

18. - AREA IDROGEOLOGICA DEL SALENTO

18.1. - INTRODUZIONE

L'area idrogeologica del Salento, di forma allungata in direzione appenninica e compresa tra il Mare Adriatico, ad Est, e quello Ionio, ad Ovest e a Sud, si estende per una superficie pari a circa 3400 km², al cui interno si individuano: parte della Piana Messapica a N-NO, la Terra d'Otranto ad Est, il Basso Salento a Sud e l'Arco Ionico compreso tra i comuni di Gallipoli e Maruggio ad Ovest (fig. 18.1). Superfici pianeggianti variamente estese, collegate con la Piana di Brindisi, caratterizzano il settore settentrionale del territorio in esame, mentre rilievi calcarei molto dolci, denominati "Serre Salentine", intervallati da depressioni, diversamente estese, definiscono il settore meridionale, noto come Basso Salento.

I calcari mesozoici, affioranti con i termini cretacei in corrispondenza delle Serre, costituiscono, in continuità con il vicino ambiente murgiano, l'impalcatura di base sulla quale poggiano i depositi carbonatici e argilloso-sabbiosi, appartenenti ai cicli trasgressivo-regressivi del Miocene e del Plio-Pleistocene.

All'interno dell'ammasso carbonatico mesozoico è presente un potente acquifero profondo, la cui falda è sorretta alla base dall'acqua di mare di invasione continentale, avvenendo, in questa porzione del territorio pugliese, la comunicazione sotterranea tra il Mare Adriatico e quello Ionio (cap. 2; COTECCHIA, 1976, 1977a).

Acquiferi superficiali si rinvergono localmente nei depositi miocenici e plio-pleistocenici sovrastanti al basamento cretaceo. Le falde di questi acquiferi hanno spessore, rilevanza ed estensione

variabile in ragione delle caratteristiche litologiche e strutturali delle formazioni che le ospitano e dei rapporti, quando presenti, con l'acquifero profondo carbonatico, con il quale sovente si riscontrano comunicazioni idrauliche.

Le prime ricerche idrogeologiche sulla Penisola Salentina sono attribuite al francese Arisitide Maugey, che nel 1864, al fine di risolvere il grave problema dell'approvvigionamento di acqua potabile per le comunità locali, prospettò la possibilità di captare le acque sotterranee dai calcari fessurati, formanti l'impalcatura di tutta l'area (ZORZI & REINA, 1956). Le ricerche compiute nel decennio 1870÷1880 da Ulderico Botti e dallo studioso locale Cosimo De Giorgi, unitamente ad approfondimenti stratigrafici e paleontologici, condussero alla redazione della prima Carta Geologica della Provincia di Lecce, alla scala 1:400.000, base cognitiva dei rilievi e delle elaborazioni cartografiche del secolo successivo (DELLE ROSE, 2005). Gli studi del De Giorgi, unitamente alla costruzione di un'importante opera idraulica, quale il "pozzo orizzontale" Cozza-Guardati, consentirono un notevole approvvigionamento idrico per la città di Lecce. Fu, tuttavia, con l'istituzione dell'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione, la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania e con i fondi stanziati dall'ex della Cassa per il Mezzogiorno che le ricerche sulle acque sotterranee salentine cominciarono ad assumere organicità e sistematicità.

Le riserve idriche sotterranee del Salento e, in particolare, quelle dell'acquifero carbonatico profondo hanno rappresentato nell'ultimo secolo la principale fonte per la crescita del settore agricolo dell'area, oltre che costituire la risorsa basilare per il settore potabile, contribuendo quindi allo sviluppo socio-economico di questa terra. La falda profonda è soggetta, tuttavia, a un'intensa ed incontrollata attività estrattiva, spesso condotta in forma abusiva, responsabile nel tempo della riduzione di spessore della lente di acqua dolce e del conseguente incremento della concentrazione salina delle acque di falda. Verosimile diventa dunque lo scenario di un futuro, neppure troppo lontano, in cui ci si dovrà confrontare con un'autentica catastrofe idrogeologica, indotta dalla progressiva ed incontrollata ingressione dell'acqua marina nel continente.

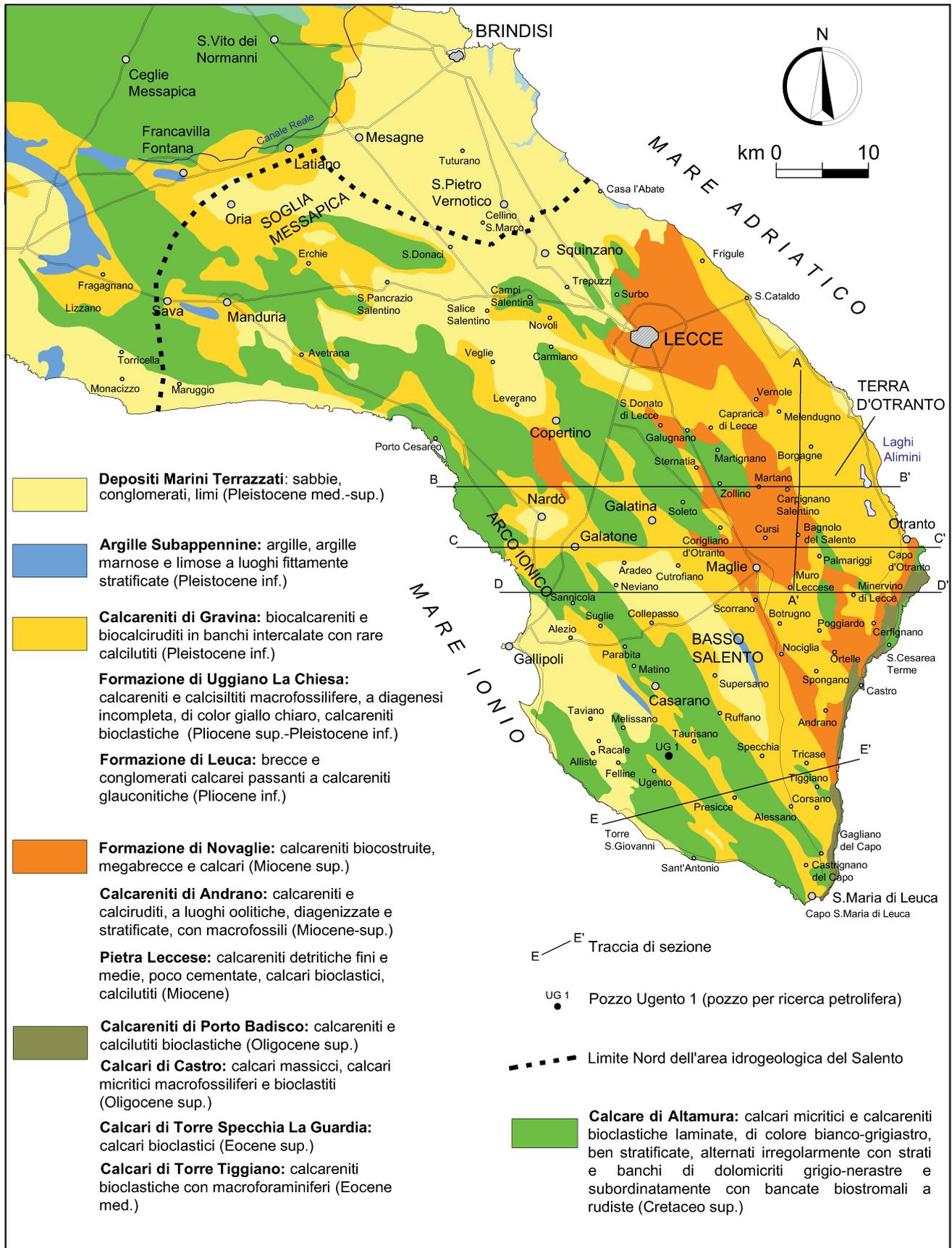


Fig. 18.1 - Carta geologica della Penisola Salentina.
- Geological map of the Salento Peninsula.

18.2. - ASPETTI LITOSTRATIGRAFICI DEL SALENTO

La Penisola Salentina è costituita da un'impalcatura di rocce carbonatiche di età giurassico-cretacea e subordinatamente dell'Eocene-Oligocene, formatesi in ambiente di piattaforma, sulla quale poggiano lembi, in parte isolati, di depositi essenzialmente calcarenitici e argilloso-sabbiosi appartenenti ai cicli trasgressivo-regressivi miocenici e plio-pleistocenici. Il carattere trasgressivo di questi depositi ha dato luogo, in tutta l'area salentina, a differenti rapporti stratigrafici. Le soluzioni di continuità tra i diversi litotipi affioranti non sono legate solo a fattori deposizionali connessi alla paleogeografia dell'area, ma anche alla successione di fasi tettoniche, che hanno dislocato i litotipi e portato a diretto contatto formazioni differenti per natura litologica ed età (figg. 18.1, 18.2).

18.2.1. - *Le unità cretaceo-oligoceniche*

Il basamento carbonatico mesozoico è costituito da calcari, calcari dolomitici e dolomie calcaree, disposti in strati suborizzontali o inclinati al massimo di 25-30°, riferibili alla formazione del Calcarea di Altamura (Cretaceo superiore). Tale formazione, che nel Salento ha unificato due formazioni geologiche conosciute come Calcari di Melissano e Dolomie di Galatina (CIARANFI *et alii*, 1988), affiora massivamente in corrispondenza delle Serre Salentine (fig. 18.2).

La potenza delle formazioni mesozoiche non è grande in affioramento, essendo dell'ordine di qualche centinaio di metri al massimo, mentre nel sottosuolo raggiungono profondità notevoli, come accertato dal pozzo Ugento 1, perforato dall'AGIP mineraria per ricerche petrolifere. Infatti, come enunciato al cap. 1, il pozzo, localizzato a circa 2,5 km ad E-SE dell'omonimo abitato (UG1, fig. 18.1 e tav. 1 f.t.) ha raggiunto la profondità di 4.535 m, attraversando una serie calcareao-dolomitica cretacea, fino a 4.400 m, ed una riferita al Giurassico, per profondità maggiori.

I calcari eocenici ed oligocenici presentano, invece, uno sviluppo arealmente più limitato affiorando in trasgressione sui calcari mesozoici lungo la fascia costiera compresa tra Otranto e S. Maria di Leuca (DI STEFANO, 1906; 1908; LAZZARI &

MONCHARMONT, 1955; BOSELLINI *et alii*, 1999; fig. 18.1; cap. 1).

In particolare, l'Eocene medio è rappresentato da calcareniti massive e macrofossilifere (Calcari di Torre Tiggiano) mentre l'Eocene superiore è definito da calcari bioclastici (Calcari di Torre Specchia la Guardia) i quali, lungo la costa fra Castro e S. Maria di Leuca, giacciono in discordanza sia sulla successione cretacea sia sui depositi dell'Eocene medio.

I depositi oligocenici, sovente presenti più estesamente in affioramento rispetto a quelli eocenici, sono rappresentati principalmente dai Calcari di Castro (complesso di scogliera) e dalle Calcareniti di Porto Badisco (di ambiente di piana intertidale esterna).

I Calcari di Castro, in contatto trasgressivo sul Calcarea di Altamura, passaggio segnato dalla presenza di un livello di breccie calcaree rossastre, sono costituiti in prevalenza da calcari bioclastici ben stratificati e da calcari organogeni in corpi massicci con facies di scogliera formati da Alghe, Coralli, Gasteropodi (CIARANFI *et alii*, 1988). Da un punto di vista litologico questa formazione è rappresentata da biolititi e, secondariamente, da biomicruditi, biomicriti fossilifere e dolomie, talora con liste e noduli di selce, mentre il riempimento interstiziale è dato da sparite e da frammenti organogeni.

Le Calcareniti di Porto Badisco sono essenzialmente costituite da calcareniti bioclastiche poco cementate, separate alla base dai Calcari di Castro da una superficie erosionale.

Nelle aree interne, localmente nelle depressioni strutturali, affiora la Formazione di Galatone (Oligocene superiore), non riportata nella carta geologica di figura 18.1 per la sua limitata estensione rispetto alla scala di riferimento. Trattasi di una successione di ambiente palustre costiero costituita da un'irregolare alternanza di marne calcaree e calcari a grana fine, di argille limose e/o limi con saltuarie intercalazioni sia di livelli lignitiferi, sia di paleosuoli argillo-sabbiosi di colore giallastro. Questa successione, generalmente in giacitura suborizzontale, è in più luoghi interessata da deformazioni di origine gravitativa. Essa poggia in trasgressione, con discordanza angolare, sul basamento carbonatico cretaceo, generalmente tramite l'interposizione di depositi residuali costituiti principalmente da terra rossa bauxitica (BOSSIO *et alii*, 1998; 1999; 2006).

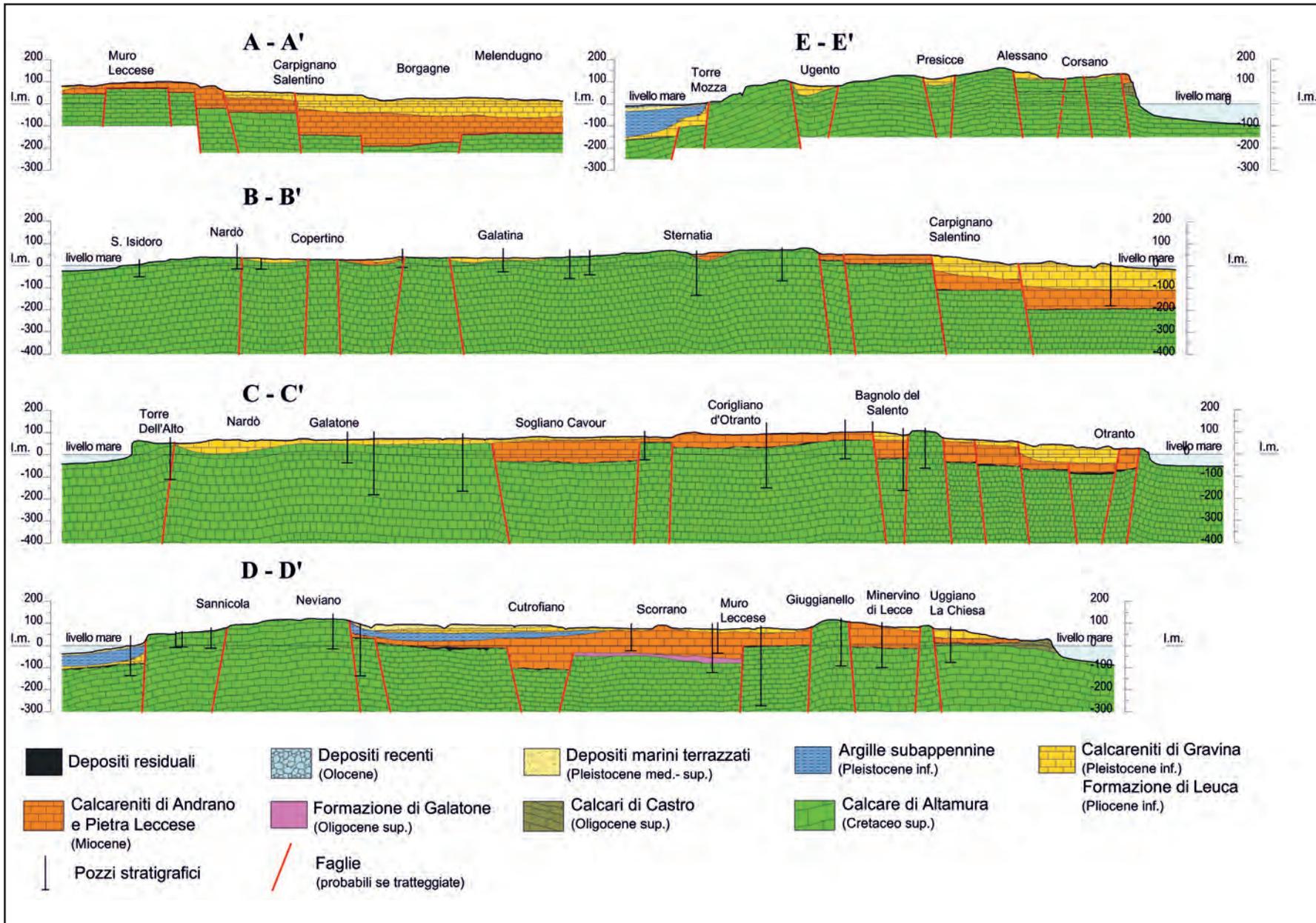


Fig. 18.2 - Sezioni geologiche schematiche della Penisola Salentina le cui tracce sono indicate in fig. 18.1.
 - Schematic geological profiles of the Salento Peninsula (traces shown in fig. 18.1).

In trasgressione su tale formazione giace la Formazione di Lecce (Oligocene), anch'essa non riportata nella carta geologica di figura 18.1 per la sua limitata estensione rispetto alla scala di riferimento. Secondo quanto riportato in BOSSIO *et alii* (2006), essa è caratterizzata da calcareniti massive di colore variabile dal biancastro all'avana, con accennata stratificazione in banchi di spessore variabile. Talvolta, agli strati calcarenitici s'intercalano strati sia di calcari micritici biancastri che di marne di colore avana. Le associazioni micropaleontologiche hanno permesso di attribuire la parte superiore della formazione rispettivamente al tratto iniziale del piano Aquitaniano (Miocene inferiore) mentre quella inferiore al Cattiano sommitale (BOSSIO *et alii*, 2006; MARGIOTTA, 1999).

18.2.2. - *Le unità mioceniche*

Le unità mioceniche, poggianti in trasgressione sull'impalcatura calcarea mesozoico-paleogenica, sono principalmente riferibili a due cicli sedimentari, separati da una lacuna stratigrafica, ben distinti per i caratteri paleogeografici e paleoambientali (cap. 1). Il ciclo più antico è rappresentato dalla Pietra leccese, quello successivo dalle Calcareniti di Andrano. Tali coperture affiorano diffusamente nella porzione orientale del Salento con spessori complessivi finanche superiori ai 150 m (figg. 18.1, 18.2).

La Pietra leccese (Burdigaliano-Messiniano inferiore) è costituita tipicamente da biomicrite a prevalente plancton calcareo, in parte compatta e friabile, a grana fine, talora marnosa, di colore giallo-pagliarino. La porzione superiore registra un contenuto leggermente glauconitico, conservando, così per alcuni metri, il colore giallo ma con "picchiettature" verdi scure; ad essa segue un intervallo ricco di granuli di glauconite, grazie al quale la colorazione passa ad un verde intenso e la formazione geologica presenta una manifesta friabilità (BOSSIO *et alii*, 2006, 2007). La Pietra leccese, mal stratificata in grossi banchi, giace trasgressiva e in discordanza sul substrato pre-neogenico con un livello conglomeratico, a clasti e fossili fosfatizzati e noduli di apatite, che localmente si riduce ad una pellicola fosfatica (BOSSIO *et alii*, 2006, 2007). Diverse "lacunosità" caratterizzano, quindi, l'intera formazione geologica, spesso

dovuta all'azione erosiva/dispersiva delle correnti. Infine, l'eterogeneità litologica di questa formazione coincide con una variabilità delle percentuali dei vuoti presenti nelle rocce, cui corrisponde una variabilità delle caratteristiche fisiche e meccaniche delle stesse rocce, spesso utilizzate nel campo dell'edilizia per la realizzazione di opere per esterni, interni ed arredi urbani (varietà della Pietra leccese: pirofamo, cucuzzara, dura, bianca, dolce, saponara, gagginara; COTECCHIA *et alii*, 1985). Essa affiora estesamente nel territorio del capoluogo salentino e nella parte centro-orientale della Penisola Salentina, altresì solo localmente ad Ovest di Lecce, con un lembo isolato nel territorio di Nardò (NICOTERA, 1953). La potenza della formazione non supera gli ottanta metri e si riduce notevolmente procedendo verso occidente, in prossimità delle Serre. Sulla base delle associazioni paleontologiche, la sedimentazione avrebbe avuto luogo in un conteso deposizionale profondo, riferibile alla parte esterna della zona neritica esterna (BOSSIO *et alii*, 2006; 2007).

Le Calcareniti di Andrano (Messiniano) rappresentano la fase regressiva del ciclo miocenico, ad eccezione dell'area di Leuca, ove costituiscono un ciclo a sé stante (BOSSIO *et alii*, 1989). Questa formazione è rappresentata da calcareniti e calcari, talora marnosi o con distinte intercalazioni marnose, riccamente fossilifera e di colore grigio chiaro con sfumature giallastre e biancastre. La roccia si può presentare a grana fine, molto compatta e tenace, ma anche a grana media, porosa e friabile, specialmente laddove è molto fossilifera, variamente diagenizzata e spesso con caratteristiche litologiche simile a quelle della Pietra Leccese (COTECCHIA, 2005).

Lungo il versante orientale della costa salentina, eteropica alle Calcareniti di Andrano, si è deposta la Formazione di Novaglie (Miocene superiore), un complesso di scogliera composto da tre unità sovrapposte clinostratificate, troncate alla sommità da superfici erosionali colonizzate da piccole scogliere sparse a vermitidi (BOSELLINI *et alii*, 1999).

18.2.3. - *Le unità plio-pleistoceniche*

Alle unità mioceniche seguono la Formazione di Lèuca e quella di Uggiano La Chiesa, depositatesi in seguito alla trasgressione marina iniziata in

Puglia al principio del Pliocene.

La Formazione di Lèuca (Pliocene inferiore) è costituita da breccie e conglomerati calcarei, in genere eterogenei ed eterometrici, poco fossiliferi, con potenza massima di 30 m, passanti verso l'alto a biomicriti glauconitiche semicoerenti di colore giallo verdastro, massive o con saltuaria stratificazione in banchi. Localmente nella porzione alta della formazione, sono presenti anche marne biancastre, marne sabbiose e talora calcareniti giallastre. Le microfaune caratterizzanti la formazione geologica in esame palesano una subsidenza dell'ambiente di sedimentazione che l'ha condotto rapidamente fino a profondità compatibili con la zona neritica esterna (BOSSIO *et alii*, 1989).

La Formazione di Uggiano la Chiesa (Pliocene superiore-Pleistocene inferiore), affiorante prevalentemente lungo la fascia costiera tra Otranto e Melendugno, è costituita da un'associazione di litofacies tra cui prevalgono le sabbie calcaree, le calcareniti marnose ed i calcari bioclastici (COTECCHIA, 2005). Secondo quanto descritto in BOSSIO *et alii* (1989), questa formazione mostra un'evidente stratificazione, è molto fossilifera e raggiunge uno spessore massimo di circa 60 m; mentre la sua base trasgressiva è talora marcata da una breccia, più spesso da un livello conglomeratico a elementi e fossili fosfatizzati. Infine, le associazioni bentoniche indicano batimetrie della zona neritica interna e solo localmente profondità leggermente superiori.

Estesamente su tutta l'area salentina ed in particolare nelle zone depresse che raccordano le Serre, affiorano, in lembi discontinui, le Calcareniti di Gravina (Pleistocene inferiore; figg. 18.1 e 18.2), in passato anche note come Calcareniti del Salento (CIARANFI *et alii*, 1988). Questi depositi, di ambiente neritico-litorale, talora con episodi sub-lagunari, sono rappresentati da calcareniti grossolane in parte friabili e porose e da calcari detritico-organogeni compatti, a luoghi tipo "panchina" (BOSSIO *et alii*, 2007; COTECCHIA, 2005), di colore avana-giallastro. Localmente si rinvencono anche intervalli calcarenitici a grana fine o sabbie organogene. Inoltre, livelli sabbioso-argillosi e siltosi, di colore grigio-verdolino, sono presenti nelle porzioni inferiori della formazione mentre in quelle superiori s'intercalano livelli decimetrici argillosi e marnosi. Infine, conglomerati

o breccie di modesti spessori caratterizzano la base della formazione. Nell'insieme la stratificazione è evidente, anche se irregolare, ricorrenti sono le bioturbazioni e la stratificazione incrociata (BOSSIO *et alii*, 2007). In base al contenuto fossilifero, l'ambiente di sedimentazione non è stato molto profondo ed è ascrivibile alla zona neritica interna. Infine, le Calcareniti di Gravina passano, verso l'alto e lateralmente per alternanza, alle Argille Subappennine (Pleistocene inferiore). Trattasi di argille e argille marnose, a luoghi fittamente stratificate, di colore grigio e giallastro, passanti verso l'alto ad argille limose e/o sabbiose.

Come esposto nel capitolo 1, la storia geologica più recente (Pleistocene medio-superiore) è caratterizzata dalla sedimentazione di depositi di spiaggia e piana costiera a granulometria variabile dalle sabbie ai conglomerati fino alle sabbie limose ed a limi, disposti secondo terrazzi marini e corrispondenti alle relative variazioni del livello del mare (glacioeustatismo pleistocenico-olocenico). Tali sedimenti, ascrivibili alla Formazione dei Depositi Marini Terrazzati, affiorano estesamente nella depressione tarantino-brindisina e sotto forma di lembi allungati in direzione appenninica, nella parte centro-occidentale della Penisola salentina (figg. 18.1, 18.2).

18.3. - CARATTERI TETTONICI E MORFOLOGICI

Una generale concordanza fra morfologia e tettonica caratterizza la Penisola salentina (MARTINIS, 1961, 1962a e 1962b), la quale, come descritto già al capitolo 1, è rappresentata da un pilastro tettonico asimmetrico allungato in direzione NO-SE con il fianco occidentale più sviluppato, e dislocato da faglie dirette, (NO-SE o NNO-SSE), in una serie di blocchi sub-paralleli (CIARANFI *et alii*, 1988; fig. 18.3). Oltre a queste strutture tettoniche predominanti, il territorio è dislocato da altri lineamenti tettonici, trasversali ai precedenti oppure di direzione meridiana, come ad esempio quelli rilevati tra Porto Badisco ed Otranto, presso S. Cesarea Terme e lungo la costa ad Est di Tiggiano. Ricostruendo alcune sezioni sulla base delle stratigrafie derivanti da perforazioni dei pozzi per la ricerca d'acqua eseguiti dall'Ente Irrigazione di Puglia e Lucania, è stato accertato che il rigetto di

alcune faglie, sebbene non calcolabile con esattezza, assuma valori variabili da qualche decina di metri ad oltre 100 m (fig. 18.2).

Oltre agli elementi tettonici di tipo disgiuntivo, il territorio in esame è interessato da deformazioni plicative (CIARANFI *et alii*, 1988; fig. 18.3), orientate in direzione appenninica (NNO-SSE o NO-SE), caratterizzate da deboli pendenze degli strati che solo raramente superano i 10°-15°. Le blande anticlinali presentano generalmente uno sviluppo asimmetrico, con fianchi Sud occidentali più ampi di quelli opposti, e spesso interrotti dalle faglie, prodottesi a seguito dell'intensa attività tettonica che ha coinvolto questo settore dell'Avampese Apulo verso la fine del Cretaceo (cap. 1) e che causò l'emersione di alcune dorsali asimmetriche.

Le dorsali, corrispondenti agli alti strutturali con direttrici prevalenti orientate NNO-SSE, costituiscono, come affermato in precedenza, le Serre salentine, descritte nel seguito, mentre le valli fra loro interposte rappresentano aree depresse, alquanto pianeggianti, ove affiorano i terreni plio-quadernari. Di conseguenza la morfologia regionale è caratterizzata dalla presenza di superfici orizzontali dalle quali si elevano alcune dorsali, parallele tra loro e generalmente allungate in direzione NNO-SSE o NO-SE, che raramente superano la quota di 200 m (CIARANFI *et alii*, 1988; MARTINIS, 1961, 1962a e 1962b). Come meglio esposto nel seguito, le dorsali del settore occidentale del territorio salentino, con quote gradualmente degradanti verso lo Ionio, sono più ravvicinate tra loro, mentre quelle del settore orientale sono più distanziate tra loro e le aree pianeggianti presentano pertanto uno sviluppo maggiore. Localmente, queste dorsali sono interrotte da rilievi molto dolci, che a Sud del Canale d'Otranto assumono, lungo la costa, un aspetto più accidentato. Oltre alle vicissitudini tettoniche, a tracciare l'attuale morfologia del Salento hanno concorso le oscillazioni quadernarie del livello marino, che hanno lasciato, lungo le fasce costiere, evidenti tracce di terrazzamento e di fenomeni carsici. Questi ultimi fenomeni sono i responsabili dello sviluppo di un'articolata varietà di forme carsiche, a sviluppo superficiale o profondo, descritte nel seguito. Le diverse forme carsiche si rinvengono prevalentemente lungo le direzioni dei principali

elementi tettonici presenti nel territorio salentino (fig. 18.4), caratterizzato da un variabile grado di fratturazione, maggiormente intenso nel substrato cretaceo-paleogenico rispetto alle successioni sedimentarie più recenti (COTECCHIA, 2005).

Sul versante adriatico, la costa fino ad Otranto è generalmente poco frastagliata, bassa e sabbiosa ad eccezione di alcuni brevi tratti in cui si presenta alta e rocciosa. Oltre il Canale d'Otranto, la costa salentina diventa aspra e rocciosa con pareti che scendono a strapiombo sul mare.

18.3.1. - *Le Serre Salentine*

A differenza delle zone strutturalmente depresse e pianeggianti, le Serre sono colline rocciose corrispondenti agli alti strutturali, descritti in precedenza, che si erigono a Sud di Lecce. Esse sono maggiormente sviluppate nel settore Sud-occidentale della penisola, ove tra l'altro si rinvengono i rilievi più estesi ed elevati dell'intero territorio salentino, tra cui: Serra di S. Eleuterio (195 m s.l.m.) presso Parabita e Serra dei Cianci (201 m s.l.m.) presso Alessano. Le Serre del versante orientale digradano direttamente verso il mare, mentre quelle della zona mediana sono caratterizzate da numerosi terrazzamenti realizzati per le coltivazioni.

Sulla base delle peculiarità strutturali della penisola salentina (MARTINIS, 1961, 1962a) sono state individuate le tre macroaree indicate in figura 18.3. La prima macroarea, che corrisponde al settore sud-occidentale della penisola, presenta strutture ravvicinate e separate da sinclinali o da graben molto stretti. Nella seconda macroarea, che corrisponde al settore Sud-orientale della penisola, le pieghe sono maggiormente distribuite e le aree depresse talora sono molto estese. La terza macroarea, che corrisponde al settore settentrionale della penisola, è infine caratterizzata da strutture tettoniche con morfologie dolci e di elevazione modesta.

Nella I^a macroarea, tra i comuni di Gallipoli e S. Maria di Leuca, laddove i sedimenti calcarei cretaci sono largamente affioranti, sono presenti tre alti strutturali, paralleli tra loro. Il primo, situato ad Ovest di Alliste, lungo la costa del Mar Ionio, è denominato Serre di Castelforte (90 m s.l.m.) e di Calaturo (86 m s.l.m.); strutturalmente



Fig. 18.3 - Carta tettonica della Penisola Salentina.
- Tectonic Map of the Salento Peninsula.

è costituito da una monoclinale, immersa verso Ovest, con pendenze comprese tra 5° e 15° . Il secondo, a Sud di Melissano ed Ugento, è caratterizzato da uno stile strutturale più complesso, poiché, ad una immersione generale dei calcari verso Sud-Ovest, si associano fenomeni plicativi, delimitanti due anticlinali, separate da una piccola e stretta sinclinale, interessata da rotture calcaree e riempita di sedimenti pleistocenici. Il terzo alto strutturale, allungato in direzione NNO-SSE tra Melissano e Punta Ristola, estrema punta meri-

dionale della Penisola, è caratterizzato, accanto a fenomeni disgiuntivi frequenti al bordo orientale del rilievo calcareo, da alcune pieghe con asse ad orientamento NNO-SSE oppure NO-SE (fig. 18.2, Sez. E-E').

Si passa poi all'allineamento delle Serre presenti tra Galatone e Gagliano del Capo, costituenti le cosiddette Murge Salentine: Serra Mucorone (139 m s.l.m.), Serra dei Peccatori (159 m s.l.m.), la Serra dei Cianci (201 m s.l.m.), ecc. Esse si sviluppano attraverso quasi l'intera Penisola, con direzione

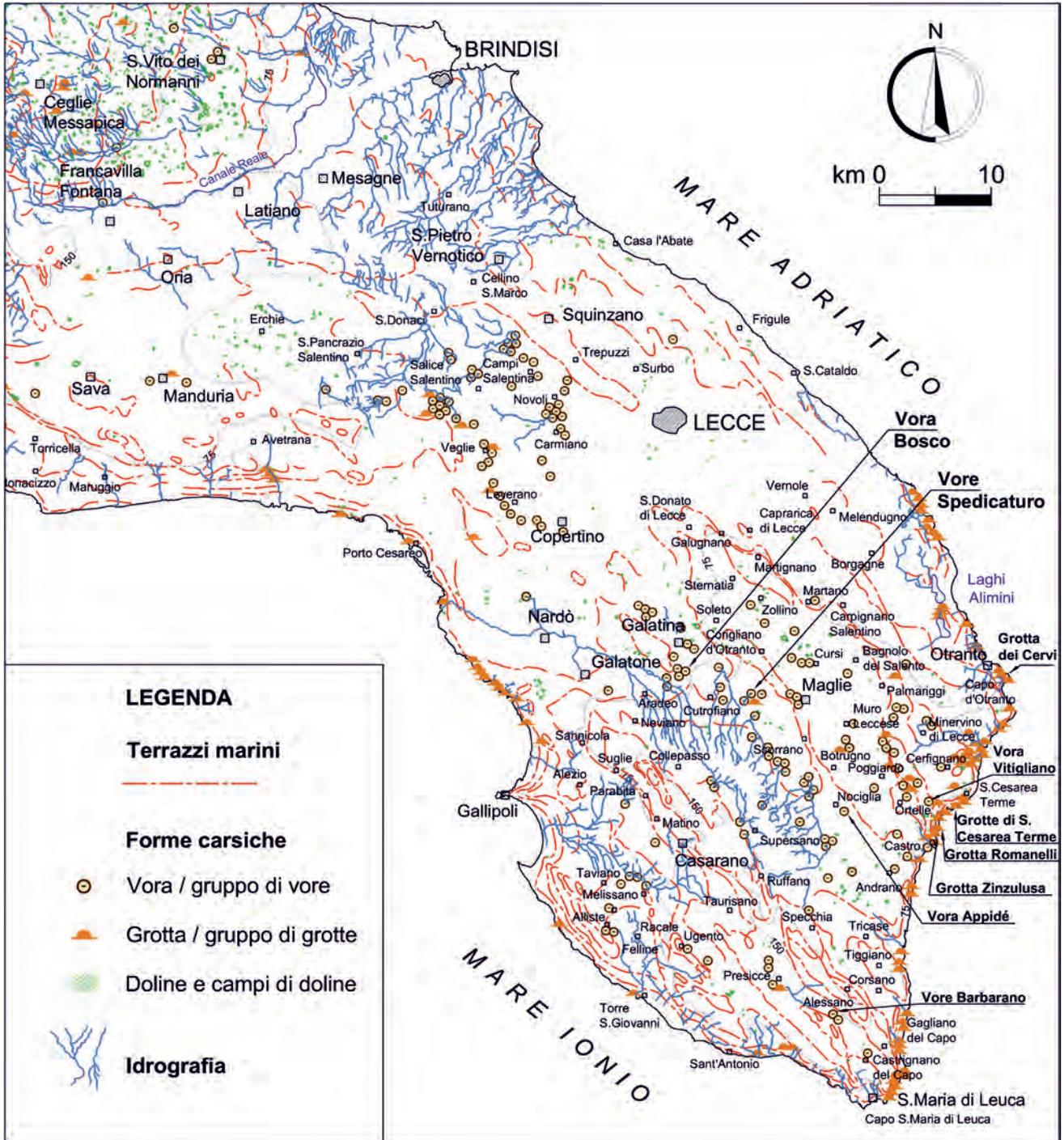


Fig. 18.4 - Carta geomorfologica della Penisola Salentina.
- Geomorphological map of the Salento Peninsula.

NNO-SSE. Questo lembo calcareo mesozoico rappresenta il complesso strutturale più esteso e disturbato della Penisola che, nel suo insieme, ha le caratteristiche di un horst di lunghezza pari a circa 45 km e larghezza massima di 7 km (nei pressi di Galatone e tra Casarano e Collepasso). Le faglie che lo delimitano sono particolarmente evidenti sul

fianco Nord-orientale, dove i calcari sono molto fratturati e si rilevano talora brecce di frizione e specchi di faglia. Lungo questa rottura è presente, in genere, una scarpata, alta sino a 20-30 m, come nei dintorni di Neviano. Numerose altre rotture interessano l'horst, soprattutto con direzione NNO-SSE e NO-SE; esse interrompono la generale e

debole immersione degli strati calcarei verso SO, dividendo l'alto strutturale in blocchi secondari. È stato rilevato anche qualche fenomeno plicativo; in particolare, se ne citano due degni di nota, a Sud di Collepasso e tra Presicce e Taurisano, laddove sono presenti modeste e strette pieghe, di tipo anticlinale, con asse a direzione NNO-SSE e fianchi con pendenze non superiori a 5°.

Procedendo ulteriormente verso oriente, nell'area compresa tra Gagliano del Capo ed Otranto (II^a Macroarea), si rileva una sostanziale diversità strutturale rispetto alla zona precedentemente descritta. Il lembo più meridionale, affiorante presso Tiggiano, è costituito da sedimenti cretaci, che generalmente immergono verso Ovest e Sud-Ovest, eccetto che nei pressi della costa adriatica, costituita da un'alta e ripida falesia, ove essi pendono verso Est.

A Nord dell'horst di Tiggiano, sempre lungo la costa, s'individuano due alti strutturali, in corrispondenza della Serra di Poggiardo (126 m s.l.m.), e tra S. Cesarea Terme e Porto Badisco; essi hanno caratteristiche di monoclinali, interessate da faglie, immerse rispettivamente verso NE e NO, dove si delinea una sinclinale colma di sedimenti quaternari, avente orientazione N-S.

Altre strutture si sviluppano lungo il settore centrale della II^a macroarea dando luogo a due dorsali, orientate secondo le prevalenti direttrici tettoniche: la prima coincide con le strutture anticlinali affioranti da Minervino di Lecce a Carpignano Salentino, mentre la seconda dorsale, ubicata più ad occidente, individua la fascia di affioramenti miocenici che, da Castiglione d'Otranto si spingono verso NNO, fino all'altezza dell'abitato di Maglie.

Infine, la III^a macroarea (figg. 18.2-18.3, Sez. B-B') presenta tre strutture tettoniche a morfologia molto dolce, sopraelevate solo di qualche decina di metri rispetto alla piana circostante. Le quote maggiori (circa 80 m s.l.m.) si raggiungono in corrispondenza della Serra di Specchia Murga, tra Corigliano d'Otranto e Soletto (MARTINIS, 1961, 1962a). La prima struttura si estende ad Ovest di Galatina, con direzione NO-SE, per una lunghezza di oltre 8 km ed una larghezza massima di 4,5 km; lungo quasi tutto il suo margine, i depositi cretaci s'immergono regolarmente al di sotto di quelli più recenti,

in genere quaternari. Nella seconda struttura, tra S. Donato di Lecce e Corigliano d'Otranto, si individuano due anticlinali: quella di Soletto, lunga 5,6 km con pendenze medie di 4°-5°, con asse ad orientamento NNO-SSE quasi rettilineo e quella di Corigliano con asse ad orientamento NO-SE. Anche nella terza struttura, più orientale, si individuano due anticlinali, denominate di Zollino e di Martignano, entrambe orientate lungo la direzione NNO-SSE, separate da una sinclinale, parzialmente colma di depositi miocenici, e complicate da fenomeni disgiuntivi. Le due pieghe sono asimmetriche, con pendenze variabili tra 5° e 10°.

18.3.2. - *Il paesaggio carsico del Salento*

Nel Salento, caratterizzato, come detto, dalla presenza quasi esclusiva di rocce carbonatiche, il processo carsico ha modellato una gran varietà di forme sia epigee sia ipogee, sviluppandosi con effetti e modalità differenti in relazione alla litologia affiorante e ai caratteri strutturali del territorio, alle condizioni climatiche vigenti e alle vicende paleogeografiche che hanno distinto i diversi settori costituenti la regione salentina (fig. 18.4). Tra le forme carsiche più rilevanti si possono annoverare quelle modellate nei calcari cretacei (CRESCENTI & VIGHI, 1964, SANSÒ, 1997), le grotte costiere dei calcari cretacei e paleogenici oppure i campi di doline presenti in seno alle Calcareniti di Gravina (SELLERI *et alii*, 2002).

Come per le altre aree carsiche pugliesi, il paesaggio carsico della Penisola Salentina è caratterizzato dalla presenza di complessi di forme non coevi, modellato nel corso di più fasi morfogenetiche, avvenute tra il Cretaceo e l'Attuale (GRASSI, 1983). La più antica di queste fasi ha una età paleogenica ed è ben nota in letteratura (CRESCENTI & VIGHI, 1964, SANSÒ, 1997). Durante questa fase è stato modellato il paesaggio carsico di tipo tropicale, caratterizzato dalla presenza di grandi doline (con diametro superiore a 100 m e profondità di diverse decine di metri) e di bassi rilievi a scudo. Un esteso lembo di questo paesaggio si è conservato in corrispondenza della superficie della Serra di Monte Vergine, nell'entroterra di Otranto. Inoltre, la superficie carsificata modellata durante questa fase è stata

estesamente fossilizzata nell'Oligocene e Miocene (SELLERI *et alii*, 2002). La terza fase morfogenetica, sviluppatasi tra la fine del Pleistocene inferiore e la prima parte del Pleistocene medio, è quella che ha lasciato le "tracce" più evidenti e diffuse, e quindi una notevole densità spaziale ed un marcato sviluppo delle forme carsiche di superficie e sotterranee. Detta fase sarebbe terminata quando, nel corso del Pleistocene medio, il mare sommerse quasi completamente il Salento e la superficie carsica fu ricoperta (fossilizzata) da sedimenti sabbiosi, limosi ed argillosi. In tempi più recenti, presumibilmente tra la fine del Pleistocene medio e l'Olocene, in seguito al ritiro del mare, si è verificata, per erosione dei sedimenti che la ricoprivano, la riesposizione locale della superficie carsica e la sua parziale riattivazione (fig. 18.5). Attualmente, in diverse zone della Penisola Salentina, sono esposti lembi variamente estesi di questa superficie, costituenti le principali aree carsiche della penisola, la cui dinamica geomorfologica è condizionata dalla presenza dei depositi sabbioso-argillosi poco permeabili. Dalle aree di affioramento di questi depositi, infatti, cospicui volumi di acque di pioggia defluiscono verso le aree carsiche utilizzando una rete idrografica poco articolata; le acque di pioggia, quindi, tendono ad accumularsi nelle depressioni, determinando estesi allagamenti, che si risolvono solo grazie al lento passaggio dell'acqua nel sottosuolo attraverso i numerosi inghiottitoi. Quest'assetto geomorfologico rappresenta un classico esempio di "carsismo di contatto o di bordo" (SELLERI *et alii*, 2003).

Nella Penisola Salentina, le forme carsiche più evidenti sono, quindi, le doline e gli inghiottitoi (vore). Lungo la fascia costiera ionica, sono inoltre particolarmente frequenti le "spunnulate", doline originatesi per il crollo della volta di cavità sottostanti.

Le principali vore del Salento rappresentano il recapito finale di reticoli endoreici in parte sviluppati, i cui bacini idrografici si estendono su aree vaste, per decine di chilometri quadrati. Generatisi in rocce molto fratturate, di profondità medie di circa 30 metri, questi inghiottitoi si distinguono in: doline di ricarica puntuale, doline alluvionali (cover sinkholes), doline da crollo (cave-collapse sinkholes) e doline di soluzione normale (SANSÒ & SELLERI, 2004). Numerose sono le voragini tra Campi

Salentina, Novoli, Salice e Nardò. Nel Salento centro meridionale si ricordano: Vora Bosco, avio di Maglie, Vora di Andrano, Vora Barrine di Galatina, Vore di Salice Salentino, Vora Appidè di Corigliano, Vora di Scorrano, Vora Castagna, Vora di Supersano, Vora di Spedicaturo e Surano. Mentre nel Salento orientale si citano: Capoverdone di Veglie, inghiottitoio di Montevergine, Vora di Vitigliano, abisso di Castro. Infine nella porzione meridionale della penisola si ricordano: Vora di Barbarano, Vora Pansera a Gagliano del Capo, e Vora del Mito ad Andrano (ZEZZA & ZEZZA, 1999). Tra tutte quelle succitate, le vore di cui si discute più nel dettaglio nel seguito sono quelle ritenute più rappresentative, per le loro peculiarità, del fenomeno carsico del Salento.

La Vora Bosco (figg. 18.4, 18.6) è un inghiottitoio ubicato nei pressi di Noha, frazione di Galatina, e rappresenta, in questo momento, la più profonda cavità carsica nota del Salento leccese.

Il sistema carsico Vore Spedicaturo, poco a Sud di Nociglia (fig. 18.4), è uno dei più estesi del Salento ed è costituito dalle quattro cavità, Vora grande, Inghiottitoio Leptospiria, Vora Piccola e Vora Nuova, in collegamento tra loro e disposte lungo la direttrice NNO-SSE. L'inghiottitoio Leptospiria rappresenta il principale punto di assorbimento del sistema: al suo interno, infatti, confluiscono le acque del Canale Fontanelle, un corso d'acqua a carattere temporaneo, il cui bacino si estende prevalentemente sui territori comunali di Montesano e Miggiano. La circolazione idrica ipogea è condizionata esclusivamente dalle piogge: durante gli eventi meteorici le acque di pioggia confluiscono nel sistema carsico attraverso l'Inghiottitoio Leptospiria e, dopo un breve percorso a pelo libero, si muovono all'interno di condotte impraticabili, ricomparendo in vari punti all'interno della cavità. Le grandi gallerie rappresentanti la parte conosciuta del sistema carsico sono percorse dalle acque solo in occasione degli eventi meteorici più intensi, frequenti nel periodo autunnale e primaverile.

Le Vore di Barbarano (figg. 18.4, 18.7) sono due profonde doline da crollo, poste tra i centri abitati di Barbarano e Ruggiano, che da sempre hanno attirato l'attenzione di studiosi e ricercatori. Secondo quanto descritto in PARISE (2008), le due Vore

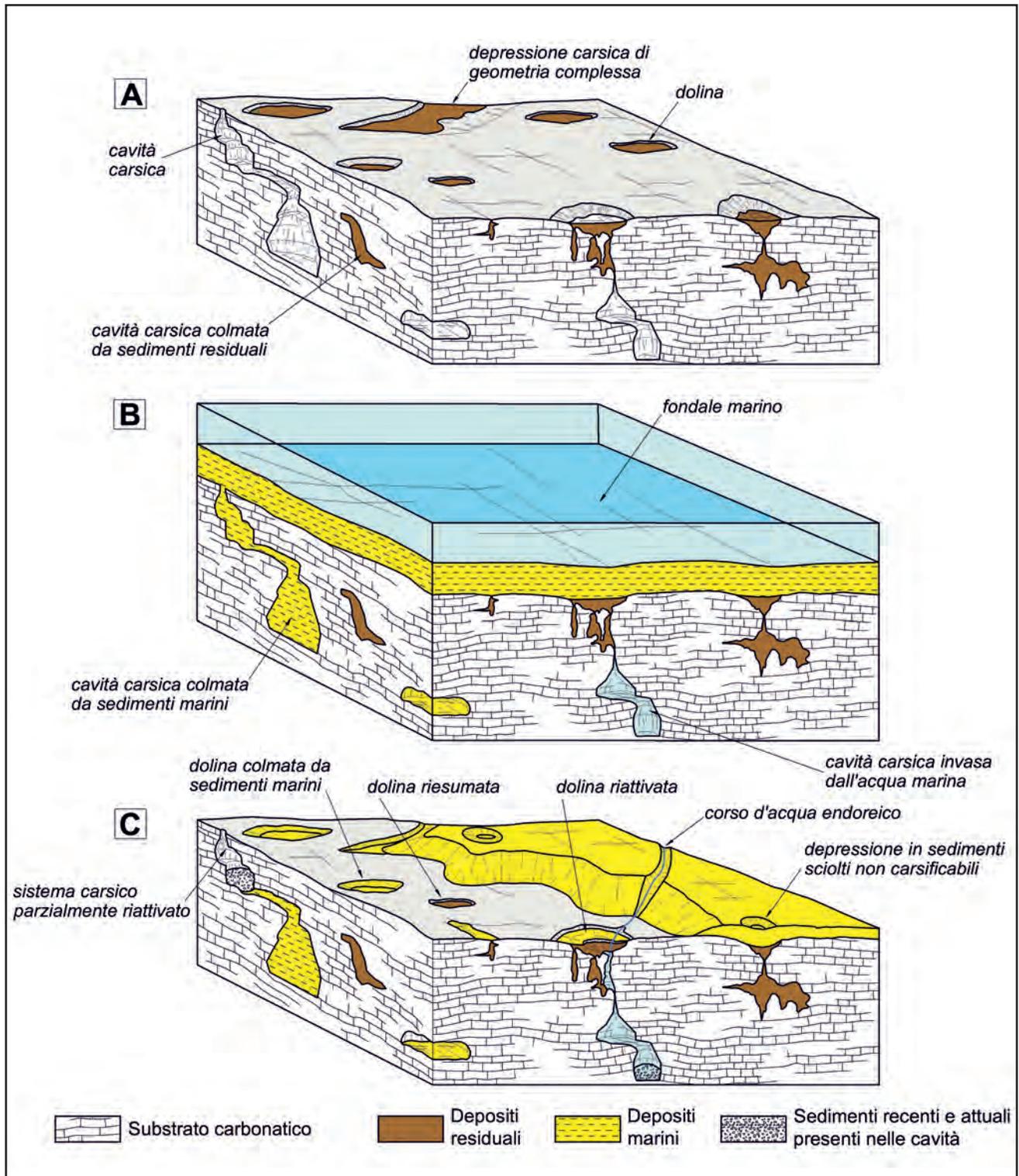


Fig. 18.5 - Nei settori interni del Salento leccese, il paesaggio fisico è essenzialmente il prodotto di una successione di eventi morfogenetici succedutisi tra il Pleistocene e l'Olocene. Tra la fine del Pleistocene inferiore e l'inizio del Pleistocene medio (A) ha preso forma un paesaggio caratterizzato da una notevole densità spaziale e un marcato sviluppo delle forme carsiche di superficie e sotterranee. Nel corso del Pleistocene medio (B) il mare invase quasi completamente la Penisola salentina e la superficie carsica fu sepolta (fossilizzata) da sedimenti marini. Tra la fine del Pleistocene medio e l'Olocene (C), in seguito al ritiro del mare, si è verificata, per erosione dei sedimenti marini, la riesposizione della superficie carsica e la sua parziale riattivazione (mod., da AA.VV., 2008).

- In inland Salento, the physical landscape is mainly the result of a series of morphogenetic events occurred between the early Pleistocene and the Holocene. Between the end of the early Pleistocene and the beginning of the middle Pleistocene (A) a landscape displaying high density and marked development of surface and underground karst features took shape. During the middle Pleistocene (B) the sea almost completely flooded the Salento Peninsula and the karst surface was buried (fossilized) under marine sediments. Between the end of the middle Pleistocene and the Holocene (C), due to the sea retreat, and as a result of erosion of marine sediments, the karst surface was re-exposed and partially reactivated (modified after AA.VV., 2008).

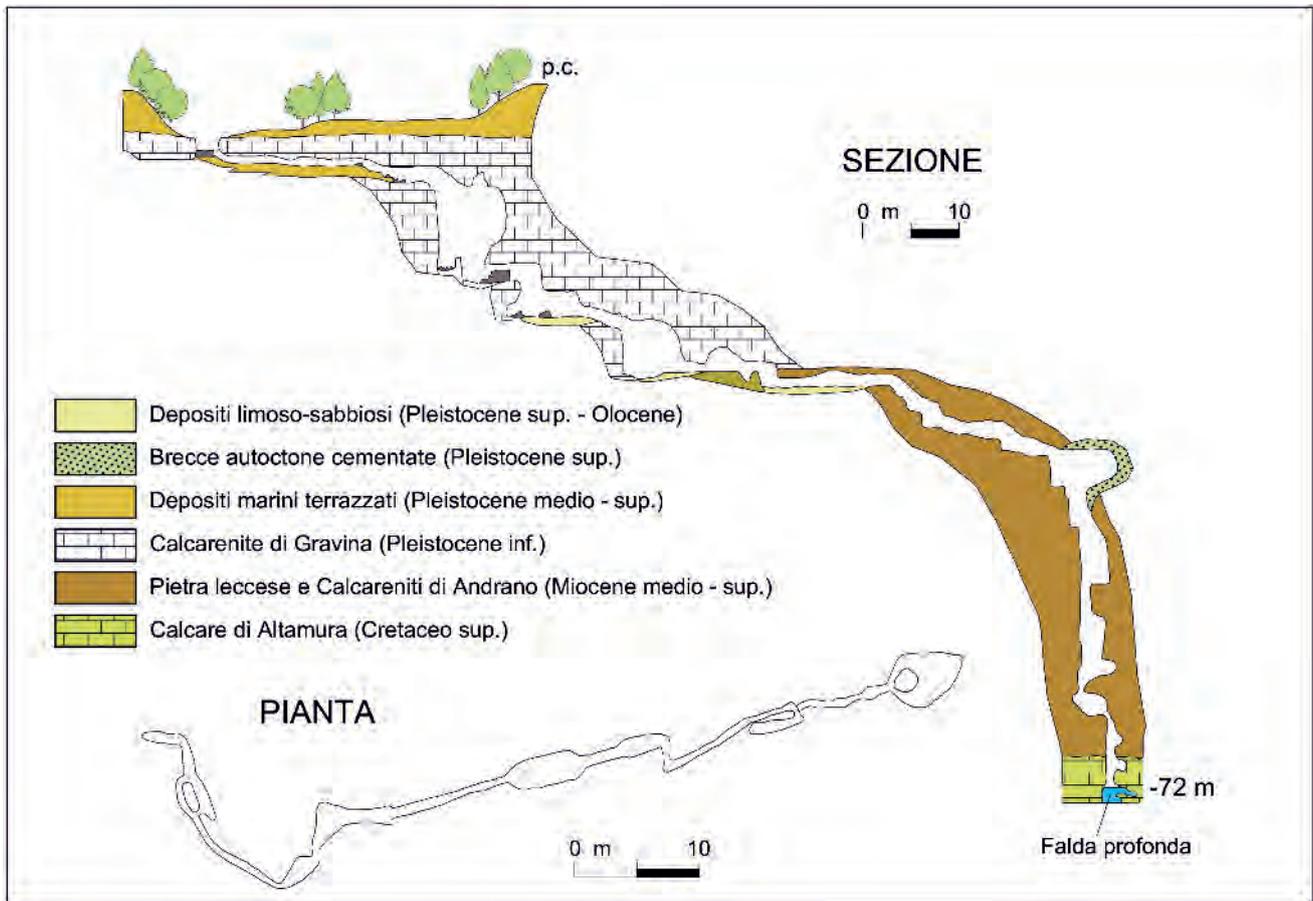


Fig. 18.6 - Pianta e sezione della Vora Bosco ubicata in fig. 18.4 (mod., da AA. VV., 2008).
 - Map and profile of the Vora Bosco (location shown in fig. 18.4; modified after AA. VV., 2008).

hanno profondità, rispettivamente, di 35 m e 25 m, e assi di maggiore lunghezza pari a 30 m in direzione N-S (Vora Grande) e 15 m in direzione NW-SE (Vora Piccola). Le Vore di Barbarano si trovano lungo la via di pellegrinaggio mariano che fu particolarmente diffuso nell'area del Capo di Leuca tra il '500 e il '600 (CHIURI, 2000). La più antica descrizione delle vore risale al 1693, ad opera del frate Luigi Tasselli. GIACOMO ARDITI (1878) ne fa solo menzione, mentre Cosimo De Giorgi ne parla in diversi scritti della fine del 1800 (DE GIORGI, 1896). MOSCARDINO (1957) segnala il rinvenimento, sul fondo delle cavità, di "manufatti silicei" e di resti di *Bos primigenius* e *Cervus elaphus*. Intorno alle vore sono presenti diffuse tracce di un'attività estrattiva antica che ha parzialmente modificato la geometria degli imbocchi. Le cavità hanno entrambe un elevato valore ecologico: il loro fondo è, infatti, colonizzato da una vegetazione sciafila ed igrofila che annovera, tra l'altro, la

lingua di cervo (*Asplenium scolopendrium*); le pareti, invece, sono colonizzate da *Adiantum capillus-veneris*, *Anogramma leptophylla*, *Hedera Helix* e *Ficus carica* (BECCARISI *et alii*, 2003).

La Vora di Vitigliano, nel comune di Santa Cesarea Terme (fig. 18.4), è una tra le più note cavità carsiche del Salento leccese, profonda circa 40 m (CAPUTO *et alii*, 2002), esplorata e studiata da numerosi ricercatori sin dalla fine del 1800. Questa cavità fu descritta nel 1888 da Cosimo De Giorgi come "una grande voragine, denominata la Vora dei Tre Ponti, capace di inghiottire tutte le acque che si raccolgono in un vasto bacino prodotto dallo sprofondamento del suolo".

Nell'area del comune di Corigliano d'Otranto, si apre la Vora Appidé (fig. 18.4). Si tratta di un'imponente cavità composta da tre distinti ambienti (fig. 18.8). La cavità, un tempo, era il principale inghiottitoio di un reticolo idrografico, oggi smembrato in più tronconi, che occupava un vasto bacino compreso tra gli abitati di Montesano e Miggiano,

e gli abitati di Maglie, Cutrofiano e Corigliano. Nonostante gli afflussi idrici all'interno della cavità rappresentino un evento eccezionale, l'interesse scientifico per questa grotta resta comunque grande in quanto, attraverso lo studio dei sedimenti che vi sono conservati, sarebbe possibile ricostruire l'evoluzione geomorfologica di una vasta porzione del settore centrale del Salento leccese.



Fig. 18.7 - Vista dall'alto della Vora grande di Barbarano ubicata in fig. 18.4 (Fonte: Google.com).
- Eye-bird view from above of the Vora grande at Barbarano (location shown in fig. 18.4; Source: Google.com).

Per quanto riguarda il carsismo ipogeo, esso assume forme imponenti prevalentemente lungo la fascia costiera, dove sono presenti cavità caratterizzate da ingressi ampi e scenografici. In questi ultimi anni, tuttavia, è stata rilevata la presenza di estesi complessi ipogei anche nei settori interni della penisola. Nel tratto costiero a Sud di Otranto, il fenomeno carsico ipogeo si manifesta in tutta la sua dimensione con numerose grotte marine, molte delle quali oggi rivestono grande importanza sotto il profilo storico e paleontologico. A titolo d'esempio, si citano: la Grotta dei Cervi di Porto Badisco, famosa per i ritrovamenti di graffiti risalenti ad epoche preistoriche; la Grotta Romanelli, nelle vicinanze di Castro, abitata sin dalla più remota preistoria; la Grotta Zinzulusa (fig. 18.9), che a differenza delle precedenti è aperta al pubblico; essa, oltre a conservare tracce di antichissime civiltà, offre un meraviglioso spettacolo di stalattiti, simili a stracci o cenci ("zinzuli") appesi, da cui deriva il nome. Ugualmente famose, per il carattere termale e sulfureo delle acque in esse sgorganti, sono le grotte di Santa Cesarea Terme, a prevalente sviluppo orizzontale (cap. 4).

