

#### 14. - AREA IDROGEOLOGICA DEL TAVOLIERE DI FOGGIA

Il Tavoliere di Foggia si sviluppa su una superficie di oltre 4.000 km<sup>2</sup> ed è caratterizzato dalla presenza di grandi centri abitati (Foggia, San Severo, Lucera, Manfredonia e Cerignola), in cui si concentra circa il 50% della popolazione di tutta la provincia di Foggia. La storia di questa provincia è quella di un'area prevalentemente agricola, che già dal periodo romano costituiva uno dei principali serbatoi cui attingeva la Capitale (CALDARA & PENNETTA, 1993a). Le ripetute invasioni subite e le guerre combattute nel Tavoliere indussero ad un lento e costante degrado che, anche per cause naturali, portarono ad uno stato di abbandono questa fertile terra.

Il Tavoliere è caratterizzato dalla presenza di numerosi corsi d'acqua, a regime prevalentemente torrentizio, per cui da sempre affetto dalla necessità di proteggersi dalle piene fluviali.

Già alla fine dell'800, per conto del Ministero dell'Agricoltura, furono avviate le prime esperienze volte alla ricerca delle acque sotterranee nel Tavoliere, alle quali si intendeva dare un ruolo di primo piano nel quadro della trasformazione fondiaria e del progresso dell'agricoltura dauna (COLACICCO, 1933, 1951, 1953), probabilmente sopravvalutando le effettive potenzialità idriche degli acquiferi di quest'area.

La richiesta idrica per scopi irrigui nel Tavoliere di Foggia è stimabile in circa l'80% della domanda idrica totale ed è cresciuta a dismisura e senza controllo negli ultimi 40 anni a causa di trasformazioni irrigue non precedute da una pianificazione ragionevole. Si è passati, infatti, da un orientamento colturale non irriguo ad uno fortemente idroesigente, con l'introduzione, senza programmazione adeguata, di colture quali ortaggi, asparagi, uva da tavola, ecc.

Le particolari condizioni geologico - strutturali che caratterizzano il Tavoliere di Foggia (tavv. 1 e 2 f.t. allegate al volume) hanno determinato la formazione di una triplice circolazione idrica sotterranea, in acquiferi di caratteristiche idrogeologiche profondamente differenti e di differenti potenzialità di sfruttamento.

Procedendo dal basso, è possibile rinvenire la falda carsica, a notevoli profondità, nell'ambito

delle rocce calcareo - dolomitiche del Mesozoico, presenti in questa area sotto i più recenti terreni plio - pleistocenici e quaternari (COTECCHIA, 1956; MAGGIORE *et alii*, 1996, 2004). La circolazione idrica profonda del Tavoliere, ove esistente, è ovunque in pressione e, data la notevole profondità di rinvenimento del tetto della formazione carbonatica, ospita quasi sempre acqua salmastra o di contenuto salino non trascurabile. Dati i suoi caratteri quali-quantitativi, questa risorsa non ha grande significato nell'ottica della pianificazione idrica di quest'area, potendo rispondere solo a esigue domande idriche di carattere locale.

Nell'ambito della formazione argillosa plio-pleistocenica che sovrasta i calcari cretacei, sono presenti strati sabbiosi, in genere denominati acquifero intermedio, entro cui si esplica una modesta circolazione idrica sotterranea in pressione, le cui condizioni di rinnovabilità sono modeste ed attualmente non completamente note (COTECCHIA *et alii*, 1995; MAGGIORE *et alii*, 1996, 2004).

Grande importanza ha invece assunto in passato la falda superficiale che circola nei depositi alluvionali quaternari che sovrastano, dall'Appennino al mare, i terreni plio-pleistocenici in tutto il territorio della Capitanata, stante la facilità di reperimento connessa alla modesta soggiacenza delle acque, che presentano ottime caratteristiche chimico-fisiche. L'acquifero superficiale del Tavoliere presenta caratteristiche idrogeologiche profondamente differenti rispetto alle altre aree idrogeologiche regionali (Gargano, Murgia e Salento). Queste ultime sono, infatti, caratterizzate dall'estesa presenza di acquiferi carbonatici, altamente permeabili per fratturazione e carsismo, e fortemente esposti al fenomeno dell'intrusione marina, tanto che il controllo delle condizioni di equilibrio esistenti tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare rappresenta lo strumento primario per la gestione dell'uso delle falde di acqua dolce in queste aree. L'acquifero superficiale del Tavoliere è invece solo in modesta parte esposto al fenomeno dell'intrusione marina, dato che gran parte di esso presenta livello di base a quota superiore a quella del livello mare. Esso è inoltre caratterizzato da una permeabilità per porosità variabile da strato a strato, strettamente legata alla natura del materasso acquifero.

La falda superficiale del Tavoliere è stata oggetto di attenti studi ed indagini già a partire dalla fine dell'800, tanto che, negli anni '50 del secolo scorso, era già disponibile una completa caratterizzazione geologica ed idrogeologica del materasso acquifero alluvionale quaternario (COTECCHIA, 1956; COTECCHIA *et alii*, 1958), che sarebbe dovuta essere di base per la sua corretta utilizzazione. La sempre crescente richiesta d'acqua e l'assenza di pianificazione idrica adeguata ha invece comportato il moltiplicarsi delle opere di captazione di tale falda superficiale, determinandone il sovrasfruttamento che questo capitolo documenta.

Di seguito, dopo aver introdotto gli aspetti geolitologici e morfologici fondamentali del Tavoliere di Foggia, saranno illustrati gli aspetti tettonici che caratterizzano il perimetro di quest'area, in corrispondenza del promontorio del Gargano e dell'altopiano murgiano. Per dette zone si illustreranno i pochi e discontinui dati idrogeologici circa la circolazione idrica sotterranea carsica. Si passerà quindi alla descrizione dei caratteri idrogeologici e idrogeochimici del materasso acquifero soprastante ai terreni argillosi pliocenico-calabrianici della Capitanata. Per detto acquifero si dispone di una grande mole di dati geologico-stratigrafici ed idrogeologici, derivanti dalle migliaia di perforazioni ivi eseguite a vario titolo. La descrizione dei caratteri idrogeologici della falda superficiale non si baserà, tuttavia, sulla elencazione dei dati disponibili, bensì se ne fornirà una sintesi ragionata, facendo riferimento alle fonti bibliografiche (COTECCHIA, 1956; 1959 COTECCHIA *et alii*, 1958).

Si passerà quindi all'analisi delle condizioni di uso di detta falda, che hanno determinato la progressiva e preoccupante riduzione delle altezze piezometriche, e all'indicazione di possibili azioni da intraprendere al fine di mitigare il depauperamento.

Infine saranno forniti alcuni elementi di base per la caratterizzazione idrogeologica del cosiddetto acquifero intermedio.

#### 14.1. - CARATTERI GEO-LITOLOGICI E MORFOLOGICI

Il Tavoliere di Foggia (fig. 14.1) è delimitato a Sud-Est dal basso tronco del fiume Ofanto, ad Ovest dall'arco collinare appenninico che da Ascoli

Satriano si spinge sino ad Apricena, a Nord-Est dal F. Candelaro e ad Est dal Mar Adriatico (tav. 1). Se a detta area si somma la propaggine settentrionale pianeggiante, compresa tra la riva destra del fiume Fortore ed il contorno occidentale del Lago di Lesina, si raggiunge un'estensione di oltre 4.000 km<sup>2</sup>, interamente ricoperti da depositi quaternari in prevalenza di *facies* alluvionale. Al di sotto dei depositi quaternari si rinviene il complesso delle Argille Azzurre della potente serie pliocenico-calabrianica, i cui affioramenti, partendo dalla bassa valle del Fortore, si protendono verso Sud, in una fascia che raggiunge il corso medio e inferiore del F. Ofanto.

Il Tavoliere di Foggia costituisce il naturale proseguimento verso Nord della cosiddetta "Fossa Bradanica", fino a congiungersi, in corrispondenza del F. Fortore, con la "Fossa Padano-Appenninica".

##### 14.1.1. - *Litologia dei terreni affioranti*

Dalle quote più elevate sino a circa 200 m s.l.m. è presente un alternarsi monotono di rocce in *facies di flysch*, con un predominio di strati marnosi e calcareo-arenacei, prevalentemente attribuibili al Miocene. Fra queste rocce non mancano argille a scaglie e Argille Varicolori, attribuibili all'Eocene ed all'Oligocene, ed il cui stato è quasi sempre effetto di una energica tettonica di compressione (COTECCHIA, 1955, 1956). Si passa poi al già accennato complesso delle Argille Azzurre che, degradando trasgressivamente dall'Appennino secondo una tettonica tranquilla, si immerge lentamente sotto i terreni quaternari del Tavoliere, con pendenze grossomodo rivolte verso il Gargano e verso la costa. Nell'ambito di questo complesso, estesi sedimenti argilloso-sabbiosi del Calabrianico, con i sedimenti del Pliocene medio-superiore, costituiscono un unico ciclo sedimentario. Questo include una formazione di base, di Argille grigio-azzurre sormontate da sabbie gialle, che continua, senza nessuna discordanza, in una seconda serie di argille sabbiose grigio-azzurre e sabbie (in prevalenza del Calabrianico).

La serie regressiva del Calabrianico si chiude con rocce conglomeratiche, le quali si saldano in molte zone con i depositi ghiaiosi dell'arco alluvionale di monte del Tavoliere, come in particolare nella zona compresa tra i fiumi Ofanto e Carapelle.



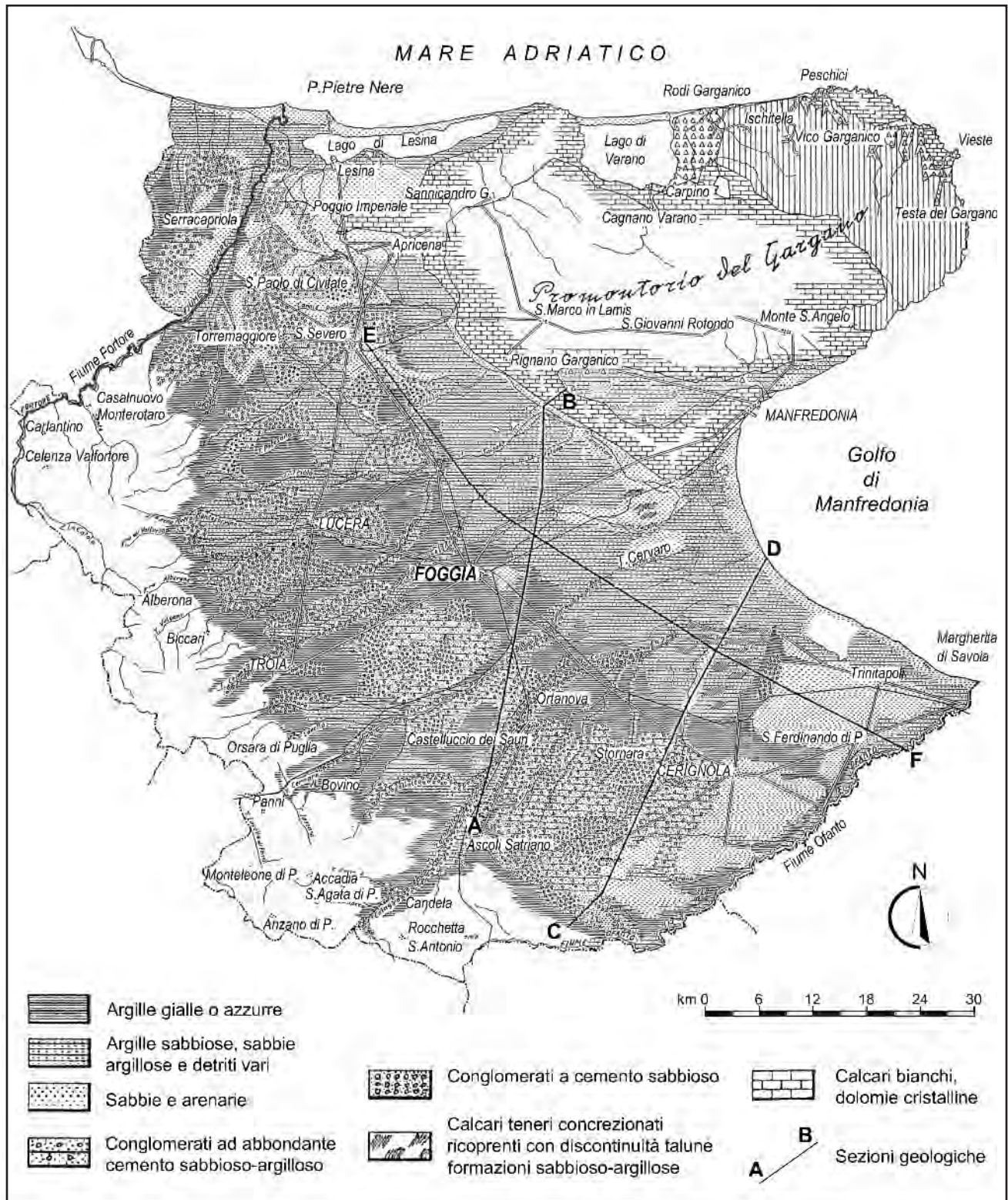


Fig. 14.1 - Tavoliere di Foggia: Litologia e permeabilità dei terreni affioranti (da COTECCHIA, 1956).  
 - Tavoliere of Foggia: Lithology and soil permeability (after COTECCHIA, 1956).

I depositi pianeggianti affioranti del Tavoliere sono costituiti da una complicata combinazione di sedimenti del mare tirenniano e depositi alluvionali

di *facies* continentale, questi ultimi di assetto connesso alla morfologia dei bacini collettori di monte, in parte ad oggi conservata, in parte modificata nel tempo.

#### 14.1.2. - *Stratigrafia*

Ai terreni del Tavoliere sovrastanti le Argille grigio-azzurre è possibile assegnare il seguente profilo schematico (dal basso verso l'altro):

- Argille grigiastre o giallastre e/o argille sabbiose e/o sabbie argillose;
- Sabbie e arenarie;
- Conglomerati superficiali, a cemento sabbioso e/o sabbioso-argilloso;
- Crosta evaporitica discontinua di natura calcarea.

Come si rileva nelle sezioni riportate nelle figure 14.2, 14.3, 14.4, ricostruite sulla base di una molteplicità di dati stratigrafici, i litotipi dianzi elencati si incrociano e si anastomizzano di frequente, come comunemente atteso nei depositi di origine marina e salmastra, misti ad alluvioni deltizie pedemontane.

Le alluvioni del Tavoliere sono spesso ricoperte da calcari concrezionari (denominati crosta), talora con inclusioni di ossidi vari di manganese, che a zone (come si verifica in prossimità della stazione ferroviaria di Cerignola Campagna), assumono anche una potenza di 10 m. Tali coperture sono indicative della fase lagunare durante la quale si è concluso lo sviluppo di gran parte del deposito Sud-orientale del Tavoliere (D'ERASMO, 1934).

Il tetto delle formazioni argillose - argilloso sabbiose pliocenico-calabriere si abbassa sempre di più procedendo verso la costa. Esso, in particolare, raggiunge una profondità di circa 110 m sotto il livello del mare presso Manfredonia (fig. 14.1). Le formazioni alluvionali quaternarie che lo sovrastano seguono grossomodo l'andamento delle argille di base e, a loro volta, sono ricoperte da un banco sempre più potente di argille grigio-giallastre, probabilmente di *facies* lagunare (figg. 14.2, 14.3, 14.4).

Il margine Sud-occidentale della Capitanata è delimitato dalla formazione poco permeabile delle Argille Azzurre (figg. 14.1, 14.3, 14.5), che si approfondiscono verso la costa. Nel complesso queste costituiscono il letto dell'acquifero contenuto nei sovrastanti depositi alluvionali conglomeratici e sabbiosi. Nelle zone vallive le Argille Azzurre, specie laddove risultino incise dagli agenti erosivi, sono ricoperte da stretti e sottili lembi di sedimenti alluvionali recenti, di varia granulometria (ghiaie, sabbie ed argille).

Nella parte alta e media del Tavoliere, la successione stratigrafica dei ricoprimenti quaternari è rappresentata, a cominciare dal piano campagna, da conglomerati sabbioso-ghiaiosi, con diverso grado di cementazione, da sabbie gialle talora arenacee, sempre più argillose all'aumentare della profondità, e, infine, da argille gialle ed Argille Azzurre.

Al margine della zona mediana aumenta sempre più la potenza del mantello di argilla gialla superficiale, mentre le formazioni clastiche di base vanno suddividendosi in diversi orizzonti per la presenza di lenti o di veri e propri strati argillosi. Verso la costa e lungo i bordi occidentali del Gargano, l'argilla gialla si fa ancora più spessa e le formazioni clastiche sottostanti risultano prevalentemente rappresentate dagli elementi più minuti derivanti dal disfacimento dei terrazzi quaternari di monte (sabbie, arenarie e sabbie argillose). In queste zone terminali, sopra le argille gialle superficiali, si estende con continuità una coltre di argille rimaneggiate, generalmente sabbiose, che contengono modeste falde superficiali.

#### 14.1.3. - *Morfologia*

Dal punto di vista morfologico è possibile distinguere l'area a margine dei rilievi (Area di Seracapriola, Troia, Ascoli Satriano e zone limitrofe), sede di modeste sommità pianeggianti di moderata altitudine, l'area dei terrazzi marini (Apricina, San Severo, Villaggio Amendola e Cerignola), ove affiorano terreni in prevalenza di origine marina, e la piana alluvionale antica, corrispondente grossomodo al Basso Tavoliere (fig. 14.1). Quest'ultima è stata sede di forti evoluzioni della linea di costa dal neolitico ad oggi, che hanno determinato l'estendersi delle aree lagunari a Sud di Manfredonia (CALDARA *et alii*, 2002). Durante l'ultima trasgressione post - glaciale il livello mare si è portato alla quota attuale attraverso un sollevamento di 100÷130 m. Circa 20.000 anni fa, infatti, la linea di costa del Golfo di Manfredonia si trovava a circa 60 km al largo. Il successivo sollevamento del livello mare ha favorito la formazione di ampi specchi d'acqua salmastra lungo la fascia costiera del Tavoliere. Nel neolitico, circa 8.000 anni fa, i sedi-



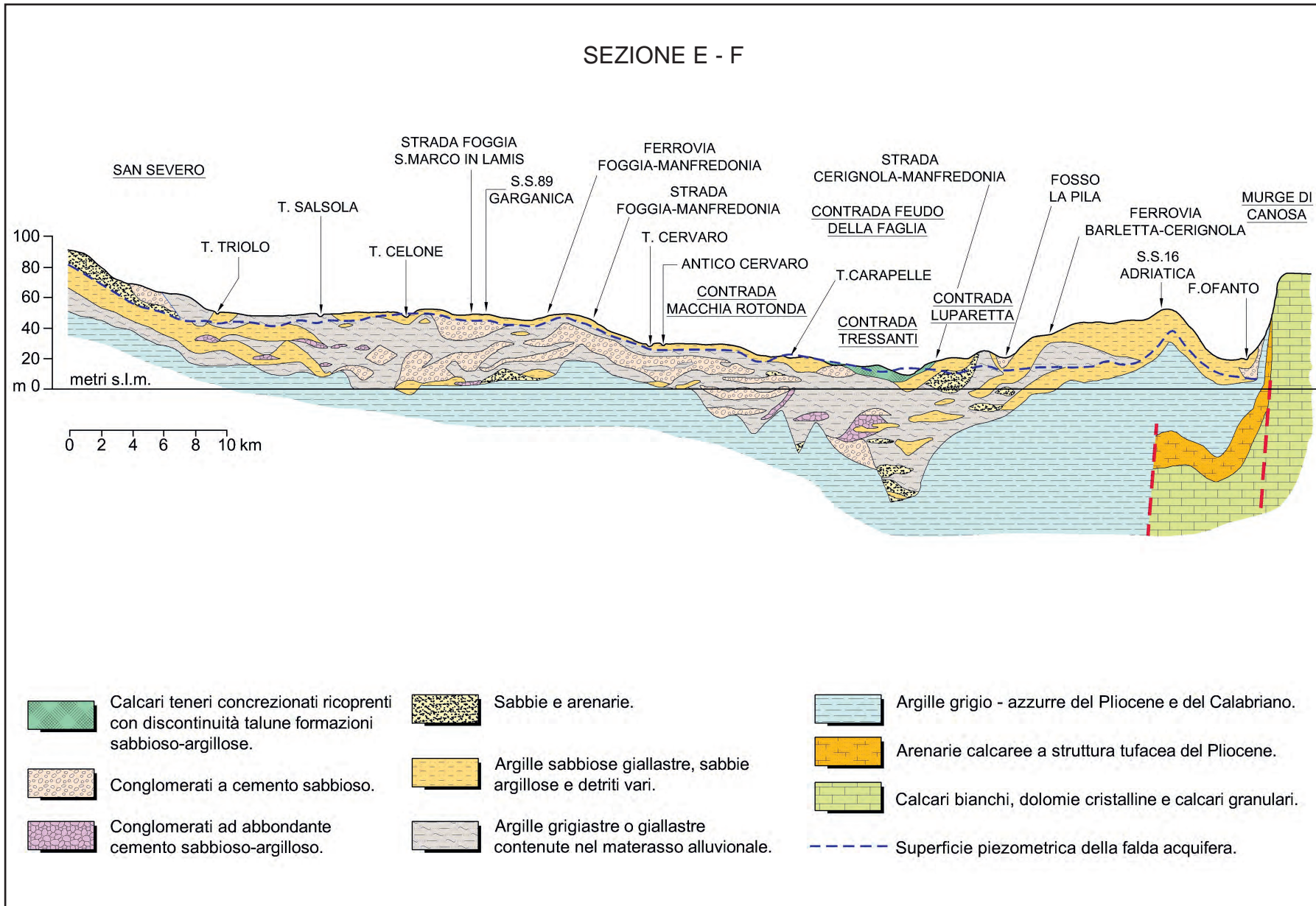


Fig. 14.2 - Sezione stratigrafica ed idrogeologica longitudinale E - F del Tavoliere tra le Murge di Canosa e San Severo, la cui traccia è indicata in figura 14.1 (mod., da COTECCHIA, 1956).  
 - Stratigraphic and hydrogeological section E-F of Tavoliere from Murge of Canosa to San Severo (trace shown in figure 14.1; modified after COTECCHIA, 1956).

