

## Le acque sotterranee e l'intrusione marina in Puglia: dalla ricerca all'emergenza nella salvaguardia della risorsa

*The groundwater and the seawater intrusion in Apulia:  
from research to the emergency in the safeguard of the water resource*

---

COTECCHIA V.

### 13. – AREA IDROGEOLOGICA DEL GARGANO

#### 13.1. - INTRODUZIONE

Il promontorio garganico, imponente pilastro tettonico allungato in senso E-O, domina verso occidente la piana del Tavoliere e si protende sul fianco opposto per oltre 40 km nel Mare Adriatico, spesso con coste alte e a picco.

Il Gargano è in grande prevalenza costituito da masse calcaree e dolomitiche del Cretaceo e del Giurassico, non di rado ben stratificate, fessurate e interessate dal fenomeno di dissoluzione carsica. Tale fenomeno assume una grande importanza nel Gargano centrale e occidentale, dove si hanno estesi pianori a doline assolutamente privi di una rete idrografica superficiale; quando il carsismo è assente, numerosi sono invece i brevi corsi vallivi e le incisioni percorsi durante rovesci di pioggia da acque torrentizie, cariche di materiali solidi. In ogni caso, è evidente che lo sviluppo della rete idrografica superficiale è strettamente connesso ai caratteri di permeabilità dei terreni, all'evoluzione del fenomeno carsico e alla tettonica (COTECCHIA & MAGRI, 1966).

Grandi terremoti e tsunami hanno intensamente plasmato le rocce costituenti il promontorio nel corso della sua storia geologica, i cui inizi risultano tuttora poco noti. Basti ammirare, percorrendo la strada provinciale che corre tra Mattinata e Vieste, i fenomeni degli “*slumps*” sulle pareti calcaree che la bordano: tali strutture sono costituite da pieghe arricciate della roccia, prodottesi a seguito di frane subacquee, presumibilmente innescate da eventi sismici, avvenuti nel mare profondo del Cretaceo, più di 100 milioni di anni fa, quando ancora i sedimenti, che oggi formano tali opere d'arte incastonate nella roccia, non erano ancora consolidati e litificati. Studi recenti hanno dimostrato come forti terremoti storici abbiano prodotto sconvolgimenti tettonici, lungo la zona costiera a Nord del Gargano, con conseguenti spostamenti verticali cosismici, tanto da far sollevare il blocco costiero di Punta delle Pietre Nere di circa 0,5 m (MASTRONUZZI & SANSÒ, 2002).

Il Gargano, che culmina nei 1056 metri del Monte Calvo ed ha nel suo cuore la Foresta Umbra, conserva nel suo territorio aree di eccezionale interesse storico, naturalistico, paesaggistico e geologico. Tali peculiarità fanno sì che il territorio è tutelato dalle autorità statali e al suo interno è

stato istituito il Parco Nazionale del Gargano che ricopre un'estensione di circa 121.118 ettari e in cui sono presenti habitat naturali unici nel loro genere. Si passa, infatti, dalla foresta alla macchia mediterranea, dai grandi altipiani carsici, ricchi di doline ed inghiottitoi, alle ripide falesie sul mare, punteggiate da fantastiche grotte, dalle erte e boschive valli che scendono verso il mare, alle lagune costiere di Lesina e Varano, dalle colline e pianure steppe alle Paludi di Federico II.

Si ricorda l'eccezionale realtà archeologica delle miniere preistoriche di selce del Gargano. Selce di ottima qualità, a partire dal Neolitico, venne estratta ricorrendo allo scavo di vere e proprie miniere: le prime realizzate in Europa per l'approvvigionamento di una materia prima considerata strategica. Cosicché il promontorio garganico è stato il più antico distretto minerario d'Europa. Infatti, le ricerche degli ultimi venticinque anni sul promontorio pugliese hanno portato alla luce un'ampia rete di miniere preistoriche, attiva per ben 3500 anni, dal primo Neolitico alla fine dell'età del Rame, grosso modo dagli inizi del VI alla metà del III millennio a.C.. Da queste miniere di selce si ottenne materia prima di origine minerale da cui furono fabbricati la quasi totalità dei manufatti giunti sino a noi (TARANTINI & GALIBERTI, 2011).

Purtroppo, sempre più frequentemente, si constatano situazioni di degrado di geositi di valenza anche internazionale e ciò rende doveroso dare consapevolezza ai non addetti ai lavori di quanto interessante sia il nostro patrimonio geologico (AA.VV., 2010).

Nella fattispecie, si fa riferimento ad un'area immediatamente ad Ovest del Lago di Lesina, tra il lago ed il mare, con direzione all'incirca Nord-Sud, laddove è presente, racchiuso sui lati da depositi alluvionali recenti modellati dal vento a forme di dune, un corpo roccioso di grande rilevanza geologica: si tratta di un affioramento di rocce ignee, meglio conosciuto con il nome di Punta delle Pietre Nere (COTECCHIA & CANITANO, 1954). Nella parte finale del presente capitolo si dedicherà ampio spazio a tale area, laddove affiorano i depositi più antichi riconosciuti in Puglia, poiché la stessa rappresenta una rarità in tutta la costa adriatica per le caratteristiche litologiche, stratigrafiche

e petrografiche, essendo costituita da una associazione di rocce carbonatiche, gessi selenici e rocce ignee di origine molto profonda.

Il sottosuolo del territorio garganico è soprattutto ricco di cospicue risorse idriche contenute principalmente in un vasto acquifero carbonatico profondo, poco utilizzato, le cui acque di falda hanno come livello di base, almeno per quel che è noto ai bordi del Gargano, l'acqua di mare che invade il continente. Tale acquifero appare variamente organizzato con diversi gruppi sorgivi, ai quali competono porzioni precise dell'area di alimentazione, distinte dal punto di vista litologico-stratigrafico e prevalentemente condizionate da fattori tettonici e morfologici. Ciò comporta che i caratteri di permeabilità dell'acquifero profondo carbonatico siano sensibilmente eterogenei e variabili da zona a zona.

Vale la pena rimarcare che, per via dell'esiguità dei dati a disposizione rispetto al grado di complessità dell'area, gli aspetti della circolazione idrica sotterranea e la distribuzione della concentrazione salina delle acque, sono a tutt'oggi poco conosciuti e non è possibile spingere la descrizione al livello di dettaglio che l'area meriterebbe.

L'area del promontorio garganico meno esplorata sotto l'aspetto idrogeologico, allorché sia la più invitante dal punto di vista qualitativo delle acque, è quella centrale, laddove, a causa delle elevate profondità di rinvenimento dell'acquifero, non sono presenti pozzi in numero tale da consentire uno studio esaustivo delle caratteristiche idrodinamiche e delle capacità di immagazzinamento dello stesso, oltre che dei rapporti esistenti tra le acque dolci di falda e quelle marine intruse nel continente presumibilmente presenti alla base dell'acquifero.

Inoltre, l'andamento dei carichi piezometrici, dei valori del coefficiente di permeabilità e della concentrazione salina, sono descritti con riferimento ad una scala regionale, per la presenza di zone dove i dati sono scarsi o nulli. Questi ultimi possono essere talora disattesi, in quanto ottenuti da un processo d'interpolazione.

Particolare attenzione va rivolta all'evoluzione dei fenomeni di intrusione marina lungo le aree costiere, in particolare nelle zone a ridosso dei laghi di Lesina e di Varano, laddove la presenza di

un numero elevato di opere di captazione sta sensibilmente modificando la salinità delle acque di falda. I risultati delle analisi chimiche di campioni d'acqua prelevati da pozzi e i profili multiparametrici eseguiti lungo le verticali di alcuni di essi, negli ultimi anni hanno purtroppo confermato tale tendenza.

Nelle acque di falda e di sorgente afferenti a differenti zone del promontorio, sono stati riscontrati valori di temperatura notevolmente diversi, raggiungenti differenze massime di oltre 12°C. Ciò fa sì che differenze di temperatura tanto considerevoli possono favorire l'instaurarsi nelle acque di falda, sostenute dall'acqua di mare alla base, di moti convettivi, che in presenza di vie d'acqua preferenziali assumono il carattere di vere "correnti", capaci di produrre mescolamenti di acqua di falda a diverso contenuto salino (COTECCHIA & MAGRI, 1966).

Partendo da una descrizione litologica delle formazioni affioranti nel territorio, garganico, sono tracciati gli aspetti idrogeologici delle diverse porzioni dello stesso territorio attraverso l'analisi del tipo di permeabilità dei depositi affioranti e quelli del substrato, della distribuzione dei carichi piezometrici e del condizionamento strutturale sul deflusso sotterraneo. (tavv. 1, 2, 3 f.t.).

Sono affrontate anche problematiche inerenti la qualità delle acque sotterranee con particolare riferimento all'incidenza del fenomeno dell'intrusione marina sulle stesse, tramite studi puntuali sui campioni di acqua prelevati dai pozzi e l'analisi della distribuzione areale della concentrazione salina su più livelli dello spessore della falda idrica (tav. 2 f.t.).

### 13.2. - CARATTERI LITOLOGICI DELLE UNITÀ GARGANICHE

Il Gargano è costituito in prevalenza da rocce carbonatiche giurassico-cretacee sedimentatesi in un esteso ambiente di piattaforma carbonatica che, durante il Mesozoico, comprendeva il settore Nord-orientale della Piattaforma Apula ed i settori di transizione all'adiacente Bacino Ionico (tav. 1 f.t.) (RICCHETTI *et alii*, 1988; BOSELLINI *et alii*, 1993a).

Come anticipato nel capitolo 1 e riportato in BOSELLINI *et alii*, 1993b; MORSILLI *et alii*, 2004, nel

territorio garganico affiorano litologie depositatesi nei vari ambienti deposizionali che caratterizzano una piattaforma carbonatica (fig. 13.1): dalle successioni di retroscogliera (facies lagunari e di margine interno) a quelle di scogliera-margine (sia sabbiosa che biocostruita) associate con quelle carbonatiche selcifere di avanscogliera (margine esterno, scarpata e bacino).

Le unità carbonatiche mesozoiche sono ascrivibili ai suddetti ambienti mentre quelle marine cenozoico-pleistoceniche, poggianti in discordanza sulle unità più antiche, sono tipiche di ambienti di margine e scarpata (depositi eocenici) e di piattaforma aperta (depositi miocenici, pliocenici e pleistocenici; D'ALESSANDRO *et alii*, 1979; CASOLARI *et alii*, 2000; SPALLUTO & PIERI, 2008).

L'estesa diffusione dei termini giurassico-cretacei inferiori, a differenza di quelli del Cretaceo superiore, limitati ai margini meridionali (a Sud di S. Giovanni Rotondo e di Monte S. Angelo) e Nord-orientali (a Nord della linea Vieste-Ischitella), indica che il Gargano era per la maggior parte emerso già nel Cretaceo Superiore (COTECCHIA & MAGRI, 1966).

Malgrado la gran mole di dati pubblicati negli ultimi anni abbia apportato un notevole progresso nelle conoscenze geologiche su questo settore dell'Avampese Apulo, persistono interpretazioni differenti e talora opposte circa l'evoluzione litostratigrafica e strutturale del Promontorio del Gargano. A tal riguardo, nell'ambito del Progetto CARG (CARTografia Geologica), con il quale nel 1988 è stata avviata la redazione della nuova Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, l'APAT e il Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR) hanno realizzato un nuovo e aggiornato Catalogo delle Formazioni geologiche Italiane ed il Gargano nella fattispecie ha subito e sta subendo una profonda rivisitazione. Infatti, alcune formazioni sono state validate, ma molte sono state abbandonate, riclassificate e/o accorpate.

Ciò detto, la cartografia proposta in figura 13.1, aggiorna ed integra quanto riportato dalla Carta Geologica d'Italia al 1:100.000 (F.155 - "San Severo", BONI *et alii*, 1969; F.156 - "San Marco in Lamis", CREMONINI *et alii*, 1971; F.157 - "Monte Sant'Angelo", MARTINIS & PAVAN, 1967; F.164 -

“Foggia”, MERLA *et alii*, 1969) con nuovi studi che hanno permesso di datare in maniera più precisa sia le successioni mesozoiche che quelle cenozoiche e di chiarire i rapporti stratigrafici e/o strutturali presenti tra le successioni affioranti e fra i distinti ambienti deposizionali.

Nel seguito si riportano, con maggior dettaglio rispetto a quanto introdotto nel capitolo 1, le caratteristiche litologiche e tessiturali delle formazioni geologiche affioranti nel territorio garganico.

### 13.2.1. - *Le unità mesozoiche di piattaforma*

Le unità carbonatiche, di età Giurassico medio - Cretaceo sup., depositatesi sia di retroscogliera sia di scogliera-margine, affiorano rispettivamente nel settore centro-occidentale e centro-orientale del Promontorio del Gargano (fig. 13.1; RICCHETTI *et alii*, 1988).

In particolare, le successioni di retroscogliera sono formate da calcilutiti, ben stratificate spesso con lamine planari o ondulate di origine biologica (algale) o meccanica (idrocinamiche e di carico), a cui si intercalano calcari oolitici, oncolitici, bioclastici, stromatolitici e loferitici (PAVAN & PIRINI, 1966). Le sequenze delle aree marginali della piattaforma sono costituite da calcari biocostruiti a coralli, ellipsactinie, stromatoporoidi e molluschi, a luoghi intercalati a calcareniti e calciruditi bioclastiche ed oolitiche (CREMONINI *et alii*, 1971). Da un punto di vista petrografico, i calcari mesozoici riferibili all'ambiente di margine interno comprendono, ad esempio, biospariti, intraspariti con ooliti e, subordinatamente, oospariti. I granuli sono per lo più arrotondati dalle dimensioni medie, rientranti nella classe delle calcareniti e calciruditi a grana fine e talora grossolana. Le biospariti sono costituite da abbondanti bioclasti, da detriti di scogliera e da subordinati microfossili, il tutto cementato da sparite. Le intraspariti sono costituite prevalentemente da intraclasti, da bioclasti e, subordinatamente, da ooliti, a cui si associano minuti aggregati micritici e le oospariti sono essenzialmente costituite da ooliti cementate da sparite. Dette ooliti hanno una struttura radiale e concentrica, con il nucleo costituito da minuti aggregati microcristallini di calcite, da resti di micro e ma-

crofossili e, secondariamente, da frammenti delle stesse ooliti (REGIONE PUGLIA, 1989).