Il numero cospicuo di grotte lungo il tratto costiero da Otranto sino a Santa Maria di Leuca è da ricondurre alla disposizione di faglie e fratture che

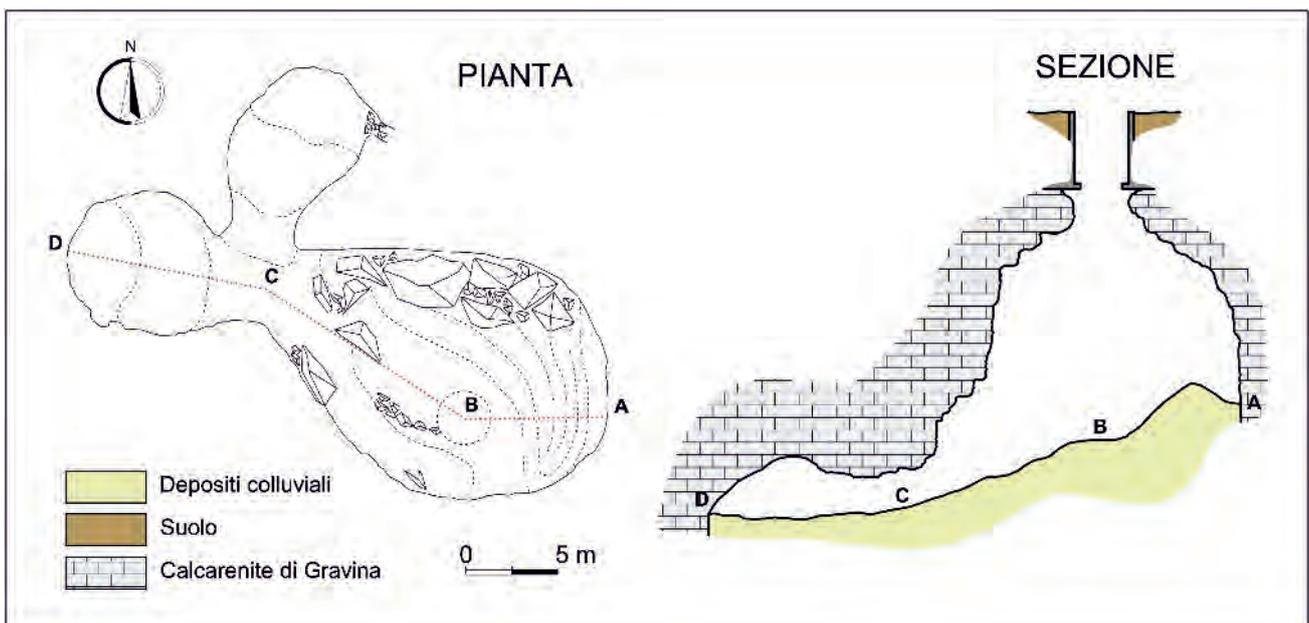


Fig. 18.8 - Pianta e sezione della Vora Appidè ubicata in fig. 18.4 (da AA. VV., 2008).
- Map and profile of Vora Appidè (location shown in fig. 18.4; after AA. VV., 2008).

ha favorito il deflusso delle acque sotterranee verso la linea di costa. Oltre alla natura litologica dell'ammasso roccioso, anche la distribuzione e le modalità di sviluppo delle forme carsiche hanno, infatti, un rapporto diretto con l'assetto tettonico delle masse carbonatiche (cap. 1).

18.4. - IDROGEOLOGIA

Nella Penisola Salentina è possibile distinguere un acquifero profondo, che con continuità impegna le masse calcaree e dolomitiche mesozoiche in tutta l'area, ed una serie di acquiferi locali ospitati nei depositi terziari e quaternari sovrastanti, sovente definiti "acquiferi superficiali" (COTECCHIA *et alii*, 1957; ZORZI & REINA, 1963). Questi ultimi presentano spesso potenzialità idrica molto modesta, non confrontabile con quella dell'acquifero profondo. Salvo

locali eccezioni, la falda profonda costituisce, quindi, l'unica risorsa idrica significativa disponibile nel territorio salentino. Essa è alimentata dalle precipitazioni meteoriche che insistono sull'area e, a Nord-Ovest, dalle acque sotterranee provenienti dall'acquifero dell'Area Idrogeologica della Murgia.

La possibilità di utilizzo delle risorse idriche sotterranee contenute nell'acquifero profondo è fortemente condizionata dal fenomeno dell'intrusione marina. L'acqua di mare, in particolare, rappresenta il livello di base della circolazione idrica sotterranea che si sviluppa nei calcari cretacei del Salento. Essa si rinviene con continuità alla base della falda di acqua dolce, determinando la intercomunicazione idraulica sotterranea tra il Mare Adriatico ed il Mare Ionio (fig. 18.10). In ragione delle leggi che regolano l'equilibrio idraulico tra falda di acqua dolce e sottostante acqua di mare, la prima assume la caratte-



Fig. 18.9 - Ingresso della grotta Zinzulusa (Comune di Castro) ubicata in fig. 18.4.
- Entrance of the Zinzulusa Cave, in the Municipality of Castro (location shown in fig. 18.4).

ristica conformazione a lente, con massimo spessore nella zona centrale della penisola, ove pressappoco si localizza lo spartiacque sotterraneo che suddivide la porzione di falda che si dirige verso il Mar Adriatico da quella che si riversa invece nel Mar Ionio.

Nel presente capitolo la descrizione dei caratteri idrogeologici del Salento inizia con l'illustrazione dei cosiddetti acquiferi superficiali e dei singolari rapporti idraulici esistenti tra questi e l'acquifero profondo, determinati dalle locali condizioni geologico-strutturali e litostratigrafiche. Si passerà quindi all'illustrazione dei caratteri idrogeologici dell'imponente acquifero profondo cretacoico e delle condizioni di degrado qualitativo e quantitativo in cui lo stesso attualmente versa.

Prima di procedere alla descrizione dei caratteri idrogeologici, si è ritenuto, inoltre, opportuno anteporre alcune informazioni storiche riguardanti l'evoluzione delle conoscenze sulle acque sotterranee di questo importante territorio, cogliendo l'occasione per dare anche un breve ritratto dello scienziato salentino Cosimo de Giorgi, figura di rilievo della cultura naturalistica ottocentesca pugliese.

18.4.1. - *Cenni storici sull'idrogeologia del Salento*

La quasi totale assenza di risorse idriche superficiali nel Salento ha da sempre stimolato la ricerca di acque sotterranee; questa avvenne inizialmente attraverso lo scavo a mano di pozzi. Normalmente, si raggiunsero profondità dell'ordine di 10÷15 m, difficilmente superabili in assenza di mezzi meccanici. In alcuni casi, grazie alla natura talora particolarmente favorevole del sottosuolo, i pozzi a scavo raggiungevano anche i 40÷50 m di profondità. Ciò

avvenne soprattutto nei paraggi della città di Lecce, ove lo scavo nella Pietra Leccese non necessitava di rivestimento, grazie alle caratteristiche della roccia, tenera e al tempo stesso compatta. In rari casi si osservano pozzi a scavo di profondità dell'ordine di 100 m, realizzati in formazioni difficilissime da scavare persino con mezzi meccanici (ad esempio la roccia calcarea fessurata). Si tratta evidentemente di opere colossali, la cui mole ancor oggi impressiona l'osservatore. Di solito lo scavo dei pozzi si arrestava a 1,5÷2,0 m sotto il livello di falda ed in tali condizioni si riusciva ad attingere portate anche di 2÷3 l/s. L'acqua era sollevata per mezzo di norie con azionamento animale, poi gradualmente sostituite da piccole motopompe centrifughe a benzina o a petrolio (ZORZI & REINA, 1956).

Alla fine del XIX secolo si registrò una generale forte diminuzione delle piogge e la conseguente scarsità d'acqua determinò morie di bestiame ed il diffondersi di epidemie e pestilenze tra le popolazioni. Il 1867 e il 1886 furono anni particolarmente critici durante i quali molte furono le vittime del colera, soprattutto tra le classi agricole ed operaie, tanto nel barese come nel leccese. La mortalità aumentò specialmente dove le acque derivavano da falde idriche superficiali che, durante i periodi siccitosi, trasportavano elevate concentrazioni di materia organica, dovute alla ridotta diluizione idrica. L'inquinamento batteriologico degli acquiferi pliocenici e pleistocenici costituì quindi una decisiva sollecitazione alla ricerca di acque sotterranee profonde, più adatte ai bisogni umani (DELLE ROSE, 2005).

I primi studi, tendenti a risolvere in maniera organica e definitiva il problema dell'acqua potabile per l'approvvigionamento di questo territorio, fu-

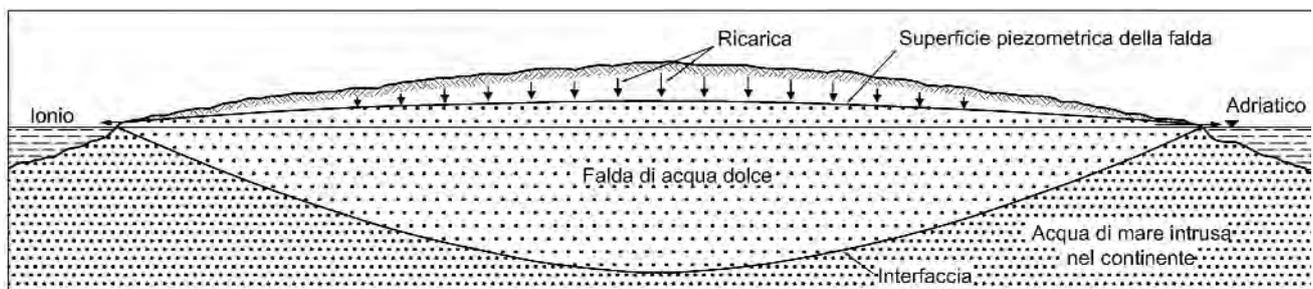


Fig. 18.10 - Preliminare schematizzazione dell'intrusione marina in Salento, così come indicativamente rappresentata nei primi anni '50 (da COTECCHIA *et alii*, 1957; COTECCHIA, 1958).

- Sketch of seawater intrusion in Salento dating back to the early 1950s (after COTECCHIA *et alii*, 1957; COTECCHIA, 1958).

rono intrapresi, su richiesta del Consiglio Provinciale di Lecce, nel 1864, dall'idrologo francese Aristide Mauget. Egli fu il primo a ipotizzare che si potessero rinvenire notevoli quantità di acque sotterranee nelle rocce terziarie e quaternarie della Penisola Salentina, ovvero nei calcari fessurati formanti l'impalcatura di tutta l'area (VIGNOLA, 1960). Allo stesso periodo risalgono gli studi del Prof. Raffaele Pareto, Ispettore centrale delle bonificazioni e irrigazioni, incaricato dall'allora Ministro dell'Agricoltura, Industria e Commercio, Luigi Torelli, di un'ispezione alle paludi, alle risaie ed alle irrigazioni del Regno d'Italia. Le ricerche misero in luce chiaramente le scadenti condizioni igieniche presenti nella Provincia di Lecce verso la metà dell'ottocento. Egli studiò le lande paludose che si incontravano lungo la costa adriatica, come quella di San Cataldo ad Oriente di Lecce, e tra il Promontorio di Leuca e Gallipoli. Il prof. Pareto fece inoltre menzione delle numerose depressioni senza scolo che si incontravano nella parte interna e continentale della Penisola Salentina, responsabili della stagnazione delle acque e dunque delle condizioni malsane in cui versavano le popolazioni.

Dopo gli studi del Mauget, per molti anni nessuna trivellazione fu effettuata in corrispondenza dei punti indicati dall'idrologo francese. Nell'autunno del 1870 fu proposto dal Prof. Giuseppe E. Balsamo di "*aprire pratiche sia con l'abate Richard sia con altri, che potessero rinvenire per mezzo della raddomanzia sorgenti di acque perenni nel sottosuolo per pozzi economici?*". Anche questa proposta non trovò (fortunatamente!) seguito.

È in questi anni che, come descritto nel breve ritratto che segue a lui dedicato, Cosimo De Giorgi cominciò ad occuparsi di studi naturali riguardanti la provincia di Lecce. In particolare, l'Avv. Ulderico Botti, Consigliere delegato della Prefettura ed appassionato di tali tematiche, lo incaricò di effettuare uno studio regolare e metodico delle acque sotterranee in base alla litologia ed alla stratigrafia delle rocce costituenti il sottosuolo salentino (Cenni di stratigrafia e idrografia salentine considerate nei loro rapporti con la nostra agricoltura - Bollet. del Comizio agr. di Lecce, An. II, N. 2 e 3, Lecce 1871). In questo lavoro, De Giorgi tracciò le prime linee della serie litologica della provincia

di Lecce e raccolse tutte le informazioni note sui pozzi esistenti.

Nel 1935, il Servizio Idrografico dello Stato pubblicò il fascicolo "Le Acque sotterranee in Italia - la Regione Pugliese", che raccoglieva ed elencava tutti gli elementi all'epoca noti (MARGIOTTA & NEGRI, 2004). Successivamente, l'Ente per lo Sviluppo dell'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania avviò le prime indagini sistematiche sulle acque sotterranee del Salento (COTECCHIA 1955, 1956, 1958; COTECCHIA *et alii*, 1957; ZORZI & REINA, 1955, 1956, 1963). Dette ricerche consentirono di evidenziare per la prima volta la peculiarità del sistema idrogeologico pugliese in generale, ove le formazioni carbonatiche carsiche, affioranti o meno, sono sempre esposte al fenomeno dell'intrusione marina. Negli anni Settanta e Ottanta del secolo scorso vennero poi eseguiti studi sistematici, con tecniche all'avanguardia a livello mondiale, che consentirono di definire nel dettaglio le caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi salentini.

Le ricerche eseguite nel secolo scorso hanno fornito importanti indicazioni programmatiche per il corretto e razionale uso delle acque sotterranee (COTECCHIA, 1974, 1975, 1976, 1977a; COTECCHIA *et alii*, 1957; MARGIOTTA & NEGRI, 2004), sfociate persino in piani regionali elaborati per la tutela e la salvaguardia degli acquiferi. Esse, come sarà meglio descritto nel seguito, non sono state prese purtroppo in adeguata considerazione dagli organi preposti alla tutela e salvaguardia degli acquiferi.

18.4.1.1. - Ritratto di Cosimo De Giorgi

Cosimo de Giorgi (1842-1922) fu un esponente di rilievo della cultura dell'ottocento salentino, sia per la molteplicità degli argomenti da lui trattati, sia per la competenza e la chiarezza con cui all'epoca "*lo scienziato della grande fatica*", come lo definì Colamonicò, si accostava a qualsiasi argomento relativo alla Terra d'Otranto ed al Salento più in generale (VIGNOLA, 1960; LAPORTA, 2002).

Laureatosi in medicina all'Università di Pisa nel 1864, a soli 22 anni, insegnò per oltre 35 anni negli

istituti scolastici superiori ed affiancò l'esercizio della professione di medico ai suoi interessi di ricercatore: si dedicò a molte discipline, dalla geografia descrittiva alla geologia, dalla speleologia alla meteorologia e alla sismologia, dalla paleontologia all'archeologia, dall'agricoltura alla storia dell'arte. La sua bibliografia comprende circa 650 titoli, che vanno dai saggi scientifici ai semplici articoli di giornale; la prosa chiara e semplice, al servizio del più alto rigore scientifico, lo resero un grande divulgatore. Due i settori che egli predilesse: la geologia e l'idrografia. Gli scritti di geografia e geologia sono circa un centinaio, tra cui vanno senz'altro citati le "Note geologiche sulla provincia di Lecce", "La Provincia di Lecce. Bozzetti di viaggio" ed i "Cenni di geografia fisica della provincia di Lecce", poi raccolti nella "Geografia fisica e descrittiva della Provincia di Lecce".

Lo stesso De Giorgi, commentando i suoi Bozzetti di viaggio, scrive: *"Un altro carattere che voi troverete nei miei scritti è la sincerità. Leggete i miei Bozzetti e vedrete che ho cercato di trasfondere negli altri le impressioni come le avevo ricevute esaminando un monumento, o un oggetto d'arte, o un fenomeno naturale... Nello scriverli io dissi fra me e me: chissà quanti di questi monumenti che oggi io vedo, di qui a pochi anni non saranno più, sia per la loro vetustà e per la carie dei nostri materiali edilizi, sia per la malvagità degli uomini e per l'abbandono nel quale sono lasciati dal Governo e dai Comuni, pur essendo dichiarati Monumenti nazionali. E purtroppo ciò che temevo venti anni fa oggi è un fatto compiuto. Per questo sul frontespizio di quell'opera io posi il motto di Lanzillotto di Raymo: Quae vidit scripsit!"*

Acuto osservatore e profondo conoscitore della sua terra, lo studioso si esprime anche a proposito dei rapporti *"fra la struttura geologica e la configurazione geografica del gruppo orografico pugliese costituito dal Monte Gargano, dalle Murge del Barese e dalle Serre Salentine, e quello dell'Appennino meridionale"*, denunciando nel Novembre del 1879, sulla Rassegna settimanale di Roma, l'erronea tesi sostenuta da molti suoi colleghi, che il Monte Gargano rappresentasse una diramazione orientale dell'Appennino: *"Venendo poi all'esame orografico della regione pugliese osservai che tanto il Gargano quanto le Murge baresi e le Serre salentine, sebbene divise tra loro dalla pianura del Tavoliere dauno, e in Terra d'Otranto dall'istmo salentino, sono costituite dagli*

stessi calcari cretacei e formano così un gruppo orografico al quale detti il nome di Sistema Apulo-garganico."

Il De Giorgi intraprese la raccolta e la classificazione di rocce e di fossili, catalogate nel suo gabinetto salentino, visitato e conosciuto da studiosi d'Italia e d'Oltralpe; avviò numerose esplorazioni e ricerche sulla geologia e l'idrografia salentine. Nel 1880 egli tracciò, per la prima volta, la carta geologica della Penisola Salentina che modificata e corretta negli anni successivi, fu pubblicata dal Comitato Geologico Italiano. Tuttavia, non abbandonò mai l'aspetto spiccatamente applicativo dei suoi studi: *"Mancano di quasi tutte le rocce le analisi quantitative e qualitative; della sola Pietra Leccese abbiamo l'analisi microscopica fatta dal Capellini; né di alcuna sappiamo i coefficienti della resistenza alla pressione e alla flessione, della porosità relativa e della imbibizione. E pure sono dati importantissimi per gli architetti e per gli ingegneri! Ma nessuno di questi se n'è occupato mai; ed ai pochissimi che vorrebbero colmare questa lacuna mancano i mezzi opportuni, cioè i libri, i gabinetti, gli strumenti. Io ho cominciato alcune esperienze sulla durezza relativa, sulla densità o peso specifico delle nostre pietre, e sull'alterabilità agli agenti atmosferici; e ne pubblicherò i risultati nel secondo volume delle mie Note geologiche"*.

Infatti, i risultati dei suoi studi servirono come basi scientifiche per la realizzazione dell'Acquedotto Leccese e dei suoi pozzi alimentanti, primo fra tutti il pozzo Guardati.

Consapevole che *"uno studio idrografico compiuto non poteva farsi senza la cognizione precisa delle acque che cadono dall'atmosfera sulle diverse zone di questa provincia"*, istituì a Lecce nel 1874, sul campanile seicentesco della Chiesa di S. Francesco della Scarpa, un Osservatorio meteorologico, col concorso della Provincia e del Comune di Lecce. L'Osservatorio divenne, in seguito, il nodo centrale di una rete di 32 stazioni termo-pluviometriche (distribuite con precisione lungo la costa adriatica e ionica, le zone collinari e pianeggianti), impiantata nel 1876 ed articolata in cinque zone in tutta la Terra d'Otranto. La rete diede impulso scientifico agli studi di climatologia salentina e consentì di rilevare la quantità e la distribuzione della pioggia nell'intera provincia, contribuendo in modo decisivo alla compilazione dei progetti di bonifica delle zone paludose e malariche, all'epoca molto estese, ed

all'idrologia sotterranea del Salento.

La Rete Meteorica Salentina costituì una realizzazione unica in tutta l'Italia centro-meridionale, sia per la sua estensione, sia per la capillare organizzazione, al punto da essere premiata con la medaglia d'oro all'Esposizione Nazionale di Torino del 1894.

Con cadenza decennale il De Giorgi compilava una dettagliata analisi negli aspetti climatici della Provincia; l'ultima, riferita al quarantennio 1875, 1914, fu pubblicata nel 1915 e rappresentò *“il mio testamento meteorico sul clima di Lecce, che lascio ai miei concittadini e comprovinciali. Gli uomini passano, ma le istituzioni rimangono purché siano amorosamente dirette e purché non manchino ad esse i necessari sussidi ed incoraggiamenti”*.

Nell'800, all'attività di meteorologo, spesso veniva affiancata quella di sismologo. Il De Giorgi, a quest'ultimo riguardo, così si espresse: *“Un altro ramo del grande albero delle scienze naturali è quello che esamina e studia i terremoti e prende il nome di sismologia. Nel mio programma di studi geofisici sulla Terra d'Otranto non potevo né dovevo tralasciarlo”*. Egli progettò, infatti, il sismografo per l'Osservatorio di Lecce, con il quale, per più di due decenni, registrò gli eventi sismici che interessarono la città e la provincia, dandone puntuale descrizione sulla stampa locale.

Si dedicò, inoltre, allo studio dei sismi storici che avevano interessato la Terra d'Otranto, svolse ricerche sui terremoti avvenuti in Terra d'Otranto dall'XI al XX (1915); compilò, insieme ad altri esperti, un Codice Edilizio cui gli architetti, al fine di minimizzare i danni derivanti dai terremoti, avrebbero dovuto ispirarsi per i progetti nelle zone a rischio sismico.

Pur non avendo mai intrapreso studi accademici in archeologia, dopo l'abbandono della professione medica, lo studioso De Giorgi si dedicò, con impegno e professionalità, anche a questo suo grande interesse. Fu così che, agli inizi dello scorso secolo, scoprì i ruderi dell'Anfiteatro Romano e i non pochi reperti di età classica di Lecce, che illustrò impareggiabilmente in *“Lecce sotterranea”* (1907).

Infine, meritano un cenno le opere riguardanti l'agricoltura (circa 50), che ben rappresentano il frutto della sua lunga attività all'interno del Comitato Agrario del circondario di Lecce.

Le *“Conversazioni di storia naturale e d'igiene”*, pubblicate su *«Il Cittadino Leccese»*, sono articoli pubblicati con cadenza almeno mensile, che trattano gli argomenti più vari, dimostrando la vastità di interessi culturali che il De Giorgi coltivava.

Il De Giorgi si dedicò pure alla stesura di componimenti poetici e letterari: nei Bozzetti di viaggio, numerosissimi sono gli intermezzi poetici che rendono il testo gradevole e brillante.

18.4.1.2. - Il pozzo Cozza-Guardati

Nel 1885, Lecce fu prescelta dal Ministro dell'Agricoltura come sede di una Mostra Internazionale di meccanismi elevatori di acqua e di motori a vento (DELLE ROSE, 2005). Allo studioso Cosimo De Giorgi, componente della Commissione dei Giurati, fu affidata la *“Relazione sui pozzi tubolari e pozzi trivellati”*. In una delle riunioni della Commissione, il De Giorgi propose l'approfondimento del pozzo della stazione ferroviaria di Lecce che, sino ad allora, aveva avuto solo lo scopo esplorativo; il pozzo, profondo circa 52 m, si estendeva sino a 2 m sotto il livello mare e consentiva la captazione di una portata media di 9 m³/giorno, insufficiente al fabbisogno idrico della Stazione. Esso fu dunque approfondito sino a 12 m sotto il livello mare, attraversando il banco di Pietra Leccese, su cui si erge la città di Lecce, ed un'altra roccia detritica poco coerente, ottenendo in tal modo l'incremento della portata sino a 250 m³/giorno. Il beneficio fu quindi tale da dare impulso alla vicenda del pozzo dell'impresa Cozza-Guardati, che per anni ha alimentato l'Acquedotto di Lecce.

Nel 1896, il Municipio di Lecce invitò l'architetto Conte Adolfo Cozza di Roma, artista ed esperto di lavori idraulici, a svolgere ricerche per il reperimento nel sottosuolo di acqua potabile. L'architetto determinò un punto, ad Ovest della città, sulla via da Lecce a Monteroni, in cui, grazie ad un pozzo esplorativo di 1 m circa di diametro, scavato dall'impresa romana Roberto Guardati, rinvenne una falda acquifera alla profondità di 42,15 m. Confortato dal risultato, egli dispose lo scavo di un secondo pozzo a qualche decina di metri dal precedente, di sezione

quadrata, di 5 m circa di lato, per potervi collocare un meccanismo elevatore. Il nuovo scavo raggiunse lo stesso livello acquifero del primo pozzo, in uno strato sottostante ed indipendente rispetto al banco della Pietra Leccese; i due pozzi furono poi collegati con una galleria sotterranea, consentendo così l'intercettazione di copiose quantità d'acqua (VIGNOLA, 1960). Lo scavo del pozzo Cozza-Guardati (p.c. a circa 45 m s.l.m.) fu ultimato nel 1899. Esso è quindi costituito da “due pozzi verticali nella roccia leccese, uno a sezione circolare con metri 1,10 di diametro, l'altro a sezione quadrata con metri 4,70 di lato, profondi circa 43 [... con] basi messe in comunicazione mediante un'ampia galleria di raccolta di circa 60 metri di lunghezza, 3 metri di larghezza, 2,5 metri di altezza, con superficie emuntrice della falda acquifera affiorante a 3,8 metri circa sopra il livello del mare di 250 m²”, (LIBERI, 1906) (fig. 18.11). Il pozzo Guardati rappresenta un'opera di mole veramente eccezionale se si pensa che comportò lo scavo di circa 1400 m³ di roccia, di cui circa 350 galleria (COTECCHIA *et alii*, 1957).

L'acquedotto leccese fu inaugurato il 28 agosto 1906, portando l'acqua in superficie “con un impianto di sollevamento a guisa di noria d'invenzione del Guardati [...] la cui portata si appalesava costante ed intorno ai 2700 m³ nelle 24 ore. La popolazione leccese l'accoglie festosamente, non solo quant'anche la esportò in terra di Bari” (CARUSO, 1976). Per la bontà dell'acqua rinvenuta il pozzo fu utilizzato per l'alimentazione idro-potabile della città di Lecce; l'acqua del Guardati fu persino distribuita nel barese nel periodo di grande siccità verificatasi in Puglia dal 1911 al 1913 (ZORZI & REINA, 1963).

Nel 1929, l'acquedotto leccese passò all'Ente Autonomo Acquedotto Pugliese; le sue acque furono riversate nel Grande Sifone leccese in aggiunta ed integrazione a quelle del Sele, specialmente nei cicli d'interruzione. Il tributo è stato sempre discreto, poiché la falda rendeva da 40 l/s ad 85 l/s. Prove di portata effettuate negli anni '50 mostrarono, addirittura, portate di circa 125 l/s con depressione del livello d'acqua sotto emungimento dell'ordine del metro (ZORZI & REINA, 1956).

Il pozzo venne in seguito abbandonato a causa del rinvenimento nelle acque di detersivi non biodegradabili, derivanti probabilmente dallo scolo nelle vicine voragini di acque luride. In seguito, a

più riprese, l'Acquedotto Pugliese provò a rendere nuovamente fruibile l'opera idraulica, mediante emungimento in continuo protratto per lunghi intervalli di tempo, senza purtroppo riscontare significativi miglioramenti nella qualità delle acque. Il mancato apporto del pozzo Cozza-Guardati negli ultimi 45 anni, insieme al trend negativo dei valori della piovosità totale annua registrati a Lecce, ha senz'altro reso più acuto il problema del locale approvvigionamento idrico.

Ad oggi, non risulta completamente chiara la natura dell'acquifero cui attingeva il pozzo Cozza-Guardati, che ha fornito per decenni enormi quantità d'acqua. TARAMELLI (1900) stabilì che “la zona acquifera profonda raggiunta dal pozzo Guardati [...] ha rapporto con la circolazione dell'acqua nei calcari [cretacei] che continuano quelli delle Murge e delle Serre Salentine”; BIASUTTI (1911) aggiunse che detta falda è “costante nei calcari cretacei ed è di poco superiore al livello del mare [...] verso questo livello si dirigono le acque assorbite dalle rocce”. CARUSO (1976), afferma che la buona riuscita dell'impresa venne subito confermata dalla presenza, lungo la galleria di collegamento dei pozzi, di acque sorgentizie molto abbondanti “scaturenti dai crepacci superficiali del calcare compatto” (DELLE ROSE, 2005).

In realtà, nel sottosuolo della città di Lecce, l'impalcatura dei calcari di base del Cretaceo assume una struttura ad Horst e Graben molto variabile da punto a punto. In particolare, proseguendo in direzione Est dall'abitato di Carmiano, ove il calcare affiora, si raggiungono tra gli abitati di Lequile e Cavallino, profondità del tetto del basamento comprese tra 30÷50 m sotto il livello del mare ed oltre 100 m in corrispondenza dell'abitato di Lecce (cfr. Sezione VI-VI', tav. 4 f.t.). Il pozzo Guardati presenta una quota di base della galleria prossima al l.m.m., e ricadrebbe a cavallo del cambio di quota del basamento calcareo, immediatamente ad Est della presunta faglia individuata ad Ovest di Cavallino. Sulla base degli elementi noti, risulterebbe quindi impossibile che il calcare compatto menzionato dagli autori suddetti sia quello cretaceo di base, che dovrebbe invece rinvenirsi a profondità ben maggiori.

A tale riguardo, occorre evidenziare che l'Ente Irrigazione eseguì una perforazione, fino a 40 m

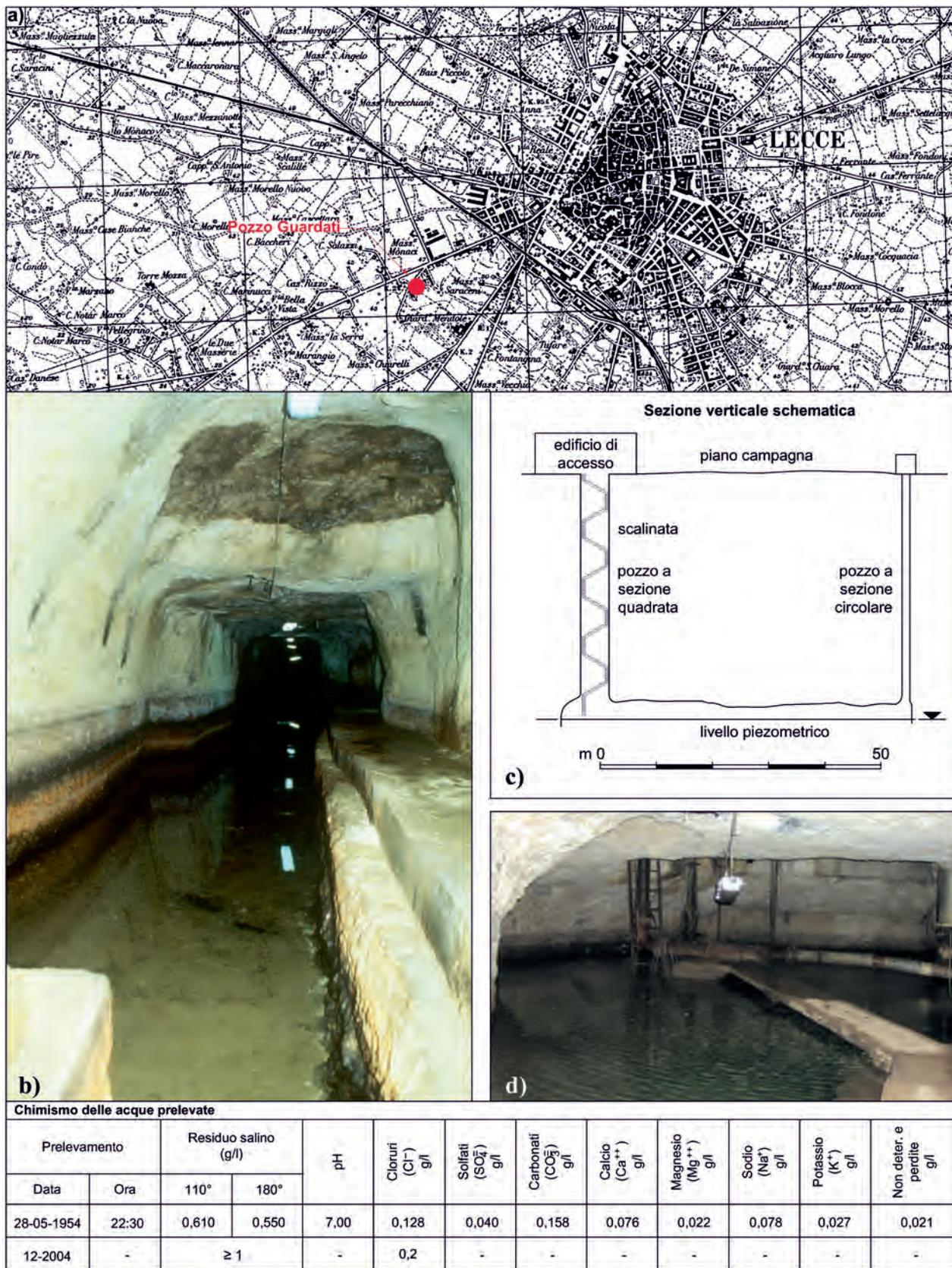


Fig. 18.11 - Il "pozzo orizzontale" Cozza-Guardati: a) ubicazione; b) cunicolo drenante del pozzo; c) sezione schematica del pozzo; d) estremità settentrionale del cunicolo drenante alla base del pozzo (mod., da ZORZI & REINA, 1956; DELLE ROSE, 2005).

- The "horizontal well" Cozza-Guardati: a) well location; b) draining shaft of the well; c) schematic profile of the well; d) northern end of the draining shaft at the base of the well (modified after ZORZI & REINA, 1956; DELLE ROSE, 2005).

sotto il livello mare, ad una distanza di circa 10 m dall'asse della galleria, al fine di incrementare la disponibilità di acqua mediante l'attingimento in zone più profonde. Il pozzo non incontrò i calcari cretatici ma intercettò, al di sotto della Pietra Leccese, una formazione calcarenitica che, per durezza, fessurazione e cavità dovute all'azione delle acque percolanti, presentava caratteristiche affini a quelle dei calcari del Cretaceo (ZORZI & REINA, 1956). Il pozzo Cozza-Guardati rappresenterebbe quindi uno dei casi in cui il banco roccioso post-cretatico, sovrastante i calcari, risulta fessurato e quindi in comunicazione idraulica con l'acquifero cretatico, come spesso accade nel bacino di Lecce, dove la Pietra Leccese è spesso attraversata da grosse fratture, per cui da essa possono emungersi acque provenienti dalla falda profonda (ZORZI & REINA, 1963). Presumibilmente, si tratta quindi di livelli rocciosi appartenenti alle calcareniti della Formazione di Lecce, ospitanti una falda superficiale in probabile comunicazione laterale o verticale con l'acquifero profondo.

Un'analisi chimica delle acque del pozzo Cozza-Guardati risalente agli anni '50 evidenziò un'acqua con residuo salino a 110°C pari a 610 mg/l. Misurazioni più recenti, effettuate dal Dicembre 2004, mostrano invece un residuo salino sempre superiore a 1000 mg/l, con concentrazioni di Cl⁻ maggiori di 200 mg/l. L'incremento di concentrazione salina riscontrato in circa 50 anni è sicuramente da attribuire al fenomeno dell'intrusione marina, che nell'area interessa solo l'acquifero profondo cretatico. Quest'ultima circostanza risulta in linea con il generale depauperamento, a livello regionale, della falda profonda. Le analisi recenti (fig. 18.11) hanno, inoltre, evidenziato concentrazioni di nitrati intorno a 35 mg/l; raramente sono stati riscontrati anche ioni NO⁻(0,016 mg/l). Costante è inoltre la contaminazione di origine fecale, con punte massime di 271 coliformi e 279 streptococchi per 100 ml d'acqua (ZORZI & REINA, 1956; DELLE ROSE, 2005).

18.4.2. - *Le falde superficiali del Salento*

I depositi miocenici e plio-pleistocenici sovrastanti al basamento carbonatico cretatico ospitano acquiferi, in genere denominati superficiali, di spes-

sore, rilevanza ed estensione variabile (COTECCHIA, 1977a). In figura 18.12 sono indicate le perimetrazioni dei principali acquiferi superficiali miocenici e plio-pleistocenici riportate nel P.T.A. (2009).

Tali acquiferi, presenti in vaste aree della Penisola Salentina (circa il 35% dell'intero territorio), hanno rappresentato la principale fonte di approvvigionamento idrico locale sino al momento della scoperta e dello sfruttamento dell'acquifero profondo. Nelle aree in cui le acque sotterranee, contenute nell'acquifero cretatico profondo, sono fortemente contaminate dall'ingressione marina, gli acquiferi superficiali costituiscono l'unica risorsa idrica sotterranea disponibile.

Gli acquiferi superficiali presentano, in generale, una potenzialità ridotta rispetto a quella dell'acquifero profondo, in quanto alimentati solo dalle locali precipitazioni meteoriche e, ove esistenti connessioni idrauliche con le rocce cretacee, dagli apporti della falda profonda. Essi, inoltre, hanno in genere valori del coefficiente di permeabilità di gran lunga inferiori a quelli dell'acquifero profondo.

La modalità con cui si svolge la circolazione idrica sotterranea negli acquiferi superficiali del Salento è molto complessa e variabile da zona a zona, in ragione dei rapporti idraulici esistenti tra le rocce post-cretacee e quelle cretacee.

La geometria e lo spessore degli acquiferi superficiali sono direttamente connessi alle caratteristiche morfologiche e strutturali del substrato calcareo. In particolare, le condizioni più favorevoli per la formazione di bacini idrogeologici si creano nelle porzioni di territorio tettonicamente depresse, caratterizzate in affioramento da depositi sabbiosi e calcarenitici mio-pleistocenici. I bacini di maggiore estensione sono localizzati nella parte Nord-orientale del Salento, ove il basamento mesozoico è dislocato in bassi strutturali, spesso bordati da scarpate di faglia, e gli affioramenti calcarei sono pochi ed estremamente frammentati.

La presenza di falde idriche superficiali è, inoltre, legata all'esistenza di orizzonti impermeabili, a varie altezze stratigrafiche, che favoriscono l'instaurarsi di livelli idrici distribuiti su più quote, separati e sovrapposti, ognuno di fatto caratterizzato da modalità proprie di circolazione.

La variabilità in quota del substrato impermea-

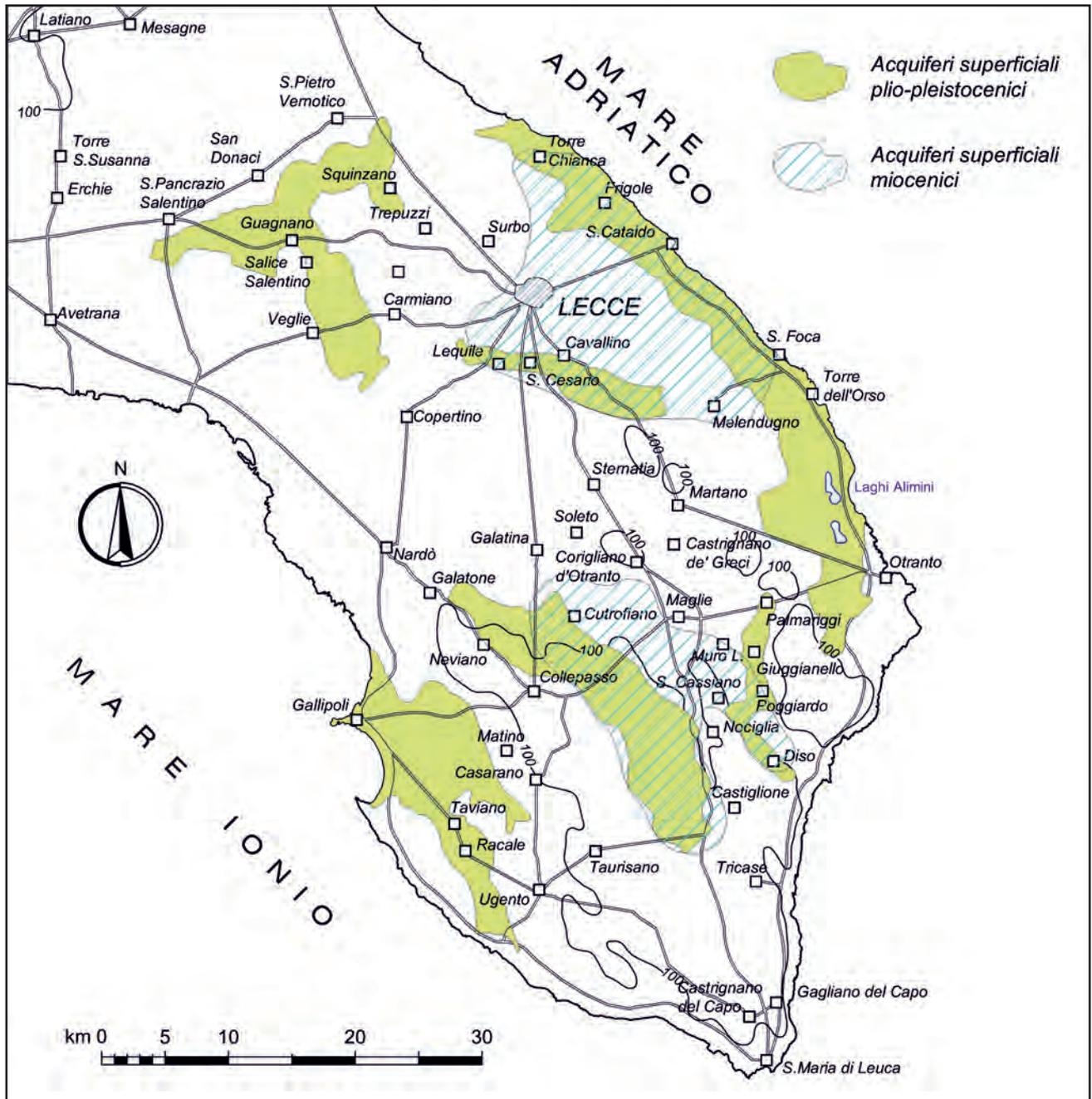


Fig. 18.12 - Perimetrazione dei principali acquiferi superficiali plio-pleistocenici e miocenici della Penisola Salentina (mod., da P.T.A., 2009).
 - Boundaries of the main Plio-Pleistocene and Miocene shallow aquifers in the Salento peninsula (modified after P.T.A., 2009).

bile, in talune porzioni di territorio al di sopra del livello marino (fra 10 e 110 m s.l.m.) ed in altre al di sotto (fra -10 e -120 m s.l.m.), influisce in modo determinante sulla circolazione idrica sotterranea negli acquiferi superficiali, sulle connessioni idrauliche con l'acquifero profondo e sulla modalità con cui si verifica l'intrusione marina.

In condizioni idrodinamiche opportune possono crearsi interscambi sia fra le acque di diffe-

renti acquiferi di bacini adiacenti, sia, in presenza di discontinuità tettoniche, tra le falde superficiali e la falda profonda. Inoltre, la presenza di discontinuità (per fratturazione e/o per variazioni eteropiche di *facies*) nello strato impermeabile interposto, può favorire gli scambi idrici tra diversi acquiferi superficiali sovrapposti.

Va inoltre osservato che nei casi in cui il substrato impermeabile sprofonda al di sotto del li-

vello del mare, nelle aree prossime alla costa possono crearsi le condizioni affinché la falda profonda circoli in pressione e l'acquifero superficiale sia soggetto all'intrusione dell'acqua di mare.

Le falde superficiali sono fortemente esposte ai fenomeni d'inquinamento chimico-fisico e batteriologico provenienti dalla superficie topografica (TADOLINI & FERRARI, 1990; CALÒ *et alii*, 1992). Indagini condotte nel territorio salentino hanno consentito di rilevare uno stato di inquinamento delle falde superficiali talora allarmante. In particolare è stata rilevata una estesa ed eterogenea distribuzione di forme batteriche e ammoniache, indicante uno scarso grado di protezione degli acquiferi superficiali. L'inquinamento riscontrato, maggiore in prossimità di centri abitati, è ascrivibile a fattori di natura antropica, legati soprattutto al veicolamento nel sottosuolo di acque reflue di origine urbana ed industriale a diverso grado di trattamento. In virtù dei rapporti esistenti tra i vari acquiferi superficiali e quello profondo, i carichi inquinanti finiscono poi per trasferirsi in profondità e contaminare quest'ultimo.

18.4.2.1. - Acquiferi miocenici

Nelle formazioni calcarenitiche mioceniche (Calcareniti di Andrano e Pietra Leccese), localizzate nella parte centro orientale e centro-meridionale della Penisola Salentina, sono presenti acquiferi superficiali di una certa potenzialità (fig. 18.12), spesso frazionati su più livelli idrici separati e sovrapposti per la presenza di strati marnoso-calcarenitici poco permeabili.

Nei litotipi organogeni e detritici delle Calcareniti di Andrano, si osserva la presenza di una falda idrica, circolante generalmente a pelo libero, sostenuta da livelli marnosi della stessa formazione o dalla Pietra Leccese. Lo spessore dell'acquifero è dell'ordine di pochi metri nelle zone prospicienti la costa, sino ad arrivare a circa 20 m nelle zone interne (TADOLINI *et alii*, 1985).

Un acquifero di maggiore rilevanza, sia per qualità delle acque, che per potenzialità, si rinviene nella formazione della Pietra Leccese, a qualche decina di metri di profondità rispetto al livello

mare, ed ha spessore medio di circa 30 m. In detta formazione, la circolazione si esplica su più livelli idrici, sostenuti da lenti poco permeabili marnoso-calcarenitiche, e spesso in pressione. La permeabilità è generalmente bassa, nella parte basale, ed aumenta, nella parte intermedia e sommitale, a causa della fratturazione e del carsismo.

Le falde idriche contenute nei terreni miocenici sono alimentate sia dalle precipitazioni incidenti sugli affioramenti miocenici, sia dalle falde superficiali presenti nelle sovrastanti calcareniti plio-pleistoceniche. Nelle aree interne gli acquiferi miocenici possono venire in contatto, a causa delle dislocazioni tettoniche, con l'acquifero profondo cretacico. Sussistono, inoltre, connessioni idrauliche al contatto tra i depositi miocenici e le rocce cretache.

Le acque circolanti nelle rocce mioceniche ed, in particolare, nella Pietra Leccese, sono caratterizzate in genere da bassa salinità (0,5-0,6 g/l).

18.4.2.2. - Acquiferi plio-pleistocenici

I depositi plio-pleistocenici, litologicamente variabili da argille a sabbie per le locali eteropie di *facies*, sono trasgressivi sulla serie miocenica e sono caratterizzati da differenti e discontinui gradi di permeabilità. Ne consegue che, nell'intero territorio salentino, si instauravano le condizioni per la formazione di numerosi acquiferi superficiali in tali depositi, distinti fra loro e con caratteri idrodinamici alquanto variabili.

Tra gli abitati di Squinzano, Guagnano e Veglie (fig. 18.12), è presente un vasto acquifero superficiale che si estende nel limitrofo territorio della provincia di Brindisi, ove assume una direzione principale di deflusso verso la costa adriatica. Le modalità di deflusso dipendono, quasi totalmente, dalla morfologia caratterizzante il substrato argilloso di base.

Nei depositi sabbiosi pleistocenici, presenti in una limitata porzione di territorio nei pressi di Lequile e Cavallino, è presente un acquifero superficiale di spessore non superiore a 6 m, sostenuto alla base da argille calabriere. Passando da Nord-Ovest a Sud-Est, il livello idrico si approfondisce rispetto al piano campagna, rinvenendosi a profondità dell'ordine di 10÷15 m. Le massime altezze piezometriche si rilevano in prossimità dell'abitato di S. Cesario, mentre

il deflusso è condizionato dalla tettonica e dalla litologia. Le variazioni diagenetiche, sia verticali sia laterali, e le intercalazioni di livelli argillosi, rendono alquanto disomogenea la permeabilità dell'acquifero, che è comunque generalmente bassa. La salinità è compresa in genere tra 0,4 e 1,2 g/l.

Nei depositi sabbiosi calabrianici ed in quelli calcarenitici post-calabrianici, è presente un acquifero superficiale, con potenza generalmente non superiore a 10 m, piuttosto esteso e continuo tra gli abitati di Gallipoli, Taviano e Racale. A Nord di Gallipoli, l'emergenza della falda avviene in modo diffuso attraverso sorgenti di strato lungo la fascia costiera, mentre a Sud sono presenti aree paludose retrodunali. La salinità è compresa in genere tra 0,2 e 0,6 g/l.

Tra gli abitati di Nardò, Castiglione, Collepasso e Cutrofiano, nelle sabbie e nelle calcareniti è presente un acquifero superficiale discontinuo, di modesto spessore (< 5 m), che si allunga in una vasta zona in direzione NNW-SSE.

Tra i territori di Otranto e Lecce è presente uno degli acquiferi superficiali più estesi e continui della Penisola Salentina. Le acque sotterranee circolano nei livelli permeabili delle Sabbie di Uggiano (area Sud-occidentale) e delle calcareniti plio-pleistoceniche (area costiera adriatica). La falda idrica occupa, per circa 200 km², la fascia costiera adriatica compresa tra Otranto e S. Cataldo e, per oltre 60 km², la depressione tettonica tra Diso e Giuggianello, delimitata dalla Serra di Poggiardo e dalla dorsale di Castiglione d'Otranto. L'acquifero presenta caratteristiche idrogeologiche variabili proprio in conseguenza della disomogeneità dei depositi che lo costituiscono. Ad Ovest di Otranto la falda alimenta i laghi Alimini attraverso polle e sorgenti (cap. 4). Manifestazioni sorgentizie si rinvengono anche in corrispondenza di incisioni naturali, come quelle emergenti lungo il canale Carlo Magno ad Otranto, ed il Canale Brumese a Torre dell'Orso. A partire dai laghi Alimini fino alla zona di S. Foca, i deflussi sono diretti sia verso la costa, sia verso l'interno, mentre a Nord di S. Foca e fino a S. Cataldo il deflusso idrico è diretto verso mare. In quest'area, il regolare deflusso della falda verso mare è localmente sbarrato da cordoni dunali, che determinano la formazione di aree paludose (Cesine) nelle aree depresse. Lungo questo tratto si rileva spesso la

presenza di acque marine di invasione continentale, in equilibrio con la falda superficiale. Nella zona interna del territorio compresa tra S. Cataldo e Frigole, la falda superficiale è alimentata, per contatto laterale, dalle acque appartenenti all'acquifero miocenico. Nell'area depressa di Poggiardo essa circola a pelo libero, con carichi piezometrici pari a circa 10 m s.l.m. La concentrazione salina delle acque sotterranee è in genere inferiore a 0,6 g/l, fatta eccezione per il tratto costiero tra le Cesine e Torre Chianca, interessato dalla intrusione marina.

Infine, in corrispondenza della depressione tettonica compresa tra gli abitati di Diso, a Sud, e Palmari, a Nord, passando per Giuggianello, è presente un acquifero superficiale di modeste dimensioni. I dati disponibili su detto acquifero indicano una modesta permeabilità e una concentrazione salina dell'ordine di 0,35 g/l.

18.4.2.3. - Analisi dei rapporti idraulici esistenti tra gli acquiferi post-cretacei superficiali e l'acquifero cretaceo profondo

Al fine di analizzare i rapporti idraulici esistenti tra gli acquiferi superficiali ed il sottostante acquifero cretaceo, sono state prese in esame le informazioni geoidrologiche rilevate durante la perforazione di pozzi, eseguiti dall'Ente Irrigazione a partire dagli anni Cinquanta del secolo scorso. L'analisi ha consentito di individuare sette tipologie di assetto idrogeologico ($T0_f$, $T0_p$, T1, T2, T3, T4, T5), ognuna caratterizzata da specifici rapporti idraulici tra i vari acquiferi post-cretacei intercettati lungo una stessa verticale e tra questi e l'acquifero cretaceo profondo.

Le prime due tipologie di assetto idrogeologico ($T0_f$ e $T0_p$ in figura 18.13) riguardano i casi in cui risulta assente la circolazione idrica sotterranea nei terreni post-cretacei, mentre è presente la falda profonda nell'acquifero cretaceo. Quando i calcari cretacei si rinvengono al di sopra del livello mare, essendo in genere discretamente permeabili, essi sono sede di una circolazione idrica sotterranea che si svolge sostanzialmente in condizioni freatiche ($T0_f$). È il caso questo del pozzo 508 EISS (fig. 18.14), situato nei pressi di Nardò, a circa 10 km dal mare, entro il quale i calcari sono rinvenuti a

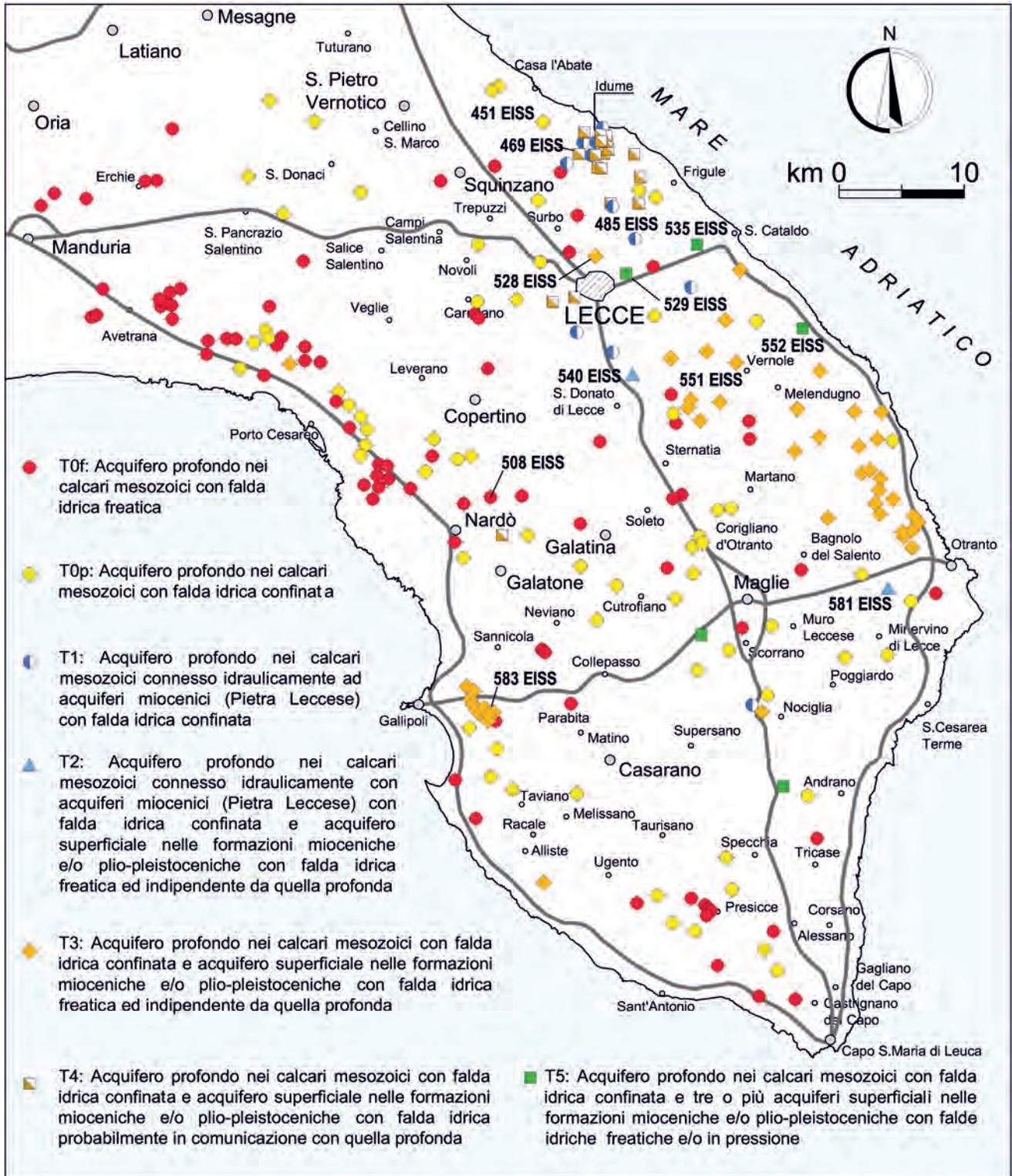


Fig. 18.13 - Ubicazione di alcuni pozzi eseguiti dall'Ente per l'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania con indicazione delle tipologie di assetto idrogeologico individuate dall'analisi dei dati geoidrologici disponibili.

