto elevate, talora anche superiori a 200 m s.l.m. Qui la circolazione idrica sotterranea si svolge in generale in pressione ed a notevoli profondità sotto il livello del mare, a causa dell'esistenza lungo la verticale di orizzonti rocciosi poco fratturati e poco carsificati.

L'analisi dei dati storici disponibili ha tuttavia evidenziato forti incertezze circa la circolazione idrica sotterranea in tale area e la sua interazione con l'acqua di mare di intrusione continentale. Le quote piezometriche ivi rilevate non sono, infatti, coerenti con un flusso in acquifero carsico con recapito finale il mare. L'ipotesi di continuità della falda tra l'Alta Murgia e le aree costiere implica un notevole incremento della cadente piezometrica in corrispondenza della Media Murgia, come rilevato ad esempio a monte dell'abitato di Casamassima, secondo quanto riportato nella Sezione Idrogeologica II-II' di tavola 4 (f.t.). Tale osservazione non trova però giustificazione in evidenze idrogeologiche, come ad esempio repentine variazioni del coefficiente di permeabilità dell'acquifero.

Le incertezze circa le quote piezometriche comportano analoghe incertezze circa lo spessore della falda. Nell'ipotesi che questa sia sostenuta alla base da acqua di mare di intrusione continentale, le quote piezometriche rilevate implicherebbero spessori della falda, determinati a partire dalla relazione di Ghyben - Herzberg, dell'ordine di diverse migliaia di metri, ritenuti dubbi.

Quanto premesso ha dunque indirizzato uno studio su dati desunti con perforazioni eseguite nell'Alta Murgia, finalizzato ad un inquadramento di maggiore dettaglio dei caratteri litologico - stratigrafici, tettonici e carsici dell'ammasso carbonatico. In particolare, è stata avviata una specifica raccolta di dati sia presso il Consorzio di Bonifica Terre d'Apulia, sia presso l'impresa COGEI s.p.a., esecutrice di molte perforazioni profonde in detta area. Si tratta di dati molto importanti ancorché parziali, perché riventi da pozzi eseguiti a distruzione di nucleo, che non permettono una ricostruzione dello

stato di fratturazione e del carsismo della roccia. Ciononostante, si è proceduto all'analisi dei dati piezometrici della falda e dei caratteri di permeabilità degli strati interessati dalle perforazioni.

Infine vengono presentati i risultati ottenuti dall'applicazione dell'approccio *multitracing* (TULIPANO *et alii*, 1990; COTECCHIA, 1994; EMBLANCH *et alii*, 2005). Esso, attraverso l'analisi comparata di parametri fisici, chimici ed isotopici, ha fornito importanti informazioni sul tempo di residenza della risorsa idrica nell'acquifero, sulle principali aree di alimentazione e sui percorsi preferenziali del flusso.

15.7.1. - *Analisi dei dati piezometrici disponibili*

In figura 15.9 è illustrato il confronto, attuato per un elevato numero di pozzi ubicati nell'Alta Murgia, tra la quota del primo rinvenimento idrico nel pozzo Q (assunta quindi pari alla quota del tetto dell'acquifero) e la quota piezometrica t , qui intesa questa come quota a cui si è stabilizzato il livello d'acqua nel pozzo. La falda circola in condizioni freatiche quando dette quote coincidono, mentre quando la quota del rinvenimento è inferiore a quella del livello qui definito piezometrico, la falda circola in pressione. Il diagramma evidenzia che per quote piezometriche inferiori a circa 40 m s.l.m., condizione ricorrente per pozzi posti nella Murgia Nord-occidentale (fig. 15.6), l'acquifero si presenta

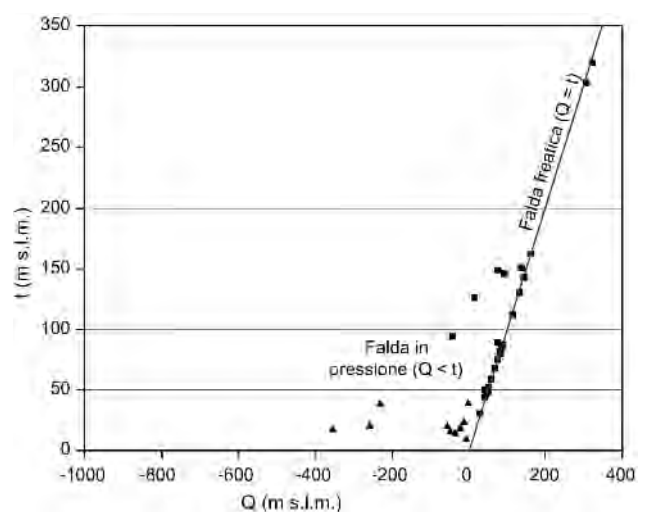


Fig. 15.9 - Confronto tra la quota (Q) del tetto dell'acquifero e la quota piezometrica (t) osservata per alcuni pozzi dell'Alta Murgia.
- Comparison between the elevation (Q) of the top of aquifer and the piezometric head (t) in some wells of High Murgia.

quasi sempre confinato. Per quote piezometriche superiori si rilevano sia condizioni di falda freatica sia confinata. Si evidenziano inoltre due casi in cui la quota piezometrica, pari a quella del rinvenimento idrico, è superiore a 300m s.l.m. Detti pozzi non sono stati considerati per la ricostruzione delle isopieziche di tavola 4 in quanto presentanti quote piezometriche molto più elevate di quelle misurate negli altri pozzi nella zona. In ogni caso, le massime quote piezometriche sono state misurate nel settore Sud-orientale dell'Alta Murgia, ove, tra i territori di Gioia del Colle e Noci, le quote piezometriche sono superiori a 150 m s.l.m.

15.7.2. - Distribuzione della permeabilità con la profondità

L'Alta Murgia Nord-occidentale e quella Sud-orientale presentano, oltre che differenti quote piezometriche, anche significative differenze nella di distribuzione della permeabilità con la profondità. Come si può osservare dalla figura 15.10, il rinvenimento idrico più superficiale (tetto della falda) rilevato nell'Alta Murgia Sud-orientale è in genere al di sopra del livello del mare, a quote comprese tra 50 e 300 m s.l.m., circa pari alla quota piezometrica, il che suggerisce che in tale area la falda circoli in condizioni freatiche o poco in pressione (fig.

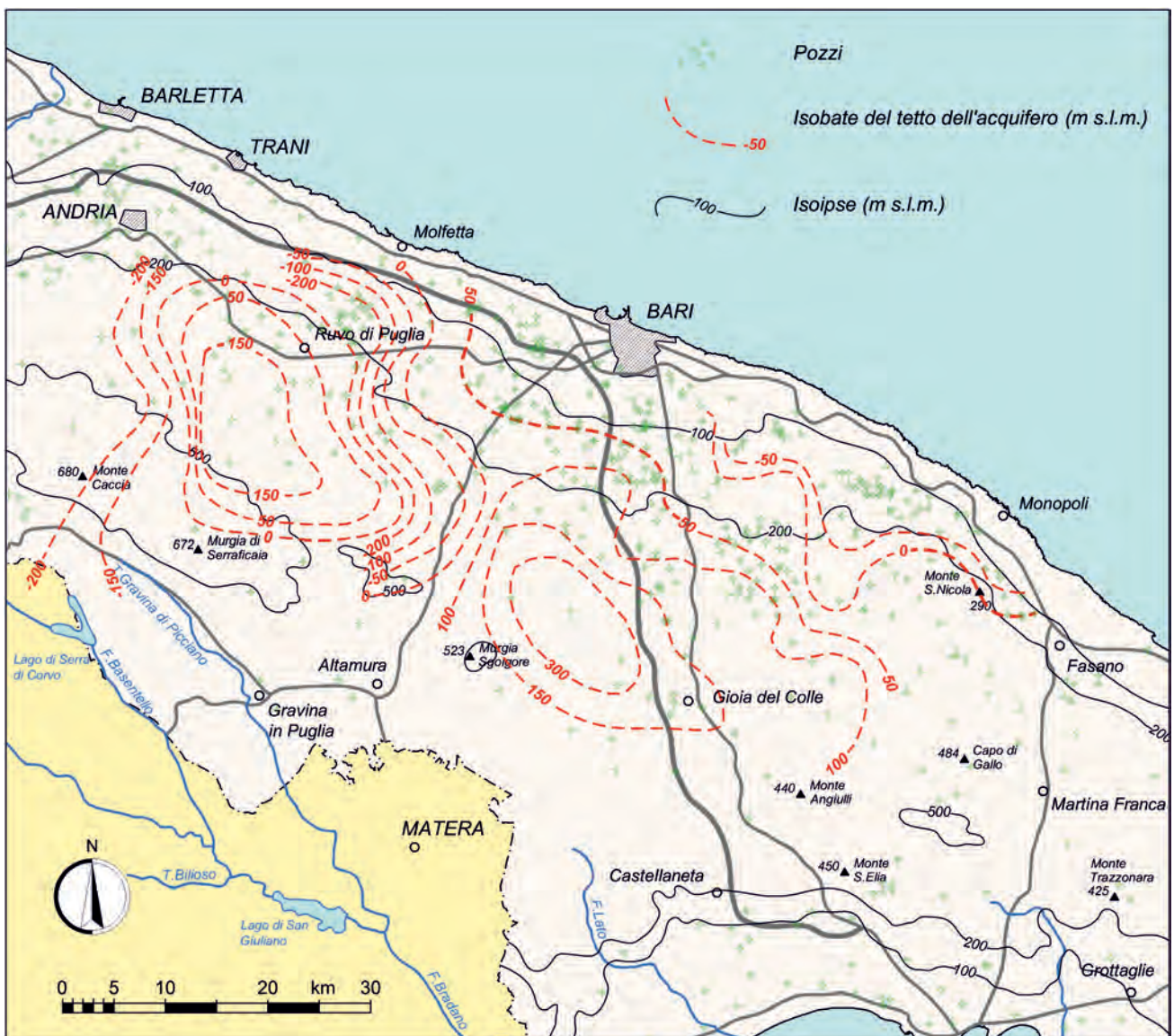


Fig. 15.10 - Isobate del tetto dell'acquifero rilevato nei pozzi dell'Alta Murgia.
- Depth contour lines of the top of aquifer observed in wells of High Murgia.

15.9). Nell'Alta Murgia Nord- occidentale invece è possibile distinguere una porzione centrale, a Sud-Ovest di Ruvo di Puglia dove, per quanto il rinvenimento idrico più superficiale sia a quote superiori al livello mare, le quote piezometriche, inferiori a quelle misurate nell'Alta Murgia Sud-orientale, sono inferiori anche alla quota del rinvenimento stesso. Ai bordi di detta zona, sulla base delle informazioni registrate lungo le stratigrafie dei pozzi disponibili, il primo rinvenimento idrico è rilevato invece a quote inferiori, dell'ordine di -200 m s.l.m., con quote piezometriche significativamente basse, per quanto analisi di dettaglio che saranno mostrate in seguito evidenzieranno che anche in questa zona è possibile imbattersi in rinvenimenti idrici più superficiali, la cui ridottissima permeabilità rende però difficoltosa la loro individuazione durante la perforazione del pozzo.

I pozzi analizzati presentano in generale delle notevoli profondità, anche quando il primo rinvenimento idrico è rilevato a quote superiori a quella del mare. Evidentemente la permeabilità dei livelli idrici più superficiali, in genere molto bassa, ha costretto il perforatore ad approfondire le trivellazioni al fine di rendere "produttivi" i pozzi. In generale si osserva che, anche quando il primo rinvenimento idrico è piuttosto superficiale, raggiunta una quota in genere inferiore a -200 m s.l.m., vengono intercettati livelli più permeabili, ove si incrementa bruscamente la permeabilità del mezzo e quindi la produttività del pozzo. L'intercettazione di detti livelli rappresenta nella sostanza l'obiettivo ed il punto di arrivo della perforazione. A tal riguardo è utile osservare le isobate dell'ultimo rinvenimento idrico intercettato dai pozzi riportati in figura 15.11. Nei casi in cui lungo le stratigrafie dei pozzi non sono indicati ulteriori rinvenimenti rispetto al primo, si è assunto che la quota dell'ultimo rinvenimento idrico sia quella di attestazione del pozzo. Come si può osservare, la quota dell'ultimo rinvenimento idrico è sempre a profondità di alcune centinaia di metri sotto il livello del mare in tutta l'Alta Murgia, con le quote inferiori nella porzione Sud-orientale. Ciò sembra quindi indicare che, indipendentemente dalla quota del rinvenimento idrico più superficiale, la circolazione idrica sotterranea profonda si svolge a notevoli profondità in tutta l'Alta Murgia, a quote inferiori a -200 m s.l.m.

15.7.3. - *Analisi idrogeologica di alcune stratigrafie desunte da pozzi profondi*

Di recente è stato eseguito, da parte dell'impresa COGEO s.r.l., un pozzo a Ruvo di Puglia profondo circa 1.000 m (fig. 15.12). Durante la trivellazione di detto pozzo, eseguita a distruzione di nucleo, sono stati osservati i primi rinvenimenti idrici già a poche centinaia di metri dal piano campagna, con quota piezometrica pari a quella del rinvenimento (117 m s.l.m.). Prove di portata eseguite durante la perforazione determinavano l'immediato svuotamento del pozzo. Interrotto l'emungimento il livello statico si riportava, dopo alcune ore, ad una quota pari a quella del primo rinvenimento idrico. Raggiunta la profondità di circa 800 m dal piano campagna (-455 m s.l.m.) è stato intercettato un ulteriore livello idrico in rocce di permeabilità notevolmente superiore, in corrispondenza del quale la quota piezometrica nel pozzo è scesa a 36 m s.l.m., mantenendosi poi costante durante la perforazione degli ulteriori 200 m di pozzo.

Dall'analisi della stratigrafia di detto pozzo è possibile desumere che ad una quota pari a -385 m s.l.m. è presente uno strato di calcare compatto, di spessore circa 70 m. È quindi molto plausibile l'ipotesi di presenza di una falda secondaria, di quota piezometrica pari a +117 m s.l.m., sostenuta alla base dal citato livello di roccia compatta, di bassa permeabilità. La falda secondaria alimenta, con una portata modesta ma continua, la falda profonda, che possiede invece una quota piezometrica pari a 36 m s.l.m. Detta alimentazione avviene attraverso discontinuità della roccia compatta. L'acquifero contenente detta falda secondaria, di spessore dell'ordine dei 500 m, è caratterizzato però da una permeabilità molto ridotta. La notevole differenza di permeabilità tra la roccia contenente la falda secondaria e l'acquifero profondo determina l'impossibilità di misurare la quota piezometrica della falda secondaria dopo aver intercettato quella profonda, ossia allorché i due acquiferi sono messi in comunicazione dal pozzo, attraverso il quale le acque della falda superficiale si versano rapidamente in quella profonda.

Condizioni idrogeologiche del tutto simili a quelle descritte per il pozzo di Ruvo di Puglia sono state riscontrate in un altro pozzo eseguito dalla COGEO s.r.l.

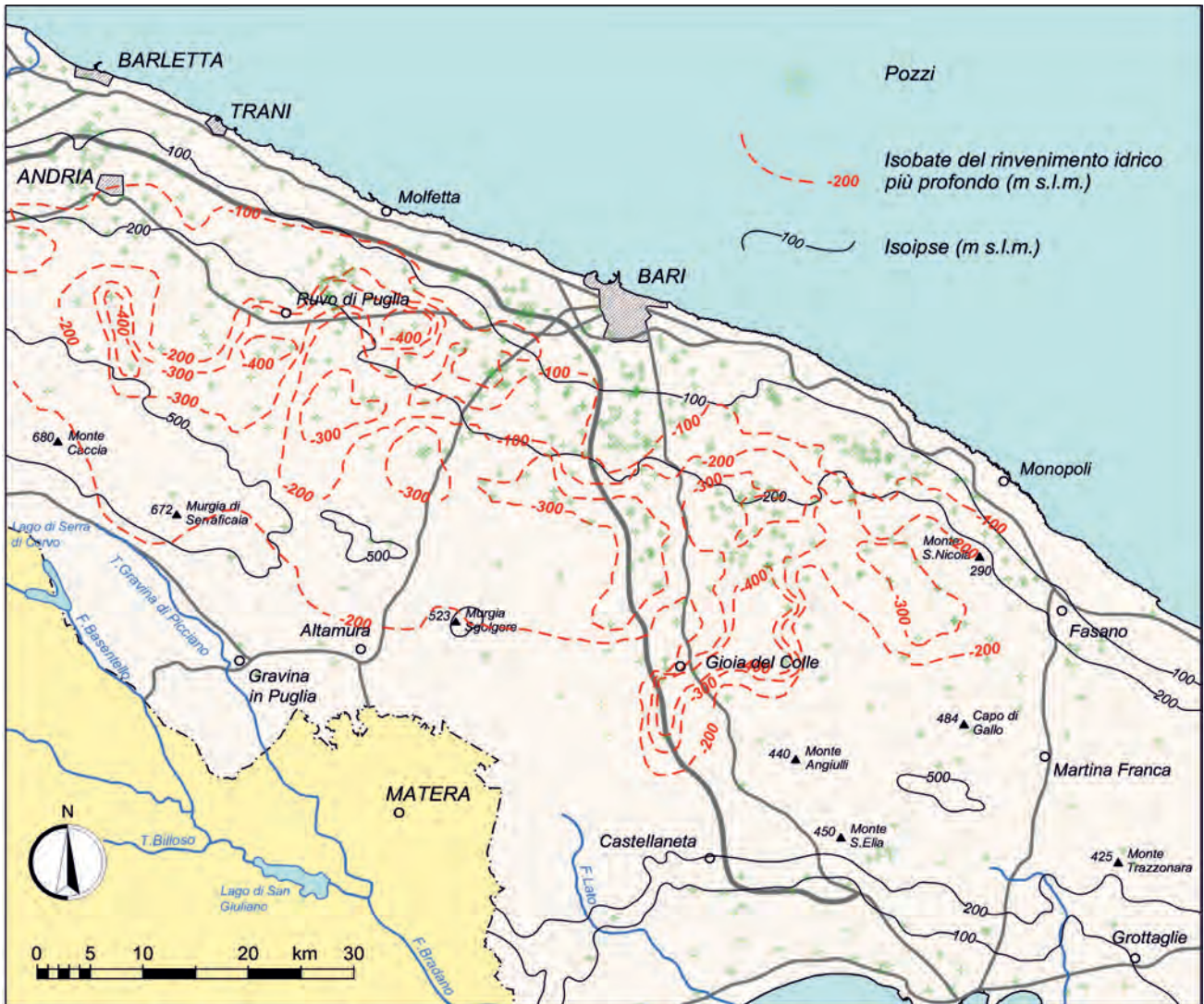


Fig. 15.11 - Isobate del rinvenimento idrico più profondo rilevato nei pozzi dell'Alta Murgia. (Ove nella stratigrafia dei pozzi non sono stati indicati rinvenimenti idrici profondi, si è assunta la quota di fondo del pozzo).

- Depth contour lines of the deepest water level observed in the wells of High Murgia (when no deep aquifer groundwater was found in the well logs, the well bottom depth was considered).

ad Andria, in località Piana Padula, di profondità pari a circa 840 m (fig. 15.13). Per detto pozzo la falda secondaria, sostenuta alla base da un livello di argilla color nocciola di spessore pari a circa 50 m, ha presentato una quota piezometrica pari a + 298 m s.l.m. Essa, dopo aver intercettato l'acquifero profondo più permeabile ed a quota -282 m s.l.m., è scesa a +118 m s.l.m.

15.7.4. - Considerazioni conclusive riguardanti i dati piezometrici e stratigrafici rinvenuti da pozzi profondi realizzati sull'Alta Murgia

L'analisi dei dati raccolti ha fornito interessanti informazioni circa le caratteristiche generali della circolazione idrica sotterranea nell'Alta Murgia. Ri-

sulta plausibile l'ipotesi che la quota piezometrica osservata, in genere molto elevata, non sia necessariamente da attribuire alla falda profonda carsica diretta verso la costa. La presenza di orizzonti poco permeabili posti a profondità inferiori appare coerente con l'esistenza di falde secondarie (GRASSI, 1973) identificabili come aree di alimentazione della falda profonda.

Nell'Alta Murgia Sud-orientale si registrano le massime quote piezometriche di tutta la Puglia, e ciò avviene in presenza di rinvenimenti idrici piuttosto superficiali, in cui la circolazione idrica sotterranea, in generale freatica, ha corso in un acquifero di permeabilità molto ridotta. In dette aree, al fine di intercettare i livelli dell'acquifero più

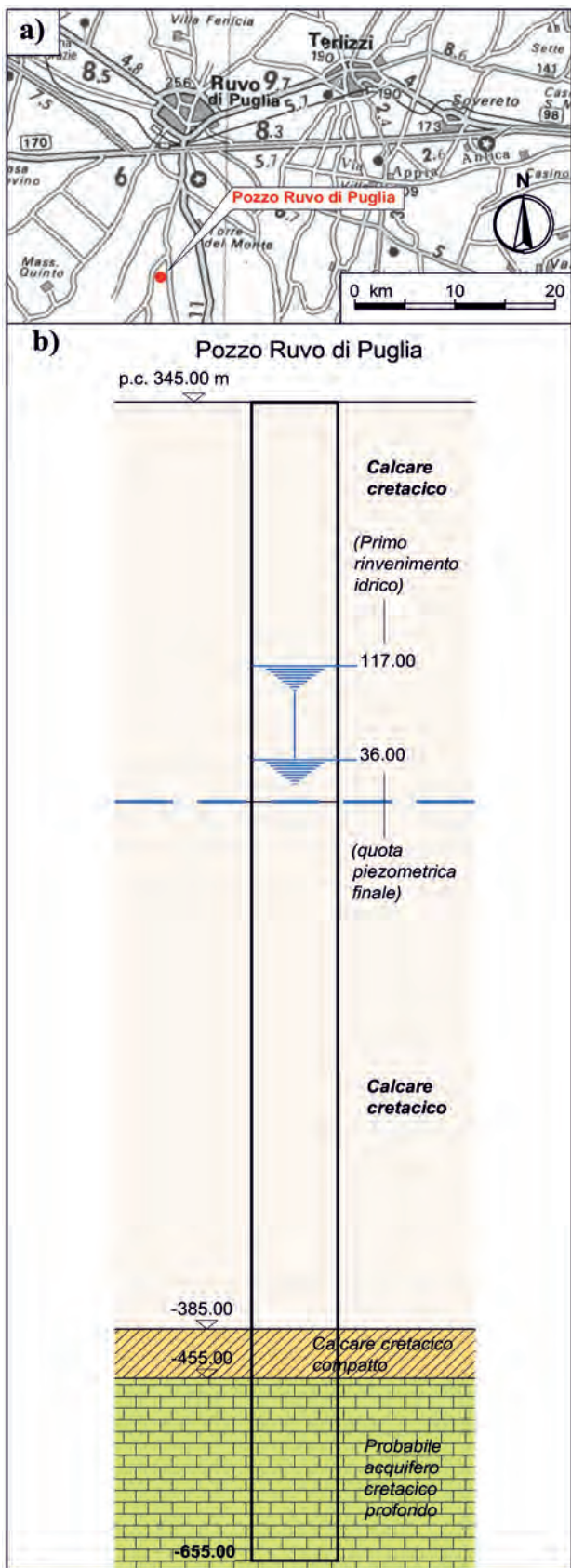


Fig. 15.12 - Pozzo di Ruvo di Puglia eseguito a distruzione di nucleo: a) stralcio planimetrico; b) stratigrafia schematica.
 - Ruvo di Puglia well, drilled with destruction technique: a) extract of the map; b) schematic stratigraphy.

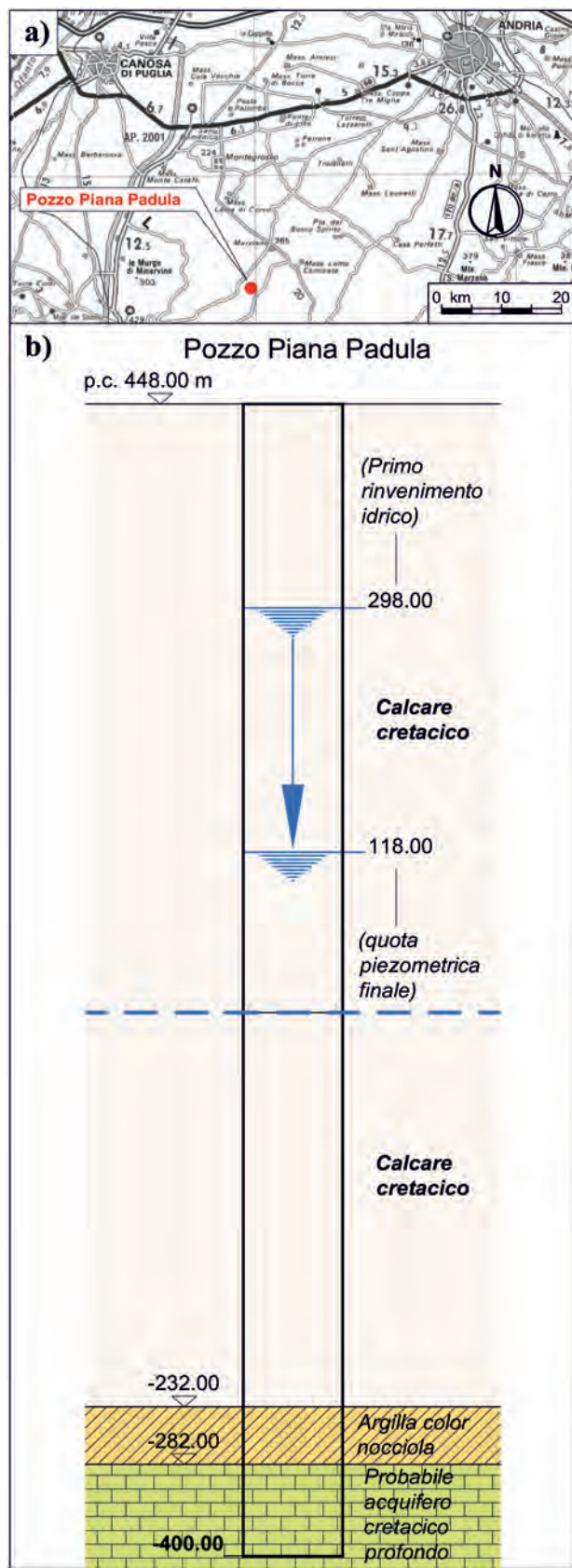


Fig. 15.13 - Pozzo di Piana Padula in agro di Andria eseguito a distruzione di nucleo: a) stralcio planimetrico; b) stratigrafia schematica.
 - Piana Padula well, in the territory of Andria, drilled with destruction technique: a) extract of the map; b) schematic stratigraphy.

permeabili che giustifichino l'efficacia della realizzazione di pozzi di captazione, è necessario, infatti, procedere con la perforazione sino a profondità dell'ordine di -200÷-400 m s.l.m., ove si rinviene la falda profonda nei calcari cretacei. In corrispondenza di dette profondità si osserva un brusco incremento di portata, tale da ottenere un buon risultato in termini di produttività del pozzo, anche se il coefficiente di permeabilità, che assume valori compresi nell'intervallo $k = 10^{-5} \div 10^{-4}$ cm/s (fig. 15.6), è comunque da ritenere basso, se confrontato con quello rinvenuto nelle aree costiere della Murgia stessa, o nell'adiacente Area Idrogeologica del Salento.

Nell'Alta Murgia Sud-orientale la quota piezometrica misurata nei pozzi è pari a quella della falda secondaria, ossia a quella del primo rinvenimento idrico, anche quando il pozzo ha intercettato la falda profonda.

Nell'Alta Murgia Nord-occidentale, invece, il rinvenimento idrico più superficiale è generalmente a quote significativamente inferiori a quelle del livello mare e le quote piezometriche sono più contenute. Sembra dunque che in tali aree sia assente la falda secondaria, anche se alcune perforazioni qui eseguite evidenziano l'esistenza di livelli idrici superficiali a ridottissima permeabilità.

Sulla base di quanto osservato si evince che le quote piezometriche della falda profonda siano una sovrastima di quelle reali, essendo plausibile lo sversamento dell'acquifero superficiale in quello profondo. Ne consegue che le quote piezometriche dell'acquifero profondo sono realmente inferiori a quelle indicate sulla Carta Idrogeologica (tav. 3; fig. 15.6). Le elevate quote piezometriche misurate, in particolare nell'Alta Murgia Sud-orientale, afferiscono quindi a falde secondarie, che presentano come recapito finale la falda profonda, stante l'assenza di sorgenti sub - aree. È possibile che le acque meteoriche si infiltrino rapidamente nel sottosuolo a causa della presenza di forme carsiche di superficie per essere immagazzinata nello spessore di roccia a permeabilità ridotta che sovrasta l'acquifero profondo, per poi trasferirsi lentamente in profondità attraverso il sistema di fratture verticali. Tale fenomenologia è coerente con i modelli di ricarica descritti nei capitoli 1 e 2, e con i dati piezometrici e di pioggia riportati nel capitolo 22. Questi

ultimi hanno evidenziato una dipendenza delle quote piezometriche sia dalle piogge recenti sia da quelle passate per pozzi ubicati nell'Alta Murgia, con un ritardo dell'ordine di alcuni mesi. Le modifiche della quota piezometrica determinata dalle piogge recenti sono da attribuirsi all'infiltrazione diretta lungo le fratture verticali che mettono in collegamento la superficie del suolo con la falda profonda. Per un dato evento di pioggia si osservano però effetti sulla falda anche dopo diversi mesi, in quanto parte delle acque di pioggia vengono immagazzinate nella falda secondaria, per poi essere lentamente rilasciate a quella profonda.

Le indagini sinora eseguite sull'Alta Murgia non hanno consentito di accertare l'esistenza di acqua di mare alla base della falda di acqua dolce. La presenza di acqua salata nei calcari cretacei della fossa bradanica indica tuttavia la possibilità che le acque sotterranee ivi contenute nel massiccio carbonatico galleggino su acqua di mare. Nel paragrafo 15.11 saranno illustrati i caratteri chimici di acque di falda estratte in condizioni dinamiche da pozzi ubicati nell'Alta Murgia, che hanno evidenziato una influenza marina, benché sia tuttora incerta la profondità delle acque marine intruse nel continente.

Quanto sopra illustrato si riferisce ad un modello interpretativo basato su dati discontinui. Si sottolinea dunque l'importanza di procedere alla realizzazione di pozzi profondi a carotaggio continuo, da attrezzare con celle (cap. 9), al fine della determinazione della permeabilità, della quota piezometrica e delle caratteristiche chimico - fisiche dei diversi livelli idrici rinvenuti durante la perforazione. L'argomento è di somma importanza, considerato il sempre crescente numero di opere di captazione che attingono all'acquifero ed il suo possibile impiego, sistematico o solo di emergenza, anche per uso potabile.

15.7.5. - *L'approccio Multitracing per lo studio della circolazione idrica sotterranea dell'Alta Murgia*

Un proficuo contributo allo studio della circolazione idrica sotterranea che si sviluppa nel complesso ambiente idrogeologico dell'Alta Murgia, perviene dall'applicazione del cosiddetto approccio *multitracing* (TULIANO *et alii*, 1990; COTECCHIA,

1994; EMBLANCH *et alii*, 2005). Detto approccio prevede l'uso combinato dei diversi parametri chimici, fisici ed isotopici delle acque di falda, i quali sono quindi utilizzati come traccianti naturali, la cui evoluzione in seno agli acquiferi consente di osservare e seguire i processi che in essi si sviluppano.

Gli isotopi ambientali, ossia il deuterio ($\delta D\text{‰}$) e l'ossigeno ($\delta^{18}O\text{‰}$), hanno consentito di definire le aree di alimentazione e le connessioni esistenti tra queste e le varie zone dell'acquifero (fig. 15.14). È stato quindi possibile individuare tre zone, cui corrispondono sostanziali differenze climatiche e topografiche. Spostandosi dalla zona A alla zona C si nota una progressiva diminuzione delle altitudini topografiche medie, un aumento della temperatura annuale media e variazioni climatiche dovute ad una più marcata influenza del mare. Le acque alimentanti si ritrovano inalterate anche a grande distanza, indicando quindi che il deflusso in seno all'acquifero avviene per vie preferenziali. A tali interconnessioni è possibile aggiungere ulteriori informazioni derivanti da indicatori chimici del tempo di residenza delle acque di falda. Le acque di falda negli acquiferi carbonatici subiscono infatti un'evoluzione chimica dovuta alla dissoluzione della roccia ed alla precipitazione del carbonato, che porta all'arricchimento delle acque in Ca, Mg ed, in misura minore, Sr. Il rapporto fra la concentrazione di Sr e la somma di Ca e Mg può quindi indicare lo stadio di "maturità" dell'acqua, connesso al periodo di contatto acqua-roccia. Questi

stadi vengono quindi a configurare il tempo di residenza dell'acqua dolce nell'acquifero. L'analisi di detti indicatori chimici ha quindi consentito di differenziare, sulla base del tempo di residenza delle acque di falda, le connessioni idrogeologiche precedentemente delineate usando i dati isotopici (fig. 15.15). I risultati di tali correlazioni appaiono suggerire che i circuiti più veloci dell'acquifero abbiano origine principalmente da due aree di alimentazione, poste rispettivamente nell'Alta Murgia Nord-occidentale ed in quella Sud-orientale.

Infine, è possibile ottenere informazioni sulla mobilità delle acque di falda dall'analisi delle isoterme. Le acque di falda tendono infatti a raggiungere un equilibrio termico con le rocce costituenti l'acquifero, e a loro volta modificando il gradiente geotermico, per trasferimento di calore dalla roccia all'acqua. La temperatura dell'acqua di falda è quindi tanto più elevata rispetto a quella dell'inizio dell'alimentazione quanto più lungo è il tempo di residenza dell'acqua nell'acquifero (COTECCHIA, 1977, 1979 b; COTECCHIA *et alii*, 1978; GRASSI & TULIPANO, 1983; GRASSI & TADOLINI, 1985; TULIPANO *et alii*, 1990). Le isoterme consentono quindi di identificare le aree di alimentazione e le direzioni del flusso idrico (fig. 15.16), fornendo quindi informazioni complementari a quelle ottenute dall'analisi degli isotopi ambientali.

L'applicazione dell'approccio *multitracing* ha quindi consentito di individuare le principali aree di ricarica, dislocate lungo la cresta delle colline murgiane. È evidente una prima area di ricarica, situata a Nord-Ovest del sistema idrogeologico, da cui ha origine un flusso veloce diretto verso la costa e che alimenta, attraverso un circuito preferenziale, almeno una delle sorgenti di Trani. Un secondo flusso molto lento ha origine dalla stessa area e fluisce verso i calcari cretacei profondi dell'unità idrogeologica del Tavoliere. Sempre dall'area di ricarica posta a Nord-Ovest partono due flussi veloci, separati da una zona con un flusso più lento, alimentati localmente anche dalle aree di ricarica lungo la cresta delle colline murgiane, ad una quota variabile fra i 400 ed i 500 m s.l.m., diretti sia verso le porzioni costiere che interne della Murgia Sud-orientale. Si fa osservare che la connessione, individuata con l'approccio *multitracing*,

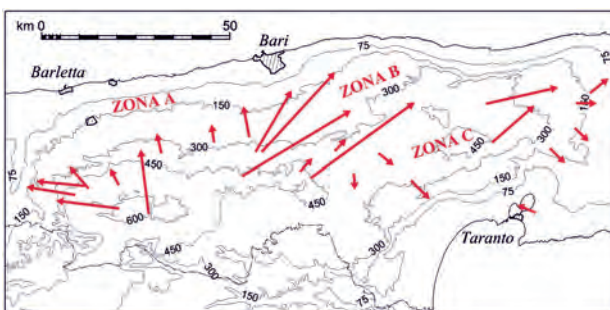


Fig. 15.14 - Schema delle connessioni tra punti di campionamento e aree di alimentazione collocate a diverse altitudini determinate dall'analisi degli isotopi ambientali (mod., da TULIPANO *et alii*, 1990).

- Sketch of connections between monitoring stations and recharge areas located at different altitudes, as determined from the analysis of environmental isotopes (modified after TULIPANO *et alii*, 1990).

tra la Murgia Nord-occidentale e quella Sud-orientale non è pienamente coerente con la distribuzione delle quote piezometriche nota, in quanto le massime quote piezometriche sono misurate nella Murgia Sud-orientale (fig. 15.6). È chiara quindi la necessità di procedere ad ulteriori accertamenti idrogeologici in tale area, finalizzati soprattutto all'analisi delle variazioni con la profondità delle quote piezometriche della falda contenuta nei calcari cretacei.

Lo studio eseguito consente inoltre di evidenziare il considerevole contributo che l'acquifero murgiano fornisce al ravvenamento di quello salentino. Tale ravvenamento è generato da un percorso veloce con direzione pressoché parallela alla linea di costa. Dalla zona di ricarica, posta nell'Alta Murgia Sud – orientale a quota assoluta in genere inferiore ai 400 m s.l.m., partono dei percorsi lenti che fluiscono verso il Mar Ionio. Tuttavia la presenza di una grande concentrazione di sorgenti costiere del Golfo di Taranto suggerisce l'esistenza di percorsi rapidi, per quanto non sia possibile fare ulteriori valutazioni a tal riguardo, stante la carenza di punti di osservazione a monte di tali sorgenti.

15.8. - RITRATTO DI UN ACQUIFERO CARSIICO COSTIERO: IL CASO DELLA CITTÀ DI BARI

Le acque di falda che alimentano l'acquifero cretaceo in corrispondenza dell'Alta Murgia trovano ampio recapito nel mar Adriatico, dove l'efflusso avviene piuttosto con continuità. In particolare è possibile osservare sia efflussi concentrati presso sorgenti costiere, sia diffusi, secondo assetti idrogeologici funzione delle locali caratteristiche geostrutturali dell'acquifero.

Particolarmente significative risultano le modalità con cui la falda si riversa a mare in prossimità della città di Bari, ove la permeabilità dell'acquifero carbonatico fratturato e carsificato è elevatissima. Qui, infatti, la morfologia della superficie di falda, associata a ridottissime cadenti piezometriche, riflette un singolare assetto idrodinamico. Ivi inoltre si estrinseca un complesso rapporto con l'acqua di mare, che è sia recapito finale della falda, sia intrusa nel continente alla base delle acque dolci di falda.

Di seguito si illustrano i risultati ottenuti a seguito di una vasta e densa campagna di indagini idrogeologiche eseguite per la progettazione e costruzione di alcune importanti opere sotterranee

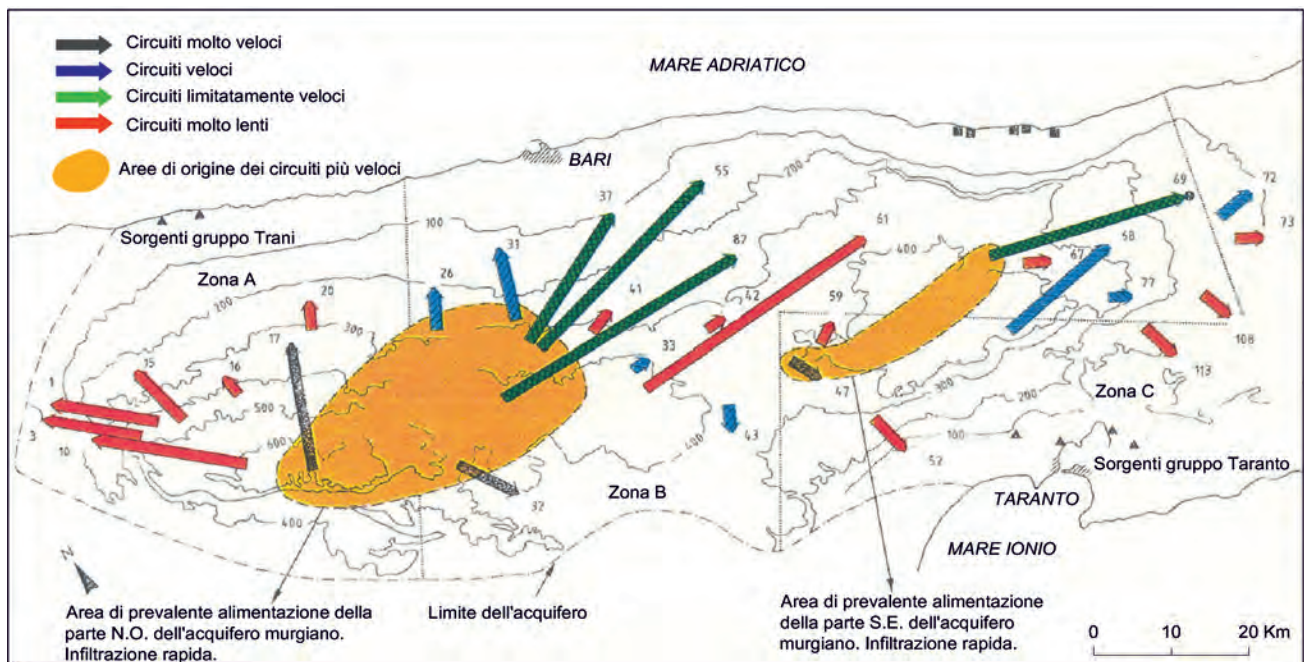


Fig. 15.15 - Schema delle connessioni tra punti di campionamento e aree di alimentazione differenziate in base alla velocità e "maturità" delle acque di falda determinate dall'analisi di indicatori chimici del tempo di residenza (Ca, Mg, Sr) (da TULIPANO *et alii*, 1990).

- Sketch of connections between monitoring stations and recharge areas, discriminated based upon velocity and "maturity" of groundwaters, as determined from the analysis of chemical indicators of the residence time (Ca, Mg, Sr) (after TULIPANO *et alii*, 1990).