Le successioni carbonatiche di retroscogliera-margine descritte sono state ripartite in molteplici unità formazionali, oggi in corso di aggiornamento (fig. 13.1 - successioni lagunari: Formazione di Sannicandro, Formazione di Rignano Garganico, Formazione di S. Giovanni Rotondo, Formazione di Monte la Serra; sequenze di margine interno: Calcari di Masseria Quadrone, Calcari di Monte Spigno, Calcari oolitici di Coppa Guardiola; successioni di margine: Calcari di Monte Sacro, Formazione di Cagnano, Formazione di Monte Pizzuto). Come già anticipato nel capitolo 1, recentemente è stato proposto di assegnare il nome di Calcare di Bari alla successione sedimentaria situata al letto dei giacimenti di bauxite, in relazione alle evidenti analogie lito e biostratigrafiche, cronologiche e genetiche con quest'ultima formazione istituita prioritariamente nell'area murgiana.

Al contempo, la sequenza sedimentaria affiorante sui depositi bauxitici, di età senoniana, è indicata con il nome formazionale di Calcari di Masseria Lauriola, equivalenti alla formazione del Calcare di Altamura istituita nell'area murgiana (cap. 1).

Con riferimento alle successioni di scogliera-scarpata, esse sono costituite in prevalenza da calcareniti e calciruditi bioclastiche ben cementate e clinostratificate, e da calcari biocostruiti, a cui si interpongono intervalli massicci di calciruditi lito-bioclastiche (brecce e megabrecce) che formano corpi canalizzati di spessore metrico e decametrico. Sia la frazione bioclastica che quella litoclastica, risedimentatesi in ambienti di avanscogliera/scarpata, provengono in prevalenza dai settori di margine della piattaforma (PAVAN & PIRINI, 1966; MARTINIS & PAVAN, 1967; BOSELLINI *et alii*, 1993b; 1999; GRAZIANO, 2001). Inoltre, gli interstizi dei calcari biocostruiti sono in parte riempiti da sparite (calcite spatica) e da bioclasti, per lo più provenienti dalla scogliera stessa. Al bordo della scogliera si rinvengono biomicruditi, biomicriti fossilifere e dolomie.

Le diverse successioni sono caratterizzate dalla diffusa presenza di liste e/o noduli di selce policroma e da giaciture cliniformi interessate sia da

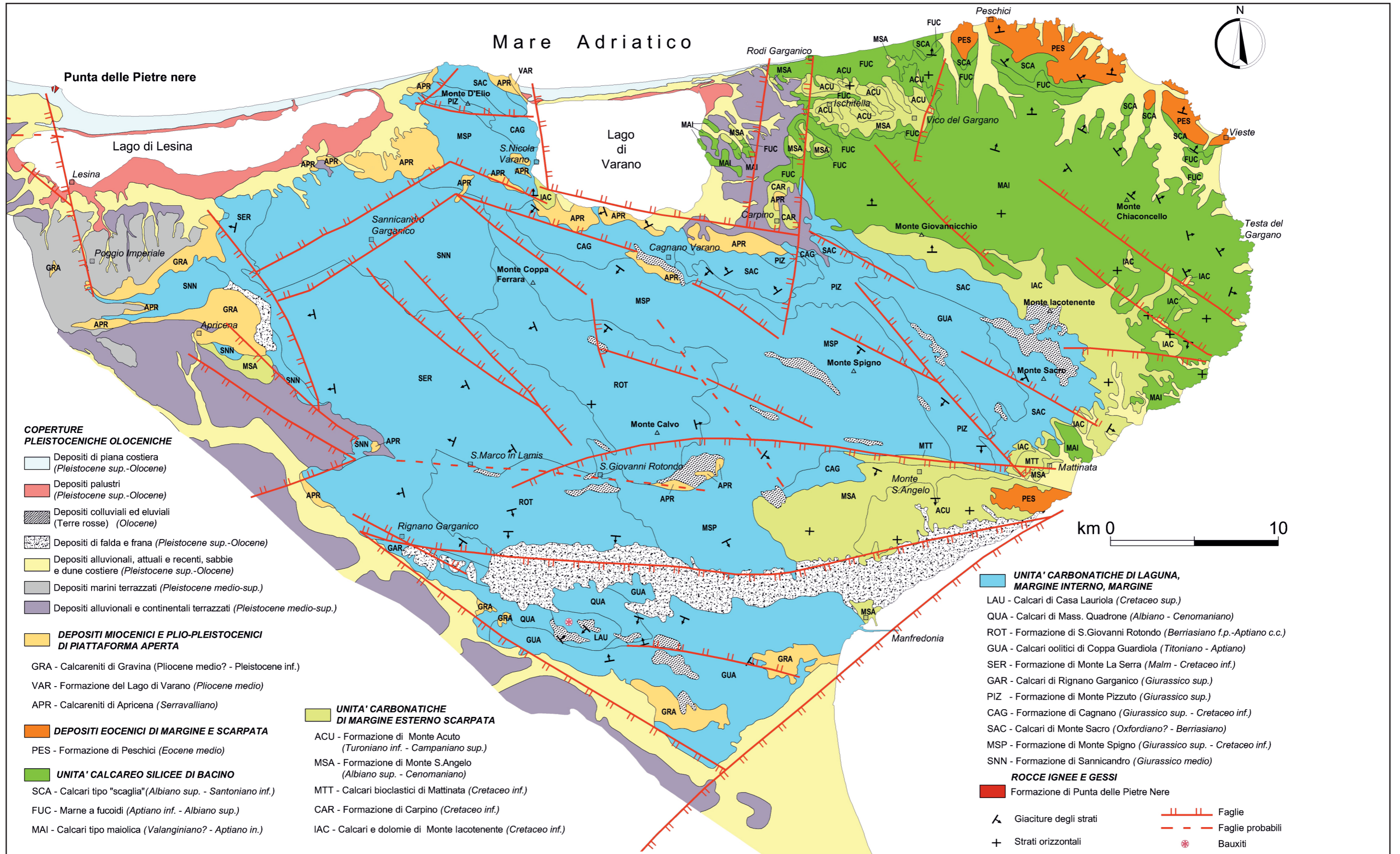


Fig. 13.1 - Carta geologica di dettaglio del promontorio garganico. - Geological map of the Gargano promontory.

deformazioni plastiche gravitative (*slumping*) sia da discordanze geometriche, localizzate a diverse altezze stratigrafiche. In particolare, la successione di pendio, adiacente alla barriera biogenica, è formata da strati e banchi di calcari dolomitici e di dolomie selcifere organizzati in sequenze cicliche ad evoluzione verticale sia positiva sia negativa, con intercalazioni detritiche grossolane lentiformi contrassegnate da abbondanti resti di macrofossili rimaneggiati, derivanti dalla demolizione della scogliera ad opera del moto ondoso, nonché di calcareniti torbiditici (emipelagiti) con sottili liste di selce ed associazioni macro e microfossilifere di tipo bacinale.

Da un punto di vista formazionale le sequenze di scogliera-scarpata sono state ascritte alle seguenti formazioni geologiche: Calcari e dolomie di Monte Iacotenente, Formazione di Carpino, Calcari di Mattinata, Formazione di Monte S. Angelo, Formazione di Monte Acuto.

### 13.2.2 - *Le unità mesozoiche di bacino*

Le unità calcareo-silicee di bacino (Maiolica, Marne a Fucoidi, Scaglia,) affiorano nel settore orientale del Promontorio del Gargano e sono coeve alle successioni di piattaforma descritte nel precedente paragrafo (fig. 13.1).

Le caratteristiche litologiche sono piuttosto uniformi in quanto queste unità sono costituite in prevalenza da calcisiltiti bianche e da calcari marnosi ben stratificati, con frequenti intercalazioni di liste e noduli di selce, come enunciato al capitolo 1, depositatisi in ambienti pelagici ed emipelagici di bacino, là dove la sedimentazione avveniva per continua decantazione di fanghi carbonatici e silicei, nei settori più prossimali alla Piattaforma Apula (PAVAN & PIRINI, 1966; MARTINIS & PAVAN, 1967; BOSELLINI *et alii*, 1993b; 1999).

La Maiolica affiora prevalentemente fra Vieste e Mattinata, con una successione monotona ed uniforme di micriti fossilifere passanti localmente a biomicriti, quindi è costituita da *mudstone-wackestone* in strati sottili e spessi (10-80 cm) con liste e noduli di selce, frequentemente coinvolti in piegamenti intraformazionali. Le micriti fossilifere presentano una massa di fondo di calcite microcristallina a

grana piuttosto uniforme che talora può includere chiazze più chiare di calcite a grana più grossa ed altre volte può risultare debolmente impregnata di argilla. I resti organici, rappresentati quasi esclusivamente da Radiolari e spicule di Spugne disposti in allineamenti sub paralleli, s'identificano in minuti aggregati granulari di calcite a grana fine-finissima. Spesso gli scheletri silicei sono stati completamente disciolti e se ne riconosce la forma nel contorno di piccolissimi vacuoli. In rari casi i Radiolari sono formati da aggregati di cristalli di quarzo o da sferuliti di calcedonio (MATTAVELLI & PAVAN, 1965). Come è noto, numerosi sono gli orizzonti a *slump* (scivolamenti gravitativi) facilmente individuabili tra gli strati (par. 13.6.1). La stratificazione è netta e regolare, con uno spessore degli strati variabile da pochi cm fino a mezzo metro. Lo spessore della formazione è di 400 m circa, ed in alcune zone raggiunge anche 500 m.

La Scaglia è rappresentata da calcari micritici farinosi a liste e noduli di selce (radiolariti spongolitiche e spongoliti radiolaritiche), con livelli a *slump*, a cui si intercalano strati di marne e calcari marnosi silicizzati. Quando la porzione marnosa è abbondante, la stratificazione diventa più netta e regolare. Lo spessore è di circa 400 m.

Questa formazione geologica affiora prevalentemente fra Rodi Garganico e Vieste. Tra gli affioramenti di Scaglia più spettacolari è da annoverare il "faraglione" di Pizzomunno, uno scoglio, alto circa 27 m, rimasto sulla spiaggia isolato dalla falesia calcarea in seguito al processo di demolizione ad opera del mare, del vento e degli aerosol marini che tuttora hanno effetto sulla morfologia. Non è l'unico esemplare, in questo settore di coste alte e rocciose del Gargano, ma spicca tra gli altri per la valenza scenica e soprattutto per la facile fruibilità; infatti, esso si erge sulla spiaggia del Castello, ai piedi della falesia rocciosa su cui sorge il centro storico di Vieste, in corrispondenza del lungomare meridionale del centro abitato (fig. 13.2).

Tra le due formazioni bacinali localmente si interpone un corpo sedimentario lentiforme, con un massimo spessore di 120 m, costituito da depositi marnosi e da argilliti bituminose laminate (*black shales*) di ambiente anossico, noto con il nome formazionale di Marne a Fucoidi (cap. 1).



Fig. 13.2 - “Faraglione” di Pizzomunno (Vieste), rimasto isolato dalla falesia calcarea in seguito al processo di demolizione ad opera del mare, del vento e degli aerosol marini che tuttora hanno effetto sulla morfologia. Il faraglione è alto circa 27 metri, è interamente modellato nei calcari farinosi di tipo scaglia e su di esso è visibile un chiaro stato di fagliamento.

- The “Faraglione” of Pizzomunno (Vieste), isolated from the limestone cliff due to the process of erosion and weathering by the sea, the wind, and the sea sprays that are still modifying its morphology. Twenty-seven metres high, it is entirely shaped into the “scaglia”-type limestones, and shows an evident fault.

### 13.2.3. - I depositi eocenici di margine e scarpata

Sulla successione di bacino è sovrapposta con giacitura discordante angolare, di tipo trasgressivo, la Formazione di Peschici (Eocene medio; PAVAN & PIRINI, 1966; MARTINIS & PAVAN, 1967; BOSELLINI *et alii*, 1993b) depositatasi in ambiente di margine e scarpata (cap. 1) e attualmente affiorante nella zona costiera tra Peschici e Vieste ed a Sud di Mattinata (fig. 13.1).

La successione eocenica, spesso circa 350 m, è quindi rappresentata da calcareniti e calciruditi (nummuliti ed alveoline, frammenti di coralli, echinidi, crinoidi, molluschi, briozoi, idrozoi ed alghe) ben cementate, clinostratificate o affioranti in bancate massicce, a cui si intercalano calcari organogeni ricchi in coralli, idrozoi, molluschi ed echinidi in posizione di crescita.

### 13.2.4. - I depositi miocenici e plio-pleistocenici di piattaforma aperta

I depositi di piattaforma aperta miocenici e plio-pleistocenici sono in generale eterogenei a causa della complessità del contesto geologico in cui sono depositi. Infatti, la sedimentazione è avvenuta su di un substrato mesozoico, già in parte deformato e dislocato secondo una serie di alti e bassi strutturali formati a seguito delle sollecitazioni orogenetiche appenninico-dinariche (D’ALESSANDRO *et alii*, 1979; CASOLARI *et alii*, 2000; SPALLUTO & PIERI, 2008).

In particolare, la formazione miocenica nota come Calcareniti di Apricena (cap. 1; fig. 13.1) è rappresentata da calcareniti bioclastiche, calcareniti fini e calcisiltiti, con rare intercalazioni di calciruditi bioclastiche e litoclastiche. Trattasi quindi di bio-

micruditi a tessitura packstone e subordinatamente packstone-wackestone, costituite prevalentemente da fossili (Foraminiferi e clasti di macrofossili) a contatto reciproco (con percentuale dei granuli 80÷85%) scarsamente costipati e cementati, e con gli interstizi occupati da micrite e talora anche da glauconite (cemento + matrice 10%, pori < 10%) (REGIONE PUGLIA, 1989). La frazione bioclastica è quindi costituita da frammenti di molluschi, balanidi, coralli, alghe, macroforaminiferi bentonici, echinidi, serpulidi e briozoi mentre quella litoclastica è composta in prevalenza da extraclasti prodotti dall'erosione del substrato mesozoico.