- Location of some wells drilled by the Irrigation Board (Ente per l'Irrigazione e la Trasformazione Fondiaria in Puglia e Lucania), with indication of the types of hydrogeological setting resulting from analysis of the available geo-hydrological data.

quota + 8,51 m s.l.m. e la falda profonda è freatica, con quota del pelo libero a +2,44 m s.l.m. Quando, invece, i calcari di base si rinvennero a profondità

elevate rispetto al livello mare e sono ricoperti da terreni di bassa permeabilità oppure, quando presenti a quote prossime a quelle del livello mare, si

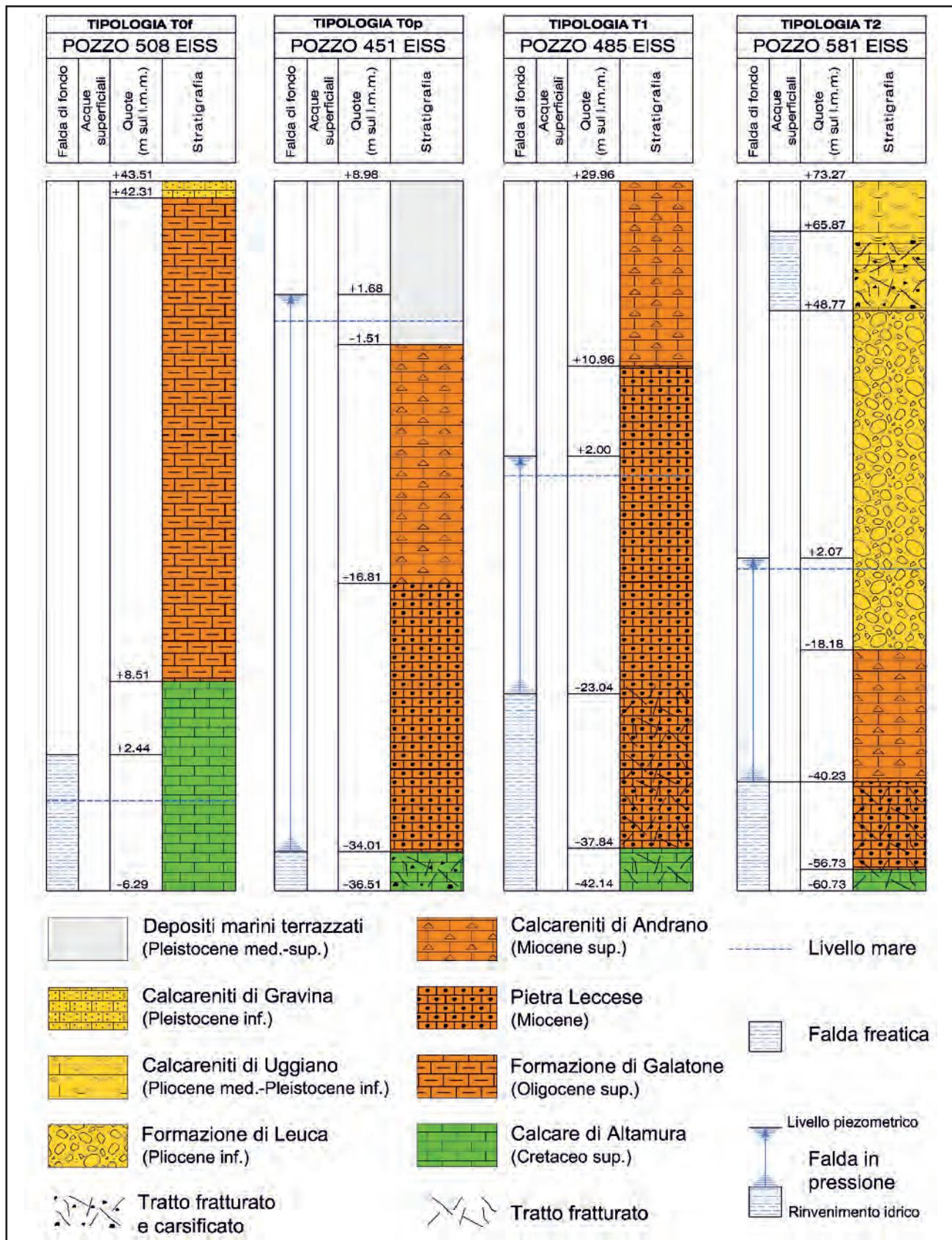


Fig. 18.14 - Stratigrafie e dati idrogeologici desunti dai pozzi 508 EISS, 451 EISS, 485 EISS e 581 EISS, ubicati in fig. 18.13, con indicazione della relativa tipologia di assetto idrogeologico (T0f, T0p, T1 e T2).
 - Borehole logs and hydrogeological data drawn from the wells 508 EISS, 451 EISS, 485 EISS and 581 EISS (location shown in fig. 18.13), with indication of the corresponding type of hydrogeological setting (T0f, T0p, T1 e T2).

presentano compatti in sommità e quindi scarsamente permeabili, la falda risulta confinata (T0p). Nel pozzo 451 EISS, ubicato nel leccese a pochi km dal mare, i calcari sono stati rinvenuti a quota -34 m s.l.m., sovrastati da uno spessore complessivo impermeabile di Pietra Leccese e Calcarenite di Andrano di circa 30 m, che determina il confinamento della falda profonda. Si fa osservare che la profondità del tetto dell'acquifero è inferiore a quella dell'interfaccia acqua dolce-acqua di mare calcolabile con la relazione di Ghyben-Herzberg (cap. 2). Quest'ultima, infatti, per un carico piezometrico misurato nel pozzo pari a 1,68 m s.l.m., si posiziona a quota pari a circa -55 m s.l.m., mentre la profondità del tetto dell'acquifero dal livello mare è pari a circa 34 m. Detta situazione consente quindi l'esistenza di una circolazione idrica sotterranea dolce nella porzione di acquifero compresa tra l'interfaccia ed il tetto dell'acquifero stesso. A conferma di quanto sopra, la concentrazione salina e la concentrazione di ione cloruro determinate su un campione d'acqua prelevato dal pozzo in condizioni dinamiche sono risultate pari rispettivamente a 1,15 g/l e 0,41 g/l. Detti valori indicano l'esistenza di una circolazione idrica dolce, anche se le acque di falda risultano contaminate dall'acqua di mare. La concentrazione salina rilevata è probabilmente condizionata dal *salt-water upconing* (cap. 12), causato dalla notevole depressione idrodinamica applicata durante l'emungimento, superiore al carico piezometrico della falda (tab. 18.1).

Spesso la falda profonda può rinvenirsi, senza soluzioni di continuità, anche alla base dei depositi miocenici della Pietra Leccese, individuando la tipologia di assetto idrogeologico indicata con la sigla T1 (fig. 18.13). È il caso del pozzo 485 EISS, in cui, per l'accentuata fratturazione basale della formazione post-cretacea, si determina una comunicazione idraulica con l'acquifero cretacoico (fig. 18.14). In questo caso la falda contenuta nei depositi miocenici maggiormente permeabili è confinata al di sotto di livelli meno permeabili della stessa formazione (Pietra Leccese).

Nella tipologia T2 (fig. 18.13) sono presenti, al di sopra del livello mare, livelli idrici di modesta entità in depositi miocenici e/o plio-pleistocenici, come, ad esempio, riscontrato nei pozzi 581 EISS

e 540 EISS (figg. 18.14, 18.15). Detti livelli acquiferi, con quota di base superiore anche di decine di metri a quella del livello mare, non sono interessati dal fenomeno dell'intrusione marina; essi risultano però molto vulnerabili all'inquinamento di origine antropica. Le condizioni idrogeologiche presenti in profondità sono caratterizzate dalla continuità idraulica tra le rocce cretacicche e la parte basale di quelle mioceniche. Nel caso dei pozzi 581 EISS e 540 EISS, la falda profonda presenta una concentrazione salina dell'ordine di 0,5 g/l (tab. 18.1). La bassa salinità di quest'ultima è determinata dal notevole carico piezometrico, cui consegue una profondità dell'interfaccia acqua dolce-acqua di mare maggiore del tetto dell'acquifero, quest'ultimo coincidente con il limite superiore della porzione maggiormente permeabile dei terreni miocenici.

La tipologia T3 (fig. 18.13) differisce dalla precedente per l'assenza di connessioni idrauliche tra l'acquifero cretacoico ed i terreni post-cretacei. Esempi di questo tipo si rilevano a Sud-Ovest di Lecce, dove i calcari acquiferi del Cretaceo giacciono a profondità anche superiori a 150 m s.l.m. e sono ricoperti da terreni oligocenici (Formazione di Galatone) e/o miocenici (Pietra Leccese e Calcareniti di Andrano), la cui permeabilità è in genere molto ridotta. Nelle porzioni più permeabili dei terreni più recenti, a quote in genere superiori al livello mare, si rinven-gono, tuttavia, livelli acquiferi superficiali di modesta potenzialità idrica. Solo in alcuni casi possono registrarsi significative portate idriche, come nel caso della "Falda del Fontanelle" (cap. 4), che alimenta l'omonimo specchio lacustre tramite polle e risorgive appartenenti a livelli acquiferi superficiali (ZORZI & REINA, 1963). L'assetto idrogeologico T3 è ben rappresentato dai pozzi 583 EISS, 528 EISS e 551 EISS (fig. 18.15). Il pozzo 551 EISS, ubicato presso Vernole (p.c. + 35 m s.l.m.), intercetta nelle calcareniti di Gravina un acquifero superficiale, di spessore pari a circa 15 m a partire da quota + 20 m s.l.m. L'acquifero profondo cretacoico è stato rinvenuto a quota -180 m s.l.m. Una prova di portata eseguita nell'acquifero cretacoico, con portata costante pari a 34 l/s e depressione idrodinamica pari a 16,5 m, ha fornito valori della concentrazione salina variabile, durante l'emungimento, nell'intervallo 7,7÷10,9 g/l (tab. 18.1). A Nord di Lecce, nel pozzo

Tab. 18.1 - Risultati di prove di emungimento eseguite in alcuni pozzi della Penisola Salentina con indicazione della concentrazione salina e della concentrazione di ione cloruro determinate su campioni statici e dinamici prelevati dalla falda profonda (F.P.) e delle falde superficiali (F.S.).

- Results of pumping tests carried out in some wells of the Salento Peninsula with indication of salt concentration and chloride ion concentration determined on static and dynamic samples taken from the deep aquifer (F.P.) and from the shallow aquifers (F.S.).

POZZO	Data-Ora	Tipo campionamento	Portata (l/s)	Depressione idrodinamica (m da L.S.)	Ione cloruro (g/l)	Concentrazione salina (g/l)
508 EISS	1/02/1955 – 17:25	Dinamico F.P.	42	0.2	0.11	0.54
581 EISS	14/12/1954 – 8:00	Dinamico F.P.	21	0	0.05	0.47
	14/12/1954 – 15:50				0.15	0.67
528 EISS	29/10/1952 – 6:25	Dinamico F.P.	42.5	4.6	19.88	40.2
583 EISS	21/10/1964 – 10:15	Dinamico F.P.	30	0.61	0.28	0.85
	21/10/1964 – 20:00				0.33	0.99
485 EISS	15/12/1954 – 7:45	Dinamico F.P.	51	0.27	0.66	1.51
552 EISS	29/09/1954 – 8:45	Dinamico F.S.	47	26.28		
	29/09/1954 – 14:00				0.11	0.45
451 EISS	12/11/1954 – 10:25	Dinamico F.P.	63	2.5	0.41	1.15
540 EISS	21/03/1953 – 10:35	Dinamico F.P.	43	0.22	0.1	0.44
551 EISS	5/1/53	Dinamico F.P.	34	16.5	3.9	7.7
					4.97	10
					5.212	10.89
535 EISS	12/21/52	Dinamico F.P.	44	25.15	-	0.4
						18
529 EISS	14/01/1953 – 6:25	Dinamico F.P.	43	1.59	0.24	0.7
	14/01/1953 – 17:55				0.85	2.2
521 EISS	6/02/1969 – 12:00	Dinamico F.P.	35	0.2	0.23	0.7
	7/02/1969 – 12:00				0.25	0.75
	9/02/1969 – 11:00				0.27	0.78
524 EISS	15/03/1955 – 08:30	Dinamico F.S.	53	0.91	0.1	0.34
	15/03/1955 – 16:45				0.23	0.74
525 EISS	4/09/1953 – 08:15	Dinamico F.S.	47.5	3.95	0.12	0.63
	4/09/1953 – 18:20				0.18	0.69
526 EISS	28/05/1954 – 13:30	Dinamico F.S.	38.2	0.37	0.12	0.6
	28/05/1954 – 22:30				0.12	0.6
537 EISS	20/02/1953 – 08:00	Dinamico F.P.	46	0.74	0.06	0.4
	20/02/1953 – 18:50				1.38	3.1
531 EISS	4/12/1952 – 10:30	Dinamico F.P.	49	0.44	0.06	0.5
	4/12/1952 – 20:50				0.16	0.9
538 EISS	3/09/1954 – 08:50	Dinamico F.P.	46	0.3	0.4	1.05
	3/09/1954 – 19:00				1.15	2.38
539 EISS	25/06/1954 – 08:50	Dinamico F.P.	11.6	15.75	0.13	0.53
	25/06/1954 – 09:00	Dinamico F.S.	3.58	29.06	7.35	15.42
	25/06/1954 – 09:30				10.08	19.5
	-				10.07	19.93
	6/07/1954 – 08:50				0.035	0.32
	6/07/1954 – 16:30				0.039	0.35
POZZO	Data-Ora	Tipo campionamento	Profondità (m s.l.m.)	Concentrazione salina (g/l)		
469 EISS	3/10/69	Statico	1.704	0.25		
			-1.426	0.26		
			-4.426	0.62		
			-18.426	0.88		
			-48.426	1.2		

528 EISS, la falda superficiale nella Pietra Leccese si attesta a circa +18 m s.l.m. e presenta modesto spessore. Il tetto dei calcari cretatici è a quota -119 m s.l.m. circa e la salinità delle acque estratte dall'acquifero profondo, con portata pari a 42,5 l/s e depressione idrodinamica di 4,6 m, è risultata pari a 40 g/l (tab. 18.1, figg. 18.13, 18.15). Nel pozzo 583 EISS, ubicato nei pressi di Gallipoli, la falda superficiale è stata rinvenuta nei Depositi marini terrazzati del Pleistocene medio-superiore, a quota elevata, pari a circa 40 m s.l.m. Il tetto dei calcari acquiferi è a quota -4,98 m s.l.m. e la falda profonda presenta una concentrazione salina dell'ordine di 1 g/l. La salinità, durante l'emungimento, tende lievemente ad aumentare a causa del *salt-water upconing*.

Laddove è presente un acquifero cretatico generalmente confinato con delle connessioni idrauliche che lo pongono in comunicazione con i terreni di copertura miocenici e plio-pleistocenici, ancorché in modo discontinuo, si individua la tipologia T4 (figg. 18.13, 18.16). Questa tipologia di assetto è maggiormente diffusa nel territorio compreso tra Frigule e Casalabate, a Nordest di Lecce, nel bacino idrogeologico di alimentazione della Sorgente Idume, la quale è stata oggetto di importanti ricerche condotte alla fine degli anni Sessanta (COTECCHIA, 1977a), così come ampiamente illustrato nel capitolo 4. In prossimità di detta sorgente la falda superficiale è quasi ovunque separata da quella profonda attraverso livelli calcarenitici marnosi riferibili al Miocene (Pietra Leccese), poco permeabili a causa della scarsa o quasi assente fratturazione. Tuttavia, la Pietra Leccese presenta, localmente, un marcato stato di fratturazione, tale da determinare delle connessioni idrauliche tra la falda superficiale, miocenica, e quella profonda, contenuta nell'acquifero mesozoico. Tale situazione è ben chiara osservando la stratigrafia del pozzo 469 EISS (fig. 18.16), ubicato in prossimità della sorgente a circa 3 km dal mare. Il pozzo ha intercettato, lungo la verticale, due falde: una nel basamento carbonatico mesozoico, l'altra nei depositi sovrastanti miocenici e plio-pleistocenici, separate da circa 10 m di Pietra Leccese scarsamente permeabile, tale da determinare il confinamento della falda profonda. Va però osservato che le due falde presentano la stessa quota piezometrica (1,16

m s.l.m.), per cui è molto plausibile ammettere la loro connessione idraulica. L'ipotesi è confermata anche dai valori di concentrazione salina rilevati da cinque campionamenti statici eseguiti nel pozzo 469 EISS a varie profondità (tab. 18.1). Essi evidenziano un incremento di salinità con la profondità, entro la falda superficiale, giustificabile per l'appunto se si ipotizza la connessione idraulica con la falda profonda, a sua volta galleggiante su acqua di mare. Le manifestazioni sorgentizie appartenenti alla sorgente Idume, anche se provenienti dall'acquifero superficiale ivi presenti, sono quindi alimentate anche dall'acquifero cretatico. L'elevata concentrazione salina della sorgente (2,5÷12,5 g/l) e la notevole portata sorgentizia (370÷2250 l/s) rappresentano due ulteriori elementi probanti la connessione idraulica tra i due acquiferi (cap. 4). Va tuttavia evidenziato che le modalità con cui si manifestano gli scambi idrici tra i due acquiferi (superficiale e profondo) dipendono dalle condizioni di permeabilità del livello calcarenitico marnoso che li separa e dal rapporto esistente tra i carichi piezometrici delle due falde. In linea di massima, su vasta scala, i carichi piezometrici della falda profonda, nell'area della sorgente Idume, si discostano poco dalla quota della superficie freatica della falda superficiale. Talvolta, possono però prodursi locali differenze di carico piezometrico tra le due falde, causate dalle frequenti variazioni di permeabilità dei rispettivi acquiferi, fortemente anisotropi.

Infine, nella tipologia T5 (figg. 18.13, 18.16) ricadono i casi più complessi, ove si rinvencono lungo una verticale, tre o più acquiferi. L'acquifero cretatico è, in genere, confinato a notevole profondità sotto il livello mare. Gli acquiferi superficiali, invece, possono distinguersi in due categorie: quelli per cui è plausibile ammettere locali connessioni idrauliche con l'acquifero profondo, anche se discontinue, e quelli ove dette comunicazioni sono assolutamente assenti. Si cita per quest'ultima tipologia di assetto idrogeologico il pozzo 552 EISS per cui si ha a disposizione una prova di portata eseguita dopo aver intercettato l'acquifero superficiale ed averlo isolato da quello profondo (tab. 18.1). I campionamenti dinamici eseguiti nella falda superficiale hanno fornito valori di concentrazione salina < 0,5 g/l. Ciò evi-

denza la sostanziale assenza di contaminazione marina nella falda superficiale e l'assenza di connessioni tra l'acquifero profondo e quelli superficiali. Nei pozzi 529 EISS e 535 EISS è possibile riconoscere l'esistenza di connessioni idrauliche tra i vari livelli acquiferi dall'esame delle altezze piezometriche. Ciò si verifica quando, lungo la verticale, si intercettano livelli acquiferi presentanti stessa altezza piezometrica. È da segnalare l'incremento di concentrazione salina verificatosi durante l'emungimento dalla falda profonda, da attribuirsi dunque al *salt-water upconing* (tab. 18.1, fig. 18.16).

18.4.2.4. - Eterogeneità dei caratteri idrogeologici degli acquiferi superficiali del Salento

La circolazione idrica sotterranea che si svolge negli acquiferi miocenici e plio-pleistocenici del Salento presenta notevoli complessità, determinate dalla eterogeneità dei loro caratteri di permeabilità. Infatti, lungo una stessa verticale è possibile riscontrare situazioni molto differenti, come schematizzato nei cinque assetti idrogeologici (T1-T5) riportati nelle figure 18.13÷18.16 e discussi nel paragrafo precedente. La circolazione idrica sotterranea negli acquiferi superficiali è però condizionata anche dalle variazioni laterali dei caratteri di permeabilità di detti depositi post-cretacei e della quota del tetto dell'acquifero cretaceo. Pertanto, è possibile riscontrare differenti assetti idrogeologici anche in pozzi poco distanti tra loro. Tale circostanza è chiaramente evidenziata nella sezione idrogeologica riportata in figura 18.17, che riguarda l'area a Sud di Lecce tra gli abitati di Lequile e Cesine.

In affioramento ad ovest di Lequile e procedendo verso est, si individuano i calcari del Cretaceo, le Calcareniti di Gravina, un piccolo lembo appartenente alle Argille subappennine, la Pietra Leccese, la Calcareniti di Andrano e le Calcareniti di Uggiano. Gli affioramenti ora descritti costituiscono il risultato combinato di fenomeni tettonici e di cicli di ingressione e trasgressione marina. Infatti, un sistema di faglie, prevalentemente ad andamento appenninico, ha fatto sì che il substrato carbonatico, con struttura ad *Horst* e *Graben*, risultasse suddiviso in una serie di blocchi, con dislo-

camenti a quote differenti; le profondità maggiori del substrato (oltre 100 m sotto il livello mare) si raggiungono in corrispondenza della città di Lecce. I cicli trasgressivo-regressivi del Miocene e del Plio-Pleistocene hanno agito in maniera strettamente conforme all'ambiente di deposizione; presso costa, al di sopra dei calcari di base, si intercettano un banco di Pietra Leccese (spessore pari a 60 m), le Calcareniti di Andrano (50 m), le Calcareniti di Uggiano (50 m) ed i Depositi marini terrazzati (10 m); in corrispondenza dell'*Horst* tra Lecce ed Acaia, la successione litostratigrafica si arresta alla serie del Miocene (Pietra Leccese e Calcareniti di Andrano); tra Lequile e la struttura tettonica appena menzionata, si sono create le condizioni per una deposizione di sedimenti continentali e palustri, costituiti, a partire dal tetto dei calcari di base, da argille residuali (spessore massimo pari a 23 m), dalla Formazione di Galatone (75 m), dalla Formazione di Lecce (23 m) e dalla Pietra Leccese (50 m). Procedendo verso l'esterno di tale depressione, la Formazione di Galatone e la Formazione di Lecce presentano i loro spessori che si riducono progressivamente sino a Lequile, ad Ovest, ed Acaia ad Est. La Pietra Leccese, affiorante in corrispondenza di Acaia, Lecce e Cavallino, lascia il posto, ad Ovest di Cavallino, alla Calcareniti di Gravina (spessore di 40 metri circa), sulla quale poggiano, immediatamente ad Est di Lequile, lembi di Argille Subappennine e Depositi marini terrazzati.

Nella sezione di figura 18.17 sono riportati i pozzi utilizzati per la ricostruzione stratigrafica e gli acquiferi da essi intercettati a varie profondità, ai quali si associano, ove note, le concentrazioni saline delle acque della falda profonda carbonatica, queste ultime riportate in tabella 18.1.

Nelle masse carbonatiche del Cretaceo dell'area a Sud di Lecce qui presa in esame, la circolazione idrica sotterranea avviene esclusivamente in pressione. La presenza a varie altezze stratigrafiche di depositi impermeabili sovrastanti i calcari cretacei (come la Formazione di Galatone, all'altezza di Cavallino, o la Pietra Leccese, presso Acaia) e l'esistenza di banchi di roccia calcarea cretacea compatta sovrastante l'acquifero carsico (come tra Lequile e Cavallino) comportano, infatti, un con-

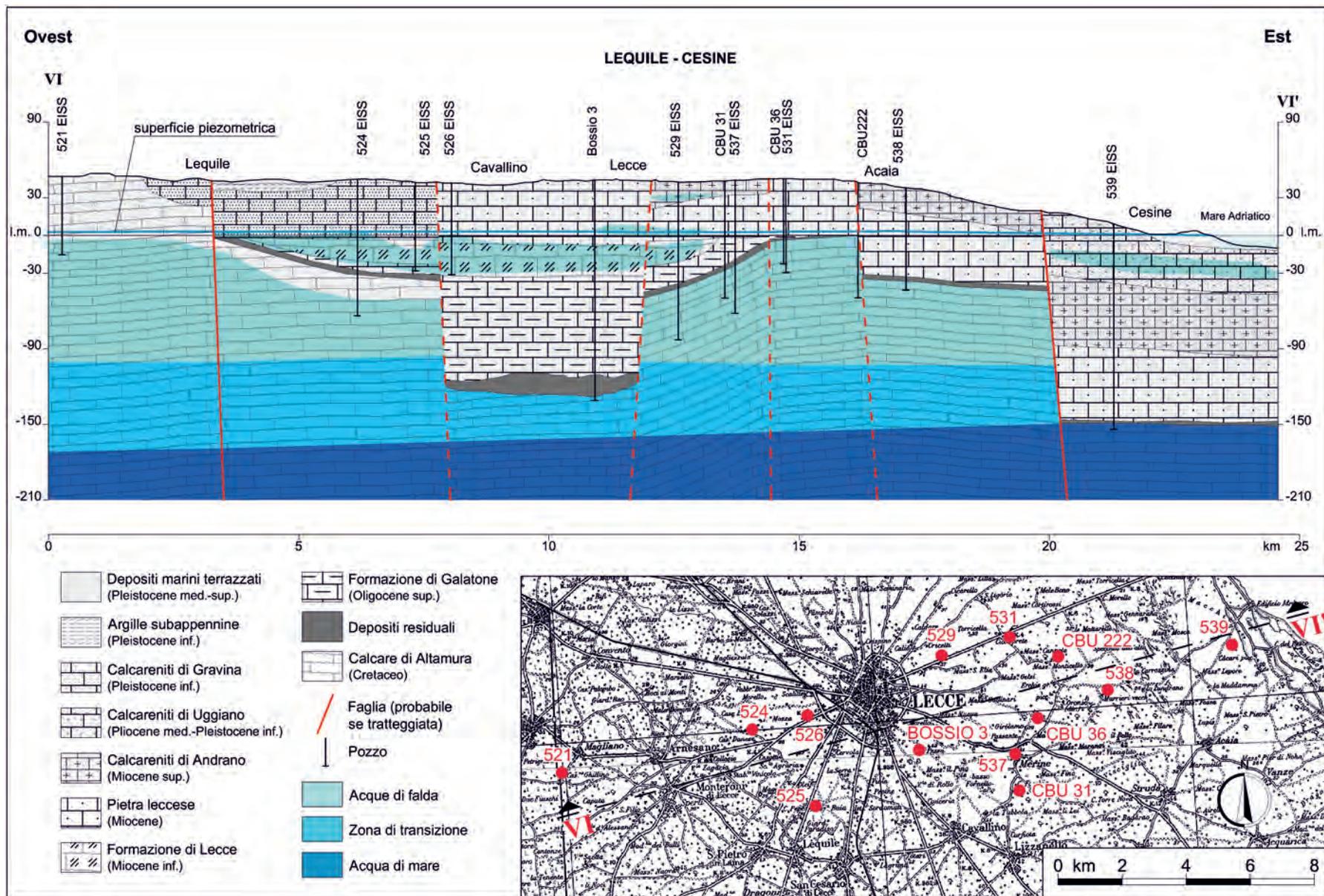


Fig. 18.17 - Sezione idrogeologica dell'area a Sud di Lecce.
 - Hydrogeological profile of the area south of Lecce.

finamento della falda profonda, le cui altezze piezometriche massime sono dell'ordine di 3 m s.l.m. La concentrazione salina e quella dello ione cloruro della falda profonda sono variabili, rispettivamente, da 0,5 g/l e 0,1 g/l nelle aree più interne e tra 20 g/l e 10 g/l in prossimità della costa (fig. 18.17; tab. 18.1). Laddove i calcari sono affioranti o con tetto a quota superiore a circa -30 m s.l.m., è possibile estrarre dai pozzi portate dell'ordine di 35÷50 l/s con depressioni idrodinamiche inferiori al metro. Ove i calcari presentano profondità maggiori, essi sono in genere invasi dalle acque marine o, comunque, notevolmente salmastre.

Oltre l'acquifero cretatico profondo, i dati idrogeologici disponibili hanno permesso di individuare almeno altri quattro corpi idrici sotterranei nelle rocce mioceniche e plio-pleistoceniche, di cui uno in evidente connessione idraulica con la falda profonda. In particolare, due acquiferi freatici sovrapposti sono stati individuati a 2,5 km ad Est di Lecce (cfr. pozzo 529 EISS, fig. 18.16), entrambi con circolazione idrica sotterranea a quota superiore a quella del livello mare, presentanti spessori variabili tra 6 m e 12 m. Dette falde superficiali sono ospitate nelle porzioni più fratturate e permeabili delle formazioni mioceniche delle Calcareniti di Andrano e della Pietra Leccese. Le acque di falda, presumibilmente dolci, sono sostenute alla base dai livelli calcarenitici più compatti ed impermeabili delle formazioni mioceniche stesse. A 5 km dalla costa, invece, presso Cesine, si sviluppa un acquifero superficiale separato dall'acquifero profondo da potenti banchi calcarenitici impermeabili. In esso circola una falda (Falda del Fontanelle) presentante un regime idrogeologico indipendente dalla falda profonda. La falda superficiale nel caso del pozzo 539 EISS è confinata tra le quote -13,5 e -29 m s.l.m., con un carico piezometrico pari a 9,7 m s.l.m. In detto pozzo le acque risultano sospese e sostenute, alla base, dai livelli argillosi impermeabili della formazione pliocenica delle Calcareniti di Uggiano. La bassa salinità delle acque (circa 0,3 g/l, tab. 18.1) conferma l'assenza di contaminazione salina da parte dell'acquifero profondo.

Tra i territori di Lequile e Lecce vi è uno dei casi, frequenti nel Salento, in cui l'acquifero superficiale

è solo apparentemente separato dall'acquifero cretatico profondo. Detto acquifero presenta spessore variabile tra 20 e 30 m e la falda risulta freatica, nei pressi di Lequile, e confinata presso Lecce. Essa si sviluppa principalmente nella Formazione di Lecce e nei livelli permeabili della Pietra Leccese ed è sostenuta alla base dalle rocce poco permeabili della Formazione di Galatone. La falda è caratterizzata da valori di altezze piezometriche, concentrazioni saline e depressioni idrodinamiche durante l'emungimento, del tutto paragonabili a quelli della falda profonda cretatica. I dati indicano l'esistenza di connessioni idrauliche laterali e verticali tra l'acquifero cretatico profondo e quello miocenico superficiale, provocate localmente dallo stato di fratturazione delle rocce mioceniche.

18.4.3. - *La falda profonda e l'intrusione marina nel continente*

I calcari cretacei del Salento, interessati dalla falda profonda, sono permeabili per fratturazione e talora carsismo insieme. Essi sono infatti interessati da frequenti fratture di origine tettonica che, intersecandosi con i giunti di strato, determinano un vero e proprio sistema irregolare di fessure, entro cui si esplica la circolazione idrica sotterranea profonda (cap. 2).

Sebbene il Salento faccia parte della piattaforma carbonatica appula, nella quale le acque sotterranee appartengano ad un'unica imponente falda, esso è caratterizzato da un ambiente idrogeologico differente dalla contigua Murgia. Infatti, i calcari cretacei presentano una permeabilità molto elevata, ben superiore a quella delle altre aree idrogeologiche regionali (tav. 3 f.t.).

La notevole diversità idrogeologica tra Murgia e Salento è giustificata essenzialmente dalla differenziata evoluzione tettonico-carsica. Infatti, mentre l'attuale ambiente idrogeologico della Murgia è espressione principalmente della neotettonica, nel Salento, invece, esso può considerarsi il risultato combinato di una tettonica antica e di un'altra recente. La Penisola Salentina, sin dal Paleogenico, ha subito infatti le conseguenze di una significativa tettonica disgiuntiva che, dislocando e disarticolando in blocchi l'ammasso carbonatico, ha creato le pre-

messe per movimenti differenziali (fig. 18.18). Alcune fasi di detta tettonica sono state di intensità tale da originare subsidenze, associate ad ingressioni marine e successivi sollevamenti. L'intensità ed il carattere differenziale dei movimenti verticali, accentuandosi nel tempo, ha fatto sì che ciascuna trasgressione impegnasse aree sempre più vaste.

Il sollevamento prodottosi nel Pliocene medio e la fase di subsidenza iniziata nel Pliocene superiore, responsabile dell'unica ingressione coinvolgente anche parte dell'attuale Murgia, hanno conferito alla regione l'attuale configurazione morfo-strutturale e geografica. Il movimento in parola ha reso sostanzialmente diverse le modalità e l'entità con le quali nei due blocchi regionali (Murgia e Salento), si compie la migrazione in profondità nell'acquifero. Nel nuovo scenario, la cosiddetta "Soglia Messapica" (cap. 15), ha assunto il ruolo di "zona cuscinetto", con caratteri idrogeologici di transizione, mentre il Salento (molto più permeabile) è stato posto nella condizione di favorire il drenaggio delle acque della falda murgiana, o quantomeno di ripristinare, esaltandolo, il preesistente scambio idrico. Il repentino mutare dell'ambiente murgiano in corrispondenza della Soglia Messapica è evidenziato, oltre che dalla notevole e brusca riduzione dell'altezza piezometrica, anche dal subitaneo accentuarsi (in termini sia areali che di penetrazione) del fenomeno della contaminazione delle acque di falda ad opera dell'intrusione marina, nonché dalla presenza, in prossimità della costa ionica nella zona di Taranto, di numerose e cospicue manifestazioni sorgentizie (costiere e sottomarine), drenanti le acque della falda murgiana (COTECCHIA, 1992).

La circolazione idrica dell'imponente falda profonda salentina si esplica con carichi piezometrici massimi dell'ordine di 3 m s.l.m. e cadenti piezometriche dell'ordine di qualche decimo per mille, in condizioni prevalentemente freatiche o lievemente confinate. Solo in alcuni casi essa risulta fortemente in pressione. Ciò si verifica quando i terreni miocenici ed, a luoghi, plio-pleistocenici, delimitanti superiormente l'acquifero, sono scarsamente permeabili e si spingono a notevole profondità (fig. 18.19).

L'efflusso a mare avviene in svariate condizioni

(concentrato o diffuso, a pelo libero o in pressione, a distanza dalla costa), a seconda delle caratteristiche geologico-strutturali presenti nel continente e lungo costa.

18.4.3.1. - Alimentazione dell'acquifero profondo

I terreni affioranti nella Penisola Salentina presentano una estrema variabilità del grado di permeabilità (fig. 18.20). Essi sono infatti costituiti sia da rocce calcaree altamente permeabili per fratturazione e carsismo, sia da formazioni post-cretacee, il cui grado di permeabilità può variare da medio-alto a basso, sino a poterlo ritenere, talora, praticamente nullo (COTECCHIA, 1992). In alcune zone del territorio salentino è possibile, peraltro, individuare bacini, spesso endoreici, delimitati da spartiacque di esigua altitudine, che, per la presenza di coperture argillose di discreto spessore, originano zone di allagamento.

Nell'insieme, i terreni affioranti presentano permeabilità tale da rendere agevole l'infiltrazione nel sottosuolo delle acque meteoriche. Nel Salento sono, infatti, assenti corsi d'acqua superficiali degni di rilievo.

Un importante ruolo nel processo di alimentazione della falda profonda è svolto, nei massicci carsici, dall'epicarso (cap. 1), costituito dalla porzione più superficiale della zona vadosa, di spessore variabile, caratterizzata da calcare alterato ad elevata porosità secondaria, entro cui si esplica un'elevata capacità di accumulo idrico. La restante parte della zona vadosa si comporta, invece, prevalentemente come zona di trasmissione dell'acqua verso il basso e presenta minore capacità di immagazzinamento. Nell'area compresa tra gli abitati di Galugnano e Sternatia, a 20 km circa a Sud di Lecce, è possibile rilevare, ad esempio, avvallamenti morfologici, in genere determinati dalla tettonica disgiuntiva dell'area, che causano frequenti alluvionamenti. I blocchi micro-carsificati, costituenti la parte sommitale dell'epicarso, ed i locali avvallamenti dell'area, oscurano la presenza di piccole doline, che alimentano abbondantemente l'acquifero profondo dell'area.

Le fratture subverticali svolgono una importante funzione ai fini della migrazione verso il

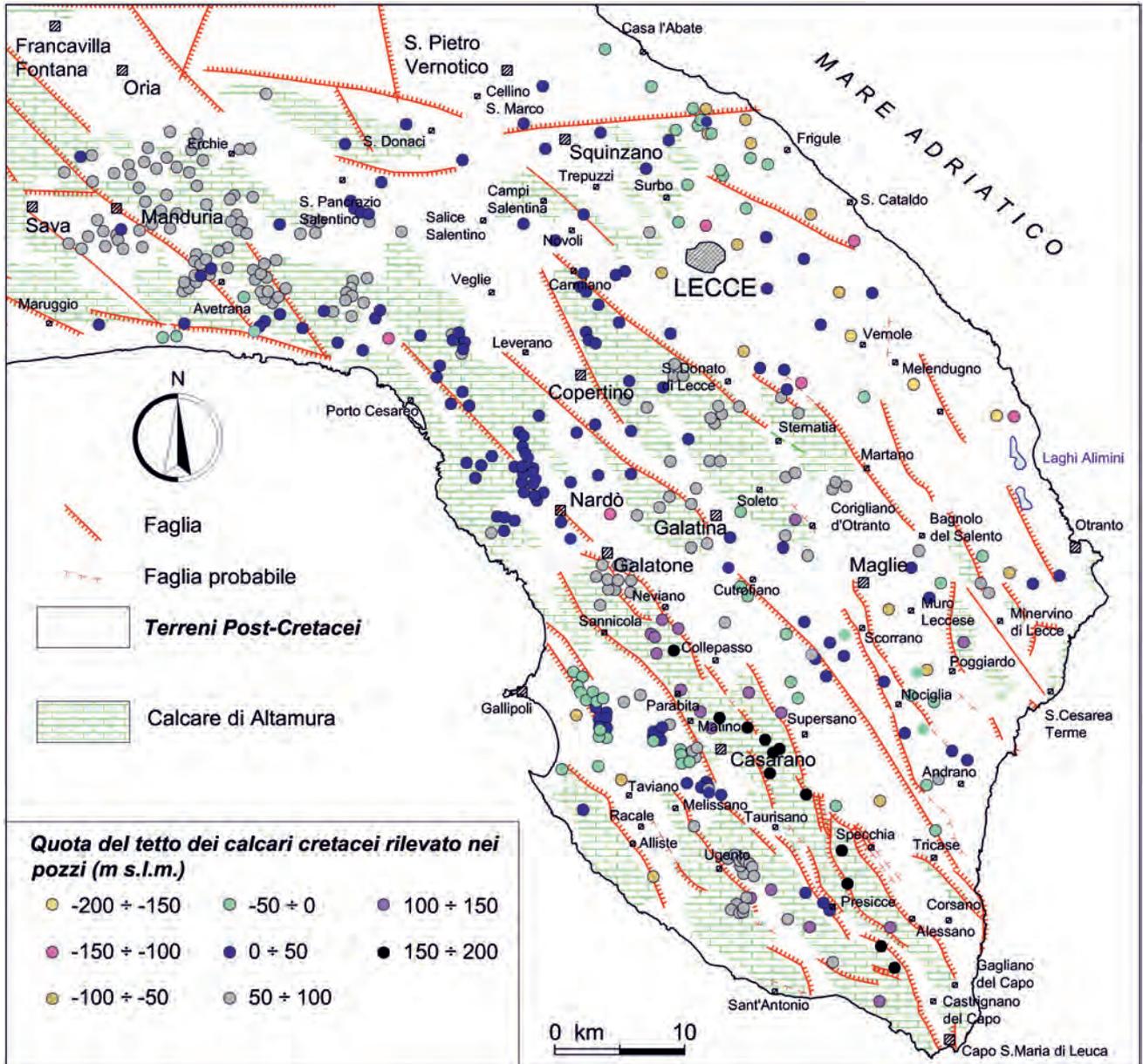


Fig. 18.18 - Carta geologico-strutturale semplificata del Salento con indicazione delle quote del tetto dei calcari cretacei rinvenute da perforazioni.
- Simplified geological and structural map of Salento with indication of the elevations of the top of Cretaceous limestones, as determined through boreholes.

basso delle acque meteoriche e, insieme alle stratificazioni orizzontali, costituiscono una fitta rete di discontinuità entro cui le acque di alimentazione si muovono ed, infine, raggiungono la falda profonda. Inoltre, laddove la naturale disposizione degli strati è alterata, specie lungo le superfici di frizione di pareti di taglio, si creano zone di minutissima fratturazione, maggiormente disponibili a successive alterazioni. Sotto l'azione chimica delle acque meteoriche si sono così sviluppati, entro la massa calcarea, intensi processi carsici, che, lungo

le discontinuità di grosse fratture ed all'incrocio di esse, hanno dato luogo alla formazione di cavità intercomunicanti (serie di grotte) o di grosse voragini verticali (vore; par. 18.3.2). In un simile ambiente, le acque meteoriche sono rapidamente inghiottite e raggiungono profondità maggiori per gravità (per stillicidio o in forma più concentrata), talvolta trattenute da qualche strato roccioso compatto su cui scorrono per poi riprendere la loro discesa, fino a raggiungere la falda profonda (ZORZI & REINA, 1963).

Dall'analisi della distribuzione delle forme carsiche superficiali (fig. 18.4) è possibile riconoscere le più importanti aree di alimentazione. Una prima grande area di alimentazione, parte attiva per la circolazione idrica sotterranea nel Salento, seppur ancora appartenente al sistema murgiano, è costituita dalle zone immediatamente a Nord dell'allineamento Taranto - Brindisi. Esse sono caratterizzate da vaste estensioni di terreni molto permeabili (calcarei cretatici), particolarmente interessati dalla pre-

senza di doline, in cui l'infiltrazione avviene in modo diffuso. Nella zona immediatamente a Sud di detto allineamento, invece, non si rinvencono forme carsiche superficiali ed il coefficiente di assorbimento dei terreni di copertura è inferiore (COTECCHIA, 1976).

Procedendo verso Sud, nella zona confinante con la Murgia compresa tra Francavilla, Manduria, S. Pancrazio e Mesagne, si riscontrano acque sotterranee provenienti perlopiù dall'acquifero mur-

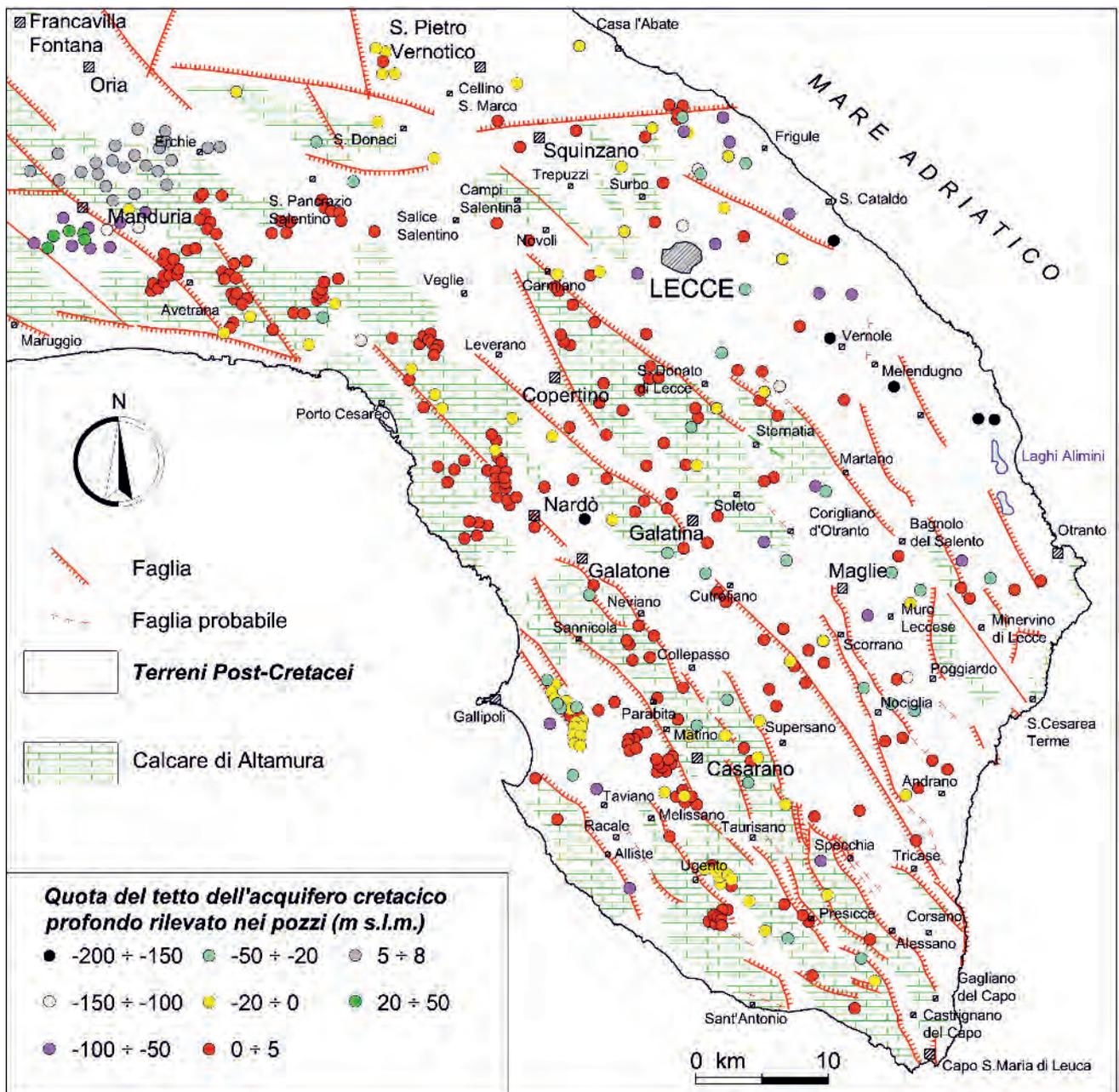


Fig. 18.19 - Carta geologico-strutturale semplificata del Salento con indicazione della quota del tetto dell'acquifero cretatico profondo rinvenuta da perforazioni.
 - Geological-structural map of Salento with indication of the elevation of the top of the deep Cretaceous limestones, as determined through boreholes.

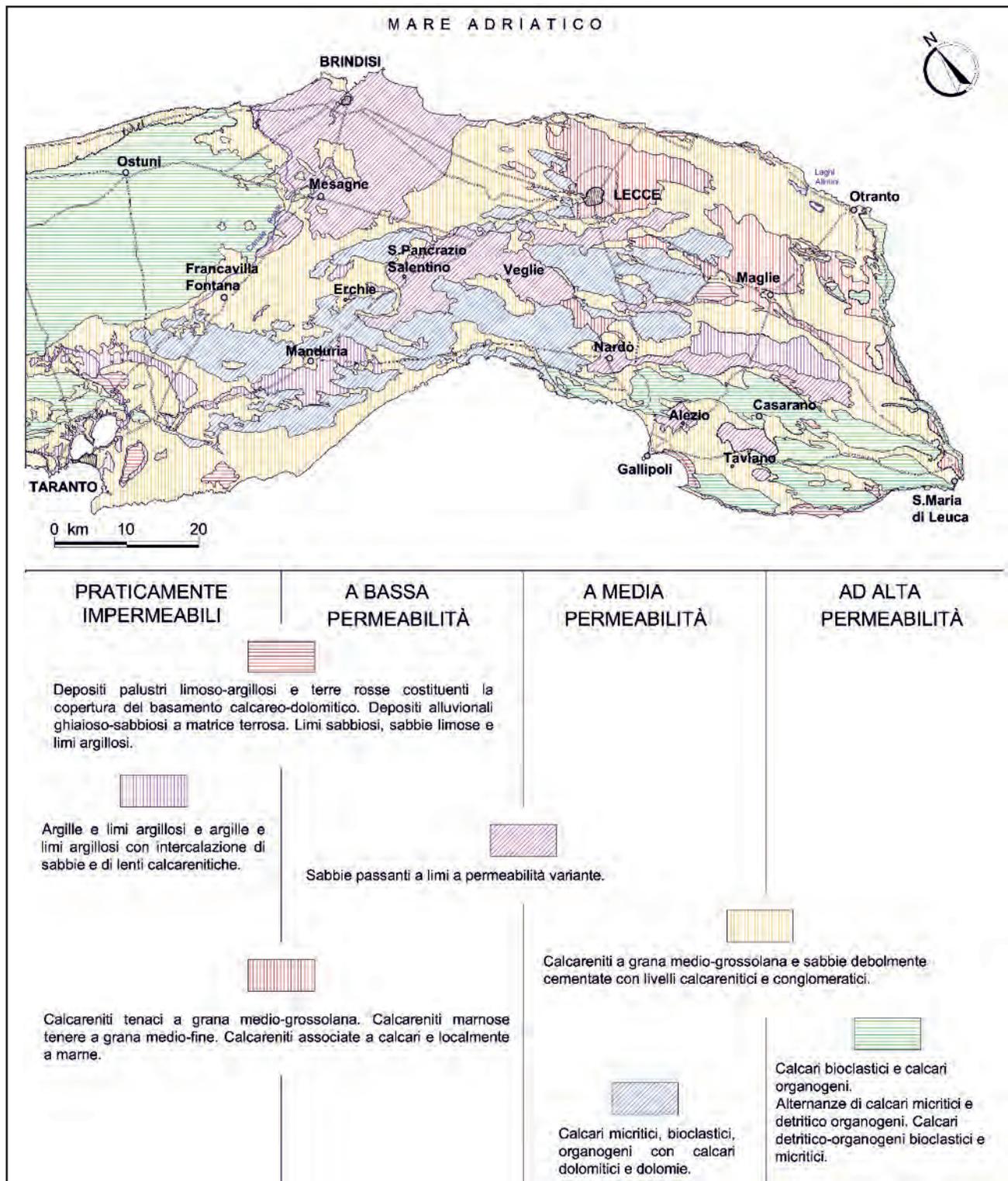


Fig. 18.20 - Permeabilità dei litotipi affioranti nell'area idrogeologica del Salento (da COTECCHIA, 1992).
 - Permeability of outcropping lithotypes in the Salento hydrogeological area (after COTECCHIA, 1992).

giano, piuttosto che da alimentazione di piogge incidenti sul territorio. Nella parte meridionale di questa zona, ovvero nel circondario di Erchie e Manduria, insistono aree entro le quali l'alimenta-

zione della falda avviene mediante un contributo di acque meteoriche di tipo concentrato, a causa della presenza, nell'ambito degli affioramenti poco permeabili, di doline e vore (figg. 18.4, 18.20). In

tale contesto ambientale, le acque meteoriche ruscellano sul terreno e raggiungono la falda solo quando convogliate da forme carsiche. È chiaro dunque che, in dette zone, l'aliquota di infiltrazione è sensibilmente minore rispetto alle aree in cui il fenomeno avviene in forma diffusa. Tale situazione si ripete nella parte centro-settentrionale della Penisola, compresa tra gli abitati di Salice Salentino, Campi Salentina, Trepuzzi, Veglie e Copertino, dove coesistono terreni affioranti di medio-bassa permeabilità e gruppi di vore.

Nella parte centro-meridionale (a Sud-Ovest di Maglie e nei pressi di Casarano, ove affiorano i calcari delle Serre) sono presenti forme carsiche di superficie, sicché, generalmente, l'alimentazione può considerarsi più o meno omogeneamente ripartita su tutto il territorio in argomento ed assume i massimi valori laddove vi è la maggiore concentrazione di vore e inghiottitoi in terreni con medio-alta permeabilità.

In corrispondenza degli affioramenti cretacei, calcarei e dolomitici, la ricarica della falda profonda è notevole ed avviene in modo diffuso.

Gli affioramenti di rocce post-cretaciche concorrono alla ricarica della falda profonda solo localmente. Gli strati calcarenitici post-cretacei non tributano, infatti, acqua alla falda profonda quando formazioni argillose si interpongono ai calcari di base. Ciò accade, ad esempio, nel territorio compreso tra Taviano, Alezio e Gallipoli o in più vaste porzioni, nella zona tra Lecce, Otranto e l'Adriatico (ZORZI & REINA, 1963). In quest'ultima, in particolare, tali strati forniscono un contributo particolarmente scarso, in quanto gli afflussi pluviali incidenti sui terreni pleistocenici affioranti si distribuiscono tra le falde superficiali ed il deflusso a mare avviene attraverso corsi d'acqua temporanei. Nelle zone centro-meridionali della Penisola, invece, le acque meteoriche incidenti sui terreni pleistocenici alimentano sia le falde superficiali, come accade nella zona di Veglie, sia la falda profonda, attraverso inghiottitoi (COTECCHIA, 1976).

Infine, la ricarica della falda profonda può avvenire ad opera delle falde superficiali contenute nei terreni plio-pleistocenici e miocenici, quando sono presenti connessioni idrauliche tra i calcari del Cretaceo ed i sovrastanti terreni post-cretacei

e le falde superficiali presentano altezze piezometriche maggiori di quelle della falda profonda.

L'altezza di pioggia nel Salento assume valori mediamente compresi nell'intervallo 600÷700 mm anno, con l'80% delle precipitazioni concentrate nei mesi autunno-invernali. In particolare, le piogge tendono ad aumentare dal confine murgiano all'estremità della Penisola Salentina, distribuendosi secondo fasce omogenee pressoché perpendicolari alle linee di costa (cap. 7). L'ammontare della ricarica annua dell'intera area idrogeologica del Salento è stata stimata, da vari autori, in circa 750÷850 Mm³ (773 Mm³ - P.T.A., 2009; 754 Mm³ - AdBP, 2012; 846 Mm³ - DE GIROLAMO *et alii*, 2001), valore che include anche la ricarica, modesta, che si sviluppa nella Piana di Brindisi. Il volume totale delle precipitazioni annue è stimabile, invece, in circa 2.800 Mm³. Pertanto, la ricarica rappresenta circa il 30% del totale delle piogge. La ricarica si concentra nei mesi autunnali ed invernali (ottobre÷marzo), è scarsa in settembre ed aprile ed praticamente nulla nel resto dell'anno.

All'alimentazione dell'acquifero profondo salentino contribuisce una discreta quantità di acque sotterranee provenienti dal contiguo acquifero cretaceo murgiano, la cui portata è stata stimata in circa 8÷10 m³/s, sulla base di valutazioni basate sull'entità della cadente piezometrica nella zona di passaggio tra la Murgia ed il Salento, sull'estensione del fronte di deflusso e sull'ordine di grandezza della velocità di filtrazione delle acque sotterranee nella stessa zona (COTECCHIA, 1979). Ulteriori informazioni circa i processi che regolano la circolazione idrica sotterranea nella zona sono state desunte dalla comparazione dei risultati di indagini idrogeologiche, chimico-fisiche e isotopiche (cap. 15; COTECCHIA, 1975; TULIPANO *et alii*, 1993).

18.4.3.2. - Permeabilità dell'acquifero carbonatico profondo

I caratteri di permeabilità delle rocce carbonatiche cretacee del Salento sono il risultato della tettonica subita, la quale, anche se in presenza di giunti tettonici di modesto rigetto, ha influenzato sia lo stato di fratturazione dell'ammasso, sia l'evoluzione

della canalizzazione e vascolarizzazione carsica. I processi genetici ed evolutivi dei sistemi carsici sono, infatti, condizionati dal tipo e dal grado di fratturazione della roccia, oltre che dalla locale presenza di litotipi poco o per nulla carsificabili e dall'abbondante terra rossa, che lo stesso fenomeno carsico produce. Ciò determina, spesso, la coesistenza di orizzonti rocciosi a diretto contatto laterale, con diverso tipo e grado di permeabilità, o anche il rinvenimento di blocchi di roccia molto permeabili inglobati in sistemi rocciosi poco permeabili (COTECCHIA, 1992). Inoltre, l'eventuale presenza di livelli dolomitici poco permeabili, discontinui e di spessore variabile, influisce significativamente nel differenziare la permeabilità lungo le direzioni orizzontale e verticale (COTECCHIA *et alii*, 1983).

I processi di carsificazione sviluppatisi nel Salento, come nella Murgia, sono stati notevolmente influenzati dai continui movimenti relativi tra mare e continente, nel Terziario e Quaternario, che hanno determinato ripetute variazioni di quota del livello di base della circolazione idrica sotterranea, dando vita, in definitiva, ad un carso policiclico. Lungo la verticale della serie mesozoica è possibile, infatti, riscontrare un carsismo evoluto o appena abbozzato, spesso localizzato entro intervalli o orizzonti rocciosi ben definiti, talora correlati tra loro o con antiche linee di costa. Le estese coperture di depositi marini quaternari hanno poi favorito l'incarsimento sotterraneo, rispetto a quello ipogeo. Tali depositi, non consentendo l'infiltrazione e l'alimentazione idrica diretta, hanno inibito, infatti, la genesi delle forme a sviluppo essenzialmente verticale, sia epigee che ipogee. Solo parte della canalizzazione carsica sotterranea a sviluppo sub-orizzontale ha continuato ad evolversi al di sotto di essi, grazie agli apporti idrici provenienti da aree di alimentazione poste a monte della copertura quaternaria (COTECCHIA, 1977a; GRASSI *et alii*, 1982; GRASSI, 1983).

L'elemento che segna il confine Murgia-Salento, sia in termini morfologico-strutturali che idrogeologici, è la già citata Soglia Messapica, una paleostruttura riattivata dalla neotettonica, oggi sepolta dai sedimenti del ciclo plio-pleistocenico (cap. 15). A seguito di movimenti differenziali prodottisi lungo la stessa, il Salento ha assunto il carattere di

bassopiano, la Murgia quello di altopiano. L'innalzamento del livello mare sviluppatosi negli ultimi 20.000 anni (dell'ordine di 120 m; cap. 2) è risultato determinante per la idrogeologia del Salento; esso infatti, ingenerando il sollevamento del livello di base della circolazione idrica sotterranea, ha mitigato gli effetti dell'ultima significativa migrazione in profondità delle rocce cretacee del Salento, contribuendo, pertanto, in maniera decisiva, a posizionare l'acquifero nella parte sommitale e più permeabile dell'ammasso carbonatico, ad una profondità non molto dissimile da quella occupata in passato. La trasgressione flandriana ha consentito all'attuale acquifero di occupare le reti carsiche verticali ed orizzontali, appartenute, rispettivamente, alla zona di percolazione ed alla zona satura dell'ambiente idrogeologico preflandriano o primigenio (Terziario). Si spiega così l'alta permeabilità dell'acquifero attuale, caratterizzato, pertanto, da bassi carichi piezometrici della falda in esso circolante (GRASSI, 1983).

In particolare, come mostrato in figura 18.21, nel Salento il coefficiente di permeabilità dell'acquifero assume, generalmente, valori compresi tra 10^{-2} e 1 cm/s, superiori quindi a quelli rilevati nelle altre aree idrogeologiche regionali (tav. 3 f.t.). Valori del coefficiente di permeabilità inferiori a 10^{-2} cm/s si verificano, in genere, ove il tetto dell'acquifero cretaceo è a diverse decine di metri al di sotto del livello mare: è questo il caso delle aree costiere di Gallipoli e di quella compresa tra Otranto e Lecce. Valori del coefficiente di permeabilità dell'acquifero superiori a 1 cm/s si rinvengono soprattutto nelle aree interne della Penisola, tra Sternatia e Corigliano d'Otranto, ad Est di Maglie, nei pressi di Trepuzzi, e tra gli abitati di Neviano, Sannicola e Collepasso.

In corrispondenza della Soglia Messapica, a Sud dell'allineamento Brindisi-Taranto, il coefficiente di permeabilità è in media compreso nell'intervallo 10^{-2} - 10^{-1} cm/s; valori sensibilmente maggiori (10^{-1} - 1 cm/s) si hanno nei pressi di Oria, Manduria, e San Pietro Vernotico.