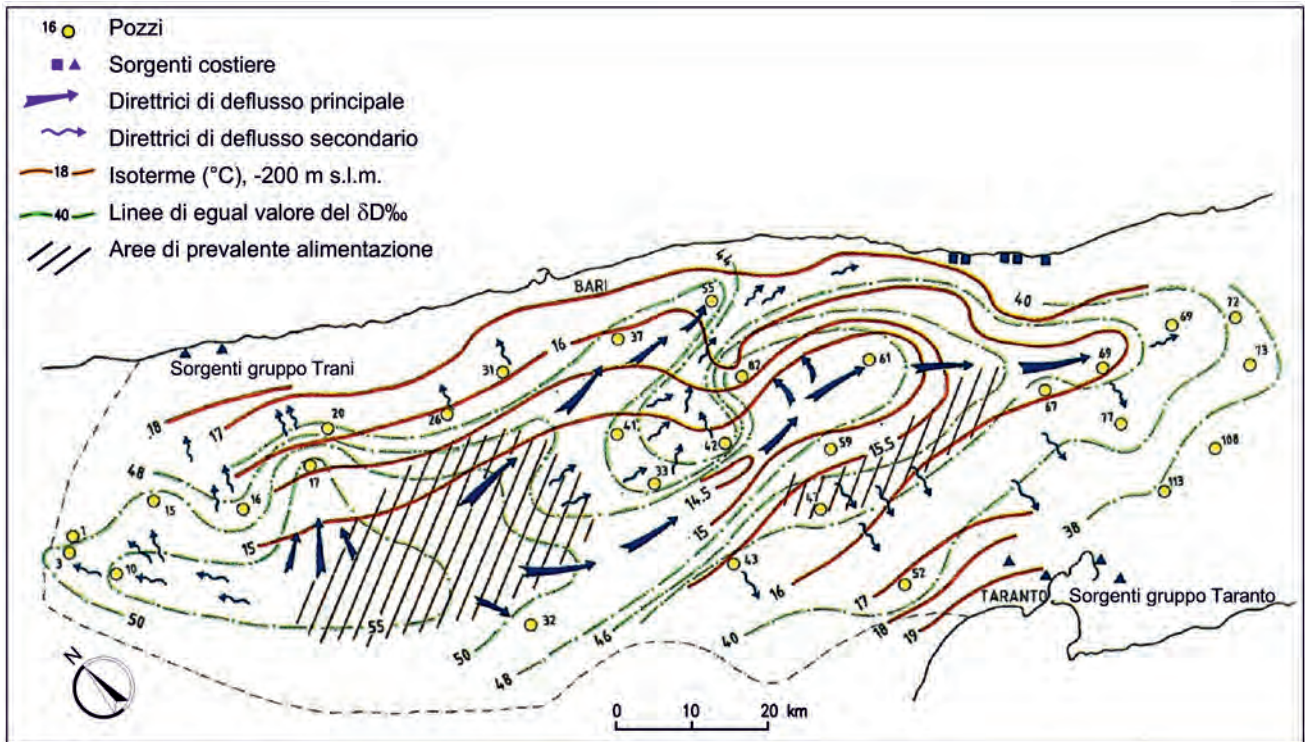


Fig. 15.16 - Direttrici di deflusso principale e secondario tracciate sulla base dell'analisi dei traccianti naturali (da TULIPANO *et alii*, 1990).
 - Main and secondary flow lines drawn on the basis of the analysis of natural tracers (after TULIPANO *et alii*, 1990).

nella città di Bari, che hanno consentito di eseguire una caratterizzazione idraulica dell'acquifero carbonatico lungo costa ed analizzare il comportamento idrodinamico della falda idrica, indagandone l'equilibrio con l'acqua di intrusione marina sottostante (COTECCHIA *et alii*, 2007; COTECCHIA & SCURO, 2010; COTECCHIA, 2010). La caratterizzazione idrogeologica dell'acquifero e lo studio delle condizioni idrodinamiche della falda sono state eseguite sulla base di prove idrogeologiche e monitoraggio attuati in corrispondenza di 59 sondaggi variamente distribuiti nell'area di interesse (fig. 15.17).

15.8.1. - *Chimismo e caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda*

In figura 15.18 si riporta un *log* multiparametrico eseguito nel sondaggio P9 in Piazza Umberto I, il quale evidenzia la presenza di falda di acqua dolce per uno spessore di 20÷25 m. Indagini eseguite in altri pozzi spia (fig. 15.19) hanno rilevato una riduzione di spessore della falda, anche se di pochi metri, con l'avvicinarsi alla costa.

In generale è stata osservata una variazione di salinità della falda dolce e della zona di transizione all'acqua di mare. Nei primi 5÷7 metri di profondità misurati rispetto al livello di falda è stata registrata una salinità in genere contenuta, inferiore ad 1 g/l. Già a partire da profondità dal livello di falda dell'ordine dei 10 m, la salinità subisce un significativo incremento, raggiungendo valori dell'ordine dei 3 g/l. A dette profondità, ove le acque di falda sono ancora animate da moto di filtrazione verso la costa così come evidenziato dalle misure di velocità di filtrazione e dell'ossigeno disciolto (fig. 15.18 c e d), le acque di falda risultano fortemente miscelate con l'acqua marina. A tal riguardo va evidenziata la circostanza che la presenza di tale importante variazione di salinità, per profondità significativamente inferiori a quelle che invece segnano l'effettivo passaggio all'acqua di mare, è da imputare, in parte, a condizioni di sovrasfruttamento dell'acquifero, ormai acclarate per la città di Bari da decenni, come ad esempio accertato in prossimità della centrale ENEL (COTECCHIA, 1982; COTECCHIA *et alii*, 1991; COTECCHIA *et alii*, 1997).

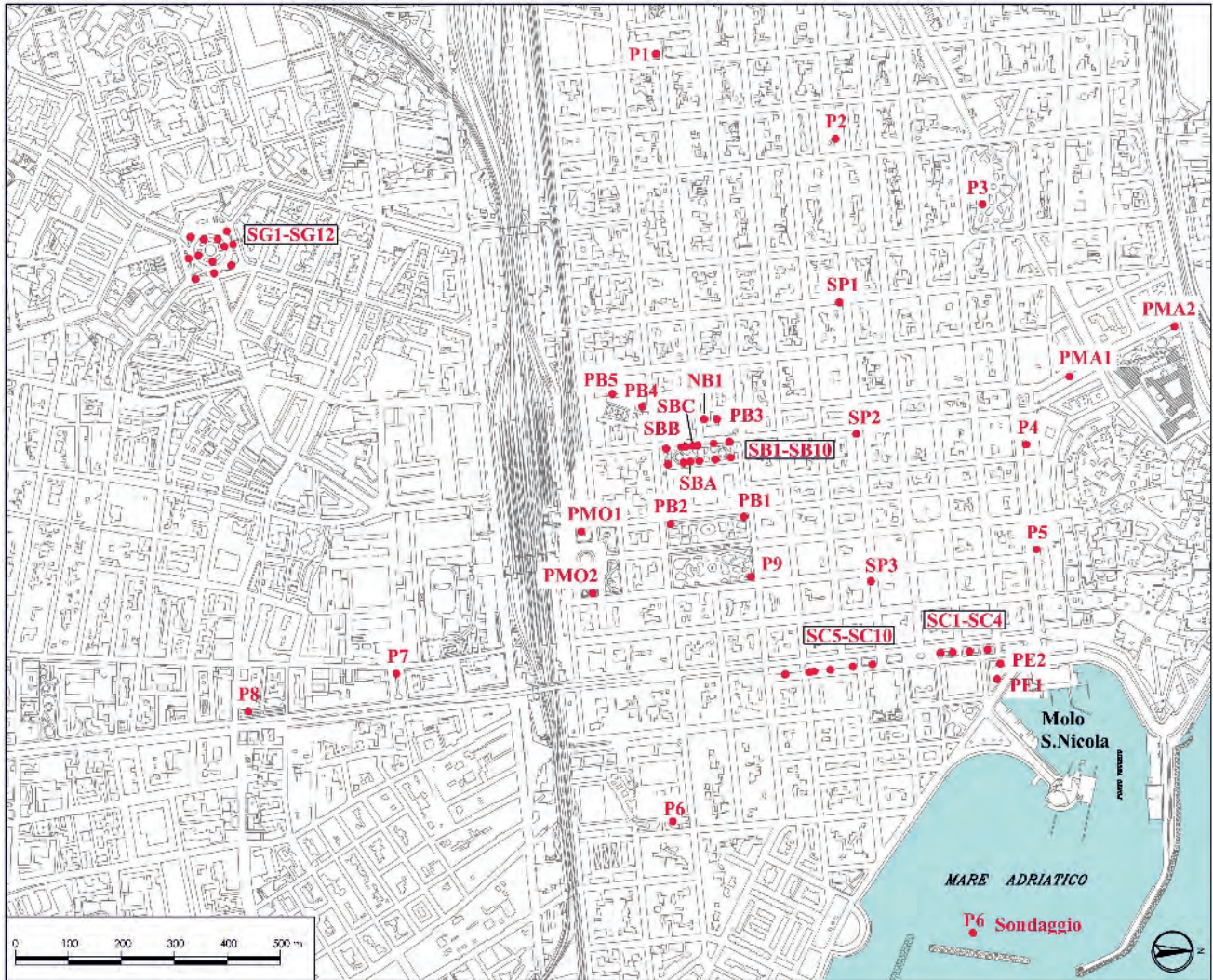


Fig. 15.17 - Planimetria della città di Bari con ubicazione dei sondaggi geognostici (da COTECCHIA & SCURO, 2010).
 - Map of the city of Bari showing the location of geognostic boreholes (after COTECCHIA & SCURO, 2010).

I diagrammi di Schoeller tracciati sulla base dei risultati ottenuti da analisi chimiche eseguite su campioni di acqua di falda e acque di mare evidenziano la *facies* cloruro – sodica dell'acqua di falda anche a profondità inferiori a quelle di rinvenimento delle acque marine intruse nel continente (fig. 15.20). Il passaggio dalle acque di falda a quelle di mare avviene per il tramite di una zona di transizione di spessore dell'ordine dei 6 m, ove la salinità aumenta bruscamente e la velocità di filtrazione e l'ossigeno disciolto delle acque di falda subiscono una brusca riduzione, sino ad annullarsi nell'acqua di mare.

La profondità di rinvenimento dell'acqua di mare nel sito in studio è significativamente superiore a quella desumibile dall'applicazione della

legge di Ghyben – Herzberg. La quota del pelo libero della falda nell'area di interesse, misurata rispetto all'effettivo livello mare, così come verrà ampiamente illustrato più avanti, è pari a circa 10 cm nelle porzioni più prossime alla costa (sondaggio SC3 in fig. 15.19), e raggiunge valori al massimo pari a 80 cm nelle porzioni più distanti dalla costa (sondaggio P8 in fig. 15.19). A detti valori piezometrici corrisponde, sotto le ipotesi di validità della legge di Ghyben–Herzberg, ed assumendo $\gamma_s = 1030 \text{ g/l}$ per l'acqua di mare ed in prima approssimazione $\gamma_d = 1000 \text{ g/l}$ per l'acqua dolce, una profondità di rinvenimento dell'acqua marina misurata rispetto al livello del mare pari a circa 3,3 m in prossimità del sondaggio SC3 e 16,5 m in prossimità del sondaggio P8. Come si evince dalle fi-

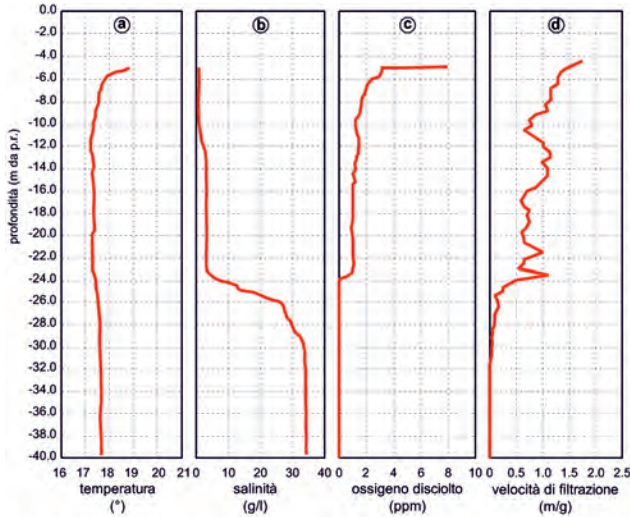


Fig. 15.18 - Log multiparametrico eseguito il giorno 20/07/2005 nel sondaggio P9 ubicato in figura 15.17 (da COTECCHIA & SCURO, 2010).
 - Multi-parameter log performed on July 20, 2005, in the borehole P9, which location is shown in figure 15.17 (after COTECCHIA & SCURO, 2010).

gure 15.18 e 15.19 l'acqua di mare si rinviene a profondità sensibilmente superiore, anche se si fa riferimento al tetto della zona di transizione. Detta

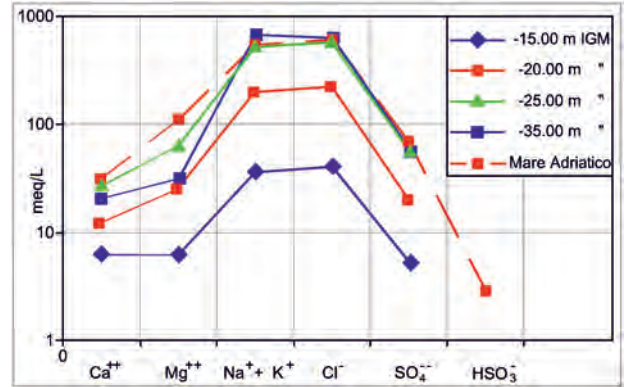


Fig. 15.20 - Chimismo delle acque di falda prelevate a diverse profondità nel sondaggio P9 ubicato in figura 15.17 e quello del Mare Adriatico (da COTECCHIA & SCURO, 2010).

- Chemical composition of groundwater pumped at different depths in the borehole P9 (location shown in figure 15.17) and in the Adriatic Sea (after COTECCHIA & SCURO, 2010).

circostanza, già evidenziata in prossimità della costa in altri siti della regione Puglia (COTECCHIA, 1977), è imputabile sia all'incremento di densità che le acque di falda subiscono con la profondità, sia alla non trascurabile componente verticale delle

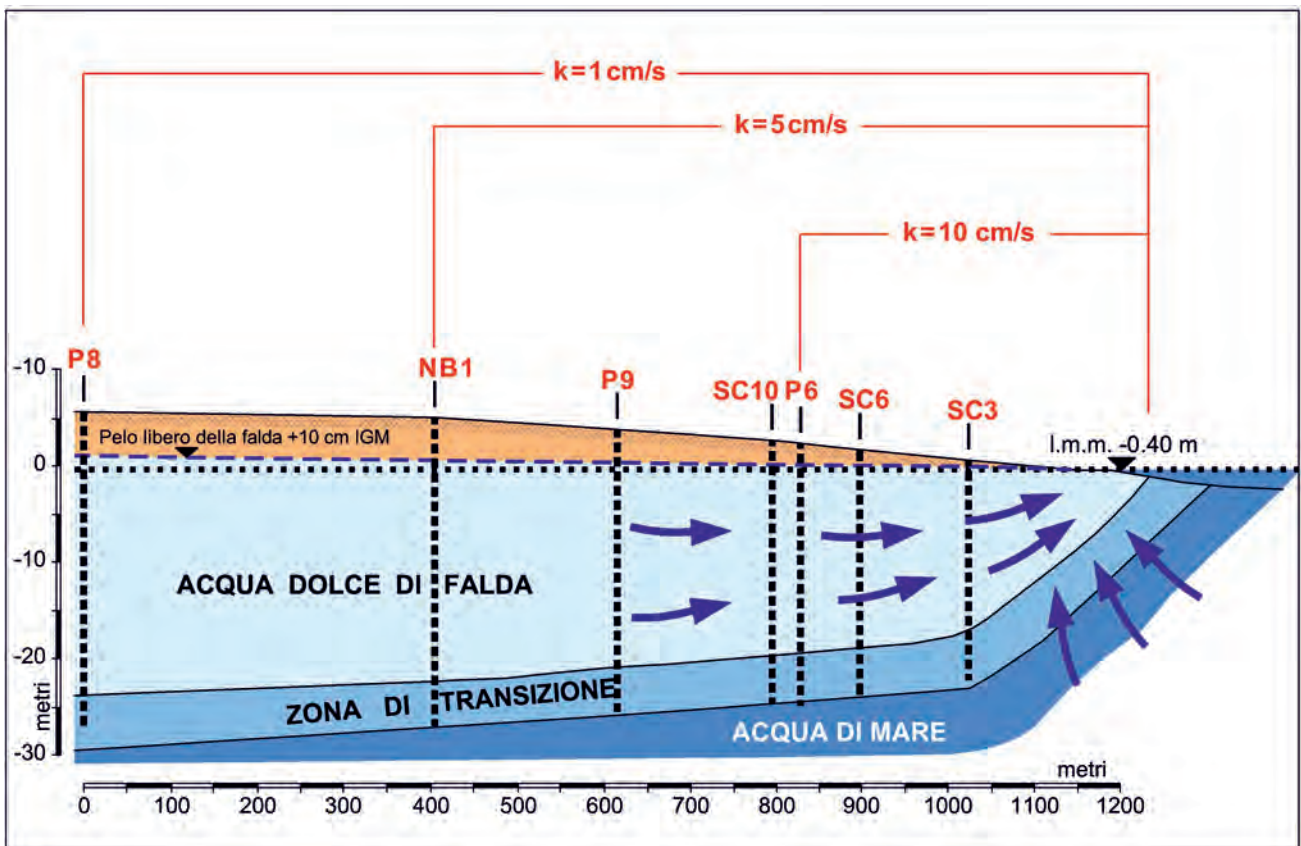


Fig. 15.19 - Sezione idrogeologica semplificata con indicazione dei coefficienti di permeabilità ottenuti dall'interpretazione dei dati idrometrografici (da COTECCHIA & SCURO, 2010).

- Simplified hydrogeological section showing the permeability coefficients resulting from the interpretation of groundwater-stage records (after COTECCHIA & SCURO, 2010).

velocità di filtrazione determinata dagli effetti tridimensionali che vengono a determinarsi in prossimità della costa (capp. 2 e 5).

Di notevole interesse sono inoltre le determinazioni eseguite con sonde termo-conduttimetriche fisse, poste a diverse profondità, che hanno consentito di evidenziare le variazioni di salinità e temperatura dell'acqua di falda connesse alle variazioni delle quote piezometrica ed agli eventi meteorici. In figura 15.21 sono rappresentati, ad esempio, i risultati delle misure idrometrografiche e di salinità eseguite nel sondaggio NB1, ubicato a circa 700 m di distanza dalla costa (fig. 15.19). In particolare sono graficizzate nel tempo le medie giornaliere del livello di falda e del livello mare, riferiti allo zero IGM, del livello di falda riferito al livello mare e della concentrazione salina delle acque di falda, quest'ultima misurata a -3,35 m IGM e -20,35 m IGM. Le misure eseguite evidenziano variazioni di concentrazione salina a quota -20,35 m IGM, ossia nella zona di transizione, non direttamente correlabili alle variazioni del livello di falda misurate rispetto allo zero IGM. Se invece si confronta la concentrazione salina a -20,35 m IGM con la quota del livello di falda misurata rispetto al livello mare, è possibile rilevare una corrispondenza tra le due grandezze. Ad una riduzione di

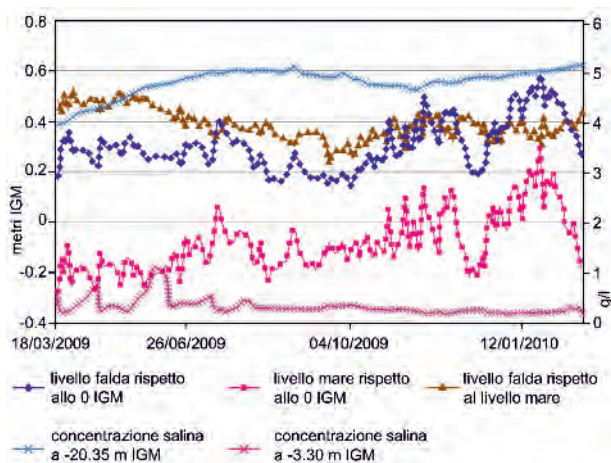


Fig. 15.21 - Andamento nel tempo dei valori medi giornalieri del livello di falda e del livello mare misurati rispetto allo zero IGM, del livello di falda rispetto al livello mare e della concentrazione salina delle acque di falda misurata a diverse profondità nel sondaggio NB1 ubicato in figura 15.19 (mod., da COTECCHIA & SCURO, 2010).

- Time changes of daily mean values of groundwater and sea levels, measured with respect to zero IGM, of groundwater level with respect to sea level, and of groundwater salt concentration, measured at different depths in the borehole NB1, which location is shown in figure 15.17 (modified after COTECCHIA & SCURO, 2010).

detta quota corrisponde un incremento di concentrazione salina e viceversa. Se però si analizza l'andamento della conducibilità elettrica misurata a -3,35 m IGM, detta corrispondenza si perde e si rileva invece una variazione di concentrazione salina connessa agli eventi meteorici. La rapida risposta delle porzioni superiori della falda alle variazioni climatiche è confermata anche dall'andamento con la profondità della temperatura (fig. 15.18a), che nella stagione estiva presenta valori più elevati in superficie a causa della maggior temperatura delle acque di alimentazione.

Nelle figure 15.22 e 15.23 sono riportati gli andamenti della concentrazione salina e della tempe-

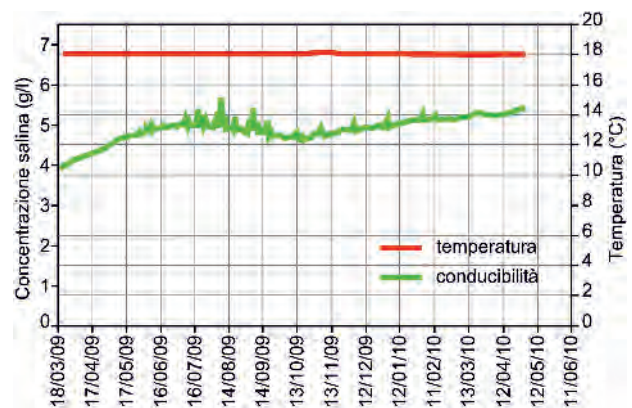


Fig. 15.22 - Andamento nel tempo della temperatura e della concentrazione salina rilevati nel piezometro NB1 ubicato in figura 15.17 a quota -20,35 m IGM nel periodo 18/03/2009 - 30/04/2010 (da COTECCHIA & SCURO, 2010).
- Time changes of temperature and salt concentration measured in the piezometer NB1, which location is shown in figure 15.17 at -20,35 m depth IGM in the period 18/03/2009 - 30/04/2010 (after COTECCHIA & SCURO, 2010).

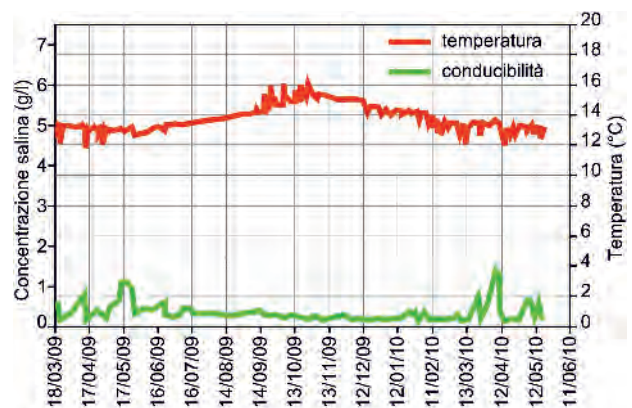


Fig. 15.23 - Andamento nel tempo della temperatura e della concentrazione salina rilevata nel piezometro NB1 ubicato in figura 15.17 a quota -3,35 m IGM nel periodo 18/03/2009 - 30/04/2010 (mod., da COTECCHIA & SCURO, 2010).
- Time changes of temperature and salt concentration measured in piezometer NB1, which location is shown in figure 15.17, at -3,35 m depth IGM in the period 18/03/2009 - 30/04/2010 (modified after COTECCHIA & SCURO, 2010).

ratura rilevati dalle stesse sonde termo-salinometriche di figura 15.21, ma con intervallo di rilievo di circa 13 mesi. I rilievi eseguiti a -20,35 m IGM, ossia all'interno della zona di transizione, indicano l'indipendenza della temperatura dell'acqua dalle variazioni della temperatura esterna (fig. 15.22). La concentrazione salina subisce invece delle variazioni che, per quanto detto in precedenza, sono legate alla quota del livello di falda misurata rispetto al mare. I rilievi eseguiti invece a -3,35 m IGM evidenziano una stretta dipendenza della temperatura dell'acqua di falda dalla temperatura esterna (fig. 15.23). Si osserva infatti un incremento di temperatura nel passaggio dalla stagione primaverile a quella estiva ed una diminuzione nel passaggio dalla stagione au-

tunnale a quella invernale, anche se con un certo ritardo. La temperatura delle acque nelle porzioni superiori della falda subisce inoltre delle variazioni in corrispondenza di eventi di pioggia, rappresentati in figura 15.23 da brusche oscillazioni termiche. In particolare si evidenzia un incremento di temperatura in corrispondenza di giorni piovosi della stagione estiva e una riduzione nei giorni piovosi della stagione invernale.

Un pozzo realizzato a carotaggio continuo, di profondità di 250 m, in prossimità del tribunale della città (pozzo n. 2 di figura 15.24), ha fornito interessanti informazioni circa la stratificazione salina della falda (COTECCHIA *et alii*, 1991; POLEMIO, 1994). L'andamento della salinità con la profondità

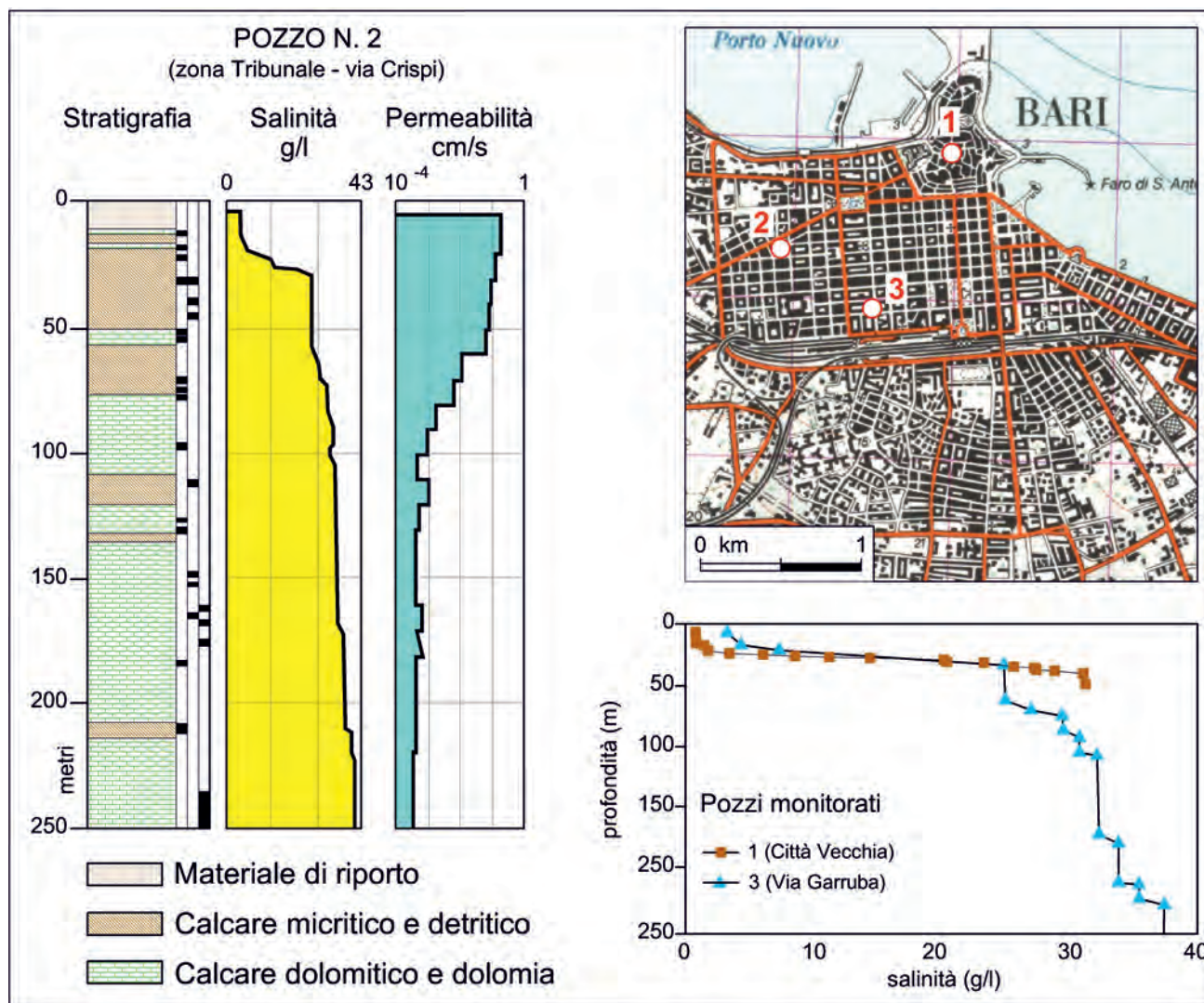


Fig. 15.24 - Profilo stratigrafico, di salinità e di permeabilità, ottenuti da tre pozzi storici realizzati nella città di Bari.
- Stratigraphy, salinity and permeability logs obtained from three historic wells drilled in the city of Bari.

evidenzia che a profondità dell'ordine di 15 m dal p.c. ha inizio la zona di transizione, di spessore pari a circa 10 m. Il profilo verticale di salinità eseguito nel pozzo anzidetto evidenzia però che a profondità superiori a 70 m la salinità subisce un ulteriore incremento, raggiungendo a fondo pozzo una concentrazione decisamente superiore a quella dell'acqua di mare, probabilmente a seguito dei lunghi tempi di residenza delle acque marine nelle porzioni dell'acquifero più profonde.

Le indagini eseguite evidenziano quindi che la stratificazione salina delle acque di falda nella città di Bari è il risultato di un complesso di fenomeni, quali variazioni del livello mare, del livello di falda e delle condizioni di alimentazione. Le caratteristiche chimico - fisiche delle acque di falda risultano inoltre fortemente condizionate dalle perturbazioni antropiche.

15.8.2. - *Permeabilità dell'acquifero carbonatico cretaceo del tratto costiero della città di Bari*

L'interpretazione delle indagini idrogeologiche eseguite nella città di Bari ha consentito di verificare la possibilità di assimilare l'acquifero carbonatico calcareo ivi presente, permeabile per fratturazione e carsismo, ad un mezzo poroso equivalente, utilizzando degli indicatori indiretti della geometria delle fratture e delle condizioni di moto (cap. 2).

Così come verrà illustrato più avanti, le indagini eseguite hanno evidenziato un andamento regolare delle isopieziche, con variazioni temporali sostanzialmente connesse alle variazioni del livello mare in funzione della distanza dalla costa. Le variazioni con la profondità dei parametri chimici e delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque di falda hanno evidenziato inoltre che lungo le varie verticali indagate la temperatura, la conducibilità elettrica e la salinità delle acque di falda presentano leggi di variazione con la profondità coerenti tra loro. Le stratigrafie definite sulla base dei numerosi sondaggi geognostici eseguiti a carotaggio continuo hanno evidenziato la presenza di uno stato di fratturazione molto intenso. Tutte le indagini condotte nell'acquifero nell'area qui di riferimento, dirette ed indirette, suggeriscono applicabile il

modello del mezzo poroso equivalente. Secondo tale ipotesi si è dunque proceduto alla determinazione del coefficiente di permeabilità equivalente della formazione, qui assunta per semplicità omogenea ed isotropa.

Prove di permeabilità eseguite in corrispondenza del già citato pozzo in prossimità del Tribunale di Bari (fig. 15.24) sino ad una profondità pari a 250 m, hanno evidenziato un coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-1} cm/s nelle porzioni superiori dell'acquifero, ed una sua riduzione con la profondità, raggiungendo a fondo foro un valore dell'ordine dei 10^{-4} cm/s.

È stato altresì possibile stimare il coefficiente di permeabilità attraverso lo studio della propagazione delle fluttuazioni del livello mare sui livelli di falda (MAGRI & TROISI, 1969; COTECCHIA 1977; COTECCHIA & SCURO, 2010). Detta $h(x,t)$ l'oscillazione nel tempo della superficie freatica in un generico punto posto ad una distanza x dalla costa ed al tempo t , l'equazione differenziale del moto non permanente delle acque filtranti può esprimersi nella forma:

$$\frac{\delta^2 h}{\delta x^2} = \frac{1}{D} \frac{\delta h}{\delta t} \quad (15.2)$$

ove D [m^2/s] è la diffusività dell'acquifero.

Nota la legge di variazione del livello mare, $h(0, t)$, opportunamente suddivisa in impulsi costanti, è possibile calcolare diverse leggi di variazione del livello di falda che soddisfano l'equazione 15.2, una per ogni valore dell'attenuazione A , quest'ultima pari a:

$$A [s^{1/2}] = \frac{\chi}{2} \sqrt{\frac{1}{D}} \quad (15.3)$$

Confrontando le oscillazioni dei livelli di falda calcolate con quelle misurate è possibile quindi determinare per tentativi il valore dell'attenuazione A , e quindi, per l'equazione 15.3, della diffusività D (COTECCHIA & SCURO, 2010). Nota la diffusività è possibile determinare il coefficiente di permeabilità dell'acquifero dalla relazione:

$$K [m/s] = \frac{Dn}{H} \quad (15.4)$$

ove n [-] ed H [m] sono rispettivamente la porosità e lo spessore dell'acquifero.

Lo spessore dell'acquifero è stato determinato sulla base dei risultati ottenuti dai Log multiparametrici

(fig. 15.19), mentre la porosità è stata assunta pari a 10% (COTECCHIA *et alii*, 2007, COTECCHIA & TAFUNI, 2007).

In figura 15.25 sono riportati i risultati ottenuti per il piezometro P6, posto a $x = 390$ m dalla costa. Dal confronto tra l'andamento del livello mare e quello del livello falda misurato nel piezometro nell'analogo periodo di tempo, si rileva che le oscillazioni del mare si risentono smorzate nel punto x considerato, con circa 1 ora di ritardo. Nel grafico sono riportate le oscillazioni del livello di falda calcolate assumendo un coefficiente di permeabilità pari a circa 10 cm/s. Si osserva la ottima corrispondenza tra le oscillazioni del livello di falda calcolate e misurate. Nel caso del piezometro P8, disposto a circa $x = 1,2$ km di distanza dalla costa (fig. 15.26), si rileva un ritardo di circa 48 ore, con un notevole effetto smorzante dell'acquifero. Le oscillazioni del livello di falda calcolate si accostano a quelle misurate in corrispondenza di un coefficiente di permeabilità utilizzato nel calcolo pari a circa 1 cm/s. Le determinazioni indicano una riduzione del coefficiente di permeabilità equivalente con l'aumentare della distanza dalla costa, così come indica la figura 15.19, in accordo con quanto determinato nel pozzo realizzato in prossimità del Tribunale di Bari (fig. 15.24).

Si fa infine osservare che nelle figure 15.25 e 15.26 si è omesso, per chiarezza di rappresenta-

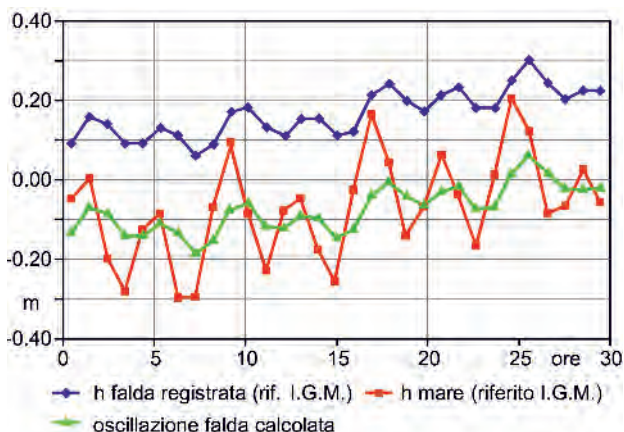


Fig. 15.25 - Confronto tra l'andamento nel tempo del livello mare, del livello falda e le oscillazioni del livello falda calcolate per il piezometro P6 ubicato in fig. 15.17 posto a 390 m di distanza dalla costa (da COTECCHIA & SCURO, 2010).
- Comparison between time changes of sea level, groundwater level and groundwater fluctuations calculated for piezometer P6, which location is shown in fig. 15.17, at 390 m distance from the coast (after COTECCHIA & SCURO, 2010).

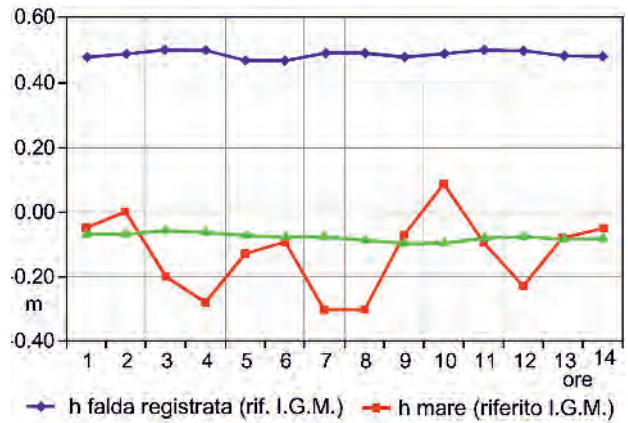


Fig. 15.26 - Confronto tra l'andamento nel tempo del livello mare, del livello falda e le oscillazioni del livello falda calcolate per il piezometro P8 ubicato in fig. 15.17 posto a 1200 m di distanza dalla costa (da COTECCHIA & SCURO, 2010).
- Comparison between time changes of sea level, groundwater level and groundwater fluctuations calculated for piezometer P8, which location is shown in fig. 15.17, at 1200 m distance from the coast (after COTECCHIA & SCURO, 2010).

zione, di graficizzare l'andamento del livello mare in intervalli di tempo precedenti a quelli per i quali è stata calcolata l'oscillazione della falda. Detto andamento è stato tuttavia utilizzato nel calcolo. Inoltre si sottolinea che in detti diagrammi, mentre il livello mare ed il livello di falda misurato sono riferiti allo zero IGM, del livello di falda calcolato si rappresenta solo l'oscillazione, con riferimento zero arbitrario.

15.8.3. – Morfologia della superficie di falda e suo comportamento nel tempo

Le letture idrometrografiche eseguite hanno evidenziato una stretta corrispondenza tra le oscillazioni mareografiche e quelle del livello falda, con uno smorzamento e ritardo che aumentano all'aumentare della distanza dalla costa. Ciò implica la continua modifica delle isopieziche e quindi della morfologia della superficie di falda. Osservazioni come ad esempio quelle desunte da rilievi idrometrografici eseguiti nei piezometri rappresentati in figura 15.27, molto vicini tra di loro ed ubicati ad una distanza dalla costa pari a circa 600÷800 m, evidenziano che il ritardo tra l'oscillazione del mare e quella del livello di falda, qui pari a circa 3 ore, e l'entità dello smorzamento sono simili tra sondaggi vicini, ad indicare un comportamento idrodinamico della falda influenzato sostanzialmente dalla distanza dalla costa e non da ulteriori

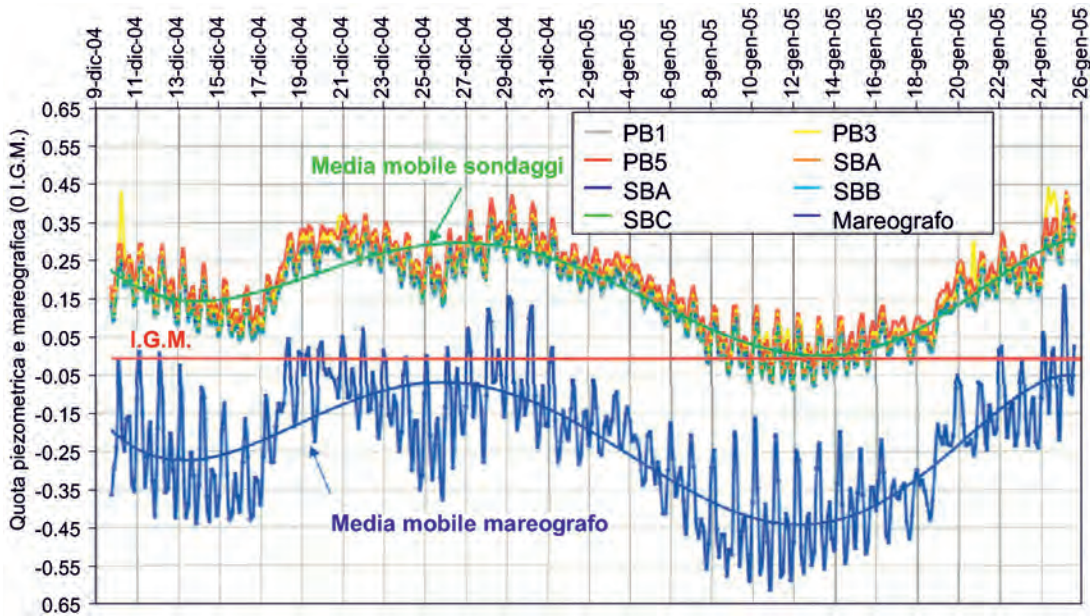


Fig. 15.27 - Confronto tra l'andamento nel tempo del livello mare e le variazioni del livello di falda in alcuni pozzi ubicati nella città di Bari (fig. 15.17) a circa 600÷800 m dalla costa. - Comparison between time changes of the sea and groundwater levels in some wells located in the city of Bari (fig. 15.17), about 600÷800 m from the coast.

fattori geostretturali. Ciò supporta l'uso del mezzo poroso equivalente nella modellazione dell'acquifero. Ancora, le oscillazioni del livello di falda rilevate nel piezometro PB5 in fig. 15.28 evidenziano un maggior ritardo e smorzamento, stante la maggior distanza di questo piezometro dalla linea di costa.

Dall'analisi delle figure 15.27 e 15.28 è possibile rilevare che in diversi giorni il livello mare ha registrato una quota assoluta compresa nell'intervallo $-30 \div -40$ cm IGM. Detta circostanza ha comportato un abbassamento della quota asso-

luta del livello freatico, che nei pozzi più prossimi alla costa ha raggiunto valori nulli o addirittura negativi. In sostanza le indagini eseguite evidenziano come in acquiferi costieri molto permeabili, caratterizzati da bassi valori di cadente piezometrica, sia fondamentale riferire il livello di falda al livello effettivo del mare, al fine di definire il carico piezometrico della falda rispetto al suo recapito finale.

Al fine di ricostruire le isopieziche della falda è stato quindi necessario rilevare i livelli di falda in tutti i piezometri dislocati nell'area di interesse in breve periodo di tempo. Sono state quindi avviate tre campagne di misure dei livelli di falda su 58 piezometri nell'arco di un'ora. Ciascuna campagna di indagine è stata eseguita in diversi momenti della giornata, così da "fotografare" le isopieziche in distinte condizioni di marea. Va precisato che, essendo la cadente piezometrica della falda estremamente bassa, è stato necessario riferirsi a un rilievo topografico del piano campagna di alta precisione per la misura della quota dei boccapozzo di tutti i sondaggi, in quanto errori anche dell'ordine del centimetro avrebbero inficiato la ricostruzione del pelo libero della falda.