Le rocce plio-pleistoceniche affiorano in piccoli lembi poggiando direttamente sia sulle successioni mesozoiche sia sulle calcareniti mioceniche (cap. 1). Esse sono costituite da calcareniti e calciruditi bioclastiche e litoclastiche a luoghi molto porose e con un grado di cementazione variabile da poco a ben cementato. Esse sono rappresentate da biospariti a tessitura grainstone e secondariamente packstone-grainstone, essendo costituite per lo più da bioclasti (frammenti di macrofossili e Foraminiferi) e in minima percentuale da clasti litici (calcare), quarzo e feldspati cementati da calcite spatica. Localmente sono costituite da biomicrospariti a tessitura packstone-grainstone, con bioclasti preponderanti sugli altri componenti, cementati da sparite e con micrite negli spazi interstiziali; biomicriti a tessitura packstone e, infine, biopelmicriti a tessitura tipo wackestone con bioclasti, pellets e fecal pellets in matrice micritica.

Dal punto di vista genetico, questi depositi plio-pleistocenici corrispondono a due ben distinti cicli sedimentari, verificatisi durante il Pliocene Inferiore e successivamente tra il Pliocene Superiore e il Pleistocene Inferiore. I depositi riferibili al ciclo più antico (Formazione del Lago di Varano) costituiscono un affioramento con area e spessore modesto (qualche metro), localizzato all'apice Nord-occidentale del Lago di Varano. Molto più diffuse, estese e con spessori consistenti (alcune decine di metri) sono le coperture appartenenti al ciclo suprapliocenico-infrapleistocenico (Calcarenite di Gravina), presenti prevalentemente lungo il margine Nord-occidentale e meridionale del rilievo garganico.

### 13.3. – LINEAMENTI TETTONICO-STRUTTURALI

L'assetto strutturale del Gargano è rappresentato da una serie di horst e graben secondari nell'ambito di un unico pilastro tettonico, nel quale predominano fenomeni disgiuntivi rispetto a quelli plicativi (cap. 1). Tale pilastro, asimmetrico, con orientamento E-O e fianco settentrionale più ripido, è articolato da sistemi di faglia ed è impostato su una più antica deformazione antiforme a largo raggio con asse ONO-ESE.

La culminazione di questa struttura tagliata da un sistema di faglie in direzione E-O ed ESE-ONO è localizzata lungo l'allineamento Sannicandro Garganico-San Giovanni Rotondo con asse ONO-ESE e immersione del piano assiale a ONO (RICCHETTI *et alii*, 1988).

L'horst è interessato da un sistema di faglie di tipo distensivo a gradinata che, oltre a delimitarlo sia verso l'Adriatico che verso la piana di Foggia, lo interessano in tutta la sua estensione. Le linee tettoniche sono maggiormente concentrate nel settore meridionale e lungo una fascia che costituisce all'incirca la cerniera dell'anticlinale (BILLI & SALVINI, 2000); nel settore orientale, invece, le faglie sono meno frequenti. In particolare, le molteplici discontinuità tettoniche coinvolgenti l'horst asimmetrico del Promontorio del Gargano (cap. 1) sarebbero riconducibili a tre principali fasi tettoniche: una prima fase risalente al medio-tardo Miocene, una seconda fase afferente al medio-tardo Pliocene e l'ultima al Quaternario. Altresì, una tettonica disgiuntiva dislocò le successioni sedimentarie affioranti in alcuni settori del promontorio anche durante il Mesozoico-Paleogene.

Sebbene la direzione generale delle diverse discontinuità tettoniche sia E-O, essa devia nettamente in direzione NO-SE e/o in direzione NO-SE nei pressi della punta orientale, nella porzione ad Ovest ed anche in quella settentrionale del promontorio. Esplicativa a tal riguardo è la figura 13.3, laddove sono indicati i principali lineamenti tettonici, derivati dall'analisi di foto aeree e dal modello digitale di elevazione del terreno associati ai dati strutturali mesoscopici (e.g., G5-G16; BILLI *et alii* 2007).



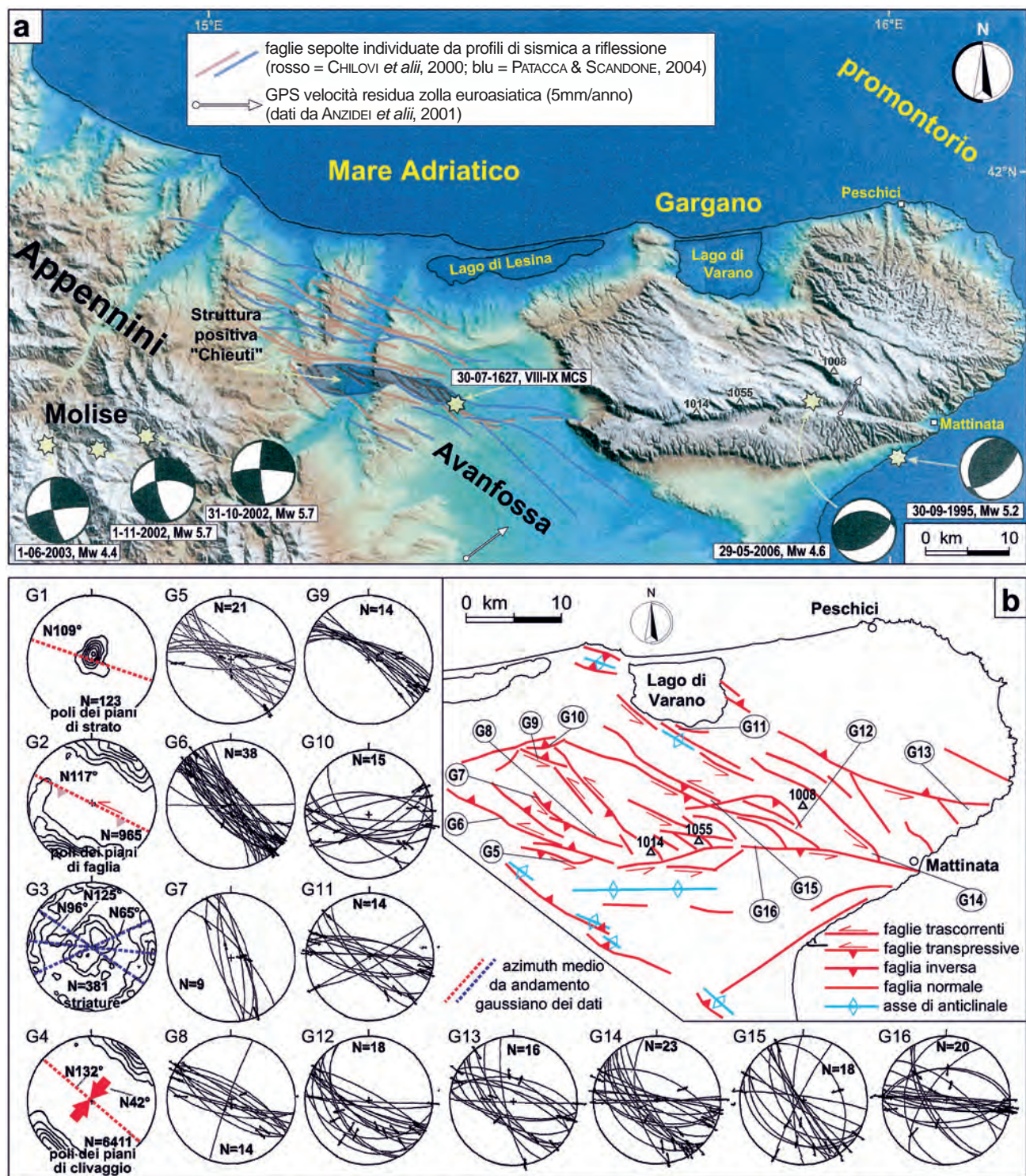


Fig. 13.3 - Tettonica del Promontorio garganico: a) modello digitale d'elevazione del Promontorio con la rappresentazione del prolungamento dei sistemi di faglie dallo stesso verso la fossa Appenninica; b) carta tettonica e relativi dati strutturali rappresentati con i diagrammi di Schmidt (G1-G16) (mod., da BILLI *et alii*, 2007). - *Tectonics of the Gargano Promontory: a) Digital elevation model of the Promontory and representation of the prolongation of the fault systems towards the Apennines; b) tectonic map and structural data represented by means of the Schmidt diagrams (G1-G16) (modified after BILLI *et alii*, 2007).*

Al sistema E-O appartengono diversi allineamenti tettonici, quali la Faglia di Mattinata (fig. 13.4) e quella di Rignano Garganico-Manfredonia (cap. 1). In particolare, la Faglia di Mattinata (o

Faglia della Val Carbonara) è parte della struttura tettonica nota come "Linea Sud Gargano", che, oltre alla suddetta faglia, comprende la struttura "Gondola-Grifone", un elemento morfostruttu-

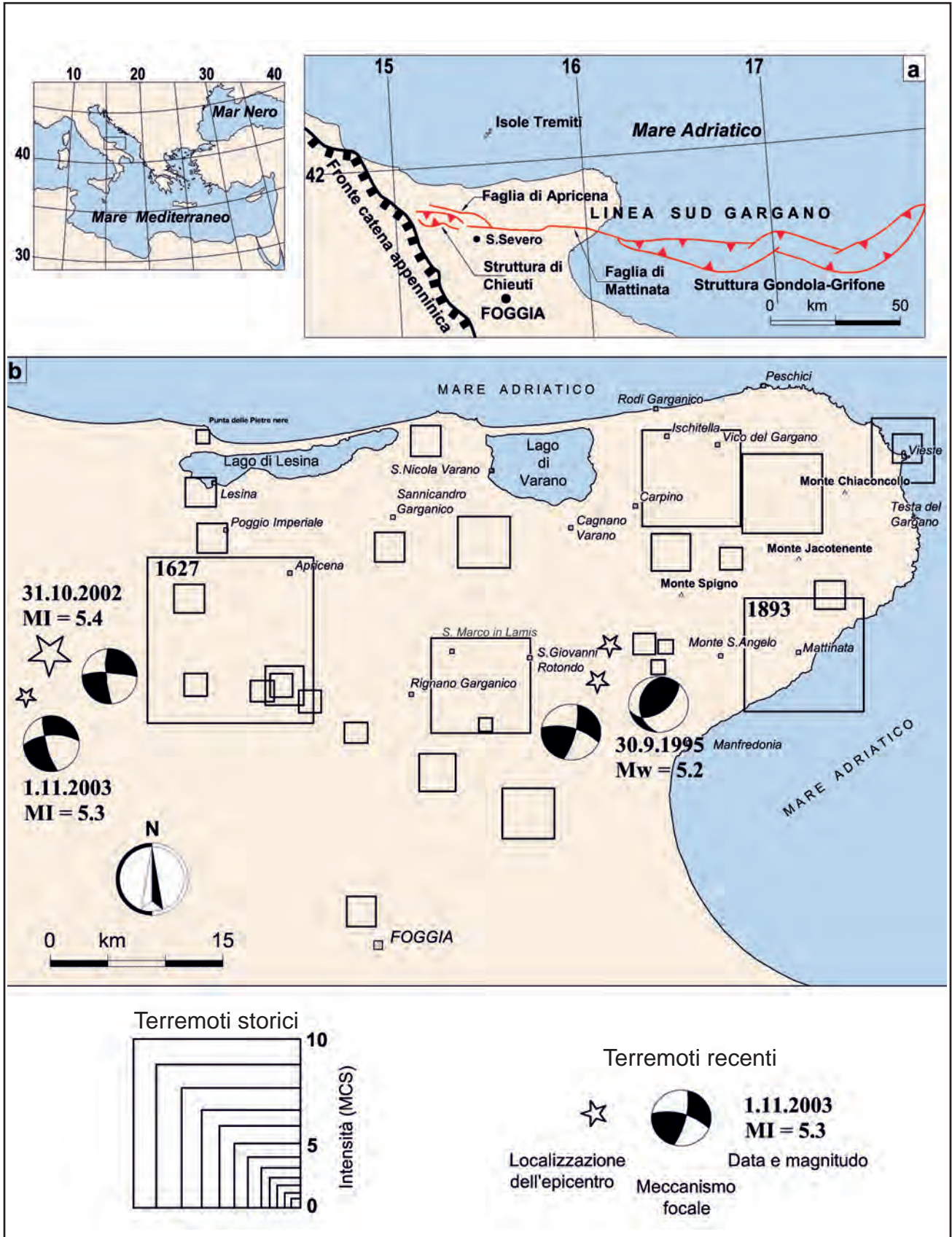


Fig. 13.4 - Sismicità del Promontorio garganico: a) principali strutture tettoniche regionali; b) area garganica con l'indicazione delle principali sismicità (mod., da TONDI *et alii*, 2005).

- Seismicity of the Gargano Promontory: a) main tectonic regional structures; b) main seismic area of Gargano (modified after TONDI *et alii*, 2005).

rale situato a largo del Promontorio del Gargano (DE DOMINICIS & MAZZOLDI, 1987; FINETTI *et alii*, 1987; ARGNANI *et alii*, 1993) e la struttura positiva “Chieuti” posta nell’entroterra (PATACCA & SCANDONE, 2004). A queste discontinuità tettoniche sono ascrivibili alcuni eventi sismici che hanno coinvolto il territorio esaminato, tra cui quello del 30 Giugno 1627 ( $I = Intensity = X$ ;  $Me = Energy Magnitude = 6,7$ ) e quello del 10 Agosto 1893 ( $I = Intensity = VIII$ ;  $Me = Energy Magnitude = 5,4$ ; Baratta 1893). Il terremoto del 1893 colpì l’area nei pressi di Mattinata mentre quello del 1627 interessò un’ampia area nei pressi di San Severo, ove causò almeno 5000 vittime concentrate soprattutto tra Serracapriola, Lesina, San Paolo di Civitate, Apricena, Torremaggiore e San Severo. Un aspetto rilevante dell’evento sismico del 1627 è il fatto che esso fu accompagnato da fenomeni impressionanti quali lo svuotamento per alcune ore del lago di Lesina e un maremoto che si abbatté nella medesima area producendo la sommersione del centro abitato di Lesina (DEL GAUDIO, 2007).