Come meglio illustrato nei paragrafi successivi, i tratti costieri con elevata permeabilità, soprattutto per la presenza di affioramenti calcarei cretaci, quali ad esempio la costa a Sud-Est di Ugento, tra Racale e Sant'Antonio e tra Porto Cesareo e Gal-

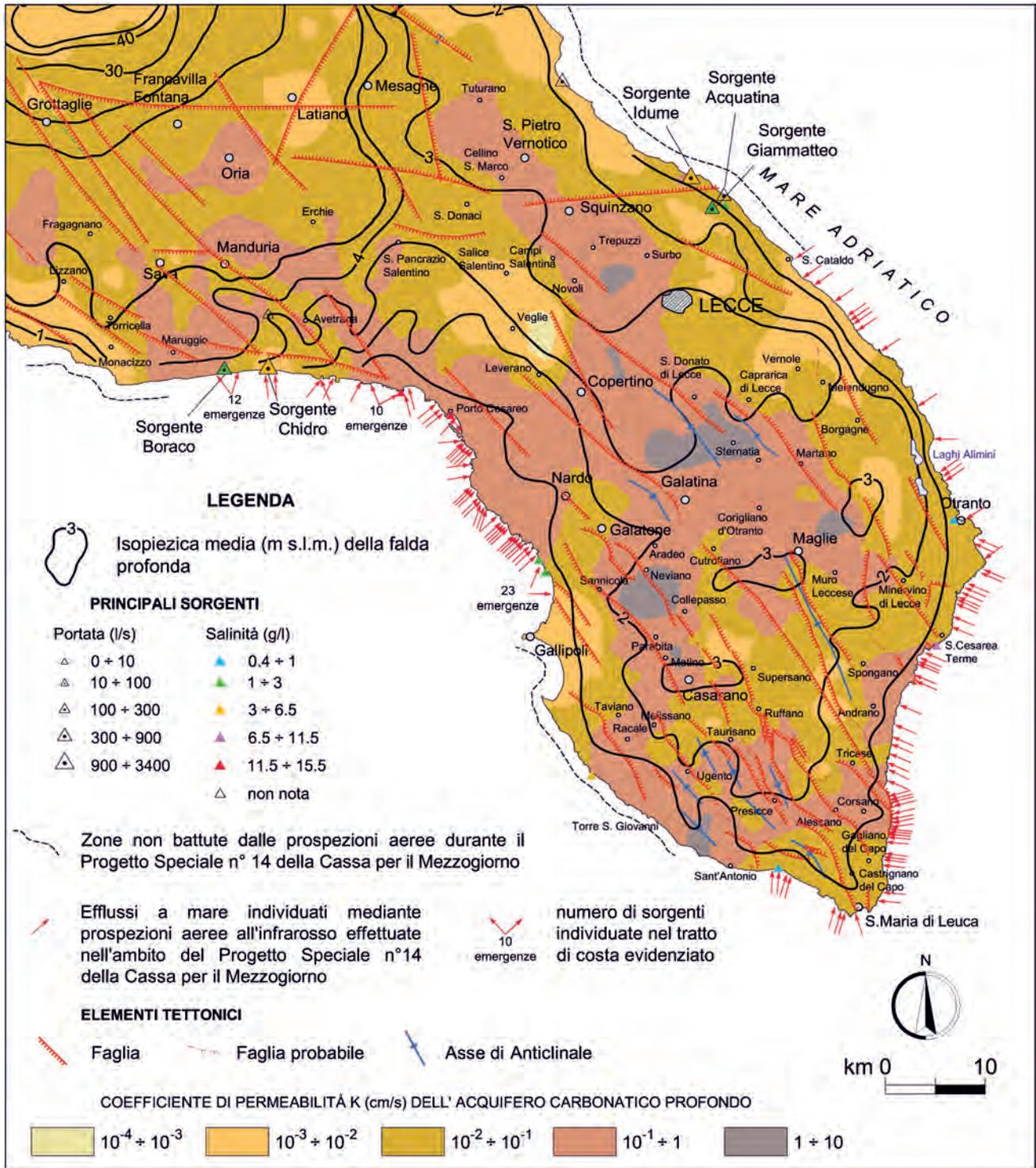


Fig. 18.21 - Isopieziche, principali sorgenti derivanti dalla falda idrica profonda e distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero carbonatico cretaceo profondo appartenente all'area idrogeologica del Salento.

- Isopiezic lines, main springs from the deep aquifer, and permeability coefficient distribution of the deep Cretaceous carbonate aquifer of the Salento hydrogeological area.

lipoli, sono quelli ove ha luogo, in forma massiccia e diffusa, il deflusso diretto a mare della falda. Manifestazioni sorgentizie possono, tuttavia, avere luogo in aree con bassi valori di permeabilità; in tal

caso esse sono di scarsa entità o, se abbondanti, di tipo concentrato e connesse a fenomeni tettonici o carsici singoli, come la Sorgente Chidro, a Sud di Manduria.

18.4.3.3. - Piezometria della falda profonda

Le quote piezometriche della falda profonda assumono i valori massimi, dell'ordine di 3 m s.l.m., nelle aree interne centrali e si annullano quasi in corrispondenza della linea di spiaggia adriatica e ionica. Ne consegue pertanto che lo spessore della falda di acqua dolce, in ragione delle leggi regolanti l'equilibrio acqua dolce- acqua di mare, assume la forma di una lente biconvessa, di spessore massimo nella parte centrale della Penisola (fig. 18.10). Lo spartiacque sotterraneo si sviluppa parallelamente alla direzione di massimo allungamento della Penisola ed è sensibilmente più vicino al mare Adriatico che al Mare Ionio, e ciò a causa della presenza, tra Lecce e Otranto, di potenti depositi argillosi che ostacolano il deflusso delle acque verso il mar Adriatico. Ne consegue che le massime altezze piezometriche della falda non si registrano esattamente al centro della Penisola ma sono spostate verso oriente (ZORZI & REINA, 1963). Lo spartiacque idrogeologico subisce inoltre periodici spostamenti di alcuni chilometri a causa delle differenze di quota, dell'ordine di alcuni decimetri, che si instaurano fra i Mari Adriatico e Ionio, oltre che delle variazioni nelle condizioni di ricarica ed attingimento dalla falda. La mobilità dello spartiacque sotterraneo determina, ovviamente, variazioni dei deflussi idrici sotterranei e dei riversamenti in mare delle acque di falda (COTECCHIA, 1977b).

L'andamento delle linee isopieziche della falda profonda fornisce indicazioni circa i rapporti esistenti tra la circolazione idrica sotterranea dell'acquifero murgiano e quella dell'acquifero salentino (fig. 18.22, tav. 4 f.t.). Il passaggio tra le due aree idrogeologiche avviene in corrispondenza delle linee isopieziche comprese tra 10 m e 3 m s.l.m.. Inoltre, la maggiore permeabilità dell'acquifero carbonatico salentino, rispetto a quello murgiano, determina nel primo valori più bassi della cadente piezometrica. Infatti, mentre nell'area murgiana si hanno valori compresi tra il 4 ed 5‰, nella Penisola Salentina si scende a valori generalmente inferiori a 0,25‰.

La distribuzione delle altezze piezometriche della falda profonda è ovviamente condizionata

dalla distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero (fig. 18.21). Quando l'acquifero è caratterizzato da elevata permeabilità, si rilevano bassi valori della cadente piezometrica, rilevabili dalla maggiore distanza tra le linee isopieziche. Viceversa, valori inferiori del coefficiente di permeabilità determinano un incremento della cadente piezometrica (COTECCHIA, 1976).

L'andamento delle linee isopieziche e la distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero evidenziano come in corrispondenza di alcuni fronti costieri, caratterizzati in genere da presenza di manifestazioni sorgentizie, si sviluppi un notevole deflusso idrico sotterraneo (figg. 18.21, 18.22). In prossimità della imponente sorgente Chidro (cap. 4), a Sud di Manduria, si osservano elevati valori del coefficiente di permeabilità ed un arretramento delle linee isopieziche, sino ad una distanza dalla costa dell'ordine di 9 km, determinato dall'elevato drenaggio sulla falda profonda ad opera della sorgente. Analogamente, nella zona di Porto Cesareo, ove vi è una notevole presenza di deflussi costieri, si rileva un notevole incremento del coefficiente di permeabilità dell'acquifero e la conseguente riduzione della cadente piezometrica. Nelle zone costiere ove i deflussi sono praticamente assenti, a causa della profondità dell'acquifero, si osserva una generale riduzione del coefficiente di permeabilità ed un incremento della cadente piezometrica.

Si osserva, infine, la presenza di zone di drenaggio della falda profonda, evidenziabili da un arretramento delle linee isopieziche della falda profonda, coincidenti con aree ad elevata permeabilità, specie se delimitate da aree a minore permeabilità (COTECCHIA, 1976).

La piezometria della falda profonda risente degli attingimenti operati dalle decine di migliaia di pozzi presenti in Salento. In presenza di valori modesti della cadente piezometrica, gli abbassamenti piezometrici dovuti all'emungimento possono rendere difficoltosa la ricostruzione delle linee isopieziche. È questa la situazione della parte mediana della Penisola Salentina, ove la superficie della falda profonda è pressoché orizzontale a causa della presenza dello spartiacque idrogeologico ed è presente un notevole disordine idraulico generato dagli

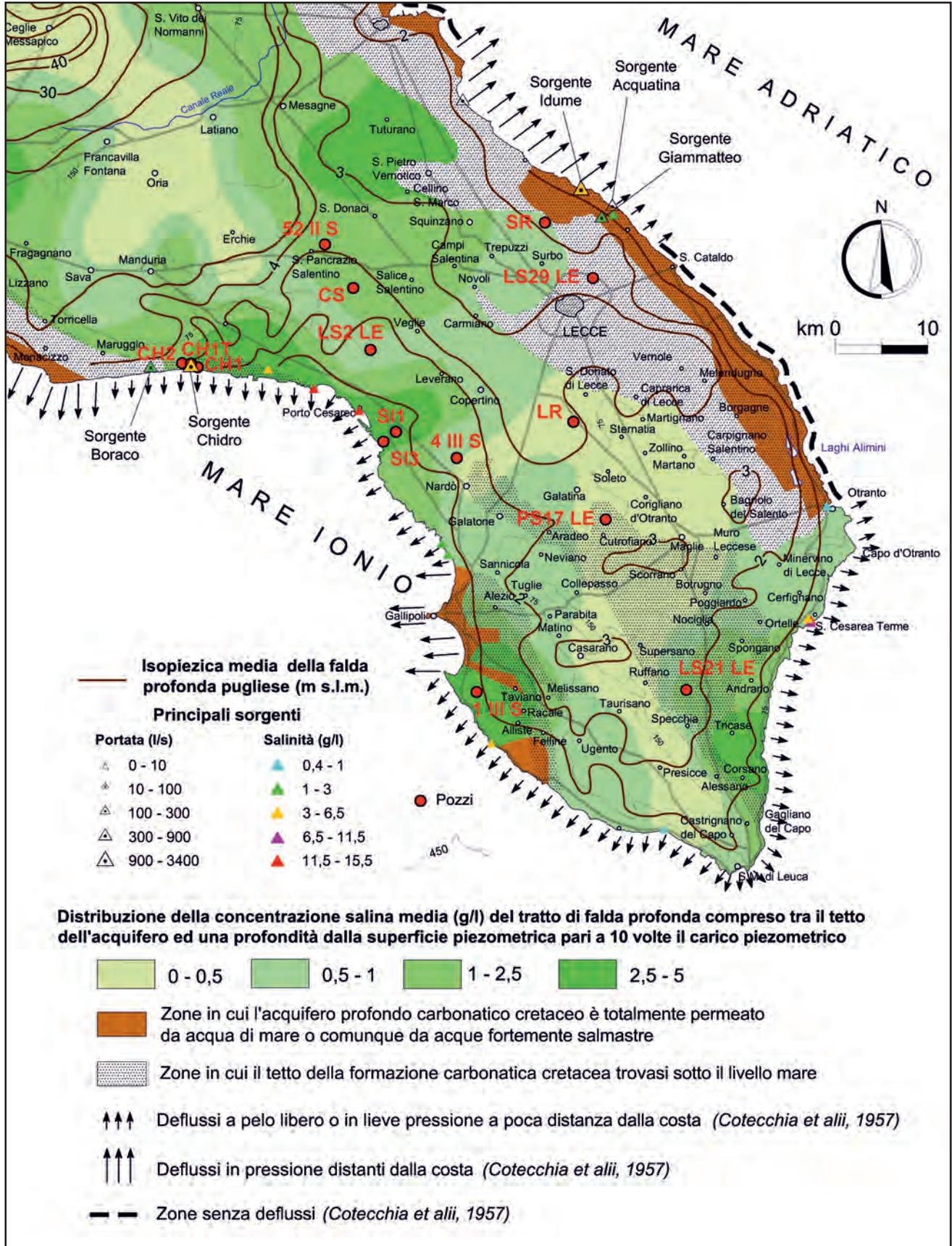


Fig. 18.22 - Carta idrogeologica della Penisola Salentina.
 - Hydrogeological map of the Salento Peninsula.

emungimenti, circostanze che rendono difficoltosa l'individuazione della direzione di deflusso.

Il comportamento dinamico della superficie della falda profonda è condizionato, inoltre, dalle variazioni di pressione atmosferica, le quali possono agire sia in modo diretto sull'altezza piezometrica, sia in modo indiretto per mezzo del mare (cap. 2; COTECCHIA, 1977a). Le variazioni nel tempo della piezometria della falda determinate dall'influenza indiretta della pressione atmosferica sono funzione, inoltre, delle caratteristiche idrogeologiche dell'acquifero (spessore, coefficiente di permeabilità, porosità efficace e coefficiente di immagazzinamento, nel caso di acquiferi confinati), che determinano le leggi con cui le oscillazioni del livello mare si propagano sui livelli di falda (MAGRI & TROISI, 1969; COTECCHIA, 1977a). Meno evidenti risultano invece le variazioni di altezza piezometrica della falda, che si sviluppano su grande scala in ragione del regime afflussi-deflussi. Carotaggi salini eseguiti in pozzi "spia" hanno, infatti, rivelato che queste variazioni si ripercuotono in maniera più sensibile sulla posizione della zona di transizione tra la falda dolce e la sottostante acqua marina, in accordo con i principi generali che regolano l'equilibrio acqua dolce-acqua di mare (cap. 2; COTECCHIA, 1977a).

18.4.3.4. - Temperatura delle acque sotterranee e di sorgente

La temperatura delle acque sotterranee può essere utilizzata come tracciante naturale per lo studio dei processi di alimentazione della falda, della circolazione idrica sotterranea, degli efflussi in mare e dell'equilibrio acqua dolce - acqua di mare (cap. 2).

L'analisi della distribuzione delle temperature e l'osservazione dei gradienti geotermici consentono, in particolare, di individuare il percorso che le acque sotterranee compiono, dall'infiltrazione sino al deflusso in mare, essendo la temperatura funzione anche dei tempi di residenza dell'acqua nella roccia.

In generale, in corrispondenza delle aree di ricarica, ove si rilevano le massime altezze piezometriche (poco superiori a 3 m s.l.m.), la temperatura dell'acqua sotterranea presenta i valori minimi, in

genere compresi nell'intervallo 14÷17°C, in ragione dei minori tempi di residenza. I massimi valori di temperatura si rilevano, invece, in prossimità della costa (COTECCHIA, 1977a; COTECCHIA *et alii*, 1978; COTECCHIA *et alii*, 1981; TULIPANO, 1988).

La temperatura delle acque provenienti dalle principali sorgenti del Salento è in genere compresa tra 17,5 e 18,5°C, con variazioni stagionali inferiori a 0,3 °C. Le acque di pioggia presentano, a livello del suolo, una temperatura di 2-3 °C inferiore a quella dell'aria, per cui si può ritenere che nel semestre autunno-inverno, una volta infiltratesi nel terreno, esse abbiano una temperatura in media compresa tra 9 e 10°C. Ne consegue che le variazioni stagionali di temperatura hanno scarsa influenza su quella delle sorgenti. In effetti, le sorgenti della Penisola Salentina non sono mai alimentate direttamente dalle acque di infiltrazione, ma drenano acqua dalla falda profonda, come dimostra la loro portata relativamente costante, malgrado il regime pluviale irregolare.

Le isoterme della falda profonda riportate nelle sezioni schematiche di figura 18.23 indicano che il gradiente geotermico della Penisola Salentina è positivo. Inoltre, per effetto dell'influenza del mare lungo le fasce costiere e del calore sottratto dalle acque di infiltrazione e di falda al flusso geotermico, le isoterme risultano concave verso l'alto e tanto più profonde quanto maggiore è il trasporto di calore dalla roccia all'acqua di falda, ossia dove maggiori risultano l'alimentazione diretta (area dello spartiacque sotterraneo) e la mobilità delle acque di falda (aree con forti efflussi a mare). Al contrario, le isoterme si addensano (parte destra della sezione I-I' di figura 18.23), nei casi in cui le acque di falda sono scarsamente mobili, a causa della presenza di depositi praticamente impermeabili, oppure se l'alimentazione della falda per infiltrazione di acque meteoriche è assente, o ancora se affiorano litotipi a conduttività termica minore rispetto a quella dei sottostanti terreni carbonatici.

Non è possibile affermare a priori quale dei due effetti, influenza termica del mare e calore sottratto dalle acque al flusso geotermico, sia preponderante sull'altro. In linea generale, per quanto riguarda l'area centrale della penisola salentina avviene che lungo la costa ionica si hanno maggiori velocità di

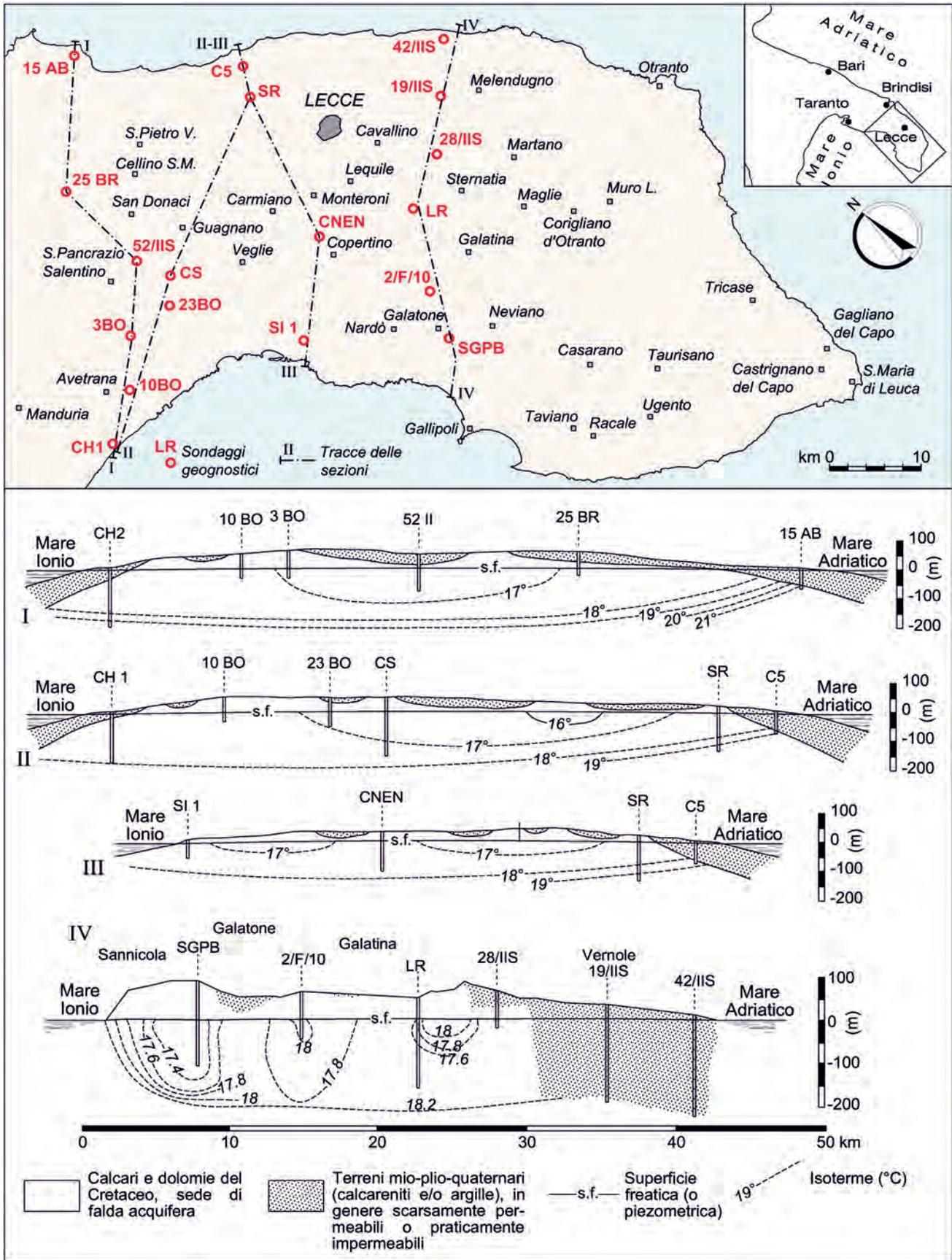


Fig. 18.23 - Sezioni geologiche schematiche indicanti l'andamento delle isoterme della falda idrica profonda Salentina (mod., da COTECCHIA, 1977a).
 - Schematic geological profiles showing the isotherms of the Salento deep aquifer groundwater (modified after COTECCHIA, 1977a).

deflusso (minore riscaldamento per residenza) e maggiore permeabilità delle rocce (maggiore riscaldamento per influenza del mare). Il contrario accade lungo la costa adriatica (COTECCHIA, 1977a).

18.4.3.5. - Contenuti isotopici delle acque di falda

Gli isotopi ambientali sono stati largamente utilizzati, in ricerche condotte in passato in Puglia, per lo studio della circolazione idrica sotterranea nella Penisola Salentina, ed in particolare per analizzare l'evoluzione nel tempo dei rapporti presenti tra mare ed acque sotterranee.

La misura della concentrazione degli isotopi ambientali e della sua variazione nello spazio e nel tempo consente, infatti, di determinare l'età e i tempi di residenza delle acque sotterranee negli acquiferi (cap. 9), nonché di formulare ipotesi sul bacino di alimentazione e sulla direzione e velocità del flusso su grande scala.

In questo paragrafo si illustrano riassuntivamente i risultati ottenuti da ricerche condotte

negli anni Settanta nella Penisola Salentina, sulla base della interpretazione degli isotopi ambientali δO^{18} , δD , δC^{13} e C^{14} (COTECCHIA *et alii*, 1974; COTECCHIA, 1977a).

Nelle sezioni di figura 18.24 sono riportati i dati isotopici del Mar Ionio, del Mar Adriatico, delle acque sotterranee prelevate da alcuni pozzi spia e delle sorgenti Chidro e Idume; nella planimetria della stessa figura sono indicate le ubicazioni dei pozzi, le tracce delle sezioni ed i dati isotopici delle sorgenti Boraco, Moncalieri, Fonte Pliniana e Tre Fontane.

Le acque sotterranee sospese, non interessate cioè dalla contaminazione salina, hanno presentato contenuti medi di δO^{18} e δD , riferiti allo *Standard Mean Ocean Water* (CRAIG, 1961), pari rispettivamente a -5,7‰ e -33,7‰, lievemente inferiori ai valori medi ottenuti per le acque dolci di falda e per le acque salmastre galleggianti su acqua di mare (-5,4‰ e -32,1‰).

In figura 18.25 sono riportati i contenuti degli isotopi δO^{18} e δD in funzione dello ione cloruro. La molteplicità degli elementi che concorrono a

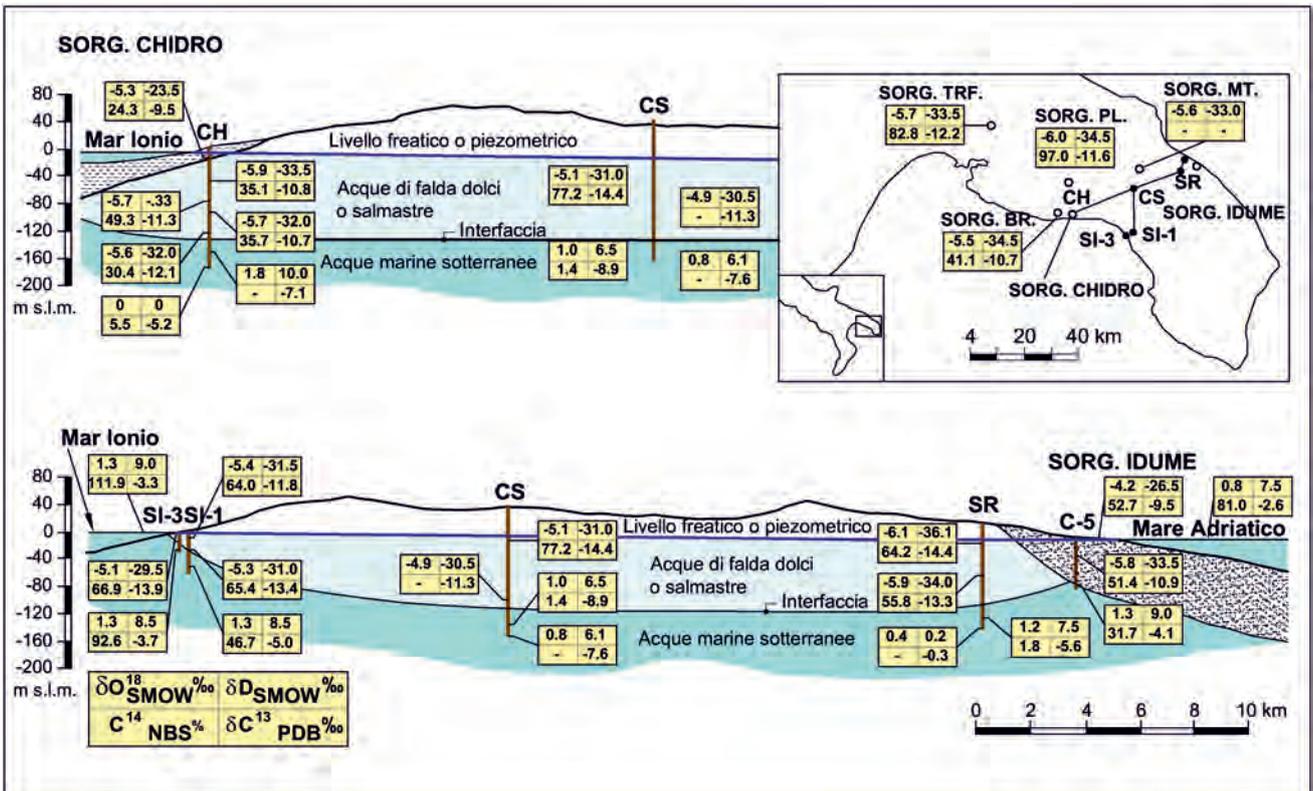


Fig. 18.24 - Planimetria con ubicazione dei pozzi e delle sorgenti e sezioni schematiche con l'indicazione dei dati isotopici della Penisola Salentina (da COTECCHIA, 1977a).
 - Map showing the location of wells and springs, and schematic profiles with indication of isotopic data of the Salento peninsula (after COTECCHIA, 1977a).

definire i contenuti di detti isotopi determina una certa dispersione dei dati; tuttavia è possibile riconoscere il legame esistente tra i contenuti in isotopi e quelli in cloro, dovuto alla contaminazione marina. Il rapporto esistente tra δO^{18} e δD (fig. 18.26) per le acque presentanti valori di $Cl^- < 15$ meq/l è quasi non distinguibile da quello delle acque presentanti $Cl^- > 15$ meq/l. Detta circostanza è da imputare al fatto che le variazioni in isotopi stabili, determinate dalla contaminazione marina, sono mascherate dalle variazioni dovute ad altre circostanze, quali l'influenza stagionale dei contenuti in isotopi, la piovosità e le condizioni di infiltrazione.

Le acque di intrusione marina, presenti nell'acquifero alla base della falda di acqua dolce, hanno contenuti isotopici medi ($\delta O^{18}=1,31$; $\delta D=+8,48$) di poco superiori a quelli del mare ($\delta O^{18}=1,07$; $\delta D=+8$). In prossimità dei pozzi SI-1 e SI-3 (fig. 18.27) sono stati rilevati contenuti degli isotopi δO^{18} e δD molto prossimi a quelli del Mare Ionio, probabilmente a causa della presenza delle estavelle (S. Isidoro), che funzionano da inghiottitoi di acque marine nei periodi di alta marea (cap. 2). In prossimità del pozzo CH, nei pressi della sorgente Chidro, sono stati invece rilevati contenuti signifi-

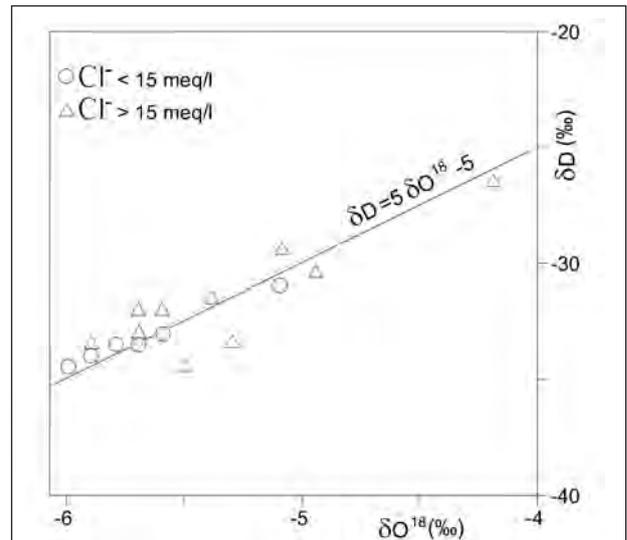


Fig. 18.26 - Relazione fra i valori di δO^{18} e δD per le acque sotterranee dolci e salmastre prelevate dai pozzi ubicati in fig. 18.24 (da COTECCHIA, 1977a).
- Relationship between the δO^{18} and δD values for fresh and brackish water extracted from the wells located in fig. 18.24 (after COTECCHIA, 1977a).

cativamente maggiori. Anche nei pozzi SR e C-5 gli isotopi hanno presentato contenuti sensibilmente maggiori di quelli del mare Adriatico.

Commentando i dati sperimentali detti, si può quindi concludere che, nelle aree costiere ove i rapporti tra mare ed acque sotterranee sono ostacolati da terreni poco permeabili, le acque marine sotterranee, sia del versante adriatico che ionico, presentano contenuti in isotopi pesanti maggiori di quelli del mare, ad evidenziare che l'ingressione marina nell'acquifero è avvenuta probabilmente in condizioni climatiche differenti da quelle attuali. Ove invece esiste un rapido collegamento del continente con il mare, nell'acquifero sono presenti acque marine più giovani, che pertanto presentano contenuti isotopici medi poco dissimili dall'acqua di mare.

Nell'analizzare il comportamento degli isotopi del carbonio (δC^{13} e C^{14}), è necessario considerare il chimismo della CO_2 e dei carbonati, argomento notoriamente complicato, tanto da determinare al riguardo notevoli incertezze nello studio delle acque sotterranee. È tuttavia possibile rilevare interessanti comportamenti. La concentrazione in carbonati totali delle acque dolci e salmastre è mediamente circa due volte superiore a quella delle sottostanti acque marine (fig. 18.28). Le acque marine presenti alla base dell'acquifero presentano concentrazioni in bicarbonati simili a quelle del

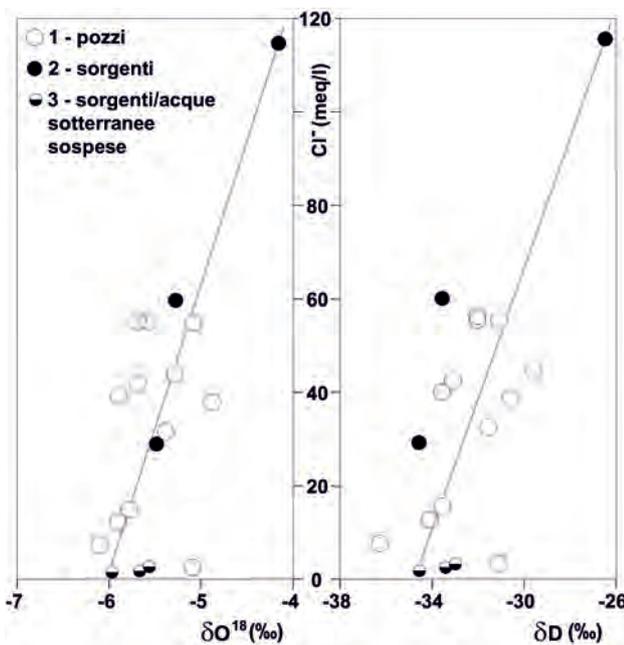


Fig. 18.25 - Relazione fra i valori di δO^{18} e δD ed i contenuti di Cl^- per le acque sotterranee dolci e salmastre prelevate dai pozzi ubicati in fig. 18.24 (da COTECCHIA, 1977a).

- Relationship between the δO^{18} and δD values and Cl^- content for fresh and brackish groundwater extracted from the wells located in fig. 18.24 (after COTECCHIA, 1977a).

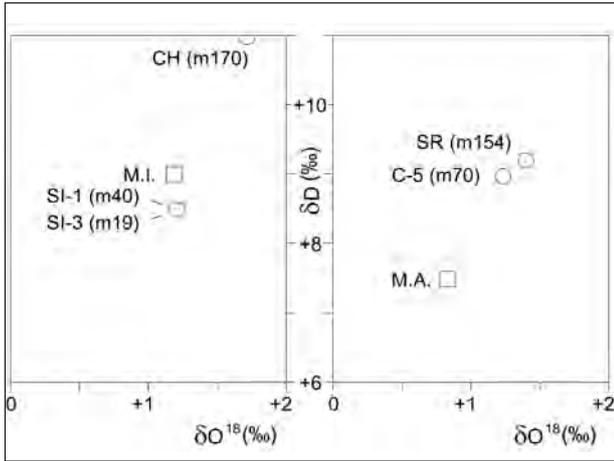


Fig. 18.27 - Relazione fra i valori di δO^{18} e δD per le acque di mare (M.I.: Mare Ionico; M.A.: Mare Adriatico) e per le acque marine intruse nel continente nella costa ionica (pozzi: CH, SI-1, ed SI-3; fig. 18.24) e adriatica (pozzi: C-5 e SR; fig. 18.24) (da COTECCHIA, 1977a).

- Relationship between the δO^{18} and δD values for seawater (M.I.: Ionian Sea; M.A.: Adriatic Sea) and for seawater intruded in the Ionian coast (wells: CH, SI-1, and SI-3; fig. 18.24) and the Adriatic coast (wells: C-5 and SR; fig. 18.24) (after COTECCHIA, 1977a).

mare, mentre la CO_2 libera, e quindi i carbonati totali, risultano nettamente superiori. Ciò indica la migrazione di CO_2 dall'acqua sotterranea all'acqua di mare presente nell'acquifero. Detto fenomeno è confermato dai dati isotopici. Il contenuto in δC^{13} delle acque marine sotterranee, riferito allo standard PDB (COTECCHIA, 1977a), è risultato mediamente pari a $-5,5\text{‰}$, mentre all'origine era pari a $-2,9\text{‰}$. Per le acque sotterranee dolci e salmastre si è avuto, in media, $\delta C^{13} = -11,1\text{‰}$, ad indicare, chiaramente, una migrazione verso il basso della CO_2 (fig. 18.29). A conferma di ciò si rileva una stratificazione nei contenuti in δC^{13} dell'acqua di mare presente nell'acquifero, che tende ad aumentare con la profondità (pozzi CH, CS e SR in fig. 18.24).

L'analisi dell'isotopo δC^{13} consente, inoltre, di rilevare la contaminazione salina delle acque dolci e salmastre soprastanti alla zona di transizione, a causa del fenomeno di dispersione idrodinamica; il fenomeno è reso evidente, in particolare, dalla relazione esistente tra δC^{13} e Cl^- (fig. 18.30). È possibile tuttavia rilevare casi in cui, presso costa, l'acqua marina intrusa nel continente presenta valori del contenuto in δC^{13} molto prossimi a quelli dell'acqua di mare attuale; ciò accade, ad esempio, in prossimità di estavelle (pozzo SI3 in fig. 18.24), come d'altra parte già rilevato dall'analisi degli isotopi δO^{18} e δD .

L'isotopo C^{14} può essere, invece, utilizzato per la datazione delle acque sotterranee. Nell'interpretare i dati riportati in figura 18.24 è necessario tener conto del fatto che la contaminazione salina determina un'alterazione del contenuto in C^{14} , a causa della notevole maggiore età delle acque marine presenti nell'acquifero. Situazione opposta si verifica nelle zone costiere caratterizzate da una buona comunicazione tra acque marine sotterranee e acqua di mare, ove la contaminazione salina, introducendo nell'acquifero acque marine giovani, determina un apparente ringiovanimento delle acque di falda.

Le indagini condotte nella Penisola Salentina hanno rilevato un incremento dell'età delle acque sotterranee con la profondità. Le acque sotterranee dolci più vecchie sono risultate quelle sgorganti dalle Sorgenti Chidro e Boraco; ciò dimostra che dette sorgenti drenano acque prossime all'interfaccia.

18.4.3.6. - Efflussi costieri

Il recapito finale della falda profonda del Salento è ovunque rappresentato dal mare. In relazione alle

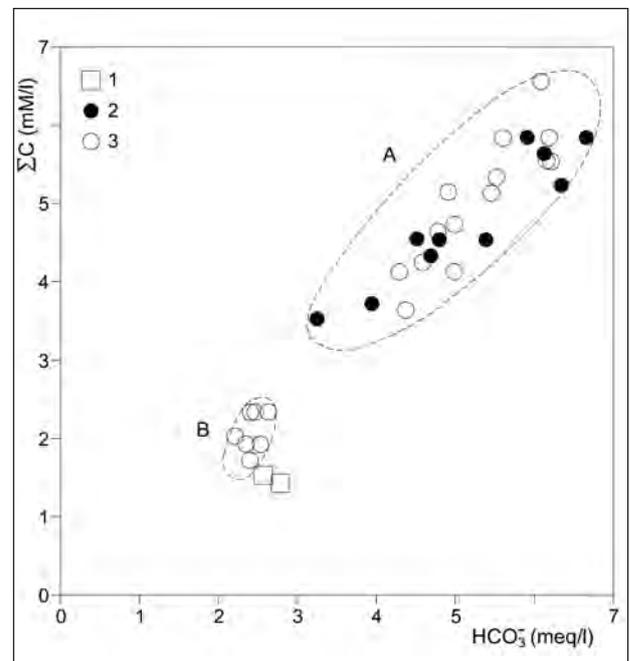


Fig. 18.28 - Relazione fra i contenuti di carbonati totali (ΣC) e le concentrazioni di bicarbonati. (A: acque di falda dolci e salmastre; B: acque marine intruse nel continente; 1: mari Adriatico ed Ionico; 2: sorgente; 3: pozzo; (fig. 18.24) (da COTECCHIA, 1977a).

- Relationship between total carbonate content (ΣC) and bicarbonate concentrations. (A: fresh and brackish groundwater; B: intruded seawater; 1: Ionian and Adriatic seas; 2: spring; 3: well; (fig. 18.24) (after COTECCHIA, 1977a).

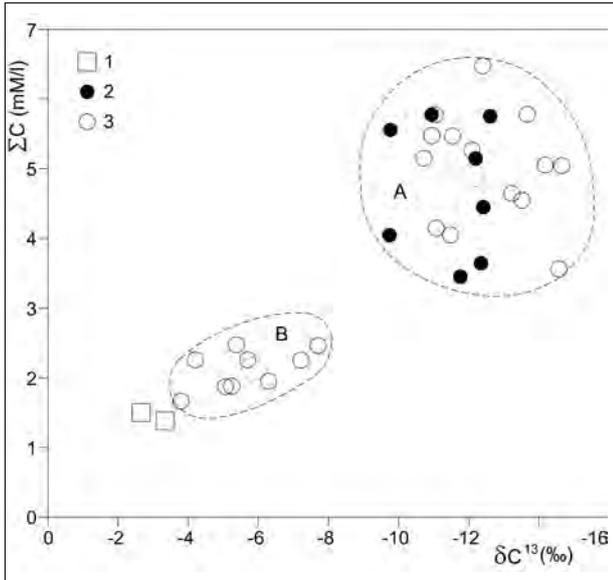


Fig. 18.29 - Relazione fra i contenuti di carbonati totali (ΣC) ed i valori di δC^{13} (A: acque di falda dolci e salmastre; B: acque marine intruse nel continente; 1: mari Adriatico ed Ionio; 2: sorgente; 3: pozzo; (fig. 18.24) (da COTECCHIA, 1977a).

- Relationship between total carbonate content (ΣC) and δC^{13} values (A: fresh and brackish groundwater; B: intruded seawater; 1: Adriatic and Ionian seas; 2: spring; 3: well; (fig. 18.24) (after COTECCHIA, 1977a).

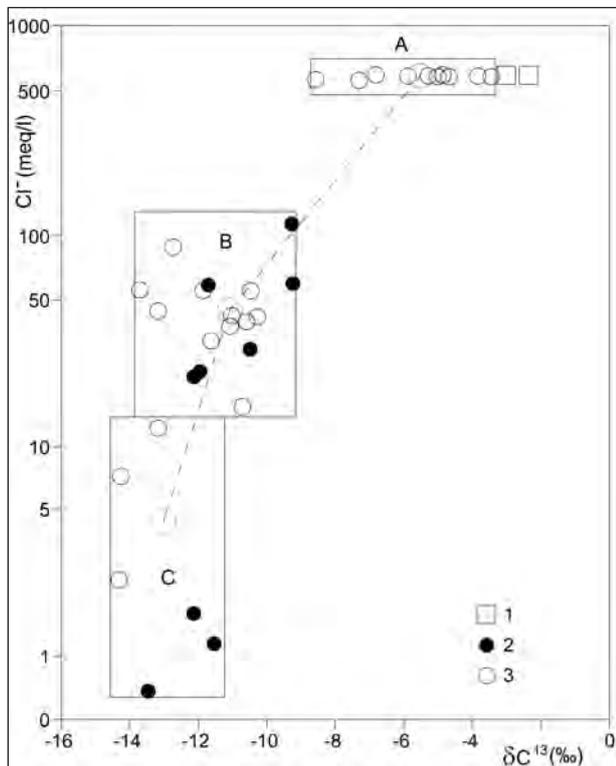


Fig. 18.30 - Relazione fra i contenuti di Cl^- ed i valori di δC^{13} (A: acque marine intruse nel continente; B: acque di falda salmastre; C: acque di falda dolci; 1: mari Adriatico ed Ionio; 2: sorgente; 3: pozzo; (fig. 18.24) (da COTECCHIA, 1977a).

- Relationship between Cl^- content and δC^{13} values (A: intruded seawater B: brackish seawater; C: fresh groundwater; 1: Adriatic and Ionian seas; 2: spring; 3: well; (fig. 18.24) (after COTECCHIA, 1977a).

condizioni geologico-strutturali e di permeabilità dei calcari acquiferi presso costa, possono riscontrarsi sorgenti di tipo concentrato, quando sono presenti singolarità geostutturali, o diffuso, quando la roccia carbonatica è caratterizzata da un intenso grado di fratturazione, oppure quando essa è ricoperta da sedimenti post-cretacei con elevata permeabilità per porosità (cap. 4; ZORZI & REINA, 1955; COTECCHIA, 1956; COTECCHIA *et alii*, 1957, COTECCHIA, 1977a).

Le manifestazioni sorgentizie concentrate più cospicue sono state censite dal Servizio Idrografico già a partire dagli anni '20 (cap. 4). Si tratta in particolare delle sorgenti Chidro e Boraco, sgorganti lungo il litorale ionico della Penisola Salentina in prossimità di S. Pietro in Bevagna, e delle sorgenti Idume, Giammatteo e Acquatina, che scaturiscono lungo il litorale adriatico, a Nord di Lecce. Estesi fronti sorgentizi sono stati individuati, successivamente, attraverso gli studi promossi dalla ex Cassa per il Mezzogiorno, nell'ambito dell'importante Progetto Speciale n. 14 finalizzato all'individuazione di risorse idriche da destinare all'agricoltura (COTECCHIA, 1976; COTECCHIA *et alii*, 1993). Allo scopo furono eseguiti rilievi aerei multispettrali, che consentirono di individuare potenziali efflussi costieri attraverso l'individuazione di tratti di costa ove l'acqua di mare presentava anomalie termiche. Tali anomalie sono dovute alla differenza di temperatura tra l'acqua dolce di falda sgorgante dalle sorgenti e l'acqua di mare; detta differenza raggiunge, infatti, valori anche dell'ordine di $7^{\circ}C$ (TULIPANO, 1976; COTECCHIA, 1985).

In figura 18.31 sono riassunti i risultati ottenuti dall'interpretazione delle indagini condotte nell'ambito del sopra citato P.S. n.14, con indicazione dei principali efflussi costieri, dell'estensione e dei caratteri di permeabilità dei terreni affioranti a livello mare, con riferimento alla costa adriatica a Sud di Lecce e alla costa ionica.

In linea generale, il deflusso della falda profonda può esplicarsi o a pelo libero, lungo la linea di costa, o in pressione, direttamente in mare e ad una certa distanza dalla costa. Inoltre, in prossimità della costa, sono molto spesso presenti terreni recenti poco permeabili che impediscono il normale deflusso della falda verso il mare. In dette condizioni, in relazione al rapporto esistente tra la quota

del tetto dell'acquifero e l'altezza piezometrica della falda, quest'ultima è sovente costretta ad aggirare lo sbarramento, riversandosi direttamente in mare, all'incirca a quota zero, spesso in forma concentrata (COTECCHIA, 1956), così come accade, ad esempio, nel tratto di costa compreso tra Aquatina e Otranto (fig. 18.31d-e).

Il deflusso a pelo libero avviene lungo il versante ionico, tra Capo Santa Maria di Leuca e Torre del Pizzo (fig. 18.31b-c) e tra Torre Sabea, presso Gallipoli, e Maruggio (fig. 18.31a-b), dove le formazioni calcaree si immergono direttamente in mare o sono ricoperte da sottilissimi manti calcarenitici. Esso si manifesta sotto forme di innumerevoli piccole sorgenti o deflussi cospicui tra le anfrattuosità delle rocce. Deflusso a pelo libero si ha anche lungo il tratto di costa adriatica compreso tra Otranto e Capo Santa Maria di Leuca (fig. 18.31c-d). In quest'area il calcare si presenta fessurato e localmente fagliato secondo direzioni NO-SE, per cui il deflusso delle acque è più concentrato secondo le vie di maggiore fratturazione, manifestandosi in rivoli sotterranei lungo le grotte carsiche locali (ZORZI & REINA, 1963). A tale riguardo, si segnalano le grotte carsiche di Santa Cesarea Terme, entro le quali sgorgano acque di falda solfuree e termali (cap. 4; MAGGIORE & PAGLIARULO, 2004).

Il deflusso in pressione della falda profonda si verifica nelle zone costiere ove il tetto dell'acquifero è a quote inferiori a quella del livello mare, come, ad esempio, lungo il versante ionico, a N-O di Maruggio e tra Torre Sabea e Torre del Pizzo, presso Gallipoli (fig. 18.31a-b), e lungo il versante adriatico, a N-O di Frigule (fig. 18.31e; ZORZI & REINA, 1955). In questi casi il deflusso della falda si esplica oltre la linea di costa, attraverso manifestazioni sorgentizie sottomarine. Tra queste, particolare significato assumono le "estavelle marine", ubicate in corrispondenza di condotti carsici, in aree contraddistinte da cadenti piezometriche molto basse, che funzionano alternativamente da sorgenti e da inghiottitoi di acqua di mare, in funzione delle oscillazioni del livello mare (COTECCHIA, 1976; COTECCHIA, 1977a). In condizioni di bassa marea, in esse avviene un movimento di acqua di falda verso il mare, mentre, in condizioni di alta marea, il movimento si inverte (cap. 2).

In figura 18.32 e nella tabella 18.2 si riporta un dettagliato censimento dei deflussi costieri, comprendente anche gli efflussi minori, di tipo diffuso, le polle e le estavelle. Le sorgenti sono distinte in subaeree, sgorganti a livello mare e sottomarine (polle ed estavelle); sono inoltre riportate informazioni per l'ubicazione delle sorgenti, il contenuto salino medio e la temperatura delle acque sgorganti. Il censimento eseguito evidenzia l'esistenza di un maggior numero di sorgenti di portata significativa tra Punta Prosciutto (fig. 18.32a) e Gallipoli (fig. 18.32b). Il tratto di costa adriatica esaminato, fino a Torre S. Foca (fig. 18.32e), presenta invece sporadiche manifestazioni idriche, certamente di scarsa entità. Maggiori deflussi nell'Adriatico si registrano, invece, lungo l'estremità della penisola, a partire dalla congiungente Otranto-Gallipoli; in molti casi si riscontra una perfetta corrispondenza tra porzioni di acquifero maggiormente permeabili, piezometria della falda e presenza di importanti sorgenti (figg. 18.21, 18.22). In linea generale si osserva, sulla base dei dati disponibili, un maggior quantitativo di acqua di falda che si riversa nel Mare Ionio rispetto al Mare Adriatico.

Una stima, sia pure approssimata, della portata complessiva drenata da tutte le scaturigini note, fornisce un valore pari a circa $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$, da intendersi tuttavia di gran lunga inferiore alla portata che effettivamente si riversa in mare lungo la costa salentina, e ciò in quanto molti sono gli efflussi in mare non noti perché diffusi o sottomarini (COTECCHIA, 1976). L'alimentazione dell'acquifero profondo salentino è infatti stimata in circa $35 \text{ m}^3/\text{s}$, comprendente sia gli apporti pluviometrici, sia il contributo proveniente dalla Murgia; in condizioni stazionarie detta portata è pari all'efflusso a mare.

Si osserva infine che, in corrispondenza delle sorgenti, notevoli quantitativi di acqua di mare di intrusione continentale defluiscono in mare mescolandosi con le acque dolci di falda. Infatti, la concentrazione salina delle sorgenti costiere risulta in genere elevata, in alcuni casi superiore a 10 g/l , proprio in conseguenza dei fenomeni di mescolamento, che si sviluppano presso costa, anche sino a distanze dell'ordine di alcuni km, tra falda di acqua dolce e sottostante acqua di mare. (COTECCHIA, 1985). Da ciò discende che la portata delle sorgenti

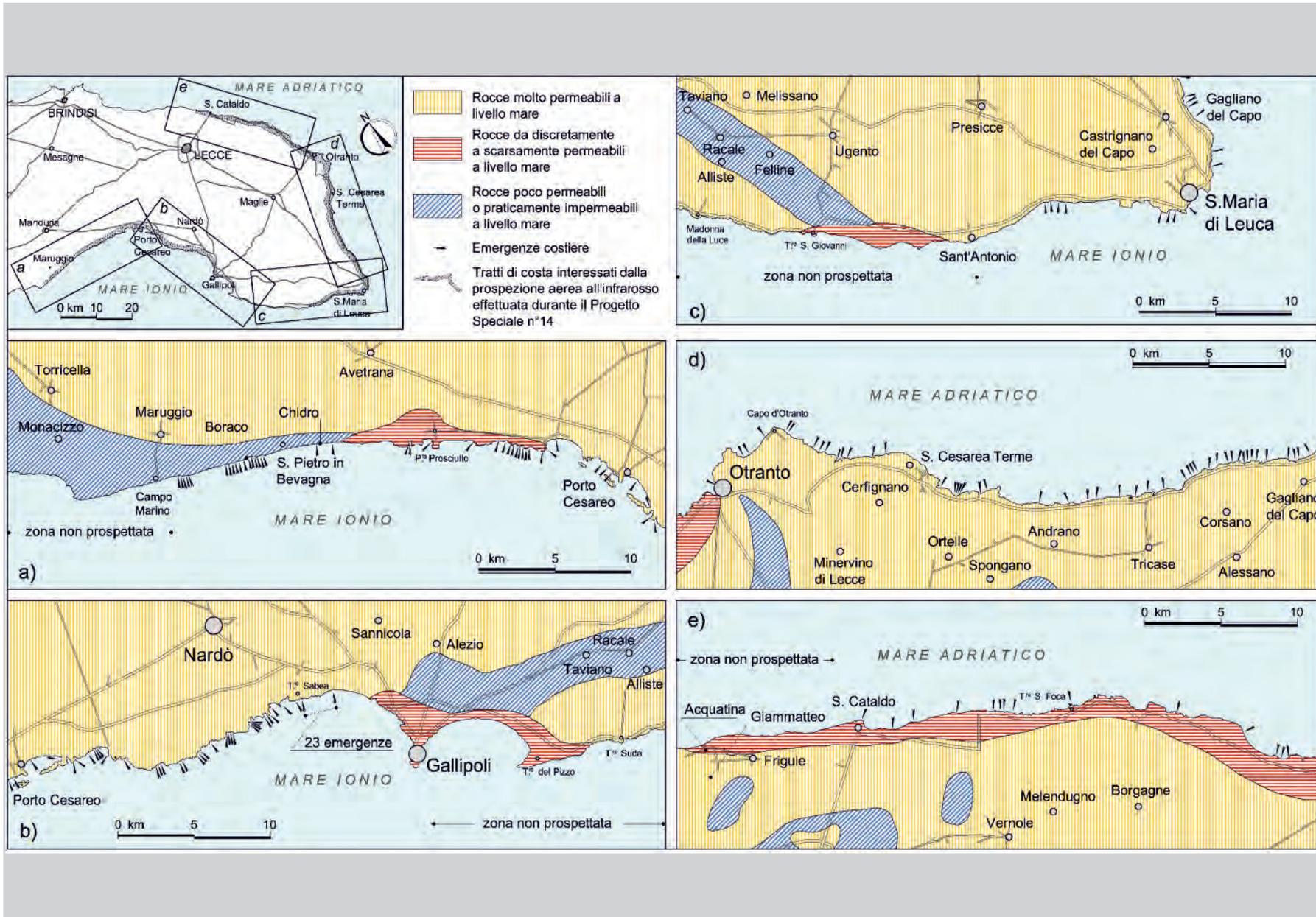


Fig. 18.31 - Efflussi costieri della Penisola Salentina individuati con rilievi aerei multispettrali all'infrarosso termico e caratteri di permeabilità dei terreni al livello mare (da COTECCHIA, 1976).
 - Coastal outflows of Salento Peninsula identified through multispectral thermal infrared aerial imagery and permeability features of the formations at the sea level (after COTECCHIA, 1976).

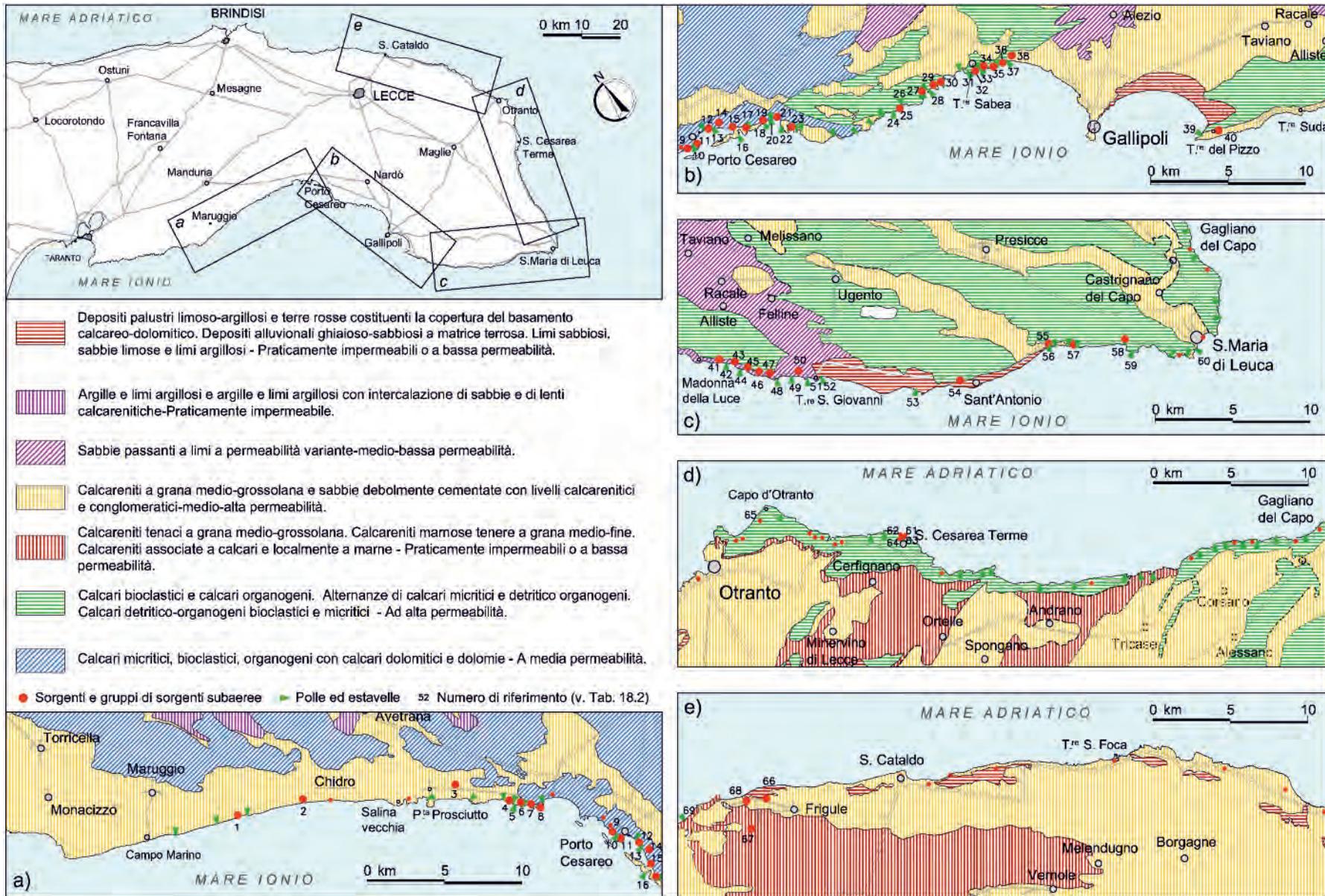


Fig. 18.32 - Manifestazioni sorgentizie dell'area idrogeologica del Salento e caratteri di permeabilità dei terreni affioranti (mod., da COTECCHIA 1977a, 1992).
 - Springs of the Salento hydrogeological area and permeability features of outcropping formations (modified after COTECCHIA 1977a, 1992).