Nelle figure 15.29 e 15.30 sono riportate due mappe piezometriche determinate il giorno 11.10.2006, rispettivamente in condizioni di alta marea e bassa marea. Dall'analisi di dette piezo-

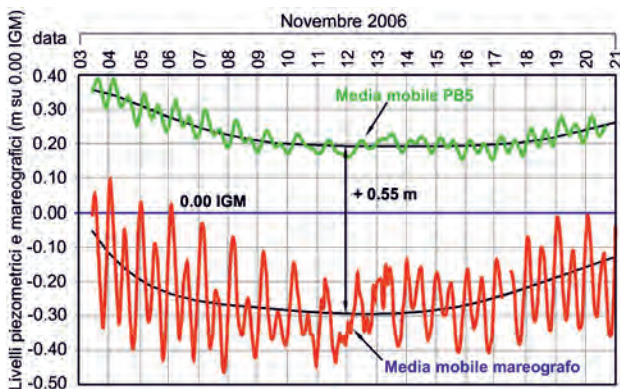


Fig. 15.28 - Confronto tra l'andamento nel tempo del livello di falda misurato nel piezometro PB5 ubicato in figura 15.17 e del livello mare misurato al mareografo di Bari nel periodo 3 nov 2006 ÷ 20 nov 2006 (da COTECCHLA & SCURO, 2010).

- Comparison between time changes of groundwater level measured in piezometer PB5 (fig. 15.17) and of sea level measured at the tide gauge of Bari, in the time span 03/11/2006 ÷ 20/11/2006 (after COTECCHLA & SCURO, 2010).

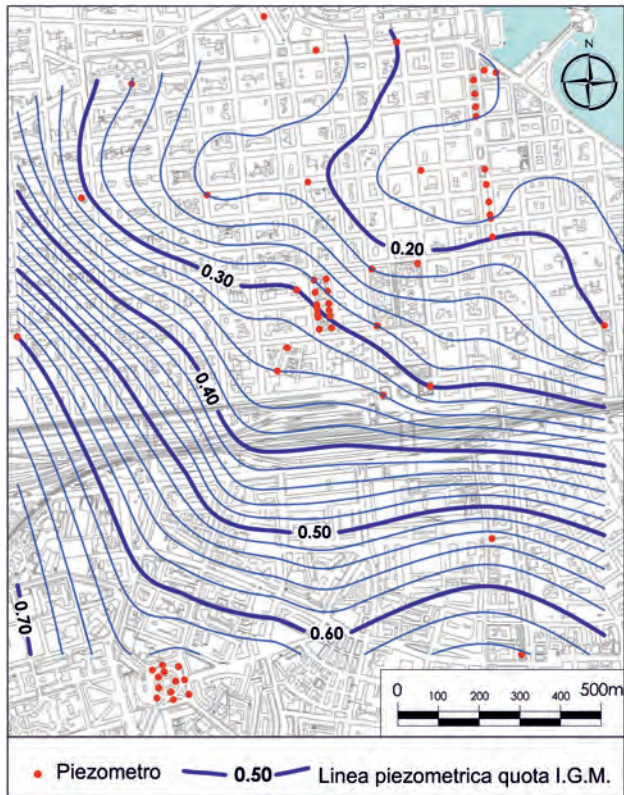


Fig. 15.29 - Isopieziche determinate il giorno 11-10-2006 tra le ore 7:00 e le ore 8:00 a.m., livello mare = - 0.07 m I.G.M. (da COTECCHIA & SCURO, 2010).
- *Water table contour lines measured on October 11, 2006, from 7:00 a.m. to 8:00 a.m., sea level = - 0.07 m I.G.M. (after COTECCHIA & SCURO, 2010).*

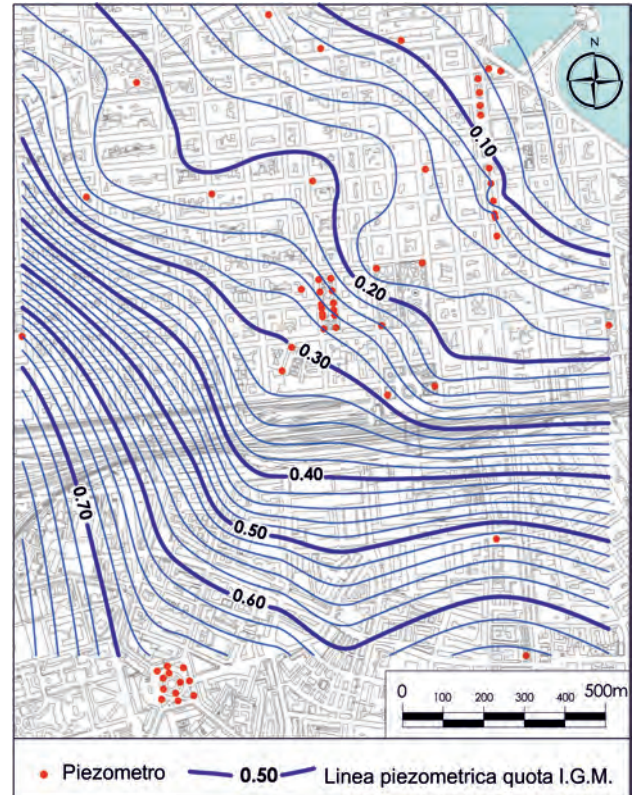


Fig. 15.30 - Isopieziche determinate il giorno 11-10-2006 tra le ore 12:00 e le ore 13:00, livello mare = - 0.20 m I.G.M. (da COTECCHIA & SCURO, 2010).
- *Water table contour lines measured on October 11, 2006, from 12:00 and 13:00, sea level = - 0.20 m I.G.M. (after COTECCHIA & SCURO, 2010).*

metrie è possibile rilevare quanto già evidenziato in precedenza: le oscillazioni del mare determinano una variazione dei livelli di falda che si riduce con l'aumentare della distanza dalla costa. Si rileva inoltre che ad una modifica della forma delle isopieziche corrisponde anche una variazione della cadente piezometrica e della direzione di deflusso, circostanze significative in prossimità della costa. Dette variazioni avvengono in intervalli di tempo pari a poche ore.

Alle variazioni piezometriche dovute alle oscillazioni del livello mare si sommano, nel medio e lungo termine, anche variazioni stagionali, dovute alle condizioni di ricarica della falda. La figura 15.21 illustra, tra l'altro, l'andamento nel tempo del livello falda rispetto al livello mare nel sondaggio NB1 nel periodo Marzo 2009 – Gennaio 2010, da cui si evince una sua riduzione nel periodo primavera-estate ed un incremento nel periodo autunno-inverno, in accordo con le condizioni di ricarica della falda.

15.9. – DISTRIBUZIONE AREALE DELLA CONCENTRAZIONE SALINA DELLE ACQUE DI FALDA E SUA VARIAZIONE NEL TEMPO

La figura 15.31 illustra la distribuzione spaziale della concentrazione salina calcolata con i metodi illustrati capitolo 3, per livelli della falda profonda murgiana di profondità e spessore funzione della quota piezometrica b (livelli A, B e C).

Nella Murgia costiera settentrionale il livello di falda A, ossia quello presente tra il tetto dell'acquifero ed una profondità dalla superficie piezometrica pari a 10 h, presenta valori di concentrazione salina significativamente elevati (15.31a). In prossimità della città di Barletta la salinità dell'acqua di falda è in genere superiore ad 1 g/l, e raggiunge valori compresi tra 5 ÷ 10 g/l in prossimità della città di Trani. L'elevato tenore salino delle acque sotterranee qui esistenti è in parte imputabile alle particolari condizioni geologico – strutturali, che qui determinano l'approfondirsi dei calcari verso

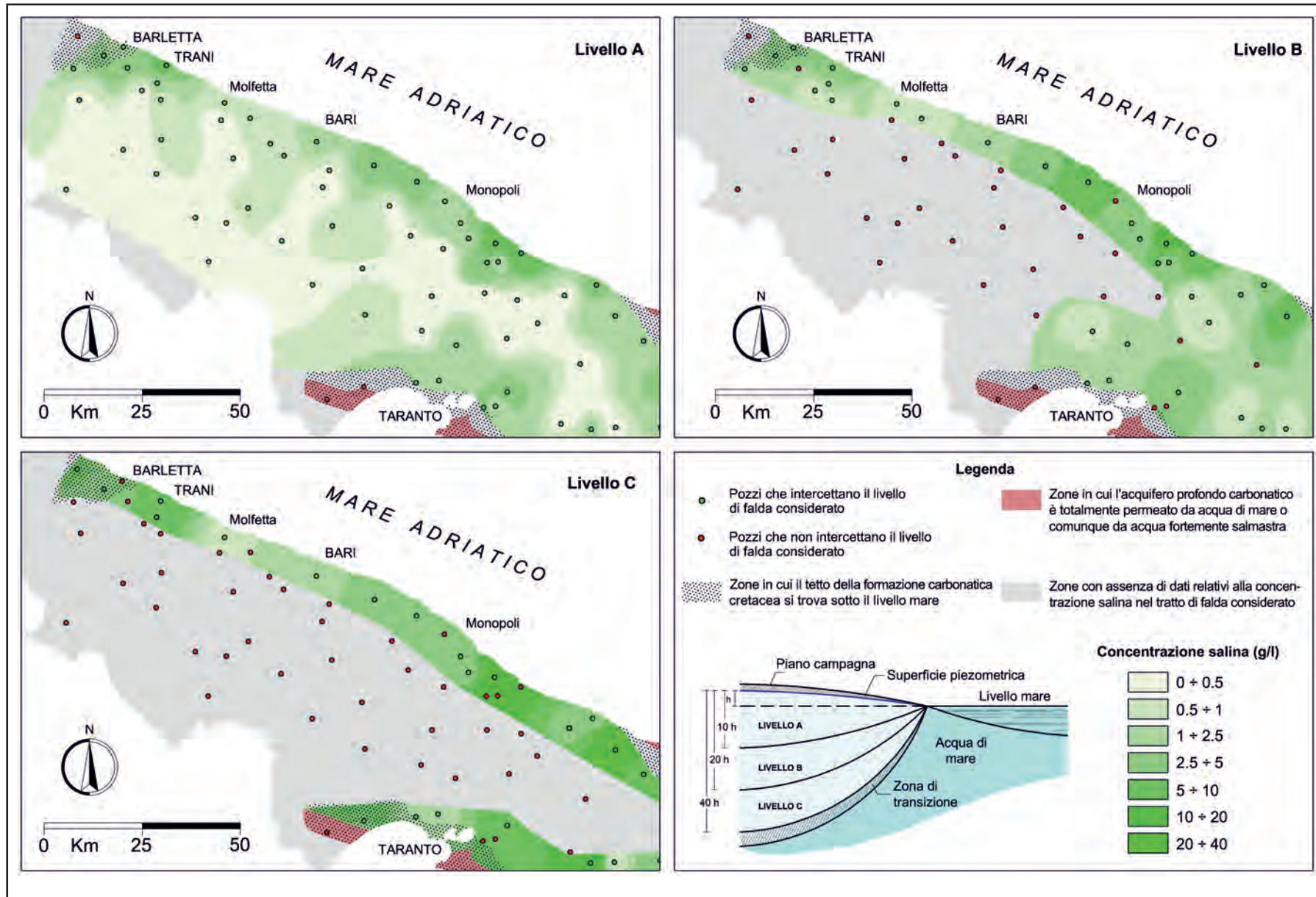


Fig. 15.31 - Distribuzione della concentrazione salina delle acque della falda idrica profonda della Murgia nel periodo 2007+2010, determinata su livelli di falda (A, B e C) di profondità e spessore funzione della quota piezometrica.

- Distribution of the salt concentration in the deep groundwaters of Murgia in the period 2007-2010, determined at ground water level (A, B and C) with depth and thickness as a function of the piezometric head.

il mar Adriatico, con scarpate di faglia che portano il tetto dei calcari a quote inferiori a quella del livello mare. Nella porzione di litorale che si sviluppa nei pressi della città di Molfetta, sino ad arrivare a Nord di Bari, si ha una significativa riduzione della salinità, con valori di concentrazione salina in genere inferiori ad 1 g/l. Lungo il litorale meridionale della Murgia, a partire dalla città di Bari, si osserva nuovamente un significativo incremento di salinità. Procedendo verso l'interno si ha una graduale riduzione della salinità, sino a valori in genere inferiori a 0,5 g/l, tipici dell'Alta Murgia, rivenuti sino alle massime profondità indagate.

L'analisi della concentrazione salina dei livelli di falda più profondi (livelli B e C; fig. 15.31b e c) è stata possibile solo per le porzioni più costiere della Murgia, stante la mancanza di Log salinometrici profondi nelle porzioni più interne. Le elaborazioni eseguite per il livello B, compreso tra 10 e 20 volte la quota piezometrica, evidenziano un significativo incremento di salinità rispetto quanto osservato per il livello A, ad indicare un significativo incremento di salinità già per profondità inferiori a quelle proprie del passaggio all'acqua di mare. L'analisi della distribuzione della concentrazione salina del livello C, di spessore compreso tra 20 e 40 volte la quota piezometrica, evidenzia un ulteriore incremento di salinità, ed i valori raggiunti sono quasi sempre significativamente inferiori a quelli tipici dell'acqua di mare.

In figura 15.32 è rappresentato l'incremento che la concentrazione salina del livello più superficiale della falda (livello A) ha subito nel passaggio dal periodo 1970÷1990 al periodo 2007÷2010, determinato con i metodi illustrati nel capitolo 3. Detta figura evidenzia che gran parte della fascia costiera murgiana ha subito un peggioramento qualitativo, che è più marcato nelle porzioni di litorale comprese tra Barletta e Trani ed a Sud di Bari. Il peggioramento qualitativo è evidente anche dall'analisi di Log salinometrici desunti dai Log conduttimetrici (fig. 15.33), che indicano un chiaro incremento di salinità nelle porzioni più superficiali della falda. Gli incrementi misurati sono spesso notevoli e superiori ad eventuali errori nel calcolo della concentrazione salina a partire dalla conducibilità elettrica. Nel caso dei pozzi 129 EISS e 5AB si ha un incremento di con-

centrazione salina maggiore di 1 g/l. Per i pozzi 101V ed LS4BA l'incremento di concentrazione salina è pari ad alcuni decimi di g/l, che rappresenta una notevole percentuale della concentrazione salina di partenza.

15.10. – CHIMISMO DELLE ACQUE DI FALDA

Al fine di meglio indagare i rapporti esistenti tra le caratteristiche idrogeologiche locali e quelle qualitative dell'acqua di falda, è stata eseguita un'analisi più dettagliata del chimismo di queste ultime partendo dai risultati di analisi chimiche eseguite in diverse epoche storiche e mirate alla determinazione degli ioni principali.

Sulla base dei risultati di determinazioni chimiche si è proceduto alla ricostruzione dei diagrammi di Schoeller e al calcolo dei rapporti caratteristici e della percentuale di miscelamento con l'acqua di mare (cap. 2). Inoltre, al fine di ottenere un efficace confronto con le due condizioni limite, rappresentate dall'acqua di mare e dall'acqua di falda incontaminata, nelle medesime rappresentazioni grafiche sono riportati i diagrammi di Schoeller ed i rapporti caratteristici dell'acqua di mare attuale e di un campione prelevato dalla Sorgente Canneto, da ritenersi non contaminata dal mare.

L'analisi ha consentito di individuare alcune aree come più significative per la interpretazione del chimismo delle acque di falda, in particolare:

- Area di Barletta - Andria - Trani.
- Area di Bari - Bitritto - Bitetto - Modugno - Altamura.
- Area di Monopoli - Polignano a Mare - Conversano - Castellana Grotte.

15.10.1. - *Area di Barletta-Andria-Trani*

I caratteri chimici delle acque sotterranee appartenenti a questa zona variano con la distanza dalla costa. I pozzi 119EISS, 129 EISS, 154 EISS, 151 EISS e 131 EISS individuano una prima fascia costiera (Barletta – Trani; fig. 15.34), di larghezza pari a circa 12 km, in cui le acque di falda sono notevolmente contaminate dall'acqua di mare (fig. 15.35). A ridosso della zona costiera è possibile rilevare una zona a media quota, tra i comuni di

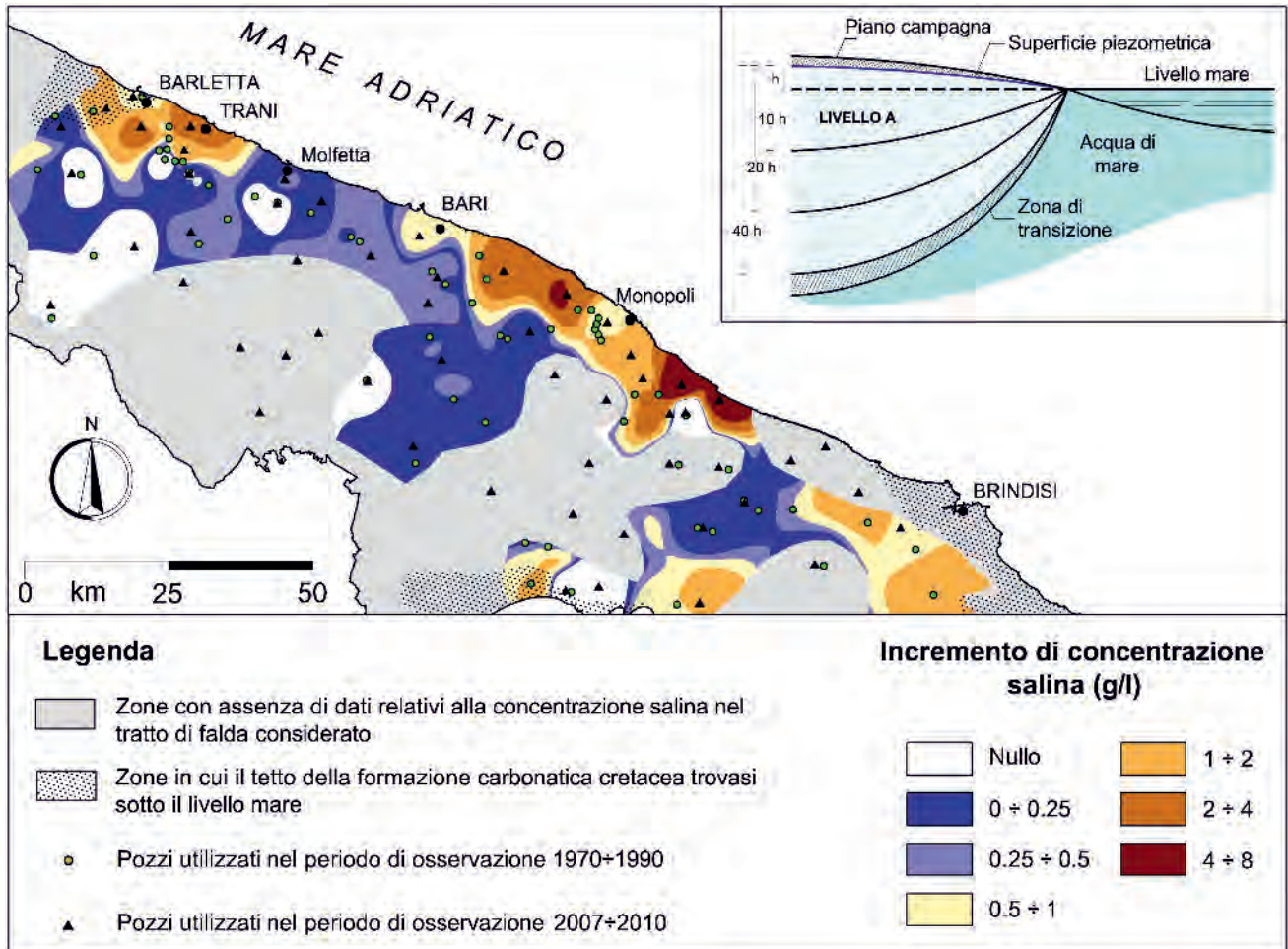


Fig. 15.32 - Incremento della concentrazione salina rilevato per le porzioni più superficiali della falda profonda (livello A) nel passaggio dal periodo 1970÷1990 al periodo 2007÷2010.

- Salt concentration increase in the shallowest sectors of the deep aquifer (level A) in the transition from the 1970÷1990 period to the 2007÷2010 period.

Andria e Corato, ove sono ubicati i pozzi 149 EISS e 153 EISS. Qui la qualità delle acque di falda è in generale migliore, anche se ancora influenzate dal fenomeno dell'intrusione marina (fig. 15.36). Si passa poi alla zona interna, ricadente nel comune di Andria, dove sono ubicati i pozzi 1EM, 2 EM, 3EM, 4 EM, e 159EISS, per la quale sono quasi assenti processi di mescolamento dell'acqua di mare (fig. 15.37). La Suddivisione in queste zone è immediata allorché si confrontano alcuni rapporti caratteristici delle specie ioniche, che nelle figure 15.38÷15.40 vengono diagrammati con la percentuale di mescolamento con l'acqua di mare, stimata assumendo che sia nulla per acqua di caratteristiche chimiche pari a quelle della sorgente Canneto appartenente all'Area Idrogeologica del Gargano (cap. 4). Da dette figure è possibile rilevare che per la fascia costiera il rapporto

rCa/rMg risulta spesso inferiore o prossimo all'unità, il rapporto Cl/TDS si aggira intorno a 0,4 ed il rapporto $rNa + rK + rCl + rSO_4/rCa + rMg + rHCO_3$ è circa compreso nell'intervallo 2÷6. Ciò indica un notevole mescolamento tra le acque dolci di falda e l'acqua di mare, con percentuali di mescolamento che raggiungono il 20 %, in aumento all'avvicinarsi dei rapporti caratteristici ai valori tipici dell'acqua di mare. I dati mostrano anche che nell'area in esame risulta $Cl^- > HCO_3^- > SO_4^{2-} \approx Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++} > K^+$. In alcuni casi (131 EISS, 151EISS e 154 EISS), quando $Cl^- > 40$ meq/l, si osserva invece $Cl^- > SO_4^{2-} > HCO_3^-$, così come accade per l'acqua di mare. Ciò dimostra inequivocabilmente che la concentrazione salina riscontrata (1,5÷5 g/l; tabb. 15.1÷15.5), è di origine sostanzialmente marina.

A partire da una distanza pari a circa 12 km

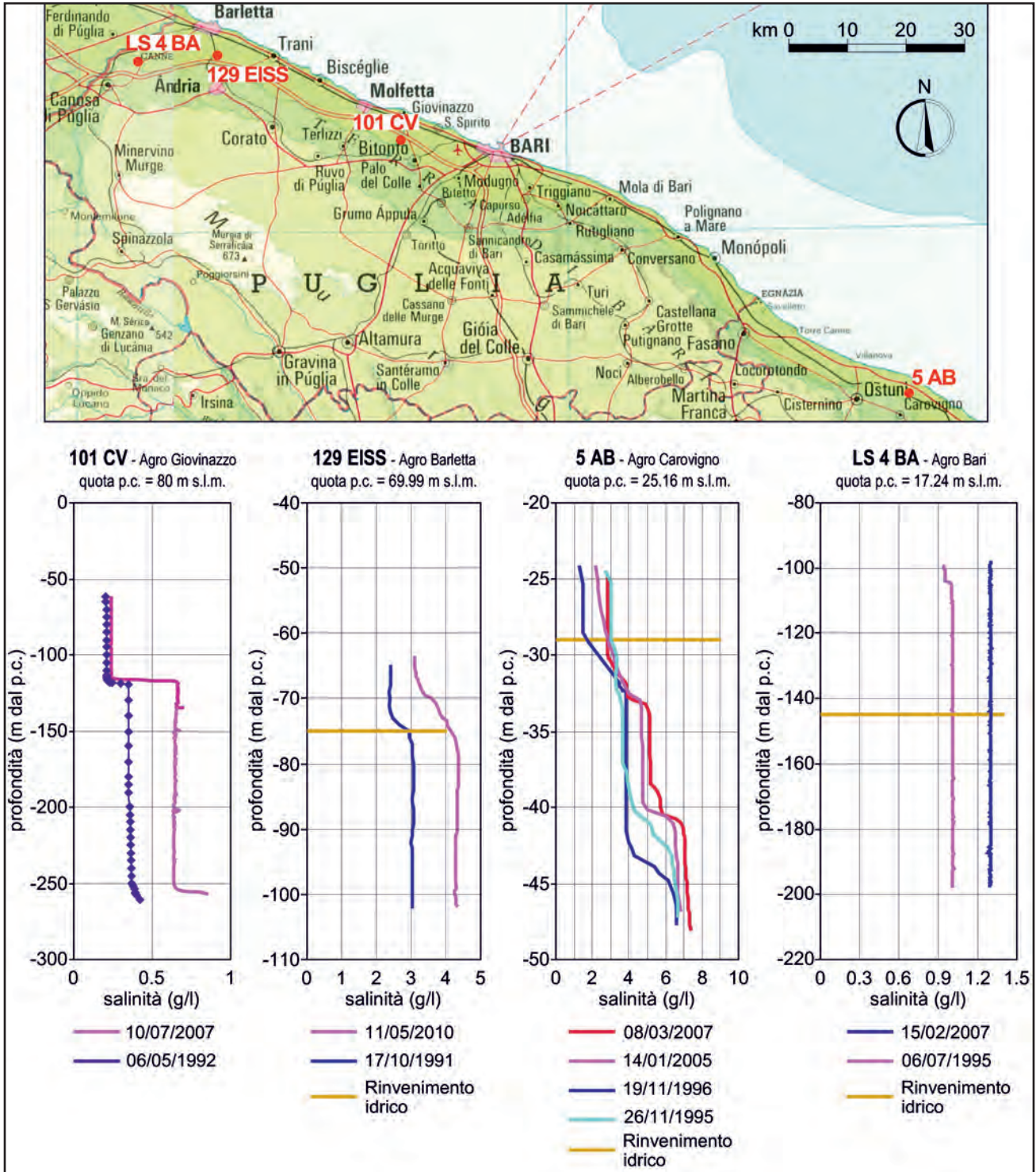


Fig. 15.33 - Log salinometrici eseguiti lungo alcune verticali variamente distribuite nel territorio murgiano.
 - Salinity logs performed along some boreholes in the Murge territory.

dalla linea di costa, tra i comuni di Trani ed Andria, è quindi possibile osservare un cambiamento di facies delle acque campionate, che diventa di tipo bicarbonato - calcica, con significativa riduzione della salinità. I rapporti caratteristici tendono ad allon-

tanarsi da quelli tipici dell'acqua di mare e si rileva, per tutti i campioni esaminati, la sequenza $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$ e $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, tipica di acque che non hanno subito un fenomeno di mescolamento con l'acqua di mare, o lo hanno su-

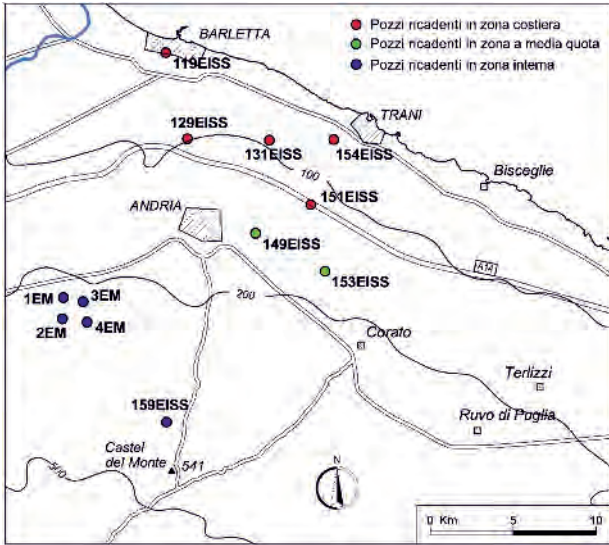


Fig. 15.34 - Planimetria con ubicazione dei pozzi esaminati nell'analisi del chimismo delle acque sotterranee dell'area di Barletta-Andria-Trani.
- Map showing the location of the wells analysed as regards the groundwater chemistry in the area of Barletta-Andria-Trani.

bito solo in minima parte. L'area a media quota non è comunque totalmente esente dal fenomeno della intrusione marina, così come segnalato dal campionamento dinamico eseguito nel pozzo 149 EISS nel Marzo del 1971, che ha indicato una inversione sodio - magnesio (fig. 15.36). È da segnalare che in questa area la concentrazione dei nitrati hanno superato spesso il limite di 50 mg/l (149 EISS), in molti casi con significativi incrementi nel tempo anche a notevoli profondità (tabb. 15.6÷15.7).

L'area più interna analizzata, coincidente con l'agro di Andria, ha presentato in generale valori molto bassi di concentrazione salina (tabb. 15.8÷15.9), anche alle maggiori profondità investigate (-100 m s.l.m.). Per tutti i campionamenti analizzati è stato osservato che $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$. Il calcio è sempre il catione maggiormente presente. Nei pozzi 1EM, 2EM e 4EM è inoltre valida la sequenza $\text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, così come nei campionamenti eseguiti nei mesi di gennaio del 1997 e settembre del 2003 nel pozzo 159 EISS.

Pur presentando l'acqua di falda una *facies* bicarbonato-calcica, è stato possibile rilevare una seppur minima influenza marina anche nelle aree interne. Infatti, i campionamenti eseguiti nei mesi di marzo del 1969 (campionamento dinamico), di dicembre 2009 e giugno 2009 nel già citato pozzo 159 EISS

ed il campionamento eseguito nel pozzo 3EM hanno presentato una inversione della coppia Na/Mg (fig. 15.37). Per essi risulta infatti $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$, ad indicare una possibile influenza marina. Nel caso del pozzo 159 EISS si è registrato, nel campionamento dinamico e nei campionamenti statici recenti, un incremento della concentrazione salina e di Na rispetto al Mg. Si fa osservare che i campionamenti dinamici eseguiti a 14 anni di distanza nei pozzi 1EM, 2EM, 3EM e 4EM (1988-2002) hanno indicato un incremento di salinità, riscontrabile dall'incremento della conducibilità elettrica e della concentrazione dello ione cloruro, di tutta evidenza di origine marina (tab. 15.9). In detta area si ha quindi che nonostante la qualità dell'acqua sia ancora ottima, si osserva un inaspettato fenomeno di intrusione marina, la cui evoluzione futura andrà adeguatamente monitorata. Per questa area si sono rilevati, sulla base dei dati storici, dei valori di nitrati in genere molto contenuti.

15.10.2. - Area di Bari-Bitritto-Bitetto-Modugno-Altamura

Anche per quest'area, come per quella precedentemente analizzata, è possibile individuare una prima fascia costiera di larghezza orientativamente pari a 12 km, cui appartengono i pozzi SC6, P9, 203 EISS e 204 EISS, in cui le acque di falda risultano fortemente mescolate a quelle di mare (fig. 15.41). I diagrammi di Schoeller dei pozzi anzidetti indicano una *facies* chimica delle acque di falda quasi sempre cloruro-sodica (fig. 15.42). Dai campionamenti esaminati la concentrazione salina delle acque di falda è quasi sempre risultata superiore ad 1 g/l (tabb. 15.10 e 15.11), con $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ ed Na il catione maggiormente presente. A seconda del grado di miscelamento con l'acqua di mare e dell'interazione tra l'acqua di falda e la matrice rocciosa, in alcuni casi è risultato $\text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$.

Il campionamento dinamico eseguito nel 1953 nel pozzo 203 EISS evidenzia una concentrazione salina superiore a 5 g/l, a fronte di una concentrazione salina pari a circa 1 g/l nelle porzioni più superficiali dello stesso pozzo rilevata in condizioni statiche. Si fa osservare che per detto pozzo il coefficiente di permeabilità è abbastanza elevato,

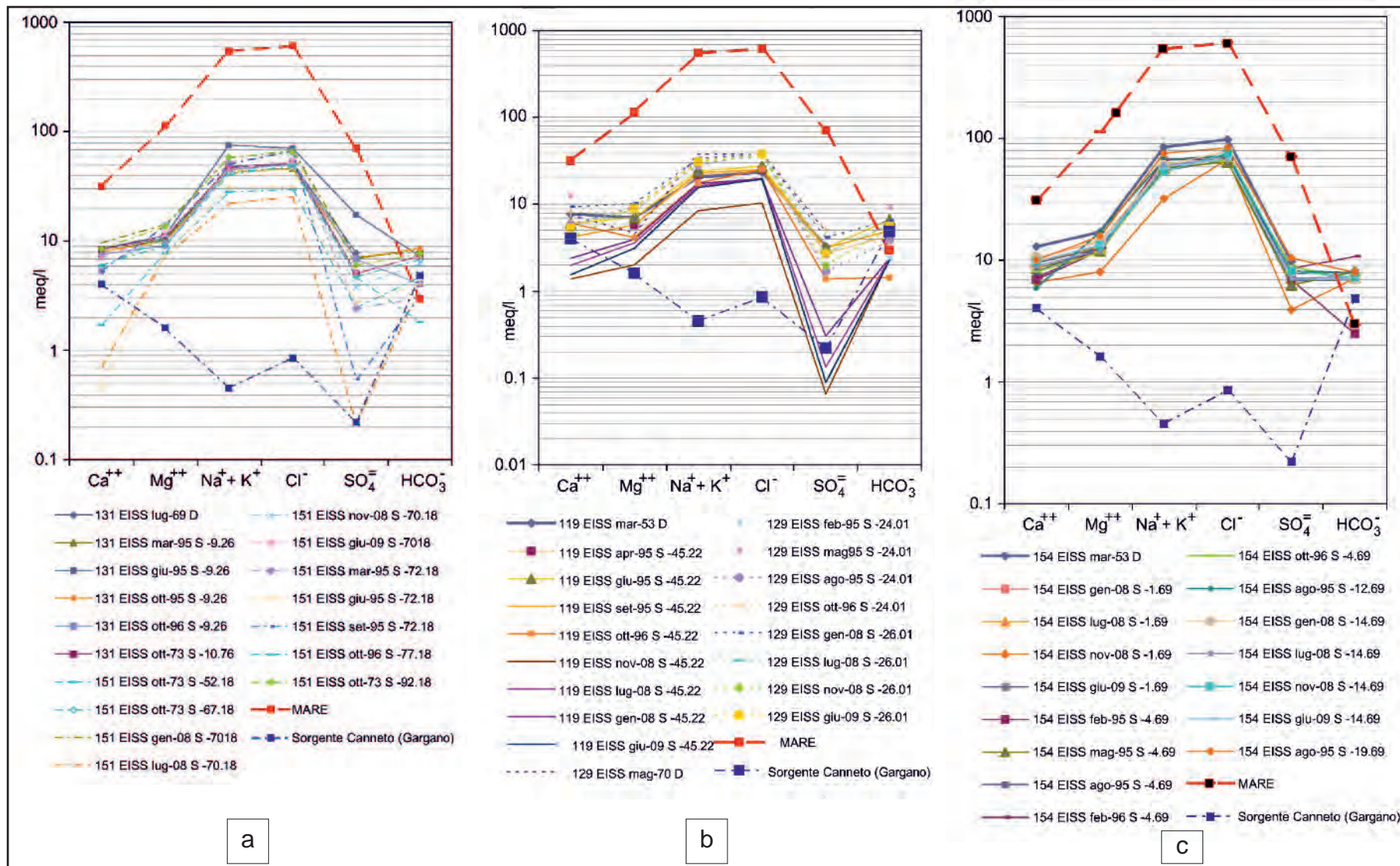


Fig. 15.35 - a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 131 EISS (21/AIM) - 151 EISS (29/AIM) ubicati in figura 15.34 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; b) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 119 EISS (15/IS) - 129 EISS (7/B) ubicati in figura 15.34 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; c) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee del pozzo 154 EISS (13/IS) ubicato in figura 15.34 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

- a) Schoeller diagram of groundwaters in wells 131 EISS (21/AIM) - 151 EISS (29/AIM) (location shown in fig. 15.34), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic) and depth of sampling with respect to the mean sea level; b) Schoeller diagram of groundwaters in wells 119 EISS (15/IS) - 129 EISS (7/B) (location shown in fig. 15.34), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic) and depth of sampling with respect to the mean sea level; c) Schoeller diagram of groundwaters in well 154 EISS (13/IS) (location shown in fig. 15.34), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic) and depth of sampling with respect to the mean sea level.

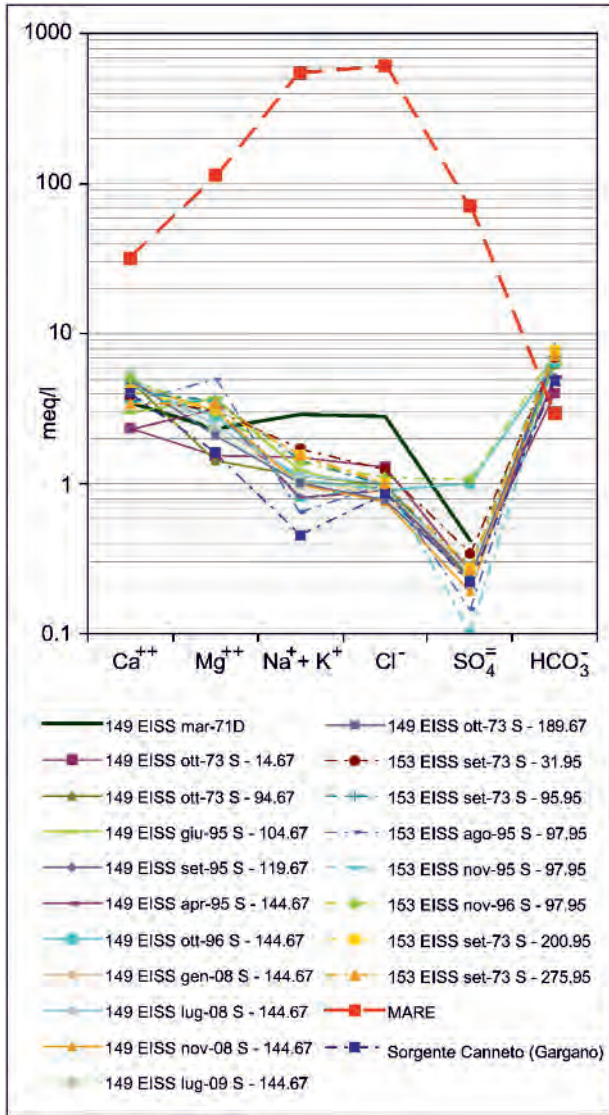


Fig. 15.36 - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 149 EISS (31/AIM) - 153 EISS (30/AIM) ubicati in figura 15.34 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.
 - Schoeller diagram of groundwaters in well 149 EISS (31/AIM) - 153 EISS (30/AIM), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic) and depth of sampling with respect to the mean sea level.

187EISS, 184EISS, 188EISS, 191EISS, 194EISS, 44EM, BA 6 Diesse 2 e PP27 (fig. 15.43; tabb. 15.12÷15.16), dove è possibile rilevare sia acque

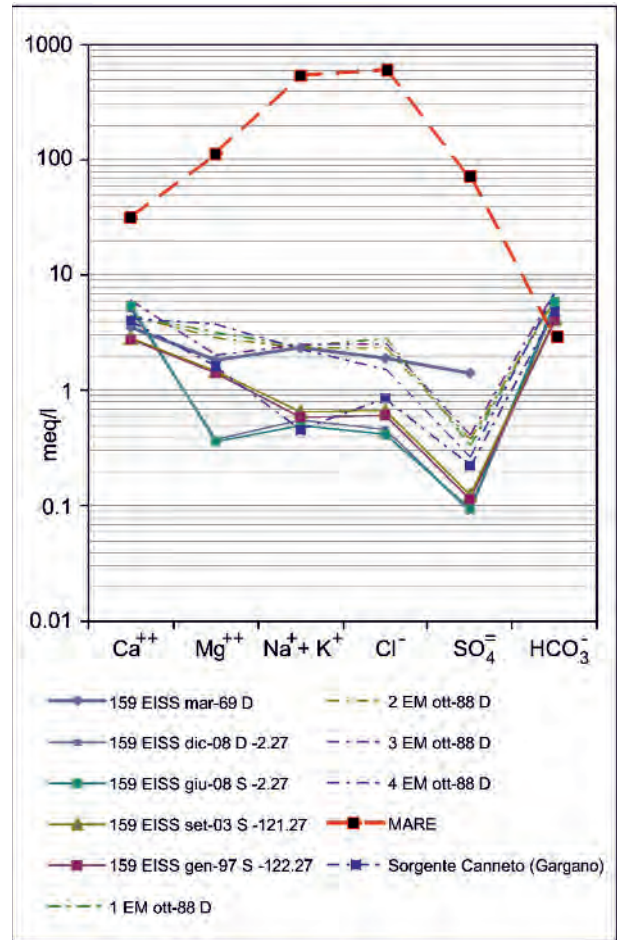


Fig. 15.37 - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 159 EISS (1/CDM) - 1M - 2M - 3M - 4M ubicati in figura 15.34 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.
 - Schoeller diagram of groundwaters in well 159 EISS (1/CDM) - 1M - 2M - 3M - 4M, showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic) and depth of sampling with respect to the mean sea level.

dell'ordine di 10^{-2} cm/s, e ciò conduce ad alcune riflessioni circa la possibilità di adottare in dette condizioni idrogeologiche pozzi "orizzontali", secondo quanto già descritto nel capitolo 12. L'emungimento attuato con pozzo verticale ha infatti determinato un notevole incremento di salinità. I nitrati segnalati per i pozzi esaminati sono risultati in generale bassi.

A ridosso della fascia costiera, nella zona di Bitritto - Bitetto - Modugno, è stata individuata una zona a media quota, cui appartengono i pozzi

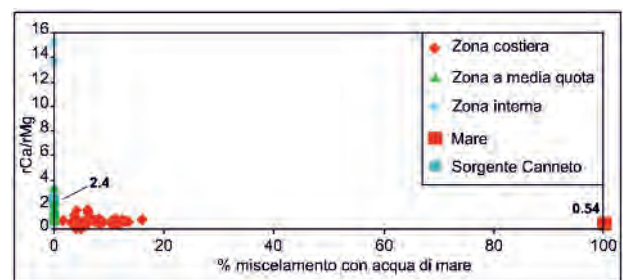


Fig. 15.38 - Variazione del rapporto caratteristico rCa/rMg con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Barletta-Andria-Trani.
 - Variation in the characteristic ratio rCa/rMg , with the fresh water/sea water mixing percentage observed in wells of the area of Barletta-Andria-Trani.

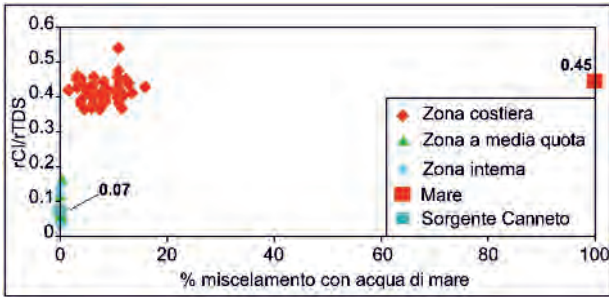


Fig. 15.39 - Variazione del rapporto caratteristico $rCl/rTDS$ con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Barletta-Andria-Trani.