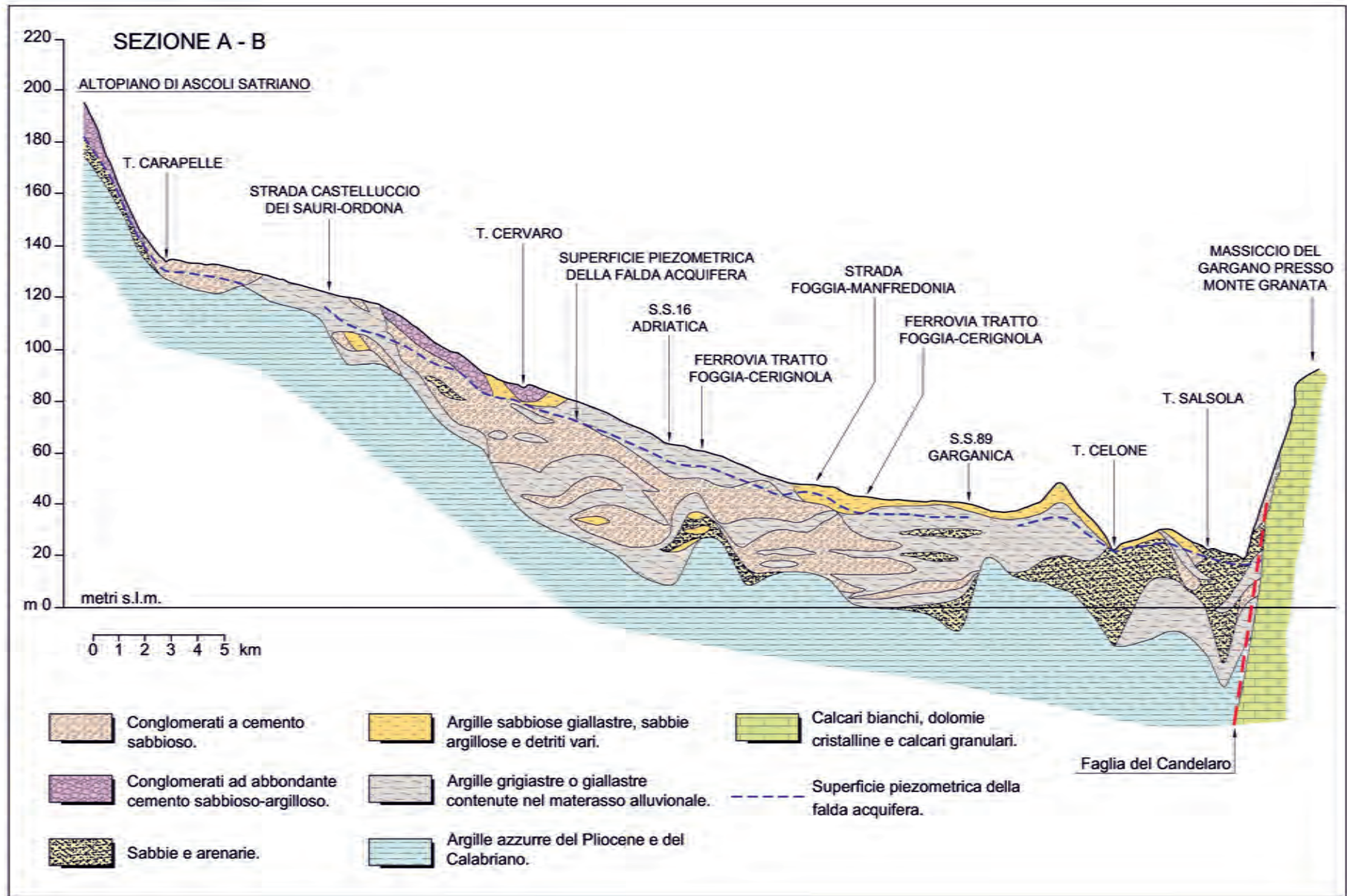


Fig. 14.3 - Sezione stratigrafica ed idrogeologica longitudinale A - B del Tavoliere tra l'altopiano di Ascoli Satriano e il massiccio del Gargano, la cui traccia è indicata in figura 14.1 (mod., da COTECCHIA, 1956).

- Stratigraphic and hydrogeological section A-B of Tavoliere from Ascoli Satriano and the Gargano massif (trace shown in figure 14.1; modified after COTECCHIA, 1956).



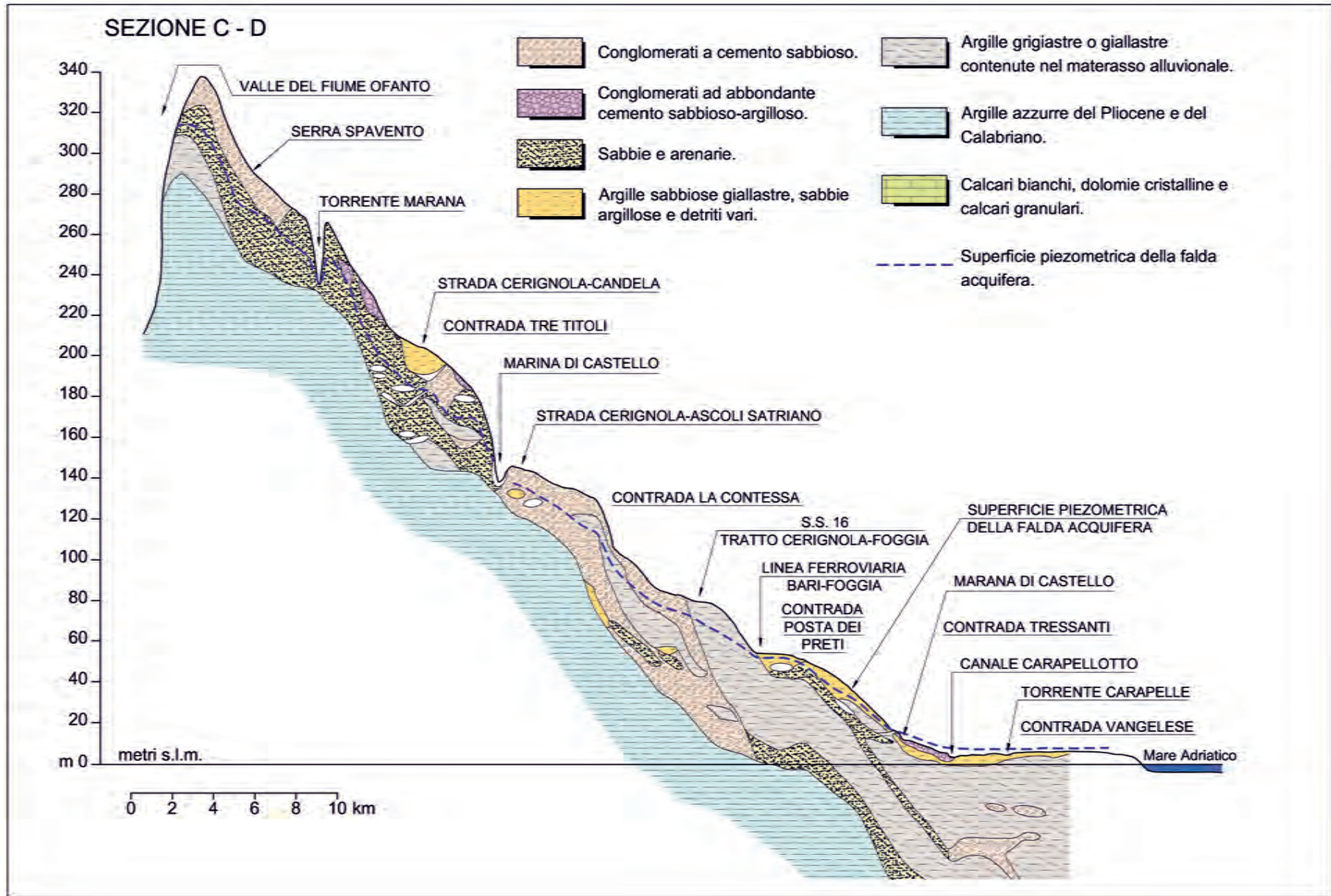


Fig. 14.4 - Sezione stratigrafica ed idrogeologica trasversale C - D del Tavoliere tra la valle del fiume Ofanto e il Golfo di Manfredonia, la cui traccia è indicata in figura 14.1 (mod., da COTECCHIA, 1956).  
 - Stratigraphic and hydrogeological cross-section C-D of Tavoliere from the valley of the Ofanto river to the Gulf of Manfredonia (trace shown in figure 14.1; modified after COTECCHIA, 1956).



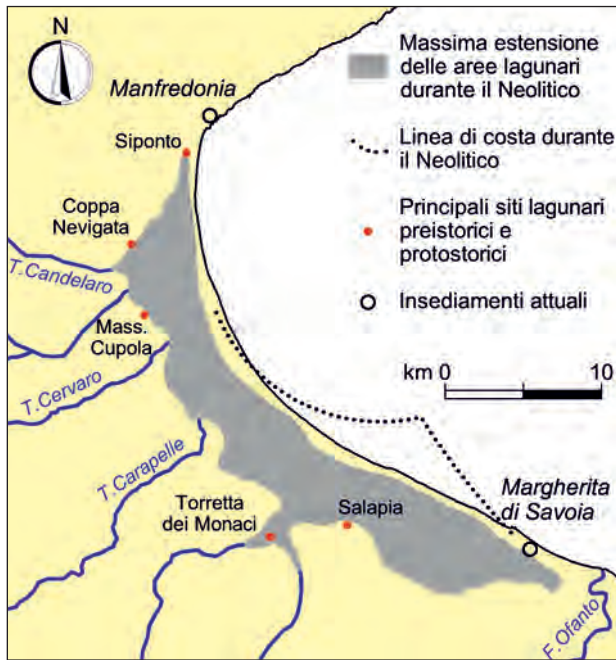


Fig. 14.5 - Aree lagunari sviluppatesi nel Neolitico (mod., da CALDARA *et alii*, 2003).

- Lagoons developed in Neolithic time (modified after CALDARA *et alii*, 2003).

menti rielaborati dal mare hanno costituito un cordone litoraneo che, accresciutosi, ha isolato alla sue spalle un'ampia laguna, denominata lago Salpi (CALDARA & PENNETTA 1993b; CALDARA *et alii*, 2003; AA. VV., 2010). In quel periodo la linea di costa aveva un andamento differente da quello attuale (fig. 14.5): essa si trovava verosimilmente in posizione arretrata nei pressi del Gargano e protesa verso est per alcuni chilometri in prossimità di Zapponeta. Inoltre, durante l'ultimo *optimum* climatico l'area doveva essere densamente abitata, stante l'elevatissimo numero (alcune centinaia) di siti neolitici la cui frequentazione risale a 7.000 anni fa.

#### 14.2. - LINEAMENTI TETTONICI E CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI DELLE ZONE DI CONFINE

Il basamento calcareo - dolomitico del Mesozoico presenta in corrispondenza del Tavoliere di Foggia una struttura a *Horst e Graben* (fig. 14.6), originata da un sistema di faglie appenniniche parallele alla faglia marginale del Gargano ("Faglia del Candelaro"). In senso trasversale a tale direttrice, all'incirca parallelamente al fiume Ofanto, è possibile individuare un ulteriore notevole sprofondamento da faglia (Faglia dell'Ofanto) che contribuisce alla

formazione di un gradino notevole tra le ultime propaggini Nord-occidentali delle Murge ed il basamento mesozoico del Tavoliere. Le argille e sabbie argillose della serie pliocenico-calabrianica che sovrastano i calcari cretacei si presentano sino ad una profondità sotto il piano campagna che raggiunge anche valori dell'ordine di 1.000 m (sezione I-I in tav. 1 f.t.).

Procedendo verso la Fossa bradanica il tetto dei calcari subisce successivi abbassamenti ad opera di un sistema di faglie di direzione appenninica (fig. 14.6), cui si associano abbassamenti dell'ordine dei 3.000÷4.000 m per la presenza di una serie di *horst e graben*.

Particolarmente interessanti sono anche le condizioni geologico-strutturali dell'estremità settentrionale della Faglia di Apricena, che delimita il promontorio del Gargano ad Ovest del lago di Lesina e dove tra le alluvioni recenti emergono, per un breve tratto, alcune rocce magmatiche cui viene dato in genere il nome di "Pietre Nere" (COTECCHIA & CANITANO, 1954). La "Punta delle Pietre Nere" rappresenta una rarità in tutta la costa adriatica per le caratteristiche litologiche, stratigrafiche e petrografiche, essendo costituita da un'associazione di rocce carbonatiche, gessi selenici e rocce ignee di origine molto profonda, ascrivibili al Triassico superiore (CORTECCI *et alii*, 2000).

Di seguito è fornita una illustrazione particolareggiata delle condizioni geologico-strutturali che si presentano lungo il perimetro dell'area del Tavoliere, in particolare in prossimità del promontorio del Gargano (Faglia del Candelaro) e dell'altopiano murgiano (Faglia dell'Ofanto) (fig. 14.6). Si rimanda invece al capitolo 13 l'illustrazione delle condizioni geostrutturali e idrogeologiche presenti in prossimità di Punta delle Pietre Nere.

##### 14.2.1. - La Faglia del Candelaro

L'analisi delle condizioni geostrutturali che caratterizzano il passaggio dall'area idrogeologica del Gargano a quella del Tavoliere ha rivestito grande importanza sin all'inizio del secolo scorso, sia per motivi scientifici, sia per la necessità di conoscere le effettive potenzialità idriche del sottosuolo della Capitanata.



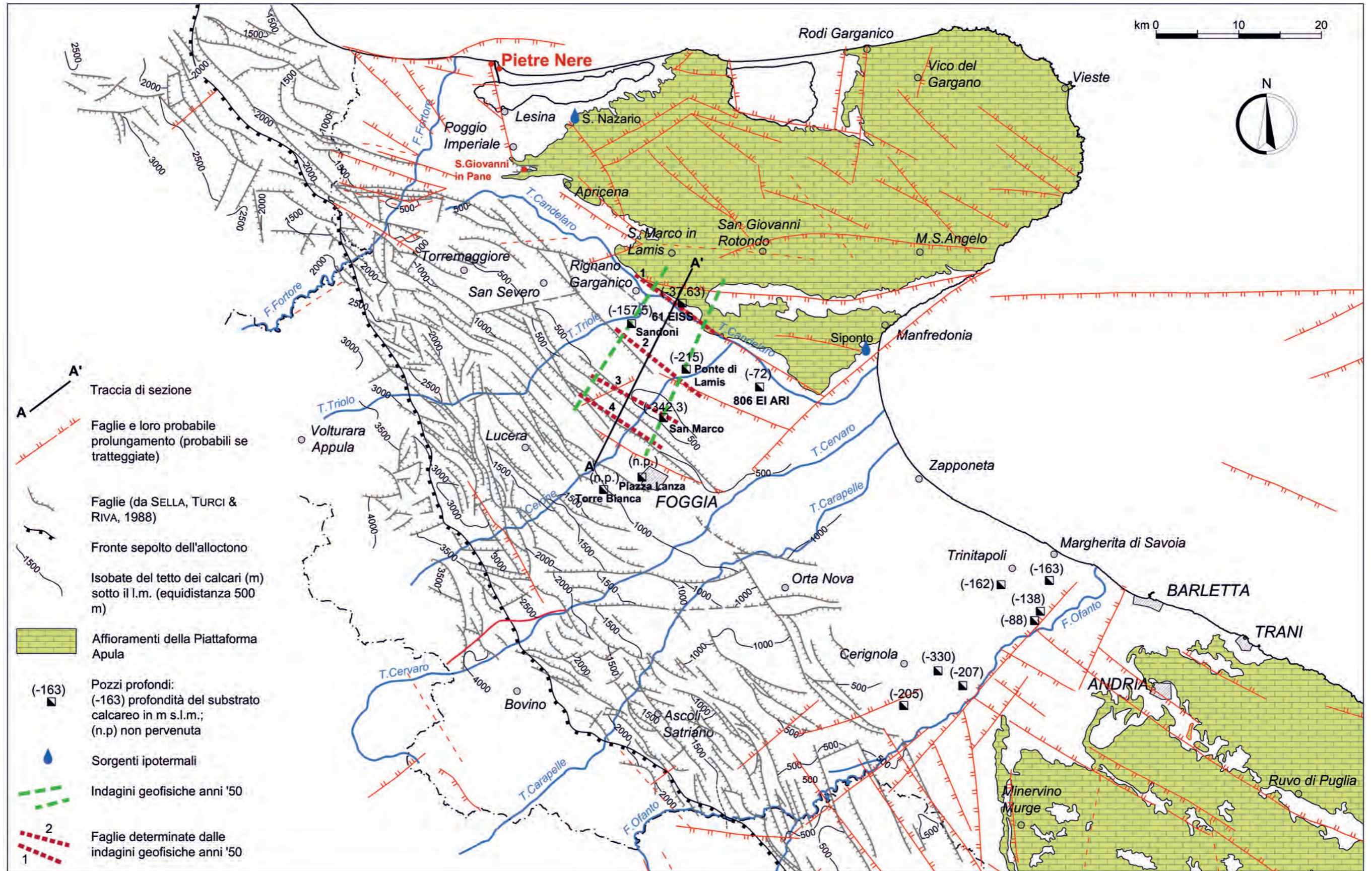


Fig. 14.6 - Lineamenti strutturali del Gargano e del Tavoliere con indicazione dei risultati delle indagini geognostiche e geofisiche condotte nella prima metà del secolo scorso. Indicazione dei pozzi profondi ubicati in destra Ofanto, delle sorgenti ipotermali e della Punta delle Pietre Nere sita lungo il litorale del lago di Lesina.  
- Structural setting of Gargano and Tavoliere with indication of the results from geognostic and geophysical surveys carried out in the first half of the 20<sup>th</sup> century. The wells located on the right bank of the Ofanto river, the hypothermal springs and Punta delle Pietre Nere, located along the coast of Lesina Lake, are also shown.



L'area idrogeologica del Gargano è caratterizzata da una circolazione idrica sotterranea avente parte nelle formazioni calcareo-dolomitiche del Mesozoico, che, in corrispondenza della "Faglia del Candelaro", si immergono sotto i terreni pliocenico-calabrianici e quaternari del Tavoliere. È stato quindi necessario stabilire lo spessore del complesso delle argille pliocenico-calabrianiche e come questo varia all'aumentare della distanza dalla Faglia del Candelaro, per valutare la possibilità di rinvenire nei calcari cretacei profondi del Tavoliere acque sotterranee con contenuti salini idonei all'uso irriguo.

All'inizio del secolo scorso cominciarono le ricerche di acqua sotterranea a grande profondità (COLACICCO, 1951). Il primo tentativo di attraversare le argille plioceniche nella parte centrale del Tavoliere risale al 1910, con una perforazione eseguita nella città di Foggia, in piazza Lanza (fig. 14.6), commissionata dal Ministero dell'Agricoltura, Industria e Commercio. Detta perforazione fu spinta sino a 225 m dal piano campagna e si arrestò nelle argille del Pliocene. I tentativi proseguirono e nel 1950 fu eseguita, da parte della Stazione Agraria Sperimentale di Bari, una perforazione in località Torre Bianca, sempre presso Foggia, attestata anch'essa sterilmente nelle argille del Pliocene a 764 m dal piano campagna.

La commissione dell'Ente Irrigazione per lo Studio delle Acque Profonde, istituita nella stessa epoca, definì alcune sezioni lungo le quali eseguire dei rilievi geofisici con il metodo geoelettrico, al fine di individuare il tetto dei calcari cretacei. In particolare furono eseguiti, da parte della *Compagnie Générale de Geophysique* di Parigi (CGG), oggi CGGVeritas, due allineamenti grossomodo normali alla faglia del Candelaro (COLACICCO, 1953; fig. 14.6). Le indagini, eseguite tra il Dicembre 1950 ed il Febbraio 1951, mostrarono che il calcare cretaceo sottostante le argille pliocenico-calabrianiche presenta una struttura ad *horst* e *graben* (COTECCHIA & CANITANO, 1954; IPPOLITO, 1954). Come dianzi accennato, tale struttura è determinata da un sistema di faglie appenniniche parallele alla Faglia del Candelaro. Lo sprofondamento del tetto dei calcari connesso a tale faglia comporta la immersione sino a profondità tra i 250 ed i 400 m. Procedendo verso Sud-Ovest, le faglie 2 e 3 indicate in figura 14.7 come 2 e 3 determinano poi un *graben* per sprofondamento

del tetto dei calcari a profondità di 500÷600 m. Le faglie 3 e 4 definiscono poi un *horst*, con risalita del tetto dei calcari sino a profondità inferiori a 500 m. Oltre tale *horst* la faglia 4 determina l'ulteriore sprofondamento della formazione carbonatica a circa 900 m dal piano campagna, che giustifica il fallimento nell'intercettazione del calcare del Cretaceo durante le perforazioni prima citate.

L'Ente Irrigazione, a seguito delle indagini condotte con il metodo geoelettrico, diede corso nel 1952 a nuove perforazioni. Queste furono eseguite in località Ponte in Lamis, Sandoni, e bivio per San Marco in Lamis (fig. 14.6), e confermarono il risultato delle indagini geofisiche, con un errore inferiore ai 100 m. Dette perforazioni, inoltre, confermarono la presenza di acque salate nei calcari mesozoici, non utilizzabili per qualsiasi uso (COLACICCO, 1953; ZORZI & REINA, 1956).

Tutte le perforazioni eseguite nel Tavoliere in prossimità della Faglia del Candelaro e che hanno intercettato i calcari cretacei in profondità, hanno ivi rinvenuto acque di elevata salinità. Tale condizione è coerente con l'ingressione marina prevedibile a dette profondità secondo la relazione di Ghyben - Herzberg (cap. 2), per la quale l'interfaccia acqua dolce - acqua di mare è prevista ad una profondità sotto il livello mare pari a  $33t$ . Le altezze piezometriche  $t$  nella falda profonda presente nei calcari cretacei del Gargano sono generalmente inferiori a 4÷5 m s.l.m. (tav. 4 f.t.), sicché l'interfaccia dovrebbe rinvenirsi a quote dell'ordine di -132 ÷ -165 m s.l.m. Dove la profondità del tetto della formazione carbonatica è maggiore di tali valori, l'acquifero cretaceo dovrebbe quindi essere totalmente invaso da acqua di mare di intrusione continentale.

I caratteri della circolazione idrica sotterranea in prossimità dell'area della Faglia del Candelaro sono quindi condizionati dal rapporto esistente tra l'altezza piezometrica della falda di acqua dolce e la profondità del tetto dell'acquifero cretaceo. Ne sono conferma i dati rilevati dai pozzi Sandoni, Ponte in Lamis e San Marco (fig. 14.6), che hanno intercettato i calcari cretacei a quote comprese nell'intervallo -157 ÷ -342 m s.l.m., rinvenendo in essi solo acqua di mare. Il pozzo 806 EIARI ubicato in agro di San Giovanni Rotondo



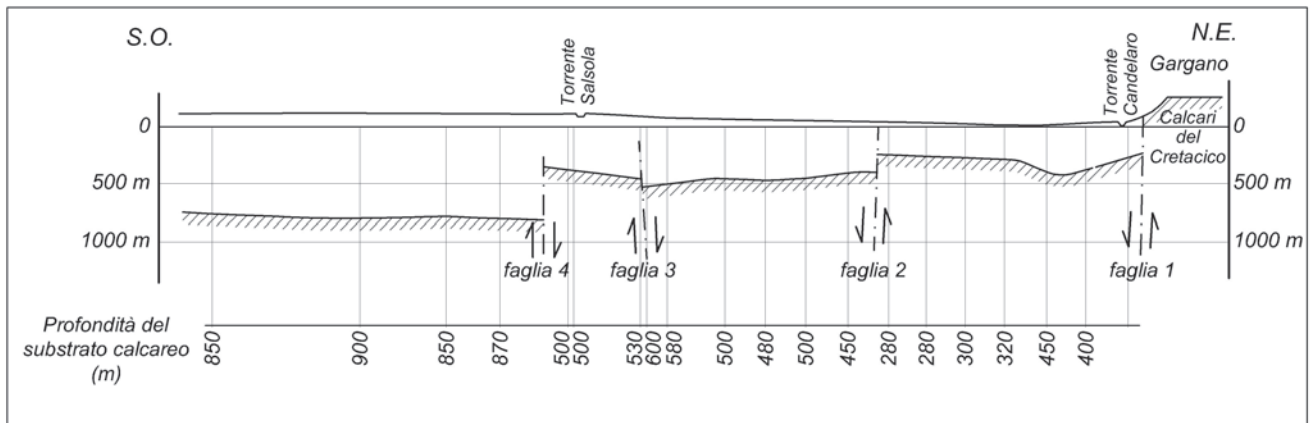


Fig. 14.7 - Sezione strutturale A-A' rappresentante l'andamento del tetto dei calcari cretacei nel Tavoliere accertato dalle indagini geoelettriche degli anni '50, la cui traccia è indicata in figura 14.6 (da COTECCHIA & CANITANO, 1954; IPPOLITO, 1954).

- Structural profile A-A' representing the top of the Cretaceous limestones in the Tavoliere, as verified by geoelectrical surveys in the 1950s (trace shown in figure 14.6; after COTECCHIA & CANITANO, 1954; IPPOLITO, 1954).