Tab. 18.2 - *Censimento delle manifestazioni sorgentizie salentine, con indicazione della portata, salinità, temperatura e tipologia di efflusso (mod., da COTECCHIA, 1977a, 1992).*

- Inventory of springs in the Salento peninsula, with indication of discharge, salinity, temperature and type of outflow (modified after COTECCHIA, 1977a, 1992).

n.	Tipologia	Ubicazione	Portata media l/s	Salinità g/l	Temperatura °C	Caratteristiche
1	subaerea	Sorg. Boraco in prossimità di Torre Boraco	100	3.5	18	Costituita da numerose polle sgorganti al fondo di due vasche naturali, le affluenti si riversano in mare attraverso due canali raccordanti in uno a circa 100 m dalla costa.
2	subaerea	Sorg. Chidro in località S. Pietro in Bevagna	2.500	3.5	17.5÷18	Costituita da un insieme di scaturigini superficiali e subacquee, affluenti in una vasca naturale a profilo grossolanamente imbutiforme
3		Canale Arneo - Serra degli angeli	-	3.28		
4	a l.m.m.	Punta di Torre Castiglione	100	-	-	Efflussi diffusi su un fronte di circa 700 m dalle anfrattuosità della scarpata costiera
5	polla	Punta di Torre Castiglione	-	-	-	Gruppo di polle su di un'area sufficientemente estesa
6	subaerea	Tra Torre Castiglione e Torre Lapillo	-	-	-	n. 2 sorgenti, di portata modesta, sgorganti da piccole fenditure nei calcari di scogliera poco al di sopra del livello di massima marea
7	a l.m.m.	Circa a 700 m ad Ovest da Torre Lapillo	30	-	18	Efflussi diffusi su di un fronte di circa 200 m da fessure nei calcari di scogliera
8	subaerea	Circa 500 m a N-NE da Torre Lapillo	300	12.8	18	Sgorga da una grotta larga circa 6 m in calcari cretacei poco al di sopra del livello di massima marea
9	subaerea	Zona occidentale di Porto Cesareo	>70	8.5÷15.3	18÷19	Efflussi diffusi su di un fronte di 500 m circa
10	estavella	Zona occidentale di Porto Cesareo	-	-	-	Gruppo di piccole estavelle a piccole profondità
11	subaerea	100 m a Sud di Porto Cesareo	25	11.2	19	-
12	a l.m.m.	Circa 500 m a Est di Porto Cesareo	40	9.8	18.5	Efflussi diffusi su di un fronte di 100 m
13	polla	200 m a Sud di Porto Cesareo	-	-	-	Gruppo di 2 polle con discreta portata
14	a l.m.m.	1 km a S-O di Porto Cesareo	20	8.2	18.5	Efflussi diffusi su di un fronte di 100 m
15	a l.m.m.	Circa 800 m a N di Torre Squillace	-	-	-	Portata modesta
16	estavella	Insenatura settentrionale della punta di Torre Squillace	10	-	-	La portata è riferita al regime di polla
17	a l.m.m.	250 m a N-E di Torre Squillace	3	-	-	-
18	estavella	600 m a N-E di Torre San Isidoro	-	-	-	-
19	subaerea	Sulla costa in corrispondenza della n. 18	>200	-	-	Sgorga da orifizi di condotti carsici ubicati poco al di sopra del livello di massima marea nei calcari cretacei
20	estavella	100 m a Sud della n. 19	10	-	-	La portata è stimata in regime di polla
21	a l.m.m.	Poco più ad Est della n. 20	40	-	-	2 sorgenti distanti circa 500 m l'una dall'altra; la più occidentale eroga la maggior portata (circa 30 l/s)

Segue

22	estavella	400 m a N-E di Torre San Isidoro	40	-	-	La portata è stimata in regime di polla
23	a l.m.m.	Sulla costa prospiciente San Isidoro	-	2÷5	-	-
24	polla	Serra la Cicora	60	-	-	Su un fronte di 500 m a debole profondità, gruppo di n. 3 scaturigini
25	a l.m.m.	Torre Uluzzo	40	3	-	Gruppo di n. 3 scaturigini su un fronte di 1300 m
26	polla	Torre Uluzzo	60	-	-	Gruppo di n. 3 scaturigini
27	a l.m.m.	a 1.3 km da Santa Caterina	> 60	-	18.2	Efflussi diffusi su un fronte di circa 1 km originatesi da orifizi di condotti carsici a livello medio marino; una scaturigine in particolare eroga una portata di circa 30 l/s. Non si esclude la possibilità che qualche manifestazione possa comportarsi da inghiottitoio in concomitanza di marea particolarmente alta
28	polla	a 1.3 km da Santa Caterina	-	-	-	Gruppo di n. 3 polle a 3 m circa sotto il livello medio marino.
29	subaerea	Al centro dell'insenatura della n. 27	3	2	18	Ubicata a circa 20 cm sopra il livello medio marino
30	subaerea	Tra Torre dell'Alto e Torre Santa Caterina	-	-	-	Gruppo di n. 2 sorgenti ubicate alla base di una ripida scarpata costiera, distanti tra loro circa 500 m; la portata è molto modesta
31	polla	sulla sponda dell'insenatura, porticciolo di Santa Maria al Bagno	10	12.5	18.5	Gruppo di n. 2 polle distanti tra di loro 3 m, costituite da larghe fratture sulla parete sommersa di una scogliera alta qualche metro, a qualche decimetro sotto il livello mare
32	a l.m.m.	Località Quattro Colonne	1	1.02	18	-
33	polla	Località Quattro Colonne	10	-	-	Gruppo di n. 2 polle molto vicine alla costa
34	subaerea	Località Quattro Colonne	6	1.02	18	Costituita da n. 2 scaturigini ubicate al piede di una scarpata ad alcuni decimetri al di sopra del livello di massima marea e a qualche metro del bagnasciuga. Usata a scopo terapeutico
35	a l.m.m.	circa 500 m a Sud di Località Quattro Colonne	20	0.93	18	Gruppo di n. 2 sorgenti ubicate in una piccola caletta
36	a l.m.m.	Località Conchiglie	-	1.16	18	Gruppo di piccole sorgenti con portata complessiva molto modesta
37	polla	Località Conchiglie	40	-	-	Gruppo di diverse polle concentrate in un'area ristretta a circa 1 m di profondità
38	subaerea	Località Conchiglie	20	1.2	-	Una scaturigine ubicata a 5 m circa dalla riva captata per usi domestici
39	estavella	Torre del Pizzo	-	10.8	18.5	Gruppo di scaturigini alla profondità di circa 1 m; le stesse caratteristiche chimico-fisiche dell'acqua sgorgante in funzionamento di polla si riscontrano in un pozzo a scavo prossimo alla costa
40	a l.m.m.	1 km circa a S-E di Torre del Pizzo	-	-	-	Gruppo di diverse scaturigini dalla portata complessiva molto modesta
41	a l.m.m.	Madonna della Luce	1	4.4	19.5	
42	polla	a 100 m a Sud della n. 41	1	4.1	19	Una scaturigine ubicata al centro di una piccola insenatura qualche centimetro al livello di minima marea. Le stesse caratteristiche chimico-fisiche si riscontrano in diversi pozzi a scavo della zona prossimi alla costa

Segue

43	subaerea	località Torre Sinfonò	2	2.4	19	A qualche metro dalla costa, la sorgente sgorga da una piccola cavità
44	polla	400 m più a Sud di Torre Sifonò	2	5.9	19.5	Piccola polla a pochi decimetri sotto il livello di minima marea
45	subaerea	Località Cisternella	< 1	2.9	18	Ubicata alla base di una scarpata alta 5 m sul livello mare
46	a l.m.m.	900 m più a Sud di Località Cisternella	1	5.6	18.5	Sgorga alla base di un piccolo anfratto
47	a l.m.m.	Località Vennari	1	4.1	18.5	Gruppo di n. 2 scaturigini
48	polla	1 km circa a S-E di Località Vennari	10	-	-	Gruppo di n. 5 polle concentrate in piccola area; in condizioni di alta marea cessano di erogare, non escludendosi la possibilità di funzionamento da inghiottitoio
49	estavella	Località I Pazzi	-	-	-	Ubicata sul fondo marino a circa 5 m dalla costa alla profondità di 2 m
50	a l.m.m.	100 m a Sud di Località I Pazzi	1	6.9	19.5	-
51	estavella	Località le Macchie, a 1.2 km circa a Nord del faro di Torre San Giovanni	-	-	-	-
52	estavella	in corrispondenza del Faro di Torre San Giovanni	-	-	-	-
53	polla	Località Torre Mozza	-	-	-	A 30 m circa dalla riva alla profondità di qualche decimetro
54	a l.m.m.	Torre Masseria Marini Tettoia	120	14.5	18	Gruppo di n. 3 sorgenti sparse su un fronte di circa 150 m, cui si accompagnano efflussi diffusi lungo l'intero fronte; i dati sono riferiti alla scaturigine principale che eroga una portata di circa 100 l/s
55	subaerea	Località Torre Vado	10	2.7	18	Gruppo di diverse sorgenti ubicate a qualche metro dalla riva del mare
56	polle	Località Torre Vado	-	-	-	Gruppo di diverse sorgenti ubicate a qualche metro dalla riva ad una profondità di qualche centimetro, con portate abbastanza rilevanti
57	a l.m.m.	circa 900 m a Sud da Torre Vado	10	9.0	19	Gruppo di n. 2 sorgenti distanti pochi metri tra di loro
58	a l.m.m.	circa 1 km a Ovest del molo di San Gregorio	500	-	-	-
59	polla	Molo San Gregorio	15	-	-	Polla ubicata a circa 3 m di profondità
60	polla	circa 1 km a N-O da Capo Santa Maria di Leuca	1000	-	-	Orifizio di un importante condotto carsico
61	a l.m.m.	Grotta Fetida, presso Santa Cesarea Terme	-	29.93	-	Grotta carsico-marina impostata su di un sistema di faglie trasversali alla costa
62	a l.m.m.	Grotta Solfurea, presso Santa Cesarea Terme	-	5.43	-	Grotta carsico-marina impostata su di un sistema di faglie trasversali alla costa
63	a l.m.m.	Grotta Gattulla, presso Santa Cesarea Terme	-	7.17	-	Grotta carsico-marina impostata su di un sistema di faglie trasversali alla costa
64	a l.m.m.	Grotta Solfatara, presso Santa Cesarea Terme	-	-	-	Grotta carsico-marina impostata su di un sistema di faglie trasversali alla costa
65		Porto Otranto	-	0.4	-	-
66		Casino dei Cacciatori, Presso Sorgente Idume	-	1.97	-	-
67		Giammatteo	350	1.6	-	-
68		Aquatina (Laguna)	300	-	-	-
69	polle	Sorgente Idume	1300	4.5	-	Gruppo di scaturigini, essenzialmente polle, caratterizzati da un contenuto salino generalmente elevato

è somma di una portata di acqua dolce di falda e di una, modesta ma non trascurabile, di acqua di mare.

18.4.3.7. - Stratificazione salina delle acque di falda e sua variazione nel tempo

La falda profonda salentina galleggia ovunque su acqua di mare. Il passaggio dall'acqua dolce alla sottostante acqua di mare avviene attraverso una zona di transizione, di spessore variabile da pochi metri, in prossimità della costa, a decine di metri nell'entroterra, entro la quale la concentrazione salina aumenta gradualmente sino a valori tipici dell'acqua di mare. Variazioni della concentrazione salina si riscontrano sovente anche all'interno della falda di acqua dolce, a quote superiori, quindi, alla zona di transizione. Questa subisce nel tempo continui spostamenti verticali, oltre che variazioni di forma e spessore, prodotti sia da circostanze naturali, quali le oscillazioni del livello mare e le variazioni piezometriche stagionali della falda legate alle ricariche, sia antropiche; queste ultime collegabili coi forti emungimenti attuati dai pozzi (cap. 2; COTECCHIA, 1958; COTECCHIA, 1977a).

La stratificazione salina delle acque di falda e della zona di transizione è stata oggetto di studi nel Salento già a partire dagli anni '60, attraverso la perforazione dei cosiddetti "pozzi spia", ossia pozzi che, dopo aver attraversato lo strato di acqua dolce, si attestano nell'acqua di intrusione marina. L'esecuzione di profili salinometrici in detti pozzi ha, infatti, consentito di analizzare le variazioni di densità della falda e quindi di individuare la posizione e forma della zona di transizione e la sua variazione con le precipitazioni e gli attingimenti (cap. 2; TADOLINI & TULIPANO, 1970; COTECCHIA, 1977a).

In figura 18.33 sono riportati i profili di salinità rilevati in alcuni pozzi spia negli anni Sessanta e nel pozzo spia PS17LE nel 1995. Essi hanno consentito di confermare la sostanziale validità, nella Penisola Salentina, della relazione di Ghyben-Herzberg, sebbene, per i motivi ampiamente illustrati nei capitoli 2 e 5, sia necessario variare opportunamente il valore assunto dal rapporto tra profon-

dità dell'interfaccia teorica acqua dolce – acqua di mare dal livello mare ed altezza piezometrica della falda, che, nelle ipotesi di validità della relazione di Ghyben-Herzberg, è posto pari a circa 32÷33. Nello specifico, ipotizzando l'interfaccia coincidente con il tetto della zona di transizione, tale rapporto risulta compreso, per i pozzi di figura 18.33, nell'intervallo 37÷54, mentre, nell'ipotesi di interfaccia coincidente con il letto della zona di transizione, esso varia nell'intervallo 42÷82.

Il pozzo spia PS17LE, ubicato in agro di Corigliano, può considerarsi rappresentativo delle condizioni che si verificano al centro della penisola, ove è situato grossomodo lo spartiacque idrogeologico e la falda presenta il massimo spessore. Nel pozzo è stata misurata una concentrazione salina dell'acqua di falda pari a circa 0,3 g/l, a 0 m s.l.m., e a 0,5 g/l, a -60 m s.l.m.. Più in profondità è stata rilevata la zona di transizione di spessore pari a circa 100 m.

Diverse sono invece le condizioni che si registrano nei pressi della costa, ove, in generale, la zona di transizione si riduce di spessore rispetto all'entroterra. A tale riguardo sono emblematici i risultati ottenuti nei due pozzi spia CH1 e CH2, perforati negli anni '60 in agro di Manduria in prossimità della sorgente Chidro, ad una distanza dalla costa di alcune centinaia di metri (fig. 18.33); le indagini idrogeologiche eseguite alla fine degli anni '60 lungo le verticali dei due pozzi CH1 e CH2 hanno fornito valori della concentrazione salina costanti, pari a circa 4 g/l, per l'intero spessore di acqua dolce, fino al tetto della zona di transizione, a partire dal quale (quota -120 m s.l.m., nel CH1, e -133 m, s.l.m. nel CH2) è stato registrato un brusco incremento del contenuto salino, che raggiunge valori superiori a 40 g/l.

A titolo puramente indicativo, sulla base delle considerazioni precedentemente esposte, è possibile eseguire un calcolo di larga massima del volume di acquifero cretatico salentino interessato da una circolazione idrica sotterranea dolce. In particolare, se si assume una profondità dell'interfaccia dal livello mare pari a 38 volte l'altezza piezometrica della falda, è possibile determinare la superficie di base dell'acquifero una volta nota la distribuzione delle altezze piezometriche. Il tetto

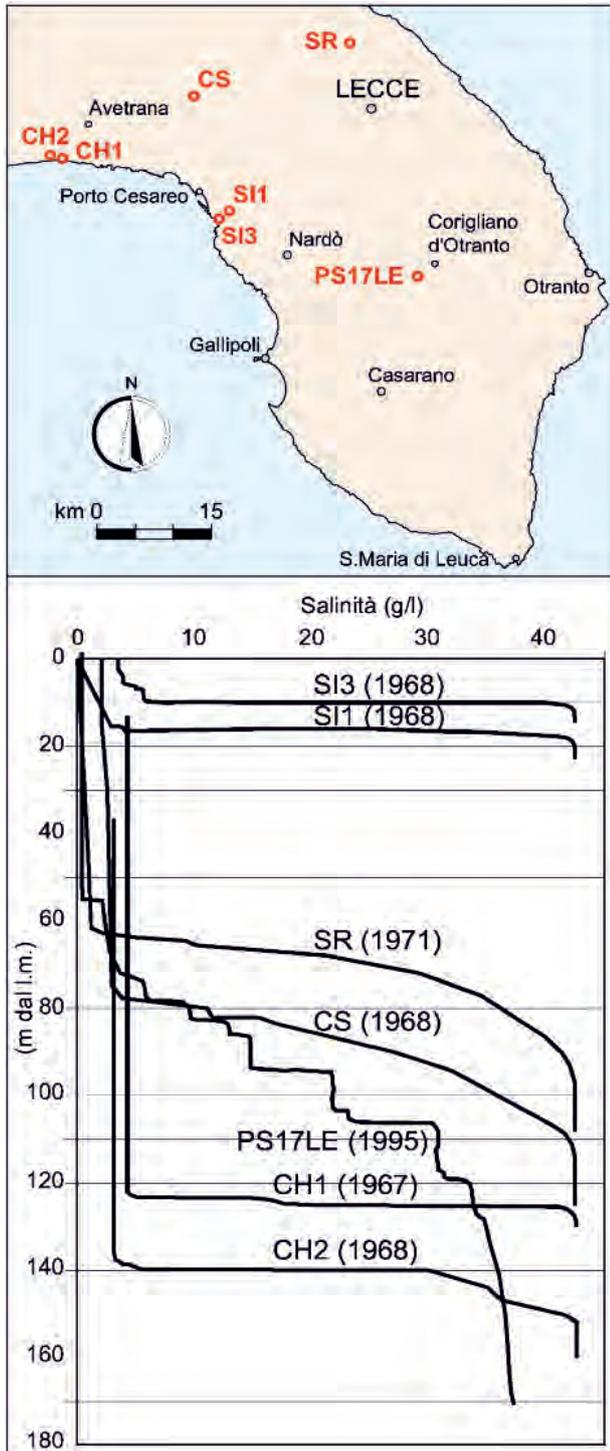


Fig. 18.33 - Stratificazione salina della falda idrica profonda salentina determinata da log salinometrici eseguiti in pozzi "spia" variamente distribuiti nella penisola (mod., da COTECCHIA, 1977a).

- Salinity stratification of the deep aquifer groundwater of Salento obtained from salinity logs performed in observation wells variously distributed across the peninsula (modified after COTECCHIA, 1977a).

dell'acquifero è invece ipotizzato coincidente con la superficie freatica della falda e, ove questa è in pressione, con il primo rinvenimento idrico osser-

vato nei pozzi. Adottando i dati piezometrici utilizzati per ricostruire le isopieziche riportate in tavola 4 (f.t.), si ottiene un volume di acquifero disposto al di sotto del livello del mare pari a circa 290×10^9 . Ipotizzando una porosità efficace variabile nell'intervallo $5\% \div 10\%$, si ottiene in definitiva un volume di acqua dolce sotterranea pari a $14 \div 29 \times 10^9 \text{ m}^3$.

Il confronto tra profili salinometrici eseguiti in varie date consente di analizzare l'evoluzione della stratificazione salina della falda e quindi di esprimere un giudizio circa possibili depauperamenti in atto. Particolarmente significativi risultano, al riguardo, i pozzi spia storici dell'Ente Irrigazione LR (Località "Lago Rosso", Galatina), SR (Località "Mass. Fondo Cupo", Lecce) e CS (Masseria Casaute, Salice Salentino). Questi pozzi, ubicati in figura 18.22, sono stati utilizzati a più riprese per progetti di monitoraggio delle acque sotterranee attuati dalla Regione Puglia, nonché da altri autori (TADOLINI & TULIPANO, 1979; TULIPANO, 2005; COTECCHIA *et alii*, 1986) per studiare l'evoluzione dell'equilibrio tra le acque dolci di falda e l'acqua di mare in relazione ai prelievi. Di essi si riportano le stratigrafie ed i log salinometrici eseguiti in varie epoche nelle figure 18.34÷18.36.

I pozzi hanno intercettato la falda profonda, in condizioni freatiche, a quote di poco superiori a quella del livello mare. La stratificazione salina rilevata nel primo profilo salinometrico eseguito è in genere caratterizzata da bassi valori di concentrazione salina alla sommità della falda ($<0,3\text{g/l}$, ad eccezione del pozzo CS ove si registrano valori superiori), e da un incremento con la profondità, sino al tetto della zona di transizione. Il confronto tra i profili salinometrici eseguiti in detti pozzi in epoche successive, sino al 2007, indica un progressivo sollevamento della zona di transizione, superiore a 10 m. Inoltre, si osserva un incremento di concentrazione salina nella falda di acqua dolce sovrastante la zona di transizione. Per tutti i pozzi esaminati è stata rilevata una riduzione di 1-1,5 m dell'altezza piezometrica, che comporterebbe, in condizioni stazionarie, un sollevamento dell'interfaccia dell'ordine di $30 \div 50$ m, superiore a quello misurato. Ciò sembra indicare che le variazioni di salinità

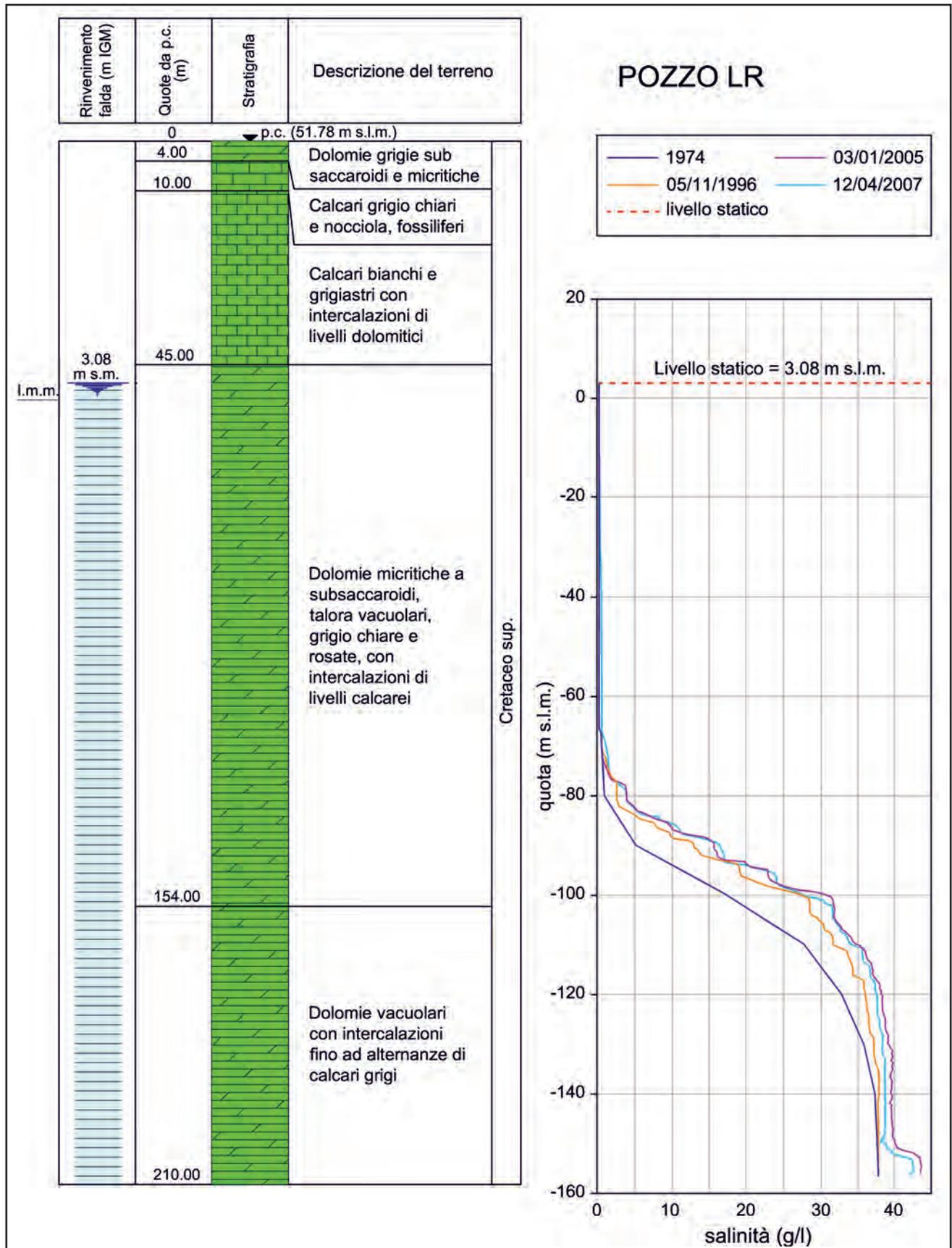


Fig. 18.34 - Stratigrafia del pozzo LR in agro di Galatina (LE) e log salinometrici eseguiti nel periodo 1974÷2007 (ubicazione in fig. 18.22).
 - Borehole logs of the well LR in the area of Galatina (Lecce province) and salinity logs performed in the period 1974÷2007 (location shown in fig. 18.22).

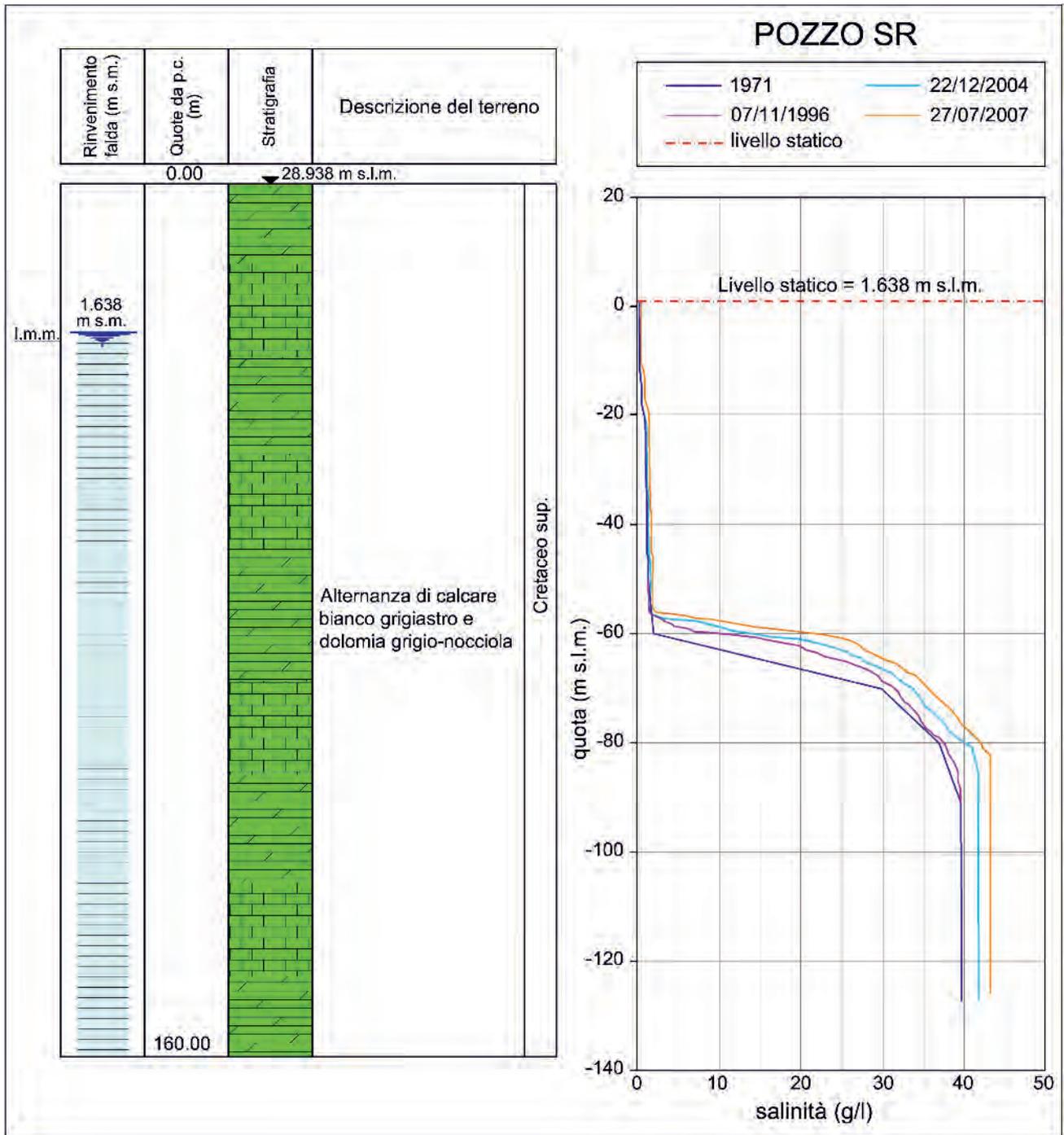


Fig. 18.35 - Stratigrafia del pozzo SR in agro di Lecce e log salinometrici eseguiti nel periodo 1971÷2007 (ubicazione in fig. 18.22).
 - Borehole log of the well SR in the area of Lecce and salinity logs performed in the period 1971÷2007 (location shown in fig. 18.22).

riscontrate siano relative ad una condizione transitoria e che, quindi, nei prossimi anni possa assistersi ad ulteriori peggioramenti, anche a parità di emungimento.

Particolarmente importanti risultano gli accertamenti idrogeologici eseguiti, nell'ambito del presente lavoro, in corrispondenza della sorgente

Chidro (cap. 4). In particolare appare interessante richiamare i risultati ottenuti dall'esecuzione di profili salinometrici in corrispondenza del pozzo spia CH1T, ubicato ad una distanza di circa 130 m dal pozzo storico CH1 precedentemente menzionato. In figura 18.37 si riportano la stratigrafia ed il log salinometrico rilevati nel 2011 nel pozzo

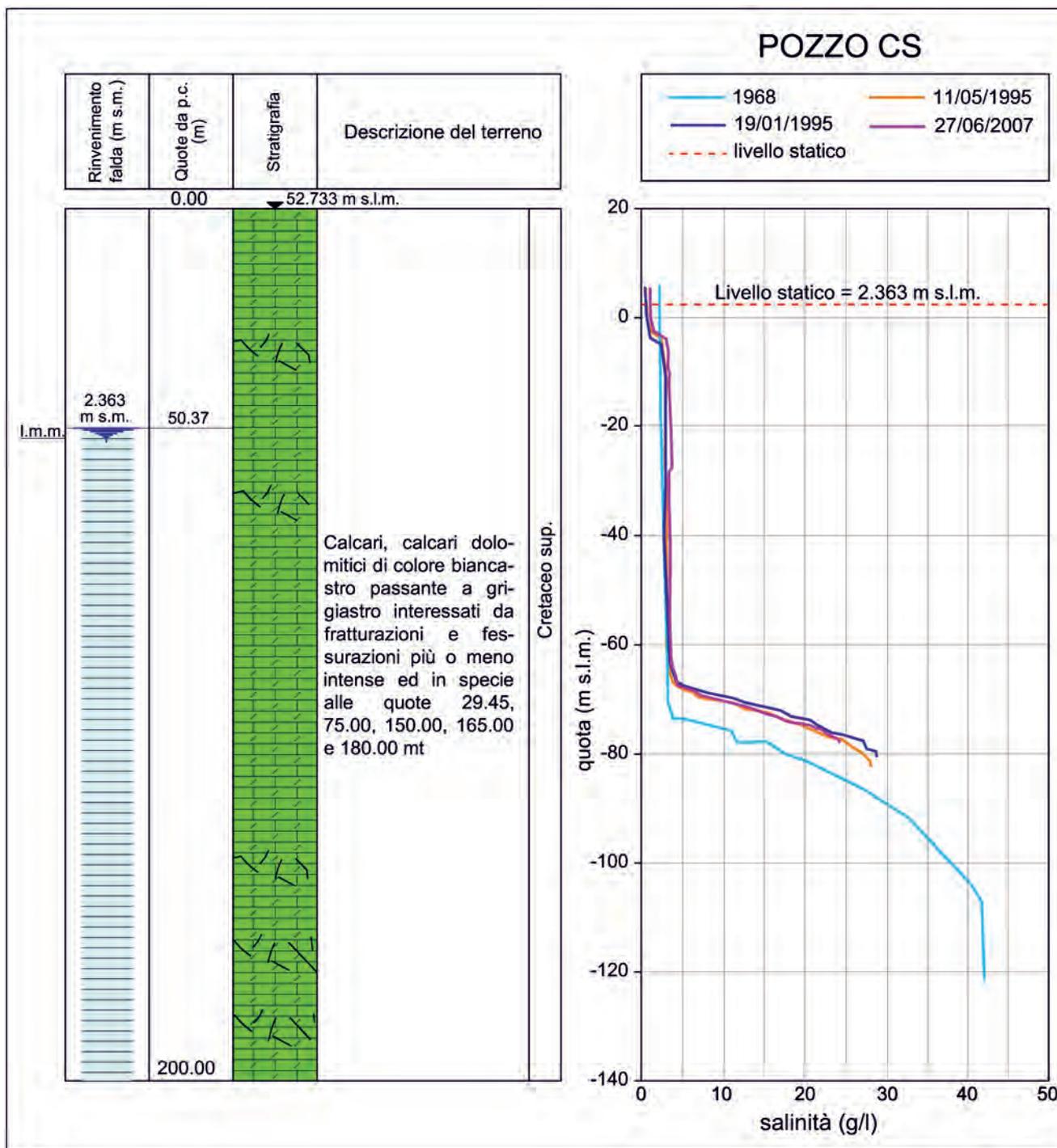


Fig. 18.36 - Stratigrafia del pozzo CS in agro di San Pancrazio Salentino (LE) e log salinometrici eseguiti nel periodo 1968÷2007 (ubicazione in fig. 18.22).
 - Borehole log of the well CS in the area of San Pancrazio Salentino (Lecce province) and salinity logs performed in the period 1968÷2007 (location shown in fig. 18.22).

CH1T insieme ai log salinometrici rilevati, alla fine degli anni Sessanta, nei pozzi spia CH1 e CH2. Il pozzo spia CH1T, di profondità pari a 177 m, ha intercettato la falda profonda, in condizioni confinate a causa della presenza di argille limo-sabbiose, a 19,5 m di profondità dal p.c.; l'altezza piezometrica della falda è risultata pari a

circa 2 m IGM. Dal tetto dell'acquifero, posto a circa -17 m IGM, sino a circa -40 m IGM, la falda ha registrato una salinità di poco superiore a quella riscontrata circa 40 anni prima nei pozzi CH1 e CH2, pari a circa 4 g/l; più in profondità si è rilevato, però, un incremento di concentrazione salina, sino a circa 20 g/l a -55 m IGM, va-

lore di gran lunga superiore a quello misurato nell'area 40 anni prima; la salinità rimane poi costante sino a circa -110 m IGM, per poi aumentare bruscamente, sino a raggiungere i valori tipici dell'acqua di mare. Confrontando i log salinometrici eseguiti nei pozzi CH1 e CH2 con quello eseguito nel pozzo CH1T, si osserva una riduzione di spessore della falda di acqua dolce, se per essa intendiamo quella con concentrazione salina dell'ordine di 4 g/l, di circa 70 m.

Le indagini eseguite in prossimità della sorgente Chidro hanno d'altra parte evidenziato un grave depauperamento della falda profonda alimentante la sorgente, il che trova conferma nella strabiliante riduzione di portata misurata, che dai circa 2.600 l/s, misurati negli anni '50, si è ridotta a circa 1.000 l/s all'attualità (cap. 4).

In figura 18.38 si riporta la distribuzione delle opere di captazione che è stato possibile censire presso gli Uffici Regionali del Genio Civile, così come indicata nel Piano di Tutela delle Acque (P.T.A., 2009). La rappresentazione, da ritenersi comunque una visione parziale ed incompleta, indica l'esistenza di estesi territori in cui la densità dell'opera di captazione è superiore a 10 pozzi/km². In alcune aree, come in prossimità della sorgente Chidro, si superano i 50 pozzi/km². Ulteriori approfondimenti eseguiti nell'ambito del presente lavoro presso il "Servizio Tutela delle Acque" della Regione Puglia, hanno consentito di accertare la presenza, in prossimità del Chidro, di almeno 1.785 opere di captazione, di cui, tra i vari usi, 946 di tipo irriguo e 717 di tipo domestico. È quindi evidente che il depauperamento osservato deve attribuirsi alla inconsulta estrazione di acque sotterranee operata in detta area.

Ulteriori conferme del depauperamento della falda profonda del Salento provengono dalla interpretazione di altri log salinometrici, come quelli riportati nelle figure 18.39 e 18.40, e dalla interpretazione dei dati disponibili sul chimismo delle acque sotterranee, estratte dall'AQP per il potabile, di cui si discuterà nel capitolo 20.

Sulla base dei dati disponibili è stato eseguito un calcolo di massima del volume di acqua dolce di falda che ha subito un incremento di concentrazione salina a causa del fenomeno dell'intru-

sione marina, determinato dal sovrasfruttamento della falda. In particolare si è eseguito il confronto tra i dati disponibili per il periodo 1970÷1990 e quelli attuali, relativi al triennio 2007÷2010. Il calcolo è stato eseguito con riferimento alla sezione idrogeologica di traccia I-I, riportata in figura 18.43. Lungo la sezione sono presenti i pozzi SG3, NC3, LR e 19IIS, monitorati nel triennio 2007÷2010, nell'ambito del "Progetto Tiziano", ed i pozzi CBU616, 118 EM, 515 EISS, LR e CBU104. Per ciascuno dei due periodi considerati sono state ricostruite le isoaline corrispondenti a 0,5 g/l, 1 g/l, 5 g/l e 10 g/l ed è stato quindi calcolato il volume di acquifero entro cui le acque di falda presentano concentrazione salina compresa in detti valori. Il calcolo ha evidenziato che il volume di acqua dolce con concentrazione salina inferiore a 0,5 g/l ha subito una riduzione, nel passaggio dal periodo 1970,1990 al periodo 2007÷2010, di circa 2,5 volte, mentre il volume di acqua dolce con concentrazioni saline comprese negli intervalli 0,5 g/l ÷ 5 g/l e 5g/l÷10 g/l ha subito una riduzione, rispettivamente, di 1,2 e 1,1 volte.

18.4.3.8. - Distribuzione areale della concentrazione salina delle acque di falda e sua variazione nel tempo

In figura 18.42 si riporta la distribuzione della concentrazione salina delle acque della falda profonda nella Penisola Salentina, determinata con i metodi già illustrati nel capitolo 3, facendo uso di dati relativi al periodo 2007÷2010, rilevati nell'ambito del Progetto Tiziano. In particolare nella detta figura è rappresentata la concretazione salina media di livelli di falda la cui profondità e spessore sono funzione dell'altezza piezometrica *b*; sono altresì indicate le aree in cui il tetto dell'acquifero è disposto al di sotto del livello mare e, nell'ambito di queste, quelle in cui nell'acquifero sono presenti solo acque marine o comunque fortemente salmastre, causa la notevole profondità del tetto dell'acquifero.

L'analisi dei risultati ottenuti per il livello di falda A (fig. 18.42a), ossia di quello più superficiale esaminato, indica che all'attualità la concentrazione salina media è inferiore o uguale a 0,5 g/l solo in

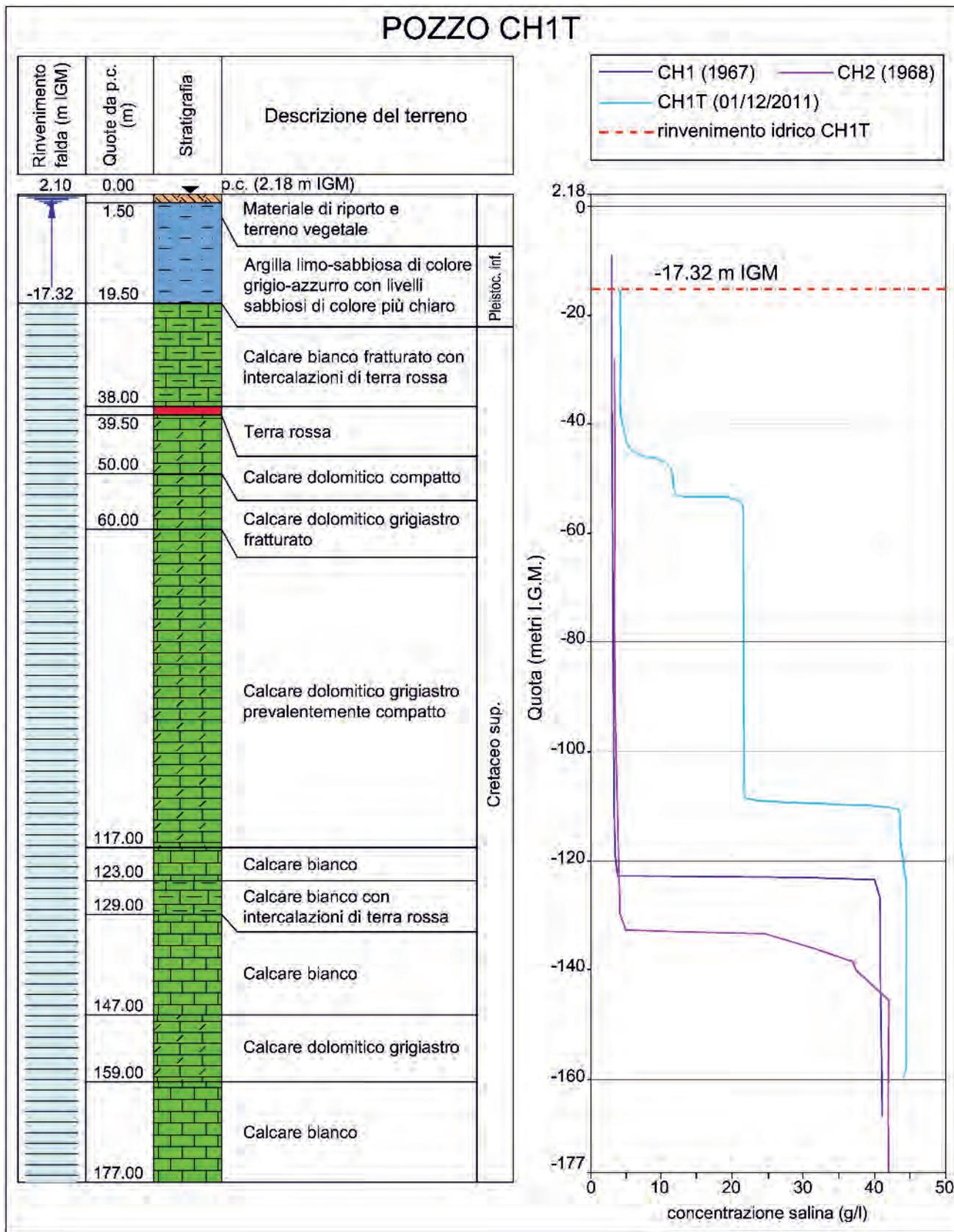


Fig. 18.37 - Stratigrafia e log salinometrico (2011) del pozzo CH1T ubicato in prossimità della Sorgente Chidro in agro di San Pietro in Bevagna (TA) e log salinometrici effettuati alla fine degli anni '60 lungo le verticali dei pozzi limitrofi CH1 e CH2 (ubicazione in fig. 18.22).

- Borehole and salinity logs (2011) of the well CH1T located near the Chidro spring in the area of San Pietro in Bevagna (Taranto province), and salinity logs performed at the end of the '60s along the verticals of the neighbouring wells CH1 and CH2 (locations shown in fig. 18.22).

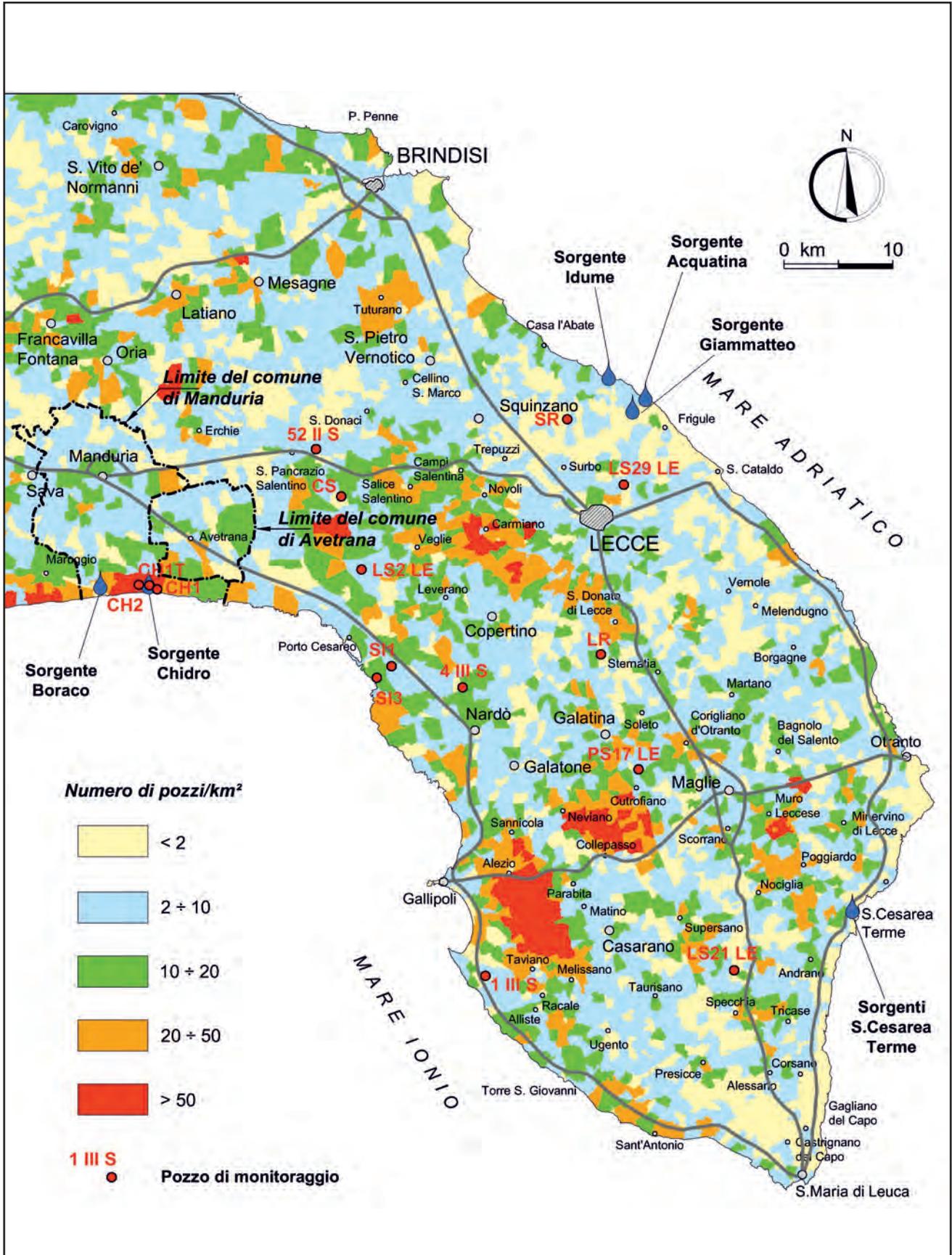


Fig. 18.38 - Densità delle opere di captazione (pozzi) censite presso gli uffici del Genio Civile (mod., da P.T.A., 2009).
 - Density of tapping works (wells) inventoried by the Civil Engineering offices (modified after P.T.A., 2009).

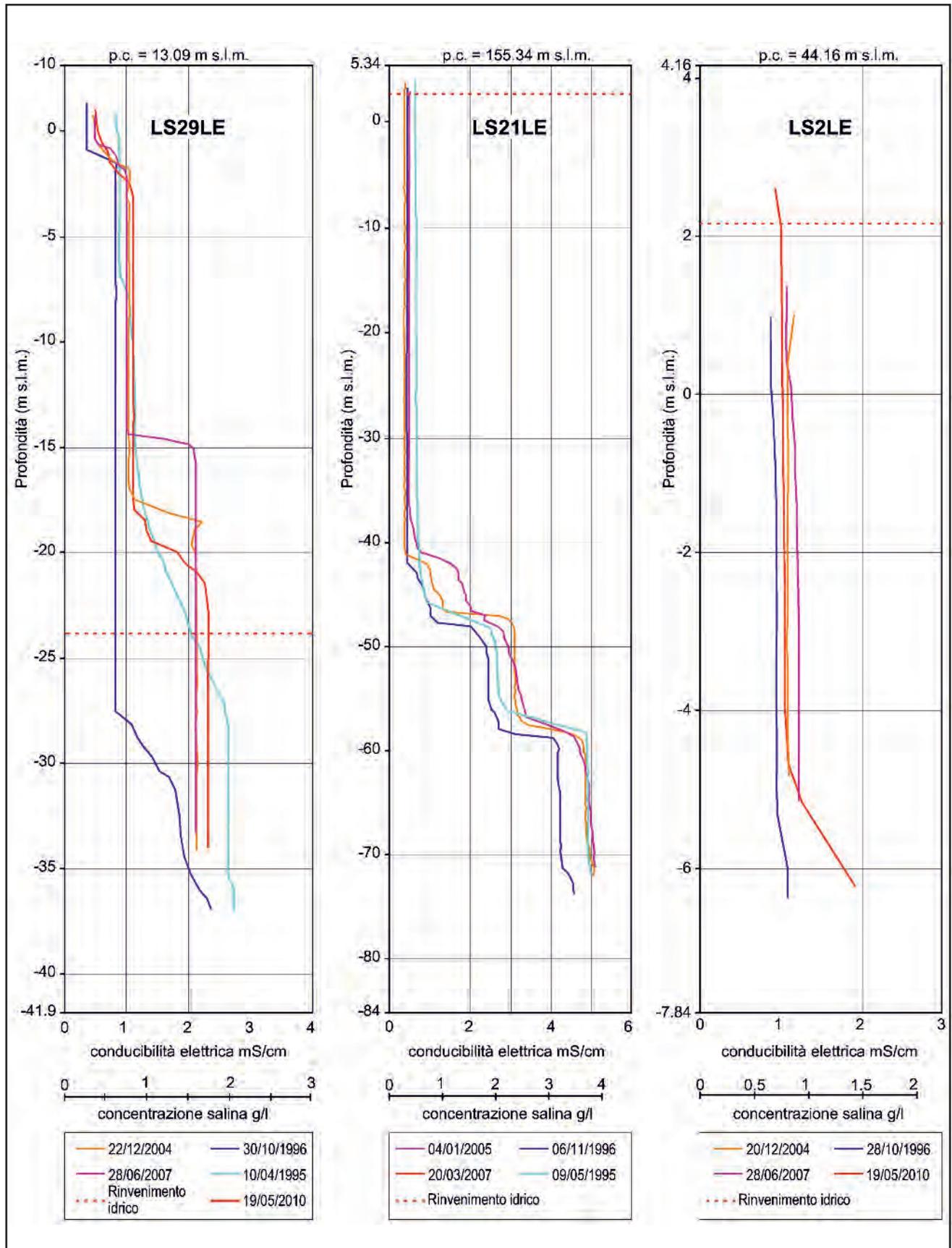


Fig. 18.39 - Log salinometrici eseguiti in varie epoche nei pozzi LS29LE, LS21LE, LS2LE ubicati in fig. 18.22.
 - Salinity logs performed in different periods in the wells LS29LE, LS21LE and LS2LE (location shown in fig. 18.22).

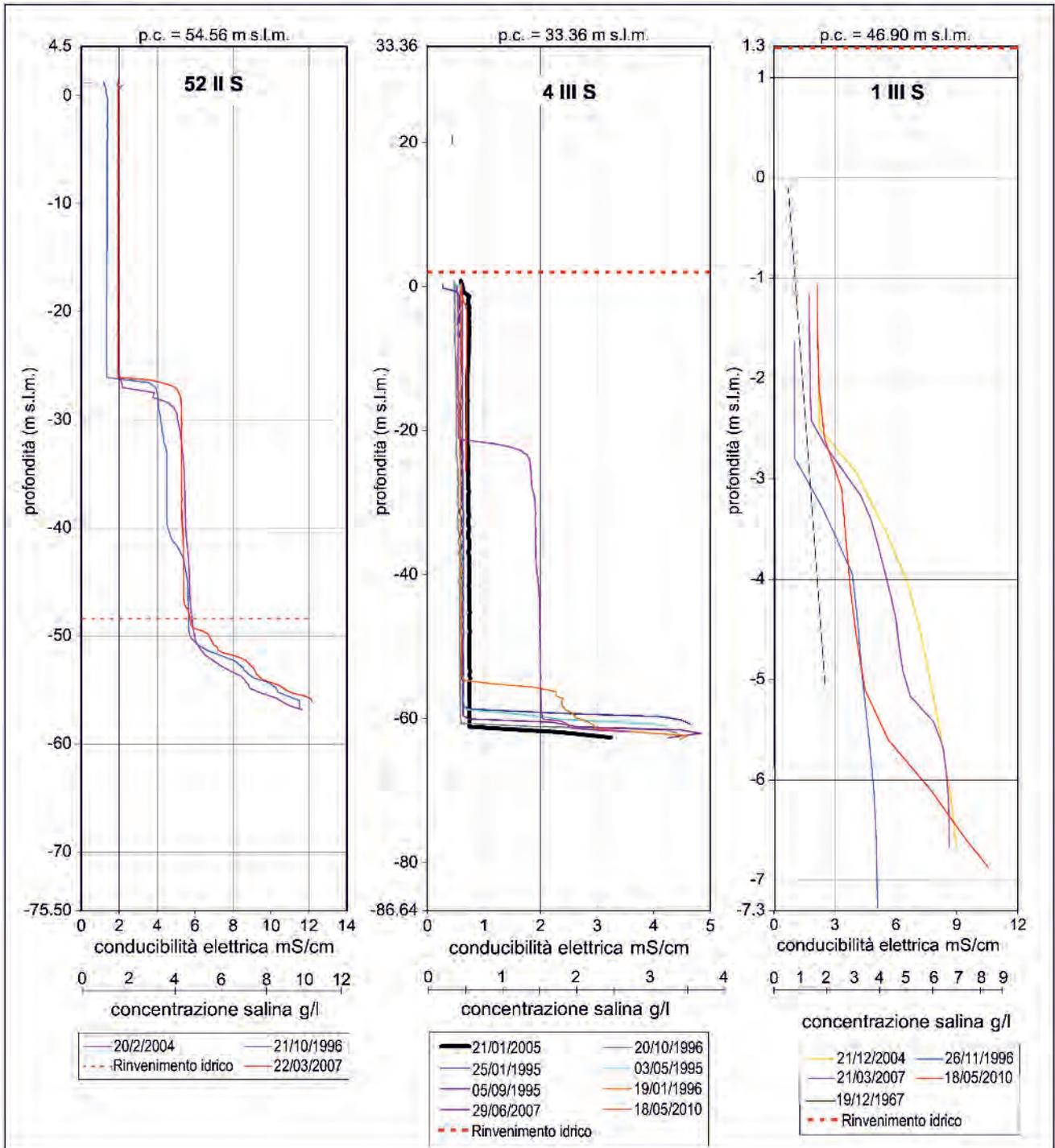


Fig. 18.40 - Log salinometrici eseguiti in varie epoche nei pozzi 52 II S, 4 III S, e 1 III S, ubicati in fig. 18.22.
 - Salinity logs performed in different periods in the wells 52 II S, 4 III S, and 1 III S (location shown in fig. 18.22).

alcune aree ristrette, in genere interne, come a Sud di Lecce, in prossimità di Maglie, Martano, Soletto, Galatina, Cutrofiano e Oria e nella parte centrale della Soglia Messapica.

Procedendo verso i litorali adriatico e ionico, si osserva un incremento della salinità. Qui la distri-

buzione della concentrazione salina media è fortemente condizionata dalle locali condizioni geologico-strutturali ed idrogeologiche degli acquiferi, oltre che dalle estrazioni della risorsa idrica. In particolare, lungo il tratto di litorale a N-O di Otranto e nei pressi di Gallipoli, nell'acquifero sono pre-

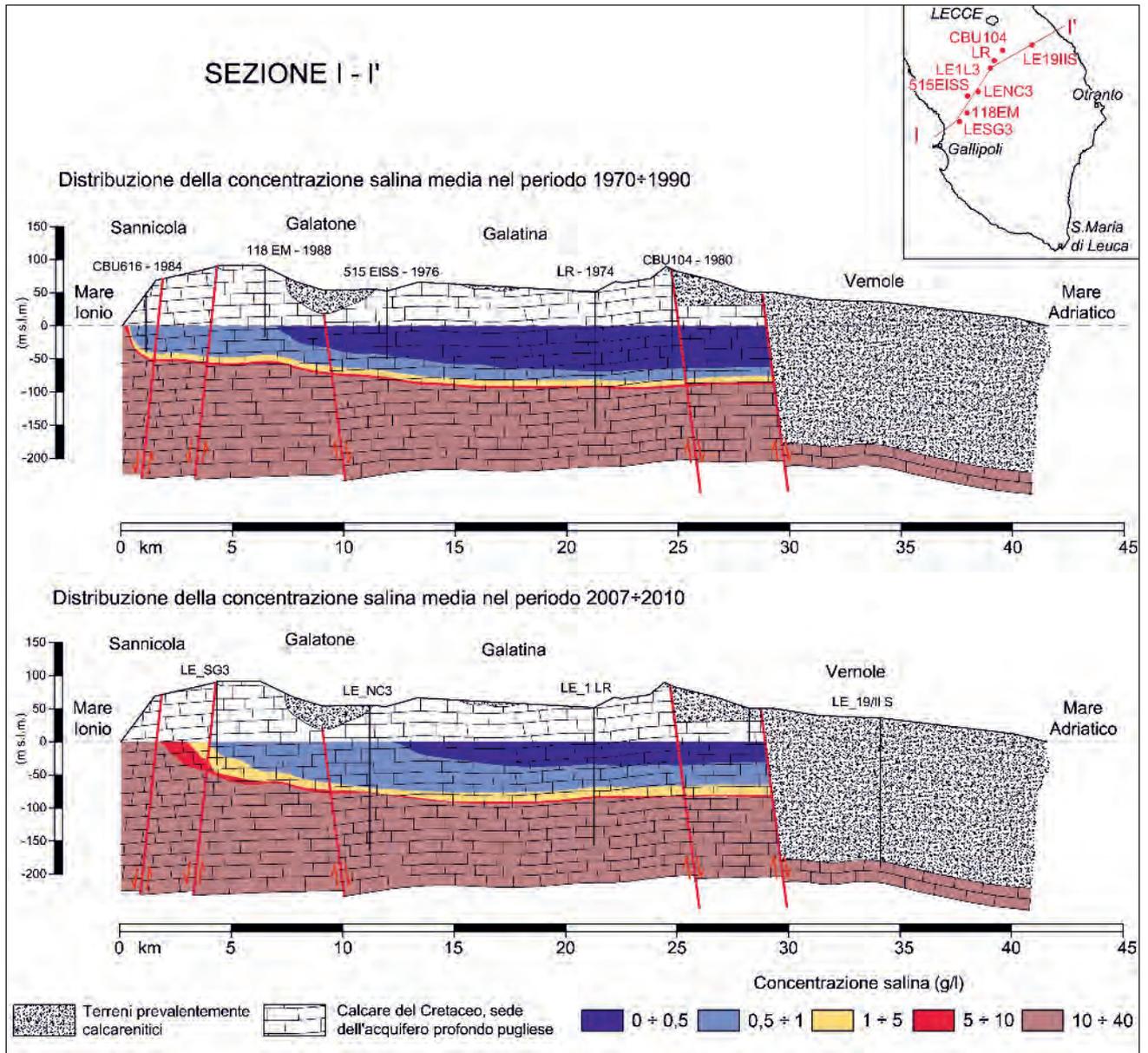


Fig. 18.41 - Sezione idrogeologica del Salento tra Sannicola e Vernole indicante le distribuzioni della concentrazione salina delle acque della falda idrica profonda nei periodi 1970+1990 e 2007+2010.

- hydrogeological profile of Salento between Sannicola and Vernole, showing the salt concentration distribution of the deep aquifer groundwater in the periods 1970-1990 and 2007-2010.

senti solo acque fortemente salmastre, a causa della elevata profondità del tetto dell'acquifero in rapporto all'altezza piezometrica della falda. Nella parte estrema della penisola, ad eccezione di una ristretta fascia tra Casarano e Leuca, la falda è fortemente contaminata dal mare già per piccole profondità.

Nelle aree in cui il livello di falda A presenta valori bassi di concentrazione salina ($< 0,5$ g/l), quest'ultima aumenta notevolmente nei livelli di falda più profondi (fig. 18.42b, c), anche se a quota

superiore a quella dell'interfaccia teorica. Il livello B, avente profondità massima dalla superficie piezometrica minore o uguale a $20h$, presenta infatti valori di concentrazione salina media decisamente superiori a quelli del livello A. Considerato che al centro della penisola si rilevano altezze piezometriche massime dell'ordine di 3 m s.l.m., si ha che il massimo spessore di falda che è da ritenersi non contaminato dal mare è dell'ordine di 60 m dal livello mare.