- Variation in the characteristic ratio $rCl/rTDS$, with the fresh water/seawater mixing percentage observed in wells of the area Barletta-Andria-Trani.

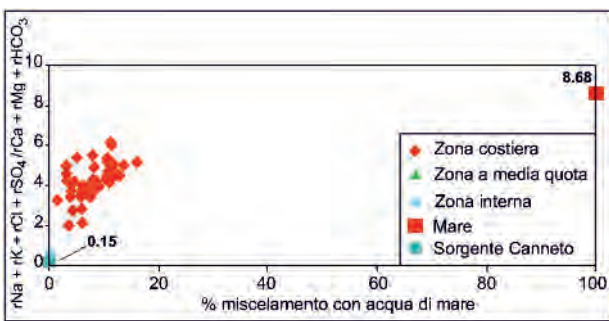


Fig. 15.40 - Variazione del rapporto caratteristico $rNa + rK + rCl + rSO_4/rCa + rMg + rHCO_3$ con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Barletta-Andria-Trani.

- Variation in the characteristic ratio $rNa + rK + rCl + rSO_4/rCa + rMg + rHCO_3$, with fresh water/seawater mixing percentage observed in wells of the area of Barletta-Andria-Trani.

poco o per niente mescolate con acqua di mare, sia acque di falda significativamente contaminate dal mare. In particolare i pozzi 184 EISS, 187 EISS, 188 EISS e 191 EISS, dei quali si dispone di soli campionamenti dinamici, hanno fornito una concentrazione salina pari a circa 1 g/l o poco inferiore. L'analisi dei diagrammi di Schoeller di detti campionamenti evidenzia inoltre un incremento degli ioni Na e Cl tanto da rendere le acque estratte, in alcuni casi, di *facies* cloruro - sodiche. In particolare, i campionamenti eseguiti nel mese di settembre del 1965 nel pozzo 188 EISS e nel mese di giugno del 1966 nel pozzo 184 EISS, hanno fornito una sequenza $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+$. I restanti pozzi hanno invece fornito una salinità inferiore, e sono caratterizzati in generale da una sequenza $Ca^{++} > Mg^{++} > Na^+ > K^+$. Non è possibile tuttavia entrare con maggior dettaglio nell'analisi di questi dati in quanto non si conoscono le portate emunte e le ore di pompaggio che hanno preceduto il campionamento dinamico, oltre che elementi illustrativi delle condizioni statiche nei medesimi pozzi. Si fa comunque osservare che il pozzo 187 EISS ha fatto registrare un peggioramento della qualità dell'acqua estratta dal 1965 (690 mg/l) al 2009 (830 mg/l); (tab. 15.12). I nitrati sono risultati in generale bassi, tranne che per il

Tab. 15.1 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 119 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.
- Chemical-physical and hydrogeological parameters of the well 119 EISS, located in the Barletta-Andria Trani area.

| POZZO | 119 EISS | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 6.02 | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 3.93E-06 | | | | | | | | |
| Penetrazione | 23.32% | | | | | | | | |
| Data di campionamento | mar-53 | apr-95 | giu-95 | set-95 | ott-96 | gen-08 | lug-08 | nov-08 | giu-09 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -45.22 | -45.22 | -45.22 | -45.22 | -45.22 | -45.22 | -45.22 | -45.22 |
| TDS (mg/l) | 1986.00 | 2215.00 | 2135.00 | 2098.00 | 1570.00 | 1517.73 | 1471.63 | 1523.92 | 1455.12 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.07 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Nitrati (mg/l) | - | 1.80 | 6.31 | 8.70 | 4.10 | 1.22 | 0.57 | 0.58 | 0.40 |

Tab. 15.2 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 129 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.*
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 129 EISS, located in the Barletta-Andria Trani area.

| POZZO | 129 EISS | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 6.19 | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 5.81E-05 | | | | | | | | |
| Penetrazione | 17.69% | | | | | | | | |
| Data di campionamento | mag-70 | feb-95 | mag-95 | ago-95 | ott-96 | gen-08 | lug-08 | nov-08 | giu-09 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -24.01 | -24.01 | -24.01 | -24.01 | -26.01 | -26.01 | -26.01 | -26.01 |
| TDS (mg/l) | 2798.00 | 2664.00 | 2980.00 | 2760.00 | 2615.00 | 3240.48 | 2816.67 | 2673.57 | 2865.52 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | <0,05 | 0.42 | <0,05 | 0.06 |
| Nitrati (mg/l) | - | 6.20 | 2.50 | 44.30 | 35.40 | 94.90 | 28.40 | 18.70 | 31.40 |
| ore di pompaggio | 7.30 | - | - | - | - | - | - | - | - |

Tab. 15.3 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 154 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.*
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 154 EISS, located in the Barletta-Andria Trani area.

| POZZO | 154 EISS | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 1.31 | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 2.04E-03 | | | | | | | | |
| Penetrazione | 48.84% | | | | | | | | |
| Data di campionamento | mar-53 | gen-08 | lug-08 | nov-08 | giu-09 | feb-95 | mag-95 | ago-95 | |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S | S | S | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -1.69 | -1.69 | -1.69 | -1.69 | -4.69 | -4.69 | -4.69 | |
| TDS (mg/l) | 6608.00 | 5043.04 | 4871.04 | 2965.28 | 4734.82 | 4598.00 | 4687.00 | 4760.00 | |
| Nitriti (mg/l) | - | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | |
| Nitrati (mg/l) | - | 39.40 | 40.90 | 24.40 | 42.70 | 4.00 | 2.20 | 27.00 | |
| ore di pompaggio | 11.40 | - | - | - | - | 3.15 | 6 | 5.30 | |
| POZZO | 154 EISS | | | | | | | | |
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 1.31 | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 2.04E-03 | | | | | | | | |
| Penetrazione | 48.84% | | | | | | | | |
| Data di campionamento | feb-96 | ott-96 | ago-95 | gen-08 | lug-08 | nov-08 | giu-09 | ago-95 | |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -4.69 | -4.69 | -12.69 | -14.69 | -14.69 | -14.69 | -14.69 | -19.69 | |
| TDS (mg/l) | 4960.00 | 1990.00 | 5310.00 | 5146.24 | 5077.44 | 3123.52 | 5063.68 | 5420.00 | |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | 0.05 | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | |
| Nitrati (mg/l) | 26.10 | 21.40 | 25.20 | 39.40 | 40.90 | 24.40 | 42.70 | 25.20 | |
| ore di pompaggio | - | - | 8.30 | - | - | - | - | 7 | |

Tab. 15.4 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 151 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.*
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 151 EISS, located in the Barletta-Andria Trani area.

| POZZO | 151 EISS | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------|---------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 3.32 | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.15E-05 | | | | | |
| Penetrazione | 81.48% | | | | | |
| Data di campionamento | ott-73 | ott-73 | gen-08 | lug-08 | nov-08 | giu-09 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -52.18 | -67.18 | -70.18 | -70.18 | -70.18 | -70.18 |
| TDS (mg/l) | - | - | 4905.44 | 1964.24 | 3722.08 | 4101.86 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.06 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Nitrati (mg/l) | - | 13.50 | 22.40 | -0.93 | 12.00 | 19.10 |

| POZZO | 151 EISS | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 3.32 | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.15E-05 | | | | |
| Penetrazione | 81.48% | | | | |
| Data di campionamento | mar-95 | giu-95 | set-95 | ott-96 | ott-73 |
| Tipo di campionamento | S | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -72.18 | -72.18 | -72.18 | -77.18 | -92.18 |
| TDS (mg/l) | 4750.00 | 2070.00 | 3879.00 | 3120.00 | - |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.00 |
| Nitrati (mg/l) | 3.40 | 5.09 | 13.50 | 9.60 | 30.88 |

Tab. 15.5 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 131 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.*
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 131 EISS, located in the Barletta-Andria Trani area.

| POZZO | 131 EISS | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 3.94 | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 3.93E-03 | | | | | |
| Penetrazione | 10.22% | | | | | |
| Data di campionamento | lug-69 | mar-95 | giu-95 | ott-95 | ott-96 | ott-73 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -9.26 | -9.26 | -9.26 | -9.26 | -10.76 |
| TDS (mg/l) | 3720.00 | 3260.00 | 3821.00 | 3970.00 | 3100.00 | - |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.00 |
| Nitrati (mg/l) | - | 5.30 | 2.95 | 39.76 | 30.30 | 21.67 |
| ore di pompaggio | 7.30 | - | - | - | - | - |

Tab. 15.6 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 149 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.*
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 149 EISS, located in the Barletta-Andria Trani area.

| POZZO | 149 EISS | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 11.83 | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 4.15E-07 | | | | | |
| Penetrazione | 46.28% | | | | | |
| Data di campionamento | mar-71 | ott-73 | ott-73 | giu-95 | set-95 | apr-95 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -14.67 | -94.67 | -104.67 | -119.67 | -144.67 |
| TDS (mg/l) | 456.00 | - | - | 450.00 | 510.00 | 458.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.00 | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Nitrati (mg/l) | - | 0.16 | 0.16 | 3.35 | 13.90 | 2.30 |

| POZZO | 149 EISS | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 11.83 | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 4.15E-07 | | | | | |
| Penetrazione | 46.28% | | | | | |
| Data di campionamento | ott-96 | gen-08 | lug-08 | nov-08 | lug-09 | ott-73 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -144.67 | -144.67 | -144.67 | -144.67 | -144.67 | -189.67 |
| TDS (mg/l) | 450.00 | - | - | - | - | - |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.00 |
| Nitrati (mg/l) | 15.70 | 26.20 | 24.00 | 20.00 | 63.70 | 1.45 |

Tab. 15.7 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 153 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.*
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 153 EISS, located in the Barletta-Andria Trani area.

| POZZO | 153 EISS | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 14.15 | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.52E-07 | | | | | | |
| Penetrazione | 56.74% | | | | | | |
| Data di campionamento | set-73 | set-73 | ago-95 | nov-95 | nov-96 | set-73 | set-73 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -31.95 | -95.95 | -97.95 | -97.95 | -97.95 | -200.95 | -275.95 |
| TDS (mg/l) | - | - | 507.00 | 598.00 | 310.00 | - | - |
| Nitriti (mg/l) | 0.00 | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - | 0.00 |
| Nitrati (mg/l) | 0.27 | 0.27 | 6.60 | 10.64 | 8.40 | 0.27 | 0.13 |

pozzo 187 EISS, che nel mese di gennaio 2009 ha fatto registrare una concentrazione pari a 49 mg/l.

In agro di Altamura (fig. 15.41) le acque di falda sono caratterizzate da una bassa concentrazione salina e dalla sostanziale assenza di mescolamento con acqua di mare, almeno sino alle profondità in-

Tab. 15.8 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 159 EISS presente nell'area di Barletta-Andria-Trani.*

- Chemical-physical and hydrogeological parameters of the well 159 EISS, located in the Barletta Andria Trani area.

| POZZO | 159 EISS | | | | |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 32.08 | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 2.07E-06 | | | | |
| Penetrazione | 23.53% | | | | |
| Data di campionamento | mar-69 | dic-08 | giu-09 | set-03 | gen-97 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -2.27 | -2.27 | -121.27 | -122.27 |
| TDS (mg/l) | 401.00 | 333.68 | 372.90 | 283.00 | 276.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 0.05 |
| Nitrati (mg/l) | - | 21.70 | 14.00 | 22.30 | 21.80 |

vestigate (fig. 15.44). Nei pozzi presi in esame per detta zona interna della Murgia (tabb. 15.17÷15.20) è risultata valida la sequenza $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{--} \approx \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$, tipica di acque di falda non contaminate dal mare. Per quanto attiene i nitrati, è da segnalare il pozzo 814 EIARI, ove nel mese di settembre 2007 si è rilevato un contenuto pari a circa 45mg/l. È inoltre da segnalare un progressivo incremento generalizzato dei nitrati negli ultimi 10÷15 anni circa.

L'analisi dell'andamento dei rapporti caratteristici rCa/rMg e rCl/rTDS in funzione della percentuale di miscelamento con acqua di mare (figg. 15.45 e 15.46), evidenzia l'influenza marina presente, oltre che per la fascia costiera, anche per la zona a media quota.

15.10.3. - Area di Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte

Le acque di falda risultano fortemente interessate da fenomeni di mescolamento con acqua di mare per una fascia costiera di larghezza pari a circa 7 km. La fascia costiera, sede dei pozzi M201, M295, M289 e 823EIARI (figg. 15.47 e 15.48), presenta tuttavia una certa disomogeneità nella distribuzione della concentrazione salina, determinata fondamentalmente dal variare della quota piezo-

Tab. 15.9 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 1 EM, 2 EM, 3 EM e 4 EM presenti nell'area di Barletta Andria-Trani.*

- Chemical-physical and hydrogeological parameters of the wells 1 EM, 2 EM, 3 EM and 4 EM, located in the Barletta-Andria-Trani area.

| POZZO | 1 EM | 2 EM | 3 EM | 4 EM | 1 EM | 2 EM | 3 EM | 4 EM |
|---|----------|----------|----------|----------|---------|--------|---------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m) | 14.70 | 13.54 | 17.37 | 16.55 | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 7.00E-06 | 3.80E-06 | 3.23E-05 | 1.31E-06 | | | | |
| Penetrazione | 37.85% | 43.56% | 28.30% | 35.94% | | | | |
| Data di campionamento | ott-88 | ott-88 | ott-88 | ott-88 | 2002 | 2002 | 2002 | 2002 |
| Tipo di campionamento | D | | | | | | | |
| TDS (mg/l) | 583.00 | 547.00 | 607.00 | 502.00 | | | | |
| Conducibilità elettrica specifica a 20°C (µS) | 866.00 | 827.00 | 906.00 | 755.00 | 1058.00 | 897.00 | 1073.00 | 943.00 |
| Cl (mg/l) | 99.00 | 81.00 | 88.00 | 53.00 | 155.00 | 110.00 | 145.00 | 121.00 |
| Portata (l/s) | 20 | 15 | 20 | 8 | | | | |

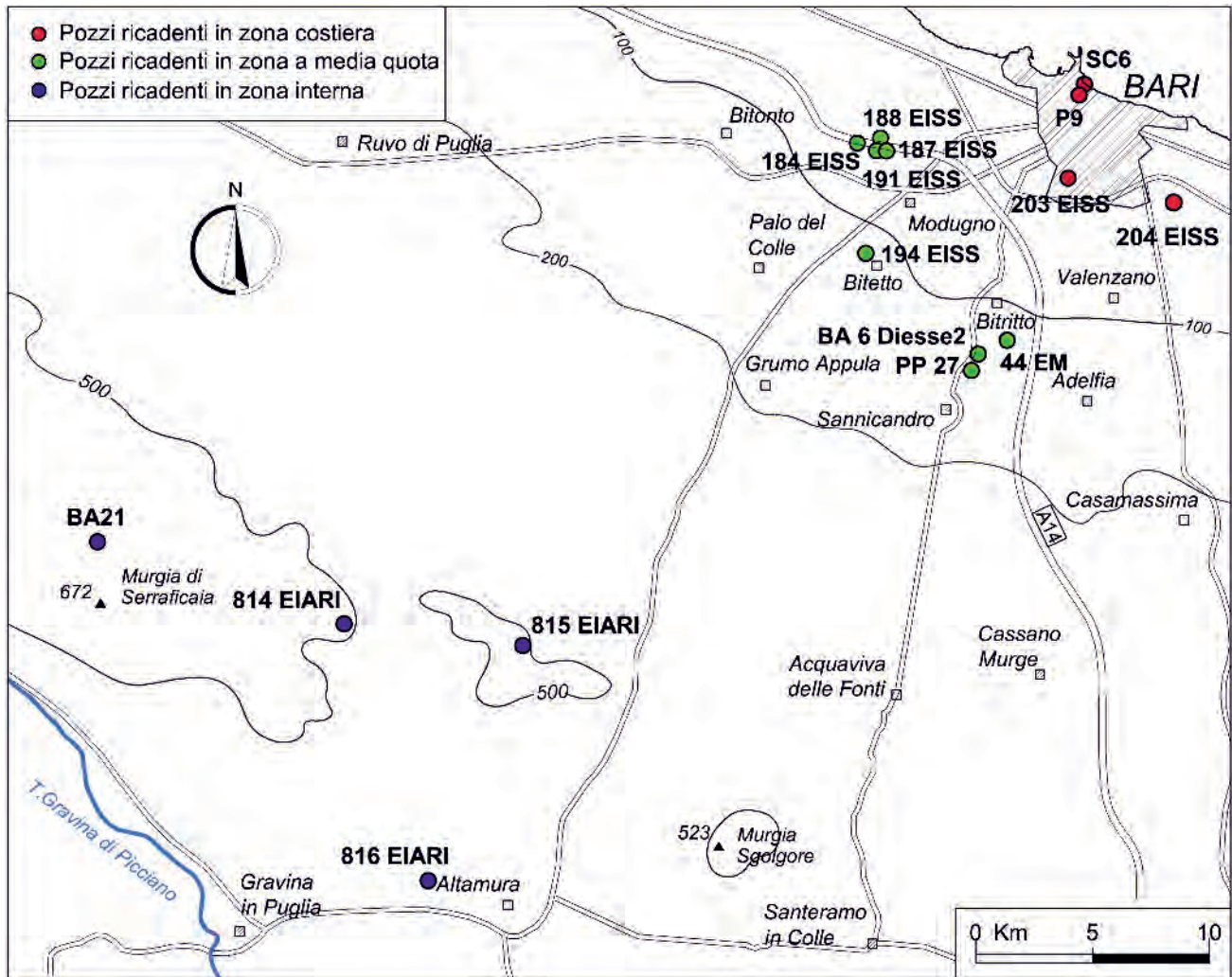


Fig. 15.41 - Planimetria con ubicazione dei pozzi esaminati nell'analisi del chimismo delle acque sotterranee dell'area di Bari-Bitonto-Bitritto-Modugno-Altamura.
- Map showing the location of the wells examined as regards groundwater chemistry in the area of Bari-Bitonto-Bitritto-Modugno-Altamura.

metrica (fig. 15.6; tabb. 15.21÷15.24). Procedendo dalla zona costiera di Polignano a Mare sino al litorale Sud di Monopoli si osserva infatti un incremento della quota piezometrica da circa 0,5 m s.l.m. (pozzo M201) a circa 7 m s.l.m. (823 EIARI), a causa delle variazioni del coefficiente di permeabilità. Si osserva, infatti, che il pozzo M201 ha fornito acque con concentrazione salina superiore a 15 g/l già per piccole profondità rispetto al piano campagna, caratterizzate quindi da una *facies* di tipo cloruro sodica. Per detto pozzo si fa inoltre osservare che il campionamento dinamico eseguito nel febbraio del 1971 ha fornito una concentrazione salina pari a circa 7 g/l, quindi notevolmente inferiore a quella osservata circa 30 anni dopo anche con campionamenti statici, ad indicare un grave

peggioramento della qualità dell'acqua di falda determinata da condizioni di sovrasfruttamento e quindi dall'intrusione marina. Analoga osservazione vale per il pozzo M295, dove il campionamento dinamico eseguito nel mese di dicembre del 1968 ha fornito una salinità di 1,2 g/l circa, mentre i più recenti campionamenti statici hanno fornito salinità decisamente superiore. Per detto pozzo si rileva in ogni caso una concentrazione salina inferiore rispetto al pozzo precedente, anche se esso si trova ad una simile distanza dalla costa, probabilmente a causa dell'incremento della quota piezometrica. In corrispondenza del pozzo 823 EIARI si rilevano valori di salinità simili, ma a profondità decisamente superiori, dell'ordine dei 230÷260 m sotto il livello del mare. La maggior

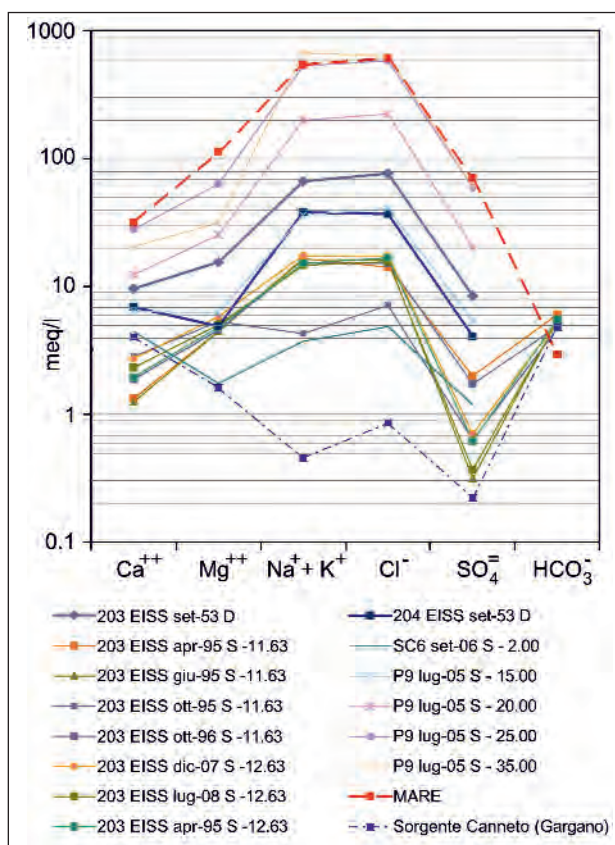


Fig. 15.42 - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 203 EISS (BA 22/IS) - 204 EISS - SC6 - P9 ubicati in figura 15.41 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare. - Schoeller diagram of groundwaters of wells 203 EISS (BA 22/IS) - 204 EISS - SC6 - P9 (location shown in fig. 15.41), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level.

profondità di detto pozzo è connessa alla bassa permeabilità che l'acquifero presenta in questa zona ($k \approx 1,8 \times 10^{-5}$ cm/s). Si ha quindi che per la porzione meridionale del litorale in analisi, l'incremento dello spessore della falda dovuto all'incremento della quota piezometrica viene, ai fini dell'estrazione, vanificato dalla brusca riduzione del coefficiente di permeabilità, che determina un incremento di depressione idrodinamica in condizioni di emungimento. Per tutti i campioni appartenenti alla fascia costiera risulta $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++}$ e $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$, con nitrati a volte oltre il limite di 50 mg/l, come nei pozzi M295 e M289.

Procedendo verso l'interno si ha un deciso miglioramento della qualità dell'acqua di falda, così come verificato nei pozzi 820EIARI, BASM2 e 714 EISS (figg. 15.47, 15.49a e b, tabb. 15.25÷15.27). Nel pozzo 820 EIARI, ad esempio, si è registrata una concentrazione salina inferiore a 0,5 g/l anche in campionamenti statici eseguiti ad una profondità rispetto al livello mare di 280 m circa, a fronte di un'altezza piezometrica di circa 10 m s.l.m. Detta circostanza è imputabile all'esistenza di strati di roccia dolomitica, molto poco impermeabile, che inibiscono il fenomeno della intrusione marina, rendendo particolarmente agevole l'estrazione delle acque dolci di falda.

Tab. 15.10 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 203 EISS e 204 EISS presenti nell'area di Bari-Bitetto Bitritto-Modugno-Altamura.

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the wells 203 EISS and 204 EISS, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 203 EISS | | | | | | | | 204 EISS |
|-----------------------------------|----------|---------|---------|--------|---------|---------|---------|---------|----------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 0.37 | | | | | | | | 1.03 |
| Permeabilità (m/s) | 3.38E-04 | | | | | | | | 1.10E-02 |
| Penetrazione | > 100% | | | | | | | | 28.68% |
| Data di campionamento | set-53 | apr-95 | giu-95 | ott-95 | ott-96 | dic-07 | lug-08 | giu-09 | set-53 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S | S | S | D |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -11.63 | -11.63 | -11.63 | -11.63 | -12.63 | -12.63 | -12.63 | - |
| TDS (mg/l) | 5279.00 | 1315.00 | 1270.00 | 870.00 | 1010.00 | 1490.90 | 1402.83 | 1459.94 | 2820.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 1.70 | 0.05 | <0,05 | - |
| Nitrati (mg/l) | - | 1.50 | 4.02 | 20.60 | 11.10 | 4.25 | 4.00 | 5.55 | - |

Tab. 15.11 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi P9 e SC6 presenti nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the wells P9 and SC6, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | P9 | | | | SC6 |
|-----------------------------------|---------|----------|----------|----------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 0.30 | | | | 0.15 |
| Data di campionamento | lug-05 | lug-05 | lug-05 | lug-05 | set-06 |
| Tipo di campionamento | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -15.00 | -20.00 | -25.00 | -35.00 | -2.00 |
| TDS (mg/l) | 2920.00 | 12100.00 | 35000.00 | 39400.00 | 510.00 |

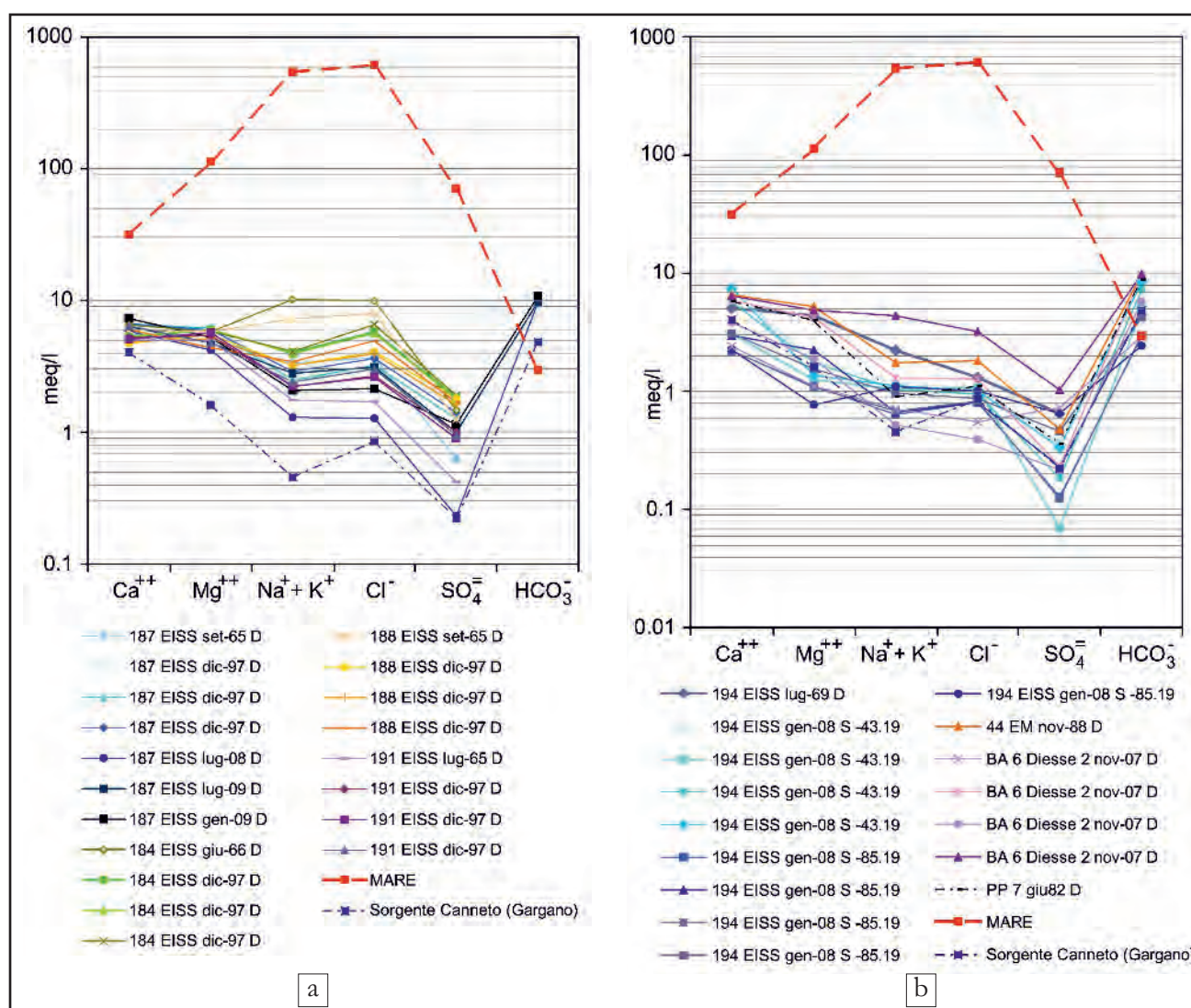


Fig. 15.43 - a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 187 EISS (BA 7 ASI) - 184 EISS (BA 1 ASI) - 188 EISS (BA 2 ASI) - 191 EISS (5/ASI) ubicati in fig. 15.41 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; b) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 194 EISS (BA 15/AIM) - 44 EM (P2) - BA 6 DIESSE 2 - PP27 ubicati in figura 15.41 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

- a) Schoeller diagram of groundwater of wells 187 EISS (BA 7 ASI) - 184 EISS (BA 1 ASI) - 188 EISS (BA 2 ASI) - 191 EISS (5/ASI) (location shown in fig. 15.41), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level; b) Schoeller diagram of groundwater of wells 194 EISS (BA 15/AIM) - 44 EM (P2) - BA 6 DIESSE 2 - PP27 (location shown in fig. 15.41), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level.

Tab. 15.12 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 187 EISS presente nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 187 EISS, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 187 EISS | | | | | | |
|----------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 23.84 | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 3.41E-06 | | | | | | |
| Penetrazione | 20.50% | | | | | | |
| Data di campionamento | set-65 | dic-97 | dic-97 | dic-97 | lug-08 | gen-09 | lug-09 |
| Tipo di campionamento | D | | | | | | |
| TDS (mg/l) | 690.00 | 860.00 | 810.00 | 870.00 | 619.20 | 762.30 | 828.35 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Nitrati (mg/l) | - | - | - | - | 21.00 | 49.00 | 39.70 |

Tab. 15.13 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 184 EISS e 188 EISS presenti nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the wells 184 EISS and 188 EISS, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 184 EISS | | | | 188 EISS | | | |
|----------------------------------|-----------------|--------|---------|---------|-----------------|--------|--------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 24.77 | | | | 20.07 | | | |
| Permeabilità (m/s) | 3.94E-06 | | | | 4.40E-06 | | | |
| Penetrazione | 16.67% | | | | 23.51% | | | |
| Data di campionamento | giu-66 | dic-97 | dic-97 | dic-97 | set-65 | dic-97 | dic-97 | dic-97 |
| Tipo di campionamento | D | | | | | | | |
| TDS (mg/l) | - | 990.00 | 1002.00 | 1010.00 | 1000.00 | 830.00 | 815.00 | 860.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

Tab. 15.14 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 191 EISS presente nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 191 EISS, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 191 EISS | | | |
|----------------------------------|-----------------|--------|--------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 23.55 | | | |
| Permeabilità (m/s) | 5.05E-06 | | | |
| Penetrazione | 19.53% | | | |
| Data di campionamento | lug-65 | dic-97 | dic-97 | dic-97 |
| Tipo di campionamento | D | | | |
| TDS (mg/l) | 870.00 | 720.00 | 730.00 | 764.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.05 | 0.05 | 0.05 |

Tab. 15.15 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 194 EISS presente nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 194 EISS, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 194 EISS | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 34.21 | | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.42E-06 | | | | | | | | | |
| Penetrazione | 15.73% | | | | | | | | | |
| Data di campionamento | lug-69 | gen-08 | lug-08 | nov-08 | giu-09 | mar-95 | giu-95 | set-95 | feb-96 | ott-96 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -43.19 | -43.19 | -43.19 | -43.19 | -85.19 | -85.19 | -85.19 | -85.19 | -85.19 |
| TDS (mg/l) | 569.00 | 555.90 | 352.26 | 465.78 | 563.47 | 280.00 | 487.00 | 331.00 | 310.00 | 360.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - | 0.05 |
| Nitrati (mg/l) | - | 18.20 | 0.69 | 6.26 | 21.60 | 1.90 | 3.38 | 5.50 | - | 9.20 |

Tab. 15.16 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 44 EM, BA_6 Diesse e PP27 presenti nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the wells 44 EM, BA_6 Diesse 2 and PP27, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 44 EM | BA_6 Diesse 2 | | | | PP27 |
|----------------------------------|----------|---------------|--------|--------|--------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 24.00 | - | - | - | - | 66.00 |
| Permeabilità (m/s) | 1.42E-06 | - | - | - | - | - |
| Penetrazione | 22.44% | - | - | - | - | 4.58% |
| Data di campionamento | nov-88 | nov-07 | lug-08 | gen-09 | lug-09 | giu-82 |
| Tipo di campionamento | D | | | | | |
| TDS (mg/l) | 657.00 | 253.18 | 619.89 | 345.38 | 839.36 | 550.40 |
| Nitriti (mg/l) | - | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | - |
| Nitrati (mg/l) | 7.50 | 1.71 | 23.20 | 22.90 | 41.40 | - |
| ore di pompaggio | 11.30 | - | - | - | - | 17 |

Passando ad analizzare i rapporti caratteristici per la fascia costiera, si rileva che per valori di $Cl^- > 35$ meq/l si ottiene $Na^+ > Mg^{++} > Ca^{++} > K^+$ e il rapporto caratteristico $rNa+rK+rCl+rSO_4/rCa+rMg+rHCO_3$ raggiunge il valore 9, tipico dell'acqua di mare (fig. 15.50). Per valori di $Cl^- < 35$ meq/l, $Na^+ > Ca^{++} > Mg^{++} > K^+$ il rapporto caratteristico $rNa+rK+rCl+rSO_4/rCa+rMg+rHCO_3$ raggiunge il valore 3,7, ed il miscelamento con acqua di mare non supera il 6%. Per valori di $Cl^- > 100$ meq/l si rileva infine che $Cl^- > SO_4^{--} > HCO_3^-$, secondo

quanto si rinviene anche nell'acqua di mare.

I rapporti caratteristici dei pozzi ubicati nella zona interna sono invece tutti molto lontani da quelli tipici dell'acqua di mare (figg. 15.50÷15.52). Si fa osservare che in alcuni casi si ha una significativa riduzione del rapporto rCa/rMg , non imputabile ad un fenomeno di mescolamento con l'acqua di mare in quanto non segnalato dagli altri rapporti caratteristici. Si tratta evidentemente di processi di interazione con la matrice rocciosa in presenza di banchi di roccia dolomitici.

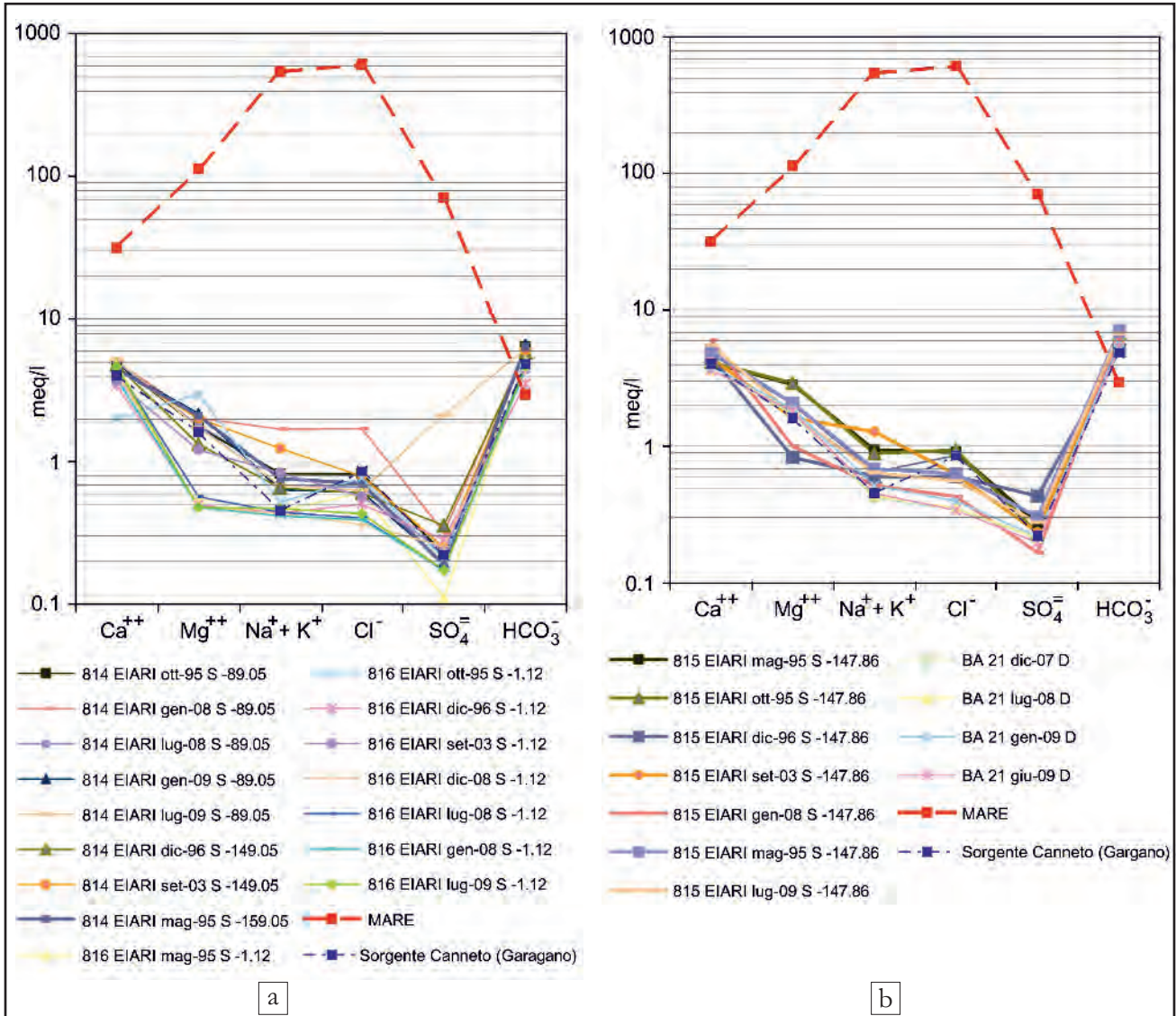


Fig. 15.44 - a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 814 EIARI (LS 18BA) - 816 EIARI (LS 26BA) ubicati in fig. 15.41 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; b) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 815 EIARI (LS 20 BA) - BA 21 ubicati in figura 15.41 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

- a) Schoeller diagram of groundwater of wells 814 ELARI (LS 18BA) - 816 ELARI (LS 26BA) (location shown in fig. 15.41), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level; b) Schoeller diagram of groundwater of wells 815 ELARI (LS 20 BA) - BA 21 (location shown in fig. 15.41), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level.

15.11. - INFLUENZA DELLE CARATTERISTICHE DIMENSIONALI E DI ESERCIZIO DEI POZZI SULLA CONCENTRAZIONE SALINA DELLE ACQUE SOTTERRANEE ESTRATTE

Nel capitolo 12 sono stati già descritti, in linea generale e per tutto il territorio regionale, i metodi adottati ed i risultati ottenuti nell'analisi eseguita al fine di determinare le correlazioni esistenti tra la qualità dell'acqua di falda emunta e le caratteristiche geometrico-costruttive e di esercizio dei pozzi, in

funzione delle condizioni idrogeologiche locali (tav. 5 f.t.). In questo paragrafo sono descritti i risultati ottenuti facendo riferimento ad una scala locale e suddividendo l'area idrogeologica della Murgia in sottoaree, nell'ambito delle quali le caratteristiche idrogeologiche che incidono sull'estrazione dell'acqua di falda sono grossomodo omogenee.

Si è proceduto inizialmente alla Suddivisione del territorio murgiano in due macroaree: la Murgia Sud - orientale e quella Nord-occidentale. La Murgia Sud - orientale è stata poi suddivisa in quattro zone, che

Tab. 15.17 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 814 ELARI presente nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 814 EIARI, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 814 EIARI | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 98.35 | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 2.15E-07 | | | | | | | |
| Penetrazione | 11.66% | | | | | | | |
| Data di campionamento | ott-95 | gen-08 | lug-08 | gen-09 | lug-09 | dic-96 | set-03 | mag-95 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -89.05 | -89.05 | -89.05 | -89.05 | -89.05 | -149.05 | -149.05 | -159.05 |
| TDS (mg/l) | 330.00 | 516.69 | 425.87 | 405.23 | 433.44 | 387.00 | 409.00 | 310.00 |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 0.01 | 0.05 |
| Nitrati (mg/l) | 21.16 | 37.6 | 34.4 | 27.1 | 33.5 | 22.20 | 45.60 | 2.10 |

Tab. 15.18 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 816 ELARI presente nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 816 EIARI, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 816 EIARI | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 29.12 | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 8.13E-05 | | | | | | | |
| Penetrazione | 19.81% | | | | | | | |
| Data di campionamento | mag-95 | ott-95 | dic-96 | set-03 | gen-08 | lug-08 | dic-08 | lug-09 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | 1.12 | | | | | | | |
| TDS (mg/l) | 260.00 | 250.00 | 320.00 | 308.00 | 303.41 | 319.23 | 294.46 | 319.23 |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 |
| Nitrati (mg/l) | 2.70 | 20.10 | 18.10 | 36.10 | 15.8 | 20.4 | 19.8 | 16.3 |

Tab. 15.19 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 815 ELARI presente nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 815 EIARI, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | 815 EIARI | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 29.94 | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 2.61E-05 | | | | | | | |
| Penetrazione | 19.51% | | | | | | | |
| Data di campionamento | mag-95 | ott-95 | dic-96 | set-03 | gen-08 | lug-08 | lug-09 | |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -147.86 | | | | | | | |
| TDS (mg/l) | 320.00 | 330.00 | 350.00 | 381.00 | 423.81 | 436.88 | 428.62 | |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | |
| Nitrati (mg/l) | 2.80 | 18.05 | 20.20 | 29.10 | 25.5 | 12.1 | 14.4 | |

Tab. 15.20 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo BA_21 presente nell'area di Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura.

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well BA_21, located in the Bari-Bitetto-Bitritto-Modugno-Altamura area.

| POZZO | BA_21 | | | |
|-----------------------|--------|--------|--------|--------|
| Data di campionamento | dic-07 | lug-08 | giu-09 | gen-09 |
| Tipo di campionamento | D | | | |
| TDS (mg/l) | 330.24 | 330.93 | 347.44 | 340.56 |
| Nitriti (mg/l) | <0,05 | | | |
| Nitrati (mg/l) | 18.2 | 17 | 19.6 | 23.1 |

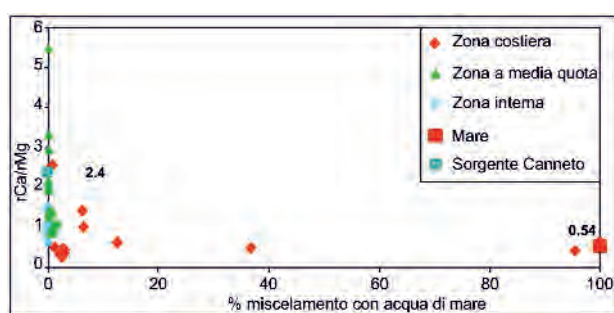


Fig. 15.45 - Variazione del rapporto caratteristico rCa/rMg con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Bari-Bitritto-Bitetto-Modugno-Altamura.