Al sistema NO-SE appartengono una serie di faglie, contraddistinte da scorrimento orizzontale, che dislocano il complesso carbonatico di retroscogliera e di margine della piattaforma apula in alti e bassi strutturali, mentre quello di avanscogliera in una gradinata con immersione a NE. A questo sistema di faglie appartiene la Faglia del Candelaro che segna il netto passaggio dalle pianure del Tavoliere al promontorio garganico.

Al sistema NE-SO, invece, appartengono due importanti lineazioni tettoniche. La prima delimita a SE il rilievo garganico lungo la costa adriatica e corrisponde al tratto terminale di una importante struttura con movimenti di scorrimento verticale e orizzontale, estesa dalla costa tirrenica a quella adriatica (Faglia Sorrento - Manfredonia) con prosecuzione in mare. Localmente, l’originario piano di faglia, arretrato dall’erosione, è messo in evidenza da una scarpata costiera con dislivello intorno al centinaio di metri. La seconda lineazione tettonica estesa tra gli abitati di Apricena e di Sannicandro Garganico, è contrassegnata da una marcata e ripida scarpata, affacciata sulla piana del lago di Lesina.

Infine, in seguito alle diverse vicissitudini tettoniche subite nel corso del tempo dalle formazioni

geologiche costituenti il territorio esaminato, le successioni carbonatiche di retroscogliera e di margine presentano una diffusa fratturazione degli strati, generalmente più intensa e concentrata in corrispondenza dei sistemi di faglia, accompagnata da accentuate variazioni di giacitura. Per contro, le formazioni carbonatico-selcifere di bacino sono meno interessate dai processi di fratturazione, mostrando invece gli effetti di deformazioni plastiche dovute a diffusi fenomeni sinsedimentari di scivolamento gravitativo (par. 13.6).

Quando la porzione marnosa è abbondante nelle successioni calcaree appartenenti alla Scaglia, la stratificazione diventa più netta e regolare; essa si presenta fittamente stratificata ed interessata da pieghe e pieghe-faglie. Al contempo, gli affioramenti carbonatici di Scaglia, dove sono assenti le intercalazioni marnose, sono localmente intensamente fratturati e suddivisi in prismi di piccole dimensioni, sull’ordine del decimetro (COTECCHIA & MAGRI, 1966).

In un siffatto contesto, è facile immaginare come vi sia un forte condizionamento strutturale sul deflusso delle acque sotterranee. Nel settore occidentale del promontorio, laddove sono presenti le più importanti faglie idraulicamente attive, è possibile infatti distinguere zone con peculiari caratteristiche idrodinamiche: area del lago di Lesina, area del lago di Varano, l’area diametralmente opposta tra il Torrente Candelaro e Manfredonia, e la vasta porzione di territorio che si interpone fra esse.

In particolare, nelle zone Sud-orientale del lago di Lesina sono presenti numerose sorgenti concentrate in corrispondenza o immediatamente a valle dei fagliamenti che corrono lungo l’asse Poggio Imperiale-Torre Mileto. La circolazione idrica sotterranea nella porzioni di territorio più interne è invece condizionata dalle faglie presenti nell’intorno di Apricena, soprattutto a direzione antiappenninica.

Lungo le sponde del lago di Varano sono disseminate numerose sorgenti di portata variabile, molte delle quali si ritrovano in corrispondenza o sul prolungamento di lineazioni tettoniche. Questo è il caso del gruppo delle manifestazioni sorgenti presenti nell’area di intersezione della faglia NO-SE di Carpino con le sponde del lago. La valenza idrogeologica di questo elemento strutturale

è altresì evidenziata dalla perdita di carico idraulico della falda a monte di Carpino.

La circolazione idrica sotterranea della zona meridionale è invece controllata dalla faglia del Torrente Candelaro (NO-SE), dalle faglie a direzione appenninica o quelle ad andamento ENE-OSO, presenti nel substrato mesozoico del Tavoliere, dalla faglia E-O di Rignano Garganico, e subordinatamente da quella NE-SO di Siponto.

Nel settore orientale del promontorio, mancando faglie a valenza idraulica, l'ambiente idrogeologico è influenzato solo dallo stato di fratturazione della roccia. Il deflusso della falda e la scarica a mare sono controllati dalla fitta stratificazione delle successioni calcaree ivi affioranti, valorizzata anche da una giacitura spesso favorevole, dato che gli strati immergono verso mare nella direzione di deflusso spontaneo della falda.

#### 13.4. - GEOMORFOLOGIA

La variabilità dei caratteri geologici e l'assetto strutturale hanno influenzato lo sviluppo morfologico del territorio, caratterizzato da un susseguirsi continuo di superfici terrazzate, altopiani, ripide scarpate, rilievi isolati e profonde depressioni.

Il motivo morfologico fondamentale del promontorio garganico è rappresentato da una ampia superficie sommitale subpianeggiante con quote comprese tra gli 800 e i 900 m con culminazione al Monte Calvo (1055 m), contornata da versanti digradanti sia verso il mare sia verso l'entroterra, attraverso una ben evidente gradinata formata da una successione di ripiani diversamente estesi e di scarpate con dislivelli variabili.

Uno dei processi morfogenetici dominante nel territorio garganico è il carsismo, fattore che associato a taluni elementi geologico-strutturali, riveste un ruolo fondamentale nelle modalità di alimentazione, circolazione e deflusso dell'acquifero profondo.

Il fenomeno carsico è diffuso nel Gargano centrale e occidentale, quindi in quasi tutta l'area che si estende a SO della linea congiungente Testa del Gargano con Carpino (fig. 13.5), comprendendo numerose forme carsiche (COTECCHIA & MAGRI, 1966): doline di ogni tipo e dimensione, depressioni, conche, campi carreggiati, campi di pietre,

voragini, valli cieche, inghiottitoi e lapiez (a scanellature, a solchi, a nido di gallina, a spigoli, a punte, ecc.). Non avendo raggiunto il carsismo uno stadio maturo-avanzato, le forme carsiche, come uvale e polje, sono raramente osservabili. Probabilmente l'evoluzione del fenomeno carsico verso uno stadio avanzato è stato interrotto dagli intensi eventi tettonici verificatisi durante il tardo Miocene. Durante questa fase tettonica si ebbe un progressivo smantellamento delle forme carsiche ed un concomitante ringiovanimento morfologico ad opera dell'azione erosiva delle acque di ruscellamento che prevaleva sull'azione di dissoluzione. Non a caso, oltre alle forme carsiche, si osservano depressioni di origine tettonica, anche di notevoli dimensioni, spesso ricoperte al fondo di terre rosse residuali, come il lago di Sant'Egidio (cap. 1).

I fenomeni carsici hanno quasi sempre ampio sviluppo nelle successioni carbonatiche di piattaforma infracretacee, mentre risultano molto meno frequenti o addirittura assenti nelle porzioni calcaree del Cretaceo sup. (COTECCHIA & MAGRI, 1966). In particolare, il carsismo è molto sviluppato nel settore garganico compreso tra Rignano Garganico, Sannicandro Garganico, M. Sant'Angelo e Manfredonia, la cui morfologia è caratterizzata da estesi pianori a doline, e da svariate manifestazioni carsiche epi (valli morte, depressioni, conche, campi carreggiati) ed ipogee (voragini e inghiottitoi).

In particolare, la superficie sommitale del promontorio è attraversata da campi di doline di diverse dimensioni con alto tasso di frequenza e di diffusione, diametro inferiore al centinaio di metri, fondo coperto da depositi residuali e con una densità pari a 105 doline/km<sup>2</sup> (AA.VV., 2010; fig. 13.5). Inoltre, nel settore centrale del Gargano, il carsismo profondo è molto diffuso ed il sviluppo delle diverse cavità carsiche è stato condizionato dalle diverse discontinuità tettoniche che dislocano il promontorio. Tra queste annoveriamo l'Abisso delle Volpi, l'Abisso Cinese e la Grava di Zazzano (GIULIANI, 2000), tutte ricadenti nel territorio di San Marco in Lamis. La prima voragine, profonda 114 m, si è impostata su un sistema di fratture parallele alla principale direttrice tettonica NO-SE presente nell'area. La seconda cavità è una voragine profonda 111 m e lunga 150 m, che drenava parte

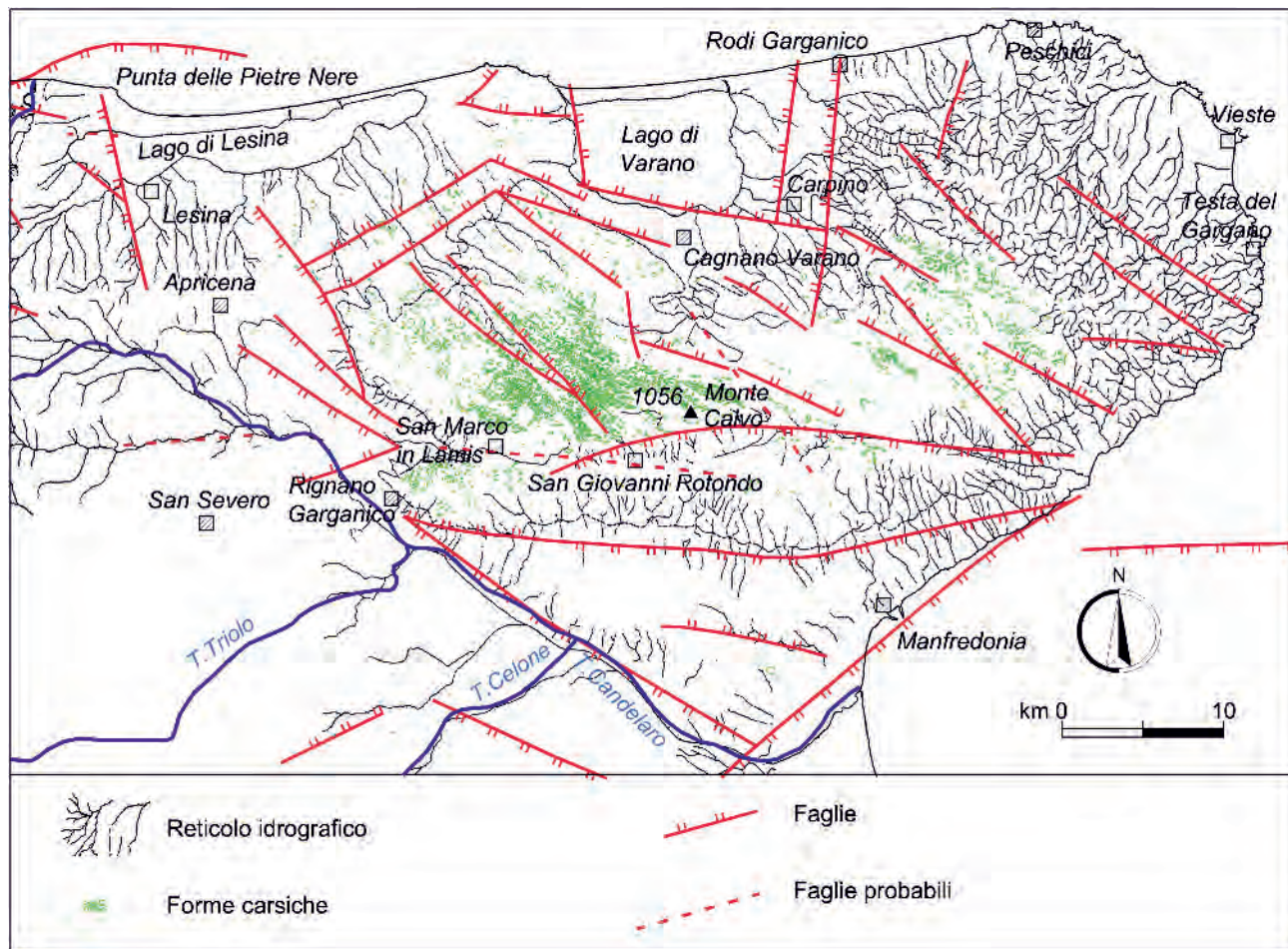


Fig. 13.5 - Aspetti morfologico-strutturali (idrografia superficiale, forme carsiche e faglie principali) che influenzano le modalità di alimentazione dell'acquifero carsico profondo del Gargano.

- Morphological-structural features (surface hydrography, karst landforms and main faults) influencing the recharge of the Gargano deep aquifer.

delle acque provenienti dalla Piana di Montenero. Infine, il tratto iniziale della Grava di Zazzano corrisponde ad un profondo baratro, impostatosi su una faglia a direzione NO-SE, al cui termine è posta una galleria (profonda 105 m e lunga 160 m).

Le aree Nord-orientale e orientale del promontorio invece presentano dei caratteri morfologici molto diversi da quelli dell'area centrale e occidentale. Infatti, in queste aree si osserva un paesaggio maturo caratterizzato da colline dalle forme arrotondate e senza soluzioni di continuità. La ragione è da ricercarsi nella natura dei calcari prevalentemente affioranti in questa zona e alla loro risposta alle sollecitazioni tardo-mioceniche e all'erosione superficiale. Qui affiorano, infatti, soprattutto calcari bianchi a grana fina che, da un lato offrono una scarsa resistenza all'erosione dell'acqua di ruscellamento, dall'altro hanno reagito alle dislocazioni di

origine tettonica formando ondulazioni e pieghe anziché faglie, come accade nella porzione centrale e occidentale del promontorio (COTECCHIA & MAGRI, 1966). In quest'area fanno eccezione i calcari eocenici che affiorano tra Vieste e Peschici che, alle dislocazioni tettoniche hanno risposto formando faglie e fratture sulle quali, inoltre, la dissoluzione carsica ha avuto modo di esplicarsi.