(fig. 14.6) ha intercettato i calcari del Cretaceo compatti e privi di acqua a -72 m s.l.m., mentre l'acqua sotterranea, con carico piezometrico pari a circa 5 m s.l.m., è stata rinvenuta a -162 m s.l.m., ossia ad una quota prossima a quella dell'interfaccia teorica. Infatti la concentrazione salina è risultata pari a circa 30 g/l, indice di una significativa salinizzazione delle acque dolci di falda a causa dell'ingressione marina. Nel pozzo 61 EISS, ubicato in agro di Rignano Garganico, i calcari cretacei acquiferi sono stati invece intercettati a quota -37 m s.l.m., sede di una falda con carico piezometrico pari a circa 4,5 m s.l.m. A conferma della profondità dell'interfaccia teorica (-148 m s.l.m.) che in detto pozzo è superiore a quella del tetto dell'acquifero, la concentrazione salina ivi rilevata è stata pari a circa 2,2 g/l, dunque tipica di acque superiori all'interfaccia, per quanto contaminate.

Altro carattere di rilievo per l'area idrogeologica in esame è la temperatura elevata dell'acqua sotterranea contenuta nei calcari cretacei lungo la fascia pedegarganica del Tavoliere che va da Manfredonia al lago di Lesina. Infatti, alcuni pozzi e sorgenti (S. Nazario e Siponto in figura 14.6) ivi presentano valori di temperatura propri di acque ipotermali (20°C÷27°C). Alcuni autori attribuiscono tali valori al mescolamento dell'acqua di falda di origine meteorica con acque sotterranee profonde che risalgono attraverso la struttura a gradinata del substrato carbonatico, cap. 4 (MAGGIORE *et alii*, 2004).

L'interpretazione meriterebbe maggiori approfondimenti circa il locale gradiente geotermico ed i

tempi di residenza della falda profonda, che potrebbero contribuire a meglio definire i caratteri della circolazione idrica profonda nell'area in esame.

La Faglia del Candelaro condiziona anche la circolazione idrica nell'acquifero alluvionale superficiale del Tavoliere sovrastante le argille azzurre. Più avanti, sarà illustrata la morfologia della superficie della falda superficiale del Tavoliere, sede di un flusso diretto verso il lineamento di faglia, che dunque funge da luogo di drenaggio.

Le poche prove di portata eseguite nei pozzi che raggiungono i calcari cretacei in prossimità della Faglia del Candelaro hanno fornito valori del coefficiente di permeabilità compresi nell'intervallo  $10^{-2} \div 10^{-3}$  cm/s, simili a quelli rilevati presso le propaggini estreme Sud-occidentali del Gargano (tav. 3 f.t.).

#### 14.2.2. - La Faglia dell'Ofanto

I calcari cretacei del Tavoliere sprofondano determinando un *graben* allungato in direzione SO-NE in corrispondenza della Faglia dell'Ofanto, che è sede anche di una gradonatura di direzione NO-SE, immergentesi verso l'Appennino. Su tale area furono eseguite indagini geofisiche dalla *Compagnie Générale de Géophysique*, ma i risultati, oggi smarriti, furono troppo scarsi per un sufficiente inquadramento tettonico dell'area (ZORZI & REINA, 1956).

I dati idrogeologici disponibili indicano che in questa area del Tavoliere è possibile rinvenire acque dolci nei calcari cretacei profondi, a diffe-

renza di quanto osservato in corrispondenza della Faglia del Candelaro. Ciò è coerente con le profondità inferiori del tetto dei calcari nelle porzioni costiere di questo territorio e con le notevoli altezze piezometriche della falda profonda dell'acquifero murgiano. A monte di Canosa è infatti possibile rilevare altezze piezometriche dell'ordine di 30 m s.l.m. (tav. 4 f.t.; fig. 14.8), decisamente superiori a quelle che caratterizzano la circolazione idrica nell'acquifero carsico del Gargano in prossimità della Faglia del Candelaro.

Alcune perforazioni eseguite in prossimità della Faglia dell'Ofanto hanno indicato delle profondità di rinvenimento del tetto dei calcari sotto il livello mare dell'ordine dei 100÷150 m, nelle zone costiere in sinistra Ofanto, e dei 150÷300 m nelle zone più interne (figg. 14.8, 14.9). In prossimità di San Ferdinando e Trinitapoli (fig. 14.8) è possibile misurare carichi piezometrici della falda profonda dell'ordine dei 7÷10 m s.l.m., sicchè, in accordo alla relazione di Ghyben-Herzberg, è prevista la presenza di acqua dolce a profondità dell'ordine di 230÷330 m sotto il livello del mare, dunque superiori rispetto alla profondità del tetto dei calcari (ZORZI & REINA, 1956). Procedendo verso il Tavoliere il tetto dei calcari si approfondisce secondo un sistema di *horst e graben*, che però è poco documentato.

Nel passaggio dagli affioramenti carbonatici della Murgia ai calcari sepolti sotto i sedimenti clastici del Tavoliere, non si verificano soluzioni di continuità nella circolazione idrica sotterranea. Le acque aventi sede nelle due strutture della stessa piattaforma, infatti, sembrano appartenere ad un unico ed indifferenziato corpo idrico, la cui connessione idraulica pare non risentire in alcun modo della presenza del sistema di faglie antiappenniniche dell'Ofanto e dei depositi di colmamento (GRASSI *et alii*, 1986), così come indicato dalla regolare configurazione delle isopieziche (fig. 14.8). Queste denotano, inoltre, un'infiltrazione diretta dalla Murgia al Tavoliere, ossia un deflusso proprio dell'acquifero murgiano.

Alcune considerazioni circa gli scambi idrici tra la Murgia ed il Tavoliere possono essere formulate non solo con riferimento alla falda profonda, ma anche alla falda superficiale del Tavoliere, le cui iso-

pieziche sono riportate in figura 14.8 assieme all'andamento delle isobate del tetto della formazione delle Argille grigio-azzurre. In particolare, le isopieziche della falda superficiale ricalcano abbastanza fedelmente l'andamento del substrato impermeabile il quale, di fatto, inibisce la connessione idraulica fra gli affioramenti carbonatici della piattaforma murgiana ed i depositi alluvionali del Tavoliere. Il tetto delle Argille grigio-azzurre in prossimità della Faglia dell'Ofanto è infatti situato a quote maggiori rispetto a quelle ove si svolge la circolazione idrica sotterranea nei due acquiferi, ossia quello superficiale del Tavoliere e quello carsico della Murgia (figg. 14.8 e 14.9).

Dall'analisi delle isopieziche della falda profonda è possibile rilevare l'esistenza di uno spartiacque idrogeologico sotterraneo, che divide il flusso che si sviluppa ad occidente di Canosa e si dirige verso la costa, da quello che invece impegna la porzione più occidentale dell'area, partendo dalla zona a Sud di Cerignola.

Il chimismo delle acque di falda contenute nell'acquifero carsico profondo del Tavoliere in prossimità della Faglia dell'Ofanto è profondamente condizionato dal fenomeno dell'intrusione marina (fig. 14.10). I pozzi più prossimi alla costa (254 CC e 110 EISS), evidenziano contenuti salini dell'ordine di 2÷3 g/l, con netta predominanza degli ioni marini che determinano una *facies* cloruro-sodica. Procedendo verso l'interno del continente la concentrazione salina subisce delle significative riduzioni, sino a raggiungere, nelle porzioni più lontane dalla costa (pozzi 100 EISS e 99 CC), valori dell'ordine di 1÷1,5 g/l. La contaminazione marina è comunque presente anche nelle zone più distanti dalla costa, come indicato dalla notevole presenza degli ioni marini.

### 14.3. - CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA E CONDIZIONI D'USO PREGRESSE E ATTUALI DELLA FALDA IDRICA SUPERFICIALE

#### 14.3.1. - *Inquadramento idrogeologico generale*

Le principali risorse idriche sotterranee del Tavoliere hanno sede principalmente nella falda acquifera che circola nel materasso di materiale clastico grossolano sovrastante la formazione delle

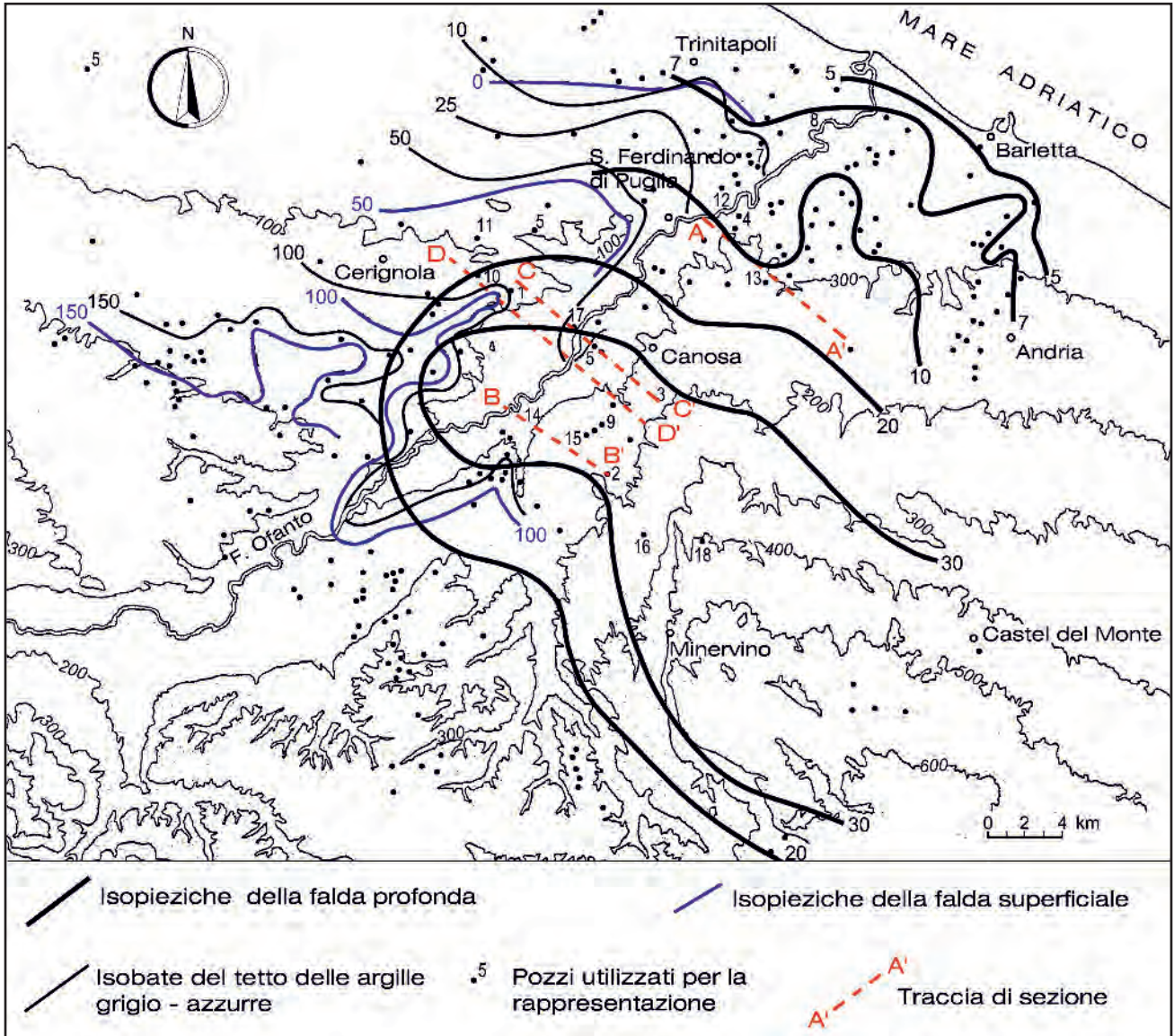


Fig. 14.8 - Andamento della superficie piezometrica della falda carbonatica profonda, della falda superficiale del Tavoliere e delle isobate del tetto delle argille dell'area posta a cavallo tra la Murgia e il Tavoliere.

- Piezometric surface of the deep-aquifer carbonate groundwater, of the shallow-aquifer groundwater of Tavoliere, and of the isobaths at the top of the clays in the area straddling Murgia and Tavoliere.

argille plioceniche e calabriane, le cui caratteristiche idrogeologiche sono fondamentalmente legate alla giacitura, natura e assortimento granulometrico dei materiali che lo formano (COTECCHIA, 1956). Gli studi condotti all'inizio del secolo scorso per la caratterizzazione idrogeologica della falda superficiale, evidenziarono l'esistenza di una falda freatica nell'Alto e Medio Tavoliere, con pelo libero disposto a circa 20÷30 m dal piano campagna. Procedendo verso il Basso Tavoliere, la falda veniva invece rinvenuta in pressione, al di sotto delle formazioni argillose giallastre. In tale zona le

acque di falda rinvenute attraverso i pozzi erano spesso traboccanti al piano campagna, come mostrato dal livello piezometrico segnato nella sezione idrogeologica schematica di figura 14.11. Le acque della falda freatica dell'Alto e Medio Tavoliere procedono quindi verso la costa in pressione, a causa della presenza della coltre argillosa quaternaria. In figura 14.12 è riportato il perimetro che individua le porzioni di acquifero entro cui la circolazione idrica si svolge in pressione, definito sulla base di una mole notevole di dati disponibili da circa 60 anni (COTECCHIA, 1956; 1959). Va segnalata l'im-



portanza di una completa caratterizzazione geologica dell'area al fine di interpretare correttamente i dati disponibili. Non mancano, infatti, situazioni in cui anche nell'Alto e Medio Tavoliere è possibile rinvenire livelli idrici in pressione a causa della presenza di livelli di materiale poco permeabile che localmente determina il confinamento di piccole porzioni di acquifero (fig. 14.13). Vi è inoltre la

possibilità che livelli impermeabili disposti sopra il pelo libero della falda determinino la formazione di modesti corpi idrici sospesi. Il corretto inquadramento geologico dell'area ha comunque consentito di verificare che solo dove il materasso acquifero si va ricoprendo della coltre di argille gialle, le acque di falda procedono effettivamente in pressione con continuità.

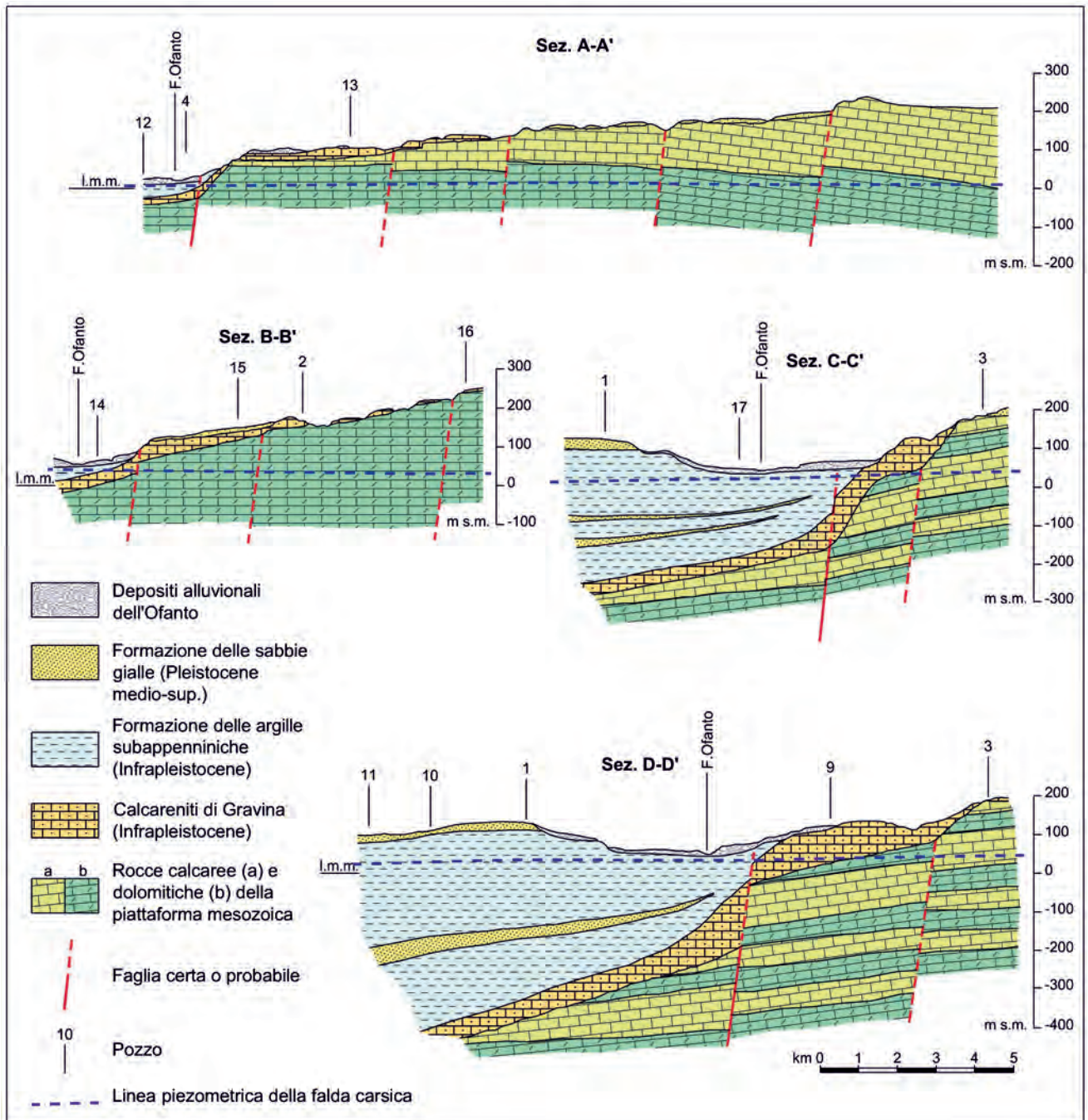


Fig. 14.9 - Sezioni idrogeologiche schematiche dell'area posta a cavallo tra il Tavoliere di Foggia e l'altopiano murghiano, le cui tracce sono indicate in figura 14.8 (da GRASSI *et alii*, 1986).

- Schematic hydrogeological profiles of the area straddling the Tavoliere of Foggia and the Murghia plateau (traces shown in figure 14.8; after GRASSI *et alii*, 1986).

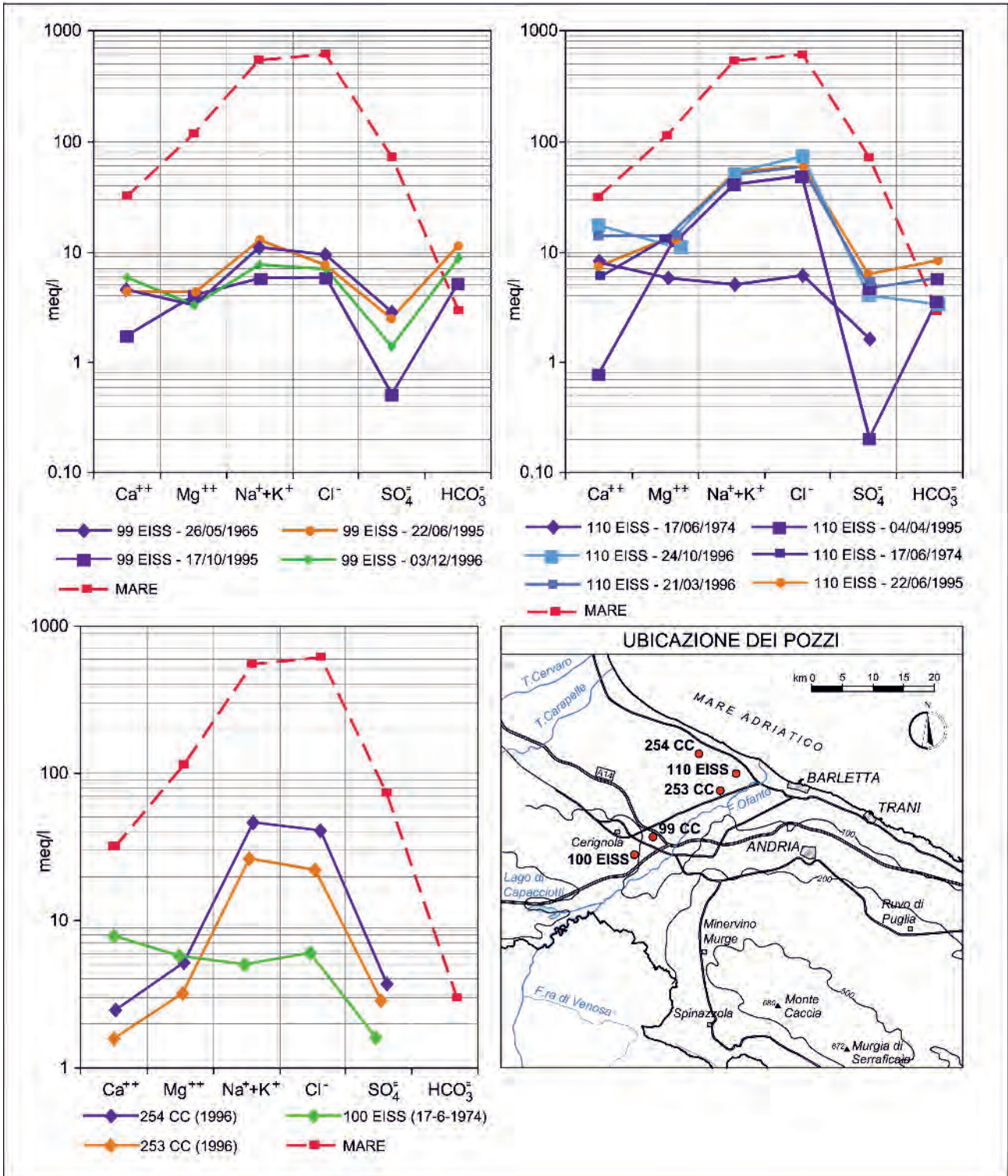


Fig. 14.10 - Diagrammi di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 99 EISS, 110 EISS, 254 CC, 253 CC, 100 EISS con indicazione della data di prelievo. - Chemical analysis of groundwater in the deep karst carbonate aquifer of Tavoliere in the proximity of the Ofanto fault - Schoeller diagram for wells 99 EISS, 110 EISS, 254 CC, 253 CC, 100 EISS, with indication of the date of sampling.

Procedendo verso la costa gli orizzonti acquiferi diventano sempre più profondi (figg. 14.2, 14.3, 14.4). Verso la spiaggia del Golfo di Manfredonia le formazioni acquifere sono spesso invase da

acqua di mare in quanto site a notevoli profondità. La salinità ivi riscontrata non deve essere però confusa con quella che caratterizzata talune zone centrali del Tavoliere, ove il contenuto salino deriva



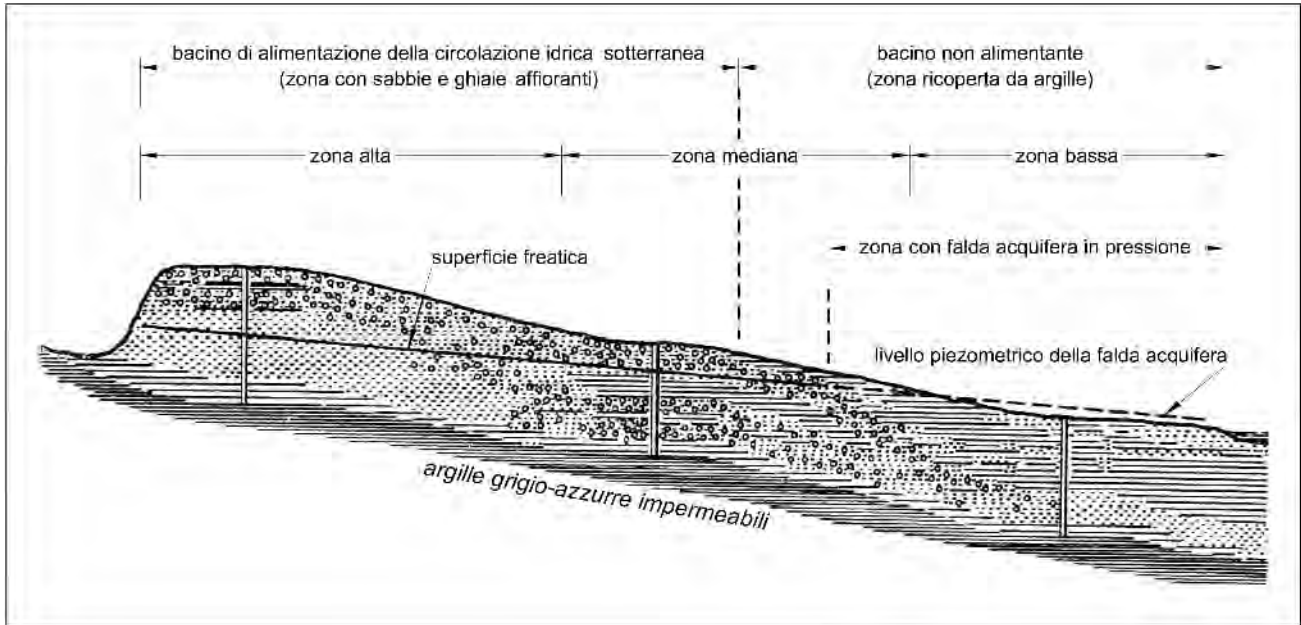


Fig. 14.11 - Sezione idrogeologica schematica del Tavoliere dall'Appennino al Golfo di Manfredonia (da COTECCHIA, 1956).  
 - Schematic hydrogeological profile of Tavoliere, from the Apennine to the Gulf of Manfredonia (after COTECCHIA, 1956).

esclusivamente dalla natura delle argille sabbiose salmastre, di *facies* lagunare, nelle quali ha sede la falda. Sempre nella fascia costiera adriatica del Golfo di Manfredonia, al di sotto dei terreni sede di acque salmastre o addirittura marine, si rinvengono strati acquiferi contenenti acque dolci, in quanto presentanti maggiore carico piezometrico.