- Variation in the characteristic ratio rCa/rMg , with the fresh water/seawater mixing percentage observed in wells of the area of Bari-Bitritto-Bitetto-Modugno-Altamura.

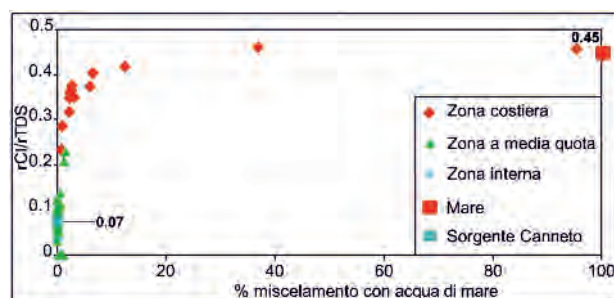


Fig. 15.46 - Variazione del rapporto caratteristico $rCl/rTDS$ con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Bari-Bitritto-Bitetto-Modugno-Altamura.

- Variation in the characteristic ratio $rCl/rTDS$, with the fresh water/seawater mixing percentage observed in wells of the area of Bari-Bitritto-Bitetto-Modugno-Altamura.

si distinguono fundamentalmente per la distanza dalla costa dei pozzi esaminati, mentre la Murgia Nord-occidentale è stata suddivisa in due zone, la fascia costiera e quella interna. Dette suddivisioni contemplano non solo considerazioni di tipo idrogeologico, ma anche il numero ed ubicazione delle opere di captazione disponibili per lo studio.

15.11.1. - Murgia Sud-orientale

Sulla base dei rapporti esistenti tra le caratteristiche geometrico-costruttive e di esercizio dei pozzi e la qualità delle acque di falda estratte, è stato possibile Suddividere la Murgia Sud - orientale in 4 zone, in funzione della distanza dalla costa, delle condizioni idrogeologiche locali e dei dati disponibili (Zona A, B, C e D in figura 15.53), ben rappresentate dalla quota piezometrica della falda e dal locale coefficiente di permeabilità dell'acquifero (fig. 15.6; tavv. 3 e 4 f.t.). Il confronto tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda, calcolata secondo le ipotesi illustrate nel capitolo 12, e la concentrazione dello ione cloruro (fig. 15.54), evidenzia che i pozzi appartenenti alla Zona A, ossia nelle zona più distante dalla costa, presentano in generale una percentuale di penetrazione sempre inferiore al 30% ed una concentrazione di ione cloruro sempre inferiore a 0,1 g/l. Tuttavia, per detti pozzi, valgono le incertezze già illustrate nel paragrafo 15.7 circa la definizione della profondità dell'interfaccia teorica acqua dolce – acqua di mare, fondamentale per il calcolo della percentuale di

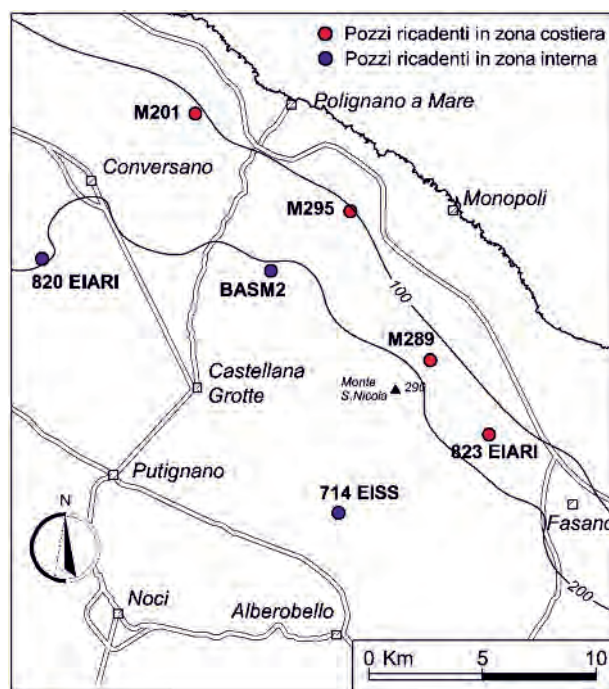


Fig. 15.47 - Planimetria con ubicazione dei pozzi esaminati nell'analisi del chimismo delle acque sotterranee dell'area di Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte.

- Map showing the location of the wells subject to groundwater chemistry analysis in the area of Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte.

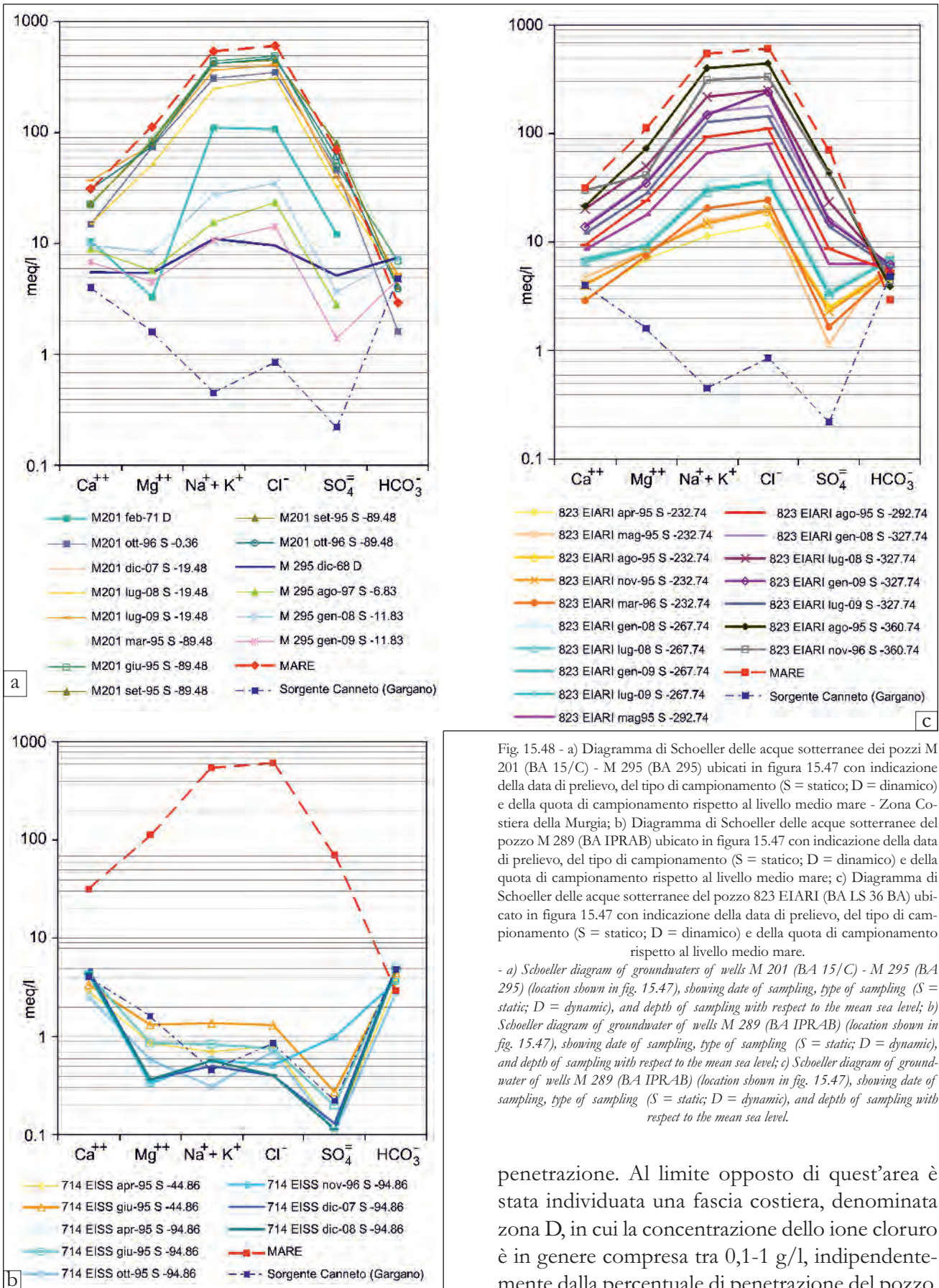


Fig. 15.48 - a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi M 201 (BA 15/C) - M 295 (BA 295) ubicati in figura 15.47 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare - Zona Costiera della Murgia; b) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee del pozzo M 289 (BA IPRAB) ubicato in figura 15.47 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; c) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee del pozzo 823 EIARI (BA LS 36 BA) ubicato in figura 15.47 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

- a) Schoeller diagram of groundwaters of wells M 201 (BA 15/C) - M 295 (BA 295) (location shown in fig. 15.47), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level; b) Schoeller diagram of groundwater of wells M 289 (BA IPRAB) (location shown in fig. 15.47), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level; c) Schoeller diagram of groundwater of wells M 289 (BA IPRAB) (location shown in fig. 15.47), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level.

penetrazione. Al limite opposto di quest'area è stata individuata una fascia costiera, denominata zona D, in cui la concentrazione dello ione cloruro è in genere compresa tra 0,1-1 g/l, indipendentemente dalla percentuale di penetrazione del pozzo.

Tab. 15.21 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo M201 presente nell'area di Monopoli-Polignano a Mare Conversano-Castellana Grotte.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well M201, located in the Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte area.

| POZZO | M201 | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 0.52 | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.84E-01 | | | | | | | | |
| Penetrazione | 34.52% | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% | >100% |
| Data di campionamento | feb-71 | ott-96 | dic-07 | lug-08 | lug-09 | mar-95 | giu-95 | set-95 | ott-96 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -0.36 | -19.48 | -19.48 | -19.48 | -89.48 | -89.48 | -89.48 | -89.48 |
| TDS (mg/l) | 7473.00 | 16520.00 | 25318.40 | 18576.00 | 22899.39 | 31500.00 | 31940.00 | 31120.00 | 31490.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | 0.38 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 0.05 | 0.01 | 0.08 |
| Nitrati (mg/l) | - | 2.90 | <0.10 | 0.71 | 7.49 | 0.70 | 1.72 | 2.20 | 1.80 |

Tab. 15.22 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo M295 presente nell'area di Monopoli-Polignano a Mare Conversano-Castellana Grotte.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well M295, located in the Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte area.

| POZZO | M295 | | | |
|-----------------------------------|----------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 6.37 | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.19E-02 | | | |
| Penetrazione | 11.07% | | | |
| Data di campionamento | dic-68 | ago-97 | gen-08 | gen-09 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -6.83 | -11.83 | -11.83 |
| TDS (mg/l) | 1247.00 | 2062.00 | 2775.39 | 1349.17 |
| Nitriti (mg/l) | - | <0.1 | <0,05 | <0,05 |
| Nitrati (mg/l) | - | 72.9 | 46.7 | 77.1 |

In detta zona esiste invece una discreta correlazione tra la qualità dell'acqua estratta e la quota piezometrica della falda (fig. 15.54b). Nessuna correlazione si osserva, sempre nella zona D, tra la concentrazione di ione cloruro e la distanza della base del pozzo dall'interfaccia teorica (fig. 15.54c). Detta circostanza sembra quindi indicare che in detta area la qualità delle acque estratte sia fondamentalmente legata a quella che la falda possiede di per se già in condizioni indisturbate.

Tra la zona A e la zona D è possibile individuare due zone, C e B, di caratteristiche intermedie. In dette zone la concentrazione dello ione cloruro è in genere inferiore a 0,1 g/l, anche se

non mancano casi in cui detto limite viene raggiunto e superato, a causa dell'approssimarsi della base del pozzo all'interfaccia teorica (fig. 15.54c), specie nella zona C, subito a monte della fascia costiera. In detta zona sono, infatti, spesso adottate percentuali di penetrazione notevoli (fig. 15.54a). Coerentemente, i due pozzi della zona C in figura 15.54a, che presentano una concentrazione di ione cloruro di pochi mg/l, hanno presentato una percentuale di penetrazione in falda entro il 30% circa. I dati sembrano quindi indicare che in detta zona è possibile il prelievo di acque sotterranee di buona qualità adottando percentuali di penetrazioni contenute.

Tab. 15.23 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo M289 presente nell'area di Monopoli-Polignano a Mare Conversano-Castellana Grotte.

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well M289, located in the Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte area.

| POZZO | M289 | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|----------|----------|----------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 4.89 | | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.24E-05 | | | | | | | | | |
| Penetrazione | 65.54% | | | | | | | | | |
| Data di campionamento | apr-95 | giu-95 | set-95 | feb-96 | ott-96 | dic-07 | lug-08 | nov-08 | lug-09 | apr-95 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -20.11 | -20.11 | -20.11 | -20.11 | -20.11 | -20.11 | -20.11 | -20.11 | -20.11 | -60.11 |
| TDS (mg/l) | 3020.00 | 2740.00 | 3130.00 | 2130.00 | 2730.00 | 2951.52 | 1913.33 | 2374.98 | 2742.37 | 3600.00 |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 |
| Nitrati (mg/l) | 3.20 | 4.57 | 23 | - | 12 | 26 | 57.1 | 36.8 | 33.4 | 4.60 |
| POZZO | M289 | | | | | | | | | |
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 4.89 | | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.24E-05 | | | | | | | | | |
| Penetrazione | 65.54% | | | | | | | | | |
| Data di campionamento | giu-95 | set-95 | dic-07 | lug-08 | nov-08 | lug-09 | apr-95 | giu-95 | set-95 | ott-96 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -60.11 | -60.11 | -60.11 | -60.11 | -60.11 | -60.11 | -115.11 | -115.11 | -115.11 | -115.11 |
| TDS (mg/l) | 3370.00 | 3590.00 | 3653.28 | 2124.54 | 2685.26 | 3400.78 | 13550.00 | 13590.00 | 13630.00 | 13810.00 |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 |
| Nitrati (mg/l) | 2.32 | 13.20 | 13 | 49.2 | 31.3 | 19 | 2.20 | 3.49 | 7.70 | 8.60 |

Tab. 15.24 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 823 EIARI presente nell'area di Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte.

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 823 EIARI, located in the Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte area.

| POZZO | 823 EIARI | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|---------|---------|----------|----------|----------|---------|----------|----------|--|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 7.26 | | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.83E-07 | | | | | | | | | |
| Penetrazione | >100% | | | | | | | | | |
| Data di campionamento | apr-95 | mag-95 | ago-95 | nov-95 | mar-96 | gen-08 | lug-08 | gen-09 | lug-09 | |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -232.74 | -232.74 | -232.74 | -232.74 | -232.74 | -267.74 | -267.74 | -267.74 | -267.74 | |
| TDS (mg/l) | 1240.00 | 1620.00 | 2040.00 | 2160.00 | 2060.00 | 3288.64 | 2771.95 | 2805.66 | 2882.72 | |
| Nitriti (mg/l) | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | - | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | |
| Nitrati (mg/l) | 2.40 | 2.30 | 5.70 | 6.45 | - | 2.91 | 6.64 | 7.15 | 2.09 | |
| POZZO | 823 EIARI | | | | | | | | | |
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 7.26 | | | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | 1.83E-07 | | | | | | | | | |
| Penetrazione | >100% | | | | | | | | | |
| Data di campionamento | lug-09 | mag-95 | ago-95 | gen-08 | lug-08 | gen-09 | lug-09 | ago-95 | nov-96 | |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -267.74 | -292.74 | -292.74 | -327.74 | -327.74 | -327.74 | -327.74 | -360.74 | -360.74 | |
| TDS (mg/l) | 2882.72 | 5760.00 | 8690.00 | 11757.92 | 15273.60 | 11375.39 | 9507.47 | 26740.00 | 26160.00 | |
| Nitriti (mg/l) | <0,05 | 0.05 | 0.05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 1.20 | |
| Nitrati (mg/l) | 2.09 | 2.40 | 4.40 | 0.5 | 0.75 | <0.10 | 1.36 | 2.60 | 2.90 | |

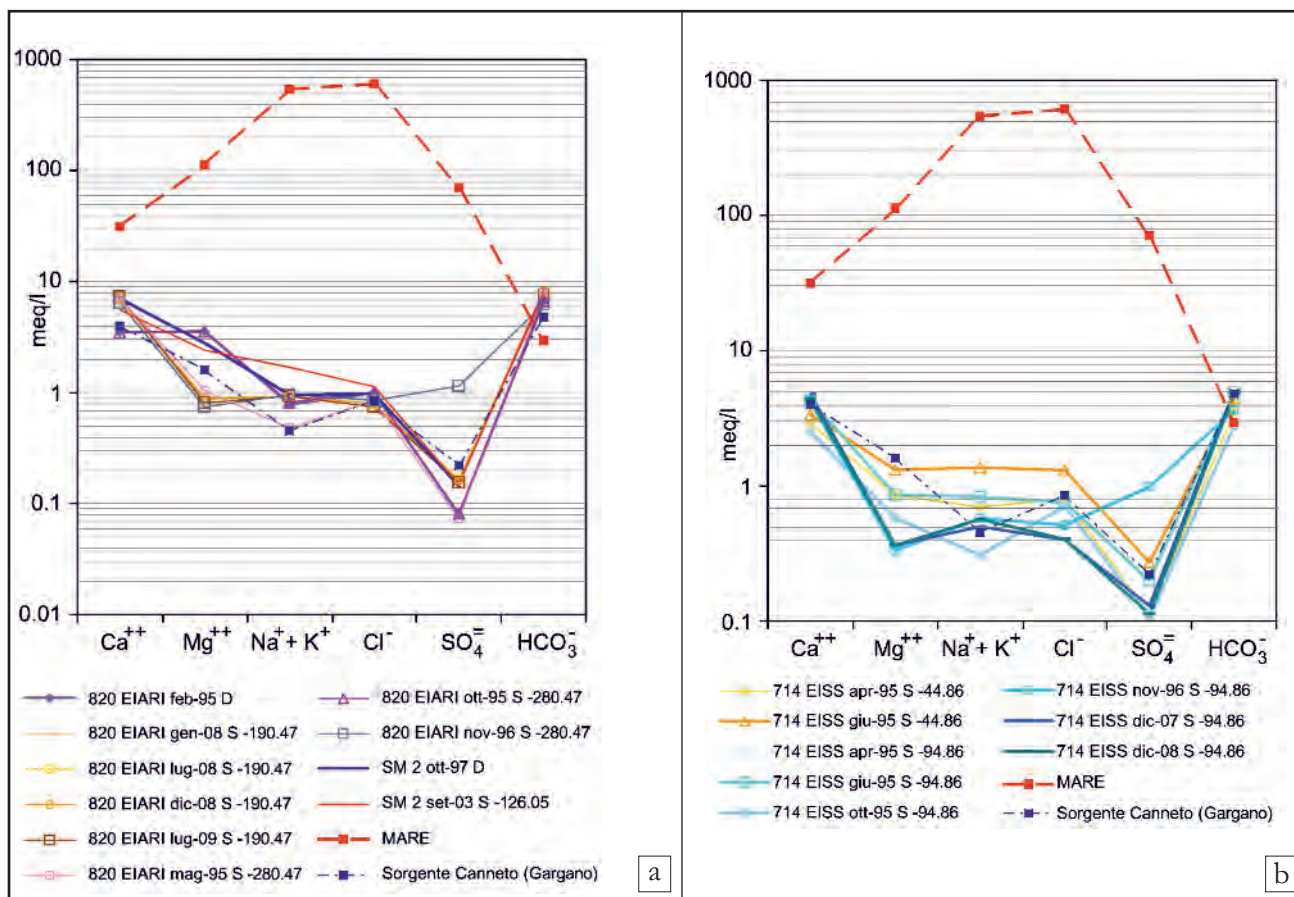


Fig. 15.49 - a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 820 EIARI (BA LS 32 BA) - SM 2 ubicati in figura 15.47 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; b) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee del pozzo 714 EISS (BA Cavallerizza) ubicato in figura 15.47 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

- a) Schoeller diagram of groundwater of wells 820 EIARI (BA LS 32 BA) - SM 2 (location shown in fig. 15.47), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level; b) Schoeller diagram of groundwater of wells 714 EISS (BA Cavallerizza) (location shown in fig. 15.47), showing date of sampling, type of sampling (S = static; D = dynamic), and depth of sampling with respect to the mean sea level.

Tab. 15.25 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 820 EIARI presente nell'area di Monopoli-Polignano a Mare-Conservano-Castellana Grotte.

- Chemical-physical and hydrogeological parameters of the well 820 EIARI, located in the Monopoli-Polignano a Mare-Conservano-Castellana Grotte area.

| POZZO | 820 EIARI | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 10.48 | | | | | | | |
| Permeabilità (m/s) | - | | | | | | | |
| Penetrazione | 95.65% | | | | | | | |
| Data di campionamento | feb-95 | gen-08 | lug-08 | dic-08 | lug-09 | mag-95 | ott-95 | nov-96 |
| Tipo di campionamento | D | S | S | S | S | S | S | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -190.47 | -190.47 | -190.47 | -190.47 | -280.47 | -280.47 | -280.47 |
| TDS (mg/l) | 470.00 | 496.05 | 489.86 | 493.98 | 501.55 | 410.00 | 390.00 | 380.00 |
| Nitriti (mg/l) | 0.10 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | <0,05 | 0.05 | 0.10 | 0.05 |
| Nitrati (mg/l) | 2.10 | 14.1 | 14.6 | 14.5 | 13.3 | 2.20 | 11.79 | 9.10 |

È notevole osservare in figura 15.54d che l'andamento del residuo fisso con la concentrazione dello ione cloruro è quello tipico di acque di falda mescolate con acqua di mare, a meno dei casi in cui la concentrazione dello ione cloro è inferiore a 100 mg/l. Si osserva quindi che per le zone A, B e C si ha una forte dispersione nella correlazione tra il TDS e Cl⁻, ad indicare una *facies* chimica poco influenzata dall'acqua di mare e dettata invece dalla chimica delle acque di alimentazione e dai processi di interazione tra queste e la matrice rocciosa.

Tab. 15.26 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo SM 2 presente nell'area di Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well SM 2, located in the Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte area.

| POZZO | SM 2 | |
|-----------------------------------|--------|---------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 11.95 | |
| Penetrazione | 42% | |
| Data di campionamento | ott-97 | set-03 |
| Tipo di campionamento | D | S |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | - | -126.05 |
| TDS (mg/l) | 514.00 | 491.00 |
| Nitriti (mg/l) | - | - |
| Nitrati (mg/l) | - | - |

In figura 15.55 è riportato il diagramma di Schoeller di alcuni campioni prelevati da pozzi appartenenti alla zona A, ritenuti più significativi. Tra essi sono di particolare rilievo i pozzi 250 EISS e 252 EISS, ricadenti in agro di Gioia del Colle (figg. 15.53÷15.55). Il pozzo 250 EISS è profondo circa 550 m e presenta una quota di fondo pozzo pari a -210 m s.l.m. Detto pozzo, sotto una portata di emungimento di 9 l/s, ha presentato una depressione idrodinamica della superficie piezometrica della falda pari a 107 m. Considerato che il livello statico della falda è pari a circa 94 m s.l.m., si evince che durante l'emungimento il livello falda si è portato sotto il livello del mare. Come si può osservare in figura 15.55, detto pozzo presenta una concentrazione degli ioni cloruro e sodio superiore a quella riscontrata per gli altri pozzi della zona A, e ciò sembra indicare la presenza di acqua di mare alla base della falda di acqua dolce. In una situazione analoga versa il pozzo 252 EISS, profondo circa 700 m, con quota di fondo pozzo pari a circa -340 m s.l.m. Per detto pozzo si è osservata una depressione del livello di falda pari a 90 m sotto una portata di emungimento pari ad appena 2,1 l/s. In questo caso la quota piezometrica è pari a 120 m s.l.m., per cui il livello della falda in condizioni di emungimento si mantiene al di sopra del livello mare. La depressione idrodinamica è in ogni caso pari a circa il 75% della quota piezometrica, condizione da ritenersi non accettabile in presenza di

Tab. 15.27 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 714 EISS presente nell'area di Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 714 EISS, located in the Monopoli-Polignano a Mare-Conversano-Castellana Grotte area.

| POZZO | 714 EISS | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| Quota livello statico (m l.m.m.) | 56.34 | | | | | | | |
| Penetrazione | 15.98% | | | | | | | |
| Data di campionamento | apr-95 | giu-95 | apr-95 | giu-95 | ott-95 | nov-96 | dic-07 | dic-08 |
| Tipo di campionamento | S | | | | | | | |
| Quota di campionamento (m l.m.m.) | -44.86 | -44.86 | -94.86 | -94.86 | -94.86 | -94.86 | -94.86 | -94.86 |
| TDS (mg/l) | 220.00 | 250.00 | 260.00 | 270.00 | 260.00 | 250.00 | 333.68 | 298.59 |
| Nitriti (mg/l) | 3.70 | 4.75 | 4.10 | 3.29 | 15.68 | 12.39 | 18.8 | 16.9 |
| Nitrati (mg/l) | 0.10 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | 0.05 | <0,05 | <0,05 |

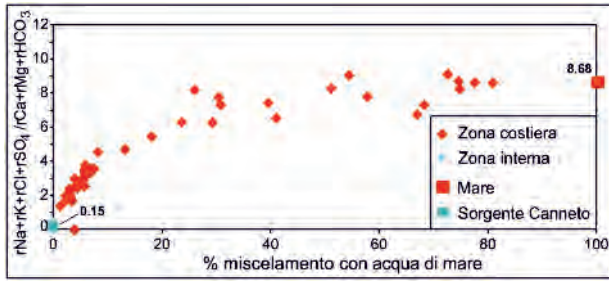


Fig. 15.50 - Variazione del rapporto caratteristico $rNa + rK + rCl + rSO_4 / rCa + rMg + rHCO_3$ con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Monopoli-Polignano a Mare-Convertano-Castellana Grotte.

- Variation in the characteristic ratio $rNa + rK + rCl + rSO_4 / rCa + rMg + rHCO_3$, with the fresh water/seawater mixing percentage observed in the wells of the area of Monopoli-Polignano a Mare-Convertano-Castellana Grotte.

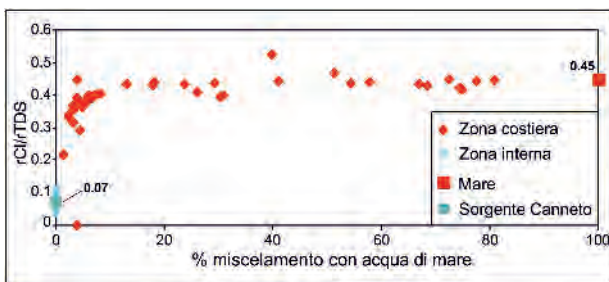


Fig. 15.51 - Variazione del rapporto caratteristico $rCl / rTDS$ con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Monopoli-Polignano a Mare-Convertano-Castellana Grotte.

- Variation in the characteristic ratio $rCl / rTDS$, with the fresh water/seawater mixing percentage observed in wells of the area of Monopoli-Polignano a Mare-Convertano Castellana Grotte.

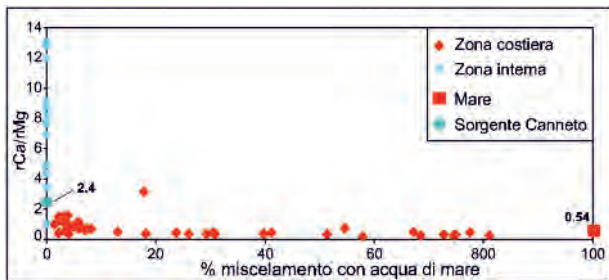


Fig. 15.52 - Variazione del rapporto caratteristico rCa / rMg con la percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare rilevato per i pozzi appartenenti all'area Monopoli - Polignano a Mare - Convertano - Castellana Grotte.

- Variation in the characteristic ratio rCa / rMg , with the fresh water/seawater mixing percentage observed in wells of the area of Monopoli-Polignano a Mare-Convertano Castellana Grotte.

acqua di mare alla base. Dal diagramma di Schoeller si evince, infatti, che anche detto pozzo presenta valori significativamente elevati di concentrazione di ione cloruro e sodio. Va tuttavia segnalato che entrambi i pozzi sopra esaminati presentano concentrazioni di magnesio inferiori a quelle dei restanti pozzi, molto probabilmente a causa dei processi di interazione con la matrice

rocciosa. Quanto illustrato circa i pozzi 250 EISS e 252 EISS sembra comunque indicare che anche nelle porzioni più interne della Murgia la falda di acqua dolce galleggi su acqua di mare, e ciò nonostante le elevate quote piezometriche qui misurate.

Per quanto attiene alla zona B, che è stata analizzata con circa 60 pozzi, è interessante evidenziare la notevole presenza di pozzi ove l'acqua di falda è soggetta ad inequivocabile influenza marina, ciò soprattutto per quei pozzi di penetrazione superiore al 20 % (fig. 15.56). Particolare attenzione va posta al pozzo E80 (Rutigliano 1), gestito dall'AQP, per il quale si è verificato un peggioramento della concentrazione dello ione cloro nel tempo. Per detto pozzo la concentrazione dello ione cloruro si è più che triplicata in circa 12 anni, passando da appena 30 mg/l nel 1992 a 100 mg/l nel 2004. Quanto illustrato con riferimento ai pozzi della zona B indica quindi che anche quando le altezze piezometriche raggiungono valori dell'ordine di 30 m s.l.m., tipici di questa zona, la falda non è esente dal fenomeno della intrusione marina.

La zona C presenta percentuali di penetrazione in falda molto eterogenee (fig. 15.57). I pozzi per i quali la percentuale di penetrazione supera il 40% ricadono quasi sempre nel zona di territorio posta a Ovest Monopoli (fig. 15.53), per i quali però la concentrazione di ione cloruro è bassa, inferiore a 0,1 g/l, e ciò a causa dell'esistenza di roccia scarsamente fratturata o comunque poco permeabile sotto la base del pozzo (calcarei compatti, dolomie, stratificazioni di terre rosse), sino a notevoli profondità al di sotto del livello del mare, a volte con spessori dell'ordine anche di 500 metri (COTECCHIA *et alii*, 1957; GRASSI, 1973; GRASSI & TADOLINI, 1985). L'esistenza di livelli poco permeabili impediscono all'acqua di mare di mescolarsi con l'acqua di falda, secondo quanto già descritto nel capitolo 12. L'analisi delle stratigrafie disponibili hanno confermato, nella maggior parte dei casi, una riduzione del coefficiente di permeabilità associata a queste condizioni idrogeologico-stratigrafiche. Procedendo da Bari verso Monopoli, i calcari si alternano con le dolomie e i calcari dolomitici, e le *facies* dolomitiche sono molto più frequenti di quanto si possa apprezzare in superficie (ZEZZA, 1974). In dette condizioni il perforatore adotta notevoli penetrazioni per rendere

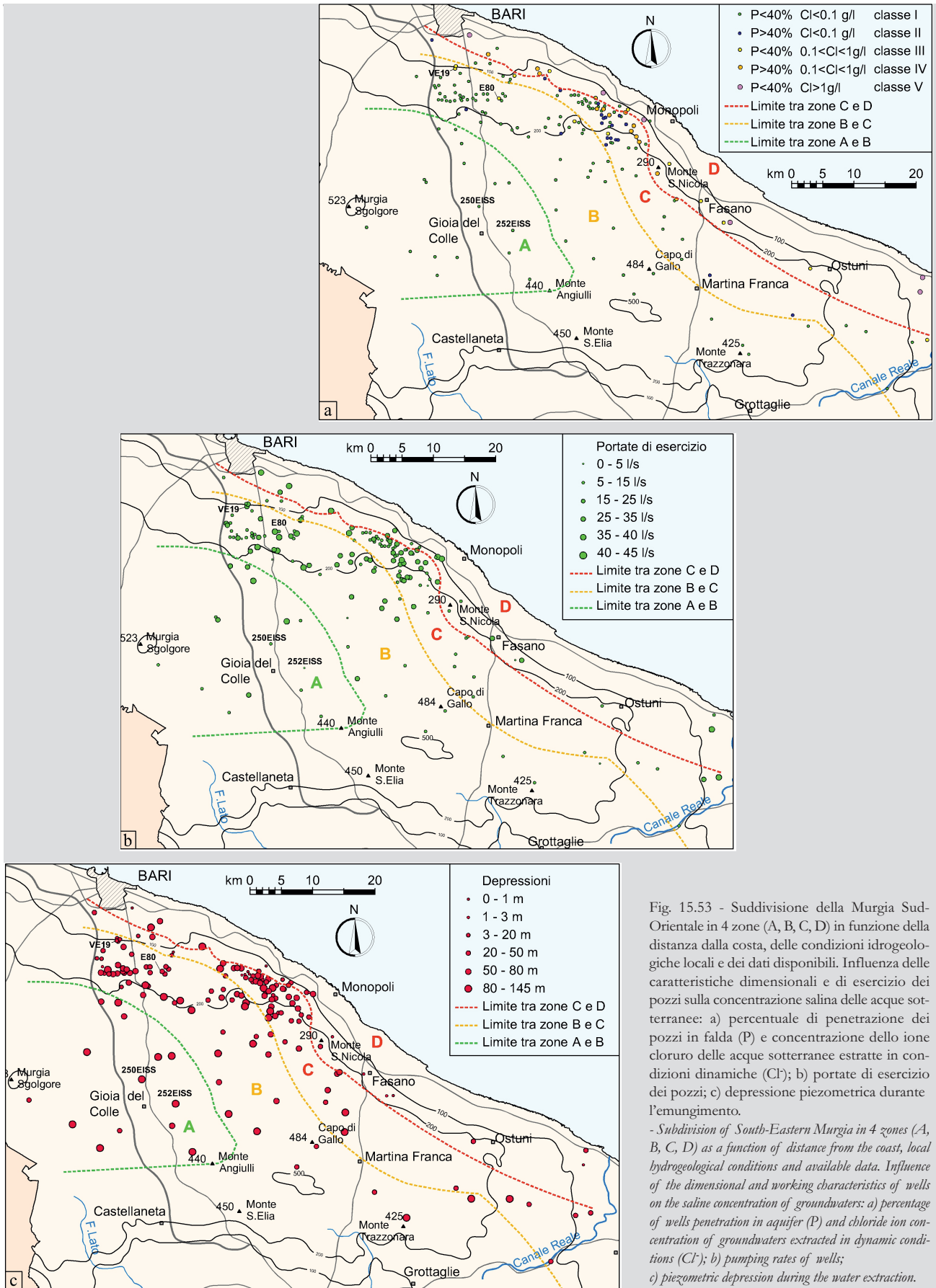


Fig. 15.53 - Suddivisione della Murgia Sud-Orientale in 4 zone (A, B, C, D) in funzione della distanza dalla costa, delle condizioni idrogeologiche locali e dei dati disponibili. Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e concentrazione dello ione cloruro delle acque sotterranee estratte in condizioni dinamiche (Cl⁻); b) portate di esercizio dei pozzi; c) depressione piezometrica durante l'emungimento.

- Subdivision of South-Eastern Murge in 4 zones (A, B, C, D) as a function of distance from the coast, local hydrogeological conditions and available data. Influence of the dimensional and working characteristics of wells on the saline concentration of groundwaters: a) percentage of wells penetration in aquifer (P) and chloride ion concentration of groundwaters extracted in dynamic conditions (Cl⁻); b) pumping rates of wells; c) piezometric depression during the water extraction.

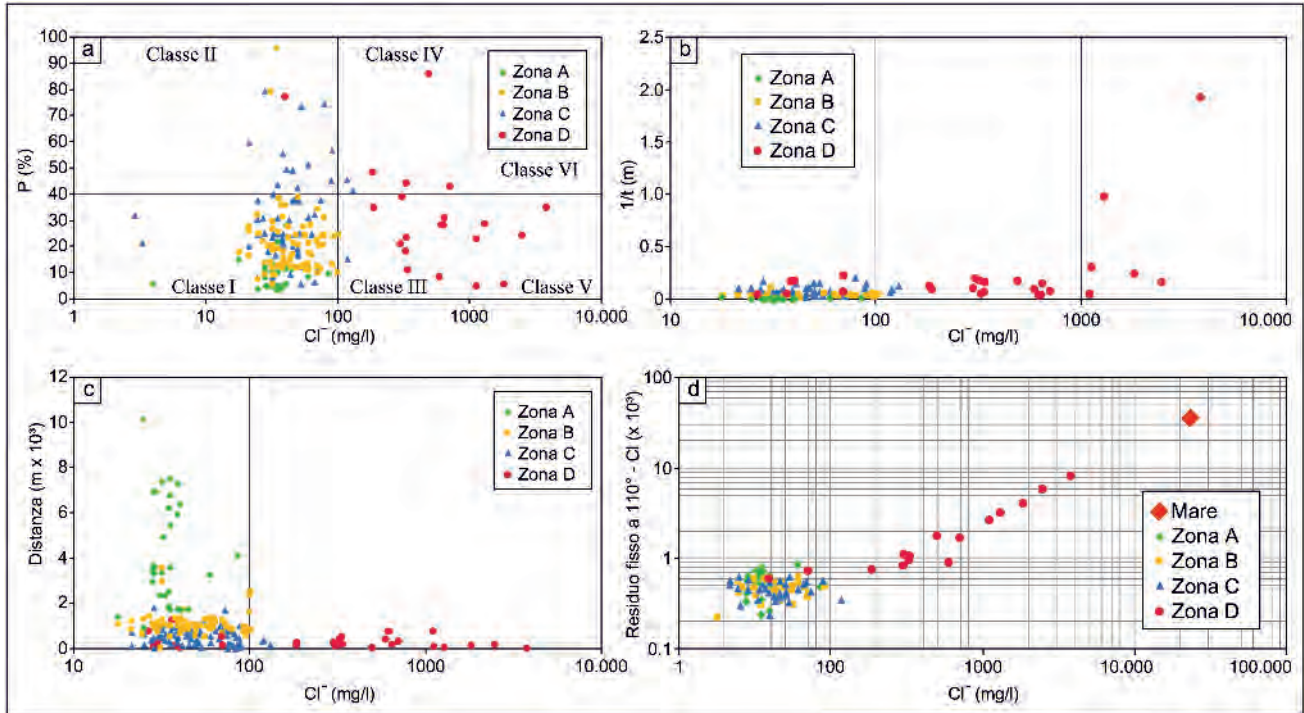


Fig. 15.54 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area della Murgia Sud-orientale sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) confronto tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e la concentrazione dello ione cloruro (Cl^-) delle acque sotterranee prelevate in condizioni dinamiche con indicazioni delle classi indicate in fig.15.53; b) confronto tra il carico piezometrico della falda profonda (h) e la concentrazione dello ione cloruro con indicazione della percentuale di penetrazione; c) confronto tra la distanza della base del pozzo dalla interfaccia teorica acqua dolce-acqua di mare (d) e la concentrazione dello ione cloruro; d) confronto tra il residuo fisso e la concentrazione dello ione cloruro.

- Influence of the size and operational features of wells in the South-Eastern Murgia on salt concentration of groundwaters: a) comparison between the percentage of well penetration (P) and the chloride ion (Cl^-) concentration of water pumped under dynamic conditions (Cl^-), with indication of the classes shown in fig. 15.53; b) comparison between the piezometric head of the deep groundwaters (h) and the concentration of the chloride ion, with indication of the percentage of penetration; c) comparison between the distance of the bottom well from the theoretical interface fresh water-seawater (d) and the concentration of the chloride ion; d) comparison between dry residue level and the concentration of the chloride ion.

il pozzo produttivo, per cui si giustificano le elevate percentuali di penetrazione osservate. Nella medesima zona sono stati realizzati anche pozzi che hanno estratto acqua con concentrazione dello ione cloruro superiore a 0,1 g/l (fig. 15.53), dovuta probabilmente al *salt-water upconing*, determinato dalle notevoli depressioni idrodinamiche applicate a causa della ridotta permeabilità dell'acquifero. Ciò dimostra il carattere locale delle fenomenologie illustrate.

15.11.2. - Murgia Nord-occidentale

La Murgia Nord-occidentale è stata suddivisa in 2 zone in funzione della distanza dalla costa, delle condizioni idrogeologiche locali e dei dati disponibili (A e B in figg. 15.58). I pozzi appartenenti alla zona A presentano, in genere, una concentrazione di ione cloruro inferiore a 0,1 g/l, mentre tale concentrazione è quasi sempre superiore per quelli appartenenti alla zona B (fig. 15.59). In en-

trambe le zone non vi è una netta correlazione tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda e la concentrazione dello ione cloruro, anche se nella zona A si rileva che le minime concentrazioni di ione cloruro si ottengono sempre per percentuali di penetrazione al di sotto del 40%. Per le percentuali di penetrazione dei pozzi ubicati nelle porzioni più interne valgono le stesse incertezze già descritte nel paragrafo precedente.

In entrambe le zone si individua una discreta correlazione tra la distanza d del fondo pozzo dall'interfaccia teorica e la concentrazione di ione cloruro (fig. 15.59b), che infatti aumenta al ridursi di d .

Nella zona B si osserva una buona correlazione anche tra la quota piezometrica e la concentrazione di ione cloruro (fig. 15.59c). In particolare, i massimi valori di Cl^- sono registrati quando la quota piezometrica è molto ridotta.

È utile osservare che la zona B (figg. 15.58) presenta una larghezza molto variabile. Essa ha infatti

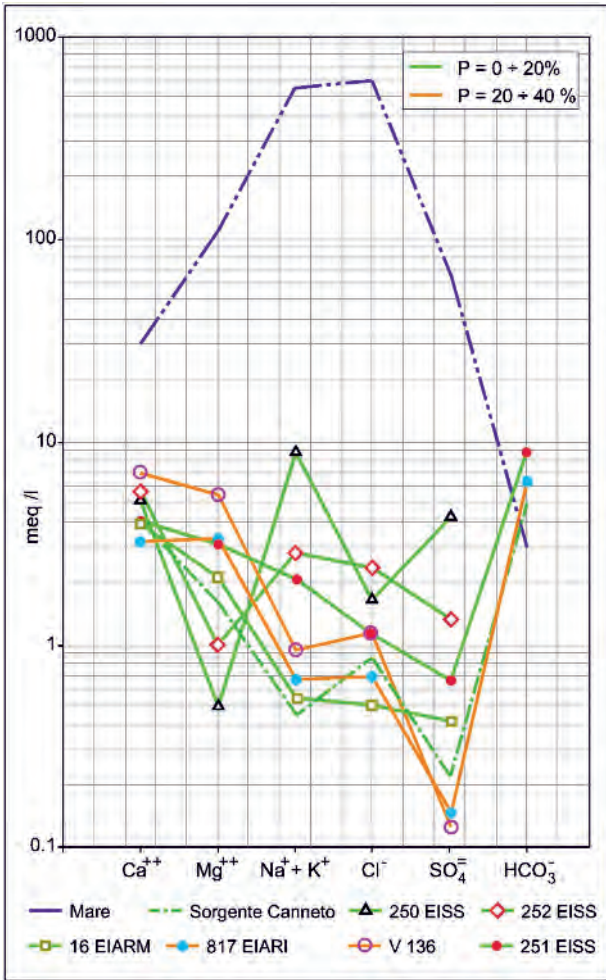


Fig. 15.55 - Murgia Sud-Orientale: diagramma di Schoeller di alcuni pozzi ubicati nella zona A (fig. 15.53), per i quali è indicata la percentuale di penetrazione in falda (P).