L'intenso sviluppo del fenomeno carsico, associato all'intensa fratturazione delle rocce presenti, conferisce a questo settore le migliori caratteristiche di permeabilità dell'intero promontorio.

Come è noto un'espressione tipica delle aree carsiche è la quasi completa mancanza di idrografia superficiale, come avviene per il Gargano. Laddove abbozzato, il reticolo idrografico locale è fortemente condizionato dall'assetto strutturale, tanto che lo stesso generalmente si imposta lungo linee

di fatturazione tettonica, orientandosi parallelamente ad esse. I versanti presentano una tipica conformazione a gradinata e sono profondamente incisi da solchi erosivi, con basso ordine di gerarchizzazione e disposizione a raggiera con le testate localizzate a margine della superficie più alta del promontorio. Gli alvei di questi solchi sono in prevalenza asciutti, caratterizzati da un regime torrentizio e, in occasione di piogge persistenti, da un abbondante apporto detritico; essi sfociano nelle pianure oppure in mare, dove gli alvei si allargano a ventaglio in ampie piane alluvionali.

Nel settore orientale del promontorio invece, a causa della minore frequenza di forme carsiche e inghiottitoi che caratterizzano le rocce calcaree a liste e noduli di selce, si osserva un maggiore sviluppo dell'idrografia superficiale. La fitta rete idrografica che caratterizza il Gargano orientale è costituita da valli ad andamento radiale, ripide e profondamente incise nelle testate, poco acclivi e svasate nella parte terminale, con netti spartiacque, anch'esse a carattere torrentizio (fig. 13.5).

La morfologia costiera presenta caratteri disuniformi: le coste settentrionali, sabbiose, sono costituite prevalentemente da lunghe spiagge, mentre quelle meridionali, lungo le quali affiorano rocce carbonatiche, sono caratterizzate da ripide scarpate e da grotte carsico-marine.

### 13.5. - IDROGEOLOGIA

Nella potente successione carbonatica giurassico-cretacea del Gargano è presente un vasto acquifero, delimitato a Nord, a NE e a SE dal mare Adriatico, mentre a ovest e, per un breve tratto a Sud-Est, è separato dal Tavoliere da sistemi di faglie tra le quali quella del Candelaro.

La falda profonda del Gargano è quasi ovunque confinata al di sotto del livello marino, ed è sostenuta alla base dall'acqua di mare di intrusione continentale. La circolazione idrica sotterranea si svolge spesso secondo vie preferenziali, con carichi piezometrici che, nelle aree più interne, superano i 50 m s.l.m. e cadenti piezometriche variabili in genere tra 0,1‰ e 7‰ (COTECCHIA & MAGRI, 1966). Lo spessore dell'acquifero risulta essere dell'ordine delle decine di metri presso costa e il tetto dello

stesso presenta bruschi approfondimenti e risalite (COTECCHIA, 2003). Nelle aree più interne la circolazione idrica sotterranea avviene a notevole profondità, anche a 700-800 m dal p.c. (ZEZZA *et alii*, 1996).

Le *facies* carbonatiche presenti alle quote entro cui si esplica la circolazione idrica sotterranea sono in genere molto permeabili per carsismo e fratturazione. In linea generale la permeabilità dell'acquifero è fortemente eterogenea ed anisotropa. I dati disponibili lasciano presumere che nelle rocce sovrastanti l'acquifero e nelle formazioni affioranti si sviluppi un flusso idrico, avente sede in cavità e fratture, prevalentemente verticale, mentre nell'acquifero profondo la circolazione idrica sotterranea abbia direzione principalmente orizzontale.

La circolazione idrica sotterranea è fortemente condizionata dalla tettonica. Numerose sono le faglie del Gargano dotate di valenza idrogeologica, tali da costituire delle linee principali di flusso, lungo le quali le acque sotterranee raggiungono agevolmente la costa. I giunti tettonici condizionano quindi l'ubicazione e la distribuzione della maggior parte delle principali sorgenti (GRASSI & TADOLINI, 1991). Le lineazioni strutturali possono inoltre amplificare le fenomenologie carsiche, determinando porzioni di acquifero a elevata permeabilità.

L'acquifero profondo del Gargano è sicuramente il meno noto, dal punto di vista geologico-strutturale ed idrogeologico, tra gli acquiferi mesozoici regionali, stante la mancanza di dati per ampie porzioni dello stesso. Esso può ritenersi, per alcune zone, del tutto inesplorato. Ciò richiederebbe l'esecuzione di finalizzati accertamenti idrogeologici, anche in vista del possibile utilizzo potabile delle acque sotterranee ivi presenti.

#### 13.5.1. - Permeabilità delle rocce affioranti

In figura 13.6 è riportata una carta schematica della permeabilità delle rocce affioranti del Gargano, determinata sulla base di alcuni fattori geologici ed idrogeologici (litologia, stratificazione, diagenesi, granulometria, carsismo, porosità, fratturazione, cadente piezometrica in relazione all'alimentazione delle acque di falda, ubicazione e

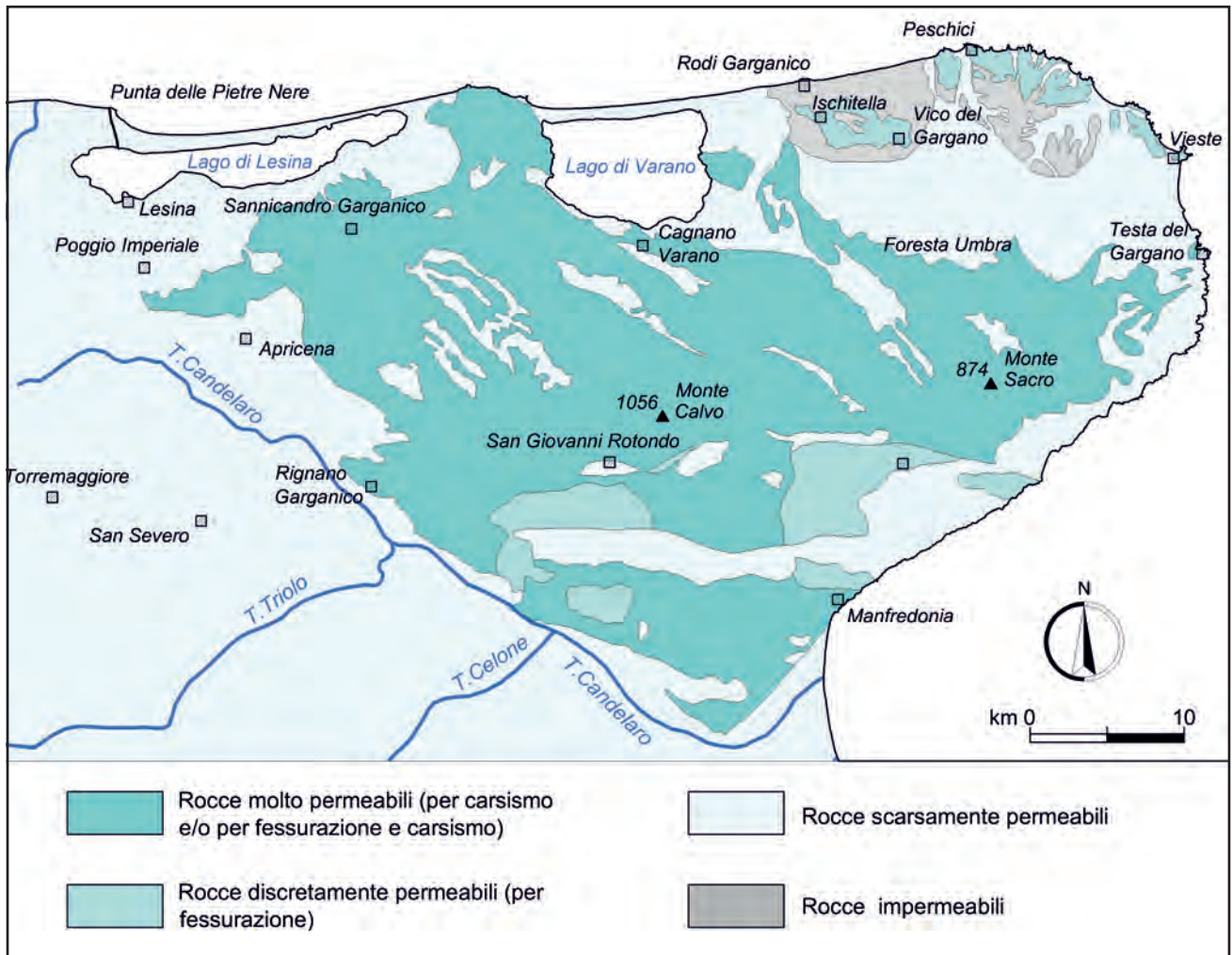


Fig. 13.6 - Carta schematica della permeabilità delle rocce affioranti del Gargano (mod., da COTECCHIA & MAGRI, 1966).  
 - Schematic permeability map of the rock outcrops of Gargano (modified after COTECCHIA & MAGRI, 1966).

portata delle sorgenti costiere, ubicazione e densità della rete idrografica superficiale). Si tratta ovviamente di una distinzione schematica, non avente carattere quantitativo. Da rilevare, inoltre, che il grado di permeabilità intrinseco delle rocce affioranti non necessariamente coincide con la permeabilità determinante per la circolazione idrica sotterranea (COTECCHIA & MAGRI, 1966). La distribuzione sul territorio della permeabilità dei terreni affioranti influisce soprattutto sulle modalità di alimentazione dell'acquifero profondo e di efflusso dello stesso in prossimità della costa e dei laghi.

Le rocce permeabili per porosità, da scarsamente permeabili a impermeabili, sono rappresentate dai terreni quaternari (sabbie delle dune costiere; sabbie più o meno limose o conglomeratiche affioranti ai margini dei laghi di Lesina e di

Varano; breccie calcaree in vario grado cementate dei detriti di falda; depositi alluvionali attuali e recenti che si rinvergono nei pressi di Mattinata e di Carpino; depositi eluviali e colluviali). La filtrazione all'interno di questi terreni avviene principalmente in regime laminare e l'acqua circola generalmente in maniera diffusa.

Le rocce permeabili per fessurazione, discretamente permeabili, si caratterizzano per la presenza di una rete di fessure, non interessate dal fenomeno di dissoluzione carsica, intercomunicanti idraulicamente tra di loro. Ad esse appartengono i calcari di bacino che affiorano nella parte orientale e settentrionale del promontorio, i calcari nocciola e grigio-biancastri a grana finissima che affiorano nei pressi di San Giovanni Rotondo, i calcari organogeni bianchi che affiorano nei pressi di Manfre-

donia e di Vico del Gargano e Ischitella, le calcareniti e brecce calcaree dell'Eocene affioranti tra Peschici e Vieste e a Sud di Mattinata e le calcareniti del Miocene.

Alle rocce permeabili per carsismo è associato un grado di permeabilità elevato. La permeabilità è correlabile all'intenso sviluppo del fenomeno carsico in fessure relativamente poco frequenti. Sono prevalentemente permeabili per carsismo i calcari giurassici affioranti nella fascia compresa fra Monte Sacro e il lago di Varano.

La permeabilità per fessurazione e carsismo è tipica di rocce a stratificazione netta e regolare, intersecate a luoghi da sistemi di fratture sui quali si imposta la dissoluzione carsica. Il grado di permeabilità associato a queste rocce è elevato. Le rocce che presentano queste caratteristiche di permeabilità sono i calcari a grana medio-fine che occupano la parte occidentale del Gargano e le dolomie e calcari dolomitici grigi con selci affioranti tra la Foresta Umbra e Testa del Gargano.

Sono da considerarsi praticamente impermeabili le rocce compatte e con pori non interconnessi idraulicamente. Tra di esse rientrano le calcareniti con intercalazioni argillose del Miocene e le sabbie dei margini del lago di Lesina.

### 13.5.2. - Alimentazione dell'acquifero carbonatico profondo

L'acquifero giurassico-cretacico profondo è alimentato prevalentemente dalle acque meteoriche che si infiltrano in corrispondenza del settore centrale ed occidentale del massiccio garganico, dove affiorano depositi di retroscogliera e di scogliera che, per il ruolo svolto dalla fratturazione e dal carsismo, hanno le maggiori permeabilità (GRASSI & TADOLINI, 1991).

L'area della porzione di territorio in cui le precipitazioni meteoriche alimentano per infiltrazione l'unità idrogeologica del Gargano è poco superiore a circa 1.700 km<sup>2</sup>. Nelle restanti aree invece, le acque di infiltrazione si versano, più o meno direttamente, a mare, nei laghi costieri oppure alimentano acquiferi superficiali, come nel caso dell'acquifero carbonatico di Vico-Ischitella (POLEMIO *et alii*, 2000).

Circa il 65% delle precipitazioni avviene nel semestre ottobre-marzo, periodo in cui sono quindi maggiori i volumi di pioggia ricadenti nel bacino di alimentazione. Inoltre, è possibile rilevare notevoli differenze tra l'altezza media annuale delle piogge nelle località che si trovano al di sotto di 400 m s.l.m. e quella nelle località situate al di sopra di detta quota, soprattutto con riferimento alle aree ove affiorano i terreni maggiormente permeabili (tab. 13.1). Da ciò

Tab. 13.1 - Aree di alimentazione della falda profonda e volumi medi delle piogge annuali e semestrali, in relazione all'altezza e al grado di permeabilità delle rocce affioranti (da COTECCHIA & MAGRI, 1966).

- Contribution areas of deep groundwater and average monthly and six-month rainfalls, in relation to elevation and degree of permeability of the rock outcrops (after COTECCHIA & MAGRI, 1966).