Va infine segnalata la presenza di contaminazione marina nella falda superficiale in prossimità della Faglia del Candelaro. Alcuni pozzi dell'area pedegarganica presentano un chimismo che suggerisce l'esistenza di acque marine nella zona di faglia alle quote entro cui è presente il materasso acquifero alluvionale del Tavoliere.

#### 14.3.2. - Estensione, natura, e permeabilità dei terreni affioranti

L'alimentazione della falda superficiale del Tavoliere avviene dove l'acquifero non è ricoperto di materiali argillosi e presenta caratteristiche stratigrafiche tali da poter assorbire le precipitazioni pluviometriche. Ciò avviene nell'Alto Tavoliere dove affiorano terreni sabbioso - ghiaiosi. Le capacità di assorbimento di tali materiali dipendono ovviamente dalla loro costituzione petrografica e dal loro assortimento granulometrico. Quando ce-

mentati, però, essi possono diventare poco permeabili, specie se si tratta di cemento con argilla.

Nelle zone permeabili ma molto acclivi il ruscellamento può prevalere all'assorbimento, come osservato per vari fiumi e torrenti che dall'Appennino sono diretti verso il mare con direzione prevalente OSO-ENE (Triolo, Salsola, Celone, Cervaro, Carapelle ed Ofanto). In particolare, va osservato che il Tavoliere ha una pendenza tale da degradare da Sud-Ovest verso Nord-Est, ossia dalle ultime propaggini dell'Appennino verso il Candelaro e il Golfo di Manfredonia. La pendenza è mediamente pari al 3% e arriva, nelle zone più elevate, al 6÷7%, riducendosi a valori molto bassi in prossimità della costa.

I corsi d'acqua a luoghi contribuiscono all'alimentazione della falda (COTECCHIA, 1956; COLACICCO, 1955). Tratti del Carapelle, tra Ascoli Satriano ed il ponte della ferrovia Foggia-Trinitapoli, del Torrente Cervaro, tra la stazione di Bovino ed il Ponte di Verginale, e tratti del Torrente Celone e del Torrente Vulgano, attraversano terreni permeabili, fornendo così alla falda parte delle loro portate di piena (fig. 14.1). Nessun contributo alla ricarica perviene invece dal F. Ofanto e dal F. Fortore, ambedue di alveo incassato entro formazioni impermeabili. Fa eccezione solo il tronco terminale del



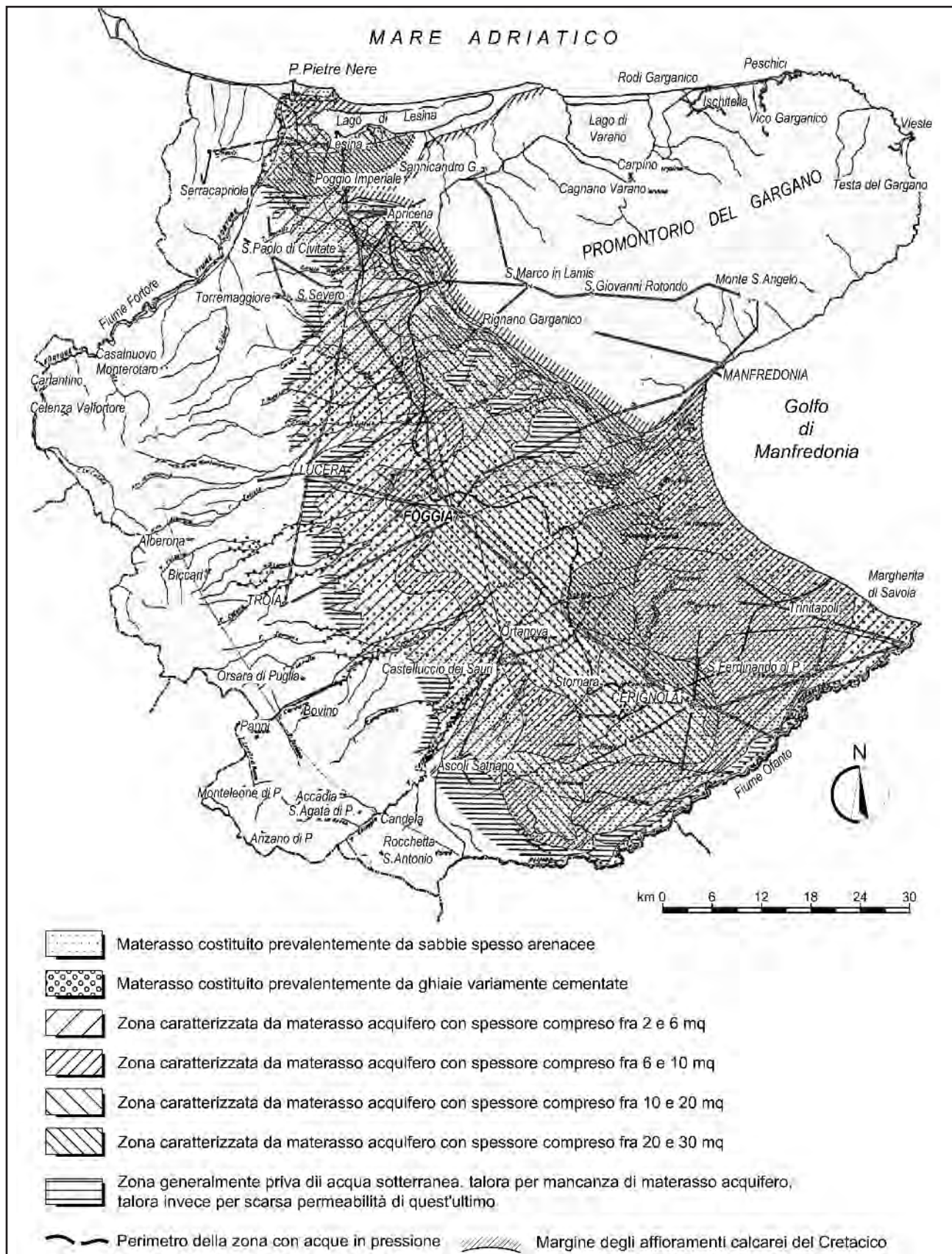


Fig. 14.12 - Tavoliere: rappresentazione della consistenza, natura e giacitura del materasso alluvionale acquifero e indicazione del perimetro che individua l'area entro cui il deflusso sotterraneo si svolge in pressione (da COTECCHIA, 1956).

- Tavoliere: thickness, nature and attitude of the alluvial aquifer and indication of the perimeter of the area where groundwater flows under pressure (after COTECCHIA, 1956).

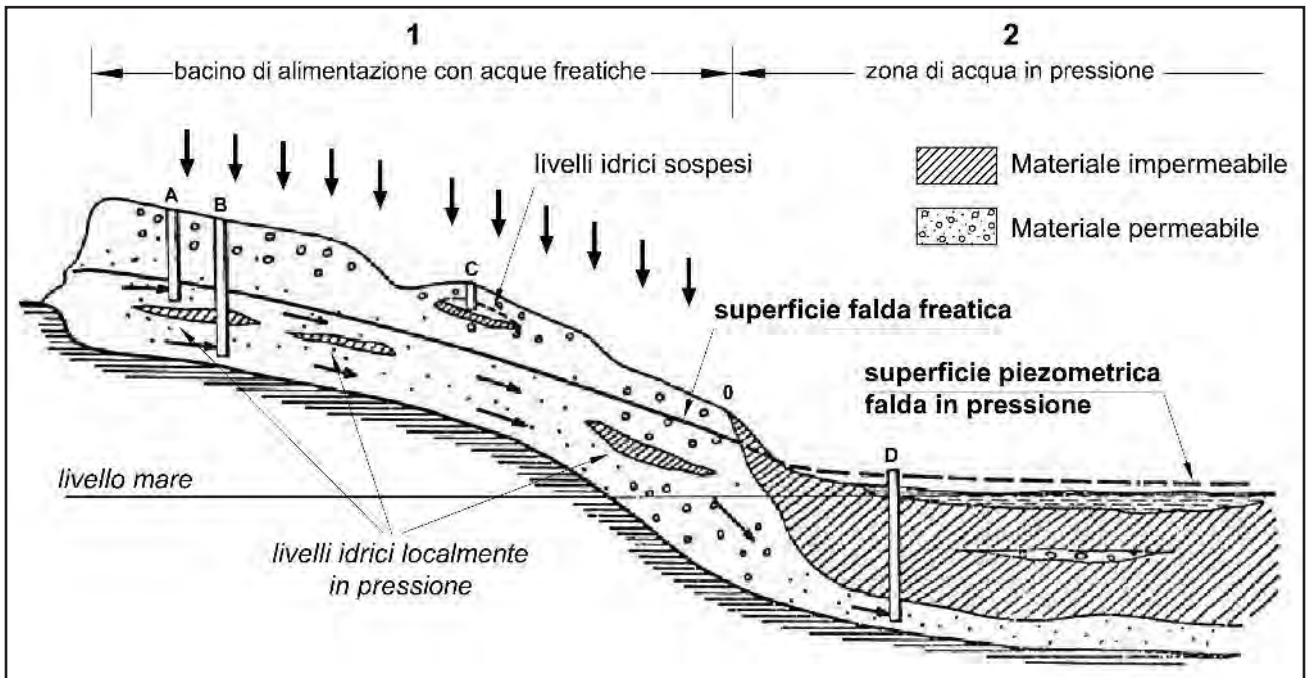


Fig. 14.13 - Sezione idrogeologica schematica del Tavoliere da Ascoli Satriano al Golfo di Manfredonia (da COTECCHIA, 1956).  
- Schematic hydrogeological profile of the Tavoliere from Ascoli Satriano to the Gulf of Manfredonia (after COTECCHIA, 1956).

F. Ofanto ove per una decina di chilometri dalla foce occorrono dispersioni subalvee rilevanti, che alimentano la falda ivi presente.

Nella carta di figura 14.1 sono state indicate con lo stesso simbolo tutte le formazioni argillose impermeabili, dalle Argille Azzurre di base (affioranti nell'Alto Tavoliere), alle argille intercalate ai terreni alluvionali e lagunari più recenti. Le formazioni in *facies fliscioide* del Terziario medio ed inferiore, affioranti a monte delle formazioni plioceniche e calabriane, sono anche da ritenersi poco permeabili e quindi favorevoli al ruscellamento superficiale nei corsi d'acqua.

Sede di infiltrazione e fonte di alimentazione della falda superficiale del Tavoliere sono i conglomerati se a cemento sabbioso, da distinguere rispetto a quelli caratterizzati dalla presenza di minerali argillosi. Nelle zone più elevate i conglomerati fungono da serbatoio per il bacino acquifero sotterraneo. Verso i bordi orientali del Medio Tavoliere, ove la falda si suddivide in più livelli acquiferi, i conglomerati alimentano solo i livelli più superficiali, come succede ad esempio tra Cerignola ed Ordona. Gli affioramenti arenacci, laddove l'erosione ha asportato il mantello conglomeratico superficiale, sono abbastanza permeabili da alimentare direttamente la falda acquifera.

Se gli affioramenti sono composti da argille sabbiose e sabbie argillose, come succede nel Basso Tavoliere, possono costituirsi delle limitate falde superficiali secondarie, in genere salmastre, specie in prossimità della costa (ZORZI & REINA, 1960).

In qualche punto, al di sopra delle argille gialle o delle sabbie, è presente il calcare concrezionario, abbastanza permeabile, che può essere sede di modeste falde acquifere corticali, come succede nella zona di Tressanti-Cerignola.

La figura 14.1 evidenzia che nell'Alto Tavoliere, procedendo da Occidente ad Oriente, si passa dalle sabbie e conglomerati alle argille gialle, che a loro volta si vanno ricoprendo di argille sabbiose e sabbie argillose in tutto il Basso Tavoliere. Dunque, la zona prettamente permeabile ha inizio al piede delle propaggini dell'Appennino e termina con i conglomerati e le sabbie di San Ferdinando e Poggio Imperiale.

In tabella 14.1 si riportano le estensioni dei vari tipi di terreni che si rinvencono immediatamente sotto lo strato di terreno vegetale superficiale nella Capitanata pianeggiante (fig. 14.1), con riferimento in particolare ad una superficie (4.300 km<sup>2</sup>) che va dall'arco occidentale sub-appenninico al Candelaro e alla costa. Ivi si riconoscono circa 1.720 km<sup>2</sup> di



Tab. 14.1 - Estensione dei vari tipi di terreno affiorante in relazione alla loro natura e permeabilità.  
- *Extent of the various outcropping terrains, in relation to their nature and permeability.*

Natura dei TERRENI	Estensione in km <sup>2</sup>	Caratteristiche di permeabilità
Argille grigio-giallastre del Quaternario, argille azzurre del Pliocene e del Calabriano	1000	Prevalentemente impermeabili
Argille sabbiose e sabbie argillose	1580	Poco permeabili (per una buona parte poggianti su terreni impermeabili)
Sabbie e arenarie	750	Abbastanza permeabili
Conglomerati a cemento sabbioso-argilloso	450	Nell'insieme mediamente permeabili
Conglomerati a cemento sabbioso	470	Molto permeabili
Calcari teneri concrezionari	50	Abbastanza permeabili

terreni superficiali assorbenti (sabbie e arenarie, conglomerati a cemento sabbioso-argilloso, conglomerati a cemento sabbioso, calcari teneri concrezionari).

L'area di alimentazione della falda superficiale del Tavoliere può essere suddivisa nelle seguenti zone (fig. 14.14):

- zona A, che alimenta le acque sotterranee dirette a Nord, che raggiungono il Mare Adriatico presso il lago di Lesina. In tale zona sono presenti circa 270 km<sup>2</sup> di terreni permeabili assorbenti;
- zona B, che alimenta le acque sotterranee dirette verso la Faglia del Candelaro. In tale zona sono presenti circa 800 km<sup>2</sup> di terreni permeabili assorbenti;
- zona C, che alimenta le acque sotterranee dirette verso il Golfo di Manfredonia. In tale zona sono presenti circa 650 km<sup>2</sup> di terreni permeabili assorbenti.
- zona D, che non offre contributo significativo alla ricarica della falda superficiale del Basso Tavoliere, in cui la circolazione idrica sotterranea è in pressione.

#### 14.3.3. - *Natura, geometria e permeabilità dell'acquifero*

Le potenzialità idriche della falda superficiale del Tavoliere variano sensibilmente da zona a zona in funzione di fattori sia morfologici sia stratigrafici.

Maggiori volumi di accumulo occorrono lì dove il sottofondo argilloso è sede di impluvi (figg. 14.2,

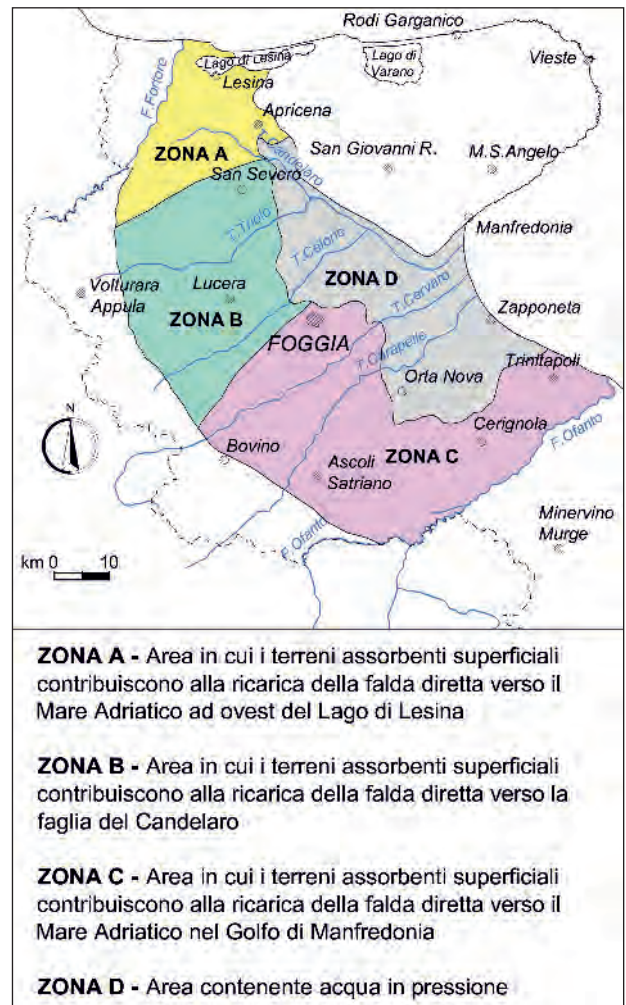


Fig. 14.14 - Planimetria schematica del Tavoliere con indicazione delle aree in cui attraverso le formazioni permeabili affioranti avviene la ricarica della falda superficiale.

- *Schematic map of Tavoliere with indication of the areas where shallow groundwater is recharged through permeable formation outcrops.*



14.3 e 14.4). La capacità di immagazzinamento è poi legata alla natura del materiale, essendo maggiore lì dove è preponderante l'elemento ghiaioso. A valle della ferrovia Barletta-Foggia, nella zona compresa tra i Torrenti Cervaro e Carapelle, si riscontrano conglomerati acquiferi senza nessuna intercalazione di materiale argilloso, nell'ambito dei quali i pozzi attingono notevoli portate specifiche, stante l'elevata permeabilità, dell'ordine di  $10^{-1}$ - $10^{-2}$  cm/s (tav. 3 f.t.), maggiori di quelle in genere riscontrate in altre aree del Tavoliere. Analogamente, valori elevati del coefficiente di permeabilità si presentano in prossimità della foce dell'Ofanto, a Nord di Ascoli Satriano, e nella porzione di acquifero posta a Nord di Foggia e compresa tra gli abitati di Lucera e San Severo. Valori del coefficiente di permeabilità sensibilmente inferiori, dell'ordine di  $10^{-3}$  ÷  $10^{-4}$  cm/s, si riconoscono invece nella porzione di acquifero compresa tra Foggia, Ascoli Satriano e Cerignola e nella zona costiera lungo il Golfo di Manfredonia. L'eterogeneità delle formazioni, comunque, comporta possibili variazioni di permeabilità nell'ambito di qualche centinaio di metri, e ciò è fondamentalmente legato alla circostanza che, soprattutto nel Basso Tavoliere, le formazioni acquifere sono alquanto eterogenee dal punto di vista granulometrico. Dette variazioni del grado di permeabilità dell'acquifero possono inoltre presentarsi anche nell'ambito delle formazioni sabbiose e ghiaiose, quando fortemente cementate.

Le sezioni rappresentate nelle figure 14.2, 14.3 e 14.4 e la planimetria di figura 14.12 illustrano il

variare della stratigrafia dell'acquifero superficiale del Tavoliere. Lo spessore dell'acquifero, indicato in figura 14.12 per tutta l'area di studio, è stato determinato sulla base di numerose stratigrafie (COTECCHIA, 1956). Ove si sono rinvenuti livelli poco permeabili in profondità, si è limitato lo strato acquifero alla sola porzione di permeabilità sufficientemente alta.

Dal punto di vista petrografico si è fatta netta distinzione tra il materasso acquifero di natura prevalentemente sabbiosa o arenacea e quello di natura ghiaiosa o conglomeratica variamente cementata. Come si può osservare dalla figura 14.12, nel versante Sud-orientale della Capitanata le acque di falda sono contenute sostanzialmente in sabbie o arenarie, e sono alimentate dall'alto attraverso la serie stratigrafica costituita da conglomerati a cemento sabbioso ricoprenti le sabbie. Detta situazione è riscontrata anche nella parte Nord-occidentale del Tavoliere, verso San Severo ed Apricena.

Nella parte intermedia del Tavoliere, in particolare nella porzione tra il Torrente Triolo, Foggia e Cerignola, la circolazione idrica sotterranea si esplica fondamentalmente nelle formazioni ghiaioso-sabbiose, che talora derivano dall'erosione di terrazzi di monte, talora sono la continuazione delle formazioni conglomeratiche.

Nella parte bassa del Tavoliere e nelle zone adiacenti ai bordi del Gargano ove l'acquifero è confinato, prevale la sabbia, talvolta interrotta da conglomerati (fig. 14.12).

Sulla base di tutti gli elementi contenuti in figura 14.12, è stata redatta la tabella 14.2, che illu-

Tab. 14.2 - *Valutazione orientativa della consistenza del materasso acquifero alluvionale superficiale del Tavoliere.*  
- Preliminary assessment of the shallow alluvial aquifer thickness of Tavoliere.

Costituzione formazioni acquifere		Spessore del materasso acquifero				
		da 2 a 6 m	da 6 a 10 m	da 10 a 20 m	da 20 a 30 m	Totali
Sabbie e arenarie	Estensione del materasso acquifero (km <sup>2</sup> )	345	576	369	162	1452
	Volume del materasso acquifero (m <sup>3</sup> )	1380x10 <sup>6</sup>	4608x10 <sup>6</sup>	5542x10 <sup>6</sup>	4050x10 <sup>6</sup>	16264x10 <sup>6</sup>
Conglomerati variamente cementati da materiale sabbioso	Estensione del materasso acquifero (km <sup>2</sup> )	516	272	491	171	1450
	Volume del materasso acquifero (m <sup>3</sup> )	2064x10 <sup>6</sup>	2176x10 <sup>6</sup>	7365x10 <sup>6</sup>	4275x10 <sup>6</sup>	16475x10 <sup>6</sup>

stra la stima della consistenza del materasso acquifero del Tavoliere su una estensione areale di 2.900 km<sup>2</sup>. Il volume dell'acquifero ammonta quindi a circa 32.000 Mm<sup>3</sup>, divisi grossomodo a metà tra formazioni acquifere prevalentemente sabbiose e arenacee e formazioni acquifere prevalentemente conglomeratiche a cemento sabbioso. Detto materasso acquifero può così essere suddiviso:

- acquifero superficiale del Tavoliere, contenente le acque di falda dirette verso il Mar Adriatico ad Ovest del lago di Lesina. Esso presenta una estensione pari a circa 200÷300 km<sup>2</sup>, un volume pari a circa 2.000 Mm<sup>3</sup> ed è alimentato attraverso i terreni della zona A di figura 14.14;

- acquifero superficiale del Tavoliere, contenente la falda freatica con flusso diretto verso la faglia del Candelaro ed il Golfo di Manfredonia. Esso presenta una estensione pari a circa 1.900 km<sup>2</sup>, un volume pari a circa 30.000 Mm<sup>3</sup> ed è alimentato attraverso i terreni delle zone B e C di figura 14.14;

- acquifero superficiale del Tavoliere, contenente la falda in pressione con flusso diretto verso la faglia del Candelaro ed il Golfo di Manfredonia. Esso presenta una estensione pari a circa 800 km<sup>2</sup> ed è alimentato dalla falda freatica prima descritta. L'estensione dell'acquifero confinato si riduce a 600 km<sup>2</sup> se si considera solo la porzione disposta a quota inferiore al livello mare, il cui volume è pari a circa 5.000 Mm<sup>3</sup>.