- South-Eastern Murgia: Schoeller diagram of wells located in zone A (fig. 15.53), with indication of the percentage of penetration (P) into groundwater.

una larghezza di circa 10 km a partire dal territorio comunale di Bari fino a Trani. Raggiunto il litorale di Barletta, essa subisce un significativo allargamento, fino ad interessare anche una grossa porzione del territorio di Andria. D'altronde, come abbiamo già illustrato in precedenza, tali variazioni sono connesse all'efflusso delle acque di falda a mare in prossimità del litorale di Barletta e Trani, che è condizionato dall'approfondirsi dei calcari sotto il livello del mare. In tali condizioni si ha aumento della larghezza della porzione costiera maggiormente interessata dal fenomeno della intrusione marina.

I pozzi esaminati nella zona A presentano, in generale, un'acqua di *facies* chimica bicarbonato – calcica (fig. 15.60). Per questa area, in cui le quote piezometriche misurate nei pozzi variano da circa

3 m s.l.m. a ridosso della zona B a circa 100 m s.l.m. in agro di Altamura, è tuttavia possibile individuare alcuni pozzi in cui la falda di acqua dolce è oggetto di fenomeni di mescolamento con l'acqua di mare. È utile segnalare il pozzo 148 EISS, posto al passaggio tra la zona A e quella B, che ha fornito un'acqua di *facies* cloruro – sodica, dunque fortemente influenzata dall'acqua marina. Anche in altri casi è rilevata una seppur minima influenza marina, come per i pozzi 147EISS, 168 EISS, 149 EISS, 166EISS, 150EISS e 153 EISS, che presentano quote piezometriche dell'ordine di 15÷20 m s.l.m. Dunque, anche ove l'interfaccia teorica dovrebbe posizionarsi, in ragione della relazione di Ghyben – Her-

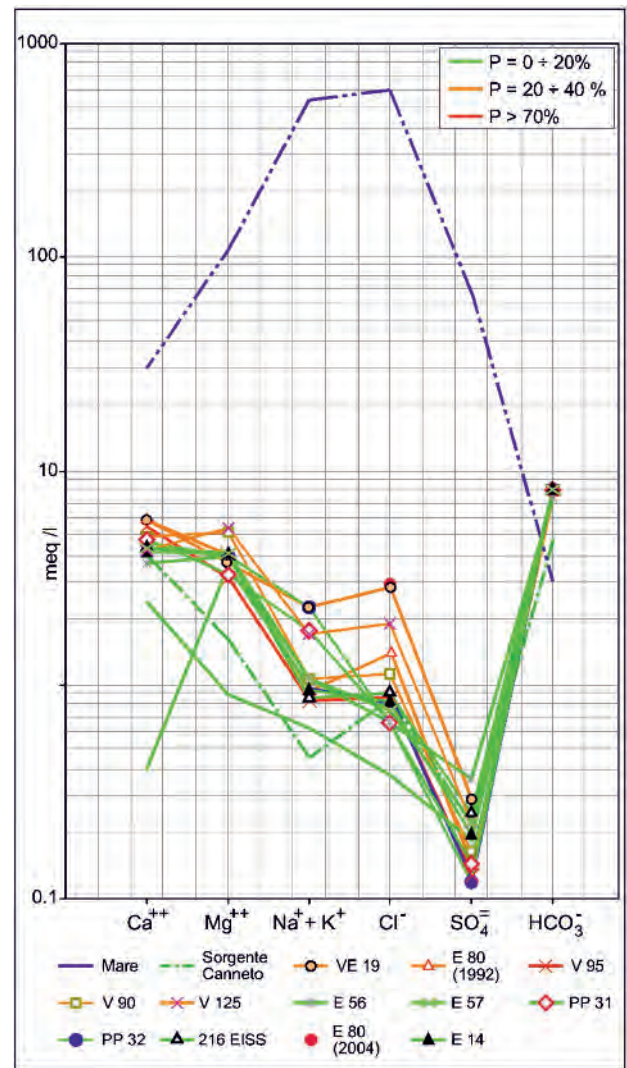


Fig. 15.56 - Murgia Sud-Orientale: diagramma di Schoeller di alcuni pozzi ubicati nella zona B (fig. 15.53), per i quali è indicata la percentuale di penetrazione in falda (P).

- South-Eastern Murgia: Schoeller diagram of wells located in zone B (fig. 15.53), with indication of the percentage of penetration (P) into groundwater.

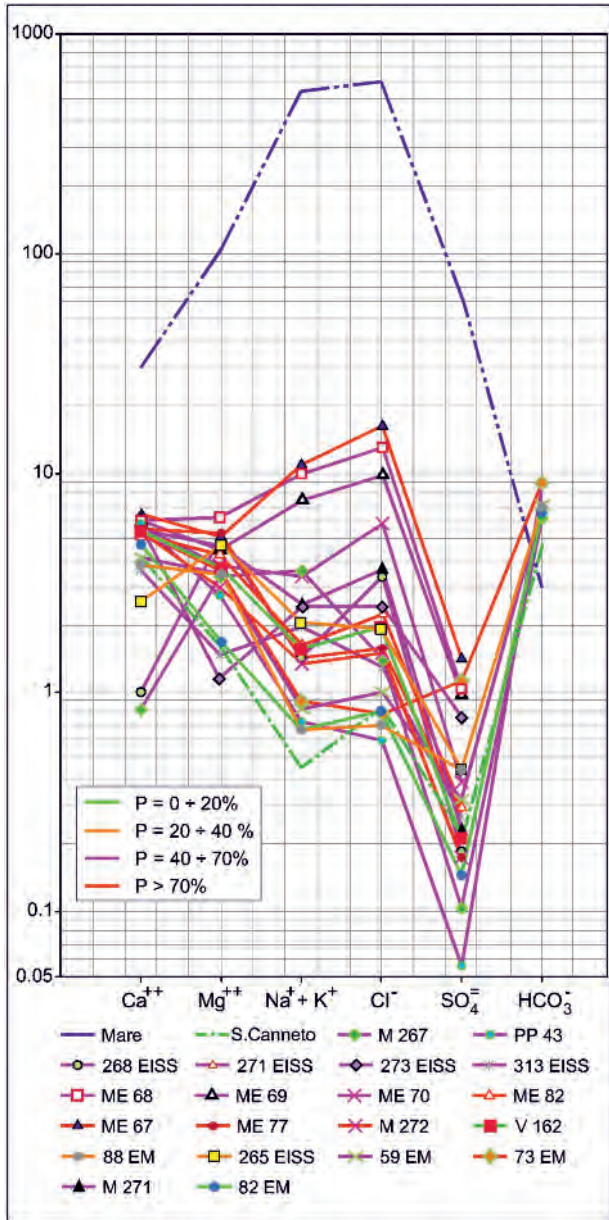


Fig. 15.57 - Murgia Sud-Orientale: diagramma di Schoeller di alcuni pozzi ubicati nella zona C (fig. 15.53), per i quali è indicata la percentuale di penetrazione in falda (P).

- South-Eastern Murgia: Schoeller diagram of wells located in zone C (fig. 15.53), with indication of the percentage of penetration (P) into groundwater.

zberg, a profondità dal livello mare dell'ordine di 500÷700 m, sono rilevati fenomeni di mescolamento con l'acqua di mare. I pozzi 166EISS, 150EISS e 153 EISS presentano una percentuale di penetrazione in falda superiore al 50% e modesta intrusione marina, che in questo caso è probabilmente legata al *salt-water upconing*. Nella porzione di zona A più prossima alla costa comincia infatti ad osservarsi una discreta riduzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero, tale che le depres-

sioni applicate anche per il prelievo di pochi litri al secondo d'acqua sono dell'ordine delle decine di metri (figg. 15.58b e c). Per pozzi ubicati a significativa distanza dalla costa, come il pozzo 25 EM gestito dall'AQP ubicato nel comune di Corato, si può registrare un'influenza marina che dal 1988 al 2002 ha fatto aumentare la concentrazione del ione cloruro da 46 mg/l a 154 mg/l. Detto pozzo presenta un carico piezometrico pari a 23 m s.l.m. ed un coefficiente di permeabilità pari a 6×10^{-5} cm/s. Sotto una portata in emungimento di 15 l/s esso ha fornito una depressione di 160 m, portando il livello della falda sotto il livello del mare.

Sempre nella zona A sono da segnalare i pozzi 5EM, 6EM, 7EM, 8EM e 9 EM, ubicati in agro di Spinazzola (fig. 15.58). Mentre i pozzi 5EM, 6EM e 7 EM presentano una bassa concentrazione di ione cloruro ed una percentuale di penetrazione modesta, i pozzi 8EM e 9EM presentano invece valori significativamente superiori di detti parametri. Si fa notare che detti pozzi ricadono in una porzione di territorio murgiano in cui le acque di falda si riversano sia nei calcari profondi del Tavoliere, sia nella Fossa Bradanica. I motivi che possono aver generato detto anomalo incremento di concentrazione di ione cloruro verranno ripresi nel paragrafo 15.13, trattando la idrogeologia dell'Area Bradanica.

In alcuni casi i pozzi appartenenti alla zona A forniscono un'acqua con bassi valori di concentrazione di ione cloruro e significativi valori della concentrazioni ioniche di Mg, Na e K (fig. 15.69). Detta circostanza è sicuramente da imputare a processi di interazione che si sviluppano in presenza di dolomie, calcari dolomitici e terre rosse.

I pozzi appartenenti alla zona B hanno quasi sempre indicato una forte influenza marina (fig. 15.61). Fanno eccezione i pozzi 197 EISS e 179 EISS ubicati a Sud di Bari ad una distanza dalla costa pari, rispettivamente, a circa 6 km e 5 km, per i quali la *facies* chimica delle acque estratte è bicarbonato-calcica. È chiaro che detti pozzi godono di particolari condizioni idrogeologiche favorevoli all'estrazione, determinate dalla presenza di banchi di roccia poco permeabile che impediscono all'acqua di mare di interessare le porzioni di falda oggetto di estrazione. Anche per la zona B sono da segnalare casi di peggioramento della qualità del-

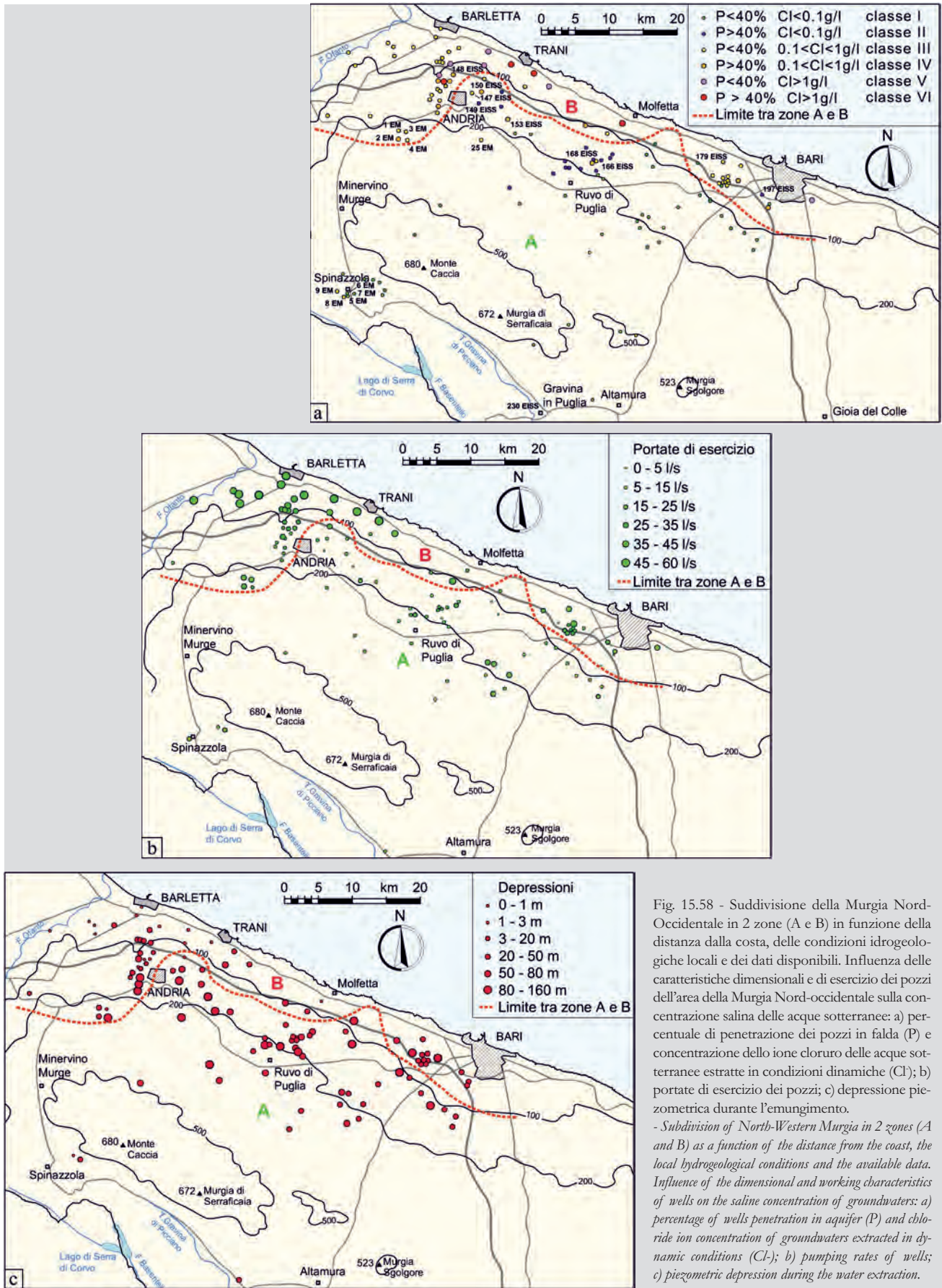


Fig. 15.58 - Suddivisione della Murgia Nord-Occidentale in 2 zone (A e B) in funzione della distanza dalla costa, delle condizioni idrogeologiche locali e dei dati disponibili. Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area della Murgia Nord-occidentale sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e concentrazione dello ione cloruro delle acque sotterranee estratte in condizioni dinamiche (Cl⁻); b) portate di esercizio dei pozzi; c) depressione piezometrica durante l'emungimento.

- Subdivision of North-Western Murge in 2 zones (A and B) as a function of the distance from the coast, the local hydrogeological conditions and the available data. Influence of the dimensional and working characteristics of wells on the saline concentration of groundwaters: a) percentage of wells penetration in aquifer (P) and chloride ion concentration of groundwaters extracted in dynamic conditions (Cl⁻); b) pumping rates of wells; c) piezometric depression during the water extraction.

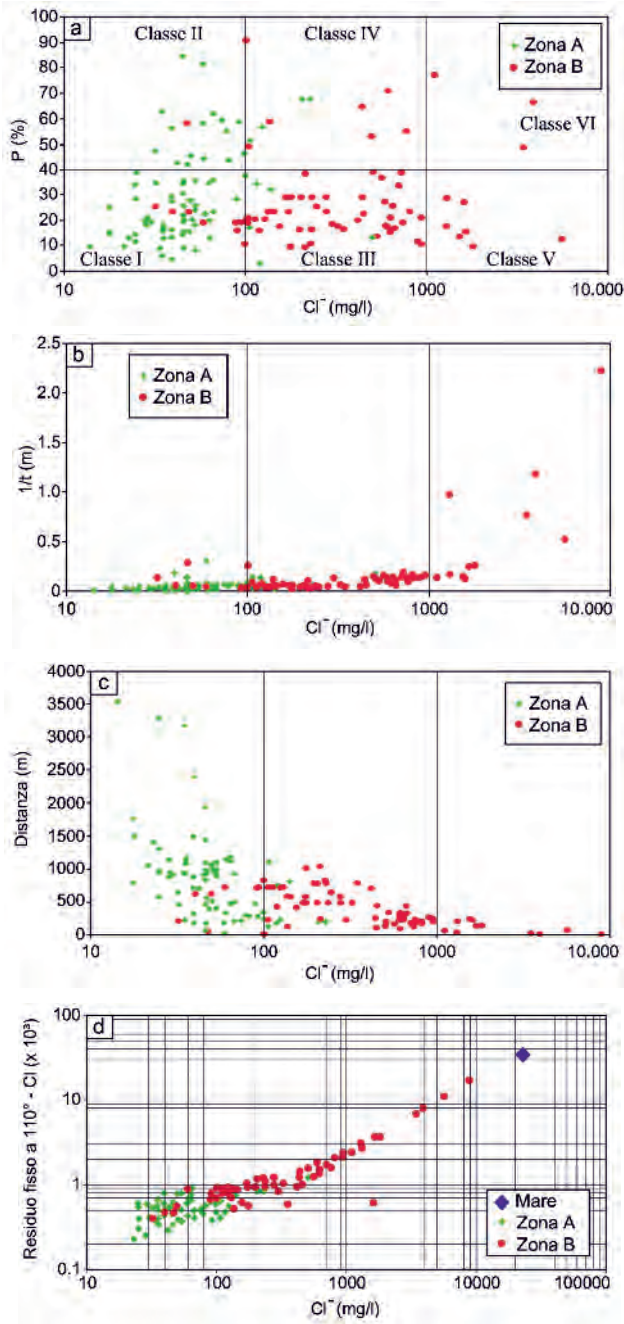


Fig. 15.59 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area della Murgia Nord-orientale sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) confronto tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e la concentrazione dello ione cloruro (Cl) delle acque sotterranee prelevate in condizioni dinamiche con indicazioni delle classi indicate in figura 15.58; b) confronto tra il carico piezometrico della falda profonda (h) e la concentrazione dello ione cloruro con indicazione della percentuale di penetrazione; c) confronto tra la distanza della base del pozzo dalla interfaccia teorica acqua dolce-acqua di mare (d) e la concentrazione dello ione cloruro; d) confronto tra il residuo fisso e la concentrazione dello ione cloruro.

- Influence of the size and operational features of wells in the North-Eastern Murgia on salt concentration of groundwaters: a) comparison between the percentage of well penetration (P) and the chloride ion (Cl) concentration of water pumped under dynamic conditions (Cl), with indication of the classes shown in fig. 15.58; b) comparison between the piezometric head of the deep groundwaters (h) and the concentration of the chloride ion, with indication of the percentage of penetration; c) comparison between the distance of the bottom well from the theoretical interface fresh water – seawater (d) and the concentration of the chloride ion; d) comparison between dry residue level and the concentration of the chloride ion.

l'acqua estratta. I quattro pozzi 1EM, 2EM, 3EM e 4 EM gestiti dall'AQP ed ubicati ad Andria hanno, infatti, fatto registrare significativi incrementi di concentrazione dello ione cloro tra il 1988 ed il 2002. Per detti pozzi si osserva infatti un incremento da circa 50÷100 mg/l a circa 100÷150 mg/l.

15.12. - FALDE SUPERFICIALI

Non sono assenti nella Murgia modeste falde superficiali, contenute sia nelle formazioni quater-

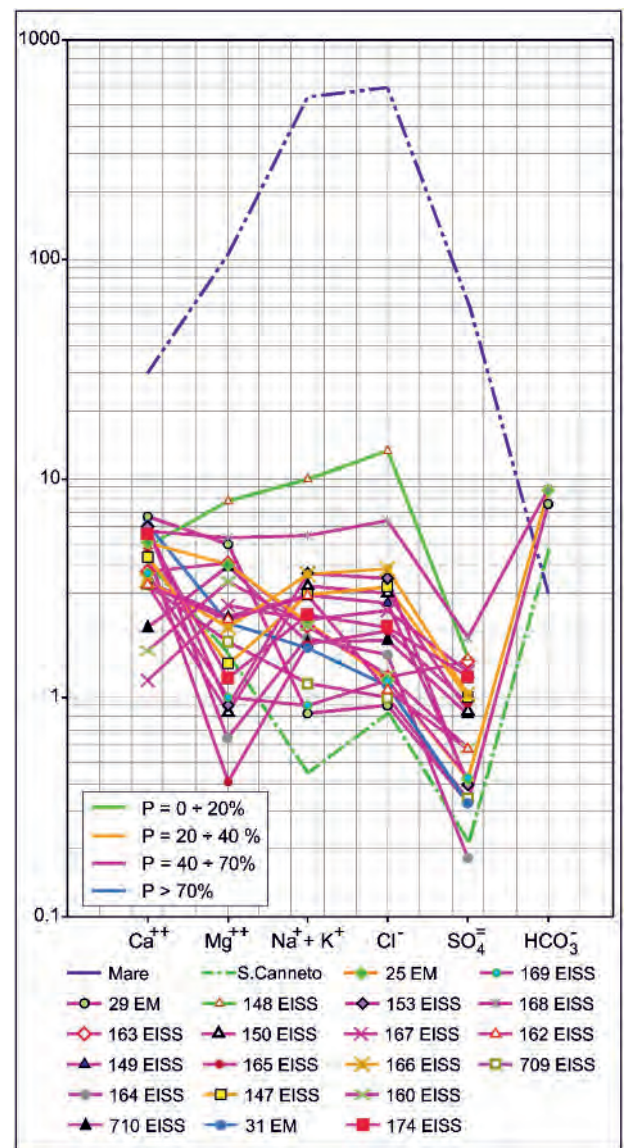


Fig. 15.60 - Murgia Nord-Occidentale: diagramma di Schoeller di alcuni pozzi ubicati nella zona A (fig. 15.58), per i quali è indicata la percentuale di penetrazione in falda (P).

- North-Western Murgia: Schoeller diagram of wells located in zone A (fig. 15.58), with indication of the percentage of well penetration (P) into groundwater.

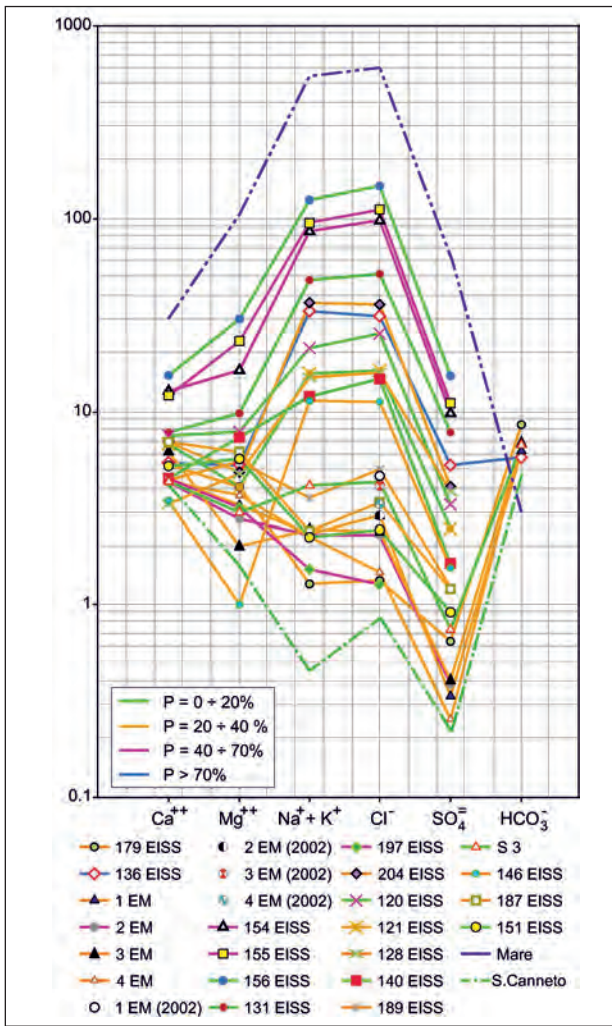


Fig. 15.61 - Murgia Nord-Occidentale: diagramma di Schoeller di alcuni pozzi ubicati nella zona B (fig. 15.58), per i quali è indicata la percentuale di penetrazione in falda (P).

- North-Western Murgia: Schoeller diagram of wells located in zone B (fig. 15.58), with indication of the percentage of well penetration (P) into groundwater.

narie che ricoprono i calcari mesozoici sia nell'ambito dei calcari stessi.

Una modesta circolazione idrica sotterranea in seno a terreni quaternari permeabili per porosità è stata riconosciuta per esempio nella "Piana di Barletta" (COTECCHIA *et alii*, 1957; LATTANZIO *et alii*, 1994). Qui i terreni di copertura sono costituiti da sabbie e ghiaie, argille e sabbioni tufacei. Nell'ambito delle sabbie è possibile riconoscere l'esistenza di una circolazione idrica sotterranea che, nei pressi della costa, si confonde con la sub-alvea del fiume Ofanto.

Alcune falde superficiali sospese sono rinvenibili nei terreni pleistocenici, che in alcuni casi ricoprono i calcari cretacei anche alle quote più elevate dell'Alta Murgia, come nel caso della falda sospesa riscontrata in prossimità dell'abitato di Gioia del Colle. Qui sono presenti depositi marini quaternari appartenenti alla formazione delle sabbie di Monte Marano, su cui fonda l'abitato, che coprono la formazione pleistocenica delle Calcareniti di Gravina (fig. 15.62), sovrastante ai calcari del Cretacico.

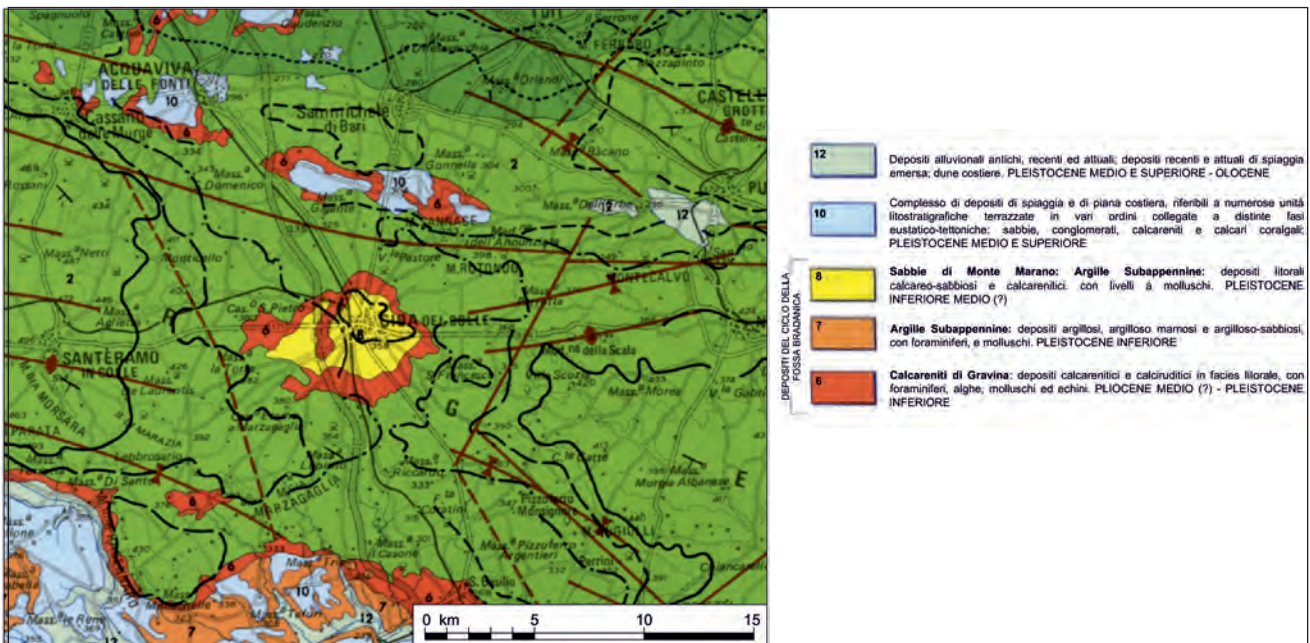


Fig. 15.62 - Carta geologica della zona di Gioia del Colle (mod., da RICCHETTI *et alii*, 1988).

- Geological map of Gioia del Colle area (modified after RICCHETTI *et alii*, 1988).

Detti depositi marini quaternari talora coprono direttamente i calcari del Cretacico, sia in Puglia che in Lucania. A Gioia del Colle, nell'ambito della formazione sabbiosa, è possibile rinvenire livelli maggiormente argillosi e quindi meno permeabili, che consentono la formazione di falda idriche sospese nei livelli maggiormente permeabili superiori. Tali falde presentano quote piezometriche notevoli, dell'ordine di 350 m s.l.m., con isopieziche abbastanza regolari, benché influenzate dall'andamento dei livelli poco permeabili di base (COTECCHIA, 1952). Essa va dunque ben distinta dalla circolazione idrica profonda carsica. In ragione delle quote topografiche del terreno, variabili nell'area tra 300÷400 m s.l.m., il pelo libero della falda può essere anche a pochi metri di profondità dal piano campagna, rappresentando un grande vantaggio per l'estrazione. Detto corpo idrico, seppur modesto, ha avuto infatti un ruolo fondamentale per l'approvvigionamento idrico, anche potabile, ad esempio a Gioia del Colle, come anche in altri paesi sede di analoghi depositi sabbiosi. All'arrivo in tali zone dell'AQP agli inizi del secolo scorso (DE RISO, 1946), la drastica riduzione degli emungimenti ha comportato dei sollevamenti del livello di falda tali da comportare anche problematiche di tipo geotecnico ai terreni di fondazione degli edifici.

Tra le falde superficiali della Murgia vanno infine annoverate le cosiddette falde secondarie (COTECCHIA *et alii*, 1957; GRASSI, 1973), che sono modeste vene acquifere in seno alla formazione carbonatica, determinate dall'esistenza di livelli di roccia molto poco permeabili al di sopra della falda profonda. Dette falde trovano però recapito sempre nella falda profonda, essendo assenti sorgenti subaeree. Queste condizioni sono frequenti sia nell'Alta Murgia (par. 15.7), sia nel territorio compreso tra Palese, Modugno e Bitonto.

15.13. - DESCRIZIONE DEI CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI DELL'AREA BRADANICA

Di seguito si discutono i caratteri idrogeologici generali delle porzioni di Fossa Bradanica che interessano il margine occidentale dell'avampaese murgiano. Dopo una breve descrizione dei carat-

teri geologico-strutturali dell'area bradanica, si passa all'illustrazione di alcune caratteristiche fondamentali della circolazione idrica sotterranea nei calcari cretacei mesozoici dell'area, fin dove esse sono note, nonostante la povertà di dati di ricerca al riguardo.

15.13.1. - *Inquadramento geologico - strutturale dell'area bradanica*

La Fossa Bradanica è stata colmata da una potente successione sedimentaria di origine clastica (calcareniti, argille e conglomerati) depositatesi in seguito alla ingressione marina verificatasi nel Pliocene - Pleistocene inferiore e conclusasi con la definitiva regressione del mare nel Pleistocene medio - superiore. Il Basamento è costituito dalla potente serie calcarea cretacea che è suddivisa in *horst* e *graben* da sistemi di faglie, prevalentemente in direzione appenninica (tav. 2 f.t.). La formazione carbonatica degrada immergendosi sotto depositi plioquaternari, che appunto riempiono la Fossa Bradanica. Nell'ambito del presente progetto di ricerca è stato possibile esaminare le stratigrafie di pozzi profondi eseguiti per ricerca petrolifera, che hanno confermato l'esistenza di acqua salata nei calcari cretacei anche a profondità dell'ordine di alcune migliaia di metri (tav. 1 f.t.; cap. 2).

Nella Fossa Bradanica la formazione carbonatica cretacea profonda è costituita da calcari, calcari dolomitici e dolomie del Senoniano, riferibili al gruppo dei calcari delle Murge. In particolare, il basamento è costituito dal Calcarea di Bari. Transgressiva sul calcarea cretaceo della Murgia, ed in discordanza angolare, vi è la formazione delle Calcareniti di Gravina, che rappresenta il termine più basso del ciclo plio - pleistocenico di riempimento della Fossa Bradanica, ed ha spessore massimo dell'ordine dei 50÷70 m. Tale formazione risulta permeabile principalmente per fratturazione e paracarsismo, e secondariamente per porosità. Le Calcareniti di Gravina passano verso l'alto, con continuità di sedimentazione e concordanza stratigrafica, ai depositi argillosi delle Argille Subappennine (o Argille di Gravina), fossilifere e debolmente sabbiose e stratificate, da ritenersi impermeabili. Nella parte alta della formazione si ha

un progressivo arricchimento della frazione sabbiosa che determina il passaggio, in continuità stratigrafica, alle sovrastanti Sabbie di Monte Marano, del Calabriano, da ritenersi mediamente permeabili per porosità. Eteropiche sulle sabbie di Marano e sempre sovrastanti le Argille Subappennine, vi sono le Calcareni di M. Castiglione. Queste, costituite da biocalcareni e biocalciruditi a grado di cementazione variabile e talora ridotte ad un sabbione grossolano, sono di potenza superiore ai 20 m e risultano molto permeabili per porosità e paracarsismo incipiente. Verso l'alto della formazione si passa ai conglomerati di Irsina, che rappresentano il termine di chiusura del ciclo sedimentario della fossa bradanica, in seguito alla definitiva regressione del mare verso l'attuale golfo di Taranto. La formazione è costituita da ciottoli, con rare lenti sabbiose.

Il fondovalle dei torrenti presenti nell'area sono inoltre occupati da depositi alluvionali recenti ed attuali, che raggiungono uno spessore massimo di una decina di metri. Detti depositi sono costituiti nella parte bassa, a diretto contatto con la formazione argillosa di base, da un livello di ghiaia eterometrica immersa in una matrice sabbiosolimoso. Le ghiaie sono sormontate da limi argillosi talora debolmente sabbiosi. I depositi alluvionali nel loro insieme posseggono una permeabilità medio - alta per porosità.

Ai piedi della scarpata premurgiana si rinviene infine un'estesa fascia di detriti di falda e conoidi di deiezione, costituiti da detriti calcarei in gran prevalenza ciottolosi, da brecce di pendio cementate e da terra rossa di spessore variabile. L'insieme di queste *litofacies* possiede una discreta permeabilità per porosità.

Per quel che riguarda la morfologia dell'area bradanica, questa è fortemente condizionata dalla natura litologica dei terreni. La giacitura suborizzontale dei terreni plio-pleistocenici conferisce alla sommità dei rilievi una forma tabulare, mentre i versanti mostrano una variazione dell'inclinazione legata ai fenomeni di erosione differenziata. Considerata la facile erodibilità dei materiali affioranti, è evidente che gran parte dei rilievi dell'area è in continua evoluzione, anche caratterizzata da frane e dissesti.

15.13.2. - *Inquadramento idrogeologico generale dell'area bradanica*

L'area bradanica è caratterizzata da due distinti acquiferi: il primo, superficiale, è costituito dal ciclo marino plio-pleistocenico, il secondo, profondo, dal basamento carbonatico mesozoico. L'acquifero superficiale è caratterizzato da una complessa circolazione idrica condizionata dai rapporti stratigrafici prima descritti, e dunque all'eterogeneità di permeabilità. Anche nelle formazioni decisamente poco permeabili quali le Argille Subappennine, è possibile individuare livelli idrici con escursioni piezometriche stagionali, ancorchè presentanti velocità di circolazione molto ridotte.

Alla base della sequenza bradanica si rinviene il potente acquifero costituito dai calcari fratturati e carsificati, in cui ha sede la falda profonda, in continuità con quella murgiana. Le condizioni idrogeologiche che caratterizzano questa circolazione idrica profonda risultano variabili in relazione alle locali condizioni geologico-strutturali.

I calcari cretacei profondi sono quindi sede di una falda alimentata dalle acque meteoriche ricadenti sugli alti collinari della Murgia, dove essi affiorano. Infatti, come abbiamo già avuto modo di illustrare nei paragrafi precedenti, qui le acque di pioggia che si infiltrano nel sottosuolo alimentano anche la circolazione idrica dell'area bradanica, secondo uno spartiacque sotterraneo ubicato nelle porzioni più occidentali dell'Alta Murgia.

Partendo da Nord, ossia grossomodo dai territori comunali di Minervino Murge e Spinazzola, l'analisi delle isopieziche riportate in tavola 4 (f.t.), consente di riconoscere un efflusso delle acque di falda sia verso i calcari profondi del Tavoliere, sia verso quelli dell'area bradanica.

La circolazione idrica sotterranea nell'area Bradanica è profondamente condizionata dai lineamenti strutturali ivi presenti. Procedendo dal territorio di Spinazzola verso l'area bradanica, si osserva l'approfondirsi del tetto dei calcari cretacei secondo un sistema di faglie a direzione appenninica. Una delle succitate faglie (fig. 15.63) è forse a ridosso dei pozzi 5-9 EM dell'AQP citati nel paragrafo precedente, realizzati durante l'emergenza idrica degli anni '80. In figura 15.64 vengono

riportate le stratigrafie dei pozzi 7 EM e 9 EM, dalle quali si può desumere l'approfondimento del tetto dei calcari da 240 m s.l.m. nel pozzo 7 EM a circa 90 m s.l.m. nel pozzo 9 EM, confermato anche dalle stratigrafie degli altri pozzi. Per detti pozzi si rileva quanto segue:

- pozzo 7 EM: quota piezometrica pari a circa 30 m s.l.m., concentrazione ione cloruro pari a 35,5 mg/l, determinata da campione estratto in condizioni dinamiche adottando una portata di 22 l/s ed una conseguente depressione di circa 1 m;
- pozzo 9 EM: quota piezometrica pari a circa 20 m s.l.m., concentrazione ione cloruro pari a 120,7 mg/l, determinata da campione estratto in condizioni dinamiche adottando una portata di 12 l/s ed una conseguente depressione quasi nulla.

Quanto sopra evidenzia quindi che a valle della faglia indicata in figura 15.63 le altezze piezometriche subiscono una brusca riduzione, molto probabilmente determinata da un incremento del coefficiente di permeabilità dell'acquifero, così come in parte è confermato anche dalla Carta delle Permeabilità (fig. 15.6; tavola 3 f.t.), che in detta zona indica un significativo incremento della permeabilità procedendo dall'alta Murgia verso la fossa bradanica, anche se sulla base di pochi punti di misura. Sembra inoltre che, procedendo verso la Fossa Bradanica, i pozzi risentano del fenomeno dell'intrusione marina. Si osserva inoltre che a circa 15 km a Sud di Spinazzola (fig. 15.63), due pozzi profondi realizzati per ricerche petrolifere indicano la presenza di acqua di mare in profondità nei cal-

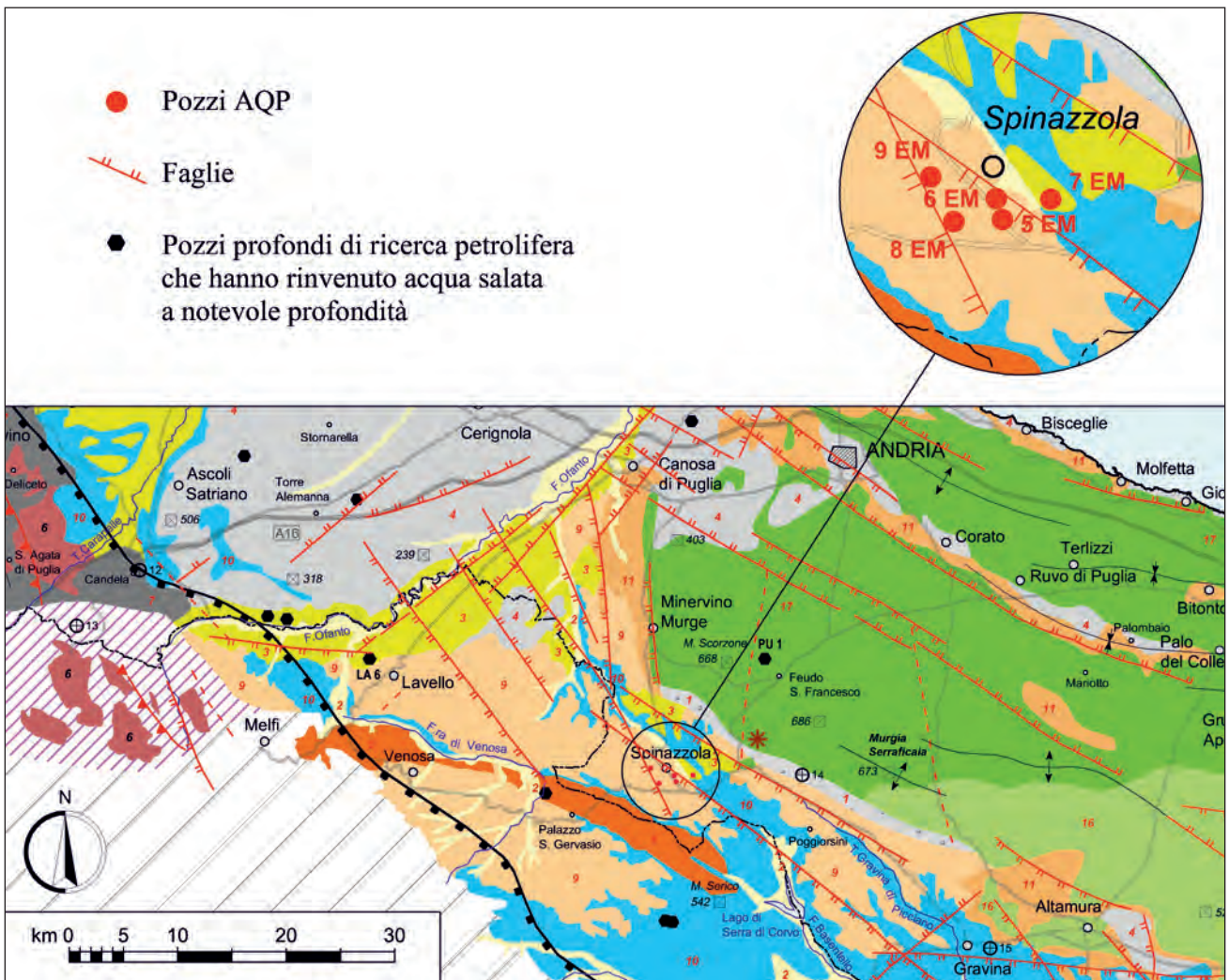


Fig. 15.63 - Particolare della carta geologico-strutturale con ubicazione dei pozzi 5-9 EM del campo pozzi AQP di Spinazzola (per la legenda si rimanda alla carta geologica).

- Detail of the geological-structural map, showing the location of wells 5-9 EM in the AQP well field of Spinazzola (for legend, see the geological map).

già a quota elevata.