Grado di permeabilità delle rocce affioranti	Superfici delle aree di alimentazione, in kmq			Volumi di pioggia, in milioni di mc (i valori tra parentesi rappresentano le altezze di pioggia, in mm)								
	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione	Piogge annuali			Piogge del semestre Ottobre-Marzo			Piogge del semestre Aprile-Settembre		
				Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione
Molto permeabili	572	367	939	546 (955)	256 (698)	802 (854)	369 (645)	170 (463)	539 (574)	177 (309)	86 (234)	263 (280)
Discretamente permeabili	47	68	115	36 (766)	45 (662)	81 (704)	24 (511)	31 (456)	55 (478)	12 (255)	14 (206)	26 (226)
Scarsamente permeabili	162	497	659	157 (969)	339 (682)	496 (753)	108 (667)	230 (463)	338 (513)	49 (302)	109 (219)	158 (240)
<b>Totali</b>	781	932	1713	739 (946)	640 (687)	1379 (505)	501 (641)	431 (462)	932 (544)	238 (305)	209 (224)	447 (261)



deriva che il contributo più importante all'alimentazione dell'acquifero deriva dalle zone centrali del promontorio, che sostanzialmente racchiudono i rilievi che si elevano a quote superiori a 400 m s.l.m., laddove le precipitazioni, che presentano le massime altezze medie annue, raggiungono il sottosuolo attraverso i diffusi punti di infiltrazione preferenziale di origine carsica. In dette zone l'infiltrazione è favorita anche dalla morfologia del suolo, caratterizzata dall'assenza di un reticolo idrografico superficiale e dalla presenza di forme carsiche di superficie ed a sviluppo verticale.

COTECCHIA & MAGRI (1966), hanno effettuato una stima del volume di infiltrazione del promontorio cercando di tener conto anche dei contributi minori, relativi cioè a quei volumi di precipitazione che cadono sulle aree in cui affiorano terreni a grado di permeabilità discreto o scarso (tab. 13.2). La stima, eseguita sulla base di ipotesi credibili circa i coefficienti di assorbimento delle rocce affioranti, ha fornito un valore di volume infiltrato pari 453,3 Mm<sup>3</sup>, di cui 239,9 e 110,5 sono relativi a piogge del semestre ottobre-marzo ricadenti su rocce molto permeabili ed affioranti rispettivamente a quote superiori e inferiori a 400 m s.l.m.. Compresi fra 7,2 e 23 Mm<sup>3</sup> sono i volumi d'acqua che si infiltrano, sempre nel semestre ottobre-

marzo, in corrispondenza degli affioramenti discretamente permeabili o scarsamente permeabili, che diventano trascurabili nel semestre aprile-settembre. All'epoca in cui veniva condotte dette valutazioni erano trascurabili gli attingimenti dalla falda profonda del Gargano, per cui fu possibile determinare il deflusso medio annuale di detta falda verso mare, pari a circa 14 m<sup>3</sup>/s.

### 13.5.3. - Permeabilità dell'acquifero carbonatico profondo

Le rocce carbonatiche giurassico-cretaciche costituenti l'acquifero profondo del Gargano sono permeabili per carsismo e fratturazione. L'elevata eterogeneità ed anisotropia dei caratteri di permeabilità dell'acquifero richiederebbe, per la sua caratterizzazione idraulica, l'esecuzione di numerosi accertamenti, purtroppo non disponibili. Da ciò discende l'impossibilità di eseguire una descrizione di dettaglio dei caratteri di permeabilità di dette rocce, estesamente influenzati da motivi tettonici spesso non adeguatamente noti. La carta recante la distribuzione del coefficiente di permeabilità riportata in tavola 3 (fig. 13.7) e determinata con i criteri illustrati nel capitolo 2, è quindi da ritenersi solo orientativa, in quanto determinata sulla base di prove di portata eseguita su un esiguo numero di pozzo.

Tab. 13.2 - *Assorbimenti annuali delle piogge in rapporto al grado di permeabilità delle rocce affioranti (da COTECCHIA & MAGRI, 1966).*

- Year absorption of rainfall in relation to the permeability degree of the rock outcrops (after COTECCHIA & MAGRI, 1966).

Grado di permeabilità delle rocce affioranti	Volumi di pioggia in milioni di mc			Coefficienti di assorbimento %	Assorbimenti in milioni di mc		
	Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione		Aree a quota superiore alla isoipsa di m 400	Aree a quota inferiore alla isoipsa di m 400	Bacino di alimentazione
Molto permeabili (*)	369	170	539	65	239,9	110,5	350,4
(**)	177	86	263	20	35,4	17,2	52,5
Discretamente permeabili (*)	24	31	55	30	7,2	9,3	16,5
Scarsamente permeabile (*)	108	230	338	10	10,8	23	33,8
<b>Totali</b>	678	517	1195		293,3	160	453,3

(\*) valori relativi al semestre ottobre-marzo  
(\*\*) valori relativi al semestre aprile-settembre

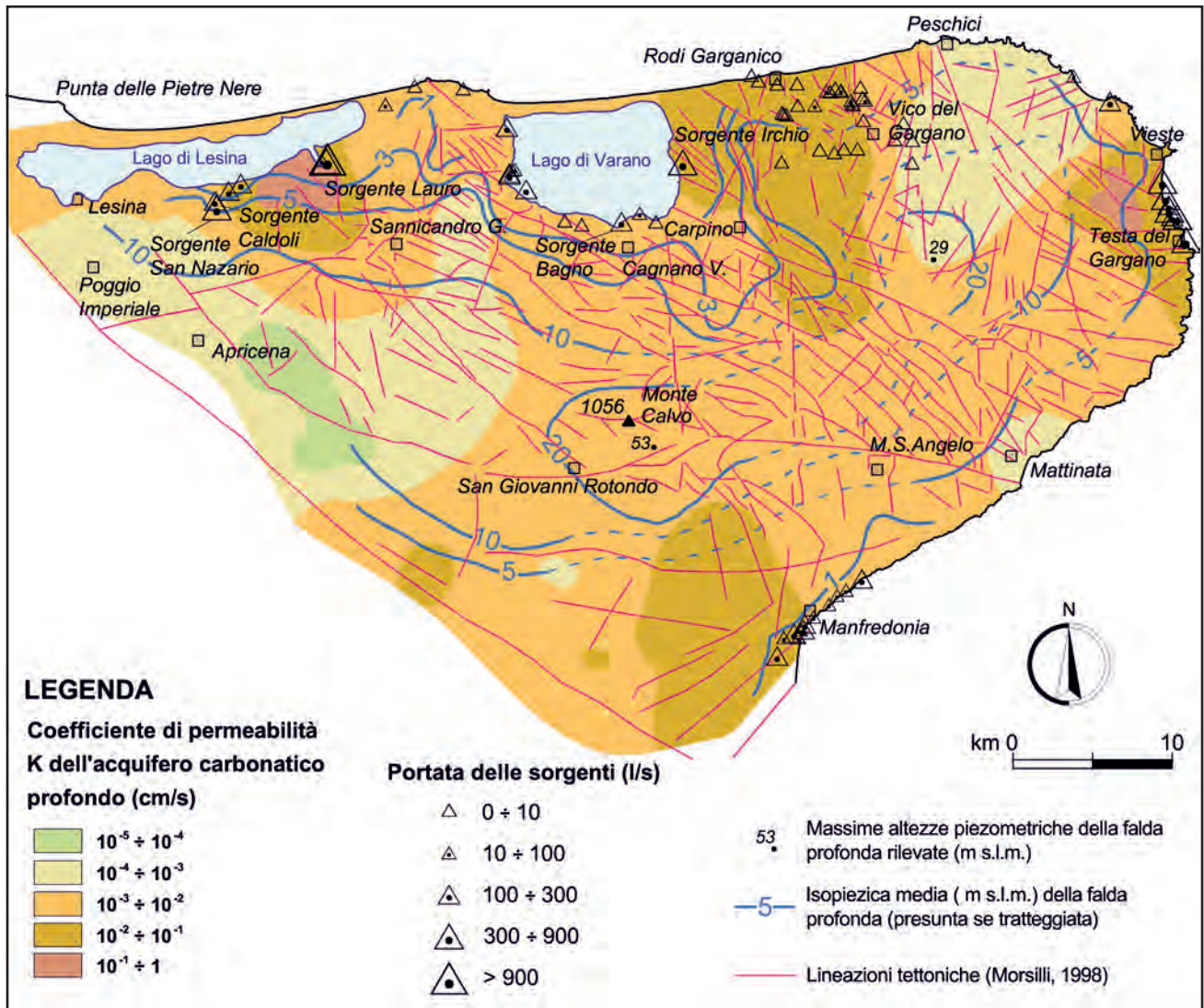


Fig. 13.7 - Distribuzione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero profondo del Gargano, isopieziche, sorgenti della falda e lineazioni tettoniche desunte da immagine satellitare Landsat TM, queste ultime tratte da MORSILLI, 1998.

- Distribution of the permeability coefficient of the Gargano deep aquifer, isopiezic lines, groundwater springs and tectonic lineations obtained from satellite images (Landsat TM). The latter are drawn from MORSILLI, 1998.

Il coefficiente di permeabilità dell'acquifero carbonatico profondo del Gargano assume valori compresi fra  $10^{-5}$  e  $1$  cm/s (fig. 13.7), con valori minimi registrati in prossimità di Apricena e valori massimi in alcune aree costiere, ove in genere si osserva la presenza di manifestazioni sorgentizie. Valori elevati del coefficiente di permeabilità sono stati registrati, in particolare, in alcune aree circostanti i laghi di Lesina e Varano. L'elevata permeabilità dell'acquifero in dette aree è confermata dalla presenza di numerose e cospicue sorgenti ai margini degli specchi d'acqua citati, così come accade anche per le aree costiere a Sud di Vieste ed in prossimità di Manfredonia. In corrispondenza del

lago di Varano, ad esempio, si registrano i massimi valori del coefficiente di permeabilità proprio in corrispondenza della sorgente Irchio (cap. 4). Va poi osservato che tra i due laghi è presente una zona a bassa permeabilità in cui ricade lo spartiacque idrogeologico sotterraneo che separa le porzioni di acquifero alimentanti il lago Lesina da quelle che alimentano il lago di Varano.

Lungo le fasce costiere che si sviluppano da Manfredonia a Testa del Gargano, e da Vieste a Rodi Garganico, le rocce carbonatiche sono poco permeabili e ciò è confermato dalla quasi assenza di sorgenti degne di rilievo. In particolare, nel tratto di costa compreso fra Testa del Gargano e Matti-

nata il deflusso delle acque è ostacolato dalla presenza di calcari micritici di tipo maiolica su cui sono addossati talora depositi olocenici.

Un aspetto di notevole rilevanza, riscontrato piuttosto diffusamente nel Gargano, è l'esistenza di notevoli spessori di rocce carbonatiche caratterizzati da bassa permeabilità, i quali costringono le acque sotterranee a circolare in pressione a quote inferiori al livello mare.

La mancanza di dati per le zone centrali del promontorio non consente di stabilire con certezza l'entità e distribuzione della permeabilità che caratterizza l'acquifero carbonatico profondo. I pochi dati disponibili indicano valori del coefficiente di permeabilità variabili tra  $10^{-3}$  e  $10^{-2}$  cm/s.

Nella zona compresa tra Rodi Garganico e Vico del Gargano rappresenta una porzione ove la mancanza di dati complica non poco la deduzione della permeabilità dell'acquifero. In questa porzione del promontorio è presente, in quota ( $>100$  m s.l.m.), la falda idrica carbonatica di Vico del Gargano e Ischitella, avente sede nella formazione di Monte S. Angelo, discretamente permeabile per fratturazione; il livello di base di detta falda è rappresentato dai calcari bianchi a grana fina con selci e interstrati marnosi del Cretaceo sup., scarsamente permeabili. Al contatto tra le due formazioni sgorgano in quota le sorgenti di Vico-Ischitella, con una portata media complessiva di 150 l/s (COTECCHIA & MAGRI, 1966). Detta falda non è interessata dal fenomeno dell'intrusione marina, considerata l'altitudine entro cui si presenta il suo livello di base. I coefficienti di permeabilità calcolati, per detta area, sulla base di pochi e discontinui dati, sono risultati compresi tra  $10^{-2}$  e  $10^{-1}$  cm/s (fig. 13.7). Va però osservato che non sempre dalle stratigrafie dei pozzi è stato possibile distinguere l'acquifero carbonatico sostenuto alla base da rocce poco permeabili da quello profondo sostenuto alla base da acqua di mare di intrusione continentale. Lo studio della permeabilità di quest'ultimo, e più in generale della circolazione idrica sotterranea profonda di detta area, richiede evidentemente studi più approfonditi.

Nel tratto di costa che va dall'estremità orientale del lago di Varano fino a Peschici ed oltre, ove sono presenti calcari tipo scaglia, la permeabilità assume dei valori relativamente bassi ( $10^{-4}$  e  $10^{-3}$  cm/s).

#### 13.5.4. - *Caratteristiche generali della circolazione idrica sotterranea e condizionamenti determinati dalle lineazioni tettoniche*

La circolazione idrica sotterranea nel Gargano si esplica prevalentemente attraverso direttrici di deflusso e livelli idrici preferenziali variamente distribuiti in profondità. Questo fenomeno va collegato, oltre che alla coesistenza di facies a diverso grado di fratturazione e carsismo e alle oscillazioni che il livello medio marino ha avuto rispetto alla terraferma a partire dall'emersione del promontorio stesso (COTECCHIA, 2003), anche alla presenza di disturbi tettonici. Questi, determinando lo stato di fratturazione della roccia, influenzano la profondità dell'acquifero, le direttrici e le modalità di deflusso della falda, l'ubicazione delle sorgenti costiere, comprese quelle ascendenti sottomarine, l'entità degli efflussi a mare, nonché i rapporti fra le acque di falda e quelle di mare di intrusione continentale. Del resto non è privo di significato il fatto che nel Gargano siano state individuate più sorgenti ascendenti che nell'intera Piattaforma Apula (COTECCHIA, 2003). Dall'analisi della distribuzione spaziale delle lineazioni tettoniche desunte da immagine satellitare Landsat TM (MORSILLI, 1998; fig. 13.7), è stato possibile riscontrare, in quei casi in cui la completezza dei dati idrogeologici lo consentiva, come gli efflussi a mare e la circolazione idrica sotterranea siano effettivamente dipendenti dal posizionamento e dall'orientamento di tali discontinuità. A prescindere dalle ipotesi formazionali delle lineazioni tettoniche, è noto come tali discontinuità delle rocce possano spesso costituire vie preferenziali per lo sviluppo del carsismo e della circolazione idrica. Il fatto che le sorgenti costiere e le polle garganiche siano raggruppate lungo limitati e ben definiti tratti di costa, sta a dimostrare che i deflussi a mare tendono a convogliarsi prevalentemente lungo vie d'acqua preferenziali, coincidenti appunto con lineazioni tettoniche.