Nei pressi di Gallipoli l'intrusione marina è così sviluppata che è possibile intercettare acque di

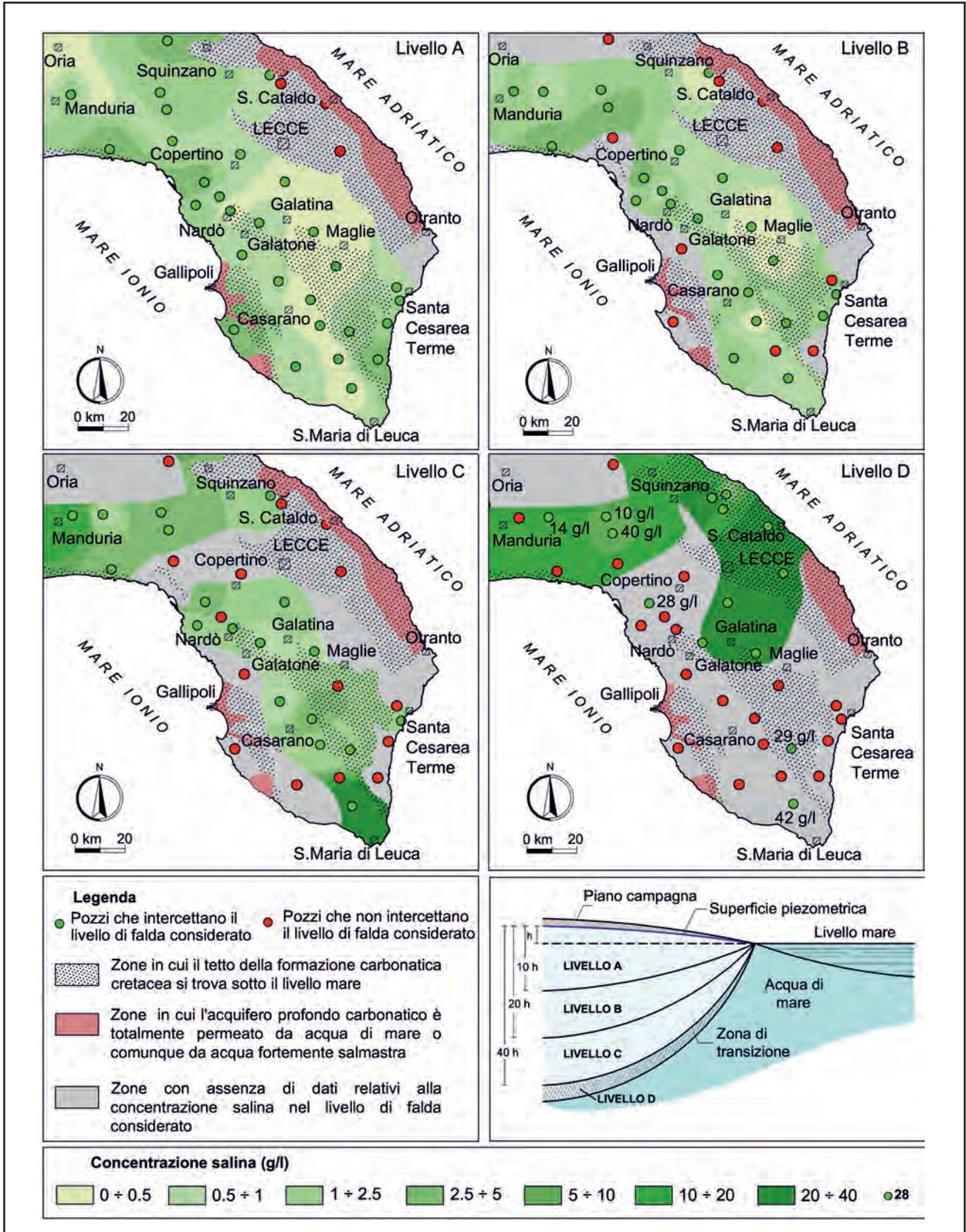


Fig. 18.42 - Distribuzione della concentrazione salina delle acque della falda idrica profonda salentina nel periodo 2007-2010, determinata per livelli di falda (A, B, C e D) di profondità e spessore funzione della quota piezometrica.

- Salt concentration distribution of the deep aquifer groundwater of Salento in the period 2007-2010, determined for the groundwater levels (A, B, C and D) which depth and thickness depend upon the piezometric head.

falda con contenuti salini $< 0,5$ g/l solo ad una distanza dalla costa di circa 20 km.

In figura 18.43 è rappresentato l'incremento di concentrazione salina media del livello di falda A, registrato tra i periodi 1970÷1990 e 2007÷2010. I dati rilevati nell'ultima campagna di rilievi (2007÷2010) evidenziano un preoccupante depauperamento della falda profonda, riscontrandosi un generale incremento della salinità anche quando si analizzano le porzioni più superficiali dell'acquifero. Gli incrementi sono inferiori a 0,25 g/l nelle aree più interne e raggiungono valori elevati, anche dell'ordine di 4 g/l, lungo il litorale ionico, a ridosso di Gallipoli, e quello adriatico, a Nord di Capo Santa Maria di Leuca.

18.4.3.9. - Chimismo delle acque della falda profonda

Il chimismo delle acque di falda dipende da quello delle acque di alimentazione, dagli eventuali scambi ionici con l'acquifero ed i terreni di coper-

tura, dai tempi di residenza e dalla presenza dell'acqua di mare alla base dell'acquifero. La conoscenza della distribuzione dei parametri chimici delle acque di falda può quindi fornire utili informazioni sulla circolazione idrica sotterranea e sulle condizioni di equilibrio tra falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare, oltre che indicare le possibilità di utilizzo delle stesse.

Nel presente paragrafo viene analizzato il chimismo delle acque della falda profonda del Salento, sulla base di dati storici e recenti, questi ultimi provenienti dal monitoraggio delle acque sotterranee della Regione Puglia (Progetto Tiziano). In particolare, è stato possibile individuare, sulla base dei dati disponibili, tre aree tipo, rappresentative del chimismo riscontrabile nell'area salentina (fig. 18.44):

- area di Corigliano d'Otranto;
- area di Vernole-Melendugno;
- area di Gallipoli-Nardò.

In figura 18.44, per ciascuna di dette aree, sono ubicati i pozzi selezionati per l'analisi in quanto ri-

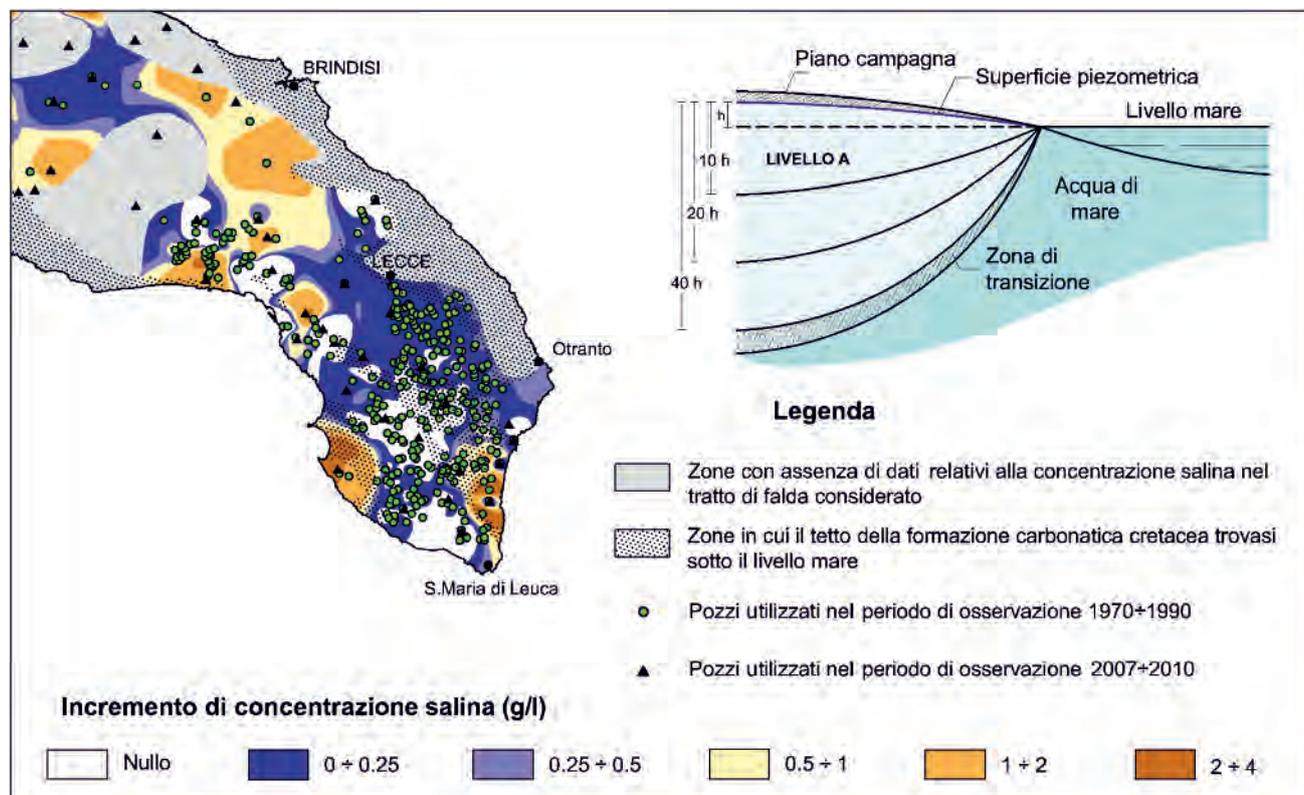


Fig. 18.43 - Incremento della concentrazione salina rilevato tra le porzioni più superficiali della falda profonda (livello A) nel passaggio dal periodo 1970÷1990 al periodo 2007÷2010.

- Increase in salt concentration measured between the shallow portions of the deep aquifer groundwater (level A) in the transition from the 1970÷1990 to the 2007÷2010 time periods.

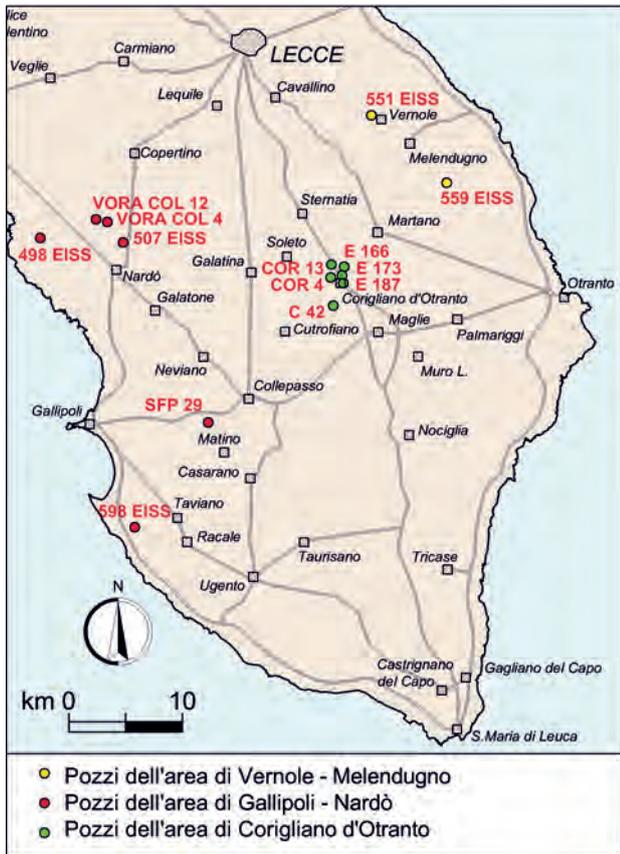


Fig. 18.44 - Ubicazione dei pozzi esaminati nell'analisi del chimismo delle acque di falda dell'area idrogeologica del Salento.
 - Location of the wells subject to groundwater chemistry analysis in the Salento hydrogeological area.

tenuti maggiormente rappresentativi.

Lo studio del chimismo delle acque di falda è stato condotto attraverso i diagrammi di Schoeller e l'analisi dei rapporti caratteristici in funzione della percentuale di miscelamento con l'acqua di mare (cap. 2). Inoltre, al fine di ottenere un efficace confronto con le due condizioni limite, rappresentate dall'acqua di mare e dall'acqua di falda incontaminata, nelle medesime rappresentazioni grafiche sono riportati i diagrammi di Schoeller ed i rapporti caratteristici dell'acqua di mare attuale e di un campione prelevato dalla Sorgente Canneto, appartenente all'Area Idrogeologica del Gargano, da ritenersi avvedutamente incontaminata dall'intrusione marina (capp. 4, 13).

Per ciascuna area analizzata sono infine fornite informazioni riguardanti le concentrazioni di nitrati riscontrate.

Area di Corigliano d'Otranto - L'area è rappresentata da campionamenti, prevalentemente di tipo dina-

mico, eseguiti dai pozzi COR 13, E166, E173, E187, C42, COR 4 (fig. 18.44; tabb. 18.3÷18.8). La concentrazione salina è in genere minore di 0,5 g/l, con *facies* bicarbonato-calcica.

In generale è rispettata la seguente sequenza (fig. 18.45):

$Ca^{++} > Mg^{++} > Na^{+} > K^{+} \approx HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{-}$
 tipica per acque di falda contenute in acquiferi carbonatici e non è contaminata dal mare.

Le percentuali di miscelamento con acqua di mare presentano infatti valori massimi dell'ordine di 0,7% ed i rapporti caratteristici indicano la quasi assenza di contaminazione salina (fig. 18.46).

Il chimismo delle acque riscontrato è tipico di un'area di alimentazione, ove la falda presenta le massime altezze piezometriche e, quindi, i massimi spessori. Deve tuttavia segnalarsi che per alcuni pozzi si è osservato un incremento delle concentrazioni salina e degli ioni cloruro (POLEMIO & LIMONI, 2001), come in particolare si verifica per alcuni pozzi dell'Acquedotto Pugliese (cap. 20). Così, ad esempio, nel pozzo COR 13, gestito dall'Acquedotto Pugliese per l'approvvigionamento idropotabile, si è registrato un incremento di cloruri dal 1993 (127 mg/l) al 2005 (178 mg/l). Simili risultati, sia pure in misura più ridotta, sono stati rinvenuti

Tab. 18.3 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo COR 13 ubicato nell'area di Corigliano d'Otranto.
 - Chémico-physical and hydrogeological parameters of the well COR 13, located in the area of Corigliano d'Otranto.

POZZO	COR 13					
Quota livello statico (m l.m.m.)	2					
Penetrazione	39.33%					
Data di campionamento	lug-93	mar-97	mag-97	lug-97	ott-97	dic-05
Tipo campionamento	D					
TDS (mg/l)	-	481	535	507	505	641
Nitriti (mg/l)	-	0.1	0	0	0.1	-
Nitrati (mg/l)	-	31.4	19.8	12.8	27.3	-
Portata (l/s)	32	-	-	-	-	-

Tab. 18.4 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo E166 ubicato nell'area di Corigliano d'Otranto.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well E166, located in the area of Corigliano d'Otranto.

POZZO	E166					
Data di campionamento	dic-95	mar-97	mag-97	lug-97	ott-97	feb-05
Tipo Campionamento	D					
TDS (mg/l)	-	506	527	531	486	581
Nitriti (mg/l)	-	0.1	0	0	0.1	-
Nitrati (mg/l)	-	36.6	20.6	25.9	27.9	-

Tab. 18.5 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo E173 ubicato nell'area di Corigliano d'Otranto.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well E173, located in the area of Corigliano d'Otranto.

POZZO	E173				
Data di campionamento	ott-91	mar-97	lug-97	ott-97	nov-05
Tipo Campionamento	D				
TDS (mg/l)	-	450	466	462	591
Nitriti (mg/l)	-	0.1	0	0.1	-
Nitrati (mg/l)	-	35.8	14.3	28.3	-

Tab. 18.6 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo E187 ubicato nell'area di Corigliano d'Otranto.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well E187, located in the area of Corigliano d'Otranto.

POZZO	E187						
Data di campionamento	mar-93	gen-95	mar-97	mag-97	lug-97	ott-97	nov-05
Tipo campionamento	D						
TDS (mg/l)	-	-	427	444	832	429	519
Nitriti (mg/l)	-	-	0.1	0	0	0.1	-
Nitrati (mg/l)	-	-	41.5	22.3	15.1	30.8	-

Tab. 18.7 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo C42 ubicato nell'area di Corigliano d'Otranto.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well C42, located in the area of Corigliano d'Otranto.

POZZO	C42		
Quota livello statico (m l.m.m.)	3.51		
Permeabilità (m/s)	6.00E-03		
Penetrazione	43.17%		
Data di campionamento	apr-80	ott-90	ott-97
Tipo campionamento	S	D	D
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-20.09	-	-
TDS (mg/l)	-	-	385
Nitriti (mg/l)	0.15	-	0.1
Nitrati (mg/l)	3.3	-	28

Tab. 18.8 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo COR 4 ubicato nell'area di Corigliano d'Otranto.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well COR 4, located in the area of Corigliano d'Otranto.

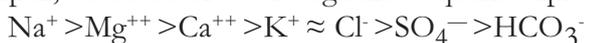
POZZO	COR 4					
Quota livello statico (m l.m.m.)	4					
Penetrazione	30.77%					
Data di campionamento	dic-88	nov-95	mar-97	mag-97	lug-97	ott-97
Tipo campionamento	D					
TDS (mg/l)	-	-	459	435	461	450
Nitriti (mg/l)	-	-	0.1	0	0	0.1
Nitrati (mg/l)	-	-	41.9	29.9	16.5	34.4
Portata (l/s)	40	-	-	-	-	-

per i pozzi E166 (periodo: 1995÷2005), E173 (1991-2005), E187 (1993-2005) (tabb. 18.4÷18.6).

Ai fini della valutazione complessiva della qualità delle acque campionate va segnalata la presenza di significative concentrazioni di ioni nitrato, con punte dell'ordine di 30÷40 mg/l. L'argomento è significativo, se si considera la massiccia presenza nell'area di pozzi potabili.

Area di Vernole-Melendugno – L'area è stata studiata

con i pozzi 551EISS e 559EISS (fig. 18.44; tabb. 18.9, 18.10) ed è caratterizzata dalla presenza di acque di falda con notevoli concentrazioni saline (TDS in alcuni casi maggiori di 20 g/l). La *facies* chimica riscontrata è spesso cloruro – alcalina (fig. 18.47), con netta prevalenza di sodio e cloruri su calcio e bicarbonati. Con riferimento agli ioni principali, è stata osservata la seguente sequenza tipica:



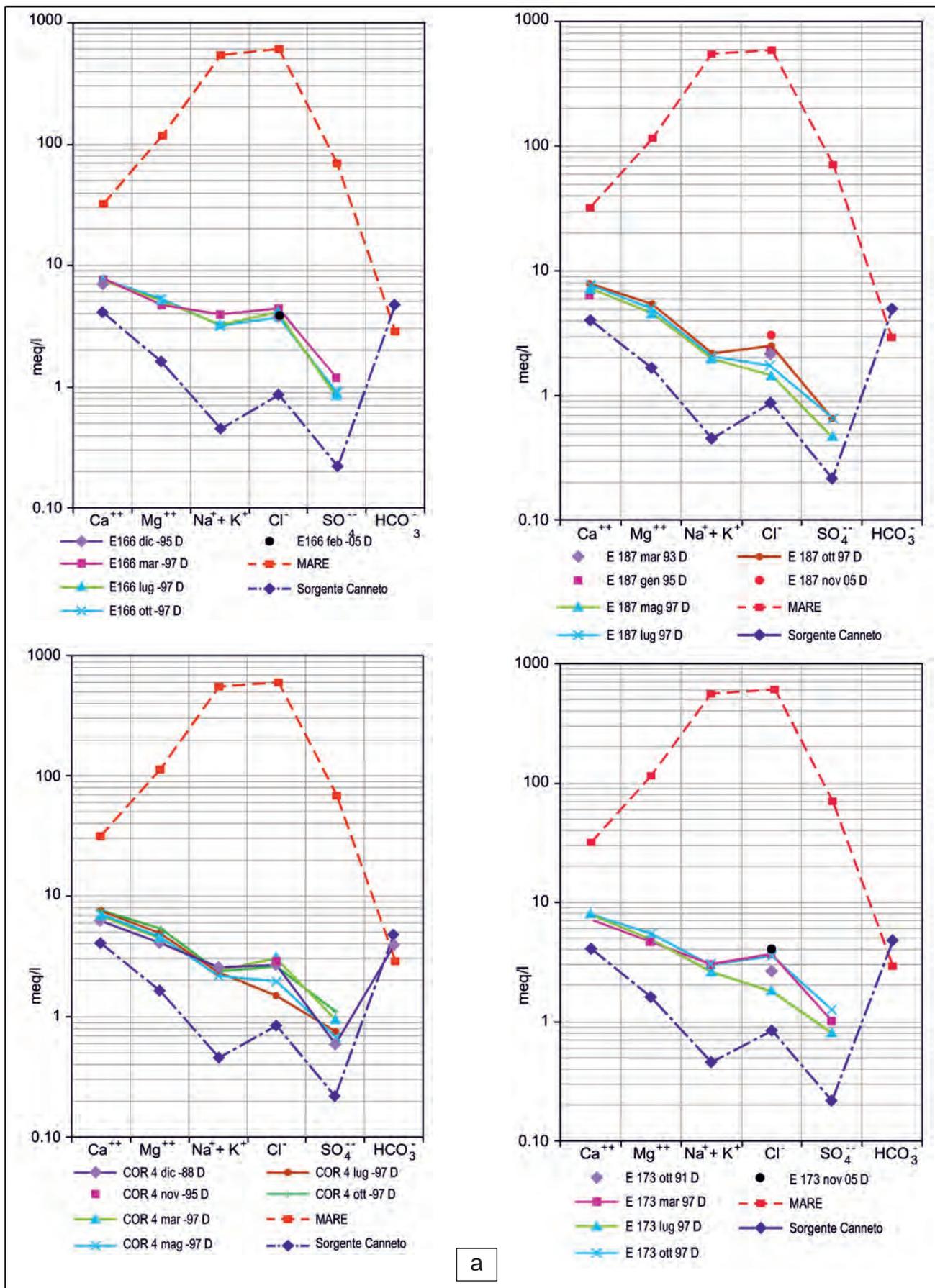
Le acque sotterranee di quest'area sono quindi fortemente miscelate con acqua di mare, a causa della notevole profondità del tetto dell'acquifero cretaceo in rapporto ai carichi piezometrici, come ampiamente discusso nei paragrafi precedenti. In particolare, lungo la fascia costiera prospiciente Torre Specchia, di larghezza 4 km circa, nell'acquifero profondo si rinviene, in pratica, solo acqua di intrusione marina. In detta zona il prelievo di acqua dolce è possibile, pertanto, solo dagli acquiferi superficiali contenuti nei depositi post-cretacei, sovrastanti all'acquifero profondo. La presenza di acque fortemente contaminate dal mare si rileva anche dai valori dei rapporti caratteristici, tendenti a quelli tipici dell'acqua di mare (fig. 18.46). La concentrazione salina delle acque di falda profonda si riduce solo a notevoli distanze dalla costa, assumendo valori inferiori a 1 g/l a Sud di Melendugno, in corrispondenza di alti strutturali del basamento calcareo (MARGIOTTA & TADOLINI, 1987; BRUNO *et alii*, 2008).

Area di Gallipoli-Nardò – Il chimismo delle acque sotterranee di quest'area (fig. 18.44) è il risultato di una molteplicità di condizionamenti, determinati dalle condizioni idrogeologiche locali. Un ruolo fondamentale è assunto dalla notevole profondità del tetto dell'acquifero cretaceo presso Gallipoli, ove si rilevano coefficienti di permeabilità dell'acquifero profondo dell'ordine di $10^{-3} \div 10^{-2}$ cm/s, di gran lunga inferiori a quelli riscontrati presso Nardò, ove i calcari sono praticamente affioranti (figg. 18.19 e 18.21).

Prima di descrivere il chimismo delle acque sotterranee dell'area, è utile ricordare gli studi eseguiti nella zona compresa tra gli abitati di Nardò, Copertino, Leverano e Porto Cesareo negli anni '60 (fig. 18.48), per la realizzazione del protosincro-

trone da 300 GeV del CERN, mai realizzato, in riferimento al quale gli esperti del Consiglio Europeo per la Ricerca Nucleare, consideravano appropriate le caratteristiche topografiche, geologiche e geotecniche dell'area. Il Consiglio Nazionale delle Ricerche per l'occasione finanziò studi di dettaglio, anche di carattere idrogeologico, incaricando al riguardo l'Istituto di Geologia Applicata all'Ingegneria della Facoltà di Ingegneria di Bari. Nell'ambito della ricerca furono eseguite misure piezometriche della falda profonda, della portata delle sorgenti, delle velocità di filtrazione, della permeabilità dei calcari, del contenuto salino e della temperatura delle acque di falda e di sorgente, attraverso l'utilizzo di decine di pozzi, di idrometrografi, nonché mediante talune prove di portata, eseguite queste ultime durante l'avanzamento delle perforazioni. Da tali studi emersero, tra l'altro, risultati interessanti per la comprensione della idrogeologia della zona (COTECCHIA & GRASSI, 1967). Fu al riguardo possibile rilevare l'andamento della isoalina 1 g/l (fig. 18.48), la quale presenta una distanza dalla costa variabile tra circa 2 e 8 km, con una ingressione nel continente significativa presso Leverano. In prossimità della costa è stato possibile rilevare solo un modestissimo spessore della falda, la quale presenta valori di concentrazione salina dell'ordine di 3 g/l (pozzo PANDI in fig. 18.48). Procedendo verso l'interno si è osservato un notevole miglioramento della qualità delle acque sotterranee. Il pozzo CNEN ha individuato la presenza di acque di falda con salinità inferiore ad 1 g/l sino a profondità dal livello mare dell'ordine di 60 m. Confrontando i risultati ottenuti dai log di salinità eseguiti nei pozzi PANDI e CNEN è possibile inoltre rilevare un incremento dello spessore della zona di transizione all'aumentare della distanza dalla costa.

In figura 18.49 sono riportati i diagrammi di Schoeller dei pozzi VORA COL 4, VORA COL 12, e 507 EISS (tabb. 18.11÷18.13), ubicati a Nord di Nardò (fig. 18.44). I diagrammi di Schoeller evidenziano una chiara influenza marina, sebbene nelle porzioni più superficiali della falda l'acqua sotterranea presenti una concentrazione salina minore a 0,5 g/l. L'influenza marina è desunta sia dalla forma dei diagrammi di Schoeller, sia dai rap-



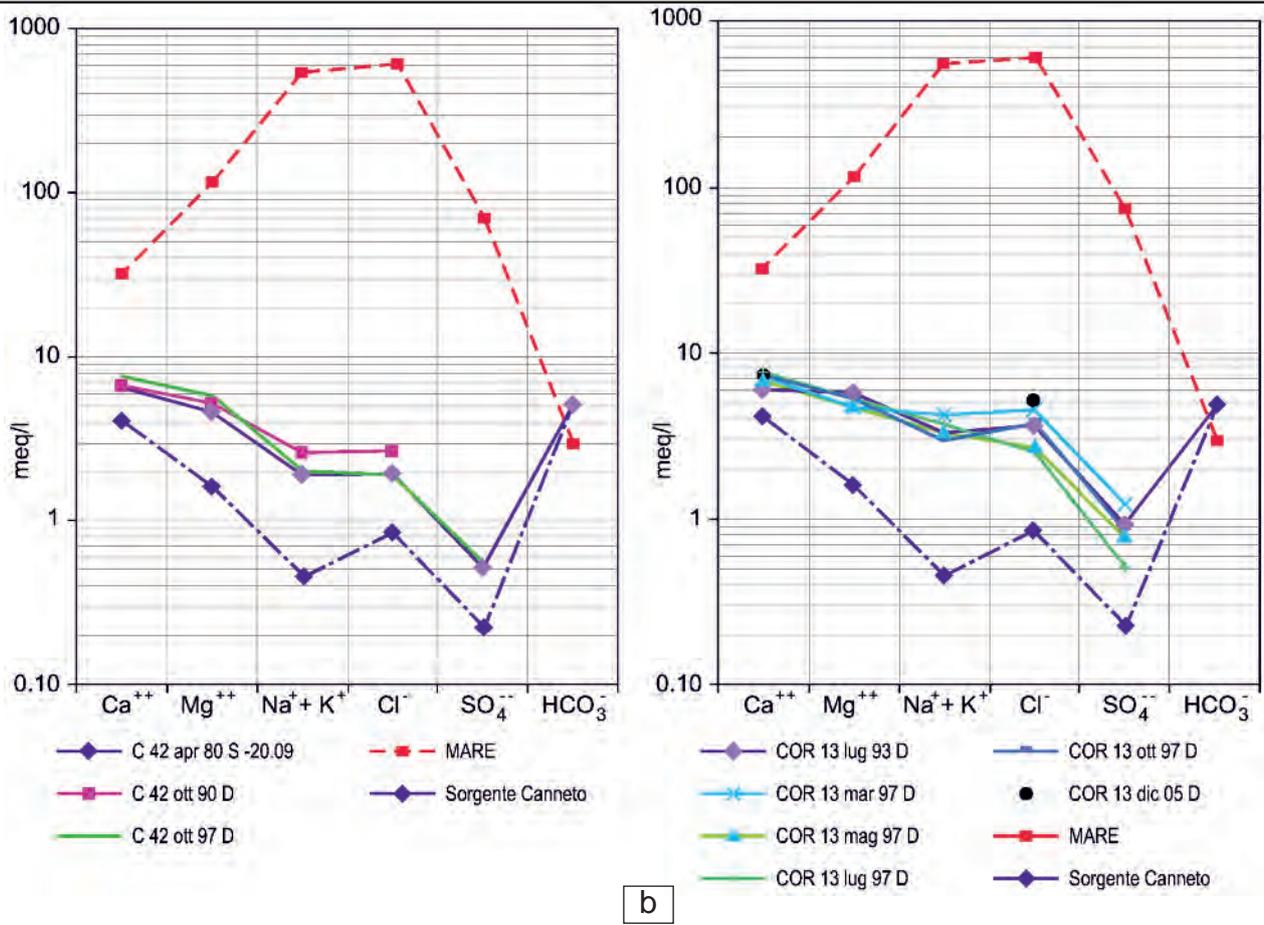


Fig. 18.45 – a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi E166, E187, COR4, E173, ubicati in fig. 18.44 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (D = dinamico; S = statico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; b) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi C42 e COR 13, ubicati in fig. 18.44 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (D = dinamico; S = statico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

a) Schoeller diagram of groundwater in the wells E166, E187, COR4, and E173 (location shown in fig. 18.44), with date, type (D = dynamic; S = static) and elevation of sampling with respect to mean sea level; b) Schoeller diagram of groundwater in the wells C42 and COR 13 (location shown in fig. 18.44), with date, type (D = dynamic; S = static) and elevation of sampling with respect to mean sea level.

porti caratteristici (fig. 18.46). In particolare nei pozzi 507 EISS (ott-96, dic-04) e VORA COL 12, le componenti bicarbonato-calciche risultano preponderanti ($HCO_3^{-} > Cl^{-} > SO_4^{--}$) e le percentuali di miscelamento con l'acqua di mare non superano il valore 0,4%. In detti pozzi i rapporti caratteristici risentono comunque della presenza di acqua di mare: ad esempio, il rapporto caratteristico $rNa+rK+rCl+rSO_4/rCa+rMg+rHCO_3$ si attesta su $0,3 \div 0,6$, maggiore del valore 0,15 assunto dalla sorgente Canneto ed inferiore al valore 8,68 dell'acqua di mare. Ciò indica una modesta contaminazione salina. Per il pozzo VORA COL 4, si verifica, invece, che $Cl^{-} > HCO_3^{-} > SO_4^{--}$.

Lunga la fascia costiera compresa tra Gallipoli e Nardò sono stati esaminati i pozzi 498 EISS, 598

EISS e SFP29 (fig. 18.44; tabb. 18.14÷18.16). I diagrammi di Schoeller indicano che, sin dai primi metri di profondità, la falda subisce l'influenza marina, con componenti cloruro-sodiche prevalenti (fig. 18.50). La concentrazione salina è quasi mai inferiore a 1 g/l. Inoltre, i campionamenti statici più superficiali del pozzo 498 EISS (carico piezometrico pari a 0,65 m s.l.m.), eseguiti a -1,98 e s.l.m., mostrano un aumento significativo del TDS, rispettivamente, di 1 g/l e 0,5 g/l negli ultimi anni. Le percentuali di miscelamento con acqua di mare, in accordo con le notevoli concentrazioni delle componenti cloruro-sodiche, risultano elevate, con un minimo dello 0,8%, per il pozzo SFP29, ed un massimo di 11,5%, per il campionamento superficiale, a -11,98 m, del pozzo 598 EISS (fig. 18.46).

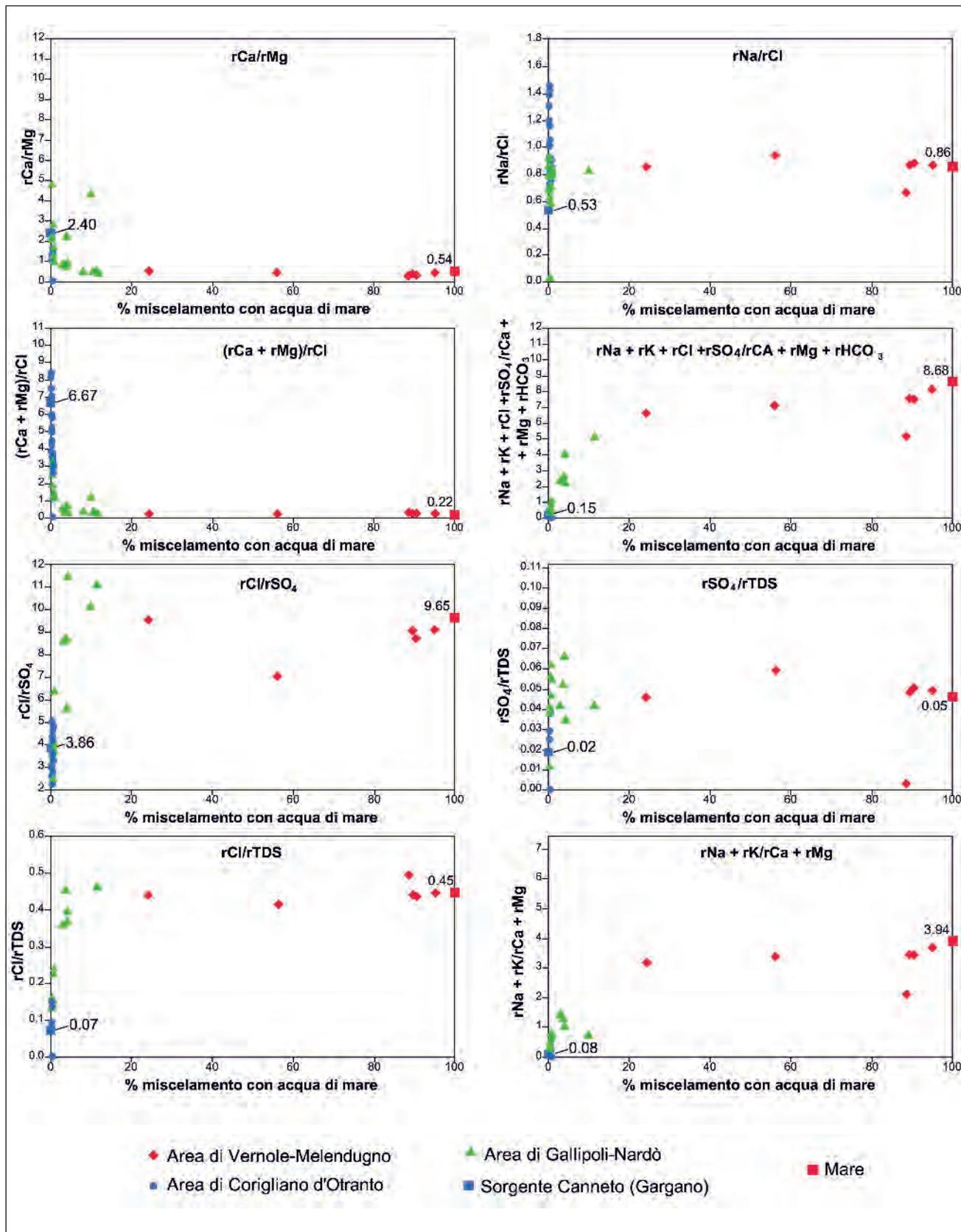


Fig. 18.46 - Variazione dei principali rapporti caratteristici in funzione della percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare, rilevata per i campioni d'acqua prelevati dai pozzi utilizzati per l'analisi del chimismo delle acque sotterranee salentine.

- Changes in the main characteristic ratios as a function of the fresh water/seawater mixing percentage, measured in water samples taken from the wells used for the groundwater chemical composition analysis in the Salento peninsula.

Tab. 18.9 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 551 EISS ubicato nell'area di Vernole-Melendugno. - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 551 EISS, located in the area of Vernole-Melendugno.

POZZO	551 EISS					
Quota livello statico (m l.m.m.)	3					
Data di campionamento	mag-53	nov-07	mag-08	gen-09	gen-96	gen-05
Tipo campionamento	D	S	S	S	S	S
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-	-137	-137	-137	-185	-185
TDS (mg/l)	9.685	26.933	31.854	32.708	33.200	25.584
Nitriti (mg/l)	-	<0,05	<0,05	<0,05	0.05	0.02
Nitrati (mg/l)	-	<0.10	<0.10	1.51	2.6	0.1

Tab. 18.10 - Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 559 EISS ubicato nell'area di Vernole-Melendugno. - Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 559 EISS, located in the area of Vernole-Melendugno.

POZZO	559 EISS			
Quota livello statico (m l.m.m.)	5.125			
Data di campionamento	ott-54	nov-07	mag-08	nov-96
Tipo campionamento	D	S	S	S
Quota campionamento (m l.m.m.)	-	-24.14	-24.14	-27.94
TDS (mg/l)	312	474.72	453.39	345
Nitriti (mg/l)	-	<0,05	<0,05	0.05
Nitrati (mg/l)	-	1.95	11.3	39.6

In quest'ultimo pozzo, a quota -6,10 s.l.m., si riscontra un aumento di salinità di 3 g/l nell'arco di 8 anni (periodo: 1996÷2004).

Infine, nell'area sono stati rilevati valori elevati della concentrazione dello ione nitrato, come nel caso del pozzo VORA COL 12, ove si sono superati i 100 mg/l (tab. 18.12). A tale proposito occorre rimarcare che l'opera di captazione ricade nei pressi della voragine Colucci, recapito finale di un corso d'acqua (canale Asso), in cui scarica un depuratore (P.T.A, 2009).

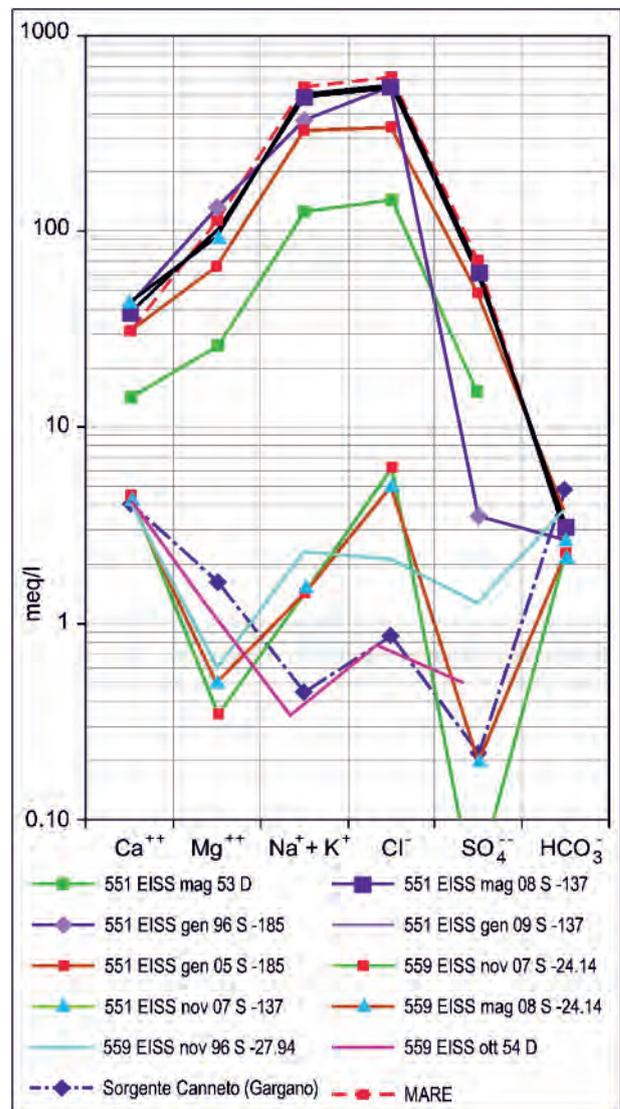


Fig. 18.47 - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 551 EISS e 559 EISS, ubicati in fig. 18.44, con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

- Schoeller diagram of groundwater in the wells 551 EISS and 559 EISS (location shown in fig. 18.44), with date, type (S = static; D = dynamic) and elevation of sampling with respect to mean sea level.

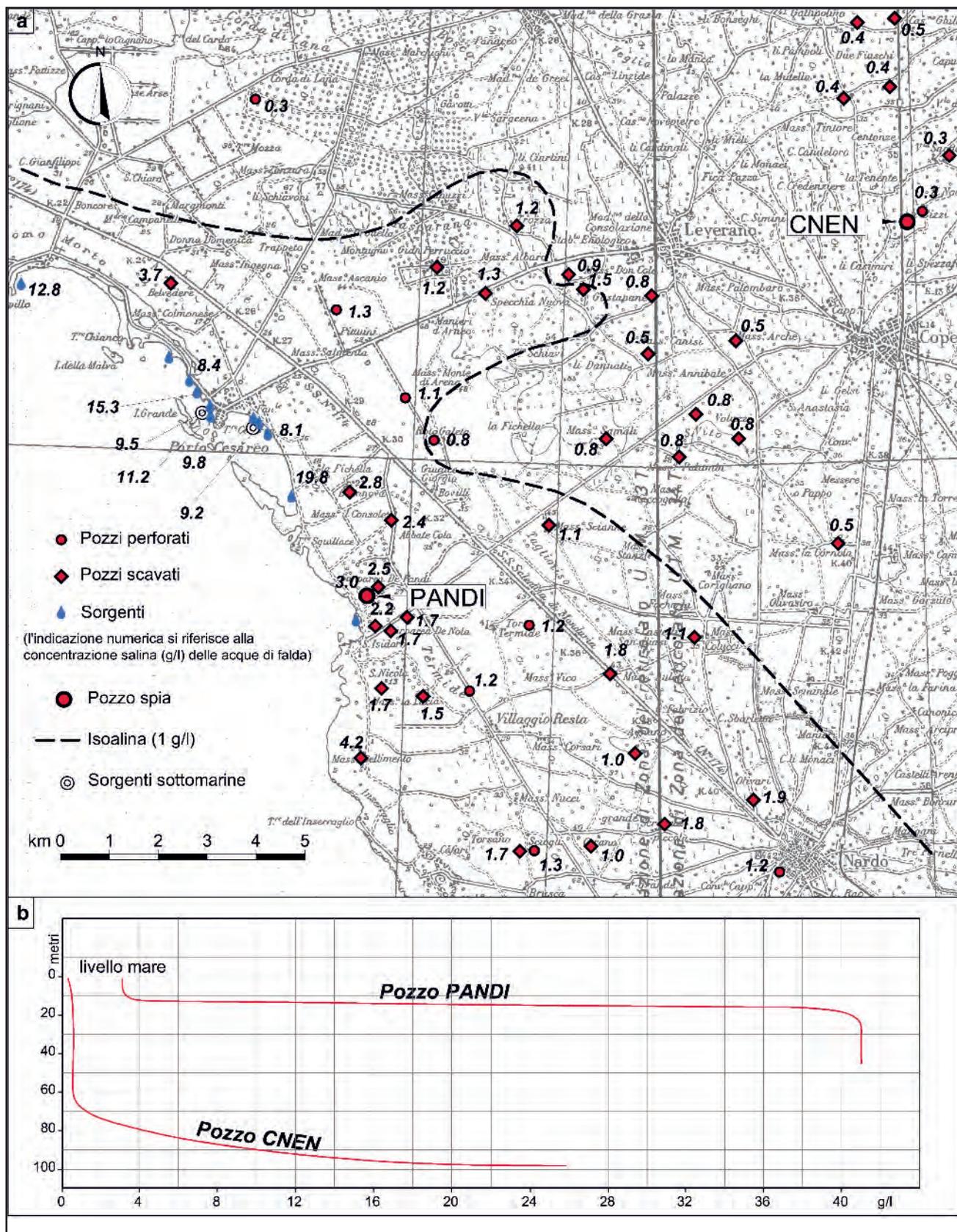


Fig. 18.48 - Idrogeologia dell'area costiera a Nord di Nardò: a) planimetria con indicazione della concentrazione salina delle acque misurata al tetto della falda idrica profonda; b) log salinometrici a differenti distanze dalla costa (da COTECCHIA & GRASSI, 1967)

- Hydrogeology of the coastal area north of Nardò: a) map showing the salt concentration of water measured at the top of the deep aquifer; b) salinity logs at various distances from the coast (after COTECCHIA & GRASSI, 1967).

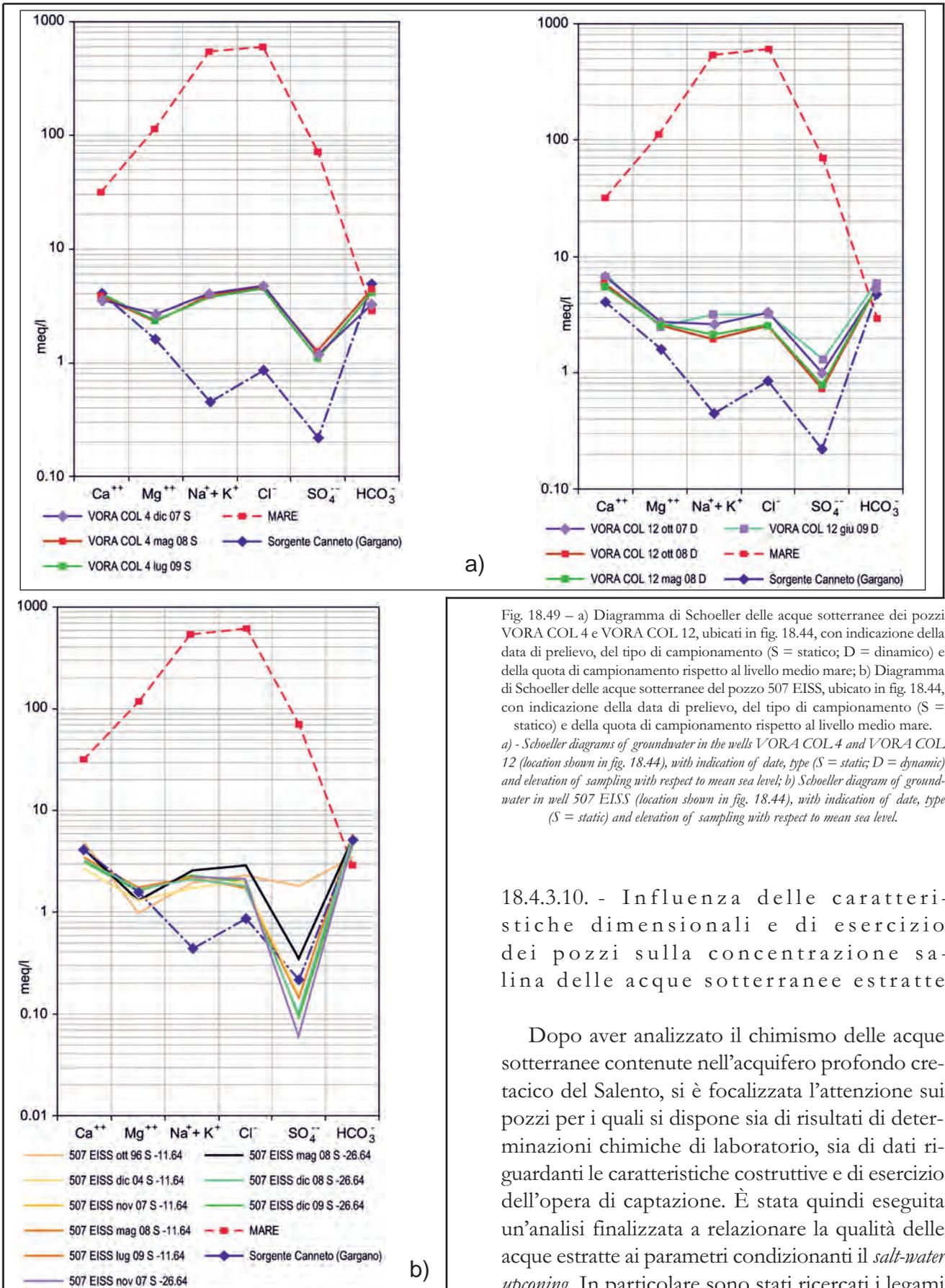


Fig. 18.49 - a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi VORA COL 4 e VORA COL 12, ubicati in fig. 18.44, con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare; b) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee del pozzo 507 EISS, ubicato in fig. 18.44, con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.
 a) - Schoeller diagrams of groundwater in the wells VORA COL 4 and VORA COL 12 (location shown in fig. 18.44), with indication of date, type (S = static; D = dynamic) and elevation of sampling with respect to mean sea level; b) Schoeller diagram of groundwater in well 507 EISS (location shown in fig. 18.44), with indication of date, type (S = static) and elevation of sampling with respect to mean sea level.

18.4.3.10. - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi sulla concentrazione salina delle acque sotterranee estratte

Dopo aver analizzato il chimismo delle acque sotterranee contenute nell'acquifero profondo cretaceo del Salento, si è focalizzata l'attenzione sui pozzi per i quali si dispone sia di risultati di determinazioni chimiche di laboratorio, sia di dati riguardanti le caratteristiche costruttive e di esercizio dell'opera di captazione. È stata quindi eseguita un'analisi finalizzata a relazionare la qualità delle acque estratte ai parametri condizionanti il *salt-water upconing*. In particolare sono stati ricercati i legami

Tab. 18.11 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo VORA COL 4 ubicato nell'area di Gallipoli-Nardò.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well VORA COL 4, located in the area of Gallipoli-Nardò.

POZZO	VORA COL 4		
Data di campionamento	dic-07	mag-08	lug-09
Tipo di campionamento	S		
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-	-	-
TDS (mg/l)	601.31	627.46	665.3
Nitriti (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrati (mg/l)	29.7	27.2	29.4

Tab. 18.12 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo VORA COL 12 ubicato nell'area di Gallipoli-Nardò.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well VORA COL 12, located in the area of Gallipoli-Nardò.

POZZO	VORA COL 12			
Data di campionamento	ott-07	mag-08	ott-08	giu-09
Tipo di campionamento	D			
TDS (mg/l)	740.29	632.27	624.7	766.43
Nitriti (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrati (mg/l)	160	115	101	146

Tab. 18.13 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 507 EISS ubicato nell'area di Gallipoli-Nardò.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 507 EISS, located in the area of Gallipoli-Nardò.

POZZO	507 EISS									
Quota livello statico (m l.m.m.)	2.01									
Permeabilità (m/s)	9.44E-06									
Penetrazione	85.02%									
Data di campionamento	ott-96	dic-04	nov-07	mag-08	lug-09	nov-07	mag-08	dic-08	lug-09	
Tipo di campionamento	S									
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-11.64					-26.64				
TDS (mg/l)	290	611	420.37	483.66	427.94	414.86	425.18	414.18	421.74	
Nitriti (mg/l)	0.05	0.01	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Nitrati (mg/l)	1.5	2.5	1.06	13.5	0.56	1.6	1.11	3.16	1.44	

esistenti tra la concentrazione dello ione cloruro (Cl) ed altri parametri, quali la concentrazione salina, la percentuale di penetrazione del pozzo in falda (P), l'altezza piezometrica (h) e la distanza della base del pozzo dall'interfaccia teorica (d). L'analisi è stata eseguita seguendo la metodologia già illustrata nel capitolo 12 a cui si rimanda per la puntuale definizione delle grandezze utilizzate.

L'Area Idrogeologica del Salento è stata quindi suddivisa, sulla base dei dati disponibili, in tre aree:

- Area costiera di Gallipoli-Lizzano;
- Basso Salento;
- Area di Lecce.

Detta suddivisione scaturisce dalla necessità di tener conto delle condizioni idrogeologiche locali, quali ad esempio la distanza dalla costa e la profondità del tetto dell'acquifero, che possono influenzare in modo singolare il *salt-water upconing*. Per ciascuna area i pozzi disponibili sono stati suddivisi in classi, in funzione della percentuale di penetrazione in falda e della concentrazione dello ione cloruro. La trattazione che segue è completata dalla tavola 5 (f.t.) che riporta, per tutto il territorio regionale, una suddivisione dei pozzi in gruppi in funzione della concentrazione dello ione cloruro e della distanza d della base del pozzo dall'interfaccia teorica acqua dolce – acqua di mare intrusa nel continente.

Area costiera di Gallipoli-Lizzano - In quest'area sono

Tab. 18.14 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 498 EISS ubicato nell'area di Gallipoli-Nardò.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 498 EISS, located in the area of Gallipoli-Nardò.

POZZO	498 EISS				
Quota livello statico (m l.m.m.)	0.65				
Permeabilità (m/s)	1.03E-04				
Data di campionamento	nov-07	mag-08	lug-09	nov-96	dic-04
Tipo di campionamento	S				
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-1.98	-1.98	-1.98	-11.98	-11.98
TDS (mg/l)	1008.61	2007.58	2179.58	1590	2150
Nitriti (mg/l)	0.27	0.01	<0,05	0.05	0.01
Nitrati (mg/l)	7.9	8.82	21.6	24	23.6

Tab. 18.15 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 598 EISS ubicato nell'area di Gallipoli-Nardò.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well 598 EISS, located in the area of Gallipoli-Nardò.

POZZO	598 EISS					
Quota livello statico (m l.m.m.)	1.3					
Permeabilità (m/s)	3.62E-04					
Penetrazione	17.55%					
Data di campionamento	nov-07	mag-08	lug-09	ago-52	nov-96	dic-04
Tipo di campionamento	S	S	S	D	S	S
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-5.1	-5.1	-5.1	-	-6.1	-6.1
TDS (mg/l)	4052.32	5139.36	4809.81	4261	1720	4667
Nitriti (mg/l)	0.14	0.08	0.15	-	0.05	0.05
Nitrati (mg/l)	37.8	26	42.7	-	29.9	44.1

Tab. 18.16 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo SFP 29 ubicato nell'area di Gallipoli-Nardò.*
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of the well SFP 29, located in the area of Gallipoli-Nardò.

POZZO	SFP 29
Data di campionamento	giu-99
Tipo di campionamento	D
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-
TDS (mg/l)	730.4
Nitriti (mg/l)	0
Nitrati (mg/l)	42.6

stati esaminati 180 pozzi (fig. 18.51). La figura 18.52a, che riporta la percentuale di penetrazione (P) in funzione della concentrazione dello ione cloruro (Cl), evidenzia una notevole dispersione dei dati, da attribuirsi sia all'eterogeneità dell'ambiente idrogeologico, sia alle diverse condizioni di esercizio dei pozzi e alle modalità di campionamento (ad es. la durata del pompaggio che precede il campionamento). La maggior parte dei pozzi presenta $Cl > 0,1$ g/l, con valori maggiori (> 1 g/l) che interessano solo i pozzi con $P > 20\%$ e, nella maggior parte dei casi, una distanza d inferiore a circa 100 m (fig. 18.52c). È possibile rilevare, in generale, che ad elevati valori di Cl corrispondono valori di $1/t$ grandi, circostanza questa tipica dei pozzi prossimi alla costa (fig. 18.52b). Viceversa, valori di Cl modesti sono stati misurati nei casi in cui $1/t$ è modesto, circostanza questa che si verifica in genere a maggiori distanza dalla costa. La presenza di Cl nelle acque di falda estratte dai pozzi appartenenti alle classi III-VI (fig. 18.51), per i quali $Cl > 0,1$ g/l, è di sicura origine marina. Ciò è dimostrato dalla correlazione esistente tra Cl e salinità, così come evidenziato dalla figura 18.52d. Solo per bassi valori di Cl e residuo secco a 110° (classi I e II) si registra infatti una dispersione dei dati, che indica una bassa o assente contaminazione salina.

L'analisi eseguita per l'area costiera Gallipoli-Lizzano evidenzia che la possibilità di estrarre acque con $Cl < 0,1$ g/l (classi I e II di figura 18.51)

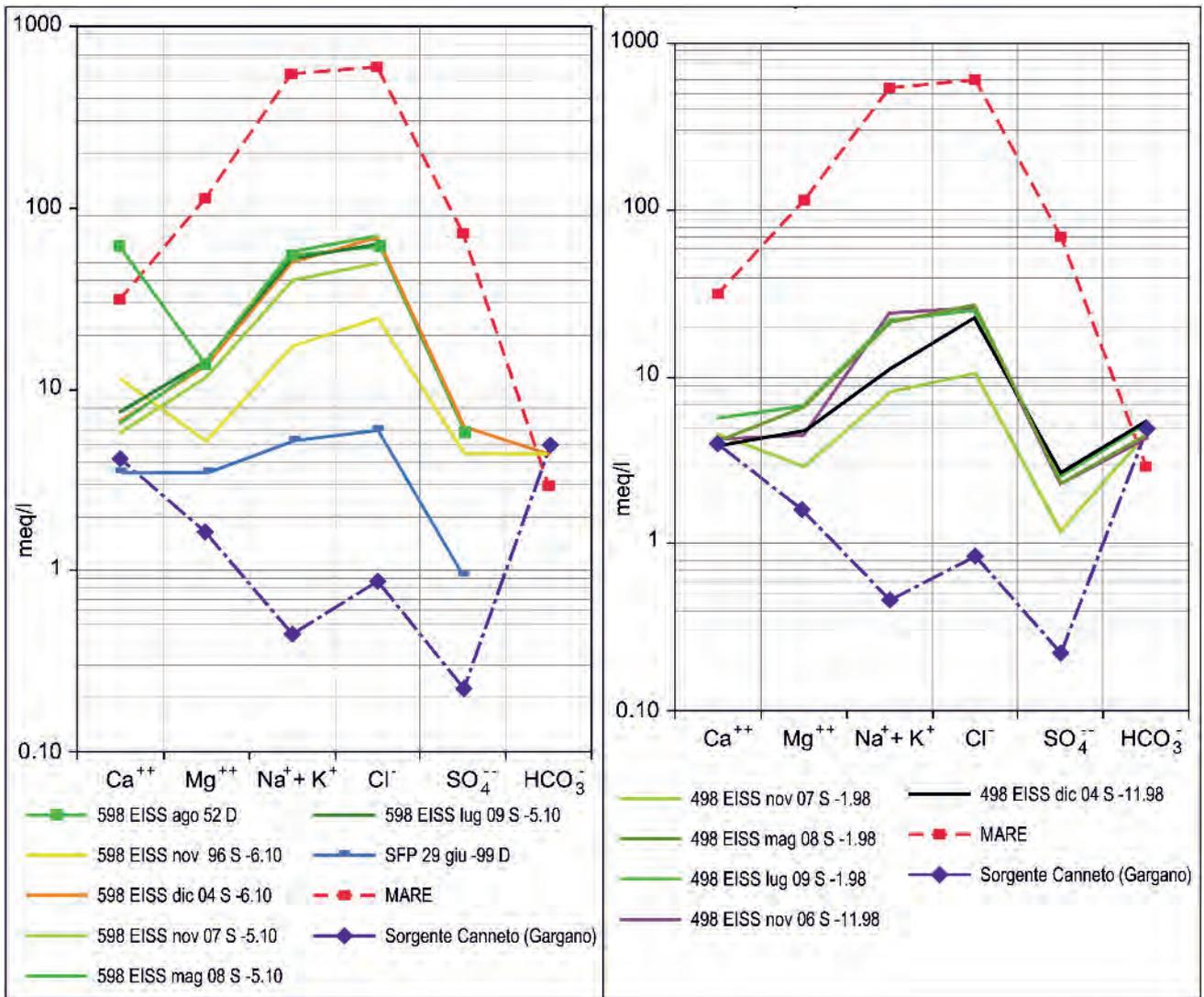


Fig. 18.50 - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 598 EISS, SFP 29 e 498 EISS, ubicati in fig. 18.44, con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

- Schoeller diagram of groundwater in the wells 598 EISS, SFP 29 and 498 EISS (location shown in fig. 18.44), with indication of date, type (S = static; D = dynamic) and elevation of sampling with respect to mean sea level.