Al fine di determinare il volume di acqua contenuto nell'acquifero superficiale del Tavoliere è necessario conoscere la sua porosità, che risulta molto variabile stante la riconosciuta diversità di struttura e composizione del materasso acquifero. Se a titolo orientativo si assume un valore di porosità efficace pari al 10%, grossomodo pari a quello medio determinato in prove di portata eseguite tra Macchiarotonda e Borgo Mezzanone (COTECCHIA *et alii*, 1958), a Sud-Est della città di Foggia, si ottiene un volume di acqua di falda pari a circa 3.000 Mm<sup>3</sup>, di cui circa 2.500 Mm<sup>3</sup> sono disposti sopra il livello mare e corrispondono dunque ad uno strato di acqua dello spessore medio di circa 1 m su tutta l'area dell'acquifero. Il volume d'acqua disposto sotto il livello del mare è pari a circa 500 Mm<sup>3</sup>.

#### 14.3.4. - *Morfologia della superficie di falda e sua variazione nel tempo*

La tavola 4 (f.t.) allegata al volume illustra la distribuzione delle altezze piezometriche in due periodi storici fondamentali, all'inizio degli anni '50 e attuale; per l'attuale si fa riferimento ai dati piezometrici raccolti nell'ambito del Progetto Tiziano, nel periodo 2007 ÷ 2010. Le linee isopieziche rappresentate in detta tavola si riferiscono alla superficie di falda nell'Alto Tavoliere ove l'acquifero è freatico, e alla superficie piezometrica al tetto della falda nel Basso Tavoliere ove l'acquifero è confinato. Nel seguito si userà l'unica dizione superficie di falda per indicare entrambe le situazioni.

La morfologia della superficie di falda afferente agli anni '50 può considerarsi propria di una falda indisturbata, dati i ridotti emungimenti di quel periodo. Infatti, alla fine degli anni '50 venivano censiti 4285 pozzi (CALDARA & PENNETTA, 1993a) contro i circa 30.000 attuali (par.14.4.6). Le linee isopieziche relative agli anni '50 riportate in tavola 4 (f.t.) indicano che la falda presentava i massimi carichi piezometrici, nell'intervallo 100÷200 m s.l.m., nelle estreme propaggini occidentali, ove la quota del livello di base della circolazione idrica, rappresentata dal tetto della formazione argillosa, è più elevata. Esso infatti presenta in tali zone quote anche superiori a 100 m s.l.m., per poi degradare verso il Golfo di Manfredonia e la faglia del Candelaro, ove si abbassano i carichi piezometrici.

La morfologia della superficie di falda attuale (dati 2007÷2010), appare conseguire ad una notevole riduzione delle altezze piezometriche, dell'ordine delle decine di metri, nell'area compresa tra Manfredonia - Foggia - Cerignola - Trinitapoli ove l'acquifero è in pressione. In alcuni pozzi è stata registrata una riduzione dell'altezza piezometrica sino a 60 m. Riduzioni di altezza piezometrica pari a circa 5 m sono frequenti anche nella parte freatica della falda.

Indagini eseguite nel 1987 e nel 2003 confermano il carattere progressivo del depauperamento (COTECCHIA, 2003). Ad esempio, la distribuzione delle altezze piezometriche del 1987 (fig. 14.15) da evidenza all'esistenza di un territorio a Sud-Ovest di Manfredonia, di area pari a circa 200 km<sup>2</sup>, ove i



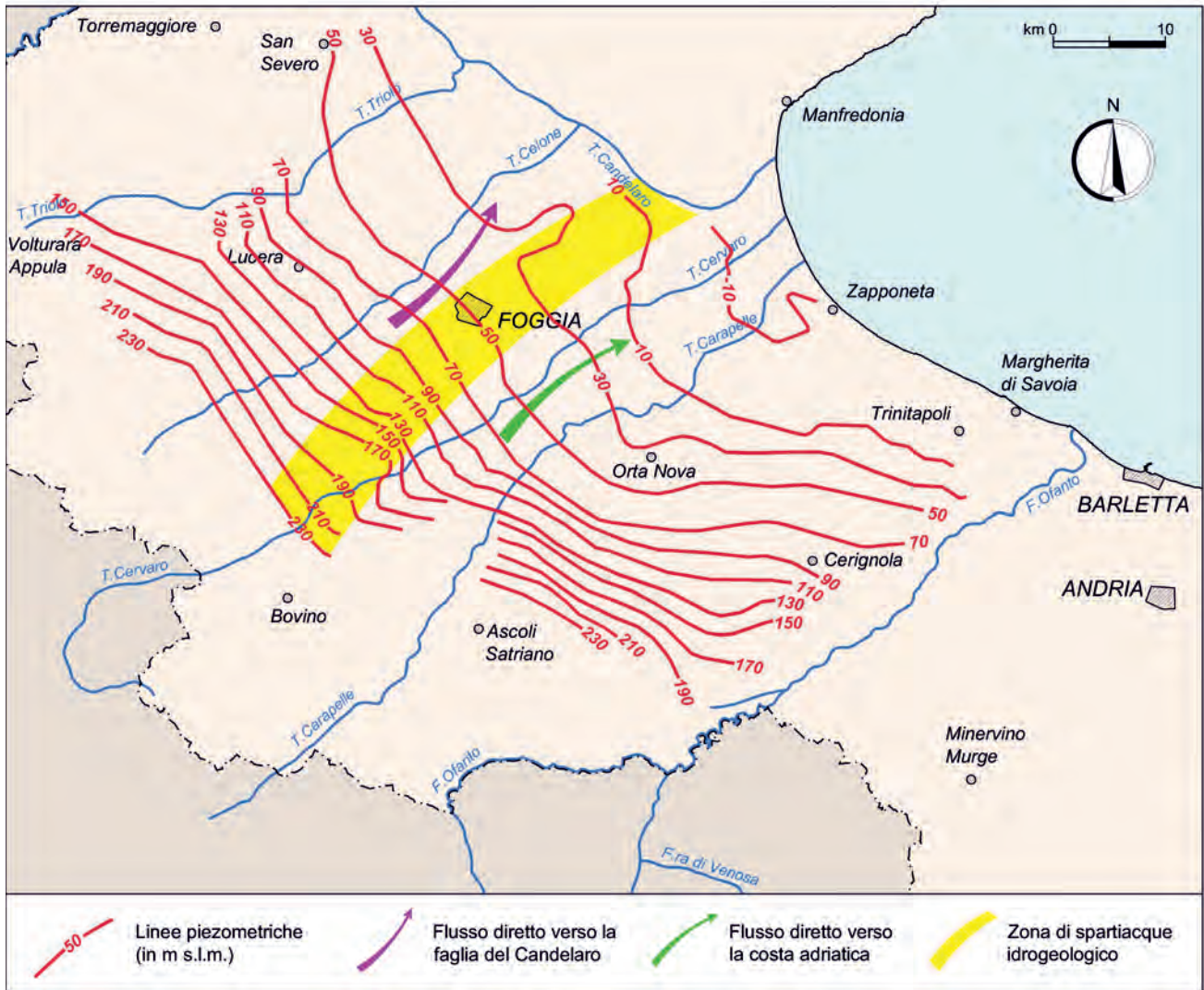


Fig. 14.15 - Isopieziche della falda superficiale del Tavoliere relativa all'anno 1987 con indicazione delle zone ove è ubicato lo spartiacque idrogeologico (mod. da COTECCHIA, 2003).

- *Isopiezic surface of the shallow aquifer groundwater of Tavoliere in 1987, with indication of the groundwater divide (modified after COTECCHIA, 2003).*

livelli piezometrici erano inferiori al livello mare. Nell'anno 2003 (fig. 14.16), tale condizione appare estendersi su un'area più ampia, pari a circa 350 km<sup>2</sup>, per poi estendersi ulteriormente a circa 400 km<sup>2</sup> nel periodo attuale, talché oggi questa condizione è propria di quasi tutta la falda confinata sotto il livello del mare, che come abbiamo visto presenta una estensione pari a circa 600 km<sup>2</sup>. Il progressivo depauperamento della falda superficiale è confermato da alcune serie di misure piezometriche disponibili per alcuni pozzi storici. In particolare, i dati disponibili dagli anni '30 agli anni '90 del secolo scorso indicano una riduzione del carico piezometrico in media di circa 3 cm/mese (POLEMIO *et alii*, 2005).

Aspetto interessante è il condizionamento dell'andamento delle linee isopieziche da parte dei lineamenti tettonici fondamentali dell'area. In corrispondenza della faglia dell'Ofanto si osserva, infatti, che le linee isopieziche sono grossomodo ortogonali al lineamento tettonico, che dunque, nell'ipotesi di acquifero isotropo, rappresenta per la falda superficiale del Tavoliere un bordo impermeabile. Detta circostanza, come già discusso al par. 14.3.2, è imputabile all'affiorare delle Argille Azzurre in prossimità della faglia, che non consentono quindi una connessione idraulica tra l'acquifero superficiale del Tavoliere e quello carbonatico e mesozoico della Murgia (tav. 1 f.t.; figg. 14.1 e 14.2).

Situazione molto diversa si verifica invece in

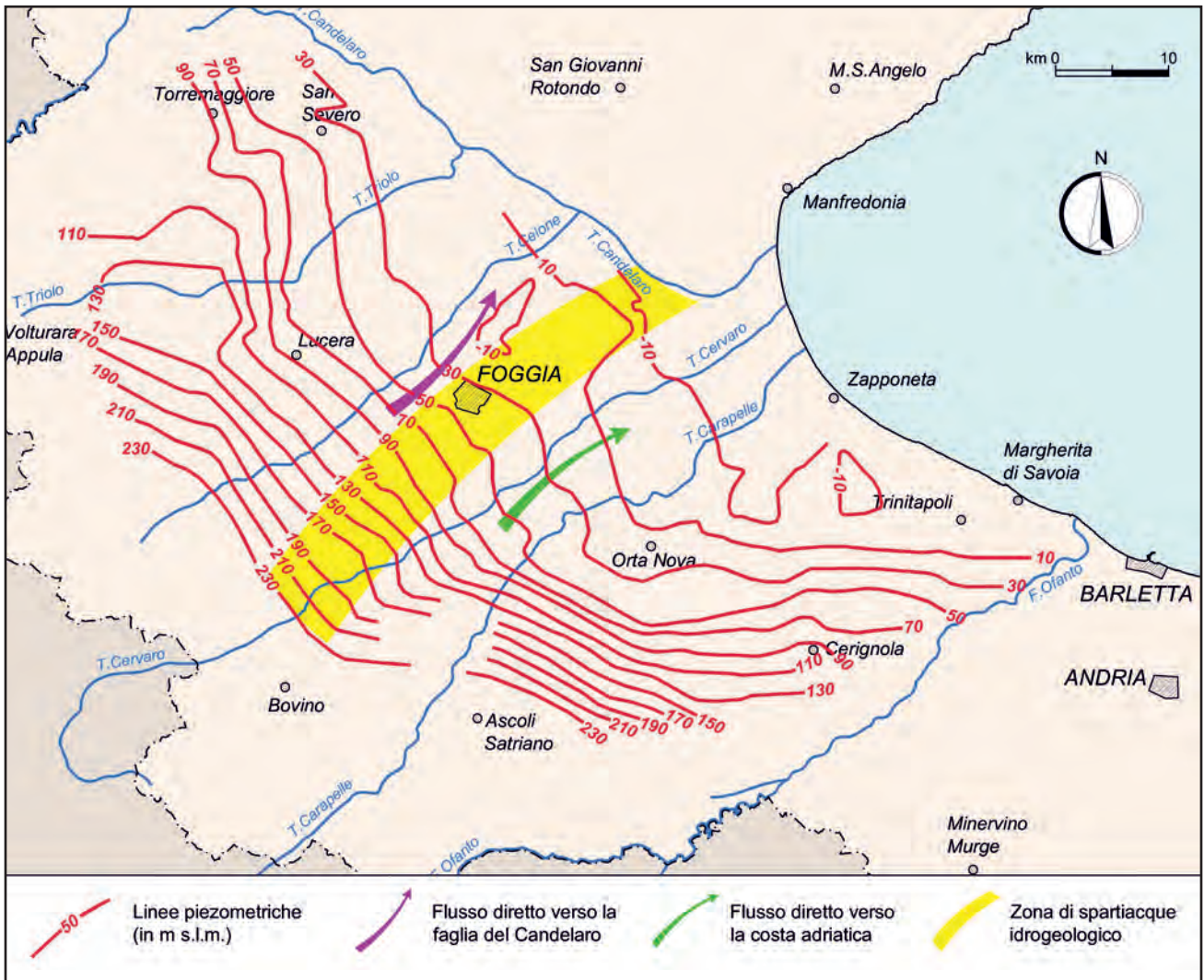


Fig. 14.16 - Isopieziche della falda superficiale del Tavoliere relativa all'anno 2003 (mod., da COTECCHIA, 2003).  
 - Isopiezic lines of the shallow aquifer groundwater of Tavoliere in 2003 (modified after COTECCHIA, 2003).

prossimità della faglia del Candellaro. A partire dall'Alto Tavoliere è possibile individuare uno spartiacque idrogeologico sotterraneo (figg. 14.14 e 14.15), ubicato grossomodo tra i Torrenti Cervaro e Celone, che divide le acque di falda dirette verso il Golfo di Manfredonia da quelle invece dirette verso la faglia del Candellaro. Le acque della falda superficiale del Tavoliere che trovano ricarica nelle porzioni settentrionali dell'Alto Tavoliere (zona B in figura 14.14) sono quindi dirette verso il lineamento di faglia. La presenza di una certa contaminazione salina della falda superficiale del Tavoliere nell'area pedegarganica, che sarà documentata nel successivo paragrafo 14.4.8, indica che la Faglia del Candellaro rappresenta un probabile collegamento tra la falda superficiale del Tavoliere

ed il mare. In tale ordine di idee, essa configura una complessa condizione al contorno per il moto filtrazione nell'acquifero, invero ancora da interpretare e documentare dal punto di vista quantitativo. Stante la distribuzione dei carichi piezometrici in prossimità delle porzioni centro - meridionali del lineamento di faglia, appare che la faglia stessa funge da drenaggio per la falda superficiale (le linee di flusso sono infatti dirette verso di essa).

#### 14.3.5. - Portata della falda

A seguito degli studi geologici e idrogeologici condotti nella prima metà del secolo scorso (COTECCHIA, 1956), fu possibile eseguire delle valutazioni quantitative sulle effettive potenzialità



idriche della porzione di falda che è diretta verso il Golfo di Manfredonia a partire dai bassi rilievi dell'Appennino. Tali valutazioni furono condotte dal prof. De Marchi. Stante l'importanza che ancor oggi riveste questo argomento, si riporta nel DVD allegato la nota COTECCHIA *et alii*, 1958, illustrante i risultati degli studi di cui nel seguito si riassumono i passi salienti. Nella trattazione che segue si terrà anche conto dei nuovi dati idrogeologici acquisiti nel tempo, in particolare circa la morfologia della superficie di falda.

La portata d'acqua  $Q$  attraversante una generica sezione dell'acquifero ortogonale alla direzione del flusso idrico può essere calcolata con buona approssimazione applicando l'equazione di Darcy:

$$Q \text{ [m}^3\text{/s]} = v A = k i A \quad (14.1)$$

dove:

$v$  [m/s] = velocità di filtrazione media in corrispondenza della sezione trasversale dell'acquifero;  
 $A$  [m<sup>2</sup>] = Area della sezione trasversale dell'acquifero;

$k$  [m/s] = Coefficiente di permeabilità dell'acquifero;

$i$  [-] = Cadente piezometrica.

Detta portata è grossomodo costante al variare della sezione che si considera nel calcolo se si fa riferimento ad una sezione dell'acquifero confinato del Basso Tavoliere, che non riceve ricarica dalla superficie. Nel caso di falda freatica, invece, la portata d'acqua aumenta procedendo da monte verso valle a causa degli apporti idrici dalla superficie.

La portata d'acqua dell'acquifero confinato del Basso Tavoliere a rigore subisce variazioni nel tempo in ragione delle variazioni del livello di falda nell'Alto Tavoliere. Ma poiché tali variazioni determinano modeste modifiche di cadente piezometrica nella falda confinata, le variazioni di portata saranno altrettanto modeste. Una variazione di altezza piezometrica nella falda freatica anche dell'ordine di 10 m comporta infatti una variazione della cadente piezometrica media della falda confinata dell'ordine dello 0,5%, ossia di un ordine di grandezza inferiore alla cadente piezometrica ivi presente, data la lunghezza del percorso del flusso (circa 20 km).

Per la sezione E-F di figura 14.2 è possibile stimare un'area della sezione trasversale dell'acqui-

fero pari a 650.000 m<sup>2</sup>. Tale area è stata valutata considerando il tratto di acquifero compreso tra l'estremo Sud della sezione ed il torrente Celone, e comprende quindi anche la porzione di acquifero posta in prossimità della foce dell'Ofanto, presso San Ferdinando, dove la falda è freatica. Questa sezione, a meno di un piccolo lembo posto all'estremità settentrionale, può considerarsi attraversata fondamentalmente dalla falda superficiale del Tavoliere diretta verso la linea di costa del Golfo di Manfredonia. Essa non è quindi interessata da tutto il deflusso della falda superficiale del Tavoliere, in quanto non è attraversata dalle linee di flusso che dall'Alto Tavoliere sono dirette verso la faglia del Candelaro e la costa adriatica presso il lago di Lesina.

La velocità di filtrazione della falda è molto variabile lungo la sezione E-F, perché dipende sia dalla permeabilità del mezzo sia della cadente piezometrica, variabili a livello locale. Anche se dette incertezze non consentono calcoli accurati, è possibile eseguire delle valutazioni circa l'ordine di grandezza della portata che attraversa la sezione E-F.

Lungo gran parte della sezione E-F la cadente piezometrica varia tra 4‰ e 6‰; solo in una piccola zona, ove la sezione E-F si interseca con la C-D (figg. 14.1 e 14.4), si riduce al 3‰. È quindi lecito assumere un valore costante della cadente pari a 5‰.

Sulla base delle già richiamate prove di portata eseguite tra Macchiarotonda e Borgo Mezzanone a Sud-Est della città di Foggia è lecito assumere un valore del coefficiente di permeabilità pari a  $5 \times 10^{-2}$  cm/s, che è grossomodo confermato dalla distribuzione del coefficiente di permeabilità riportata in tavola 3 f.t. (nella zona interessata dalla sezione in analisi), che è stata determinata sulla base di rilievi in un numero di pozzi molto maggiore di quelli considerati negli studi condotti in COTECCHIA *et alii*, 1958.

Si ottiene quindi una velocità di filtrazione media lungo la sezione E-F (fig. 14.2) pari a  $2,5 \times 10^{-6}$  m/s che, per un'area pari a 650.000 m<sup>2</sup>, fornisce una portata di 1,62 m<sup>3</sup>/s, approssimabile a 2 m<sup>3</sup>/s. Il prof. De Marchi riteneva che tale portata potesse costituire un riferimento attendibile negli

studi per la definizione di piani di utilizzazione della risorsa.

Alla luce degli elementi idrogeologici sin qui esposti, questa portata è da ritenersi solo una parte della portata totale nell'acquifero superficiale del Tavoliere, dato che essa non considera, come già detto, la portata diretta verso la costa settentrionale adriatica, ad Ovest del lago di Lesina, e verso la Faglia del Candelaro.

Al fine di determinare la portata totale dell'acquifero superficiale del Tavoliere va osservato che essa è pari, in condizioni stazionarie, al volume d'acqua che nell'unità di tempo ricarica l'intero acquifero. In prima approssimazione possiamo ritenere che per ciascuna delle zone (A, B, C) individuate in figura 14.14 il rapporto esistente tra portata della falda e la superficie dei terreni assorbenti superficiali che l'alimentano sia costante. Tale rapporto può essere determinato osservando che la portata determinata dal prof. De Marchi ( $2 \text{ m}^3/\text{s}$ ) è alimentata dalla ricarica nella zona C, in cui la superficie dei terreni assorbenti è pari a circa  $650 \text{ km}^2$ . La portata totale dell'acquifero, alimentato dai terreni assorbenti delle zone A, B e C, che globalmente presentano una superficie pari a circa  $1720 \text{ km}^2$ , è quindi pari a  $2 \text{ m}^3/\text{s} \times 1.720 \text{ km}^2/650 \text{ km}^2 \approx 5 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Tale portata totale corrisponde ad un volume idrico annuo di circa  $158 \text{ Mm}^3$ , che rapportato alla superficie riconosciuta assorbente per tutto il Tavoliere ( $1720 \text{ km}^2$ ), fornisce un'altezza d'acqua di alimentazione pari a circa  $90 \text{ mm}/\text{a}$ . Nell'Alto Tavoliere, sede delle aree di alimentazione considerate, la pioggia annua media vale  $400\text{-}500 \text{ mm}$  (cap. 7), per cui l'altezza d'acqua di ricarica prima calcolata appare essere il  $18\div 22\%$  della pioggia totale. Tale intervallo di valori configura un tasso di assorbimento credibile per l'area in esame.

#### 14.3.6. - Considerazioni sulle attuali condizioni d'uso della risorsa idrica sotterranea

L'analisi dell'evoluzione nel tempo della piezometria ha evidenziato che, negli ultimi 60 anni, si è verificata una generale riduzione delle altezze piezometriche, soprattutto nel Basso Tavoliere. I motivi che sono alla base di un tale depauperamento della risorsa idrica sotterranea sono da ricercare

nell'uso che si è fatto di tale risorsa e non nell'evoluzione del clima, non essendosi verificate variazioni climatiche tanto significative (cap. 7).

La determinazione della portata totale estratta dall'acquifero dovrebbe basarsi sulla conoscenza delle portate estratte dai singoli pozzi. Tale desunzione non è allo stato attuale possibile, se non in forma approssimata, stante l'abusivismo nell'utilizzo dei pozzi e l'indisponibilità di un censimento delle portate estratte dai pozzi regolarmente concessi.

Di seguito, dunque, si riporta solo una stima del volume idrico estratto annualmente dalla falda superficiale del Tavoliere, basata sull'analisi dei dati contenuti dell'archivio informatico dei pozzi presso il Genio Civile di Foggia (tab. 14.3).

Considerando i soli pozzi del Tavoliere ed escludendo, quindi, quelli penetranti nell'acquifero carbonatico cretacico del Gargano, è possibile eseguire una distinzione tra pozzi operanti con regolare concessione, pozzi in attesa di regolarizzazione e pozzi autodenunciati. In particolare, i pozzi operanti con regolare concessione sono appena 1.400, per un volume idrico annuo concesso pari a circa  $19 \text{ Mm}^3$ , calcolato in base ai volumi idrici annui massimi concessi. È possibile poi contare circa 14.000 domande di concessione in fase di istruttoria e circa 13.000 autodenunce. Queste ultime

Tab. 14.3 - *Calcolo del volume annuo e della portata massima concessa per i pozzi penetranti nell'acquifero superficiale del Tavoliere a partire dai dati acquisiti (Censimento dal Genio Civile di Foggia).*

- Computation of the yearly volume and of the maximum amount of water permitted to be pumped for the wells penetrating the surface aquifer of Tavoliere (data source: inventory from the Civil Engineer Office of Foggia).