Va tuttavia sottolineato che non sempre è possibile avere informazioni sul grado di attività idraulica delle discontinuità tettoniche note, che alle volte risultano occluse da materiali impermeabili. In ogni caso, come di seguito verrà illustrato, l'analisi congiunta della piezometria della falda, della distribu-

zione del coefficiente di permeabilità dell'acquifero e della posizione dei lineamenti tettonici e delle sorgenti, può fornire interessanti informazioni sul ruolo assunto da dette discontinuità sulla circolazione idrica sotterranea.

Si nota come le manifestazioni sorgentizie di maggior rilevanza si sviluppano spesso in concomitanza di lineamenti tettonici pressoché normali alla linea di costa o comunque paralleli alla direzione di flusso della falda, come ad esempio accade nelle aree dei laghi di Lesina e di Varano e lungo la fascia costiera orientale del promontorio presso Vieste. Ad esempio, la sorgente Lauro ( $Q_{\max} \approx 1300$  l/s) nei pressi del lago di Lesina, le sorgenti Irchio ( $Q_{\max} \approx 700$  l/s) e Bagno ( $Q_{\max} \approx 300$  l/s) emergenti sulle sponde Est e Sud del lago di Varano e il gruppo sorgentizio a Sud di Vieste, tra cui la Caruso ( $Q_{\max} \approx 400$  l/s), sono ubicate in corrispondenza di lineazioni tettoniche che presentano una direzione quasi ortogonale alla costa ed alle linee isopieziche della falda.

I dati disponibili hanno inoltre consentito di rilevare come spesso l'orientamento relativo esistente tra i sistemi di faglie e le linee di flusso condiziona la permeabilità dell'acquifero. Le maggiori cadenti piezometriche, indicanti una ridotta permeabilità dell'acquifero, vengono infatti spesso misurate ove le linee di flusso risultano sensibilmente ortogonali alle lineazioni tettoniche, come accade sulla sponda Ovest del lago di Varano (fig. 13.7). Viceversa, si rileva spesso una notevole permeabilità ove le lineazioni tettoniche sono parallele alle linee di flusso, come accade a SE del Lago di Varano. Qui, infatti, è presente un fitto sistema di faglie orientato in direzione NO-SE, circa parallelo alla direzione del flusso, e ciò determina un notevole arretramento delle isopieziche 3-5 m s.l.m. e riduzione della cadente piezometrica. Anche in corrispondenza della sorgente Lauro si osserva un incremento di permeabilità dell'acquifero, concorde alle cospicue portate delle sorgenti Lauro, Irchio e Caruso (tav. 4 f.t.; fig. 13.7).

Quanto sinora evidenziato necessiterebbe di ulteriori approfondimenti. La distribuzione dei valori del coefficiente di permeabilità e l'andamento delle isopieziche rappresentano infatti il risultato di interpolazioni lineari, nel caso in esame fortemente

dipendenti dalla posizione e densità dei pozzi ove dette grandezze sono note. La forte eterogeneità dell'acquifero richiederebbe un numero di pozzi molto maggiore di quello disponibile. Va infine considerato che la forte anisotropia dei caratteri di permeabilità dell'acquifero, determinata dalla massiccia presenza di lineazioni tettoniche, rende complessa la ricostruzione del reticolo di flusso, e ciò in quanto in dette condizioni le linee isopieziche possono non essere ortogonali alle linee di flusso (BEAR, 1979; COTECCHIA *et alii*, 2007).

#### 13.5.5. – *Piezometria della falda profonda*

La distribuzione delle altezze piezometriche della falda profonda è condizionata dalla variabilità dei caratteri di permeabilità dell'acquifero (fig. 13.7). Le porzioni di acquifero caratterizzate da maggior permeabilità determinano infatti un arretramento delle isopieziche, consentendo così di individuare le zone a maggior drenaggio, che si presentano in genere a monte delle sorgenti costiere (sponde Sud-orientali del lago di Lesina, sponde orientali del lago di Varano, litorale tra Vieste e Testa del Gargano e nella zona di Manfredonia-Siponto).

Le massime altezze piezometriche sono state misurate nel settore centrale dell'acquifero. In particolare, in corrispondenza del pozzo 1 CV vengono misurati carichi piezometrici dell'ordine di 50 m s.l.m. (figg. 13.7 e 13.8). A partire dal settore centrale, la circolazione idrica sotterranea si svolge poi radialmente ed è diretta verso la costa.

Il luogo dei punti della falda aventi altezza piezometrica nulla non coincide sempre con la linea di costa, come in genere osservato anche nell'altre aree idrogeologiche regionali. Ad esempio, presso il lago di Varano, il luogo dei punti estremi dell'interfaccia teorica acqua dolce - acqua di mare (cap. 2), si rinviene in mare. Detto lago rappresenta infatti una vasta cicatrice di origine tettonica drenante la falda principale, dove i calcari acquiferi di base sono ricoperti di sedimenti scarsamente permeabili che determinano al contempo il confinamento della falda. Al centro dell'Isola di Varano, ossia dell'istmo idrogeologicamente a valle del lago, le acque della falda profonda presentano un'altezza piezometrica di circa 50 cm sullo zero I.G.M. Tale



Fig. 13.8 - Ubicazione delle opere di captazione citate nel testo.  
- Location of the tapping works mentioned in the text.

situazione rende ragione delle numerose polle che bordano le sponde del lago di Varano (COTECCHIA & MAGRI, 1966).

Nell'area Nord-occidentale, a monte del lago di Lesina, le acque che si infiltrano a Nord di Apricena, ove la falda presenta altezze piezometriche superiori a 10 m s.l.m., si dirigono verso le sponde centro-orientali del lago, e ciò grazie al minor spessore dei terreni scarsamente permeabili post-cretacei qui presenti (fig. 13.7). Si osservano infatti, in queste zone, sorgenti ascendenti o di trabocco al contatto fra detti terreni e gli affioramenti delle successioni di piattaforma, come la sorgente San Nazario e la sorgente Caldoli (cap. 4).

Nell'area centro-settentrionale, a valle dello spartiacque principale che asseconda l'asse longitudinale dell'horst garganico, le isopieziche subiscono un forte arretramento prima di disporsi parallelamente alle sponde del lago di Varano. Ciò indica il notevole drenaggio operato dalle porzioni di acquifero qui presenti, caratterizzate da notevole permeabilità.

Nell'area Nord-orientale del promontorio, ove tra l'altro è ubicata la falda di Vico – Ischitella, si dispone di pochi dati sulla piezometria della falda.

Tra Vieste e Testa del Gargano, le acque della falda profonda scorrono nei calcari dolomitici grigi molto permeabili fino al mare; la fascia di calcari bianchi scarsamente permeabili che separa dal mare i calcari dolomitici grigi non impedisce l'efflusso delle acque di falda.

Nel tratto di costa compreso fra Testa del Gargano e Mattinata, ove si dispone di pochi e discontinui dati piezometrici, il deflusso delle acque è limitato dalla presenza di calcari micritici di tipo maiolica su cui sono addossati talora depositi olocenici, e ciò determina la quasi assenza di manifestazioni sorgentizie. In detta area non sono disponibili dati piezometrici in prossimità della costa e non è nota la modalità con cui si ha il riversamento a mare delle acque di falda.

In prossimità di Manfredonia, la presenza di numerose sorgenti su un vasto fronte fa sì che le linee

isopieziche si dispongano parallelamente alla costa.

L'idrogeologia dell'area meridionale e Sud-occidentale del promontorio è influenzata dalla presenza della faglia che corre lungo il corso del torrente Candelaro. In effetti, sia le isopieziche della falda profonda del Gargano (fig. 13.7) sia quelle della falda superficiale del Tavoliere (tav. 4 f.t.) sono pressoché parallele alla faglia, indicando quindi un flusso idrico sotterraneo diretta verso di essa (cap. 14). I dati disponibili non consentono tuttavia di analizzare quantitativamente l'effetto di detta faglia sulla circolazione idrica sotterranea sia del Gargano sia del Tavoliere.

Spostandosi verso Apricena, la distribuzione dei carichi piezometrici è poco nota, sebbene si possa affermare che le altezze piezometriche della falda superficiale del Tavoliere sono più elevate rispetto a quelle della falda profonda del Gargano e che nel contempo le due falde non dovrebbero essere in comunicazione idraulica, stante la bassa permeabilità dei calcari cretacei della zona. Si tratta di calcari bianchi a grana fina con selci e rari interstrati marnosi e con intercalazioni di calcari bianchi a grana medio grossa e di calcari detritici (COTECCHIA & MAGRI, 1966).

### 13.5.6 – Sorgenti

Abbiamo visto che il deflusso a mare dell'acquifero carbonatico nel Gargano avviene, per quanto noto, lungo definiti tratti di costa ed è fortemente condizionato dai caratteri di permeabilità dell'acquifero e dalla presenza di linee tettoniche attive idraulicamente. In relazione alle locali condizioni geologico-strutturali ed idrogeologiche, le sorgenti note, per la cui dettagliata illustrazione di si rimanda al capitolo 4, sono di diversa tipologia: di emergenza, di trabocco per sbarramento e sottomarine ascendenti.

La portata media complessiva delle "sorgenti visibili" alimentate dalla falda profonda del Gargano è di circa 5 m<sup>3</sup>/s, senza tener conto della portata delle polle, certamente non trascurabile. Rispetto al deflusso medio annuale della falda principale verso il mare (dell'ordine di 14 m<sup>3</sup>/s; par. 13.6.2), risulta quindi considerevole la portata media complessiva delle sorgenti note, tanto da in-

fluenzare certamente l'uniforme deflusso a mare delle acque di falda (COTECCHIA & MAGRI, 1966). Va inoltre osservato che la portata di acqua di falda che defluisce in mare è costituita in parte da acqua di mare che si è ad essa mescolata durante il flusso sotterraneo. A titolo orientativo, assumendo un deflusso medio annuale della falda principale verso il mare pari a 14 m<sup>3</sup>/s con una salinità media di 5 g/l, si ha che 2 m<sup>3</sup>/s sono costituiti da acqua di mare; altrettanta acqua marina deve affluire dal mare verso il promontorio.

### 13.5.7. - Temperatura delle acque di falda e di sorgente

Durante gli anni '60 furono eseguite misure di temperatura (COTECCHIA & MAGRI, 1966) delle acque di falda e di sorgente che, per quanto non eseguite sistematicamente e per un periodo sufficientemente lungo, consentirono di fare interessanti considerazioni sulle variazioni di temperatura con la profondità nelle aree costiere e in quelle interne e sui rapporti tra la temperatura delle acque di falda e quelle di sorgente. Nelle acque sotterranee delle diverse zone del promontorio furono riscontrati valori di temperatura notevolmente diversi. Detto studio evidenziò valori di temperatura delle acque di falda in prossimità del tetto dell'acquifero variabili tra 14°C (Carpino) e 26°C (SE di Monte Granata), mentre le acque di sorgente variabili tra 14°C (sorgenti del lago di Varano) e 27°C (sorgente S. Nazario). Differenze considerevoli di temperatura sono state osservate anche fra punti della falda relativamente vicini.

Particolare è il caso della sorgente San Nazario, le cui acque sorgive sono caratterizzate da elevata temperatura (24-27 °C) in tutte le stagioni dell'anno e da un contenuto salino relativamente basso (2,5 g/l). I dati geologici e idrogeologici indicano che le acque di questa sorgente provengono da livelli acquiferi molto profondi, circa 2000 m, del basamento carbonatico mesozoico.

MAGGIORE & PAGLIARULO (2004), evidenziano che poco più a ovest di dette scaturigini la temperatura delle acque nel substrato carbonatico al di sotto dei depositi plio-pleistocenici della copertura, raggiunge i 42°C, mentre alcuni chilometri più ad ovest, in corrispondenza del fiume Fortore, si re-

gistrano valori fino a 55,6°C in un pozzo che si attesta nel substrato preplioceno a una profondità di circa 550 m.

È noto che significativi incrementi di temperatura delle acque sotterranee rispetto alla temperatura media annuale dell'aria possono essere dovuti a reazioni chimiche esotermiche (ossidazione di mineralizzazioni a pirite e a petrolio, idratazione dell'anidrite, ecc.). Gli incrementi di temperatura osservati nelle acque del Gargano occidentale (20 - 26°C contro i 14,4°C della temperatura media annuale dell'aria) sono però troppo forti per essere imputati a reazioni chimiche esotermiche; è invece più probabile che valori tanto alti di temperatura siano dovuti a gradienti geotermici elevati. L'osservazione è convalidata dal forte gradiente termico (m 13 - 18) misurato nelle acque dei pozzi nn. 39, 40 e 42, tutti ubicati in prossimità della faglia del T. Candelaro (COTECCHIA & MAGRI, 1966; figg. 13.8 e 13.9).