Un'altra porzione di acquifero cretaceo dell'area bradanica che è stato possibile studiare grazie alla disponibilità di dati piezometrici e di qualità delle acque è quella prossima al lago di San Giuliano, a Sud della città di Matera. In figura 15.65 sono rappresentate le isopieziche determinate da MAGGIORE & PAGLIARULO (2004) per questa area. Questa evidenza una circolazione idrica sotterranea avente direzione grossomodo NE-SO, fondamentale alimentata dall'acquifero murgiano. In prossimità del lago di San Giuliano la circolazione idrica presenta invece una direzione grossomodo E-SO e anomalie molto probabilmente connesse ad un apporto alla circolazione idrica sotterranea da parte delle perdite che si verificano in sponda destra dell'invaso San Giuliano, riflesse anche in anomalie nella distribuzione della concentrazione salina (fig. 15.66) e della temperatura (fig. 15.67) delle acque di falda. La temperatura delle acque di falda è inoltre piuttosto elevata, in genere superiore a 20°, il che indica lunghi tempi di residenza. La concentrazione salina e la temperatura sembrano poi aumentare procedendo da Matera verso S-SW, ossia procedendo dalle Murge verso la Fossa Bradanica. Tale fenomeno potrebbe essere legato alla risalita di acque profonde (MAGGIORE & PAGLIARULO; 2004).

È stato possibile eseguire alcuni accertamenti in corrispondenza del pozzo n. 9 ubicato nella Masseria Santa Lucia (figg. 15.65÷15.67), qui de-

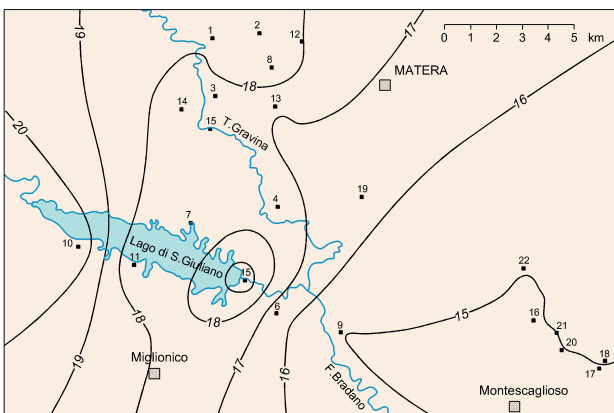


Fig. 15.65 - Isopieziche della falda profonda presente nei calcari cretacei dell'area Bradanica a Sud di Matera (da MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).
- *Water table contour lines of the deep aquifer groundwater in the Cretaceous limestones of the Bradano area, south of Matera (after MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).*

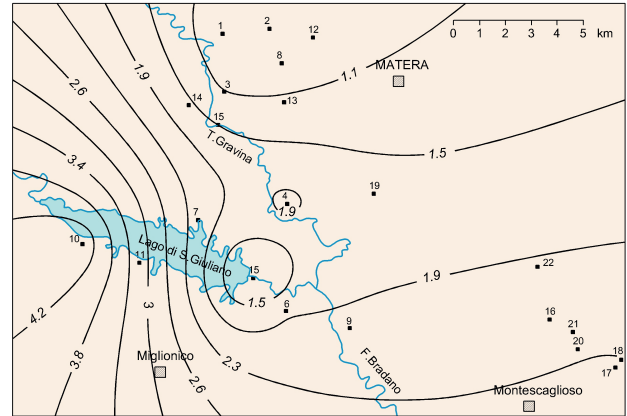


Fig. 15.66 - Distribuzione della concentrazione salina delle acque della falda profonda presente nei calcari cretacei dell'area Bradanica a Sud di Matera (g/l) (mod., da MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).
- *Salt concentration distribution of deep aquifer groundwater in the Cretaceous limestones of the Bradano area, south of Matera (g/l) (modified after MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).*

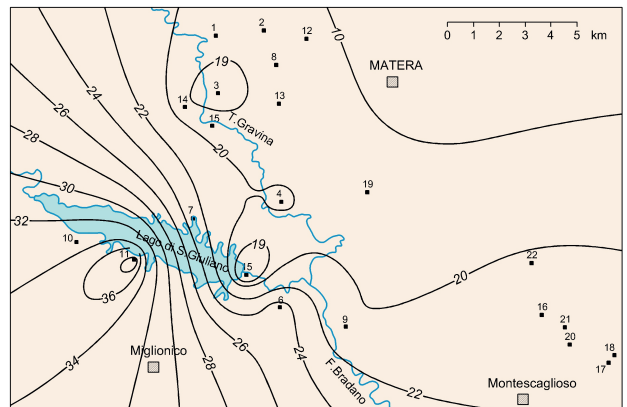


Fig. 15.67 - Distribuzione della temperatura delle acque della falda profonda presente nei calcari cretacei dell'area Bradanica a sud di Matera (°C) (da MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).
- *Temperature distribution (°C) of deep aquifer groundwater in the Cretaceous limestones of the Bradano area, south of Matera (after MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).*

nominato pozzo Ridola (fig. 15.68). Detto pozzo presenta una quota piezometrica pari a 15 m s.l.m. e la salinità superiore a 2 g/l già a partire dal tetto dell'acquifero (fig. 15.69). La temperatura dell'acqua di falda, superiore a 20°, subisce una modesta riduzione con la profondità. Il diagramma di Schoeller delle acque campionate (fig. 15.70) evidenzia che trattasi di acque molto probabilmente influenzate dal mare. Esso infatti si dispone tra il diagramma tipico di acque campionate nell'Alta Murgia e quello tipico delle sorgenti del Tarantino, fortemente influenzate dalla intrusione marina. Sono state eseguite anche analisi isotopiche che

hanno evidenziato contenuti di Trizio dell'acqua campionata pari a $1,9 \pm 0,5$ U.T., paragonabili a quelli di un'acqua prelevata a Poggiorsini, in corrispondenza del pozzo da cui si preleva un'acqua minerale ($1,8 \pm 0,5$ U.T.).

Sono notevoli quindi le incertezze circa i caratteri fondamentali della circolazione idrica sotterranea avente sede nei calcari cretacei dell'area bradanica, alimentati dalla Murgia. Le acque di falda presentano infatti quote piezometriche dell'ordine di 15÷20 m s.l.m. sia nelle porzioni a Nord-Ovest dell'area bradanica sia in quelle a Sud-Est. Le acque di falda inoltre presentano dei contenuti salini tali da doverle considerare influenzate dalle acque marine, anche se gli eventuali rapporti esistenti tra le acque di falda e quelle di mare in profondità sono ancora da determinare.

| POZZO RIDOLA | | | |
|--------------------------|-------------------------|--------------|---|
| Livello falda (m s.l.m.) | Quota dal p.c.(m) | Stratigrafia | Descrizione del terreno |
| 0.00 | (p.c. = 68.00 m s.l.m.) | | |
| | 26.00 | | Alternanza di limi argilloso-sabbiosi e sabbia (Pleistocene). |
| | 30.00 | | Calcarenite plio-pleistocenica |
| 15.00 | | | Calcarei biancastri fratturati e carsificati del Cretaceo; |
| 11.00 | | | a 54 m le fratture si presentano colme di limo argilloso |
| | 81.00 | | |

Fig. 15.68 - Stratigrafia del pozzo Ridola ubicato in Masseria Santa Lucia a Sud di Matera al centro della Fossa Bradanica (pozzo n. 9 in fig. 15.67).
 - Stratigraphy of the Ridola well located at Masseria Santa Lucia, south of Matera, in the central sector of the Bradano Foredeep.

15.14. - DELIMITAZIONE DELLE AREE DI SALVAGUARDIA DELLE OPERE DI CAPTAZIONE POTABILI NEL DISTRETTO ESTRATTIVO DI MONOPOLI - POLIGNANO A MARE

Nell'ambito degli studi condotti dal Politecnico di Bari (D.I.A. - I.G.A.G) nel 1997, i distretti estrattivi dell'AQP di Monopoli - Polignano a Mare e Casamassima - Valenzano sono stati individuati quali aree pilota per la definizione di metodologie atte a delimitare le aree di salvaguardia dei pozzi

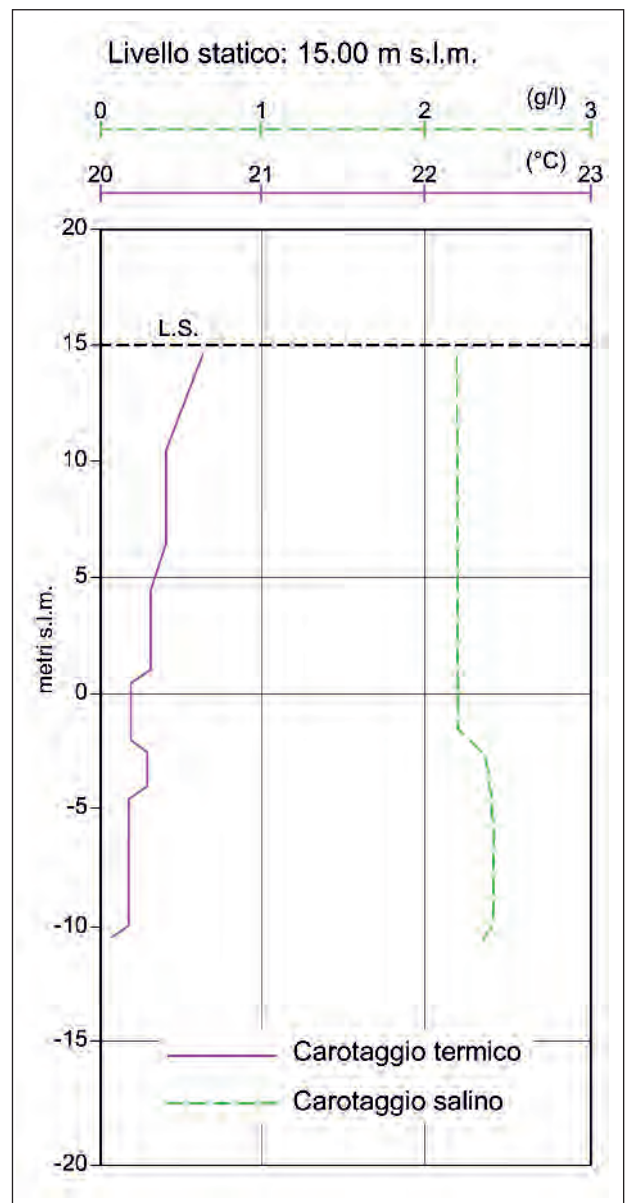


Fig. 15.69 - Carotaggio termico e salino del 24-7-1989 eseguito nel pozzo Ridola in località Santa Lucia (MT).
 - Temperature and salt logs of July 24, 1989, performed in the Ridola well at Santa Lucia (Matera).

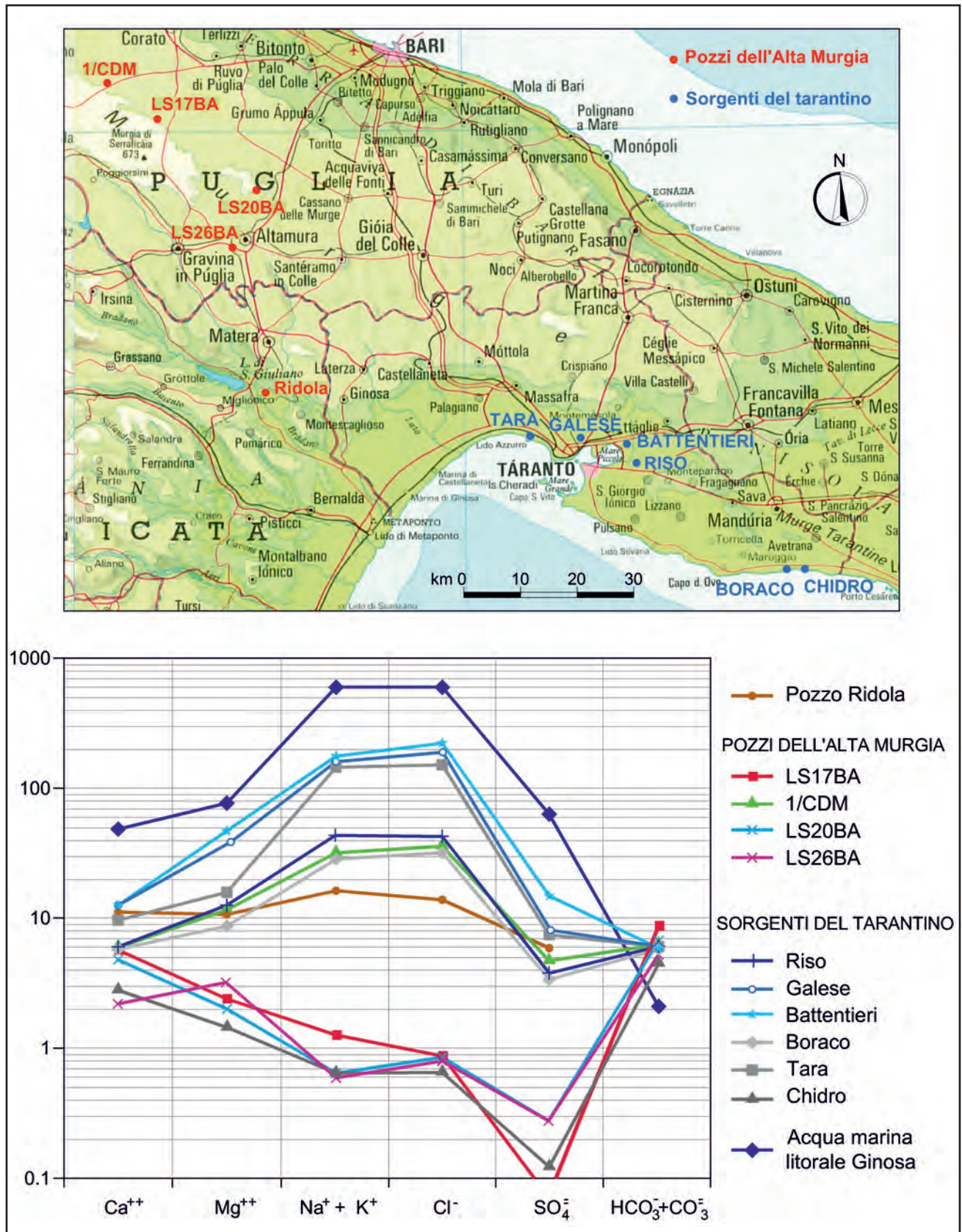


Fig. 15.70 - Confronto tra il chimismo delle acque di falda prelevate dal pozzo Ridola ubicato in località Santa Lucia (MT) e quelle relative ai pozzi ubicati sull'Alta Murgia, alcune sorgenti del Tarantino e l'acqua di mare.

- Comparison between the chemistry of groundwater pumped from the Ridola well, located at Santa Lucia (Matera), from the wells in Alta Murgia, from some springs of the Taranto area, and the seawater.

potabili penetranti nell'acquifero murgiano, dato che detti distretti presentano problematiche rappresentative per la Regione.

Nel capitolo 10 è stato già affrontato il problema della perimetrazione della zona di rispetto di pozzi potabili nel distretto estrattivo di Casamassima – Valenzano. In questo paragrafo l'argomento è ripreso con riferimento al distretto estrattivo di Monopoli – Polignano a Mare, che, benché appartenente alla stessa area idrogeologica, presenta caratteri idrogeologici differenti.

Nell'area pilota di Monopoli – Polignano a Mare l'acquifero murgiano è complessivamente poco permeabile, eterogeneo ed esposto all'intrusione marina. Quest'ultima circostanza è da imputare alla vicinanza alla costa ed alle ridotte quote piezometriche che caratterizzano la circolazione idrica sotterranea. La ridotta permeabilità dell'acquifero comporta la necessità di adottare elevate depressioni idrodinamiche nei pozzi, per cui, in presenza di acqua di mare alla base della falda di acqua dolce, aumenta il rischio di contaminazione delle acque di falda.

L'inquinamento delle acque di falda connesso all'emungimento avviene sia dal basso, attraverso la formazione del cono di intrusione marina, sia lateralmente, a causa della vicinanza dei pozzi alla costa. In tale contesto si ha quindi che la delimitazione delle zone di rispetto dei pozzi potabili, quale strumento per la protezione della qualità delle acque, risulta subordinata ad una revisione degli attingimenti in atto, in termini di numero, portata estratta e caratteristiche geometrico-costruttive delle opere di captazione. È necessario infatti salvaguardare i pozzi dall'arrivo di inquinanti sia dalla superficie, sia dal basso. Qualsiasi azione di tutela che non contempi la revisione, alla luce del fenomeno dell'intrusione marina, dell'attuale uso che in questa area si fa della falda è quindi del tutto inefficace.

Va comunque sottolineato che neanche la normativa nazionale, che definisce i criteri da adottare per la salvaguardia delle opere di captazione delle acque sotterranee destinate al consumo umano, tiene conto della possibilità che la sostanza inquinante venga dal basso e non dalla superficie (cap. 11). Va quindi segnalato che il problema della protezione delle opere di captazione delle acque po-

tabili risulta, nel caso in esame, accoppiato al problema della gestione della risorsa idrica sotterranea nel suo insieme.

15.14.1. - *Generalità sui pozzi potabili presenti nell'area*

Nell'area di Monopoli-Polignano a Mare l'AQP gestisce complessivamente 10 pozzi ad uso potabile (fig. 15.71), le cui caratteristiche geometrico-costruttive ed idrogeologiche sono indicate nelle tabelle 15.28 e 15.29. Dall'esame di queste tabelle si evince che in alcuni casi i pozzi presentano penetrazioni in falda molto elevate e portate di esercizio tali da deprimere i livelli di falda al di sotto del livello mare, con ovvie conseguenze sull'equilibrio tra l'acqua dolce di falda e la sottostante acqua di mare.

Detti pozzi sono utilizzati dall'AQP in modo discontinuo, in ragione di scelte di carattere gestionale e dei risultati delle analisi chimico-batteriologiche periodicamente eseguite sulle acque estratte.

15.14.2. - *Inquadramento idrogeologico dell'area*

L'area di Monopoli-Polignano a Mare è costituita da calcari mesozoici a diverso grado di fratturazione e carsismo, sui quali insiste, lungo la fascia costiera, una copertura di calcareniti pleistoceniche trasgressive, con spessori che tendono ad aumentare verso il mare. La falda acquifera, che impegna i calcari mesozoici, defluisce verso il mare in condizioni ora freatiche ora confinate, a seconda del locale stato di fratturazione e carsismo dei banchi calcarei.

L'acquifero presenta in generale un permeabilità medio - bassa, caratterizzata da valori del coefficiente di permeabilità dell'ordine di $10^{-3} \div 10^{-4}$ cm/s (tab. 15.29). La permeabilità tende ad aumentare con il distanziarsi dalla costa (tav. 3 f.t.).

Nell'ambito dei già citati studi condotti dal Politecnico di Bari nel 1997, è stato possibile determinare le isopieziche della falda, riportate in figura 15.71 con riferimento al mese di Marzo 1997. Queste indicano che il deflusso avviene con cadenti piezometriche dell'ordine di qualche unità per mille ($1 \div 3\%$) e quote piezometriche che assumono valore pari a 30 m s.l.m. e 5 m s.l.m. circa per distanze dalla linea di costa pari rispettivamente a 10 km e

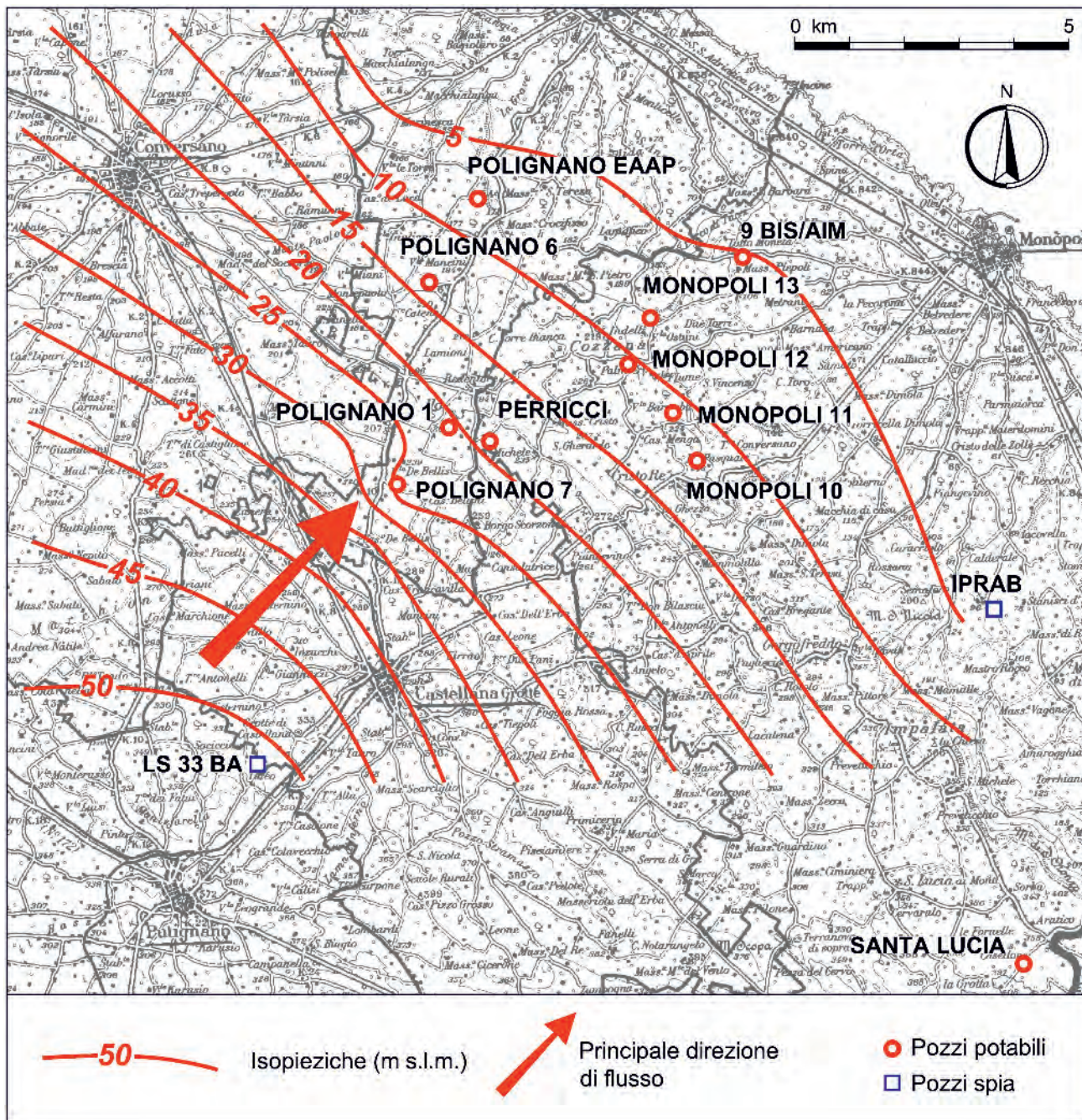


Fig. 15.71 - Isopeziche della falda afferente al mese di marzo 1997 (POLITECNICO DI BARI, 1997) con indicazione dei pozzi potabili gestiti dall'AQP e dei pozzi spia nell'area pilota di Monopoli - Polignano a Mare.

- Isopezic lines of March 1997 (POLITECNICO DI BARI, 1997), with indication of the drinking water wells managed by AQP and the observation wells in the pilot area of Monopoli - Polignano a Mare.

5 km circa. Le modalità di deflusso evidenziano la presenza di spartiacque idrogeologici e di importanti zone di drenaggio, grossomodo orientate perpendicolarmente alla linea di costa, in corrispondenza delle quali si collocano proprio i pozzi dell'AQP.

Informazioni relative al rapporto esistente nell'area tra l'acqua dolce di falda e la sottostante

acqua di mare di invasione continentale sono desumibili da alcuni pozzi profondi (PS36BA, e IPRAB in figura 15.71). Il pozzo spia PS36BA (fig. 15.72), ubicato in località "Mass. Montenetto S.", agro di Monopoli, si spinge sino ad una quota pari a circa -365 m s.l.m., ed ha intercettato l'acquifero a circa -265 m s.l.m., con quota piezometrica pari a 7,2 m s.l.m. La falda è risultata in pressione. Profili

Tab. 15.28 – *Quota del piano campagna, profondità e livello statico dei pozzi gestiti dall'AQP nell'area pilota di Monopoli – Polignano a Mare.*

– Ground level, depth and static level of wells managed by AQP in the pilot area of Monopoli – Polignano a Mare.

| POZZO | PIANO CAMPAGNA (m s.l.m.) | FONDO FORO (m s.l.m.) | LIVELLO STATICO (m s.l.m.) |
|----------------|---------------------------|-----------------------|----------------------------|
| MONOPOLI 10 | 210 | -192 | 5.70 |
| MONOPOLI 11 | 208 | -172 | 10.30 |
| MONOPOLI 12 | 227 | -153 | 10.60 |
| MONOPOLI 13 | 180 | -170 | 8.00 |
| SANTA LUCIA | 372 | -284 | 28.30 |
| PERRICCI | 230 | -222 | 10.00 |
| POLIGNANO 1 | 208 | -192 | 6.00 |
| POLIGNANO 6 | 206 | -194 | 10.00 |
| POLIGNANO 7 | 220 | -180 | 20.00 |
| POLIGNANO EAAP | 146 | -74 | 5.27 |

salinometrici eseguiti in detto pozzo in varie date hanno indicato che, a partire dal rinvenimento idrico, è possibile individuare solo un modestissimo spessore di acqua dolce di falda, la quale è fortemente contaminata dall'acqua di mare (fig. 15.73). Tutti i Log, tranne quello del 18/04/1995, hanno individuato il tetto della zona di transizione acqua dolce-acqua di mare ad una quota di circa -265 m s.l.m., ossia pari a circa il rinvenimento idrico nel pozzo, e il letto a circa -360 m s.l.m. Si fa osservare che la profondità di rinvenimento del tetto della zona di transizione è coerente con quanto è possibile desumere dall'applicazione della nota legge di Ghyben - Herzberg assumendo un coefficiente $\gamma = 38$ (cap. 2). Essendo la quota piezometrica t pari a 7,2 m s.l.m., si ottiene, infatti, una profondità dell'interfaccia teorica, misurata a partire dal livello mare, pari a 273,6 m, che ben si approssima alla profondità di rinvenimento della zona di transizione rilevata per detto pozzo (fig. 15.73).

Tab. 15.29 - *Risultati delle prove di portata eseguite sui pozzi gestiti dall'AQP nell'area pilota di Monopoli – Polignano a Mare con indicazione del relativo coefficiente di permeabilità.*

- Results of pumping tests carried out on the wells managed by AQP in the pilot area of Monopoli – Polignano a Mare, showing the corresponding permeability coefficient.

| POZZO | PROVA DI PORTATA A GRADINI | | | | PORTATA ESERCIZIO (l/s) | COEFF. DI PERMEABILITA' (cm/s) |
|----------------|----------------------------|------|------|------|-------------------------|--------------------------------|
| | PORTATA (l/s) | | | | | |
| MONOPOLI 10 | PORTATA (l/s) | 2.2 | 4.6 | 7.7 | 5.5 | 1.20E-03 |
| | DEPRESSIONE (m) | 1.1 | 2.4 | 9.0 | | |
| MONOPOLI 11 | PORTATA (l/s) | 4.1 | 8.0 | 9.5 | 9.0 | 4.08E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 7.0 | 18.0 | 21.5 | | |
| MONOPOLI 12 | PORTATA (l/s) | 7.6 | 11.0 | 13.0 | 10.1 | 9.47E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 5.8 | 8.0 | 10.0 | | |
| MONOPOLI 13 | PORTATA (l/s) | 13.3 | 17.4 | 18.0 | 16.6 | 5.29E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 18.0 | 22.5 | 23.0 | | |
| SANTA LUCIA | PORTATA (l/s) | 7.4 | 10.3 | 12.2 | 4.3 | 1.64E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 19.0 | 34.0 | 46.5 | | |
| PERRICCI | PORTATA (l/s) | 17.0 | - | - | 7.8 | 4.17E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 20.0 | - | - | | |
| POLIGNANO 1 | PORTATA (l/s) | 18.0 | - | - | 11.2 | 1.64E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 62.0 | - | - | | |
| POLIGNANO 6 | PORTATA (l/s) | 20.0 | - | - | 8.7 | 3.42E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 32.0 | - | - | | |
| POLIGNANO 7 | PORTATA (l/s) | 15.0 | - | - | 3.2 | 1.04E-04 |
| | DEPRESSIONE (m) | 80.0 | - | - | | |
| POLIGNANO EAAP | PORTATA (l/s) | 4.8 | 7.8 | 11.5 | 2.4 | 2.15E-03 |
| | DEPRESSIONE (m) | 3.0 | 5.8 | 14.7 | | |

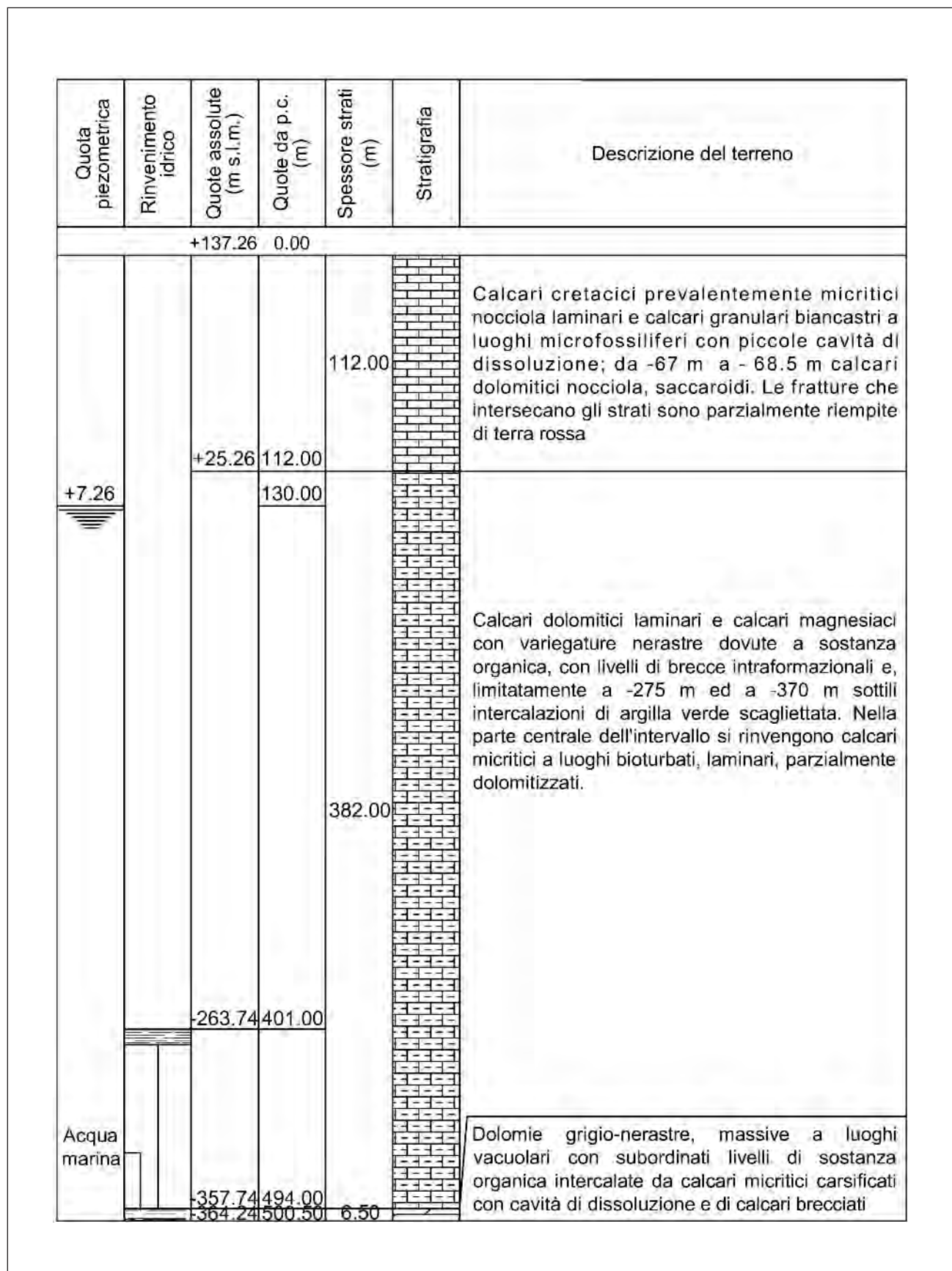


Fig. 15.72 - Sezione stratigrafica del pozzo spia PS36BA ubicato in agro di Monopoli.
 - Stratigraphic section of the observation well PS36BA, located in the territory of Monopoli.

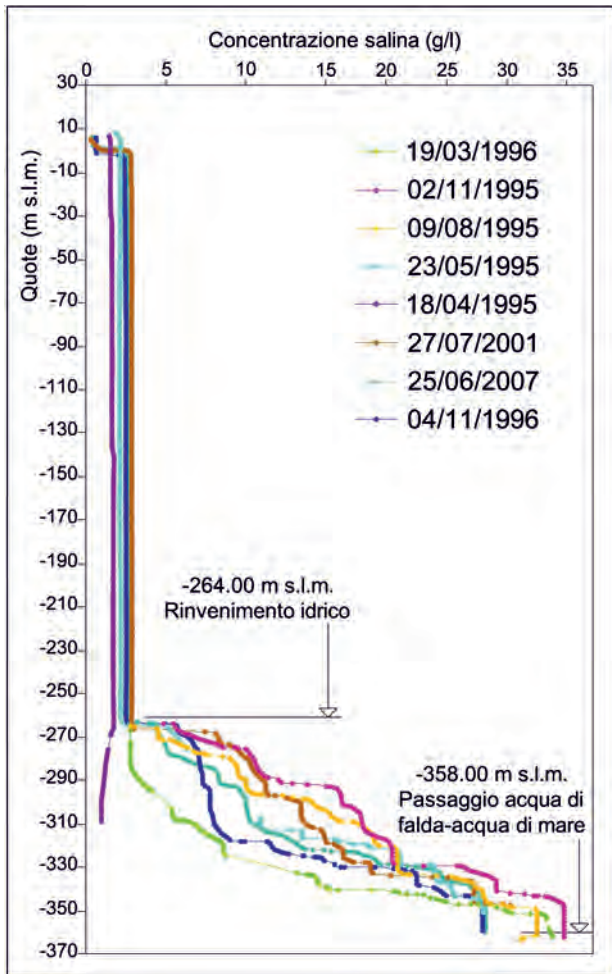


Fig. 15.73 - Profili della concentrazione salina eseguiti tra il 1995 e il 2007 nel pozzo spia PS36BA ubicato in agro di Monopoli.
 - Salt concentration logs performed between 1995 and 2007 in the observation well PS36BA, located in the territory of Monopoli.

Nel pozzo Monopoli 1, trivellato dall'AGIP nel lontano 1960 in agro di Fasano nell'ambito di un programma di ricerca dei giacimenti di idrocarburi in terraferma e in mare, è stata rinvenuta acqua di mare ad una quota pari a -222 metri s.l.m. (fig. 15.74).

Il pozzo IPRAB di Monopoli, ove la quota piezometrica è pari a 4,2 m s.l.m., ha intercettato acque salmastre (contenuto salino di 8,8 g/l) a una quota pari a -120 m s.l.m.

15.14.3. - Perimetrazione delle zone di rispetto dei pozzi potabili

I dati disponibili circa le caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero e le condizioni di attingimento delle acque sotterranee nell'area interessata

dai pozzi gestiti dall'AQP non consentono di definire le relative aree di salvaguardia. A tal riguardo, secondo quanto è stato già illustrato per l'area di Casamassima - Valenzano, è necessario eseguire maggiori accertamenti idrogeologici finalizzati alla definizione dei caratteri di permeabilità dell'acquifero alla scala locale ed alla determinazione delle isopieziche della falda e delle relative variazioni nel tempo. Infine, come per tutti i distretti estrattivi potabili del territorio regionale, è necessario ottenere tutte le informazioni circa le condizioni di at-

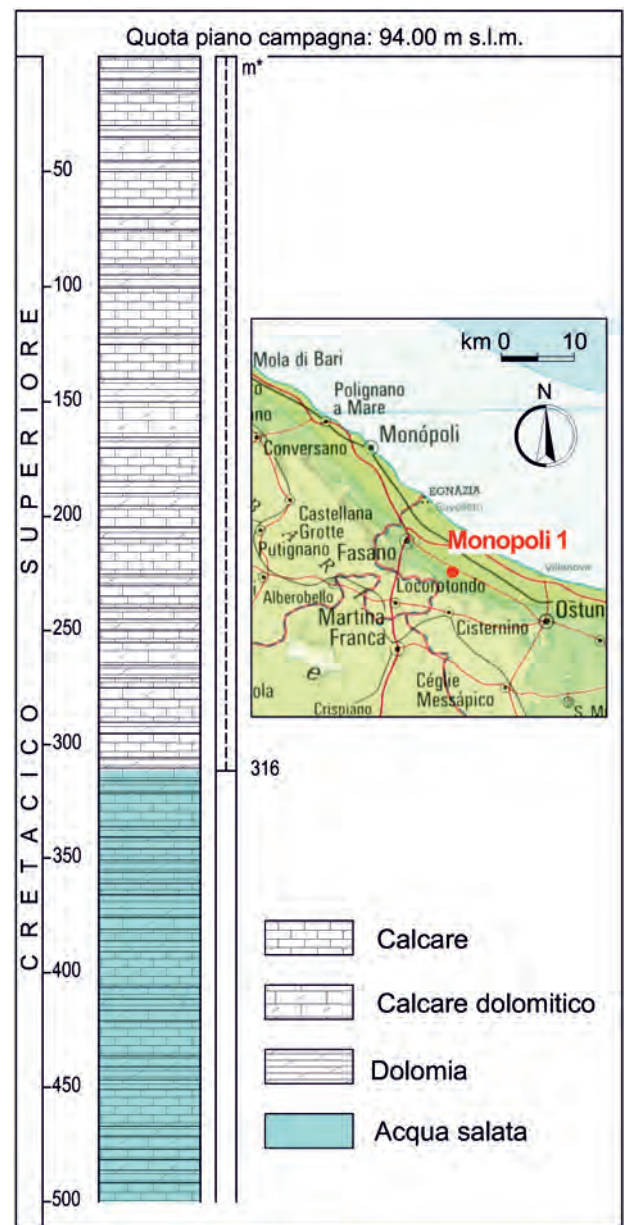


Fig. 15.74 - Sezione stratigrafica del pozzo AGIP Monopoli 1 (1960), ubicato in agro di Fasano.
 - Stratigraphic section of the well AGIP Monopoli 1 (1960), located in the territory of Fasano.

tingimento della falda attuate dai numerosissimi pozzi privati. Quest'ultimo aspetto è di primaria importanza, dato il carattere dinamico della distribuzione delle quote piezometriche ed i processi di salinizzazione dei pozzi potabili determinati dall'emungimento di pozzi privati.

Le conoscenze idrogeologiche ad oggi maturate per questa area consentono, quantomeno, di individuare il metodo più idoneo per la delimitazione delle aree di salvaguardia. In particolare è stato possibile verificare che:

- le isopieziche sono regolari;
- le prove di portata eseguite hanno fornito, con buona approssimazione, un legame lineare tra la portata di emungimento e la depressione idrodinamica della falda (fig. 15.75);
- le caratteristiche chimico-fisiche delle acque sotterranee presentano una variabilità che è pienamente giustificabile alla luce dell'equilibrio esistente, su scala regionale, tra l'acqua di falda e la sottostante acqua di mare, senza anomalie imputabili ad importanti singolarità geostrutturali;
- le velocità di filtrazione sono in genere molto basse, tipiche di un flusso laminare.

I dati a disposizione indicano quindi che l'acquifero, permeabile per carsismo e fratturazione, è assimilabile ad un mezzo poroso equivalente (cap. 2). Ciò consente di adottare il criterio temporale per il tracciamento della zona di rispetto dei pozzi (cap. 10), che coincide quindi con l'isocrona riferita ad un assegnato tempo di sicurezza, che qui si assume pari a 365 giorni. Una qualsiasi sostanza inquinante idrovelicolata disposta sul perimetro della zona di rispetto, nell'ipotesi che il trasporto av-

venga per sola advezione, impiega quindi un tempo pari a 365 giorni per raggiungere il pozzo.

Pur non essendo i dati a disposizione sufficienti a perimetrare in modo concreto le zone di rispetto dei pozzi, sono state svolte delle applicazioni del criterio temporale per i pozzi Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 e Monopoli 13 (fig. 15.71, tabb. 15.28 e 15.29). Il fine di detta applicazione è quello di individuare eventuali criticità che sarà necessario superare per pervenire alle zone di rispetto per i pozzi nell'area pilota di Monopoli-Polignano a Mare, ed in altri contesti idrogeologici regionali presentanti caratteristiche simili.

Per l'area di Monopoli-Polignano a Mare si è proceduto all'applicazione di un modello bidimensionale, che fornisce una perimetrazione cautelativa della zona di rispetto (cap. 10). Con l'ausilio del codice numerico alle differenze finite USGS MODFLOW è stato simulato uno spessore unitario di acquifero, omogeneo, isotropo e confinato, nell'ipotesi che esso sia penetrato interamente da quattro pozzi. La portata di emungimento di ciascun pozzo è stata determinata come rapporto tra la portata di esercizio e la lunghezza dello strato filtrante del pozzo stesso (0.11 l/s, 0.18 l/s, 0.20 l/s e 0.33 l/s rispettivamente per i pozzi Monopoli 10, 11, 12 e 13). È stato costruito un modello piano, orientato nella direzione del flusso idrico sotterraneo individuata nell'ambito dello studio eseguito nel 1997 dal Politecnico di Bari (fig. 15.71), esteso per 30 km nella direzione del flusso e per 30 km nella direzione perpendicolare. Il contorno di valle del modello è stato assunto coincidente con la linea di spiaggia, ed è ivi assunta un'altezza piezometrica nulla. Il contorno di monte, ubicato a 30 km di distanza da quello di valle, è stato assunto a quota piezometrica pari a 90 m s.l.m. La cadente piezometrica risulta quindi uniforme, pari a 3‰.

Per l'acquifero è stato assunto, per semplicità, un coefficiente di permeabilità omogeneo ed isotropo pari a $2,5 \times 10^{-3}$ cm/s. Con tale valore è possibile infatti ottenere una curva di portata dei pozzi che ben approssima quelle desunte dalle prove di portata eseguite sui singoli pozzi (fig. 15.75).