	Numero	Volume annuo concesso	Portata massima concessa
		$\text{Mm}^3$	$\text{m}^3/\text{s}$
Pozzi in concessione	1421	19	5.2
Domande di concessione in istruttoria	14382	191*	52,6*
Autodenuncia	13385*	178*	49*
<b>Totale</b>	<b>29.188</b>	<b>388</b>	<b>106.8</b>
* valori stimati			



sono in realtà complessivamente pari a circa 22.000 ma, essendo molte in fase di istruttoria, e quindi già contemplate nel gruppo precedente, se ne è considerata sola una quota parte, pari al 60%.

È utile evidenziare che solo una piccolissima parte dei pozzi esistenti è stata realizzata seguendo il normale iter di autorizzazione e concessione previsto dalla legge. Il numero totale delle concessioni è, infatti, appena pari al 10% del numero complessivo di concessioni in fase di istruttoria, il che dimostra come nelle ultime decadi ci sia stata una completa assenza di controllo del territorio che ha portato all'emanazione di condoni che, a loro volta, hanno incentivato l'abusivismo (cap. 11).

In conclusione è possibile contare nell'archivio del Genio Civile circa 30.000 pozzi. Supponendo che il campione costituito dai 1.400 pozzi operanti con regolare concessione di cui si conosce la massima portata concessa sia rappresentativo di tutti i pozzi, si ottiene una portata globalmente estratta dall'acquifero superficiale del Tavoliere pari a circa 378 Mm<sup>3</sup>/a (circa 12 m<sup>3</sup>/s), superiore a quella stimata nell'ambito degli studi condotti per la redazione del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia (PTA, 2009), pari a 200 Mm<sup>3</sup>/a, ed inferiore a quella stimata da DE GIROLAMO *et alii*, 2002, pari a 443 Mm<sup>3</sup>/a, stimate sulla base del fabbisogno irriguo dell'area.

Un' valutazione critica del valore di portata estratta dai 30.000 pozzi esistenti nel Tavoliere dianzi proposto prevede però un riesame delle approssimazioni e delle incertezze sulla base delle quali tale valore è stato desunto:

- i pozzi operanti in stato di concessione potrebbero prelevare di meno di quanto consentito, oppure potrebbero commettere un abuso prelevando di più. Non è possibile quindi stimare il volume effettivamente estratto, in quanto non viene ancora utilizzato a regime il misuratore di portata imposto dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia;
- non è possibile stabilire quanti dei pozzi autodenuciati ed in fase di istruttoria continuano a prelevare dalla falda;
- nell'archivio del Genio Civile non è possibile eseguire una distinzione tra i pozzi penetranti nell'acquifero superficiale, sovrastante le argille pliocenico-

calabriane, e quelli penetranti nei calcari cretacei (ad esempio ubicati in prossimità della Faglia dell'Ofanto) e nelle lenti sabbiose artesiane presenti nelle argille azzurre. I pozzi non penetranti nell'acquifero superficiale sono comunque una piccolissima percentuale rispetto al totale dei pozzi;

- le superfici irrigabili attrezzate e servite dal Consorzio di Bonifica della Capitanata, di cui si parlerà successivamente, sono molto spesso irrigate anche con acque sotterranee estratte da pozzi abusivi;

- il numero dei pozzi autodenuciati che sono passati alla fase istruttoria è stato solo stimato.

Il depauperamento osservato nel Basso Tavoliere ha molto probabilmente ivi determinato una riduzione degli emungimenti.

Queste incertezze influenzano in maniera contrastante il valore del volume annuo estratto dalla falda. Si può quindi ritenere che i loro effetti si compensino e che il valore proposto dianzi configuri una ipotesi credibile circa il limite superiore della portata annualmente estratta dalla falda superficiale del Tavoliere da utilizzare nell'ambito di lavori finalizzati alla pianificazione e mitigazione del depauperamento.

Note la portata d'acqua dell'acquifero e quella estratta, è possibile svolgere previsioni circa l'evoluzione nel tempo dello stato della risorsa idrica sotterranea, per la quale i dati piezometrici evidenziano una tragica compromissione.

Data la portata complessiva dell'acquifero superficiale del Tavoliere, pari a circa 5 m<sup>3</sup>/s, e gli emungimenti, che raggiungono i 12 m<sup>3</sup>/s, la portata estratta appare superare quella disponibile di circa 7 m<sup>3</sup>/s, dunque di 221 Mm<sup>3</sup> all'anno. Il volume idrico sottratto a quello immagazzinato nell'acquifero determina il progressivo svuotamento dell'acquifero stesso. Considerato che l'estensione dell'acquifero è pari a circa 2.900 km<sup>2</sup> e ipotizzando, per semplicità, tutto l'acquifero come freatico di porosità efficace pari a 10%, il volume d'acqua annualmente estratto dalla riserva d'acqua determina un abbassamento del livello di falda con il ritmo di circa 75 cm per anno. In tabella 14.4 si riassumono i risultati sin qui discussi.

Quanto sinora illustrato si basa sull'ipotesi che i prelievi siano uniformemente attuati su tutta la regione. In realtà, in ragione delle caratteristiche di

Tab. 14.4 - *Bilancio idrico stimato per l'acquifero superficiale del Tavoliere.*

- Estimated water balance of the Tavoliere shallow aquifer.

Sup. terreni assorbenti	km <sup>2</sup>	1720
Volume acquifero	Mm <sup>3</sup>	32000
Riserva idrica stimata (anni '50)	Mm <sup>3</sup>	3200
Altezza di pioggia	mm/a	400÷500
Ricarica efficace	mm/a	90
Portata d'acqua dolce	m <sup>3</sup> /s	5
	Mm <sup>3</sup> /anno	158
Portata d'acqua estratta	m <sup>3</sup> /s	12
Stima da pozzi Genio Civile	Mm <sup>3</sup> /anno	378
Deficit idrico annuo	m <sup>3</sup> /s	7
	Mm <sup>3</sup> /anno	221
Rapporto tra Deficit idrico annuo e Riserva idrica stimata negli anni '50	-	7%

permeabilità del materasso acquifero e della possibilità di reperire le acque di irrigazione da fonti alternative (ad esempio 140 Mm<sup>3</sup> resi disponibili dagli invasi; D'ARCANGELO & PROCACCINI, 2001), i prelievi risultano più intensi in alcune zone rispetto ad altre. In particolare, sovrapponendo le linee isopieziche del Tavoliere degli anni '50 con quelle del periodo 2007÷2010 e con la carta rappresentativa degli schemi idrici del Consorzio di Bonifica della Capitanata (fig. 14.17), si può osservare come le zone entro cui si sono rilevati gli abbassamenti piezometrici più significativi sono in gran parte ubicate nelle aree non servite dal Consorzio, ove evidentemente le acque di falda rappresentano l'unica fonte d'acqua per l'irrigazione. Tali aree comprendono, inoltre, le porzioni di acquifero ove la circolazione idrica è confinata sotto il livello del mare. Come abbiamo visto nel paragrafo 14.4.3 questo ospitava all'inizio del secolo scorso un volume idrico sotto il livello del mare pari a circa 500 Mm<sup>3</sup>, oggi fortemente ridotto. Va però sottolineato che anche i prelievi attuati a monte, ove le acque di falda rappresentano un serbatoio cui attingere per integrare le acque di irrigazione fornite dal Consorzio, incidono sul depauperamento segnalato a valle.

Ferme restando le approssimazioni contenute nelle valutazioni sin qui riportate, è possibile affer-

mare che il regime di emungimento sinora attuato nel Tavoliere è il responsabile principale della significativa riduzione delle altezze piezometriche della falda superficiale, almeno nella parte ove l'acquifero è confinato e posto sotto il livello del mare. Senza una inversione di tendenza si potrebbe giungere allo svuotamento totale dell'acquifero, con conseguenze catastrofiche sia per l'economia della regione sia per l'ambiente. Tale circostanza comporterebbe, inoltre, l'intrusione delle acque marine nelle porzioni di acquifero disposte sotto il livello del mare con l'ingresso di circa 500 Mm<sup>3</sup> di acqua salata, che andrebbero ad invadere circa 5.000 Mm<sup>3</sup> di acquifero, in un'area di circa 600 km<sup>2</sup> di superficie, subito a monte del Golfo di Manfredonia.

#### 14.3.7. - *Possibilità di ripristino delle condizioni quantitative pregresse della falda*

Il depauperamento della falda superficiale del Tavoliere sin qui descritto indica l'urgenza di intervenire, sia al fine di non far precipitare la situazione in un vero e proprio disastro ambientale, sia al fine di ripristinare l'assetto della risorsa idrica di cui avviare una gestione razionale e sostenibile, nell'ottica della salvaguardia ambientale e dell'equa ripartizione di un bene pubblico.

Nel prossimo futuro sarà opportuno attuare diverse fasi di gestione: la prima, da attuare nel più breve tempo possibile, dovrà essere finalizzata al ripristino dello stato quantitativo; la seconda, da attuare dopo il raggiungimento degli obiettivi della prima, dovrà essere finalizzata alla gestione lungimirante, quindi sostenibile, della risorsa idrica sotterranea ricostituita.

Sulla base degli elementi sinora riportati si evince la necessità di ridurre drasticamente gli emungimenti in atto per rimpinguare la falda superficiale del Tavoliere. È necessario, in particolare, ridurre gli emungimenti a valori inferiori alla ricarica naturale annuale, cosicché la ricarica netta che si rende disponibile, pari alla differenza tra la ricarica efficace dovuta alle piogge e gli emungimenti, ricarichi lentamente l'acquifero tenuto conto dei deflussi. È chiara quindi la necessità di ricorrere a risorse idriche alternative per soddisfare la domanda idrica, soprattutto irrigua (cap. 29). Si può



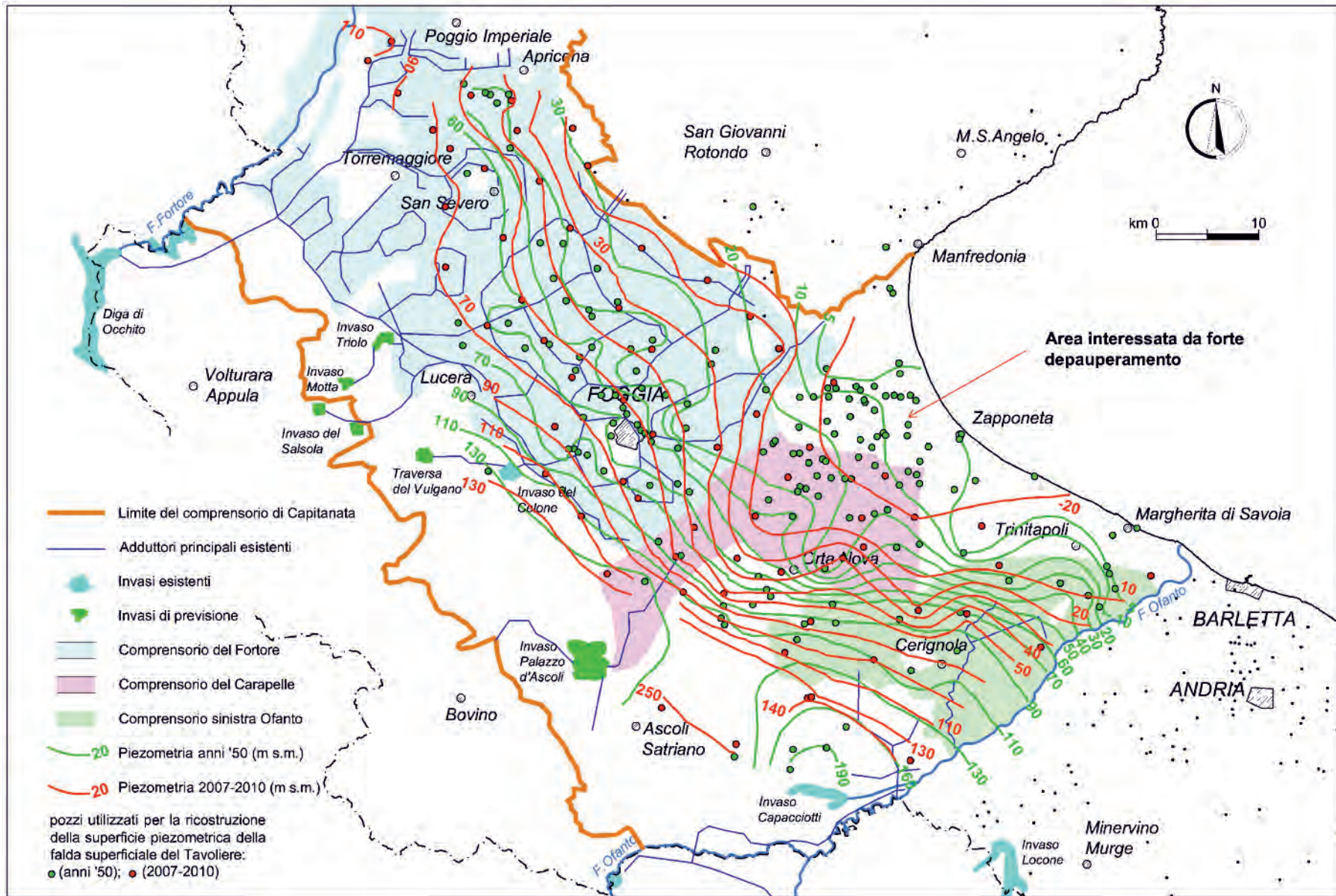


Fig. 14.17 - Schemi idrici del Consorzio di Bonifica della Capitanata e confronto delle isopieziche della falda relativa all'anno 1950 con quella relativa al periodo 2007-2010.  
 - Water schemes of Consorzio di Bonifica della Capitanata (Capitanata Reclamation Board) and comparison of the isopiezic lines of the year 1950 with that of the period 2007-2010.

sicuramente stimare che, volendo ridurre a circa 2 m<sup>3</sup>/s l'estrazione complessiva dall'acquifero superficiale del Tavoliere, essendo la ricarica pari a circa 5 m<sup>3</sup>/s, si renderebbe disponibile una ricarica netta di circa 3 m<sup>3</sup>/s (circa 95 Mm<sup>3</sup> per anno), che, a meno dei deflussi lentamente potrebbe ricostituire l'acquifero artesiano, oggi in gran parte svuotato. È dunque necessario individuare fonti alternative che forniscano una portata d'acqua pari ad almeno 300 Mm<sup>3</sup> per anno. Poiché la riduzione degli emungimenti dovrebbe riguardare principalmente l'Alto ed il Basso Tavoliere Meridionale, è qui che dovrebbero essere indirizzate gran parte delle risorse idriche alternative. Si fa presente però che la riduzione degli emungimenti dei circa 30.000 pozzi del Tavoliere, richiede innanzitutto un riordino delle utenze, da perseguire attraverso un censimento delle opere di captazione esistenti sul territorio (cap. 2).

Anche nel Tavoliere settentrionale, ove la circolazione idrica è diretta verso la Faglia del Candelaro e verso la costa adriatica nei pressi di Lesina, è opportuno ridurre gli emungimenti mentre si è in attesa di più approfonditi studi che consentano di stabilire le effettive potenzialità idriche di questa area alla luce del ruolo che detta faglia svolge nell'idrogeologia dell'area. In queste aree l'applicazione di una gestione dell'acqua sotterranea sostenibile potrebbe avvenire con non molte difficoltà, considerata la presenza del Consorzio di Bonifica (fig. 14.17).

Nella prima fase di gestione, mirata a contrastare l'emergenza ambientale, al fine di accelerare il processo di ricarica della falda andrebbe valutata la possibilità di realizzare, in prossimità dei terreni assorbenti dell'Alto Tavoliere, vasche di espansione che, laminando le portate di piena dei torrenti, o delle importanti incisioni presenti nel territorio, costituiscano importanti volumi idrici oggetto di rilascio lento e naturale in falda. Possono poi essere eseguiti piccoli bacini di infiltrazione e canali infiltranti che, riducendo il ruscellamento superficiale, consentano di incrementare significativamente la ricarica netta della falda. Questi interventi consentirebbero poi, superata la fase di emergenza, di rendere disponibili maggiori volumi idrici per rispondere al fabbisogno

irriguo, oltre che ridurre le spesso pericolose portate di piena dei torrenti. Gli eventi alluvionali di cui il Tavoliere fa spesso esperienza, rappresentano a riguardo un modello fisico di base nella scelta di quelle aree che dal punto di vista geomorfologico ed idrogeologico presentano già una naturale propensione ad essere sede degli interventi d'urto proposti. In figura 14.18 si riporta una carta delle aree allagate a causa dell'alluvione del 3 e 4 Marzo 2005, che interessò il bacino del fiume Fortore; sono ivi indicate le ubicazioni di alcune foto scattate il 5 Marzo 2005 (fig. 14.19). A termine della piena, gran parte dell'acqua è ritornata al torrente ed è quindi defluita verso il mare, mentre solo una piccola aliquota della stessa si è resa disponibile per la ricarica. La realizzazione di paratoie mobili potrebbe consentire di bloccare, al termine di una piena, gran parte dell'acqua, trattendola e così agevolando l'infiltrazione in falda freatica. È chiaro che si tratta di interventi da progettare sulla base delle opere già esistenti, quali strade, ponti, ecc., che come si può osservare nel 2005 furono tragicamente interessate dall'alluvione.

In figura 14.20 si riporta invece una carta delle esondazioni dei torrenti nel basso Tavoliere avvenute nel periodo 1926-1950 (CALDARA & PENNETTA, 1993a). La figura evidenzia le aree interessate da allagamenti determinati dalle piene dei torrenti che solcano il basso Tavoliere; è evidente come anche in questo caso si siano configurati bacini di ricarica in zone geomorfologicamente predisposte a tale ruolo.

Altre aree di rilievo per la pianificazione della ricarica della falda sono quelle paludose, ove un tempo avveniva un lento ma sicuramente cospicuo rilascio di acque superficiali in falda. In figura 14.21 sono riportate le paludi esistenti nel Basso Tavoliere alla fine dell'ottocento, oggi in gran parte bonificate. Prima del 1930 la situazione nel Tavoliere, dal punto di vista idraulico, poteva così riassumersi (CALDARA & PENNETTA 1993a):

- aree lacustri 15.000 ha;
- aree esondabili 40.000 ha;
- aree paludose 30.000 ha.

Le opere di bonifica nel Tavoliere furono avviate dai Francesi, proseguite dai Borboni e poi successivamente dal Genio Civile del Regno di Italia. Esse



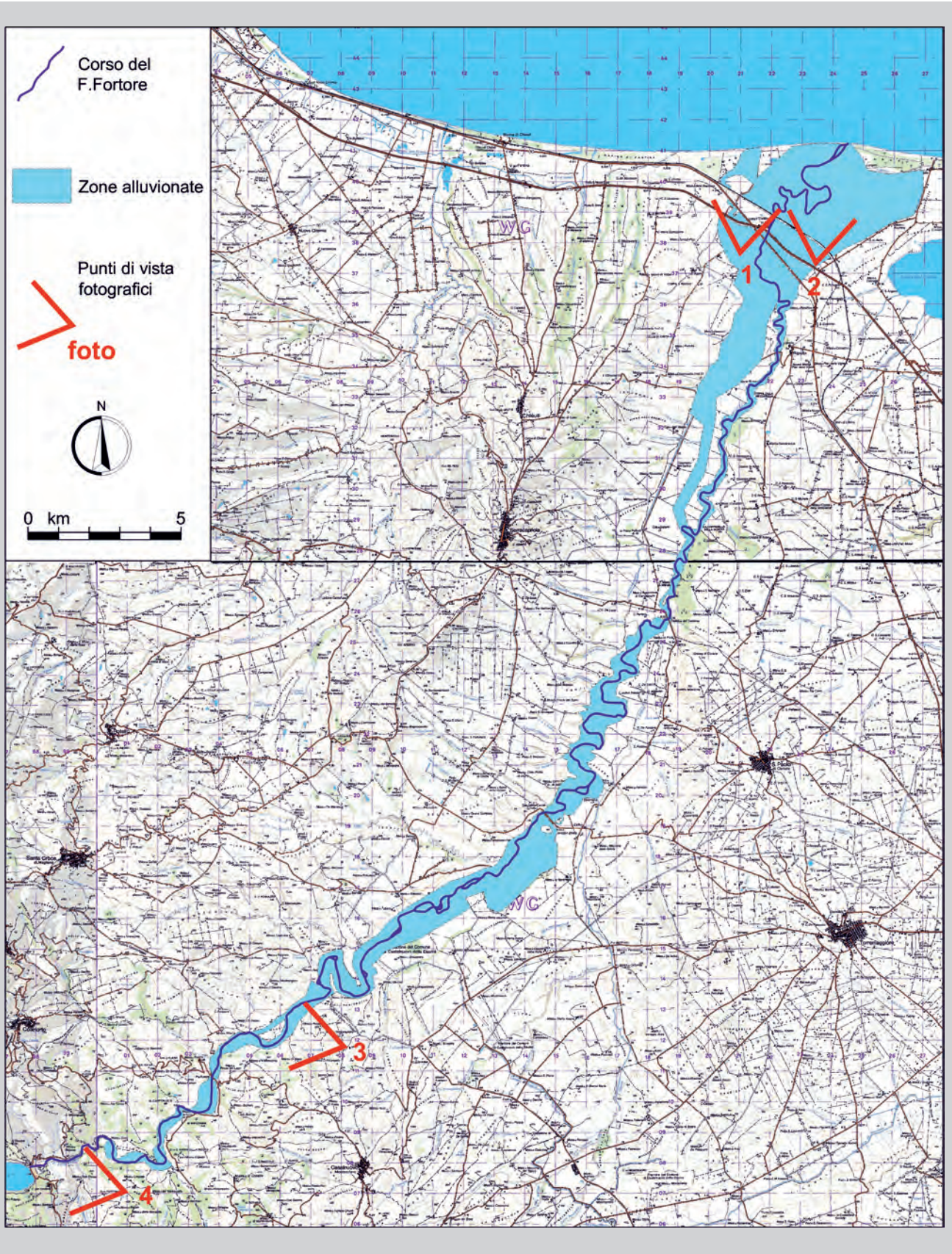


Fig. 14.18 - Allagamenti determinati dal fiume Fortore durante l'alluvione del 3-4 Marzo 2005 con ubicazione di alcune foto aeree scattate il giorno 5 Marzo (ex Genio Civile, Foggia).

- Flooding caused by the Fortore river during the 3-4 March 2005 flood, showing location of some aerial photos taken on 5 March (ex Genio Civile, Foggia).





Fig. 14.19 - Foto degli allagamenti scattate il 5 Marzo 2005, l'ubicazione è indicata in figura 14.18 (ex Genio Civile, Foggia).  
 - Photos of the floods, taken on 5 March 2005 the location shown in figure 14.18 (ex Genio Civile, Foggia).

hanno consentito di bonificare gran parte del territorio, con la quasi scomparsa delle paludi, ma hanno anche molto probabilmente ridotto la disponibilità di risorsa idrica sotterranea, avendo di fatto ridotto la infiltrazione efficace. A riguardo basti pensare che le paludi retrodunali, caratteristiche lungo il litorale adriatico a Sud-Est di Manfredonia, determinavano sicuramente un incremento di carico della falda, utile sia a contrastare il fenomeno dell'intrusione marina, sia a ridurre la cadente piezometrica con cui la falda si dirige verso il mare, dunque la portata uscente dall'acquifero. Tali aree sono contenute nelle zone dove oggi osserviamo dei carichi piezometrici della falda inferiori al livello mare. Quindi, anche se l'acquifero è in tali aree confinato sotto le argille gialle quaternarie, va evidenziata la possibilità che si instauri un moto di filtrazione attraverso lo strato argilloso quaternario,

specialmente dove la frazione limosa e sabbiosa risultano significative. La presenza di aree ove le argille gialle presentano una permeabilità non trascurabile è stata riconosciuta, infatti, in alcuni pozzi ubicati nel Basso Tavoliere e penetranti nell'acquifero confinato (ZORZI & REINA, 1960).