è limitata a casi isolati, variamente dislocati sul territorio e, comunque, ad una distanza minima dalla costa di circa 5 km. I pozzi appartenenti alla classe II, per i quali pur presentandosi valori elevati di penetrazione in falda ($P > 40\%$) si è registrata una buona qualità delle acque estratte ($Cl < 0,1$ g/l), sono in genere ubicati in aree caratterizzate da condizioni idrogeologiche favorevoli, dovute ad esempio alla presenza di livelli rocciosi impermeabili che riducono il sollevamento dell'acqua di mare presente alla base dell'acquifero. Va tuttavia evidenziato che alcuni pozzi possono ricadere erroneamente in classe II a causa della scarsa rappresentatività del campionamento dinamico ese-

guito per la valutazione della concentrazione dello ione cloruro. Ciò accade nei casi in cui si sono adottati periodi di pompaggio brevi. A detta classe possono inoltre appartenere pozzi dai quali la portata adottata per il campionamento è molto bassa in relazione alla permeabilità del mezzo.

I pozzi appartenenti alle classi III e V sono caratterizzati da bassa penetrazione in falda ($P < 40\%$) ed elevati valori di Cl . Detta circostanza è da imputare alla presenza di acque con elevata concentrazione salina già nelle porzioni più superficiali dell'acquifero. In dette condizioni è da valutare la possibilità di adottare per l'estrazione i cosiddetti pozzi orizzontali (cap. 12).

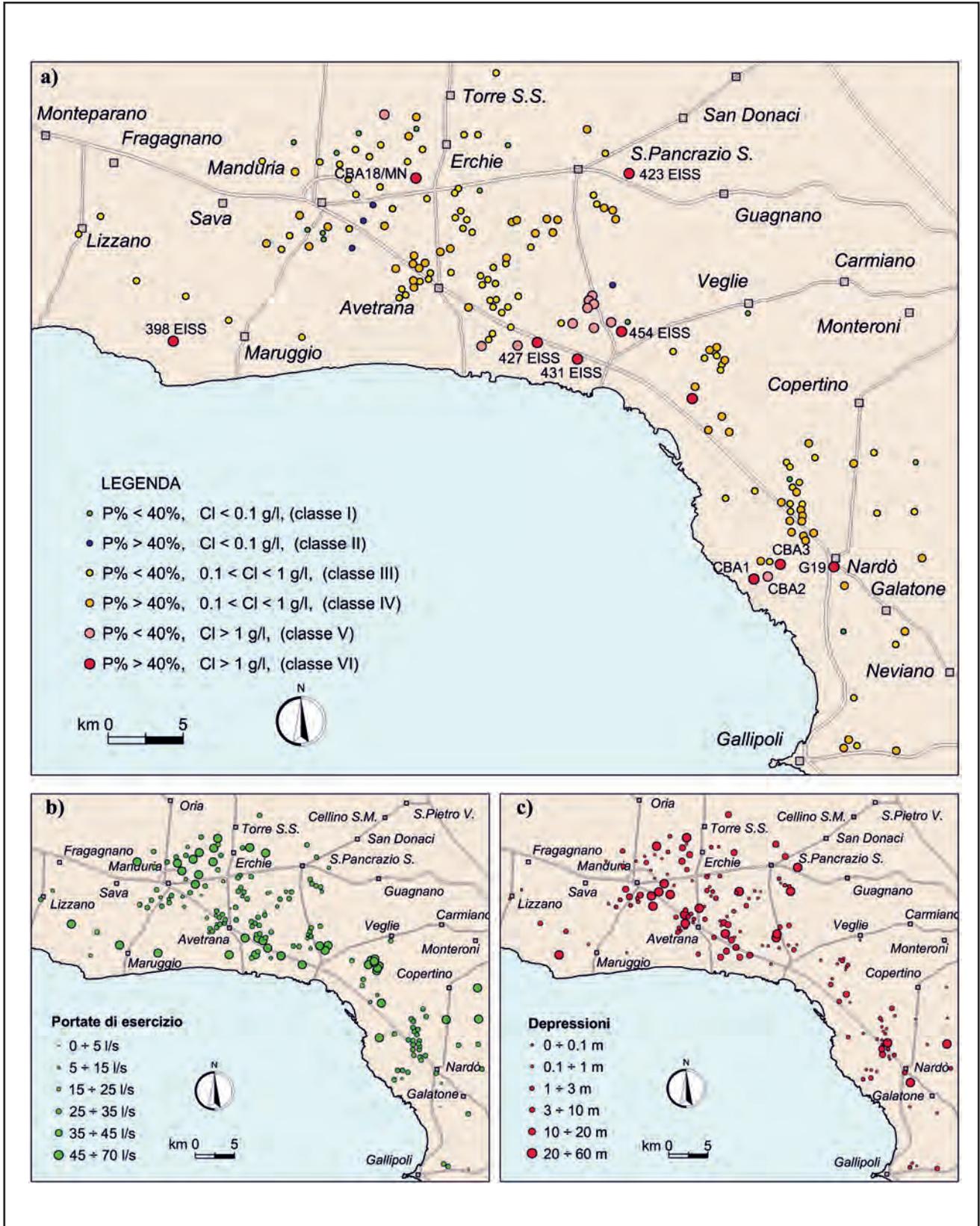


Fig. 18.51 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area di Gallipoli-Lizzano sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e concentrazione dello ione cloruro delle acque sotterranee estratte in condizioni dinamiche (Cl); b) portate di esercizio dei pozzi; c) depressione piezometrica durante l'emungimento.

- Influence of dimensional and operating characteristics of the wells in the area of Gallipoli-Lizzano on groundwater salt concentration: a) percentage of wells penetration in aquifer (P) and chloride ion concentration of groundwaters extracted in dynamic conditions (Cl); b) pumping rates of wells; c) piezometric depression during the water extraction.

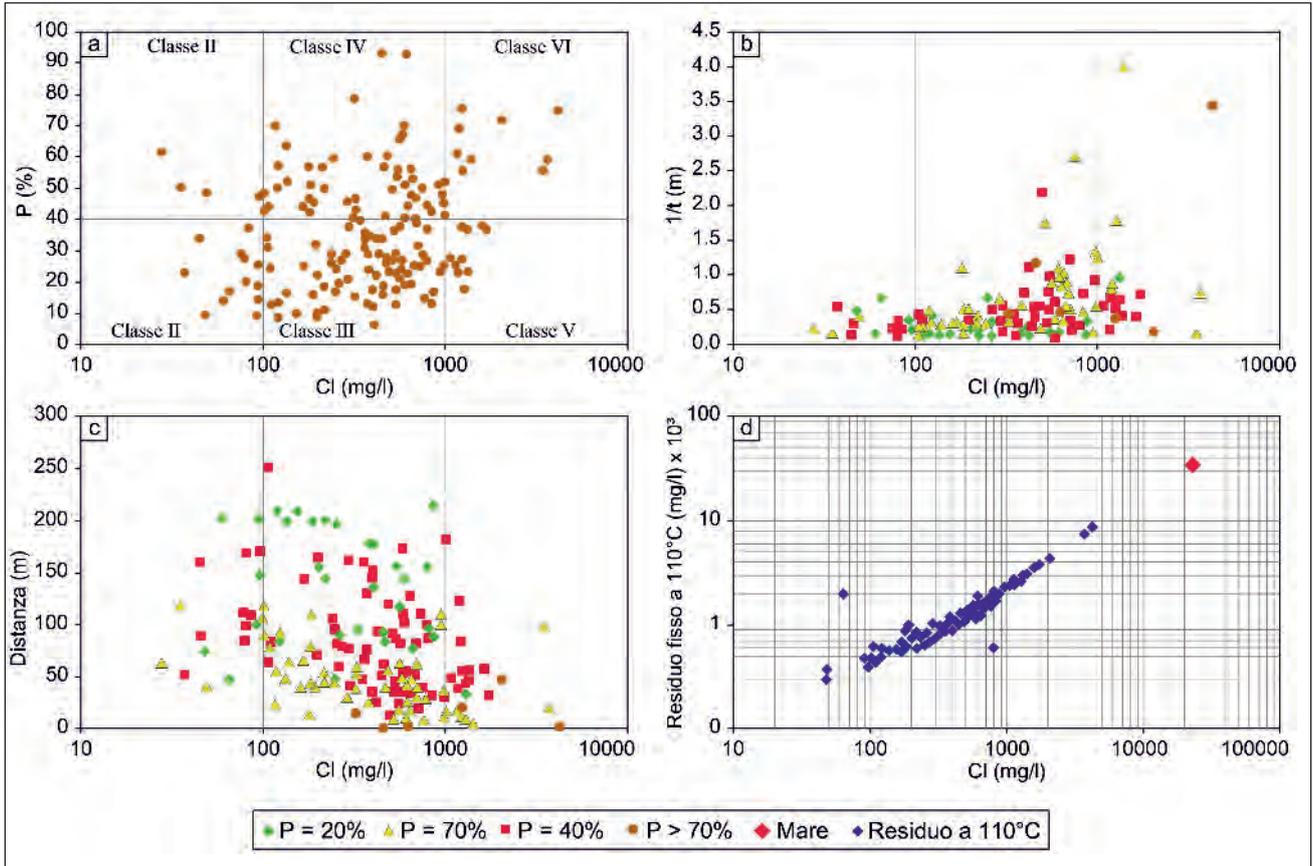


Fig. 18.52 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area di Gallipoli-Lizzano sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) confronto tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e la concentrazione dello ione cloruro (Cl) delle acque sotterranee prelevate in condizioni dinamiche con indicazioni delle classi indicate in fig.18.51; b) confronto tra il carico piezometrico della falda profonda (t) e la concentrazione dello ione cloruro con indicazione della percentuale di penetrazione; c) confronto tra la distanza della base del pozzo dalla interfaccia teorica acqua dolce-acqua di mare (d) e la concentrazione dello ione cloruro; d) confronto tra il residuo fisso e la concentrazione dello ione cloruro.

- Influence of dimensional and operating characteristics of the wells in the Gallipoli-Lizzano area on groundwater salt concentration: a) comparison between well penetration percentage (P) and chloride ion concentration (Cl) of groundwater pumped under dynamic conditions with indication of the classes shown in fig.18.51; b) comparison between the piezometric head of the deep aquifer groundwater (t) and chloride ion concentration with indication of well penetration percentage; c) comparison between distance of the base of the well from the theoretical freshwater-seawater interface (d) and chloride ion concentration; d) comparison between total dissolved salts and chloride ion concentration.

Infine, alle classi IV e VI appartengono quei pozzi presentanti una errata penetrazione in falda (tab. 18.17). La notevole penetrazione dei pozzi in falda ($P > 40\%$) è sicuramente una concausa degli elevati valori di Cl ($> 0,1$ g/l) registrati.

Basso Salento - Il Basso Salento è stato indagato con 221 pozzi, ed è stato opportunamente suddiviso in quattro zone, omogenee dal punto di vista idrogeologico, denominate A, B, C e D (fig. 18.53).

La zona A, meno a rischio ma non esente dal *salt-water upconing*, è localizzata tra i Comuni di Corigliano d'Otranto, Martano, Soleto, Carpignano Salentino, Zollino, Calimera, San Donato di Lecce e si estende sino a Lequile. Questa zona presenta spessori di falda maggiori rispetto a quelli delle zone B, C e D grazie alle maggiori altezze piezo-

metriche (fig. 18.54b). Si hanno percentuali di penetrazione dei pozzi in falda (P) inferiori (fig. 18.54a), cui consegue una maggiore distanza d (fig. 18.54c) e bassi valori di concentrazione dello ione cloruro (Cl). Il rapporto tra Cl e concentrazione salina è maggiormente variabile rispetto a quello delle altre zone (fig. 18.54d), ad indicare una minor contaminazione salina delle acque estratte.

Dei 95 pozzi esaminati per lo studio della zona A, il 70 % presenta $P < 40\%$ e $Cl < 0,1$ g/l (classe I). Nella zona A si sono registrati casi in cui $Cl > 0,1$ g/l anche quando $P < 40\%$ (classe III; fig. 18.53). Detta circostanza è molto spesso da attribuire a elevate depressioni idrodinamiche utilizzate durante l'emungimento a causa della ridotta permeabilità dell'acquifero a livello locale. In tabella

Tab. 18.17 - *Tabella riassuntiva dei dati dei pozzi dell'area di Gallipoli-Lizzano, aventi caratteristiche dimensionali non adeguate all'idrogeologia locale (fig. 18.52).*

- Summarizing table of data of the wells in the Gallipoli-Lizzano area, having dimensional characteristics inappropriate to the local hydrogeology (fig. 18.52).

Sigla Pozzo	Percentuale di penetrazione in falda (%)	Ione cloruro (g/l)	Residuo salino a 110° C (g/l)
423 EISS	75	1.2	2.7
398 EISS	71	2	4.4
431 EISS	75	4.2	8.7
427 EISS	70	1.2	2.7
454 EISS	61	1.2	2.6
CBA1	60	1.4	3
CBA3	55	1.3	2.7
G19	59	3.7	7.6
CBA18/MN	56	3.5	-

18.18 sono riportati alcuni pozzi della zona A per i quali i valori elevati registrati per Cl sono con tutta probabilità da attribuire ad una elevata penetrazione in falda ($P > 40\%$ e/o $d < 50$ m; fig. 18.55). A questo proposito si fa osservare che in alcuni casi a elevate penetrazioni corrispondono basse portate emunte ed elevate depressioni idrodinamiche (fig. 18.53). In queste condizioni è evidente che durante la realizzazione del pozzo si tende ad approfondire la perforazione a causa della bassa permeabilità del mezzo, e ciò al fine di incrementare la portata estraibile. Ciò determina notevoli rischi di *salt-water upconing*. Tra i pozzi in tabella 18.18, si segnalano i pozzi potabili COR 10 e COR 12, per i quali t è pari a circa 2 m s.l.m. e $d < 50$ m. Si tratta evidentemente di pozzi a rischio nei riguardi del *salt-water upconing* anche se la percentuale di penetrazione è modesta: in tabella 18.19 sono invece riportati alcuni pozzi che pur presentando elevati valori di P , hanno registrato bassi valori di Cl . Si

tratta evidentemente di pozzi che presentano particolari condizioni idrogeologiche favorevoli, dovute ad esempio alla presenza di strati di roccia impermeabili a quota inferiore a quella di base del pozzo. In questi casi i bassi valori di Cl possono anche derivare dalla bassa portata emunta o da tempi di pompaggio modesti.

La *zona B* del Basso Salento (fig. 18.53) è stata studiata con 27 pozzi. In detta zona è stata rilevata una forte variabilità dei legami tra le caratteristiche costruttive e di esercizio dei pozzi e qualità dell'acque sotterranee estratte. Si passa da valori di $Cl < 100$ mg/l a valori > 1000 mg/l (fig. 18.54). L'ampio intervallo di variazione di Cl trova giustificazione nell'estrema variabilità riscontrata per l'altezza piezometrica della falda (fig. 18.54b), e quindi dello spessore della falda. A tale proposito è interessante citare pozzo CBU596 ubicato in agro di Tricase che, pur presentando $P < 10\%$, presenta $Cl > 1$ g/l. Qui lo spessore della falda è così modesto che anche adottando piccole penetrazioni la base del pozzo è prossima all'interfaccia teorica. Molti altri sono i pozzi appartenenti alla zona B per i quali gli elevati valori di Cl sono da attribuire alla elevata penetrazione in falda. Si citano ad esempio i pozzi CBU562 ($P=91\%$, $Cl=0,9$ g/l, $R_{110^\circ C}=2,4$ g/l), CBU663 ($P=78\%$, $Cl=2,3$ g/l, $R_{110^\circ C}=4,8$ g/l), CBU657 ($P=59\%$, $Cl=1,3$ g/l, $R_{110^\circ C}=2,9$ g/l), i quali, a causa della elevata penetrazione, la base del pozzo è prossima all'interfaccia teorica ($d < 20$ m). In queste condizioni sarebbe opportuno studiare la possibilità di adottare modalità alternative di estrazione che prevedono l'uso del pozzo orizzontale (cap. 12).

Valori di $Cl < 0,1$ g/l sono stati misurati per le acque campionate dai pozzi CBU506 ($P=25\%$, $Cl=0,025$ g/l, $R_{110^\circ C}=0,26$ g/l) e CBU613 ($P=38\%$, $Cl=0,045$ g/l, $R_{110^\circ C}=0,36$ g/l), distanti dalla costa più di 7 km e caratterizzati da valori di $d > 90$ m.

Anche in questa zona, come per la zona A già descritta e per gli stessi motivi, esistono pozzi con elevata percentuale di penetrazione e bassi valori di concentrazione di ione cloruro (Classe IV, figg. 18.53, 18.54).

La *zona C* del basso Salento, analizzata con 75 pozzi, si estende, da Nord a Sud, tra gli abitati di

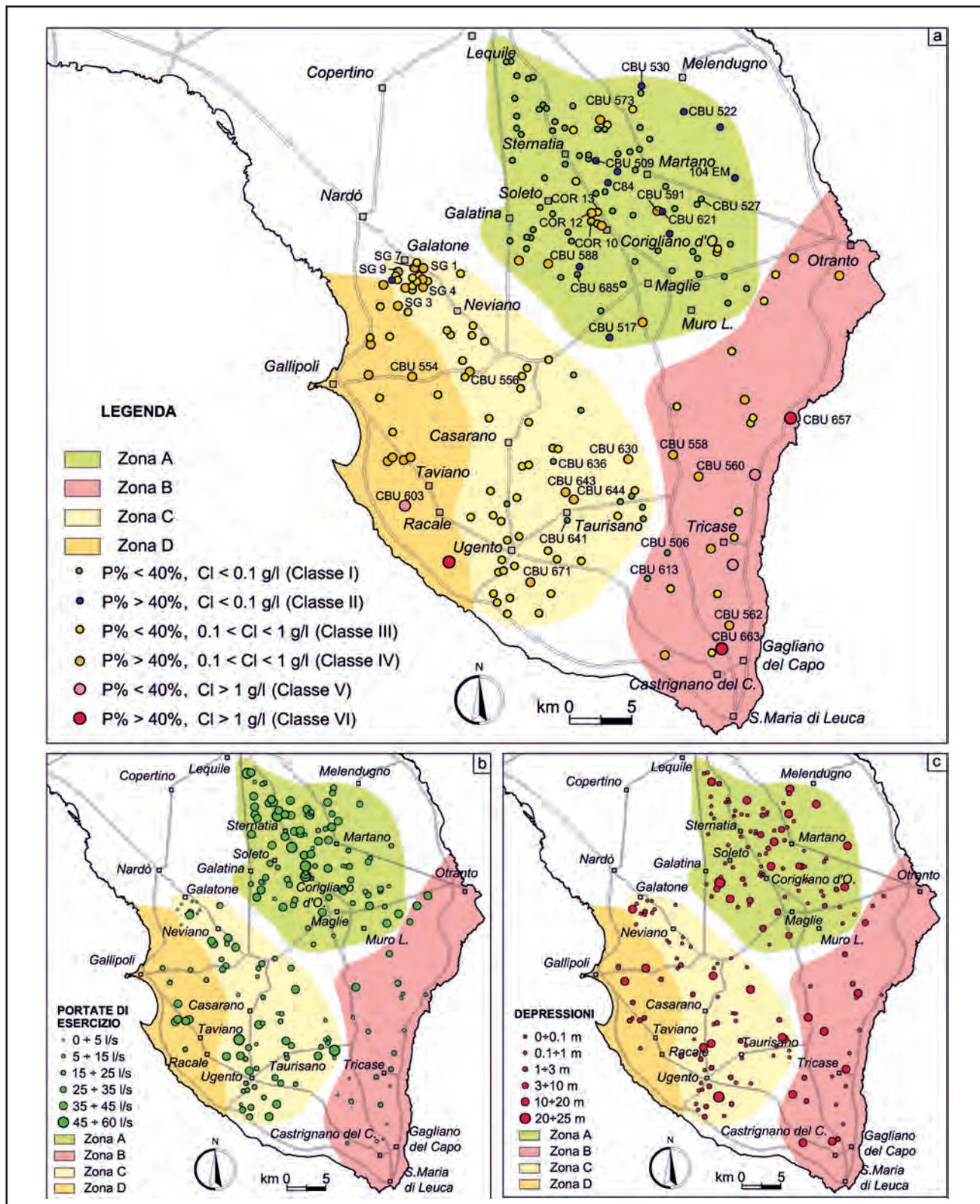


Fig. 18.53 - Suddivisione del Basso Salento in 4 zone (A, B, C e D) in funzione della distanza dalla costa, delle condizioni idrogeologiche locali e dei dati disponibili. Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e concentrazione dello ione cloruro delle acque sotterranee estratte in condizioni dinamiche (Cl); b) portate di esercizio dei pozzi; c) depressione piezometrica durante l'emungimento.

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

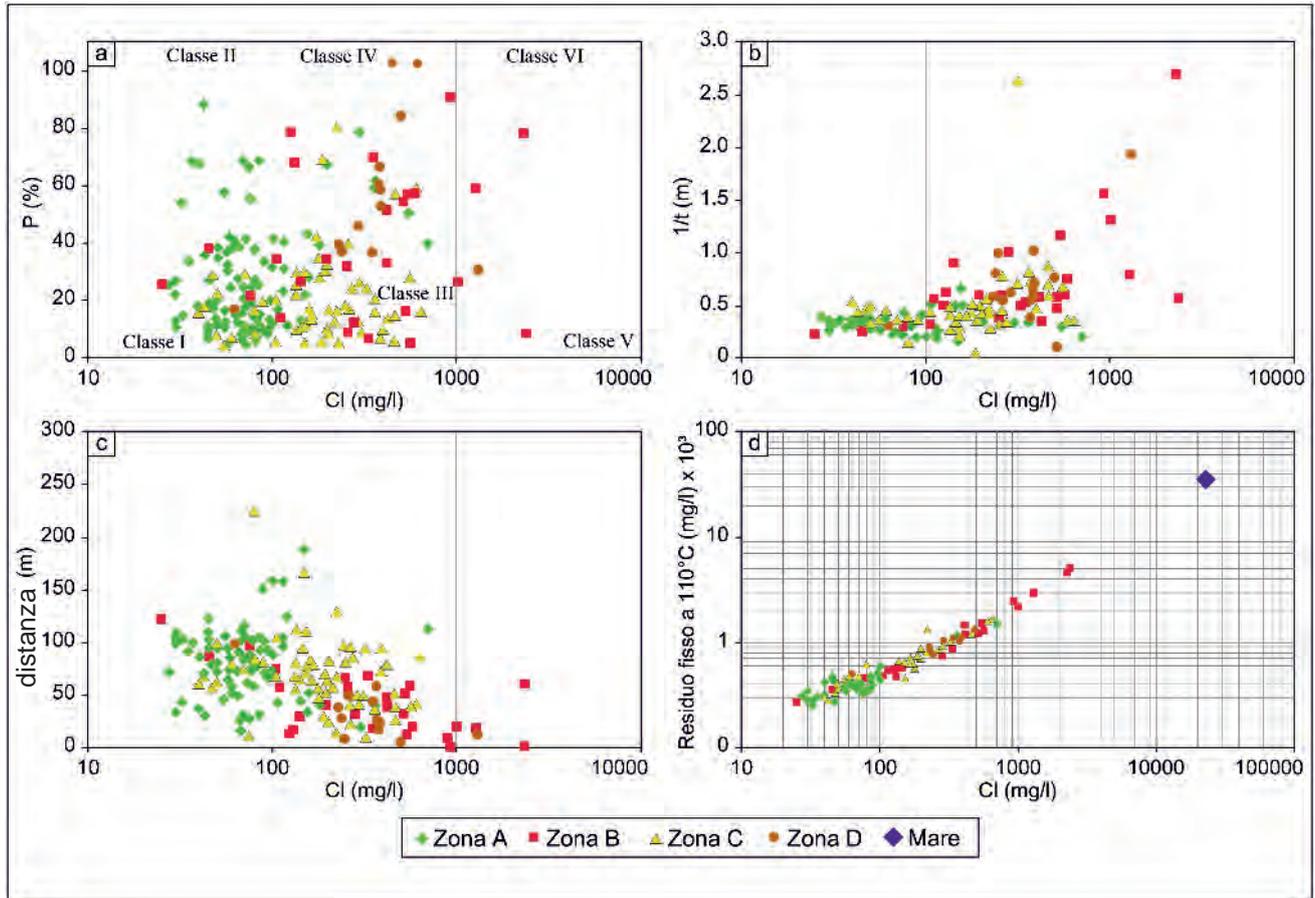


Fig. 18.54 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area del Basso Salento sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) confronto tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e la concentrazione dello ione cloruro (Cl) delle acque sotterranee prelevate in condizioni dinamiche con indicazioni delle classi indicate in fig.18.53; b) confronto tra il carico piezometrico della falda profonda (t) e la concentrazione dello ione cloruro con indicazione della percentuale di penetrazione; c) confronto tra la distanza della base del pozzo dalla interfaccia teorica acqua dolce-acqua di mare (d) e la concentrazione dello ione cloruro; d) confronto tra il residuo fisso e la concentrazione dello ione cloruro.

- Influence of dimensional and operating characteristics of wells in lower Salento on groundwater salt concentration: a) comparison between well penetration percentage (P) and chloride ion concentration (Cl) of groundwater pumped under dynamic conditions with indication of the classes shown in fig.18.53; b) comparison between the piezometric head of the deep aquifer groundwater (t) and chloride ion concentration, with indication of the well penetration percentage; c) comparison between distance of the base of the well from the theoretical freshwater seawater interface (d) and chloride ion concentration; d) comparison between total dissolved salts and chloride ion concentration.

Galatone e Ugento (fig. 18.53). La maggior parte dei pozzi analizzati appartiene alla classe III (fig. 18.54). Si tratta di una zona in cui pur adottando basse penetrazioni in falda si osserva il prelievo di acque significativamente contaminate dal mare. Solo in pochi casi è stato possibile il prelievo di acque sotterranee con $Cl < 0,1$ g/l (classi I e II, fig. 18.53a). Essa è da considerarsi una zona di transizione tra la zona A, presentante come abbiamo visto buona qualità delle acque sotterranee, quando correttamente estratte, e la fascia costiera (zona D).

Da segnalare, per le inadeguate caratteristiche dimensionali, i pozzi appartenenti alla classe IV (tab. 18.20), in genere caratterizzati da valori di d

minori di 50 m (fig. 18.54c). Anche in questa zona le eccessive penetrazioni in falda sono spesso associate alla bassa permeabilità dell'acquifero, come nel caso dei pozzi CBU630, CBU643 e CBU671 ($k \approx 10^{-3}$ cm/s). Quest'ultimo, in particolare, distante 4 km circa dal mare, ha fatto registrare, in fase di emungimento, una depressione di circa 20 m, di gran lunga maggiore del carico piezometrico della falda (1,7 metri s.l.m). In questo caso l'emungimento prolungato potrebbe provocare la totale ingressione dell'acqua di mare nell'acquifero. In ogni caso, la salinità e la concentrazione dello ione cloruro delle acque prelevate da questo pozzo, pur indicative del miscelamento con le acque di mare, non hanno raggiunto i valori attesi in relazione alla

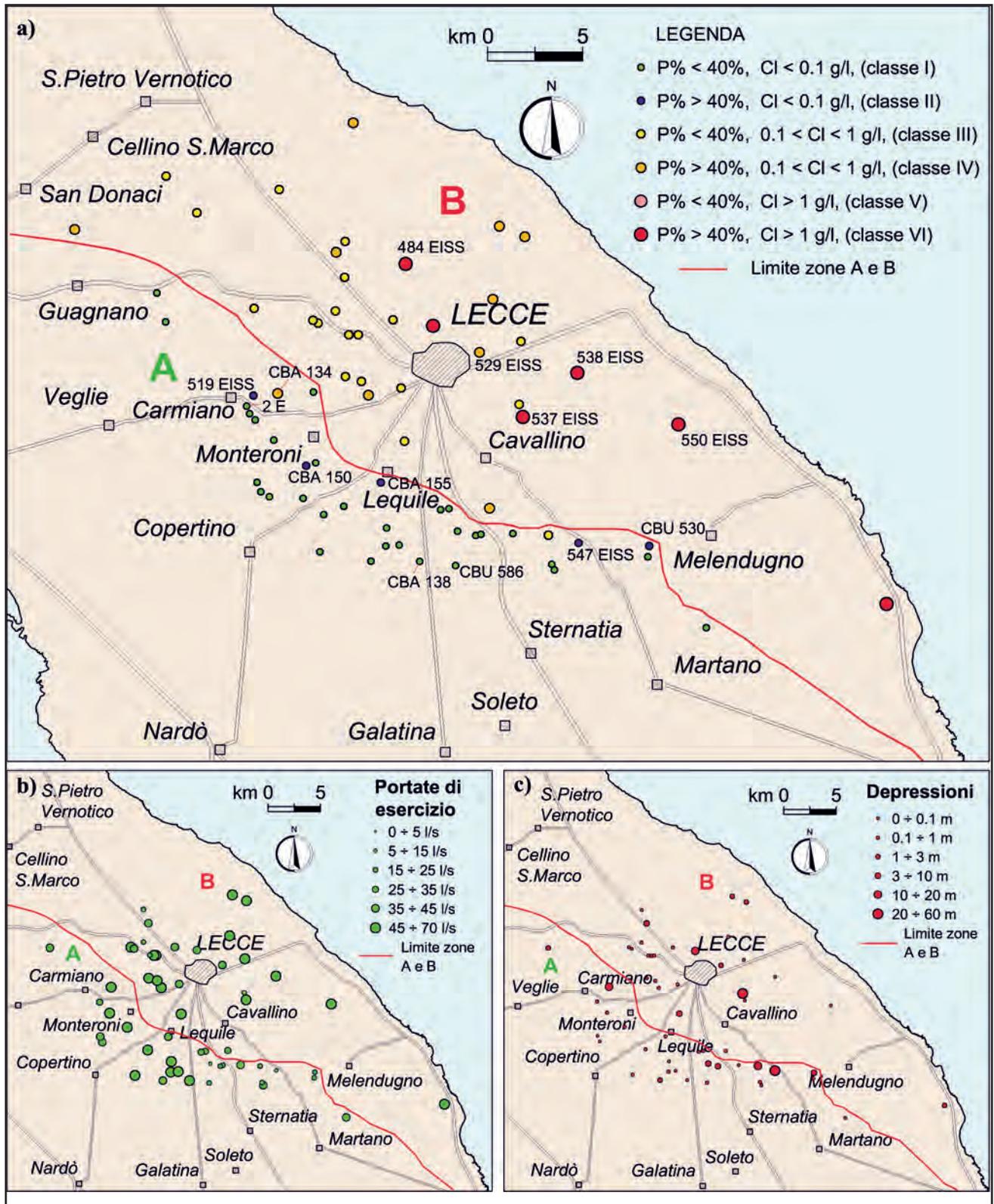


Fig. 18.55 - Suddivisione dell'area litoranea tra Lecce e Otranto in 2 zone (A e B) in funzione della distanza dalla costa, delle condizioni idrogeologiche locali e dei dati disponibili. Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e concentrazione dello ione cloruro delle acque sotterranee estratte in condizioni dinamiche (Cl); b) portate di esercizio dei pozzi; c) depressione piezometrica durante l'emungimento.

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

Tab. 18.18 - *Percentuale di penetrazione in falda, concentrazione salina e concentrazione di ione cloruro per alcuni pozzi della zona A del Basso Salento, ubicati in fig. 18.53, caratterizzati da significativa contaminazione salina.*

- Well penetration percentage, salt concentration and chloride ion concentration of some wells of zone A in lower Salento (location shown in fig. 18.53), characterized by significant salt contamination.

Sigla Pozzo	Percentuale di penetrazione in falda (%)	Ione cloruro (g/l)	Residuo salino a 110° C (g/l)
CBU 677	67	0.2	0.68
CBU 591	78	0.3	0.9
CBU 588	61	0.36	1.1
CBU 573	40	0.7	1.5
COR 10	28	0.15	-
COR 12	43	0.15	-
COR 13	39	0.18	0.64

Tab. 18.19 - *Percentuale di penetrazione in falda, concentrazione salina e concentrazione di ione cloruro per alcuni pozzi della zona A del Basso Salento, ubicati in fig. 18.53, caratterizzati da elevata penetrazione in falda e basse concentrazioni dello ione cloruro.*

- Well penetration percentage, salt concentration and chloride ion concentration for some wells of zone A in lower Salento (location shown in fig. 18.53), characterized by high well penetration and low chloride ion concentrations.

Sigla Pozzo	Percentuale di penetrazione in falda (%)	Ione cloruro (g/l)	Residuo salino a 110° C (g/l)
CBU 621	74	0.04	0.3
CBU 530	55	0.07	0.3
104 EM	68	0.07	0.3
CBU 522	67	0.04	0.3
CBU 509	68	0.085	0.4
CBU 517	66	0.075	0.4
C84	57	0.055	0.35

Tab. 18.20 - *Percentuale di penetrazione in falda, concentrazione salina e concentrazione di ione cloruro per alcuni pozzi della zona C del Basso Salento, ubicati in fig. 18.53, caratterizzati da elevata penetrazione in falda e basse concentrazioni dello ione cloruro.*

- Well penetration percentage, salt concentration and chloride ion concentration for some wells of zone C in lower Salento (location shown in fig. 18.53), characterized by high well penetration and low chloride ion concentrations.

Sigla Pozzo	Percentuale di penetrazione in falda (%)	Ione cloruro (g/l)	Residuo salino a 110° C (g/l)
CBU 630	80	0.22	1.3
CBU 643	68	0.2	0.7
CBU 671	56	0.46	1.2
CBU 644	59	0.6	1.6
CBU 556	42	0.17	0.64
SG1	64	0.35	0.86
SG3	54	0.25	0.7
SG4	100	0.25	0.76
SG5	57	0.2	0.7
SG7	100	0.43	1
SG9	60	0.27	0.7

depressione indotta. La circostanza potrebbe imputarsi alla breve durata del pompaggio che ha preceduto i campionamenti dinamici o a particolari condizioni idrogeologiche favorevoli.

La *zona D*, studiata con 17 pozzi (fig. 18.53), è una fascia costiera larga 4÷8 km che si estende lungo la costa ionica della Penisola, tra Galatone ed Alliste. In questa zona le altezze piezometriche della falda profonda sono in genere modeste (inferiori a 1,5 s.l.m.) e ciò determina valori bassi della distanza *d*, in genere minori di 50 m (fig. 18.54b,c). Detta circostanza comporta, nella maggior parte dei casi, il prelievo di acque sotterranee con valori di Cl⁻ > 0,1 g/l, evidentemente contaminate dal mare (fig. 18.54d). Valori di Cl⁻ < 0,1 g/l non sono stati registrati in nessun pozzo. Si se-

gnala il pozzo CBU603, che, pur presentando una bassa penetrazione ($P=30\%$), ha fatto registrare $Cl^- > 1$ g/l (V classe). Si fa però osservare che in prossimità di detto pozzo la falda presenta un'altezza piezometrica di pochi decimetri e uno spessore molto modesto, tale da determinare l'avvicinarsi della base del pozzo all'interfaccia teorica ($d=13$ m).

Area di Lecce - L'area di Lecce è stata analizzata con 70 pozzi, che hanno evidenziato una sostanziale differenza di comportamento in funzione della distanza dalla costa (fig. 18.55). In particolare, è stata individuata una zona A, caratterizzata da distanze dalla costa maggiori di 10-12 km, ed una zona B costiera. Nella zona A (esaminata con 38 pozzi), a causa delle maggiori altezze piezometriche della falda (fig. 18.56b), si registrano valori più elevati

della distanza d della base del pozzo dall'interfaccia teorica (fig. 18.56c); ciò determina una migliore qualità delle acque emunte, poco contaminate dal mare (fig. 18.56d). Le penetrazioni dei pozzi in falda sono da ritenere nella maggior parte dei casi accettabili. Sono da segnalare il pozzo potabile 2 E ($P=8\%$, $Cl^- = 102$ mg/l), il pozzo CBU586 ($P=20\%$, $Cl^- = 95$ mg/l) ed il pozzo CBU601 ($P=11\%$, $Cl^- = 85$ mg/l), che presentano valori di concentrazione di ione cloruro sensibilmente maggiori ed evidentemente influenzati dalla contaminazione marina. Considerate le basse percentuali di penetrazione in falda adottate, è probabile che in detti casi l'influenza marina sia dovuta alle eccessive portate estratte dai pozzi, che determinano uno stato di sovrasfruttamento generale della falda.

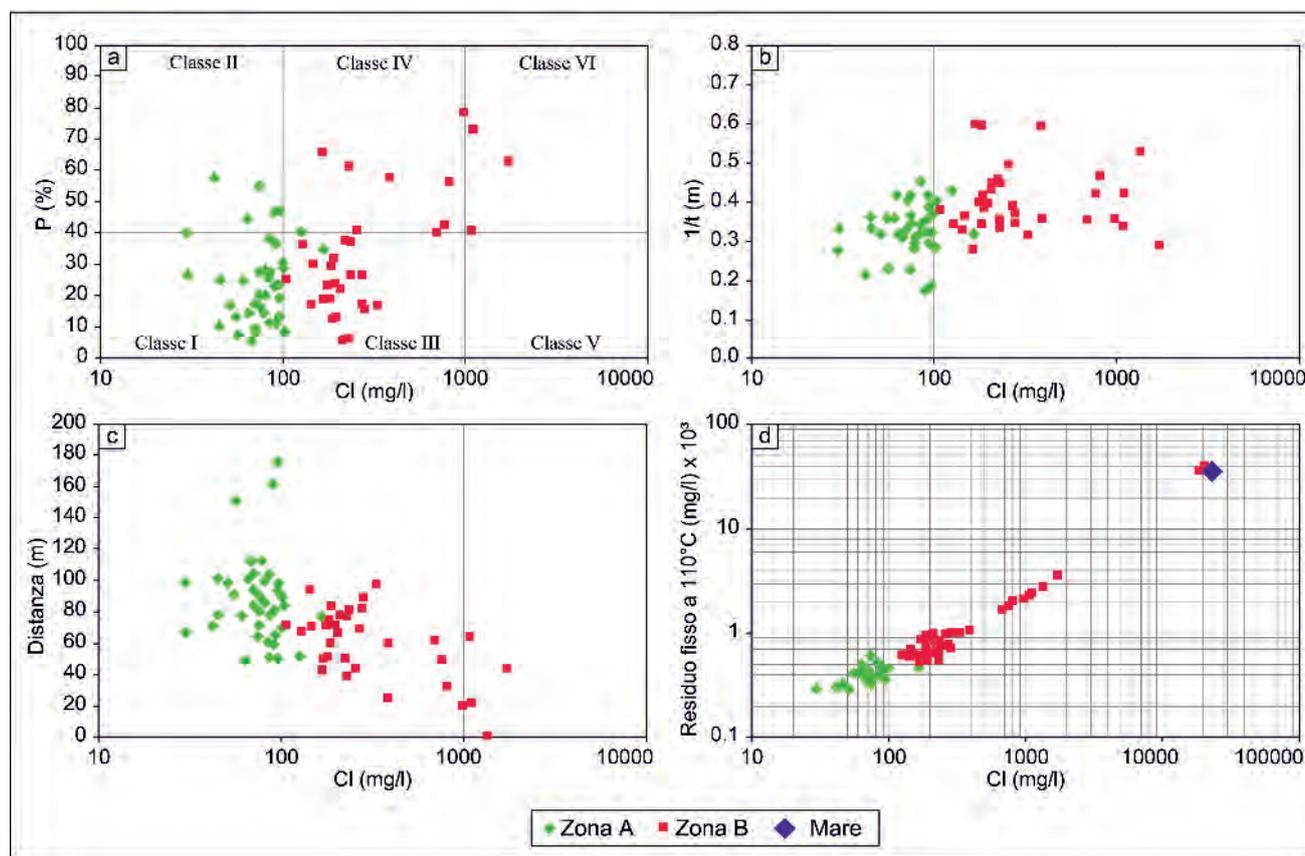


Fig. 18.56 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area litoranea tra Lecce ed Otranto sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) confronto tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e la concentrazione dello ione cloruro (Cl) delle acque sotterranee prelevate in condizioni dinamiche con indicazioni delle classi indicate in Fig.18.55; b) confronto tra il carico piezometrico della falda profonda (t) e la concentrazione dello ione cloruro ; c) confronto tra la distanza della base del pozzo dalla interfaccia teorica acqua dolce-acqua di mare (d) e la concentrazione dello ione cloruro; d) confronto tra il residuo fisso e la concentrazione dello ione cloruro.

- Influence of dimensional and operating characteristics of the wells in the coastal area between Lecce and Otranto on groundwater salt concentration: a) comparison between well penetration (P) and chloride ion concentration (Cl) on groundwater pumped under dynamic conditions with indication of the classes shown in Fig.18.55; b) comparison between piezometric head of the deep aquifer (t) and chloride ion concentration; c) comparison between the distance of the base of the well from the theoretical fresh water-seawater interface (d) and chloride ion concentration; d) comparison between total dissolved salts and chloride ion concentration.

Nella zona B dell'area di Lecce, analizzata con 32 pozzi, si riscontra invece il prelievo di acque caratterizzate sempre da $Cl > 0,1$ g/l, e ciò a causa dei modesti valori dell'altezza piezometrica e della notevole profondità dell'acquifero cretaceo, determinata dal particolare assetto geologico-strutturale presso costa. In detta zona si osserva, in definitiva, la presenza di acque con elevata concentrazione salina già al tetto dell'acquifero, per cui risulta spesso impossibile il prelievo di acque dolci di falda, anche adottando basse penetrazioni dei pozzi in falda.

18.4.3.11. - Interpretazione del degrado quantitativo e qualitativo osservato alla luce dei principi idraulici che regolano l'equilibrio acqua dolce-acqua di mare

L'interpretazione dei dati disponibili sullo stato qualitativo e quantitativo della falda profonda indicano inequivocabilmente il suo stato di sovrasfruttamento, da attribuire all'uso non sostenibile delle acque sotterranee che si attua attraverso gli innumerevoli pozzi, spesso abusivi e/o non noti, che captano dal sottosuolo ingenti volumi d'acqua, senza alcun criterio di pianificazione idrica della falda e senza gestione e controlli adeguati.

Già negli anni '50 del secolo scorso V. Cotecchia ebbe modo di studiare le particolari condizioni idrogeologiche pugliesi, con particolare riferimento agli acquiferi cretacei della Murgia e del Salento, fornendo le prime indicazioni sugli effetti che la presenza di acqua di mare alla base della falda di acqua dolce determinano sulle possibilità di utilizzo delle acque sotterranee (COTECCHIA, 1955; 1958; COTECCHIA *et alii*, 1957). L'analisi delle condizioni di equilibrio tra acqua dolce e sottostante acqua di mare venne svolta sulla base della relazione di Ghyben-Herzberg, che consente di determinare la profondità dell'interfaccia di separazione tra i due fluidi, considerati immiscibili, nota che sia l'altezza piezometrica della falda, in ipotesi di distribuzione idrostatica delle pressioni (cap. 2, 5).

Gli studi eseguiti evidenziarono, sin dall'inizio, l'assoluta necessità di considerare i principi idraulici che regolano l'intrusione marina nel continente,

al fine di conservare ed utilizzare correttamente l'enorme patrimonio idrico dolce contenuto negli acquiferi cretacei. L'argomento fu oggetto di apprezzamento anche a livello internazionale, come dimostra il commento critico che il prof. Leopold Muller, presidente della Società Internazionale di Meccanica delle Rocce, rivolse alla nota COTECCHIA, 1958: *"Sono note le difficoltà che si incontrano nello studio teorico dell'equilibrio delle falde costituenti un acquifero costiero, procedendo al calcolo alla luce delle condizioni di Ghyben-Herzberg, allorché riferite ai parametri di filtrazione degli acquiferi e ai bacini idrografici o idrogeologici delle falde. L'autore riporta i dati idrogeologici e idrologici rilevati nelle Murge e nel Salento, mediante osservazioni dirette sul comportamento effettivo delle acque profonde. La descrizione del fenomeno è di straordinaria importanza per le conseguenze economiche derivanti dall'uso delle risorse idriche sotterranee in condizioni simili. Di particolare importanza è di conseguenza l'"Hysteresis" caratterizzante i movimenti verticali dell'interfaccia di separazione tra acque dolci di falda e acqua marina di intrusione continentale, conseguente alle variazioni piezometriche del livello della superficie freatica. L'autore fornisce, concludendo, utili informazioni sulle quantità di acqua dolce disponibile nell'acquifero profondo delle Penisola Salentina.*

Da allora la ricerca ha proseguito il suo cammino, sia in campo sperimentale, fornendo nuovi dati sulle condizioni idrogeologiche che si determinano in presenza di intrusione marina, sia in campo teorico, fornendo modelli fisico-matematici interpretativi sempre più complessi, idonei a modellare quanto la ricerca sperimentale via via indicava (cap. 5). Tuttavia, la relazione di Ghyben-Herzberg, benché nota già dall'inizio del secolo scorso, rappresenta ancora oggi una base valida per comprendere ed interpretare quanto le evidenze sperimentali in genere indicano. Essa, sebbene sia molto semplice dal punto di vista formale ed analitico, comporta tuttavia conseguenze idrauliche non sempre di diretta ed intuitiva interpretazione. Detta relazione indica la necessità di tener conto dell'effettiva distribuzione delle altezze piezometriche della falda e della conseguente forma e posizione dell'interfaccia acqua dolce - acqua di mare, al fine di analizzare lo stato qualitativo e quantitativo dei corpi idrici sotterranei e come questi si modificano in ragione degli assorbimenti e dei prelievi. Analisi quantitative

eseguite senza tener conto dei principi idraulici corretti che regolano l'equilibrio acqua dolce – acqua di mare negli acquiferi, in funzione delle modalità con cui si esplica la circolazione idrica sotterranea, come ad esempio potrebbe attuarsi attraverso la semplice applicazione del principio di Archimede per interpretare il bilancio idrico degli acquiferi e i risultati del monitoraggio piezometrico e qualitativo, risulta di scorretto valore scientifico e di poca importanza tecnica ed applicativa.

L'equilibrio acqua dolce–acqua di mare deve essere studiato sia quando si considerano le condizioni idrauliche caratterizzanti l'estrazione dalla falda di acqua dolce da una singola opera di captazione, sia quando si è in presenza di insiemi di opere di captazione che, su scala regionale, applicano un determinato regime di emungimento alla falda (COTECCHIA, 1955; 1958; COTECCHIA *et alii*, 1957). Nel primo caso si ha, infatti, che l'estrazione di acqua dolce determina, sotto la base del pozzo, la formazione ed il sollevamento di un cono di intrusione di acqua di mare nella falda di acqua dolce (*salt-water upconing*), con conseguente degrado qualitativo sia delle acque presenti nell'acquifero in prossimità del pozzo sia di quelle estratte; nel secondo caso si ha, invece, un generale sollevamento della interfaccia acqua dolce – acqua di mare su scala regionale, con conseguente riduzione delle risorse idriche sotterranee disponibili e loro degrado qualitativo. Mentre il *salt-water upconing* è in generale un fenomeno reversibile (interrotto l'emungimento si ha il progressivo abbassamento dell'interfaccia), il sollevamento dell'interfaccia su scala regionale indica un depauperamento generale della falda, reversibile solo in tempi lunghissimi e dopo aver ripristinato condizioni d'uso sostenibili della falda su scala regionale.

L'impossibilità pratica di conoscere i volumi idrici effettivamente estratti dagli acquiferi regionali, causa l'assenza del censimento delle opere di captazione esistenti, non consente, oggi, di eseguire un bilancio idrico dell'acquifero cretaco del Salento finalizzato a valutare la sostenibilità degli emungimenti in atto. Nell'ipotesi di conoscere detti volumi idrici, sarebbe comunque necessario interpretare il risultato del bilancio tenendo conto delle variazioni del volume di acqua dolce determinate

dalle variazioni piezometriche della falda e dai conseguenti spostamenti e variazioni di forma e spessore della zona di transizione. Oggi detta analisi sarebbe possibile con l'impiego di modelli di calcolo numerico, una volta noti i parametri idrogeologici dell'acquifero e le condizioni d'uso nel tempo della falda.

Allo scopo di analizzare gli spostamenti nel tempo dell'interfaccia dovuti agli emungimenti e quindi di interpretare, anche se solo dal punto vista semi-quantitativo, le fenomenologie osservate e largamente illustrate in questo capitolo, si ritiene qui interessante applicare modelli di calcolo semplificati, basati sull'ipotesi di esistenza di un'interfaccia netta di separazione tra acqua dolce ed acqua di mare e di validità della relazione di Ghyben-Herzberg. Prima di procedere a detta analisi, si ritiene utile tuttavia fare alcune considerazioni di carattere descrittivo, sul comportamento della falda profonda salentina in funzione dell'alimentazione dovuta alle piogge, traendo da quanto riportato nella nota COTECCHIA, 1958.

18.4.3.12 - Considerazioni generali sul regime della falda in rapporto all'alimentazione e ai deflussi

Al fine di comprendere le modalità con cui una falda galleggiante su acqua di mare risponde all'alimentazione e ai prelievi, è utile analizzare il suo primo costituirsi. Possiamo infatti immaginare che un tempo gli acquiferi cretacei regionali contenessero solo acqua di invasione marina, condizione questa che potrebbe molto probabilmente essersi verificata, per ragioni climatiche, in tempi non molto remoti dell'epoca quaternaria (COTECCHIA, 1958). Supponiamo quindi che, a partire da un certo anno, si sia verificato un afflusso di acqua piovana alla falda pari a Q_a [m³], distribuito annualmente con la stessa legge (fig. 18.57). Assumendo, in linea generale e per semplicità, una sezione della penisola salentina costituita interamente da rocce assorbenti in superficie, il comportamento della falda sarebbe molto semplice da analizzare se la superficie a quota zero, sulla quale comincia a costituirsi la falda, fosse rappresentata da un vero e proprio piano di roccia impermeabile (fig.

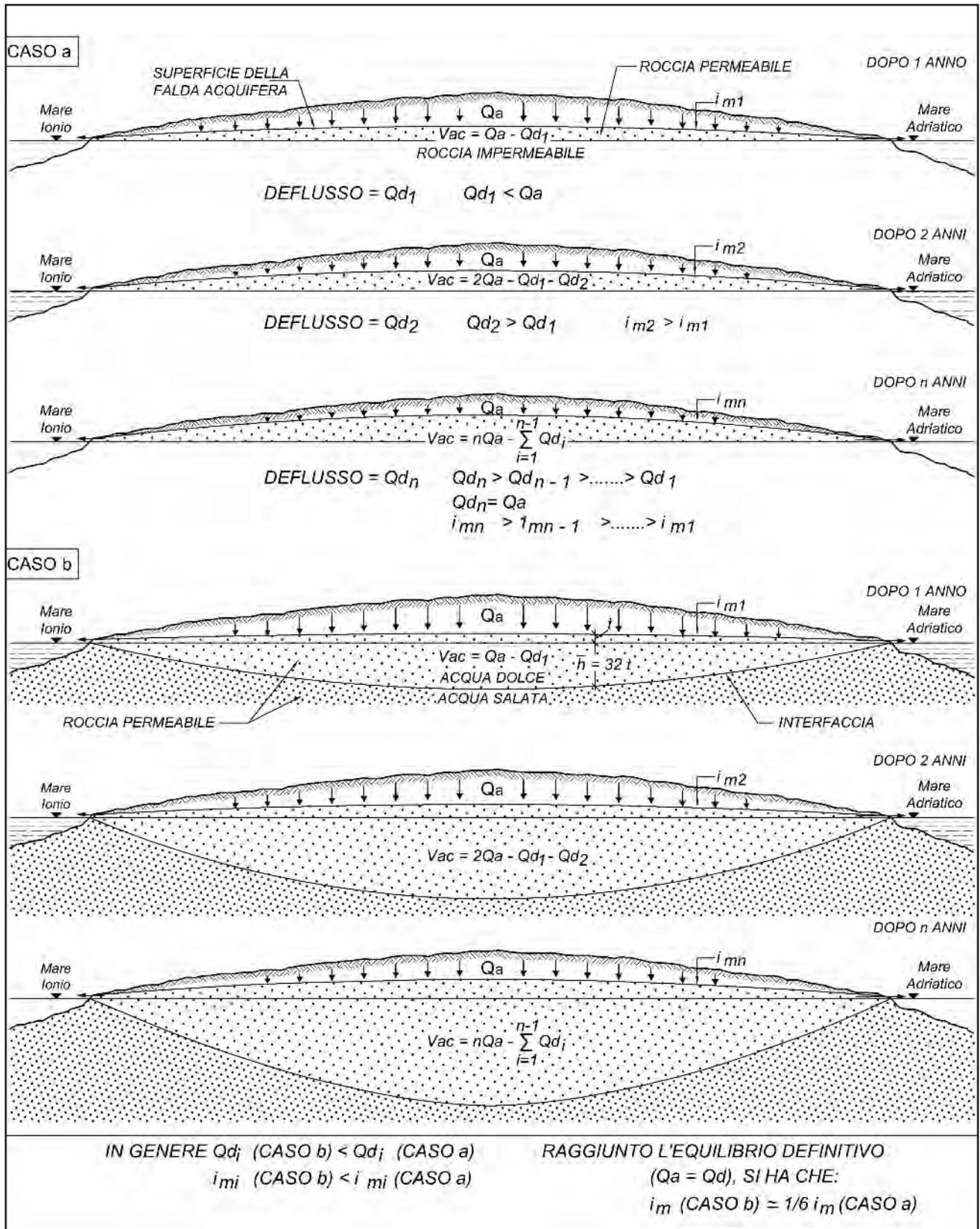


Fig. 18.57 - Schematizzazione del regime della falda profonda salentina in rapporto all'alimentazione ed ai deflussi in funzione del tempo: caso a) falda con superficie di fondo definita e fissa, rappresentata da un piano di roccia impermeabile; caso b) falda con superficie di fondo definita e variabile, rappresentata da l'acqua di mare intrusa nel continente.

- Schematic view of the deep aquifer of the Salento peninsula with respect to recharge and flows with time: case a) definite and fixed lower boundary, represented by impervious rock; case b) definite and variable lower boundary, represented by intruded seawater.

18.57CASO a). Essendo in questo caso la superficie di fondo della falda in fase di formazione, ben definita e fissa, stabilire il tempo occorrente perché si raggiunga l'equilibrio tra afflussi e deflussi ($Q_a = Q_d$ nell'anno idrologico medio) potrebbe rappresentare un problema sotto l'aspetto idraulico facilmente risolvibile, almeno per sezioni costituite da rocce a permeabilità omogenea e nota e per regimi pluviometrici rispondenti a schemi semplici. Infatti, il caso più frequente è che, dell'acqua giunta nel primo anno alla falda, una piccola parte Q_{d1} defluisca dai bordi ed una parte, più o meno cospicua ($Q_a - Q_{d1}$) resti alla fine dell'anno accumulata nel terreno, a costituire una falda acquifera con cadente piezometrica media nell'anno i_{m1} in prossimità dei punti di sfioro. Nell'anno successivo, a seguito dell'ulteriore afflusso alla falda Q_a , la cadente piezometrica aumenta, talché si rende possibile un deflusso complessivo nell'anno Q_{d2} maggiore che nell'anno precedente. Tuttavia detto deflusso è ancora inferiore a Q_a sicché la riserva acquifera rappresentata dalla falda aumenta nel secondo anno di ($Q_a - Q_{d2}$), risultando alla fine di detto anno pari a $2Q_a - Q_{d1} - Q_{d2}$.

Così procedendo oltre si giungerà, dopo un certo numero di anni, ad una situazione di equilibrio in cui la cadente piezometrica media raggiunta sarà tale da consentire un deflusso di acqua sotterranea Q_{dn} esattamente uguale all'afflusso medio annuo Q_a . In tali condizioni la riserva acquifera, rappresentata dalla falda costituitasi in n

anni, equivarrà ad $nQ_a - \sum_{i=1}^{i=n} Q_{di}$

e resterà costante negli anni successivi, fino a che resterà invariato l'afflusso Q_a .