La figura 15.76 riporta le depressioni idrodinamiche della superficie di falda indotte dall'emungimento dei 4 pozzi potabili qui considerati,

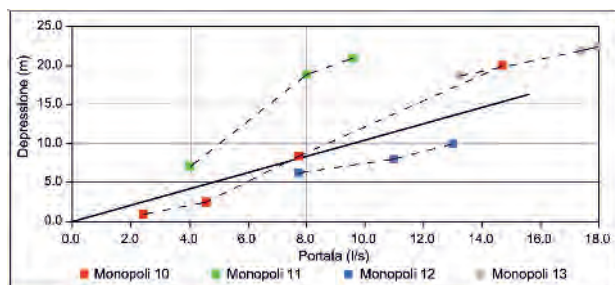


Fig. 15.75 - Curva caratteristica di portata ottenuta con il calcolo numerico ($K=2,5 \times 10^{-3}$ cm/s) e risultati di prove di permeabilità condotte sui pozzi Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12, Monopoli 13 ubicati in figura 15.71. - Characteristic discharge curve obtained through numerical computation ($K=2,5 \times 10^{-3}$ cm/s) and results of permeability tests performed in the wells Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12, Monopoli 13 (location shown in fig. 15.71).

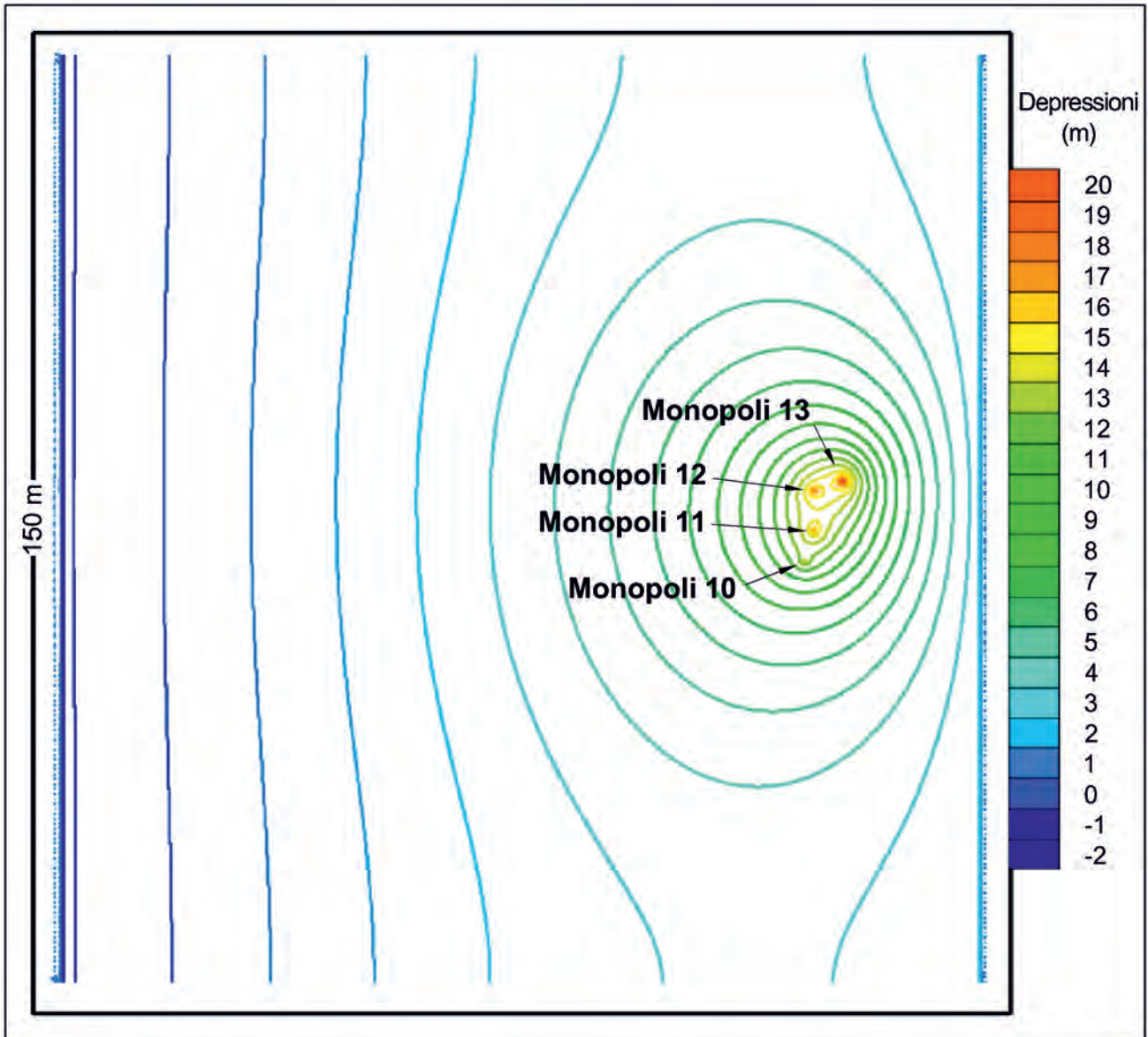


Fig. 15.76 - Depressioni idrodinamiche indotte dagli emungimenti dei pozzi potabili di Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 e Monopoli 13 ubicati in figura 15.71.
 - Hydrodynamic drawdown caused by pumping from the drinking water wells Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 and Monopoli 13 (location shown in fig. 15.71).

mentre in figura 15.77 sono riportate le linee isopieziche della falda determinata in condizioni dinamiche, considerando tutti i pozzi in emungimento con una portata pari a quella di esercizio. Essa non tiene conto dell'esistenza di altre eventuali opere di captazione ubicate nell'area di interesse. Come si può osservare, in corrispondenza dei pozzi potabili, le linee isopieziche della falda assume quote inferiori a quella del livello mare, il che determina l'ingressione di acqua di mare nell'acquifero. La figura 15.78 indica l'area di cattura dei pozzi determinata con la tecnica del

“backward particle tracking” (USGS MODPATH). Detta area individua la porzione di acquifero da cui provengono le acque emunte dai pozzi, per cui la zona di rispetto dei pozzi deve essere interna a detta area, indipendentemente dal tempo di sicurezza assunto. La figura 15.79 indica le isocrone determinate per un tempo di sicurezza pari a 365 giorni, ossia le zone di rispetto dei pozzi analizzati. Per la loro determinazione si è assunta una porosità efficace dell'acquifero pari a 5% (quest'ultima solo ipotizzata a causa della mancanza di dati sperimentali). L'estensione planimetrica delle zone di

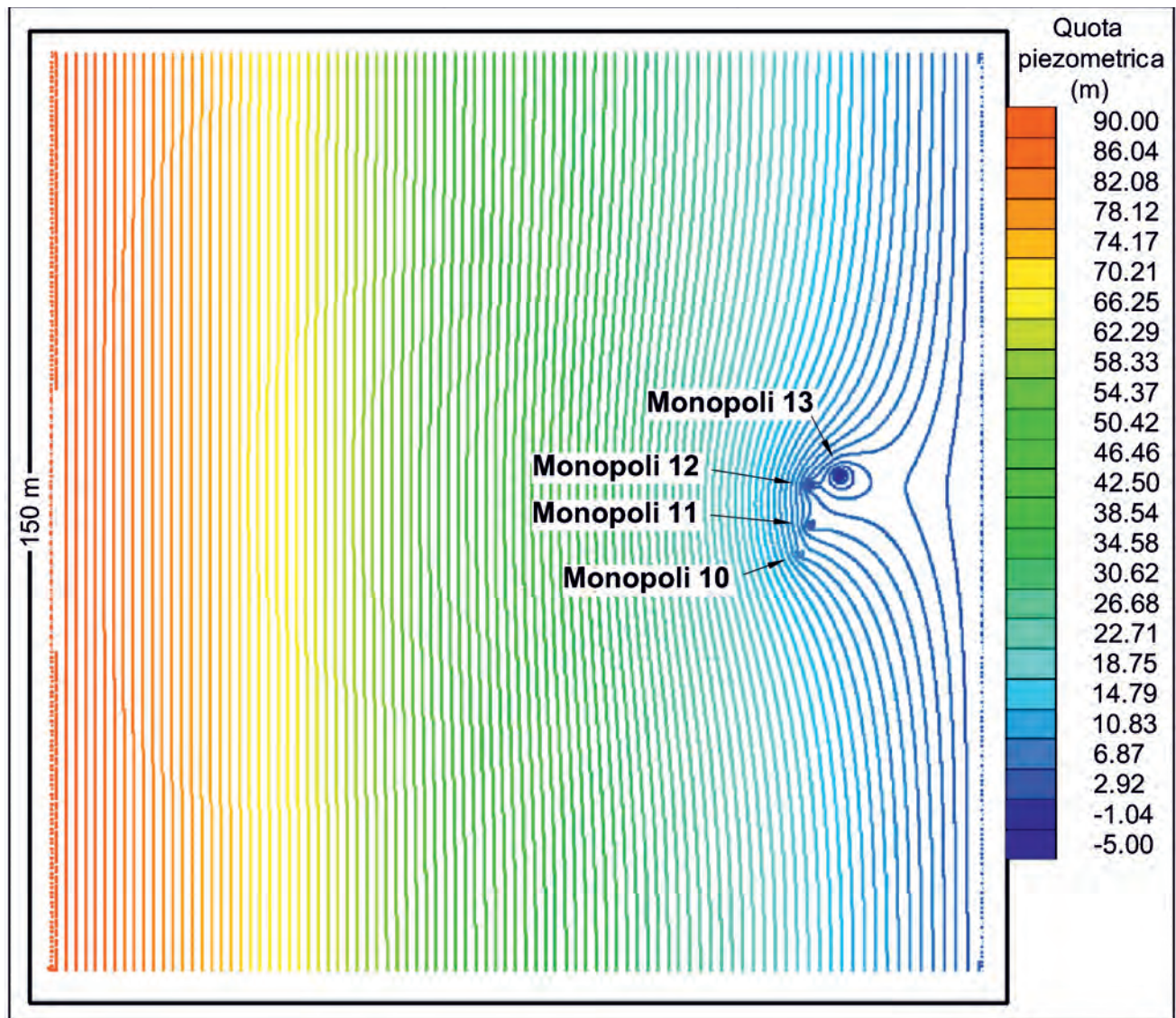


Fig. 15.77 - Isopieziche della falda in condizioni di emungimenti dei pozzi potabili di Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 e Monopoli 13.
 - *Isopiezic lines of groundwater under pumping conditions of the drinking water wells Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 and Monopoli 13.*

rispetto assume valori dell'ordine di 400÷500 m sia nella direzione del flusso idrico sia nella direzione ad essa perpendicolare (tab. 15.30). Ovviamente, avendo ipotizzato l'acquifero omogeneo e isotropo e di spessore costante, la zona di rispetto di maggiori dimensioni è quella del pozzo Monopoli 13, di maggiore portata di prelievo per spessore unitario di acquifero.

Va evidenziato che le isocrone riportate in figura 15.79 sono relative ad uno schema di pompaggio che vede il contemporaneo emungimento da tutte le opere di captazione potabili considerate ed in assenza di altri emungimenti. La valutazione degli effetti sulla piezometria della falda dovuti

all'interazione tra pozzi vicini è determinabile, nell'ipotesi di falda confinata, applicando il principio di sovrapposizione degli effetti (fig. 15.80). La depressione della superficie piezometrica in un generico punto dell'acquifero dovuta alla presenza di più pozzi in emungimento è quindi la somma delle depressioni che ciascun pozzo determina in detto punto. Meno immediato è invece la valutazione di detta interazione quando si passa al tracciamento delle isocrone. Detta circostanza rappresenta sicuramente un limite di applicazione del modello allorché vigano, come nel caso in esame, delle incertezze circa l'esistenza di ulteriori pozzi attivi oltre quelli potabili. Le isocrone andrebbero infatti

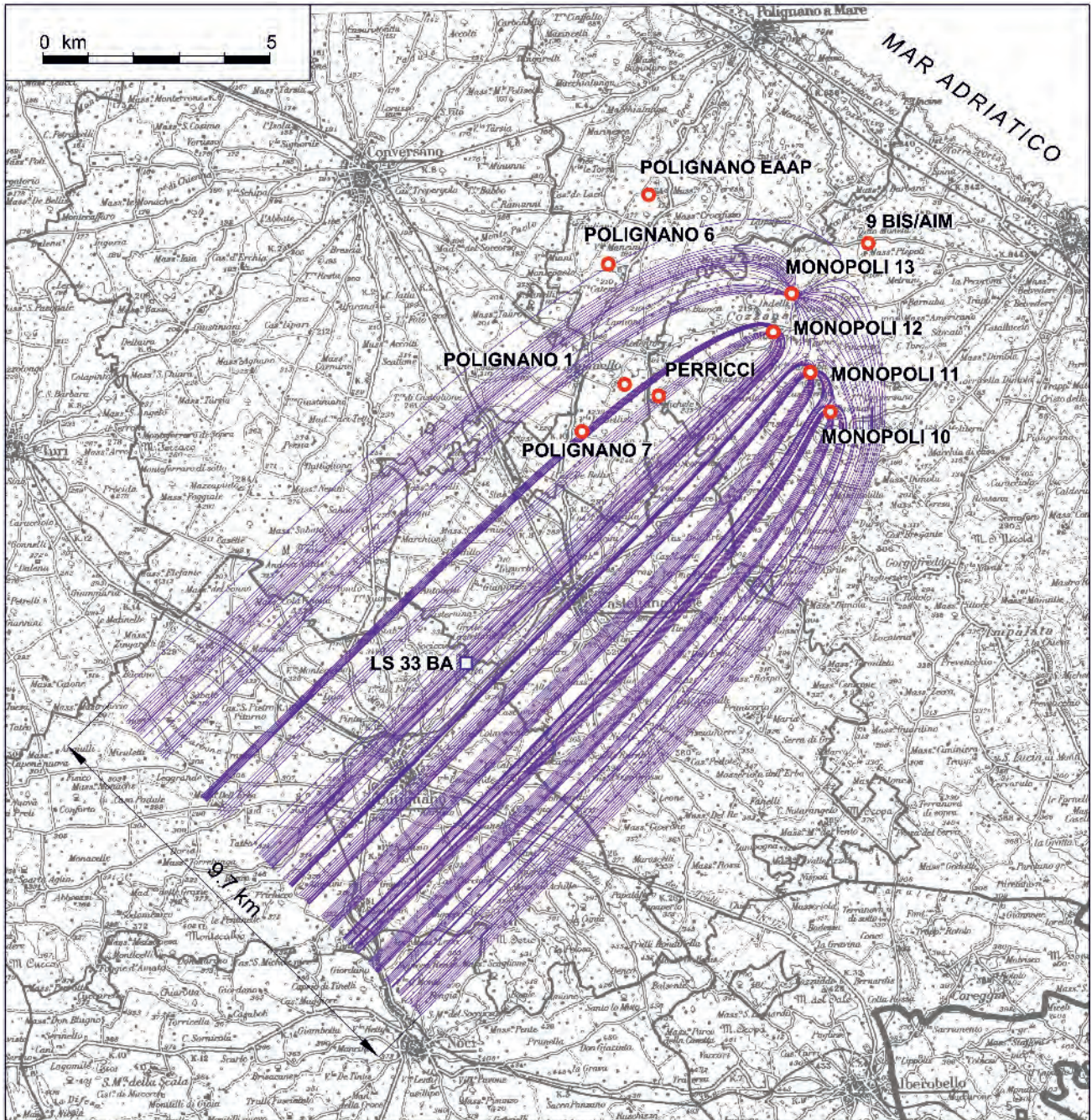


Fig. 15.78 - Area di cattura dei pozzi Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 e Monopoli 13, individuata attraverso la tecnica del "backward particle tracking" del codice di calcolo USGS MODPATH.

- Zone of contribution of the wells Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 and Monopoli 13, identified through the "backward particle tracking" technique using the code USGS MODPATH.

determinate a partire dalla conoscenza della posizione di tutti i pozzi, della loro penetrazione in falda e portata di esercizio. In figura 15.81 è riportato, a titolo di esempio, il confronto tra l'isocrona determinata per il pozzo Monopoli 12 in assenza di ulteriori emungimenti con l'isocrona in presenza di emungimento dal pozzo Monopoli 13. È possibile

osservare che l'influenza tra i due pozzi si traduce in una traslazione della zona di rispetto del pozzo Monopoli 12 nella direzione della congiungente con l'ulteriore pozzo in emungimento (Monopoli 13).

Quanto sinteticamente illustrato fa comprendere come non sia possibile stabilire delle regole di carattere generale e che l'interferenza tra pozzi

Tab. 15.30 – *Dimensioni dell'isocrona determinata assumendo un tempo di sicurezza pari a 365 gg. per i pozzi Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 e Monopoli 13.*
– Size of the isochrone lines, as determined by assuming a safety time of 365 days for the wells Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 and Monopoli 13.

| POZZI | LUNGHEZZA ISOCRONA | |
|-------------|-----------------------------|---|
| | Direzione flusso idrico (m) | Direzione perpendicolare al flusso idrico (m) |
| Monopoli 10 | 425 | 420 |
| Monopoli 11 | 460 | 465 |
| Monopoli 12 | 390 | 515 |
| Monopoli 13 | 505 | 590 |

vada invece studiata caso per caso.

In sede di perimetrazione definitiva delle zone di rispetto va quindi adeguatamente studiata sia l'interferenza tra i pozzi potabili sia quella dovuta alla presenza di ulteriori opere di captazione nell'area di interesse. La zona di rispetto andrà in tal caso definita come involucro delle isocrone determinate a partire dalla combinazione di tutti i possibili schemi di pompaggio. Si comprende quindi la necessità di pervenire al più presto ad un vero censimento delle opere di captazione esistenti sul territorio, che risulta di fatto propedeutico alle attività di perimetrazione delle zone di rispetto.

15.14.4. - *Inquinamento salino dei pozzi potabili determinato dalla presenza di acqua di mare alla base della falda di acqua dolce*

L'inquinamento salino delle acque sotterranee estratte ai fini potabili, determinato dall'acqua di mare di intrusione continentale, presenta un carattere regionale, così come si avrà modo di illustrare nel capitolo 20. Non è quindi sufficiente adottare strumenti di salvaguardia dall'inquinamento prove-

niente dalla superficie, bensì è necessario anche che i pozzi potabili siano progettati e gestiti tenendo conto delle condizioni di equilibrio esistenti tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare.

Nel caso del distretto estrattivo di Monopoli-Polignano a Mare è stato osservato un chiaro peggioramento nel tempo delle caratteristiche chimiche delle acque sotterranee estratte ai fini potabili, caratterizzato da un incremento dello ione cloruro (fig. 15.82). L'inquinamento salino è molto spesso tale da determinare la variazione di *facies* chimica delle acque sotterranee estratte, che passa da bicarbonato - calcica a cloruro - alcalina (fig. 15.83). Anche se le acque sotterranee estratte presentano ancora caratteri chimici tali da doverle considerare potabili, i processi evidenziati potrebbero evolvere in un decisivo peggioramento, rispetto al quale sarebbero necessari periodi di interruzione di ogni estrazione molto lunghi, per il ripristino di valori accettabili delle caratteristiche chimiche delle acque estratte.

Considerata l'importanza che il problema del degrado qualitativo delle acque sotterranee ad opera dell'intrusione marina presenta nella gestione dei pozzi potabili, si è ritenuto di completare l'analisi sin qui svolta attraverso l'illustrazione di un caso singolare, ma rappresentativo, quale quello del pozzo Monopoli 10. Detto pozzo consentiva, alla fine degli anni '80 del secolo scorso, il prelievo di acque sotterranee con concentrazione di ione cloruro inferiore a 50mg/l. I dati disponibili a partire dal 1995 indicano un notevole e progressivo peggioramento, tanto che l'ultimo campionamento disponibile, della fine degli anni 90, ha fornito una concentrazione di ione cloruro pari a circa 600 mg/l, ossia 12 volte superiore a quanto riscontrato 10 anni prima (fig. 15.82), ed una modifica di *facies* chimica, che è passata da bicarbonato - calcica a cloruro alcalina (fig. 15.83). Per il pozzo Monopoli 10 sono state condotte delle simulazioni numeriche finalizzate a valutare la possibilità che l'inquinamento salino osservato possa essere attribuito al *salt-water upconing*. Il calcolo è stato eseguito con il codice di calcolo SUTRA 2D3D.1 (VOSS & PROVOST, 2003), secondo le procedure definite nel capitolo 12, cui si rimanda per approfondimenti.



Fig. 15.79 - Zone di rispetto dei pozzi Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 e Monopoli 13, individuate in corrispondenza di un tempo di sicurezza pari a 365 giorni.

- Protection zones of the wells Monopoli 10, Monopoli 11, Monopoli 12 and Monopoli 13, identified for a safety time of 365 days.

Lo spessore della falda di acqua dolce è stato determinato con l'equazione di Ghyben-Herzberg, supportata dai risultati degli accertamenti idrogeologici eseguiti nei pozzi spia ubicati nell'area, già discussi al paragrafo 15.14.2. In particolare, in mancanza di dati afferenti al pozzo in esame, sono state introdotte le seguenti ipotesi semplificative:

l'interfaccia teorica coincide con l'isoalina cor-

rispondente al 50% della concentrazione salina dell'acqua di mare;

- la variazione di concentrazione salina nell'ambito della zona di transizione è lineare;

- lo spessore della zona di transizione è pari a 20 m, ossia allo spessore entro cui, nel pozzo PS36Ba (figg. 15.73) è stato misurato il massimo gradiente della conducibilità elettrica.

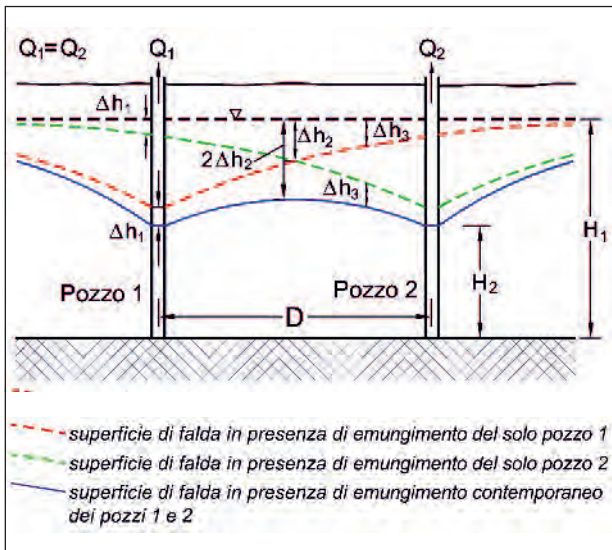


Fig. 15.80 - Applicazione del principio di sovrapposizione degli effetti per il calcolo della depressione idrodinamica indotta da due pozzi in condizioni di emungimento.

- Application of the principle of overlapping effects for computing the dynamic drawdown caused by two pumping wells.

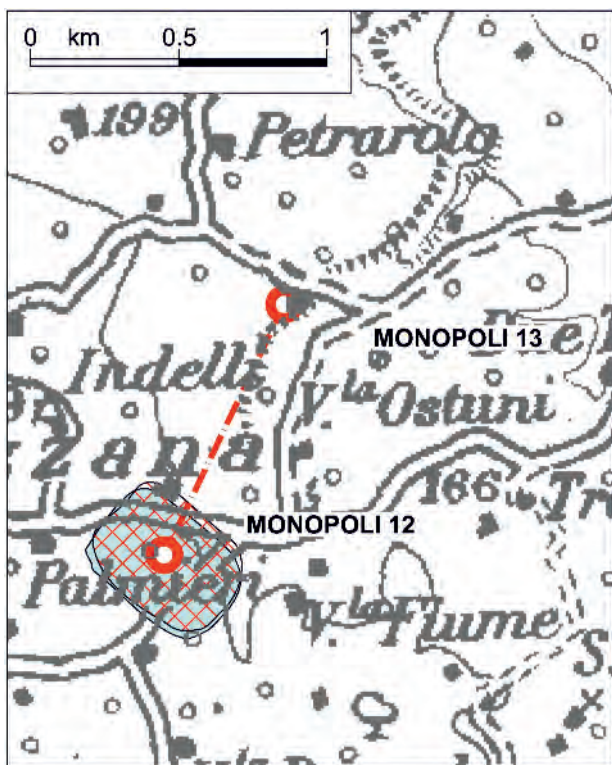


Fig. 15.81 - Zona di rispetto del pozzo Monopoli 12 determinato nelle due ipotesi di emungimento simultaneo dai pozzi Monopoli 12 e Monopoli 13 (colore celeste) e emungimento dal solo pozzo Monopoli 12 (retinato).

- Protection zones of the well Monopoli 12 resulting from the two assumptions of simultaneous pumping from the wells Monopoli 12 and Monopoli 13 (light blue), and pumping from the well Monopoli 12 (half-tone screen).

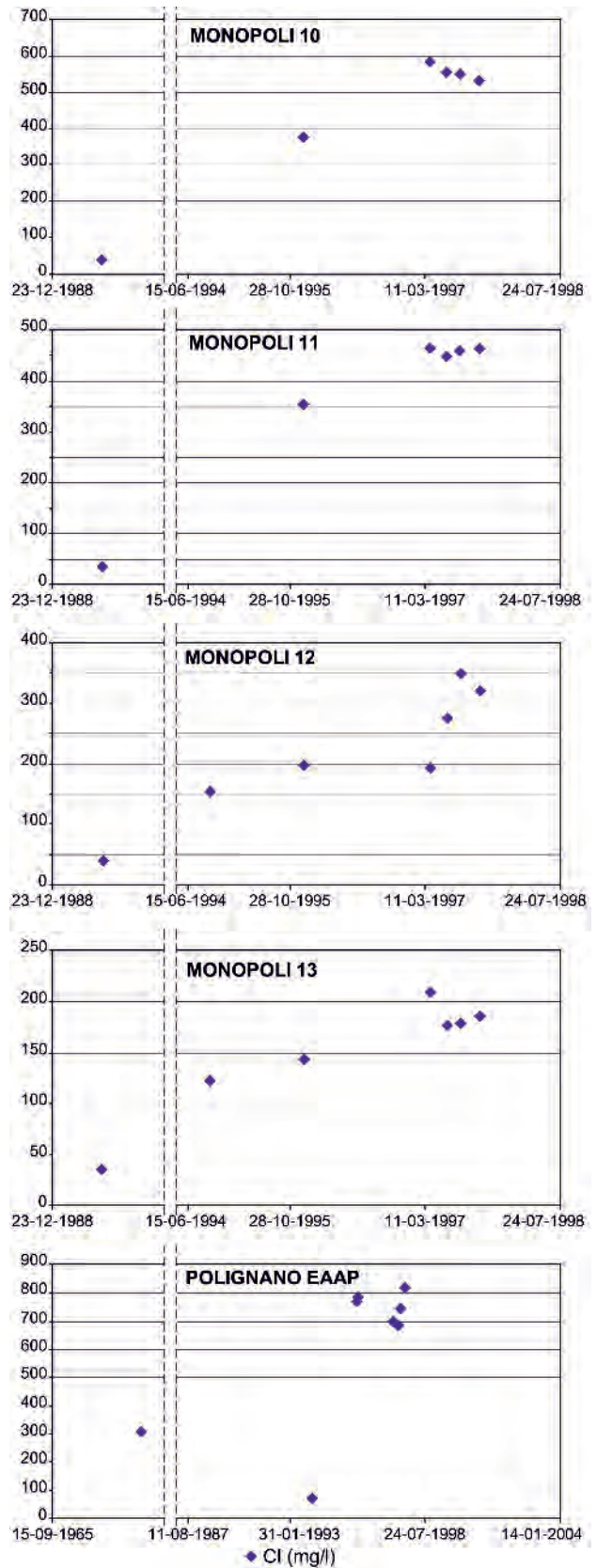


Fig. 15.82 - Andamento nel tempo della concentrazione dello ione cloruro (mg/l) nelle acque estratte da alcuni pozzi potabili dell'area Monopoli - Polignano a Mare.

- Chloride ion concentration pattern in water pumped from wells of the Monopoli - Polignano a Mare area.

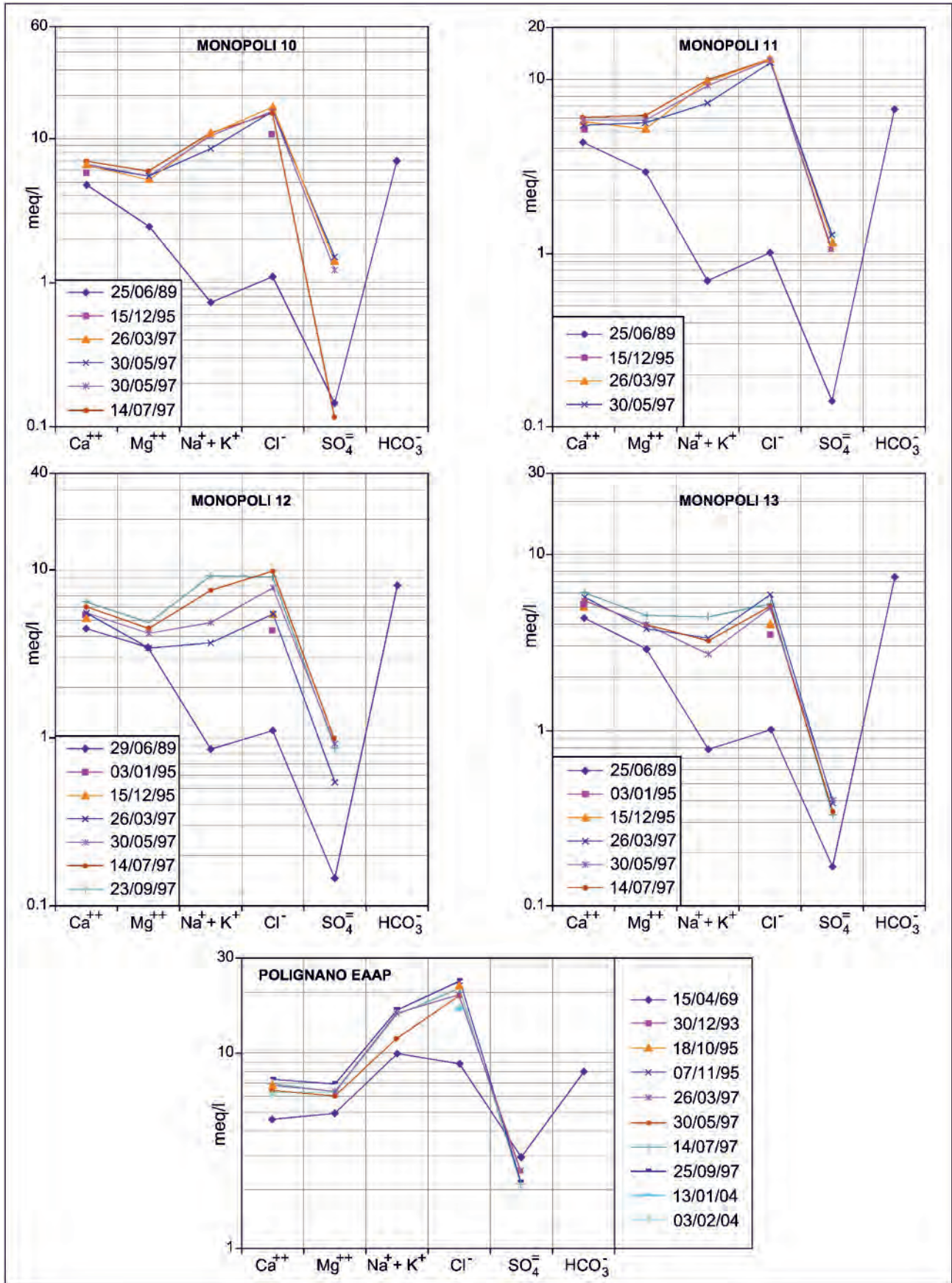


Fig. 15.83 - Diagrammi di Schoeller delle acque sotterranee estratte da alcuni pozzi potabili dell'area Monopoli - Polignano a Mare.
 - Schoeller diagram of groundwater pumped from drinking water wells of the area of Monopoli - Polignano a Mare.



Fig. 15.84 - Schematizzazione geometrica e condizioni iniziali adottata per lo studio del fenomeno del *salt-water upconing* relativamente al pozzo Monopoli 10.

- Geometric sketch and initial condition adopted in the computation for studying the *salt-water upconing* at well Monopoli 10.

Avendo misurato nel 1988 per il pozzo Monopoli 10 una quota piezometrica pari a circa 5,7 m s.l.m., si ha quindi, dall'applicazione della nota equazione di Ghyben – Herzberg, ed assumendo $\gamma = 38$, una profondità dell'interfaccia pari a circa -216 m s.l.m., assunta quindi coincidente con la isoalina corrispondente al 50% della salinità del mare. Il tetto della zona di transizione è stato assunto quindi pari a circa -211,7 m s.l.m. (fig. 15.84). Per la falda di acqua dolce è stata assunta una densità pari a 1.000 g/l, mentre per l'acqua di mare è stata assunta la densità del mar Adriatico, pari a 1029,9 g/l. In mancanza di informazioni circa il rinvenimento della falda nel pozzo, si è assunto che questo coincida con il livello del mare. Il pozzo presenta una profondità pari a 402 m dal piano campagna, con profondità del fondo pozzo disposta a quota -200 m s.l.m.. Esso è rivestito con tubo cieco nel tratto iniziale di lunghezza 352 m e con tubo sfinestrato nel tratto terminale di 50 m. Sulla base delle ipotesi formulate circa la profondità di rinvenimento dell'acqua di mare, il pozzo è dunque caratterizzato da una elevata percentuale di penetrazione in falda, dell'ordine del 90%. La portata di esercizio del pozzo riportata sulle schede dell'Ente AQP è di 5,5 l/s.

Le condizioni al contorno imposte nel calcolo, per la cui puntuale descrizione si rimanda al capitolo 12, sono di seguito riassunte:

- Contorni BC e CD: pressione idrostatica calcolata in funzione della effettiva variazione di densità con la profondità.

- Contorno AD: nella porzione di detto contorno impegnata dal tratto sfinestrato del pozzo è stata imposta la portata di esercizio del pozzo stesso; per la porzione di detto contorno non interessata dal tratto sfinestrato del pozzo è stato assunto un bordo impermeabile, sfruttando quindi la simmetria radiale del problema.

- Contorno AB: bordo impermeabile.

In mancanza di dati si sono assunte delle dispersioni longitudinali e trasversali pari rispettivamente a $\alpha_L = 1$ m e $\alpha_T = 0,5$ m.

Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero è stato calcolato con il codice numerico a partire dalla prova di portata disponibile, secondo una procedura di calibrazione di tipo *trial-and-error*, che ha condotto ad un valore finale pari a $k = 2,15 \cdot 10^{-3}$ cm/s. Detto valore, determinato con il modello di calcolo numerico, è lievemente differente da quello riportato in tabella 15.29, e ciò in quanto quest'ultimo è stato calcolato analiticamente.

Durante l'emungimento, in condizioni stazionarie, il calcolo mostra che l'acqua di mare raggiunge la base del pozzo (fig. 15.85), mescolandosi con l'acqua di falda estratta dalle porzioni superiori del tratto sfinestrato.

Come noto, il *salt-water upconing* è fortemente condizionato dalla permeabilità dell'acquifero, per cui si è ritenuto di eseguire ulteriori simulazioni con coefficienti di permeabilità incrementati. I risultati mostrano che anche incrementando di due ordini di grandezza il coefficiente di permeabilità, si ha l'in-



Fig. 15.85 - Distribuzione della concentrazione salina dell'acqua durante l'emungimento calcolato con il codice di calcolo SUTRA 2D3D.1 per il pozzo Monopoli 10.

- Salt concentration distribution of water during pumping calculated by using SUTRA 2D3D.1 code for well Monopoli 10.

gresso nel pozzo della isoalina corrispondente al 30% della concentrazione salina dell'acqua di mare.

Il modello proposto, anche se inteso solo alla simulazione fenomenologica del processo, indica la necessità di rivedere totalmente la progettazione di detto pozzo, in quanto il degrado qualitativo osservato è sicuramente da imputarsi al *salt-water upconing*. La percentuale di penetrazione adottata, dell'ordine del 90%, non è corretta. La nuova progettazione dovrebbe consentire il prelievo della portata in condizioni di sicurezza, tramite la modifica della penetrazione in falda, da

realizzare attraverso la cementazione di parte del pozzo.

L'altopiano murgiano rappresenta un caso esemplare di rocce carbonatiche presentanti singolarità superficiali e sotterranee, spettacolarmente determinate da fenomeni tettonici, carsismo ed erosione, che questa rassegna fotografica (figg. 15.86÷15.93) evidenzia. I condizionamenti geologici, tettonici, idraulici ed idrogeologici possono infatti dar luogo a forme singolari come le lame e grotte o evidenze su pareti di cava, generanti paesaggi di singolare interesse paesaggistico-ambientale.



Fig. 15.86 - Lama Lamasinata. Fra le lame più significative poiché molto ramificata, scende tra Palo del Colle e Bitetto, attraversando le aree di Modugno, Bitritto e il quartiere San Paolo di Bari. Sfocia presso il molo San Cataldo a San Girolamo. La parte terminale della lama è arginata e fortificata per proteggere la città dagli allagamenti. La foto si riferisce all'alluvione che ha interessato la città di Bari nel 2005.

-Lama Lamasinata. One of the most significant ephemeral stream, it is branched, and extends from Palo del Colle to Bitetto, crossing Modugno, Bitritto and the San Paolo neighbourhood of Bari. It reaches the San Cataldo pier at San Girolamo. Its final portion is channelized and fortified to protect the town from floods. The photo is of the flooding that has affected the city of Bari in 2005.



Fig. 15.87 - Lama Fitta. Aspetti dell'erosione delle calcareniti della lama Fitta che si sviluppa fra Loseto e Ceglie, alla sinistra della lama Picone e sfocia all'incirca in corrispondenza della spiaggia di Pane e Pomodoro. Lungo il suo corso sono stati rinvenuti importanti insediamenti rupestri.
 - *Lama Fitta. Features of erosion in the calcarenites at lama Fitta, developing from Loseto to Ceglie, on the left side of lama Picone, and flowing approximately at the Pane e Pomodoro shore. Along its path, significant rupestrian settlements were found.*

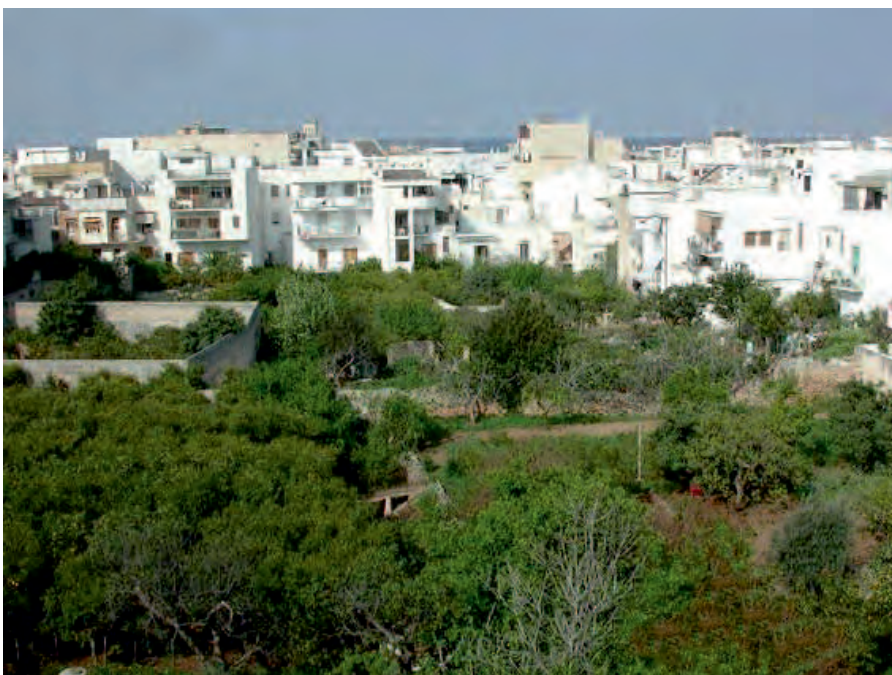


Fig. 15.88 - Lama S. Antonio. Lama pressoché occultata dall'allineamento delle abitazioni recenti che costituiscono l'abitato di Mola di Bari.
 - *Lama S. Antonio. It is almost completely hidden by the line of recently built houses in the town of Mola di Bari.*



Fig. 15.89 - Lama Monachile. Profonda insenatura immediatamente a ovest del centro storico di Polignano a Mare, così denominata perché in passato vi si è attestata la presenza della foca monaca.
- *Lama Monachile. A deep inlet immediately west of the old town of Polignano a Mare, taking its name from the monk seal, once present in this area.*



Fig. 15.90 - Refettorio appartenente alla chiesa rupestre Lamalunga che prende il nome dalla lama in cui si estende. Insediamento ubicato al km 850 lungo la S.S. 16 Fasano - Monopoli.

- Refectory of the rupestrian church Lamalunga, that takes its name from the ephemeral stream where it is located. Settlement at the km 850 along the national road S.S. 16 Fasano - Monopoli.



Fig. 15.91 - Lama d'Antico. È considerato uno dei più estesi villaggi rupestri della Puglia, già abitato dal X secolo. Il fulcro dell'abitato era la chiesa, tra le più grandi della regione, scavata nelle calcareniti nella zona centrale della lama. Gli spalti della lama si presentano forati da una moltitudine di cavità naturali ed artificiali, dalle dimensioni e forme più varie. Le grotte si dispongono su diverse quote, in un sistema di aggregazione spontanea e allo stesso tempo assolutamente organica con il luogo in cui si colloca.

- Lama d'Antico. It is considered one of the widest rupestrian villages of Apulia, inhabited since the 10th century. The church was the heart of the village and it is one of the largest in the region, excavated in calcarenites of the middle zone of the ephemeral stream. The terraces of the ephemeral stream are dotted with a multitude of natural and man-made cavities of varied sizes and shapes. The caves are at different heights, aggregated spontaneously and yet organically harmonized with the site.



Fig. 15.92 - Celle nella cripta di San Marco. Insediamento rupestre di San Marco ubicato a 2 km dal centro abitato di Fasano ubicato nella lama omonima che ha origine a 2 km a Sud di Fasano nelle calcareniti pleistoceniche affioranti marginalmente lungo costa al piede della Murgia.
 – Cells in the crypt of San Marco. Rupestrian settlement of San Marco located 2 km from the town of Fasano, in the ephemeral stream with the same name that originates 2 km south of Fasano in the Pleistocene calcarenites, marginally cropping out along the coast at the Murgia foothills.



Fig. 15.93 - Panoramica di piazzale di cava in agro di Molfetta che evidenzia nella paleosuperficie un addensamento di orme di dinosauri bipedi e quadrupedi.
 – View of the floor of a quarry in the territory of Molfetta showing a number of biped and quadruped dinosaur footprints on the paleosurface.