È evidente la necessità di rivedere le opere di bonifica eseguite, al fine di incrementare la ricarica dell'acquifero superficiale del Tavoliere, ferma restando la necessità di gestire il rischio idraulico e salvaguardare gli aspetti igienico-sanitari del territorio. La realizzazione di opere idrauliche (eventualmente controllate da remoto) che consentano di variare le portate d'acqua drenate, in modo da ridurre il rischio idraulico durante le piene ed allo stesso tempo contenere le acque per l'infiltrazione in falda, dovrebbe guidare il progetto delle opere di bonifica, così come viene già fatto in altri paesi del mondo,



quali la Florida, di cui si dirà nel capitolo 28.

È da valutare inoltre attentamente la possibilità di attuare una ricarica artificiale attraverso il riuso di acque reflue, una volta trattate adeguatamente, soprattutto nelle porzioni di acquifero dove la falda presenta carichi idraulici negativi e dove è assente la ricarica diretta dalla superficie. L'acqua da utilizzare per la ricarica potrebbe anche essere derivata dai fiumi e torrenti che attraversano il Basso Tavoliere, nel rispetto dei loro deflussi minimi vitali, e dovrebbe essere immessa nell'acquifero attraverso pozzi che superino le formazioni argillose impermeabili più superficiali.

Stabiliti i volumi idrici disponibili per la ricarica a seguito degli interventi auspicati e la massima portata estratta dall'acquifero, si ha la possibilità di applicare modelli numerici per la stima degli effetti degli interventi, come ad esempio del tempo necessario per il ripristino dei volumi originari della falda. A seguire sarà possibile progettare nuove procedure di utilizzo delle acque sotterranee del Tavoliere (seconda fase di gestione), anche adottando portate sensibilmente superiori a quelle adottate nella prima fase, in relazione alla distribuzione dei carichi piezometrici e alla natura e permeabilità dell'acquifero. L'ubicazione dei pozzi

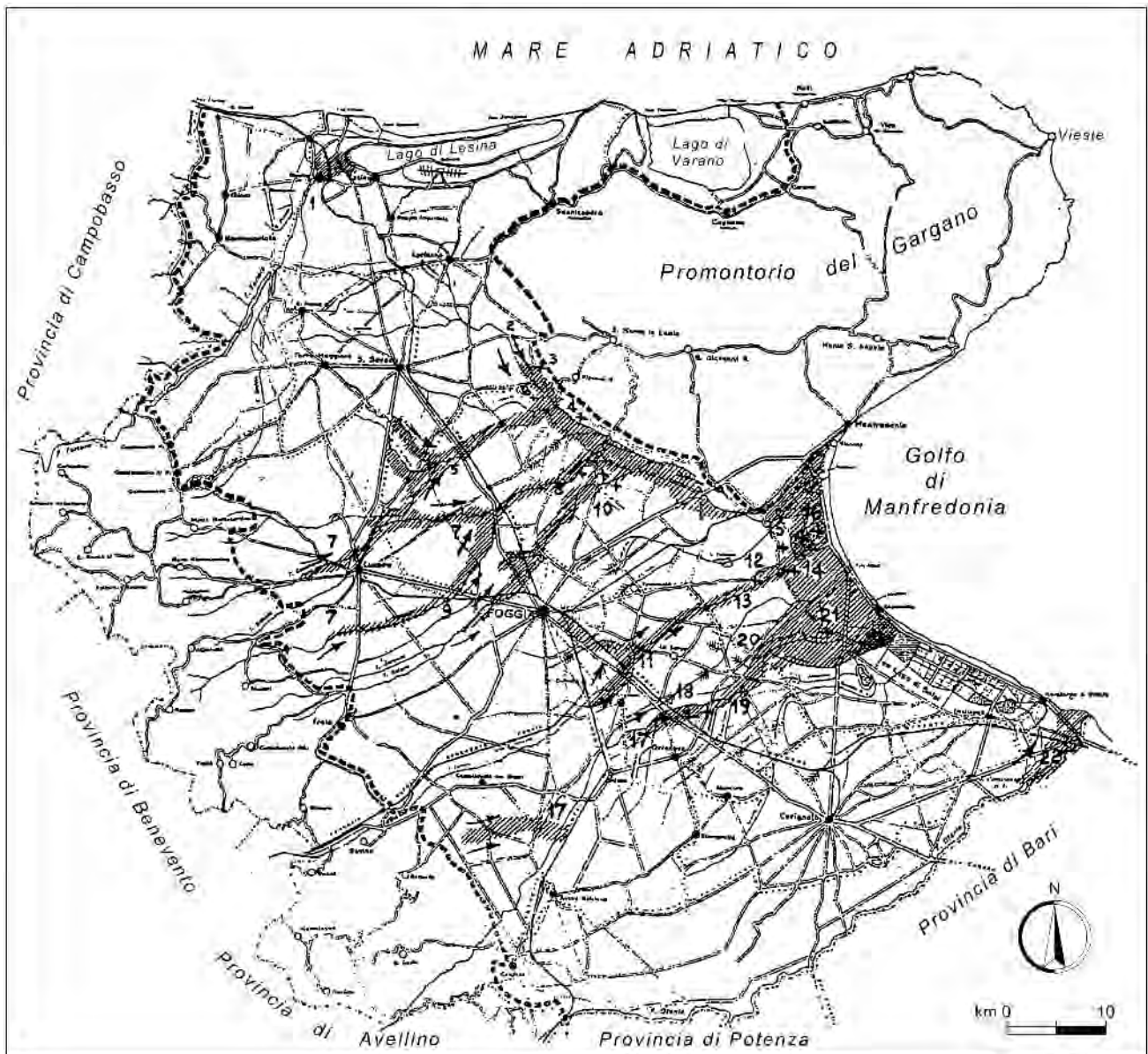


Fig. 14.20 - Esondazioni e conseguenti allagamenti del Tavoliere verificatisi nel periodo 1926-1950 (da CALDARA & PENNETTA, 1993a).

- Overflow and flooding of Tavoliere occurred in the period 1926-1950 (after CALDARA & PENNETTA, 1993a).

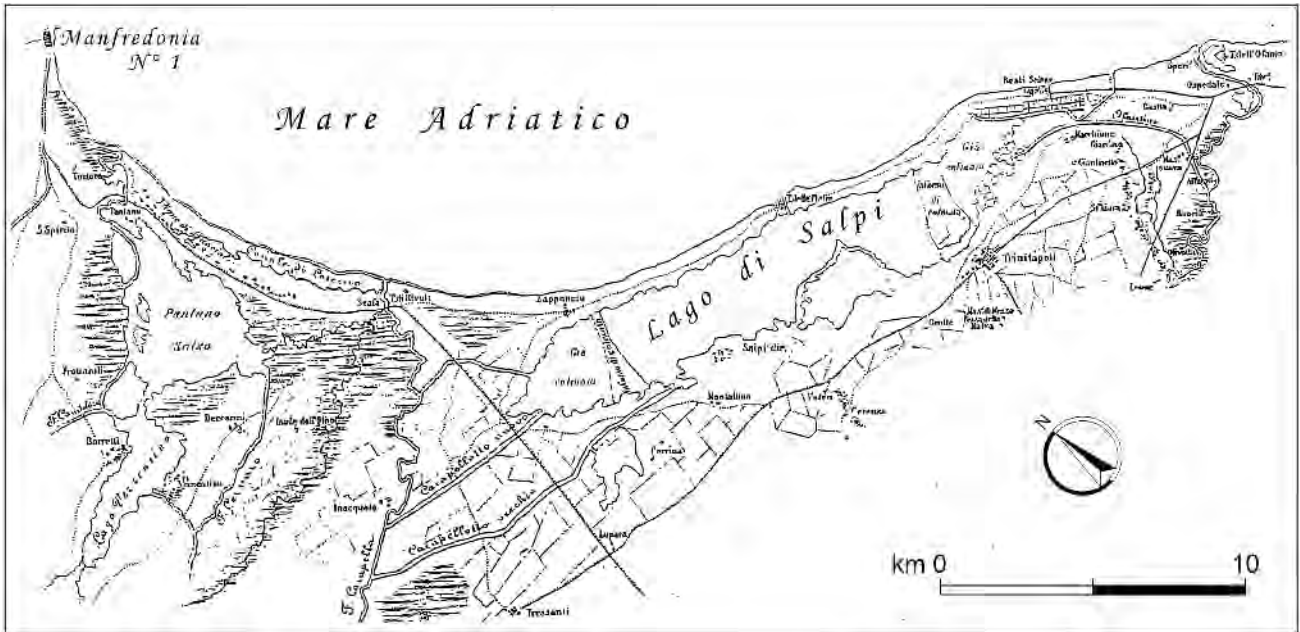


Fig. 14.21 - Carta delle paludi annessa alla relazione del Commissario Deputato G.A. Angeloni (1884) (da CALDARA & PENNETTA, 1993a).  
- Map of marshes, attached to the report by the Commissioner G.A. Angeloni (1884) (after CALDARA & PENNETTA, 1993a).

dovrebbe seguire criteri razionali al fine di evitare depauperamenti locali della falda, basati sulla conoscenza delle aree di alimentazione, dei caratteri di permeabilità dei terreni appartenenti all'acquifero e della distribuzione dei carichi piezometrici della falda, tutti elementi ormai noti con un adeguato grado di approssimazione.

#### 14.3.8. - Chimismo delle acque di falda

Il chimismo delle acque sotterranee contenute nell'acquifero superficiale del Tavoliere è influenzato dai processi di interazione tra la matrice del terreno, spesso ricca di minerali argillosi, e le acque meteoriche di alimentazione e, nelle zone costiere e pedegarganiche, dall'intrusione marina.

In generale l'acqua della falda superficiale del Tavoliere è caratterizzata da una salinità totale moderatamente bassa, circa  $0,7 \div 0,9$  g/l, anche se in alcuni casi può essere superato 1 g/l. Solo i pozzi più prossimi alla linea di costa presentano contenuti salini sensibilmente maggiori, che raggiungono anche valori dell'ordine dei 4 g/l, con *facies* cloruro-sodica determinata dall'intrusione marina.

In figura 14.22 è indicata l'ubicazione di alcuni pozzi per i quali si dispone dei risultati di analisi chimiche di laboratorio condotte sulle acque di

falda nel 2008, nell'ambito del Progetto Tiziano. In figura 14.23 si riportano i relativi diagrammi di Schoeller, che illustrano la variabilità del chimismo che è possibile rilevare nelle acque del Tavoliere, a causa della variazione della natura e permeabilità dei terreni assorbenti e di quelli costituenti il materasso acquifero, la prima incidente sul tipo di interazione tra matrice rocciosa e acqua di falda, la seconda sui tempi di residenza.

In alcuni casi si registrano valori molto elevati di concentrazione per i cloruri, anche ove questi non possono essere attribuiti a fenomeni di mescolamento con l'acqua di mare. È il caso, ad esempio, del pozzo FG 73 a Nord di San Severo (fig. 14.23a), per il quale, a fronte di una prevalenza dello ione cloruro, non si evidenzia un incremento degli altri ioni di origine marina. Tale circostanza può essere attribuita all'inquinamento di origine antropica.

Nelle aree prossime al lago di Lesina ed in quelle pedegarganiche sono stati misurati contenuti salini dell'ordine di  $1,5 \div 2$  g/l e dei rapporti caratteristici tipici di acqua di falda influenzata dal mare. Lo stesso vale per molti dei pozzi prossimi alla costa adriatica del Golfo di Manfredonia (fig. 14.23b), benchè qui si riscontri maggiore variabilità. A tal proposito va rimarcato che l'intrusione delle acque marine nel materasso acquifero sovrastante i terreni



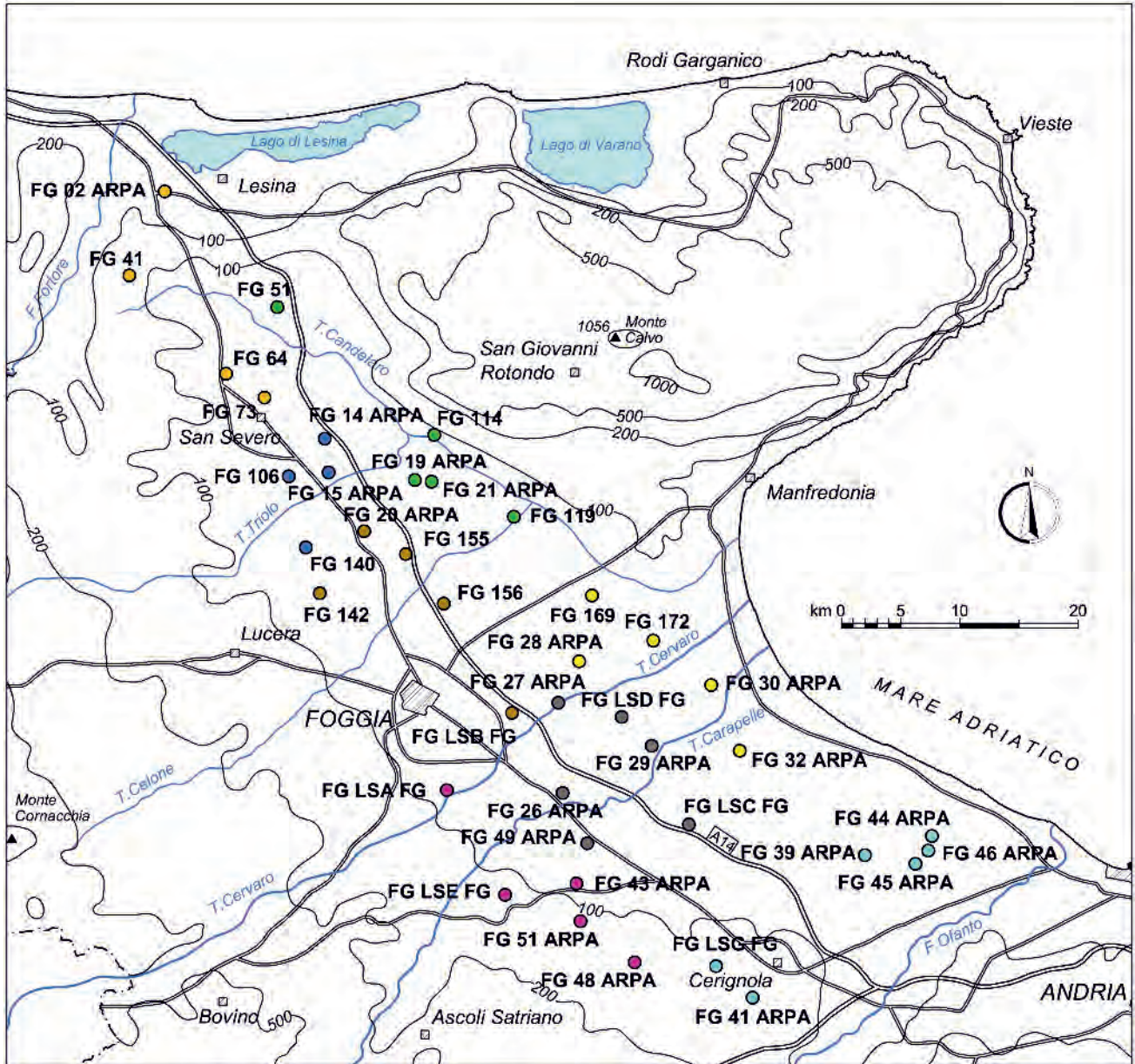


Fig. 14.22 - Ubicazione di alcuni pozzi della rete di monitoraggio del "Progetto Tiziano".  
 - Location of some wells of the "Tiziano Project" monitoring network.

pliocenici e calabrieri è maggiore nelle porzioni meridionali del Golfo di Manfredonia, ove l'acquifero è freatico, di contro alle aree settentrionali del Golfo e a Sud-Est del lago di Lesina, ove l'intrusione marina, quando presente, sembra essere inibita. I diagrammi di Schöeller per acque prelevate dai pozzi FG 45 ARPA ed FG 46 ARPA, quasi coincidenti in figura 14.23b, ubicati a Sud-Est del Tavoliere in prossimità del fiume Ofanto (fig. 14.22), sono indicativi di un notevole mescolamento con acqua di mare. Le acque prelevate da questi pozzi, infatti, sono caratterizzate da una salinità di circa 4 g/l e

presentano dei rapporti caratteristici indicativi di mescolamento con le acque marine. Differente è il chimismo delle acque prelevate in corrispondenza del pozzo FG 28 ARPA o di quelle prelevate nei pozzi FG 30 ARPA ed FG 32 ARPA, ubicati in prossimità dei torrenti Cervaro e Carapelle ove la falda è in pressione, per le quali la concentrazione salina, dell'ordine di  $1 \div 1,5 \text{ g/l}$ , è influenzata dal mescolamento con l'acqua di mare in modo più moderato. Dunque il fenomeno dell'intrusione marina è più intenso nella zona dell'Ofanto, ove la falda è freatica e circola all'interno di terreni più permeabili,

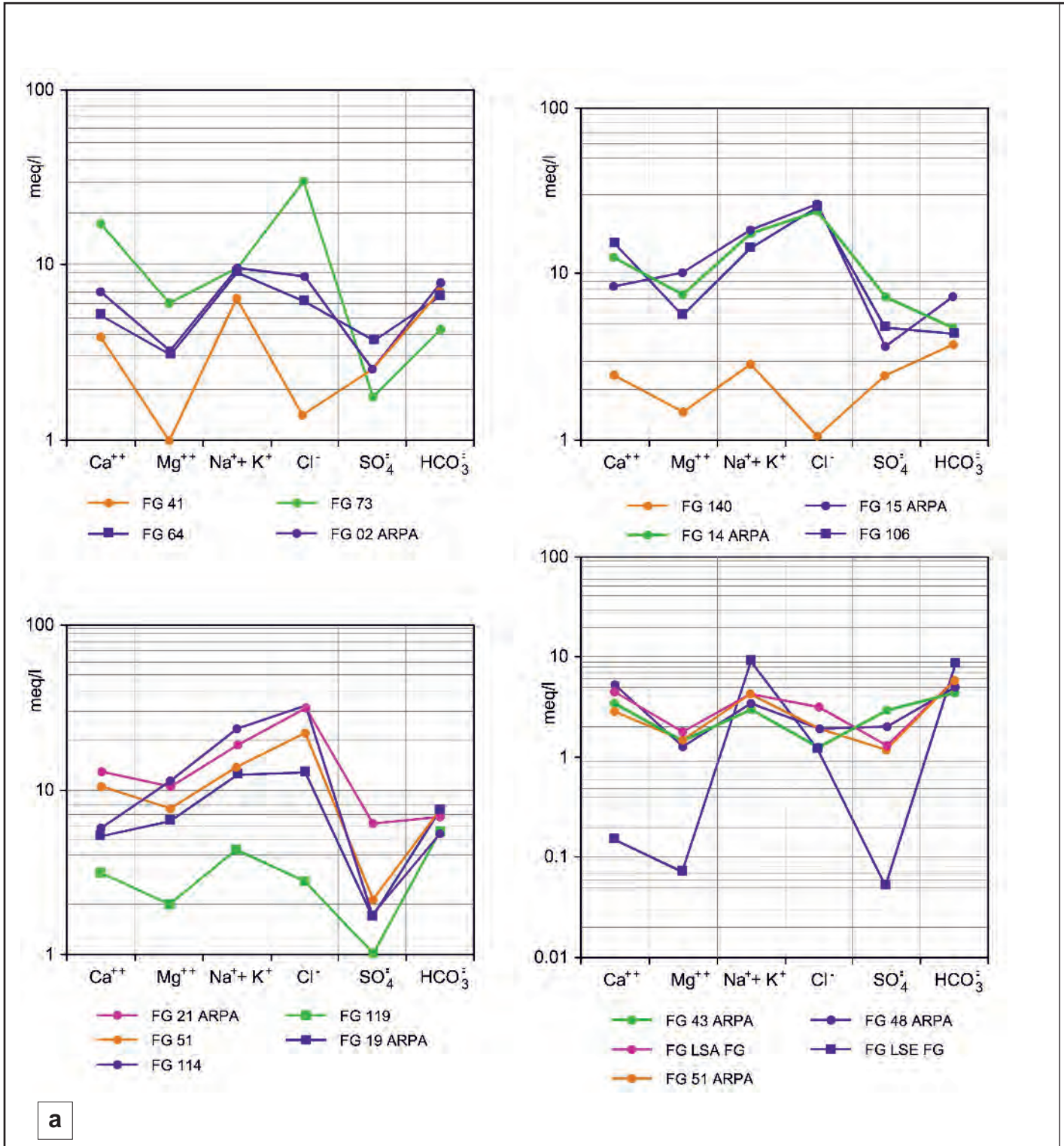
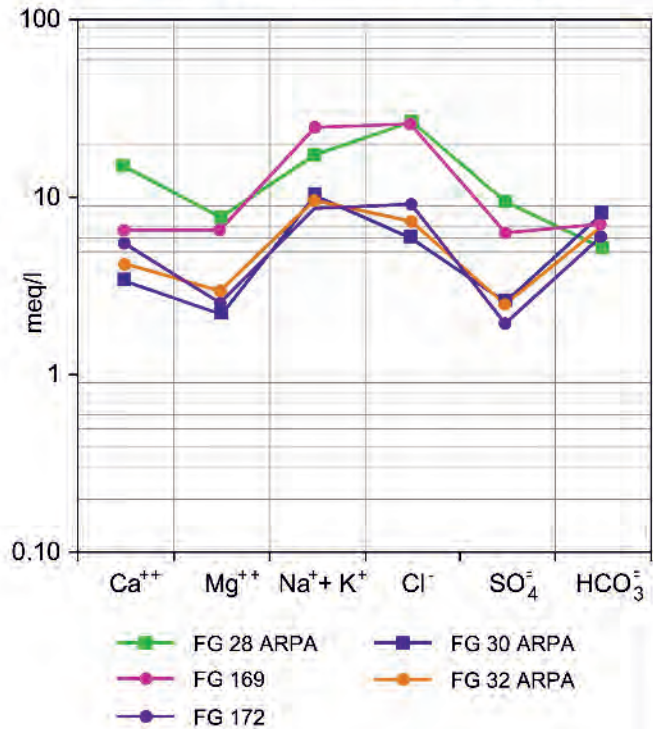
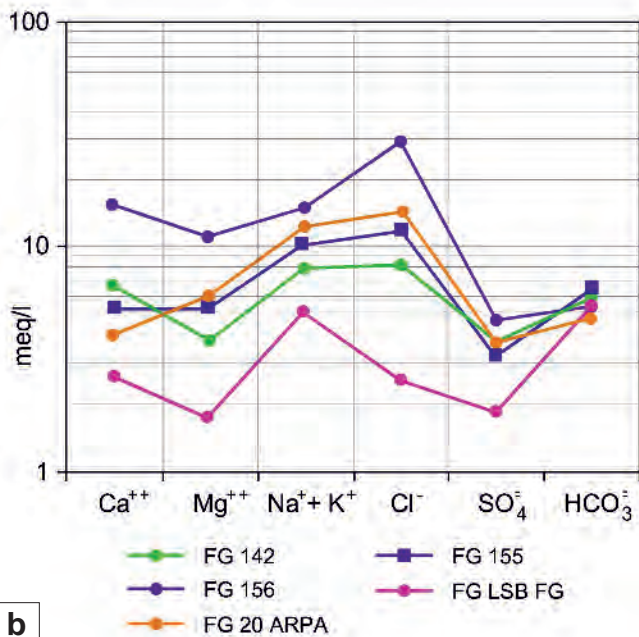
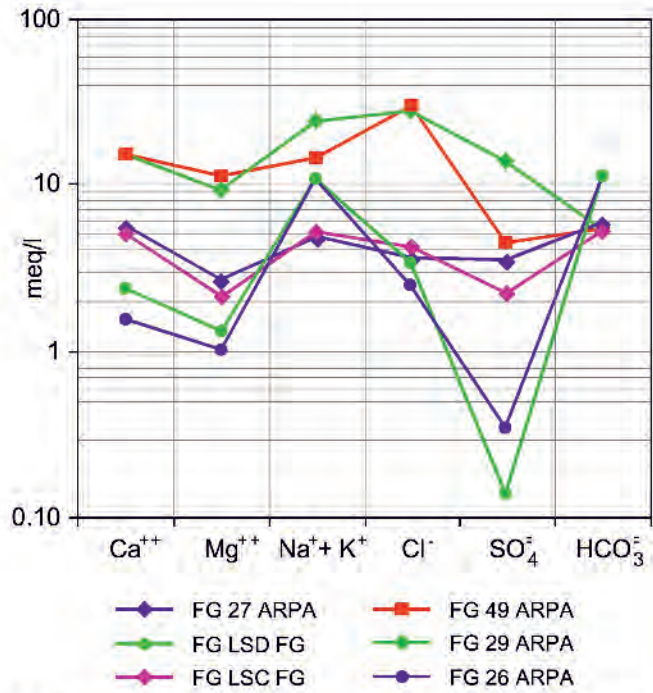
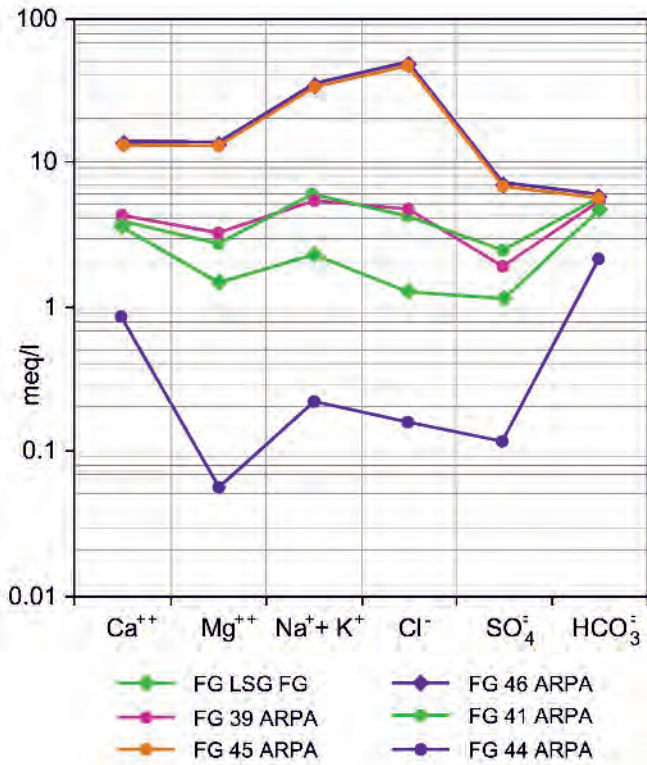


Fig. 14.23 – a) Diagrammi di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi FG 41, FG 73, FG 64, FG 02 ARPA, FG 140, FG 15 ARPA, FG 14 ARPA, FG 106, FG 21 ARPA, FG 119, FG 51, FG 19 ARPA, FG 114, FG 43 ARPA, FG 48 ARPA, FG LSA FG, FG LSE FG ed FG 51 ARPA, ubicati in figura 14.22). b) - Diagrammi di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi FG LSG FG, FG 46 ARPA, FG39 ARPA, FG 41 ARPA, FG 45 ARPA, FG 44 ARPA, FG 27 ARPA, FG 49 ARPA, FG LSD FG, FG 29 ARPA, FG LSC FG, FG 26 ARPA, FG 142, FG 155, FG 156, FG LSB FG, FG 20 ARPA, FG 28 ARPA, FG 30 ARPA, FG 169, FG 32 ARPA, FG 172 ubicati in figura 14.22.