Passando ad esaminare il caso della falda profonda della Penisola Salentina, il suo processo di formazione presenta una notevole singolarità nel fatto che la superficie di fondo di detta falda, anziché essere definita e fissa, pur volendo ritenere che il passaggio dall'acqua dolce all'acqua di mare avvenga bruscamente in corrispondenza di una interfaccia teorica, è definita e variabile. Detta interfaccia, via via che si solleva la superficie freatica al di sopra della quota zero, per la relazione di Ghyben - Herzberg subisce un progressivo abbas-

samento. Pertanto il volume di accumulo V_{aci} (fig. 18.57CASO b) dopo un numero i di anni, in parte si disporrà al di sopra del l.m.m. (quota zero), fino a raggiungere nell'anno una cadente piezometrica media i_{mi} , in parte si disporrà al di sotto di detta quota. Confrontando gli schemi della figura 18.57, per i due casi di superficie di fondo prese in esame, si ha peraltro che, allo scadere dell'anno i , la cadente piezometriche raggiunta nel secondo caso è minore di quella raggiunta nel primo. Infatti, ad equilibrio definitivamente raggiunto ($Q_a = Q_d$) nel caso di falda galleggiante su acqua di mare con interfaccia a profondità $32t$ sotto il l.m.m., ove t è la quota assoluta della superficie freatica, la cadente piezometrica è ovunque pari a (cap. 2):

$$i_m(\text{CASO b}) = (1/\sqrt{33}) i_m(\text{CASO a}) \approx (1/6) i_m(\text{CASO a}) \quad (18.1)$$

Non altrettanto semplice è il confronto fra i tempi occorrenti perché nei due casi si raggiunga il sopradetto regime di equilibrio, sebbene, in linea del tutto generale, si sia portati ad affermare che detto tempo, nel caso di superficie di fondo rappresentata dall'interfaccia, sia maggiore che nel caso di superficie di fondo definita e fissa, rappresentata da uno strato di roccia impermeabile. A complicare l'argomento, quando si è in presenza di acqua di mare alla base della falda, interviene il ritardo con il quale gli abbassamenti dell'interfaccia rispondono alla relazione di Ghyben - Herzberg. Si tratta infatti di un vero e proprio fenomeno di "isteresi", per cui, se ad un certo punto la massa rappresentata dalla falda di acqua dolce, disposta in perfetto equilibrio statico con l'acqua di mare, aumenta per il sopraggiungere di nuovi afflussi dall'esterno, prima che si stabilisca il nuovo equilibrio fra la quota della superficie freatica t della falda e la profondità dell'interfaccia \bar{h} ($\bar{h} = 32t$), occorre un certo tempo, in quanto ciò implica lo spostamento della grande massa di acqua marina sottostante alla falda su percorsi molto lunghi, così da far posto all'acqua dolce della falda aumentata di volume e quindi di peso (fig. 18.58). Mancando il fenomeno di isteresi, ad un afflusso pluviometrico, equivalente ad un ispessimento della falda Δt , consegue una disposizione della falda, espressa in termini di altezza piezometrica e profondità dell'interfaccia rispetto al livello mare, data rispettivamente da:

$$t' = t + (1/33) \Delta t \quad (18.2)$$

$$\bar{h}' = 32t + (32/33) \Delta t \quad (18.3)$$

Data l'isteresi, invece, solo successivamente, ossia dopo che si è raggiunto il nuovo equilibrio, sarà $\bar{h}' = 32t'$.

L'isteresi con cui la massa di acqua marina che permea la formazione rocciosa risponde agli spostamenti in altezza richiesti dalla relazione di Ghyben – Herzberg, è funzione della permeabilità del mezzo roccioso e della distanza del punto che si considera dalla costa. Il fenomeno di isteresi, in particolare, si risente maggiormente quanto meno permeabile è il mezzo e quanto più risulta distante il punto considerato dell'interfaccia dalla costa, laddove la massa di acqua marina è libera di spostarsi istantaneamente, come e di quanto necessario.

18.4.3.13. - Considerazioni generali sul comportamento dell'interfaccia acqua dolce-acqua di mare in rapporto agli emungimenti

L'analisi dell'evoluzione della stratificazione salina della falda in ragione dell'alimentazione e degli emungimenti può essere condotta con i modelli fisico – matematici descritti nel capitolo 5. In particolare detta analisi può essere condotta con codici di calcolo numerico basati sullo studio del trasporto del sale per dispersione idrodinamica. Detto tipo di analisi richiede però la dettagliata conoscenza dell'alimentazione della falda, degli emungimenti in atto e dei parametri idrogeologici dell'acquifero su scala regionale. Le incertezze insite nella valutazione degli emungimenti e dei co-

efficienti di dispersione idrodinamica dell'acquifero non consentono, ad oggi, di condurre modellazioni numeriche affidabili. Si tratta infatti di analisi numeriche piuttosto complesse, la cui precisione nel calcolo è vanificata, nel caso in esame, dalle incertezze esistenti in ordine ai parametri di input.

Al fine di fornire alcuni elementi necessari alla comprensione delle fenomenologie di degrado quantitativo e qualitativo della falda osservate e descritte nei paragrafi precedenti (18.4.3.7; 18.4.3.8), si è ritenuto opportuno eseguire alcune valutazioni in ipotesi di validità della relazione di Ghyben–Herzberg, considerando quindi l'esistenza di una interfaccia netta di separazione tra la falda di acqua dolce e la sottostante acqua di mare. I risultati così ottenibili sono da ritenersi solo orientativi, ma comunque efficaci per la comprensione delle fenomenologie osservate.

Consideriamo un acquifero freatico peninsulare ideale, in cui la filtrazione ha luogo solo in direzione ortogonale alla costa, e per il quale l'alimentazione per unità di superficie è pari alla ricarica f [$m^3/(m^2s)$] (fig. 18.59). La portata d'acqua che ricarica l'acquifero è pari a fL [$m^3/(ms)$], dove L [m] è la distanza tra le due spiagge. La portata d'acqua dolce che interessa l'acquifero è quindi pari a $0,5fL$, in prossimità della costa, ed è nulla in corrispondenza dello spartiacque, ove risulta nulla anche la cadente piezometrica della falda. In tali condizioni, il massimo spessore della falda d'acqua dolce, somma della quota piezometrica t della falda rispetto al livello mare e della profondità dell'interfaccia sotto il livello mare, si ha nel centro della penisola, e vale (VAN DAM, 1974; 1999; cap. 5):

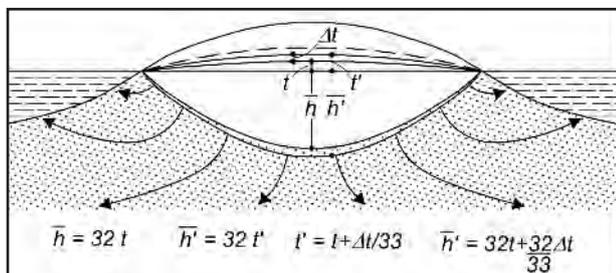


Fig. 18.58 - Spostamento del volume di acqua di mare contenuta nell'acquifero salentino conseguente ad un sollevamento della superficie freatica e necessario per l'equilibrio (mod., da COTECCHIA, 1958).

- Displacement of the seawater volume contained in the aquifer of the Salento peninsula resulting from a rise in water table and necessary to re-establish equilibrium (modified after COTECCHIA, 1958).

$$H [m] = t + \bar{h} = L \sqrt{\frac{1 + \left(\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}\right)}{4k \left(\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d}\right)}} \quad (18.4)$$

dove k [m/s] è il coefficiente di permeabilità dell'acquifero, considerato equivalente ad un mezzo poroso omogeneo ed isotropo, e ρ_s e ρ_d [g/l] sono rispettivamente la densità dell'acqua di mare e dell'acqua dolce di falda.

È pertanto possibile applicare l'equazione 18.4 ad una sezione dell'acquifero salentino, introducendo al riguardo alcune lecite ipotesi semplifica-

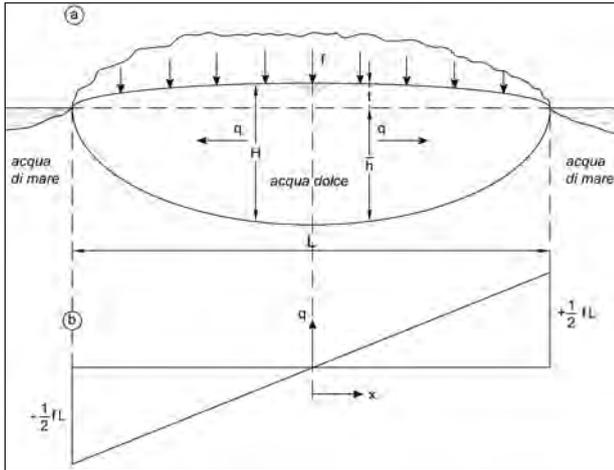


Fig. 18.59 - Intrusione marina in un acquifero freatico costiero costituito da un'isola di lunghezza parallela alla costa indefinita: a) variazione di spessore della falda di acqua dolce; b) variazione della portata "q" al variare della distanza dalla costa nell'ipotesi di ricarica "f" uniformemente distribuita (da VAN DAM, 1999).

- Seawater intrusion in a coastal unconfined aquifer consisting of an island extending parallel to the indefinite coast: a) variation in thickness of fresh groundwater; b) change in discharge "q" versus distance from the coast assuming a uniformly distributed recharge "f" (after VAN DAM, 1999).

tive. Con riferimento alla sezione idrogeologica I-I' di figura 18.41, si assume, per semplicità, che la falda sia ovunque freatica e che l'acquifero sia assimilabile ad un mezzo poroso omogeneo ed isotropo. Sotto dette condizioni è possibile assumere i seguenti parametri:

- $L = 41 \text{ km}$, distanza tra le due spiagge;
- $k = 8 \times 10^{-1} \text{ cm/s}$, valore medio del coefficiente di permeabilità dell'acquifero cretacico valutato lungo la sezione I-I' (tav. 3 f.t.);
- $n = 10 \%$, porosità (COTECCHIA 1958);
- $(\rho_s - \rho_d) / \rho_d = 1/38 = 0,0263$, assunto lievemente superiore al valore desumibile dalla relazione di Ghyben-Herzberg, per quanto illustrato nel paragrafo 18.4.3.7 e nei capitoli 2 e 5.

$f = 7,5 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sm}^2$, ricarica per unità di superficie, assunta pari al rapporto tra l'alimentazione dovuta alle piogge ($800 \text{ Mm}^3/\text{anno}$) e la superficie dell'Area Idrogeologica del Salento (3.400 km^2 ; fig. 18.1).

Sostituendo detti parametri nell'equazione 18.4 si ottiene uno spessore della falda di acqua dolce $H = 124 \text{ m}$ (fig. 18.60 a), cui consegue, per la relazione di Ghyben-Herzberg, un'altezza piezometrica $t=3,2 \text{ m}$.

A questo punto è possibile eseguire un utile "esercizio" consistente nel calcolare lo spessore della falda sotto diverse ipotesi circa gli emungi-

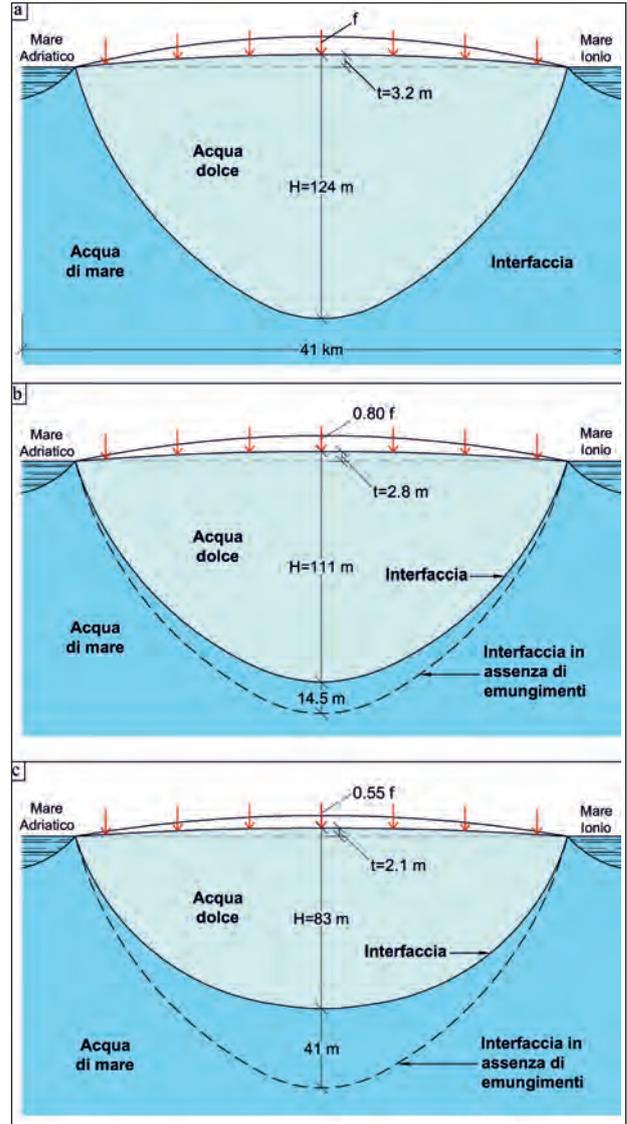


Fig. 18.60 - Sezione idrogeologica schematica del Salento con indicazione dello spessore (H) e dell'altezza piezometrica (t) della falda di acqua dolce al centro della penisola salentina calcolati: a) in assenza di emungimento con ricarica $f = 7.5 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sm}^2$; b) in presenza di emungimenti uniformemente distribuiti di portata complessiva pari a $0.8 f$, c) in presenza di emungimenti uniformemente distribuiti di portata complessiva pari a $0.55 f$.

- Schematic hydrogeological profile of the Salento peninsula with indication of the thickness (H) and piezometric head (t) of fresh groundwater in the middle of the peninsula, calculated in the following conditions: a) with no abstraction and recharge $f = 7.5 \times 10^{-9} \text{ m}^3/\text{sm}^2$; b) with uniformly distributed abstraction of a total discharge equal to $0.8 f$; c) with uniformly distributed abstraction of a total discharge equal to $0.55 f$.

menti in atto. Ipotizzando che le estrazioni dall'acquifero salentino siano uniformemente distribuiti, così come assunto per la ricarica della falda, è possibile calcolare lo spessore della falda sotto una dato regime di emungimento attraverso la riduzione della ricarica f che compare nell'equazione 18.4. In particolare, assumendo che gli emungimenti siano pari al 20% della ricarica, si ottiene uno

spessore della falda al centro della penisola pari a 111 m (fig. 18.60b), ed un'altezza piezometrica, sempre al centro della penisola, pari a 2,8 m. Assumendo invece gli emungimenti pari al 55% della ricarica si ottiene, sempre al centro della penisola, uno spessore della falda di acqua dolce pari a circa 83 m e un'altezza piezometrica pari a circa 2,1 m (fig. 18.60c). Incrementando ulteriormente gli emungimenti si avrà quindi il progressivo assottigliamento della falda di acqua dolce, la quale presenterà, al limite, spessore nullo quando gli emungimenti uguagliano la ricarica.

I risultati sin qui ottenuti possono essere utilmente confrontati con l'evoluzione della stratificazione salina misurata nel pozzo LR, ubicato all'incirca al centro della penisola salentina (fig. 18.36). Lo spessore della falda precedentemente calcolato in assenza di emungimenti ($H=124$ m) coincide con lo spessore della falda sovrastante alla isalina 38 g/l misurata per detto pozzo nel 1974, che quindi qui si assume per semplicità coincidente con l'interfaccia teorica. L'altezza piezometrica misurata in detto pozzo è pari a 3,08 m s.l.m., molto prossima a quella precedentemente calcolata in ipotesi di assenza di emungimenti (3,2 s.l.m.).

Il log salinometrico eseguito nel 2007 nel pozzo LR ha indicato un sollevamento dell'isalina 38 g/l di circa 15 m rispetto al log eseguito nel 1974 (fig. 18.36). Detto sollevamento è coincidente grossomodo con quello precedentemente calcolato, in condizioni di equilibrio, nell'ipotesi che gli emungimenti siano pari al 20 % della ricarica (fig. 18.60 b). Ma gli emungimenti attuati dall'acquifero cretaco del Salento sono sicuramente molto superiori al 20 % della ricarica. Infatti, facendo riferimento all'intera Area Idrogeologica del Salento (fig. 18.1), abbiamo visto che la ricarica può essere stimata in circa 800 Mm³/anno, il cui 20 % è pari ad appena 160 Mm³/anno. Detto valore è troppo basso per essere rappresentativo degli effettivi emungimenti oggi attuati. Il PTA 2009, con riferimento al periodo 1985÷2000, stima la portata d'acqua estratta nel Salento, per gli usi irrigui, potabile ed industriale, in circa 440 Mm³/anno. Detta stima è affetta da obiettiva incertezza, e ciò in quanto gli emungimenti attuati per il settore irriguo sono calcolati sulla base di uno studio riguardante l'uso del suolo e non sulla

base delle effettive portate estratte dai pozzi, allo stato attuale non note. Volendo in ogni caso ritenere valida detta stima, si ottiene che gli emungimenti sono pari a circa il 55 % della ricarica. In dette condizioni è stato prima calcolato, con l'equazione 18.4, uno spessore della falda al centro della penisola pari a circa 83 m, ossia un sollevamento dell'interfaccia rispetto alla condizione di assenza di emungimenti pari a 41 m (fig. 18.60 c).

Allo stato attuale risulta quindi plausibile che, a seguito del regime di emungimento imposto alla falda, non siano state ancora raggiunte le condizioni di equilibrio. In tale ordine di idee il sollevamento e l'incremento di spessore della zona di transizione misurato in molti pozzi spia del Salento sarebbe in evoluzione e potrebbe proseguire ancora per decine di metri.

Al fine di comprendere il motivo per cui l'interfaccia subisce con ritardo gli spostamenti in ragione degli emungimenti, si evidenzia che ad una riduzione di spessore della falda di acqua dolce, determinato dal sollevamento dell'interfaccia, consegue un incremento ΔV [m³] del volume di acqua di mare intrusa nel continente, il quale andrà a sostituire il volume di acqua dolce depauperato. I tempi necessari affinché si sviluppino dette fenomenologie sono molto lunghi e comunque di incerta determinazione. VAN DAM, 1999 definisce a tal riguardo il tempo caratteristico

$$T = \frac{\frac{\pi}{4} nL \left[\frac{(1+n)}{4k(\frac{\rho_s - \rho_d}{\rho_d})} \right]^{1/2}}{(f^{1/2} + f'^{1/2})} \quad [\text{s}] \quad (18.5)$$

dove, nel nostro caso, f è la ricarica per unità di superficie in assenza di emungimenti ed f' è la differenza tra detta ricarica e gli emungimenti valutati sempre per unità di superficie. VAN DAM, 1999 indica in 2-3 volte T il tempo necessario affinché si sviluppi la variazione di volume ΔV dell'acqua di mare a causa degli emungimenti. Assumendo gli emungimenti pari al 20 % della ricarica si ottiene un tempo necessario a raggiungere condizioni di equilibrio pari a 40-60 anni. Assumendo invece gli emungimenti pari al 55 % della ricarica, detto pe-

riodo di tempo diventa pari a 50-75 anni. Si tratta quindi di tempi molto lunghi. Ciò sembra confermare la circostanza che il sollevamento e l'aumento di spessore della zona di transizione osservato per molti pozzi del Salento non abbia allo stato attuale ancora raggiunto condizioni di equilibrio.

L'analisi dei dati disponibili e la relativa interpretazione in chiave idraulica indicano il rischio concreto di una annunciata catastrofe idrogeologica, determinata dalla mancata applicazione di criteri di corretta pianificazione, gestione e controllo delle acque sotterranee. Gli emungimenti oggi attuati nel Salento stanno infatti determinando il progressivo degrado quantitativo e qualitativo della falda profonda, così come ampiamente documentato nel presente capitolo sulla base dell'analisi di log salinometrici rigorosamente eseguiti in pozzi spia e sulla base dell'analisi della distribuzione spaziale della concentrazione salina, in evidente evoluzione.

Ad oggi non è possibile stabilire la portata globale effettivamente estratta dai pozzi esistenti e ciò a causa della mancanza di un reale controllo degli stessi. La densità delle opere di captazione censite presso gli uffici del Genio Civile riportata nel PTA, 2009, indica in ogni caso l'esistenza di ampie porzioni di territorio salentino ove il numero di pozzi esistenti per km² è addirittura superiore a 50 (fig. 18.38). Le basse quote topografiche che caratterizzano la penisola salentina rendono infatti agevole il raggiungimento dell'acquifero cretacico in quasi tutto il territorio, e detta circostanza ha determinato il moltiplicarsi del numero di pozzi esistenti, i quali estraggono acqua dal sottosuolo senza nessun criterio di gestione e salvaguardia.

All'attualità s'impone quindi la motivata riduzione degli emungimenti dall'acquifero cretacico del Salento, attraverso la riduzione del numero di pozzi esistenti e/o la riduzione delle portate estratte dagli stessi. Detta circostanza impone l'individuazione di risorse idriche sotterranee alternative a quelle sotterranee estratte con in pozzi, da indirizzare soprattutto al settore irriguo, argomento questo trattato più nel dettaglio nel capitolo 29. È necessario inoltre avviare il continuo monitoraggio chimico-fisico delle acque di falda e la sua interpretazione in tempo reale (cap. 30), al fine di verificare tempestivamente le evoluzioni dei fenomeni evidenziati.

18.5. - AREA DI CORIGLIANO D'OTRANTO: VALUTAZIONE DELLA VULNERABILITÀ DELL'ACQUIFERO CARBONATICO ALL'INQUINAMENTO E DIFFICOLTÀ CONNESSE ALLA DELIMITAZIONE DELLE ZONE DI RISPETTO DEI POZZI POTABILI

Le aree di salvaguardia delle opere di captazione delle acque sotterranee destinate all'uso potabile sono quelle aree circostanti ai punti di prelievo, all'interno delle quali sono apposti vincoli, divieti e regolamentazioni all'utilizzo del territorio, al fine di prevenire il degrado qualitativo delle acque destinate al consumo umano. Nel capitolo 10, cui si rimanda per approfondimenti, sono già state illustrate le varie metodologie idonee alla perimetrazione delle zone di rispetto dei pozzi; è stata altresì eseguita un'applicazione del criterio temporale per l'individuazione delle zone di rispetto dei pozzi con riferimento specifico all'area pilota di Casamassima-Valenzano (COTECCHIA *et alii*, 2007).

Nell'ambito degli studi condotti dal Dipartimento di Ingegneria delle Acque e dall'Istituto di Geologia Applicata e Geotecnica del Politecnico di Bari nel 1997 (cap. 10), il distretto estrattivo dell'Acquedotto Pugliese di Corigliano d'Otranto venne prescelto quale area pilota per la definizione di metodologie atte a delimitare le aree di salvaguardia dei pozzi potabili, penetranti nell'acquifero cretacico salentino. La protezione delle risorse idriche sotterranee in detta area è di fondamentale importanza, considerata la notevole presenza di pozzi potabili, con i quali l'AQP estrae dal sottosuolo una portata variabile fino a circa 800 l/s. Nel seguito si riportano gli approfondimenti condotti in detta area, ubicata grossomodo al centro della Penisola Salentina, riguardanti sia la vulnerabilità dell'acquifero, sia le problematiche inerenti la perimetrazione della zona di rispetto dei pozzi potabili.

18.5.1. - *Valutazione della vulnerabilità intrinseca dell'acquifero carbonatico all'inquinamento*

La valutazione della vulnerabilità dell'acquifero dell'area di Corigliano d'Otranto è stata svolta nel 2000, dall'Istituto di Ricerca per la Protezione Idrogeologica del Consiglio Nazionale delle Ricerche, mediante applicazione del metodo SINTACS (cap.

10), partendo da uno studio geologico ed idrogeologico di dettaglio dell'area basato sull'interpretazione di dati stratigrafici ed indagini idrogeologiche provenienti da uno studio precedentemente condotto dal Politecnico di Bari (1997).

La valutazione in oggetto si è conclusa con la redazione della Carta della Vulnerabilità dell'acquifero all'inquinamento, in scala 1:25.000 (COTECCHIA *et alii*, 2000), che opportunamente aggiornata è allegata alla presente Monografia (tav. 7 f.t.). La Carta classifica gran parte dell'area in argomento come area a vulnerabilità elevata (COTECCHIA *et alii*, 2002). Le ragioni alla base di tale valutazione sono da ricercare, essenzialmente, nei seguenti fattori: l'elevata permeabilità dell'acquifero, che determina una rapida migrazione di eventuali inquinanti; la morfologia pianeggiante dell'area, le cui blande pendenze favoriscono il ristagno dell'inquinante e la sua infiltrazione; prevalenza di suoli poggianti su formazioni litoidi permeabili assorbenti, con spessori minori di 50 cm, dotati quindi di una modesta capacità di attenuazione degli inquinanti che li attraversano (la presenza di suoli spessi più di 50 cm è limitata ad una ristretta porzione del territorio, posta a SSE dell'abitato di Cutrofiano).

La vulnerabilità diviene molto elevata in due zone ristrette, a NNW dell'abitato di Martano e a NW di Maglie, ove si riscontrano condizioni morfologiche particolari per la presenza, oltre che di doline, di numerose depressioni artificiali ad utilizzo antropico, come le cave, che incrementano il valore del parametro infiltrazione. Viceversa, un minore grado di vulnerabilità intrinseca si registra in corrispondenza dei centri abitati e nel settore Sud-Occidentale, in conseguenza delle locali condizioni geologiche, pedologiche e strutturali dell'area; ivi sono presenti, infatti, terreni argillosi ed argilloso-sabbiosi che, per la loro bassa permeabilità, rivestono un ruolo importante nel porre ostacolo all'infiltrazione di eventuali inquinanti nel sottosuolo.

18.5.2. - *Esame dei centri di pericolo e valutazione della vulnerabilità integrata dell'acquifero cretacico all'inquinamento*

Nell'area di Corigliano d'Otranto sono presenti numerosi centri di pericolo, sia naturali, quali vore, inghiottitoi, doline, che convogliano rapidamente

gli inquinanti negli strati più profondi, sia artificiali, questi ultimi rappresentati dagli insediamenti urbani e industriali. Tra gli insediamenti industriali, vanno segnalati quelli connessi a processi alimentari, discariche di rifiuti, cave, attività agricole e zootecniche, campi di spandimento dei fanghi di depurazione e di vegetazione, impianti di depurazione e fosse settiche. Tra i principali centri di pericolo, che provocano probabilmente immissione in falda di inquinanti di natura prevalentemente batterica e microbiologica, ci sono numerose cave per l'estrazione della Pietra Leccese (MONTAGNA *et alii*, 1997). Nell'area investigata, in particolare, nei territori comunali di Cursi e Melpignano, è infatti presente il più vasto giacimento di pietre da taglio della Regione (NICOTERA 1953).

L'intensa attività estrattiva ha di fatto determinato l'asportazione sia della copertura vegetale, sia delle bancate più superficiali delle calcareniti ascrivibili alla Pietra Leccese. Con l'asportazione degli strati più superficiali viene meno, di conseguenza, l'azione efficace di contrasto al movimento degli inquinanti e di depurazione batterica. Il fondo delle cave spesso coincide con i primi strati di calcare costituente l'acquifero, oppure con le porzioni più fratturate di Pietra Leccese, idonee a veicolare in falda in modo diretto qualsiasi inquinante prodotto da attività antropiche o connesso al deposito incontrollato di materiali sul fondo delle stesse.

18.5.3. - *Difficoltà connesse alla perimetrazione delle zone di rispetto dei pozzi potabili*

In virtù della conformazione topografica e delle caratteristiche di permeabilità dei terreni ivi affioranti, l'area pilota di Corigliano d'Otranto rappresenta una zona di alimentazione dell'acquifero profondo, in corrispondenza della quale le quote piezometriche della falda profonda, in genere superiori a 3 m s.l.m., raggiungono i valori più elevati della Penisola Salentina. In corrispondenza di quest'area è inoltre individuabile un vero e proprio spartiacque sotterraneo.

La perimetrazione delle zone di rispetto dei pozzi potabili richiede la corretta definizione della piezometria della falda indisturbata, e ciò al fine di ricostruire il reticolo di flusso della stessa in

presenza di emungimento. Allo stato attuale, non è stato possibile ricostruire la piezometria dell'area di Corigliano, almeno con il livello di dettaglio richiesto per l'applicazione del criterio temporale. L'impossibilità è da imputare sia all'assenza di dati a tal riguardo finalizzati, sia alla presenza di innumerevoli opere di captazione in esercizio. Oltre ai pozzi potabili, in detta area sono presenti numerose opere di captazione ad uso irriguo, che estraggono acque sotterranee, delle quali raramente sono note l'ubicazione, oltre che la portata emunta e le caratteristiche geometrico-costruttive.

A rendere complessa la ricostruzione della piezometria dell'area di Corigliano d'Otranto contribuisce il particolare contesto idrogeologico,

caratterizzato da una bassissima cadente piezometrica; la presenza dello spartiacque idrogeologico determina, infatti, una superficie freatica della falda quasi orizzontale. Il detto spartiacque subisce, poi, spostamenti in ragione della ricarica della falda, degli emungimenti e dell'influenza sulla falda degli spostamenti reciproci tra Mare Adriatico e Mare Ionio (fig. 18.61). In siffatte condizioni, nell'area entro cui lo spartiacque sotterraneo subisce movimenti può determinarsi l'inversione del flusso idrico sotterraneo.

Una ricostruzione approssimata della piezometria della falda fu eseguita nel 1997 nell'ambito dei già citati studi condotti dal Politecnico di Bari (fig. 18.62). La ricostruzione, relativa ai mesi di Marzo, Agosto ed Ottobre, forniva una morfo-

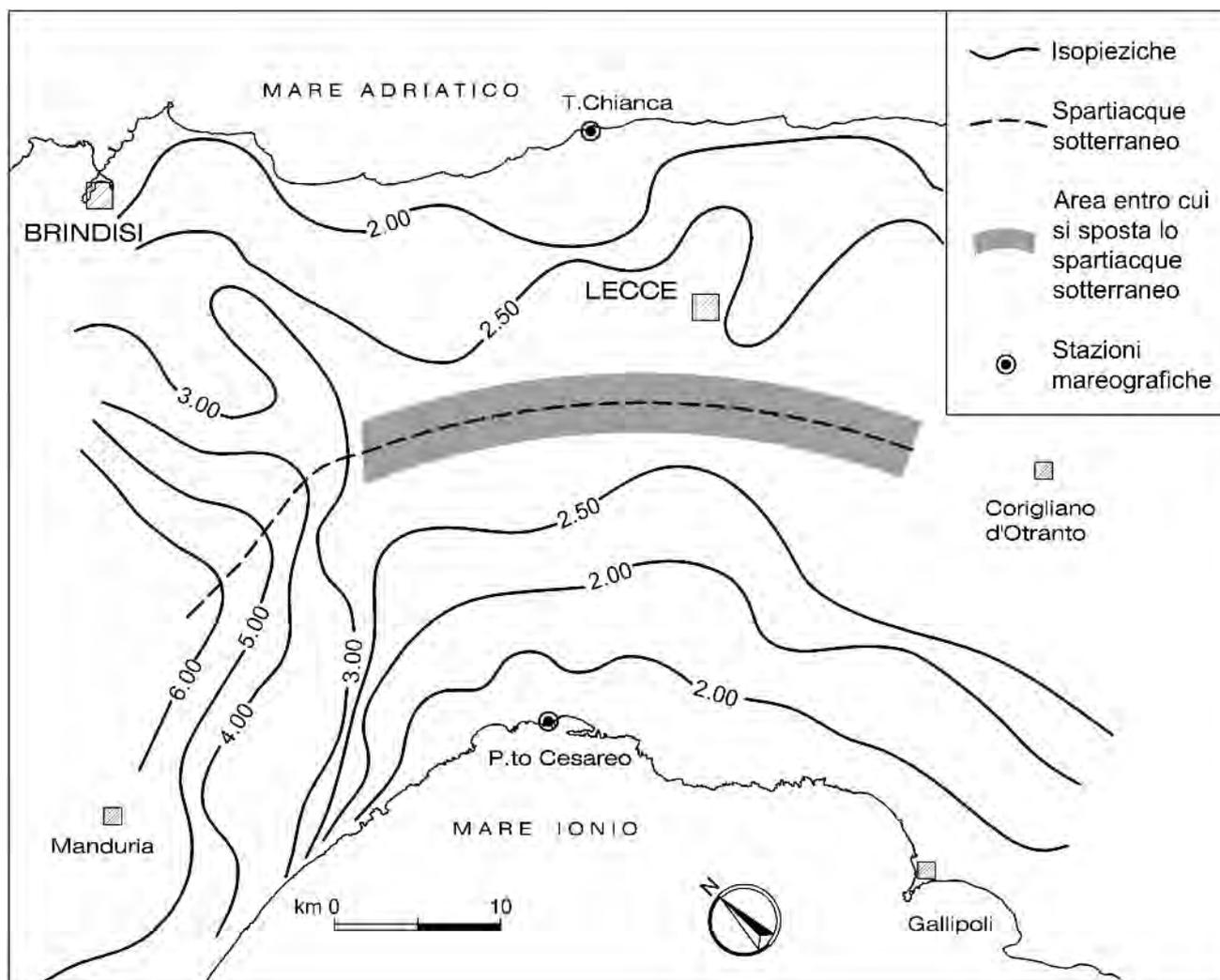


Fig. 18.61 - Isopieziche della falda profonda con indicazione dell'area entro cui si sposta lo spartiacque sotterraneo in conseguenza delle diverse variazioni di livello del Mar Adriatico e del Mar Ionio.

- Isopiezic lines of the deep aquifer groundwater with indication of the area where the underground divide shifts as a result of the variation in level of the Adriatic and the Ionian Sea.

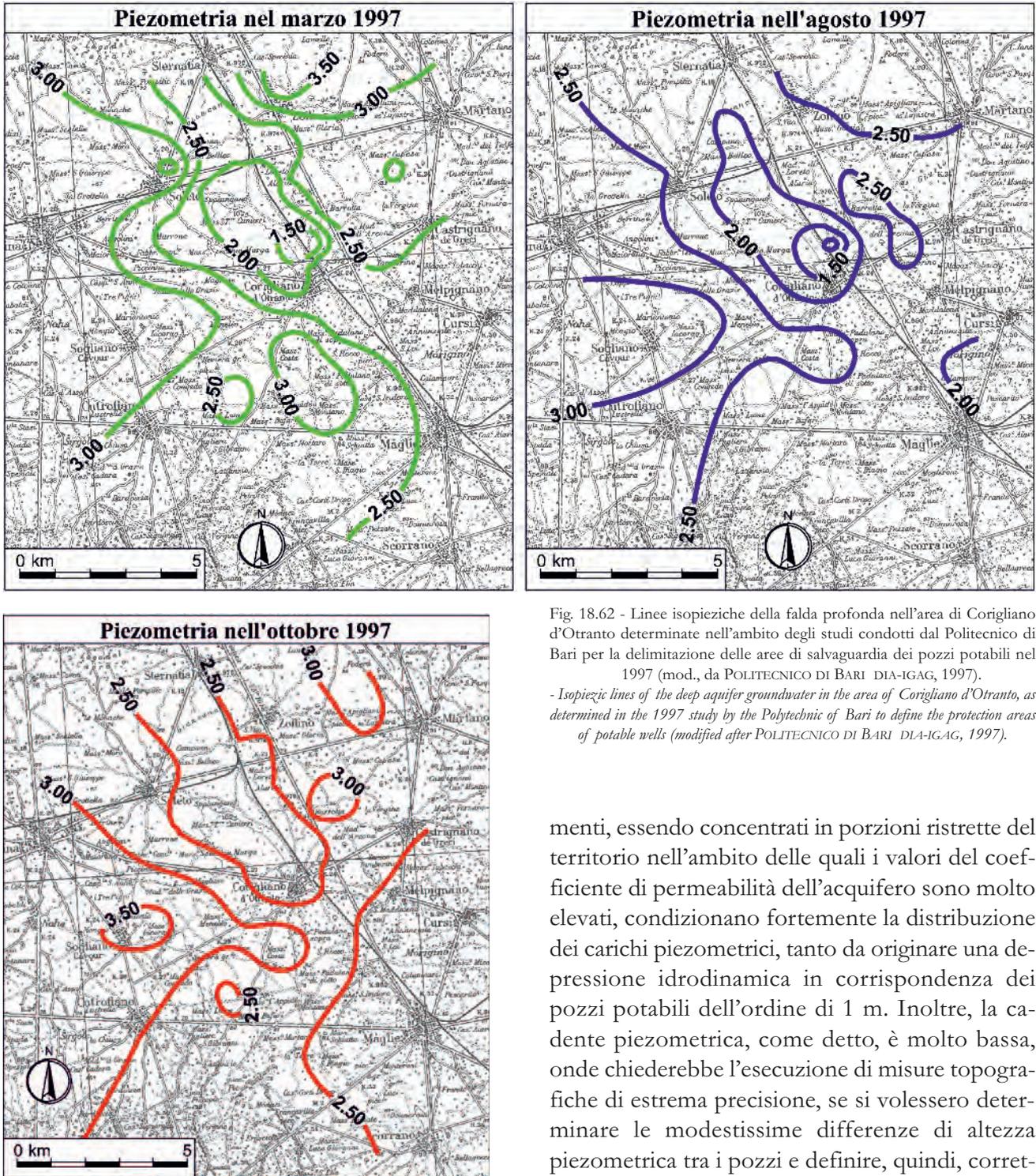


Fig. 18.62 - Linee isopieziche della falda profonda nell'area di Corigliano d'Otranto determinate nell'ambito degli studi condotti dal Politecnico di Bari per la delimitazione delle aree di salvaguardia dei pozzi potabili nel 1997 (mod., da POLITECNICO DI BARI DIA-IGAG, 1997).

- Isopiezic lines of the deep aquifer groundwater in the area of Corigliano d'Otranto, as determined in the 1997 study by the Polytechnic of Bari to define the protection areas of potable wells (modified after POLITECNICO DI BARI DIA-IGAG, 1997).

menti, essendo concentrati in porzioni ristrette del territorio nell'ambito delle quali i valori del coefficiente di permeabilità dell'acquifero sono molto elevati, condizionano fortemente la distribuzione dei carichi piezometrici, tanto da originare una depressione idrodinamica in corrispondenza dei pozzi potabili dell'ordine di 1 m. Inoltre, la cadente piezometrica, come detto, è molto bassa, onde chiederebbe l'esecuzione di misure topografiche di estrema precisione, se si volessero determinare le modestissime differenze di altezza piezometrica tra i pozzi e definire, quindi, correttamente le isopieziche.

Nell'ambito del presente lavoro sono risultati vani i tentativi di ricostruire la piezometria della falda indisturbata dell'area. L'assenza di un censimento rigoroso dei numerosi pozzi privati presenti nell'area non consente, infatti, di stabilire l'influenza degli stessi sulla piezometria della falda in prossimità di quelli potabili. Nemmeno sui pozzi

gia della superficie di falda alquanto irregolare e complessa, da ritenersi non adeguatamente approssimata per i motivi esposti. Il disordine idraulico presente nell'area, a causa dell'elevato numero di pozzi in esercizio, comporta, peraltro, un notevole disturbo alla superficie di falda. Gli attingi-

potabili è risultato agevole misurare la quota piezometrica indisturbata; i rilievi freaticometrici sono infatti ostacolati dalla presenza degli impianti di estrazione delle acque sotterranee. Essi possono eseguirsi solo indirettamente, attraverso l'utilizzo di una strumentazione costituita da un tubicino pneumatico con il quale è possibile desumere la quota piezometrica della falda nota la quota di installazione dello strumento, quest'ultima spesso non nota con adeguata precisione. Si tratta quindi di misure affette da significativi errori, non idonee alla ricostruzione delle isopieziche nel particolare contesto idrogeologico in esame. Inoltre, l'AQP non dispone, per molti pozzi, dei necessari dati geometrici e costruttivi.

La mancata conoscenza della morfologia della superficie piezometrica non consente quindi di scegliere ed adottare il criterio di perimetrazione più idoneo allo specifico contesto idrogeologico (criterio temporale o criterio idrogeologico). Il criterio idrogeologico, in particolare, risulterebbe di difficile applicazione tenuto conto dell'elevata vulnerabilità dell'acquifero all'inquinamento; di converso, il criterio temporale, per poter essere correttamente applicato, richiederebbe la preventiva verifica dell'assimilabilità dell'acquifero fratturato e carsicizzato ad un mezzo poroso equivalente, la cui applicazione comporta, innanzitutto, la conoscenza della distribuzione delle altezze piezometriche della falda in condizioni indisturbate (cap. 10; COTECCHIA *et alii*, 2007).

Nonostante l'impossibilità di procedere alla perimetrazione delle zone di rispetto, sono state eseguite alcune applicazioni del criterio temporale al fine di valutare l'influenza della posizione dello spartiacque sotterraneo sulle linee isocrone. Si ricorda a tal riguardo che, nell'ambito del criterio temporale, la zona di rispetto dei pozzi coincide con l'isocrona relativa ad un prefissato tempo di sicurezza, qui assunto pari a 365 giorni. In dette condizioni, una qualsiasi sostanza inquinante idro-veicolata in falda e disposta sul perimetro della zona di rispetto, nell'ipotesi che il trasporto avvenga per sola advezione, impiega un tempo pari a 365 giorni per raggiungere il pozzo.

L'analisi del flusso idrico sotterraneo necessaria per l'applicazione del criterio temporale è stata

eseguita con l'ausilio del codice di calcolo MODFLOW (cap. 10). L'analisi è stata eseguita, per semplicità, in condizioni piane orizzontali, adottando uno spessore di acquifero unitario. È stato adottato un dominio di filtrazione quadrato, di lato 20 km, con spartiacque idrogeologico sotterraneo disposto al centro dello stesso. Si è assunto un acquifero omogeneo ed isotropo, equivalente ad un mezzo poroso, con coefficiente di permeabilità pari a 5×10^{-3} m/s. Per l'acquifero si è assunta una ricarica uniformemente distribuita pari a $5,35 \times 10^{-11}$ m³/m²s, ottenuta ripartendo sull'intero spessore di acqua dolce, assunto pari a 140 m, l'alimentazione stimata per l'acquifero cretacico del Salento ($f=7,5 \times 10^{-9}$ m³/m²s; par. 18.4.3.11). Con i valori dei parametri idrogeologici assegnati, si ottiene una differenza di altezza piezometrica, tra lo spartiacque e i bordi del modello paralleli alle linee isopieziche, pari a 52,5 cm, cui corrisponde una cadente piezometrica pari a 0,052‰ (fig. 18.63). Quest'ultimo valore risulta molto basso, ad indicare una superficie piezometrica quasi orizzontale.

Dopo aver calcolato la distribuzione dei carichi piezometrici della falda in condizioni indisturbate, è stato introdotto nel modello un pozzo in emungimento, caratterizzato da una portata di esercizio di 50 l/s, dello stesso ordine di quella applicata dai pozzi dell'AQP presenti nell'area. Il pozzo è stato, inizialmente, ubicato al centro del modello, in corrispondenza dello spartiacque sotterraneo.

In figura 18.64 è rappresentata la distribuzione degli abbassamenti piezometrici indotti dal pozzo in emungimento sulla superficie piezometrica della falda. La quasi orizzontalità della superficie piezometrica della falda indisturbata nei dintorni del pozzo determina, nell'area attigua al pozzo, una simmetria circolare degli abbassamenti piezometrici. Si ottiene, pertanto, una zona di rispetto, calcolata con la tecnica del *backward particle tracking* (cap. 10), di forma circolare (fig. 18.65), il cui raggio varia nell'intervallo 300-450 m se si fa variare la porosità efficace tra 10 e 5%. Il raggio della zona di rispetto, che solo a causa della peculiare posizione del pozzo è di forma circolare, è quindi superiore a 200 m, valore quest'ultimo fissato quale

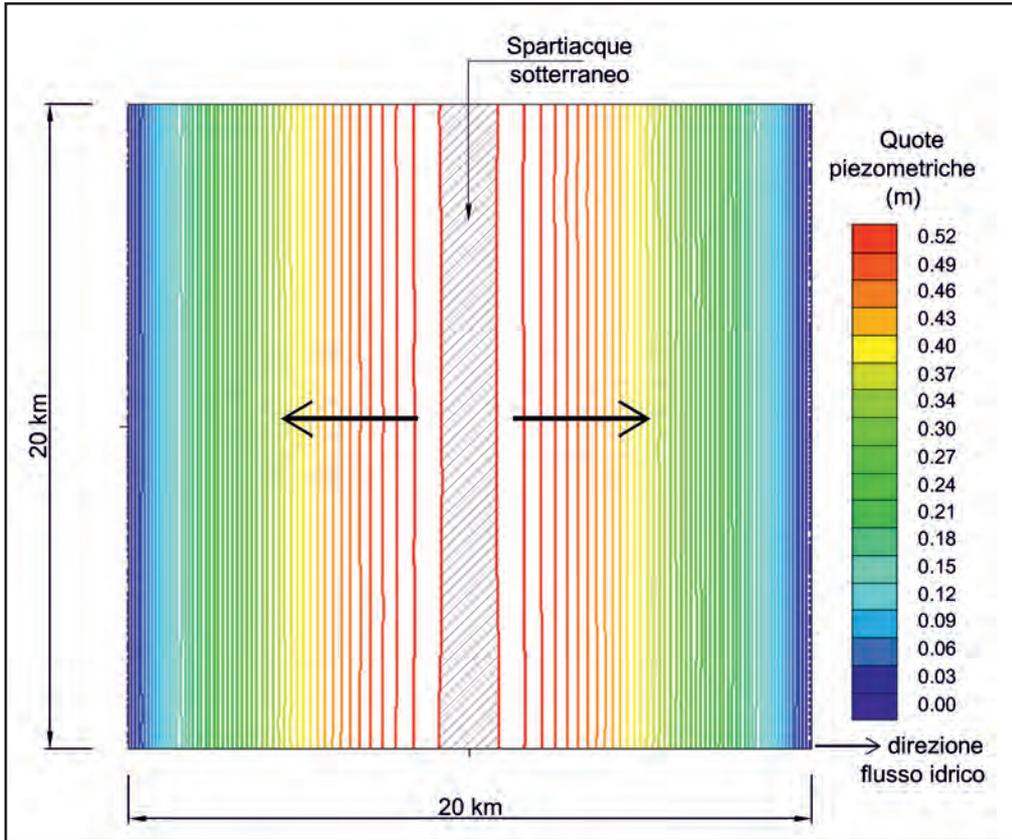


Fig. 18.63 - Linee isopieziche determinate con il codice di calcolo MODFLOW, in assenza di emungimenti, in una porzione di acquifero cretacico salentino in prossimità dello spartiacque sotterraneo (i carichi piezometrici sono riferiti ai bordi del modello paralleli alle linee isopieziche).
 - Isopiezic lines determined through the MODFLOW computer code, in no-abstraction conditions, in a portion of the Cretaceous aquifer of the Salento peninsula near the underground divide (the piezometric heads are referred to the model boundaries parallel to the isopiezic lines).

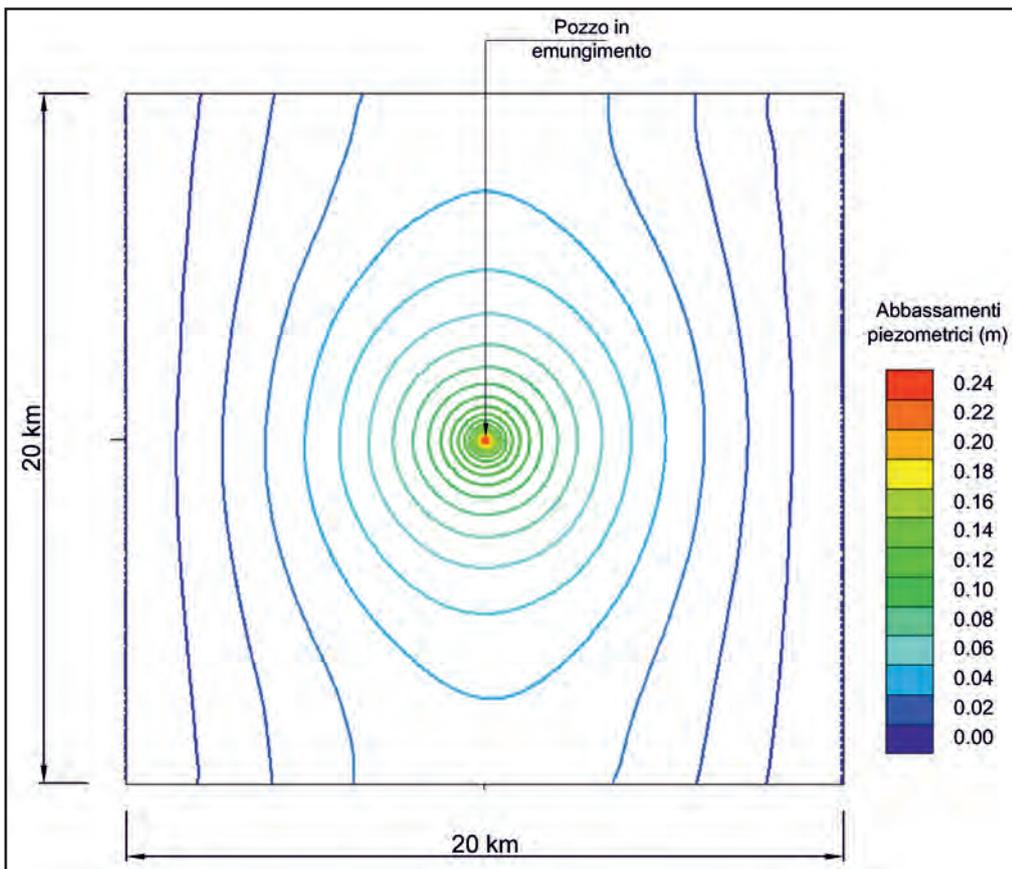


Fig. 18.64 - Abbassamenti piezometrici indotti da un pozzo in emungimento ($Q = 50 \text{ l/s}$) ubicato sullo spartiacque sotterraneo, calcolati con il codice di calcolo MODFLOW.
 - Piezometric drawdown caused by a pumping well ($Q = 50 \text{ l/s}$) located on the underground divide, calculated through the MODFLOW computer code.

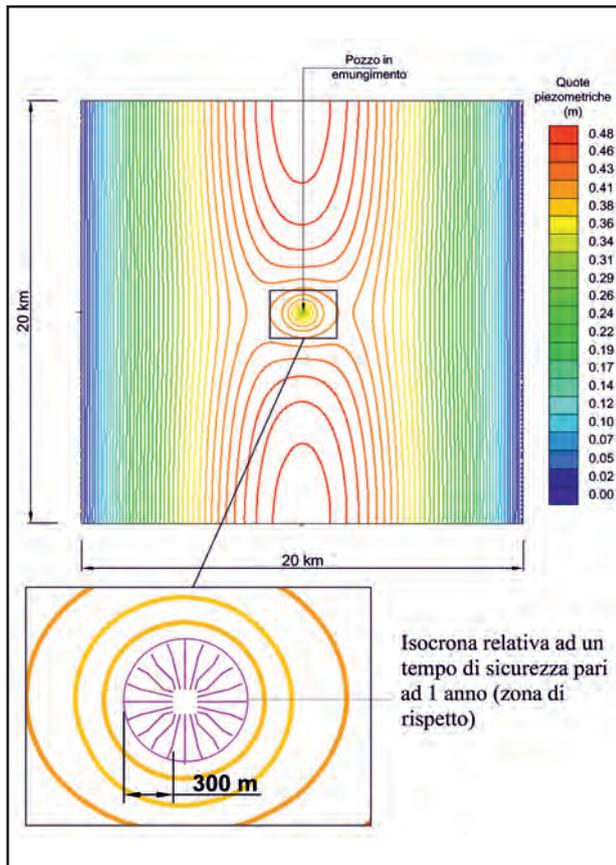


Fig. 18.65 - Linee isopieziche determinate con il codice di calcolo MODFLOW in presenza di un pozzo in emungimento sullo spartiacque sotterraneo, e perimetrazione della zona di rispetto assumendo una porosità pari al 10%.
- *Isopiezic lines determined through the MODFLOW computer code in the presence of a pumping well on the underground divide, and delimitation of the protection zone assuming a porosity equal to 10%.*

valore minimo dalla normativa per la perimetrazione provvisoria delle aree di salvaguardia. Si fa osservare che, nelle suddette ipotesi, le dimensioni della zona di rispetto variano poco al variare della ricarica efficace, poichè, sebbene un incremento degli afflussi determini anche quello della cadente piezometrica media, in prossimità dello spartiacque la superficie piezometrica risulta sempre pressoché orizzontale.

Risultati sensibilmente differenti si ottengono, invece, se si varia la posizione relativa tra pozzo in emungimento e spartiacque idrogeologico. All'aumentare della distanza del pozzo dallo spartiacque, la configurazione della zona di rispetto tende, infatti, ad assumere una forma sempre più ellittica, con asse maggiore disposto in direzione parallela a quella del flusso idrico sotterraneo (fig. 18.66). In questo caso, la forma e le dimensioni della zona di rispetto sono

funzione della ricarica, poichè quest'ultima determina, localmente, significative variazioni della cadente piezometrica. In particolare è stato verificato che un incremento di ricarica determina un aumento della distanza tra il pozzo ed il perimetro di monte dell'isocrona ed una riduzione della distanza tra il pozzo ed il perimetro di valle.

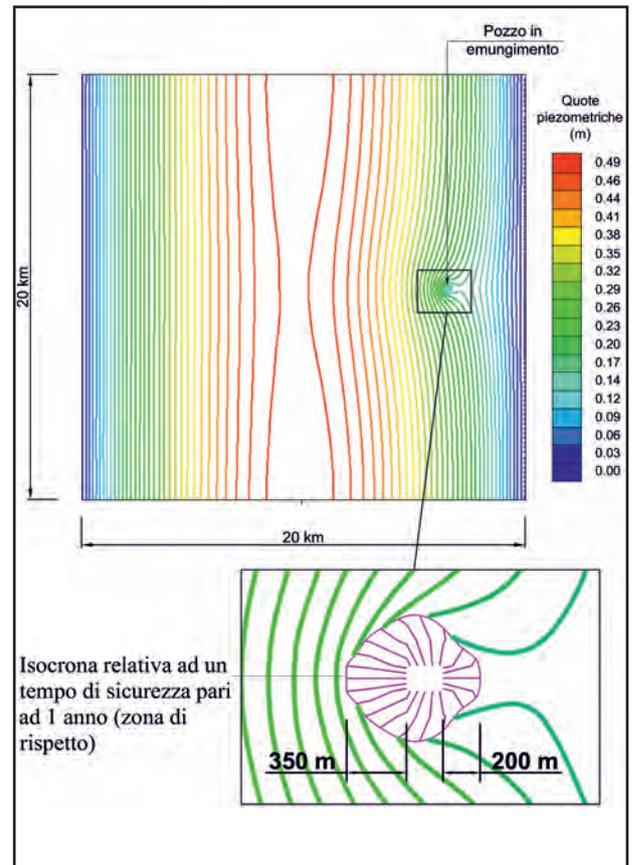


Fig. 18.66 - Linee isopieziche determinate con il codice di calcolo MODFLOW in presenza di un pozzo in emungimento ubicato a circa 7 km di distanza dallo spartiacque sotterraneo e perimetrazione della zona di rispetto assumendo una porosità del 10%.

- *Isopiezic lines determined through the MODFLOW computer code in the presence of a pumping well located at about 7 km from the underground divide, and delimitation of the protection zone assuming a porosity equal to 10%.*

La Penisola Salentina è caratterizzata, lungo il suo perimetro costiero, da affioramenti di rocce carbonatiche, ove cretache o plio-pleistoceniche o mioceniche, che questa rassegna fotografica (figg. 18.67÷18.75) vuole mettere in risalto, al fine di evidenziare la spesso frequente coesistenza di spettacolari ambienti costieri e condizioni di rischio geomorfologico.



Fig. 18.67 - Veduta di un affioramento di calcari della fascia costiera Sud-orientale del Salento. Le litofacies di età giurassica sono caratterizzate da un vistoso sviluppo del carsismo superficiale e sotterraneo facilitato dalle sue caratteristiche di permeabilità che vengono esaltate dallo stato di fratturazione della roccia.
- View of limestone outcrop in the south-eastern coast of the Salento peninsula. The lithofacies of Jurassic age are characterized by impressive development of surface and underground karst phenomena favoured by its permeability features, further intensified by rock fracturing.



Fig. 18.68 - Il Canale del Ciolo a Gagliano del Capo è uno dei più imponenti solchi erosivi che incidono la gradinata di terrazzi marini che caratterizza la costa Sud-orientale della Penisola Salentina.

- *Canale del Ciolo at Gagliano del Capo is one of the most imposing ravine cutting the marine terraces that characterize the south-eastern coast of the Salento Peninsula.*



Fig. 18.69 - Grotta dei Cervi, Porto Badisco, (LE). Veduta d'insieme della grande e spettacolare composizione pittorica (m 2,90) che decora una zona del secondo corridoio in cui compaiono insieme elementi astratti ed elementi figurativi secondo una collocazione che sembra esprimere qualcosa di ben definito. A figure cruciformi "collettive" sono accostati soggetti veristi rappresentanti uomini ed animali e complicati grovigli di linee curve e spezzate probabilmente di origine antropomorfa.

- Grotta dei Cervi (Deers Cave) at Porto Badisco (Lecce province). Overall view of the large and spectacular rock paintings (m 2.90) decorating the walls of the second corridor where abstract and figurative elements coexist to suggest something well defined though enigmatic. "Collective" cruciform figures are associated with veristic subjects representing men and animals, and a tangle of curves and broken lines probably of anthropomorphic origin,



Fig. 18.70 - Formazione calcarenitica di Uggiano La Chiesa. Falesia lungo la spiaggia di Otranto (LE), laddove si notano i placcaggi con barre di acciaio inox eseguiti in acrobatica per la stabilizzazione della formazione fratturata e fortemente degradata.
 - *Calcarenite formation of Uggiano La Chiesa: cliff along the beach of Otranto (Lecce province), strengthened with stainless steel bars for the stabilization of the fractured and intensely degraded rock.*



Fig. 18.71 - Parete in calcarenite della Formazione pleistocenica di Uggiano La Chiesa, costituente un tratto di falesia lungo la spiaggia di Otranto (LE).
 - *Calcarenite wall of the Pleistocene Uggiano La Chiesa Formation, forming a stretch of cliff along the beach of Otranto (Lecce province).*



Fig. 18.72 - Bioturbazioni inglobate nelle calcareniti della Formazione di Uggiano La Chiesa, sulla falesia sviluppata lungo la spiaggia di Otranto.
- *Bioturbations in the calcarenites of the Uggiano La Chiesa Formation, on the cliff along the beach of Otranto.*



Fig. 18.73 - Caratterizzazione degli strati di Calcareni del Salento (Pleistocene Medio-Inferiore) tranciati da superfici di rottura conseguenti al dissesto geomorfologico e franoso prodotto in data 31/01/2009 a Castro Marina (LE).

- *Characterization of the Calcareni strata of Salento Formation (Middle-Early Pleistocene) with failure surface resulting from the landslide occurred on January 31, 2009, at Castro Marina (Lecce province).*



Fig. 18.74 - Panoramica del litorale di Castro Marina (LE) laddove a sinistra si notano le calcareniti pleistoceniche e in destra l'immersione in mare della faglia nei calcari di Castro (Oligocene).
- *A panoramic view of the coast of Castro Marina (Lecce province), showing the Pleistocene calcarenites on the left and the fault dipping into sea in the Castro limestones on the right (Oligocene).*



Fig. 18.75 - Particolare della faglia nei calcari di Castro (oligocene) immergente in mare a NE dal porticciolo di Castro (LE).
- *A detail of the fault in the Castro limestones (Oligocene), dipping into the sea NE of the marina of Castro (Lecce province).*