- a) Schoeller diagram for wells FG 41, FG 73, FG 64, FG 02 ARPA, FG 140, FG 15 ARPA, FG 14 ARPA, FG 106, FG 21 ARPA, FG 119, FG 51, FG 19 ARPA, FG 114, FG 43 ARPA, FG 48 ARPA, FG LSA FG, FG LSE FG and FG 51 ARPA (location of wells is shown in figure 14.22); b) Schoeller diagram for the wells FG LSG FG, FG 46 ARPA, FG39 ARPA, FG 41 ARPA, FG 45 ARPA, FG 44 ARPA, FG 27 ARPA, FG 49 ARPA, FG LSD FG, FG 29 ARPA, FG LSC FG, FG 26 ARPA, FG 142, FG 155, FG 156, FG LSB FG, FG 20 ARPA, FG 28 ARPA, FG 30 ARPA, FG 169, FG 32 ARPA, FG 172 (location of wells is shown in figure 14.22).





**b**

rispetto al tratto di costa più a Nord, ove la falda è in pressione. Nella zona in cui le altezze piezometriche registrate dal 1987 al 2010 sono fortemente negative (figg. 14.15 e 14.16; tav. 4 f.t.), l'ingressione del mare nell'acquifero appare ostacolata, anche se il livello di falda è notevolmente inferiore al livello mare. La

presenza di formazioni argillose presso la costa può, infatti, ostacolare l'intrusione marina, tanto da consentire la depressione del livello di falda sotto il livello del mare (AURELI, 1983). Una conoscenza di maggior dettaglio delle caratteristiche litostratigrafiche e di permeabilità dei terreni in prossimità della

costa, renderà possibile la definizione dei rapporti esistenti tra la falda superficiale del Tavoliere ed il mare.

In conclusione non è da escludere che nel futuro le acque marine invadano completamente le porzioni di acquifero superficiale disposte al di sotto del livello del mare e che presentano altezze piezometriche riferite al livello mare negative, anche se tempi e modi di una tale intrusione non sono oggi presagibili. Questa valutazione illumina sulla urgenza di intervenire, secondo quanto già illustrato nel paragrafo precedente, al fine di ripristinare le altezze piezometriche originali della falda.

#### 14.4. – CARATTERI IDROGEOLOGICI DELL'ACQUIFERO PLIO-PLAISTOCENICO ARTESIANO INTERMEDIO

L'esigenza di reperire nuove risorse idriche sotterranee nell'area del Tavoliere ha indirizzato le ricerche verso profondità sempre maggiori, con l'obiettivo di raggiungere l'acquifero profondo circolante nei calcari mesozoici. Nel corso di tali ricerche svariate perforazioni hanno invece intercettato livelli di diversa potenza costituiti da sabbie più o meno limose, interposti nella formazione argillosa e contenenti acque in pressione. Tali livelli sono stati rinvenuti a quote variabili tra i 200 ed i 400 m sotto il livello del mare e, per quanto sia stato possibile desumere sulla base dei dati stratigrafici a disposizione, il loro spessore non supera le poche decine di metri (figg. 14.24 e 14.25).

I valori di permeabilità che caratterizzano queste lenti sabbiose sono dell'ordine di  $10^{-4}$  cm/s, come attestato dalle caratteristiche idrodinamiche valutate con prove di emungimento (COTECCHIA *et alii*, 1995). Le altezze piezometriche rilevate, invece, variano da valori anche superiori ai 200 m s.l.m. sino a valori dell'ordine di una decina di metri s.l.m. procedendo da SSO verso NNE, con una cadente piezometrica media di circa 10‰. Nelle aree in cui l'acquifero è sovrasfruttato, i carichi piezometrici in questo acquifero possono anche ridursi al di sotto del livello del mare. In ogni caso la cadente piezometrica rilevata sulla base delle altezze piezometriche misurate nei pozzi che intercettano tale acquifero non è indicativa di una variazione continua delle altezze piezometriche nell'area presa in

esame. Infatti, possono esistere volumi di acquifero inclusi nella matrice argillosa completamente isolati, così come schematicamente rappresentato in figura 14.24, in ognuno dei quali la falda può avere differente carico piezometrico. Le differenze di altezza piezometrica possono essere connesse anche all'esistenza di forti eterogeneità di permeabilità nell'ambito di un singolo dominio di filtrazione, che include i terreni argillosi meno permeabili e le inclusioni più permeabili, che connettono tali domini alle aree di alimentazione, forse ubicate nell'altopiano murgiano o sui primi rilievi dell'Appennino. La continuità laterale dei livelli acquiferi qui presi in esame è plausibile se si considera quali e quante possano essere state le cause che hanno determinato una variazione verticale di *facies* per variazioni temporanee nel trasporto nel bacino, a causa di variazioni del potere erosivo dei corsi d'acqua conseguenti alle variazioni del livello mare.

La potenzialità di questi livelli sabbioso-limosi è in genere bassa. L'estrazione da essi di portate inferiori a 15 l/s generano normalmente depressioni idrodinamiche di diverse decine di metri, che tendono ad aumentare nel tempo (COTECCHIA *et alii*, 1995).

La temperatura delle acque, compresa tra  $17^{\circ}$ ÷ $24^{\circ}$  nei pozzi riportati in figura 14.25, ma che può raggiungere anche i  $26^{\circ}$ , possono essere spiegate con il naturale aumento della temperatura con la profondità connessa al normale gradiente geotermico ( $25^{\circ}$ /km; MAGGIORE *et alii*, 1996).

Le acque di falda contenute nell'acquifero intermedio ricadono nel campo delle acque bicarbonato-sodiche (fig. 14.26) e presentano una concentrazione salina compresa nell'intervallo 0,4 ÷ 1,5 g/l. Per tutte le acque campionate  $\text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^-$  rappresentano circa l'80% del contenuto in solidi disciolti, con bassi contenuti di cloruri e solfati e la quasi assenza del  $\text{Mg}^{++}$ .

La *facies* idrochimica bicarbonato-sodica è tipicamente originata dalle reazioni di scambio cationico in acquiferi sedimentari contenenti permutiti, che sono state precedentemente a contatto con acque salate (COTECCHIA *et alii*, 1995). Infatti, quando un sedimento è in equilibrio con acque salate, le permutiti presenti nei sedimenti presentano ioni  $\text{Na}^+$  in elevata proporzione. Se tali sedimenti, in seguito, vengono a contatto con acque dolci



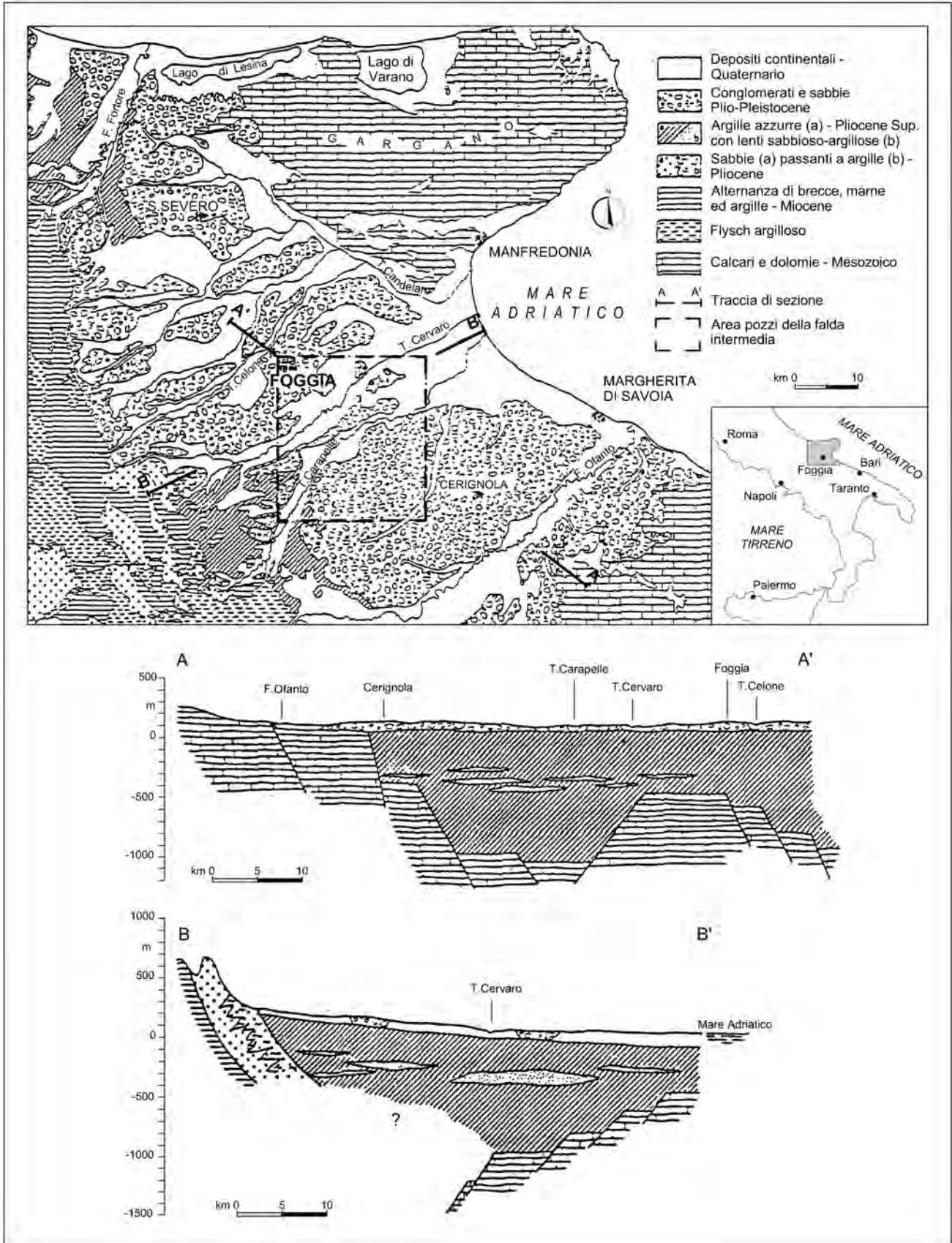


Fig. 14.24 - Carta geologica semplificata e sezioni schematiche del Tavoliere di Puglia con indicazione delle lenti sabbiose contenenti la falda plio-pleistocenica artesiana intermedia (da COTECCHIA *et alii*, 1995).

- Simplified geological map and schematic profiles of Tavoliere with indication of the sand lenses containing the Plio-Pleistocene intermediate artesian groundwater (after COTECCHIA *et alii*, 1995).



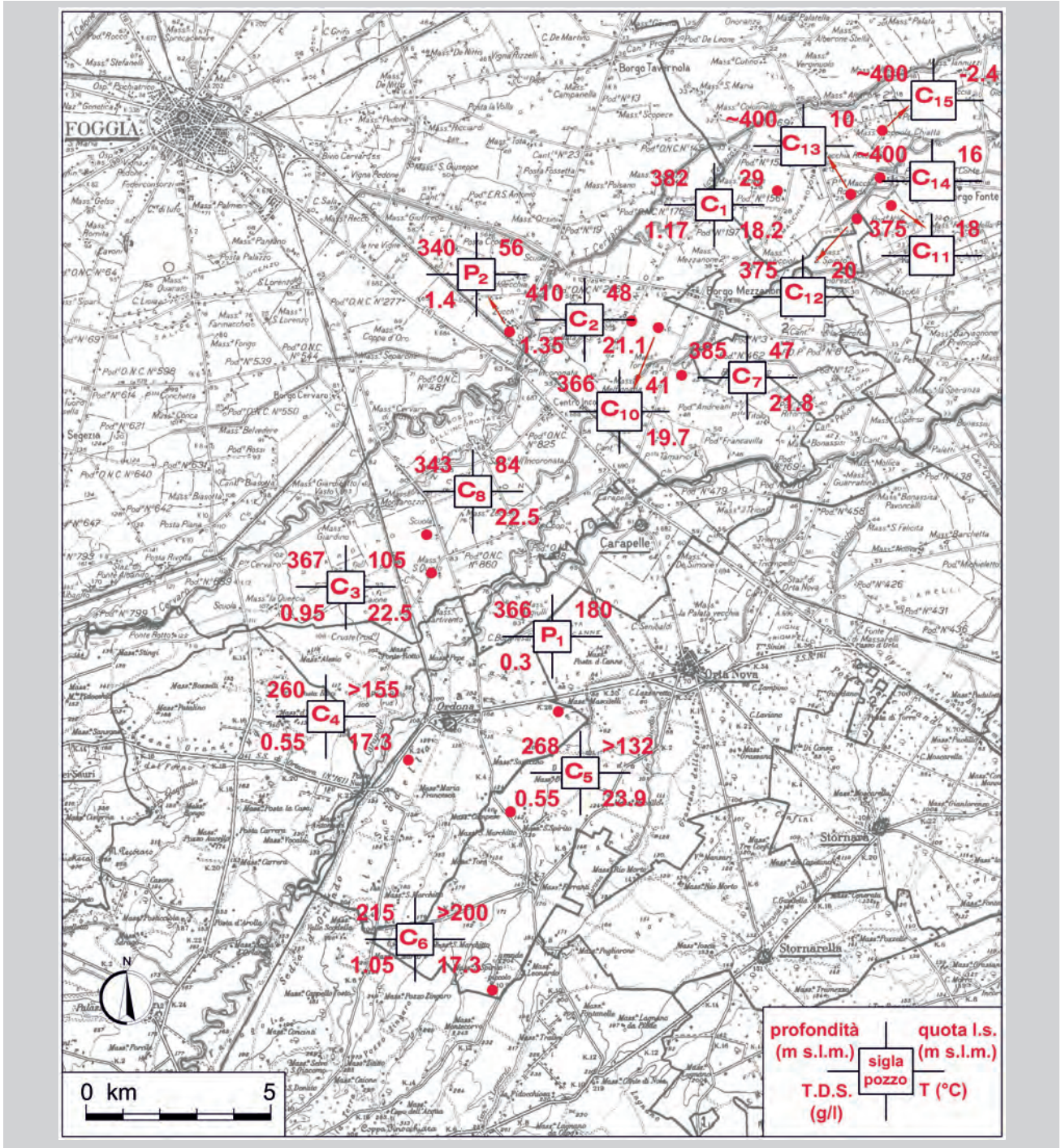


Fig. 14.25 - Ubicazione dei pozzi penetranti nell'acquifero intermedio del Tavoliere con indicazione delle principali grandezze geometriche, idrogeologiche e chimico-fisiche prese in esame (mod., da COTECCHIA et alii, 1995).

- Location of the wells penetrating the intermediate aquifer of Tavoliere with indication of the major geometric, hydrogeological and chemical and physical parameters considered (modified after COTECCHIA et alii, 1995).

contenenti prevalentemente ioni  $Ca^{++}$ , in relazione al disequilibrio chimico che si viene a creare tra le acque dolci ed il sedimento, si attivano reazioni di scambio cationico che tendono a ripristinare l'equilibrio tra ioni adsorbiti e ioni in soluzione. Il feno-

meno può portare ad una forte alterazione della composizione cationica iniziale dell'acqua dolce, che si arricchisce in  $Na^+$  e perde  $Ca^{++}$ , fino a che l'incremento del contenuto in ioni  $Na^+$  non comporti il raggiungimento dell'equilibrio. Questo tipo



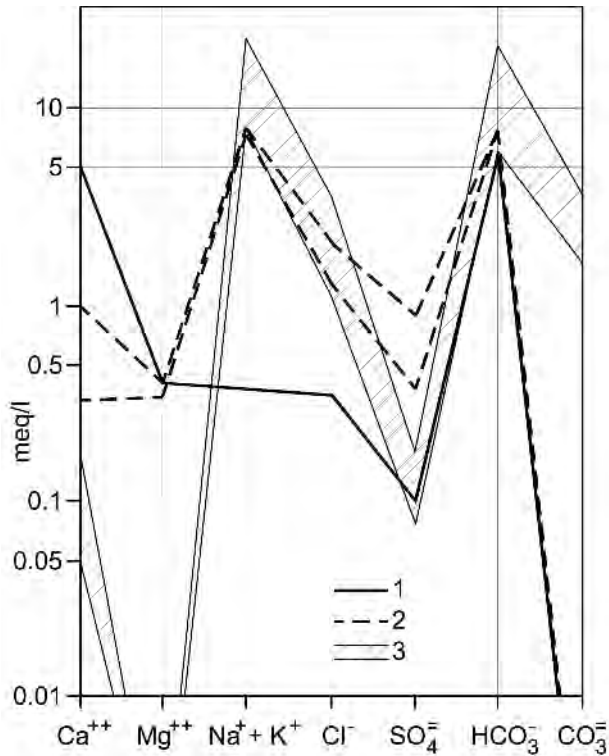


Fig. 14.26 - Chimismo delle acque sotterranee circolanti nell'acquifero della Murgia Nord-occidentale (1), e delle acque rinvenute nelle lenti sabbiose artesiane profonde del Tavoliere (2-3).

- Chemical composition of groundwater flowing in the aquifer of north-western Murgia (1), and of the waters found in the deep artesian sand lenses of Tavoliere (2-3).

di reazione di scambio è conosciuta come “scambio cationico diretto” (APPELO & POSTMA, 1993).

Il quadro interpretativo dianzi delineato lascia supporre che il chimismo delle acque contenute nelle lenti artesiane del Tavoliere sia stato generato da un “processo di lavaggio” dei sedimenti marini da parte di acque dolci, la cui provenienza è a tutt'oggi incerta. La debole salinità delle acque (0,5–1,5 g/l), il loro pH (8–8,7) e la loro *facies* idrochimica, concorrono nel confermare tale ipotesi. Conferma ulteriore deriva dalla determinazione del contenuto in <sup>14</sup>C e di <sup>δ</sup><sup>13</sup>C, <sup>δ</sup>D e <sup>δ</sup><sup>18</sup>O. Queste determinazioni concordano nel suggerire che la velocità di infiltrazione nelle lenti artesiane sia stata bassissima e che i tempi di residenza nell'acquifero siano stati quelli necessari all'arricchimento in Na<sup>+</sup> riconosciuto per le acque, le quali si sarebbero infiltrate circa 20.000 anni fa (COTECCHIA *et alii*, 1995).

Al fine di valutare le aree di alimentazione di tale acquifero va osservato che la presenza ad Ovest del Tavoliere (primi rilievi dell'Appennino Dauno) di estesi affioramenti di terreni sabbiosi incuneati

sotto i terreni della formazione delle Argille Azzurre (fig. 14.24), indica la possibilità che l'acquifero sia alimentato dalla circolazione in dette lenti. Questi affioramenti sabbiosi si presentano ad una distanza dall'area in esame dell'ordine di 50÷60 km. Ipotizzando che tra gli affioramenti sabbiosi presenti sui rilievi dell'Appennino Dauno e l'acquifero sabbioso intermedio plio-pleistocenico sussista una cadente piezometrica media pari a quella misurata tra i pozzi penetranti in quest'ultimo, ossia 10‰, si deriva un'altezza piezometrica pari a circa 500÷600 m s.l.m. in prossimità dell'Appennino.

Allo stato attuale la falda presente nelle lenti sabbiose artesiane del Tavoliere non è monitorata, essendo franato l'unico pozzo profondo penetrante nell'acquifero intermedio della rete di monitoraggio regionale (Progetto Tiziano). Tale pozzo, realizzato negli anni '90 nell'ambito della prima rete di monitoraggio regionale (cap. 27), presentava una profondità di circa 400 m dal piano campagna e rinveniva le lenti sabbiose artesiane ad una profondità di circa 330 m, per uno spessore di circa 30 m. Il livello di falda si stabilizzava, nell'anno 1996, a circa 41 m sopra il piano campagna, ossia a circa 135 m sopra il livello del mare. L'unica misura eseguita nell'ambito del Progetto Tiziano, risalente all'anno 2007, ha invece evidenziato un'altezza piezometrica di circa 88 m s.l.m, ivi indicando una riduzione del carico piezometrico di circa 40 m in 10 anni. Questa circostanza conferma la scarsa potenzialità dell'acquifero e la sua modesta rinnovabilità. Le potenzialità idriche di questa risorsa sono sicuramente molto esigue, tanto da non doverla ritenere strategica e/o complementare. Esso dovrebbe quindi essere utilizzato solo per brevi periodi e per usi locali che comportino l'estrazione di portate modeste. Va tuttavia segnalato che l'elevata concentrazione in Na<sup>+</sup> e la presenza, in alcuni casi, di Boro, rendono le sue acque molto spesso non idonee all'irrigazione.

Al fine di regolamentare l'attività di rilascio delle concessioni all'estrazione delle acque sotterranee contenute nell'acquifero intermedio del Tavoliere, risulta comunque necessario continuare a monitorare sia la qualità sia i carichi piezometrici di tale acquifero, così da poterne seguire l'evoluzione in funzione dei prelievi attuati.