Un gradiente geotermico elevato nelle rocce calcaree e dolomitiche, rocce a gradiente geotermico generalmente basso, si potrebbe spiegare con l'esistenza di masse magmatiche in via di raffreddamento situate a profondità relativamente modeste. In effetti, sono noti affioramenti di rocce ignee alla Punta delle Pietre Nere (lago di Lesina) (par. 13.6.2) e alla Masseria S. Giovanni in Pane (Apricena). Inoltre, i risultati di indagini geofisiche nel Gargano hanno messo in evidenza che le anomalie gravimetriche precisano il prolungamento verso il basso delle faglie e gradoni visibili in superficie. Le anomalie magnetiche rivelano inoltre una risalita cospicua del materiale magmatico lungo le faglie in corrispondenza del lago di Lesina. L'entità dell'anomalia e dei gradienti di faglia denoterebbe inoltre che l'equilibrio è instabile. Questo viene confermato dalla sismicità, che indica l'instabilità ed i conseguenti moti di assestamento sul fianco meridionale ed occidentale. Le analisi chimiche delle acque non hanno rivelato peraltro la presenza di elementi indicanti una circolazione idrica a contatto con acque juvenili. Va però segnalato che alcuni studi mostrano concentrazioni fortemente anomale di Radon nelle acque di sorgenti della zona di Testa del Gargano, a non grande distanza da un debole massimo magnetico e dal cospicuo massimo di una

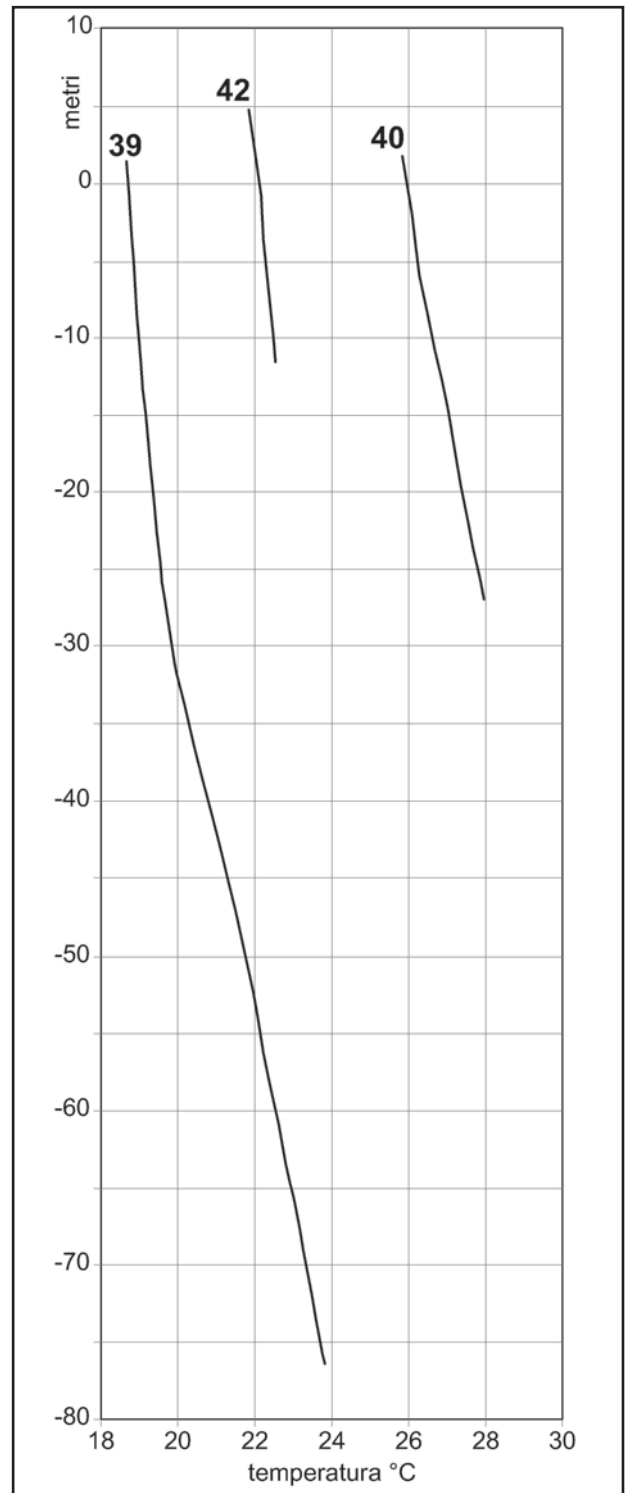


Fig. 13.9 - Variazione della temperatura con la profondità nelle acque sotterranee rilevate nei pozzi 39, 40 e 42 ubicati in figura 13.8 (mod., da COTECCHIA & MAGRI, 1966).

- Temperature changes with groundwater depth measured in the wells 39, 40 and 42 (location shown in figure 13.8; modified after COTECCHIA & MAGRI, 1966).

grande anomalia gravimetrica positiva, "indice di un avvicinarsi alla superficie di materiale molto denso" (COTECCHIA & MAGRI, 1966).

L'elevata temperatura delle acque sorgive può essere giustificata se si considera che la rapida risalita delle stesse attraverso discontinuità tettoniche verticali consentirebbe di mantenere pressoché inalterato il proprio contenuto termico fino al momento in cui queste si miscelano con le acque sotterranee più fredde e di recente infiltrazione provenienti dal massiccio carbonatico del Gargano (MAGGIORE & MONGELLI, 1991).

### 13.5.8. - *Concentrazione salina delle acque sotterranee*

L'acquifero profondo del Gargano è estesamente interessato dall'intrusione marina nel continente, che condiziona i caratteri qualitativi delle acque di falda. Le acque dolci di falda galleggiano su acqua di mare. Dalle acque dolci si passa a quelle marine intruse nel continente attraverso una zona di transizione, il cui spessore è variabile in relazione alle caratteristiche idrogeologiche degli acquiferi, di alimentazione degli stessi e delle variazioni del livello mare. Significative variazioni di salinità possono aversi anche per le acque dolci di falda soprastanti la zona di transizione. In dette condizioni la falda di acqua dolce presenta generalmente una concentrazione salina variabile con la profondità.

#### 13.5.8.1. - Distribuzione areale della concentrazione salina delle acque di falda

Al fine di illustrare lo stato qualitativo delle acque della falda profonda si sono considerati tre livelli di falda, aventi profondità e spessore funzione del carico piezometrico  $h$ , secondo la metodologia già illustrata nel capitolo 3. In figura 13.10 sono rappresentate le distribuzioni della concentrazione salina media, per i vari livelli di falda considerati, determinata a partire dai dati acquisiti nel periodo 2007-2010 nell'ambito del Progetto Tiziano. Va tuttavia evidenziato che in talune aree si dispone di pochi dati, come accade al centro del Gargano ed in alcune aree costiere. Al centro del Gargano la distribuzione della concentrazione salina è stata determinata per interpolazione, per cui è da ritenersi solo orientativa. Nelle aree costiere ove vi è assenza di dati la concentrazione salina non è stata rappresentata.

Il livello A della falda, ossia quello presente tra il tetto dell'acquifero ed una profondità dalla superficie piezometrica pari a  $10 h$ , presenta una concentrazione salina variabile in relazione alla distanza dalla costa. Nelle porzioni centrali del Gargano si presentano valori di concentrazione salina in genere inferiori  $0,5 \text{ g/l}$  anche per profondità dal livello statico pari a  $200 \text{ m}$ . Proseguendo verso la costa, nelle zone ove si dispone di dati, si registra un incremento della concentrazione salina, la quale raggiunge valori dell'ordine di  $1 - 5 \text{ g/l}$ . In prossimità delle sponde orientali del lago di Lesina la concentrazione salina è superiore al  $\text{g/l}$  con valori massimi ( $2,5-5 \text{ g/l}$ ) fra i laghi di Lesina e Varano. Nei pressi dei pianori a doline di Sannicandro Garganico dove avviene l'infiltrazione delle acque meteoriche, che poi defluiscono direttamente verso le sponde centrali del lago di Lesina, la concentrazione salina diminuisce verso valori compresi fra  $0,5$  e  $1 \text{ g/l}$ . Nell'area di Apricena si ha una concentrazione salina del livello A compresa tra  $0,5$  e  $1 \text{ g/l}$ . Lungo le sponde centro-occidentali del lago di Varano si osservano concentrazioni saline comprese fra  $1$  e  $2,5 \text{ g/l}$ ; spostandosi verso le sponde centrali e orientali si osserva una sua riduzione ( $0,5-1 \text{ g/l}$ ).

Nell'area di Vieste si osserva una concentrazione salina delle acque sotterranee appartenenti al livello A inferiore a  $0,5 \text{ g/l}$ , anche se detta circostanza sarebbe da confermare sulla base di un numero maggiore di dati. Nell'area meridionale del Gargano le acque sotterranee subiscono invece una contaminazione marina più diffusa, con concentrazioni saline comprese fra  $1$  e  $2,5 \text{ g/l}$ .

Passando ad esaminare i livelli di falda più profondi (B, C e D), si rileva una sostanziale assenza di dati. È possibile tuttavia rilevare un generale incremento della concentrazione salina già per il livello di falda B, il quale si spinge sino ad una profondità dalla superficie piezometrica pari a  $20 h$ , dunque inferiore a quella dell'interfaccia teorica prevista dalla relazione di Ghyben - Herzberg. Ciò evidenzia che, in generale, la falda di acqua dolce presenta incrementi di concentrazione salina già per profondità inferiori a quelle della zona di transizione.



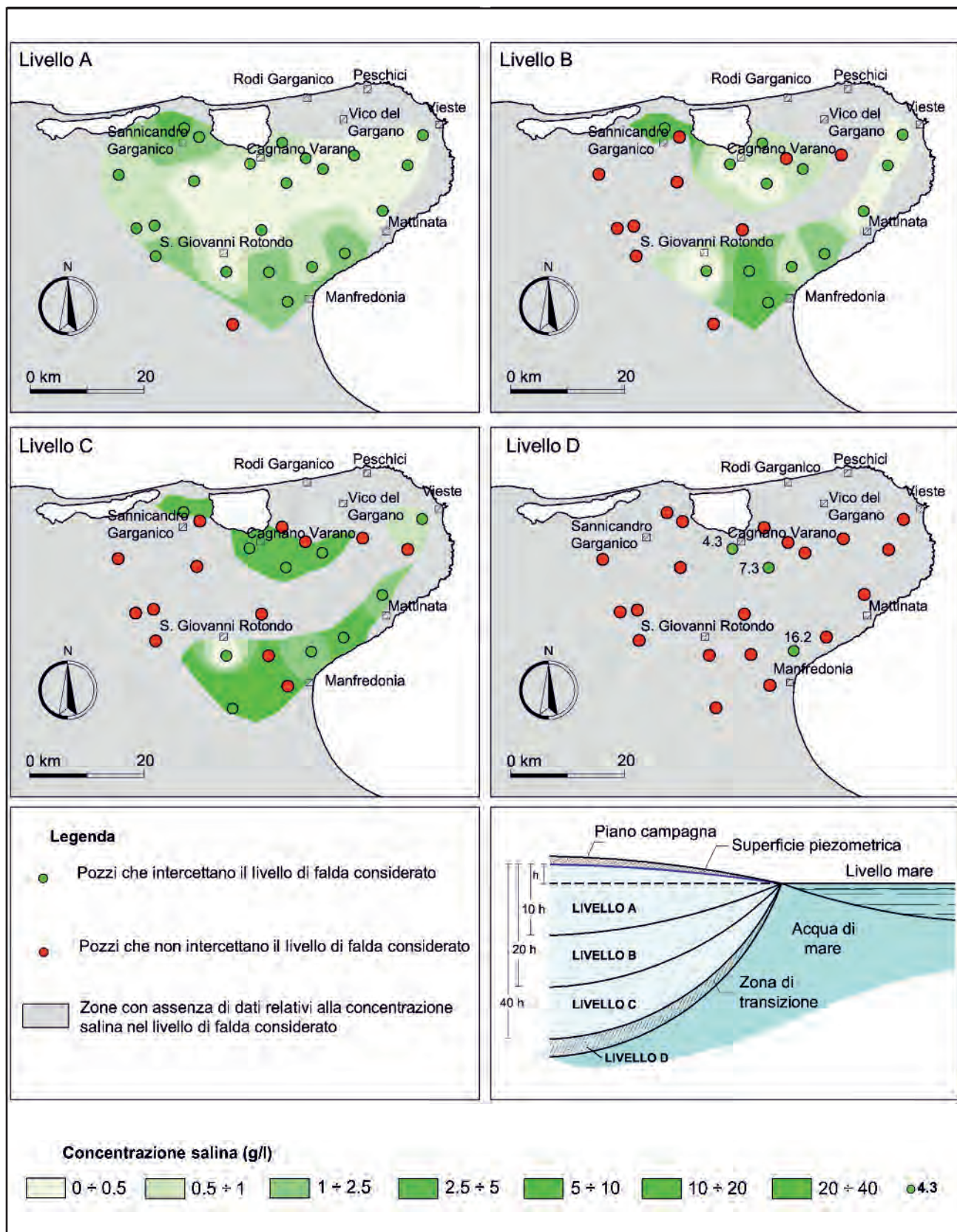


Fig. 13.10 - Distribuzione della concentrazione salina delle acque della falda idrica profonda del Gargano nel periodo 2007÷2010, determinata sui livelli di falda (A, B, C e D) di profondità e spessore funzione della quota piezometrica.

- Salt concentration distribution of the Gargano deep groundwater in the period 2007÷2010, determined at the groundwater levels (A, B, C and D) at increasing depths as a function of the piezometric head.

### 13.5.8.2. – Stratificazione salina delle acque di falda e sua variazione nel tempo

Per alcuni pozzi variamente distribuiti nel territorio del Gargano e penetranti nell'acquifero carbonatico profondo si dispone di profili di salinità, eseguiti in varie epoche, dai quali è possibile ottenere informazioni riguardanti l'evoluzione della concentrazione salina con la profondità. Trattasi tuttavia di pozzi presentanti profondità tale da non penetrare nelle acque marine presenti alla base della falda, e ciò determina l'impossibilità di analizzare le condizioni di equilibrio acqua dolce – acqua di mare. A tal riguardo va sottolineato che allo stato

attuale non è possibile stabilire la corretta geometria della falda dolce in quanto, per ampie zone del Gargano, non è nota la posizione della zona di transizione. È necessario a tal riguardo condurre approfondimenti idrogeologici, anche al fine di stabilire le effettive potenzialità idriche di detto acquifero e quindi la sua possibilità di utilizzo.

Per il pozzo 2 CV situato tra il lago di Lesina e il lago di Varano (fig. 13.8), presentante un'altezza piezometrica pari a 1,64 m s.l.m. (08/05/1996), si dispone di profili di salinità eseguiti nel periodo 1996-2010 (fig. 13.11). La concentrazione salina delle acque di falda in detto pozzo è pari a 3-4 g/l e si mantiene grossomodo costante per tutto lo

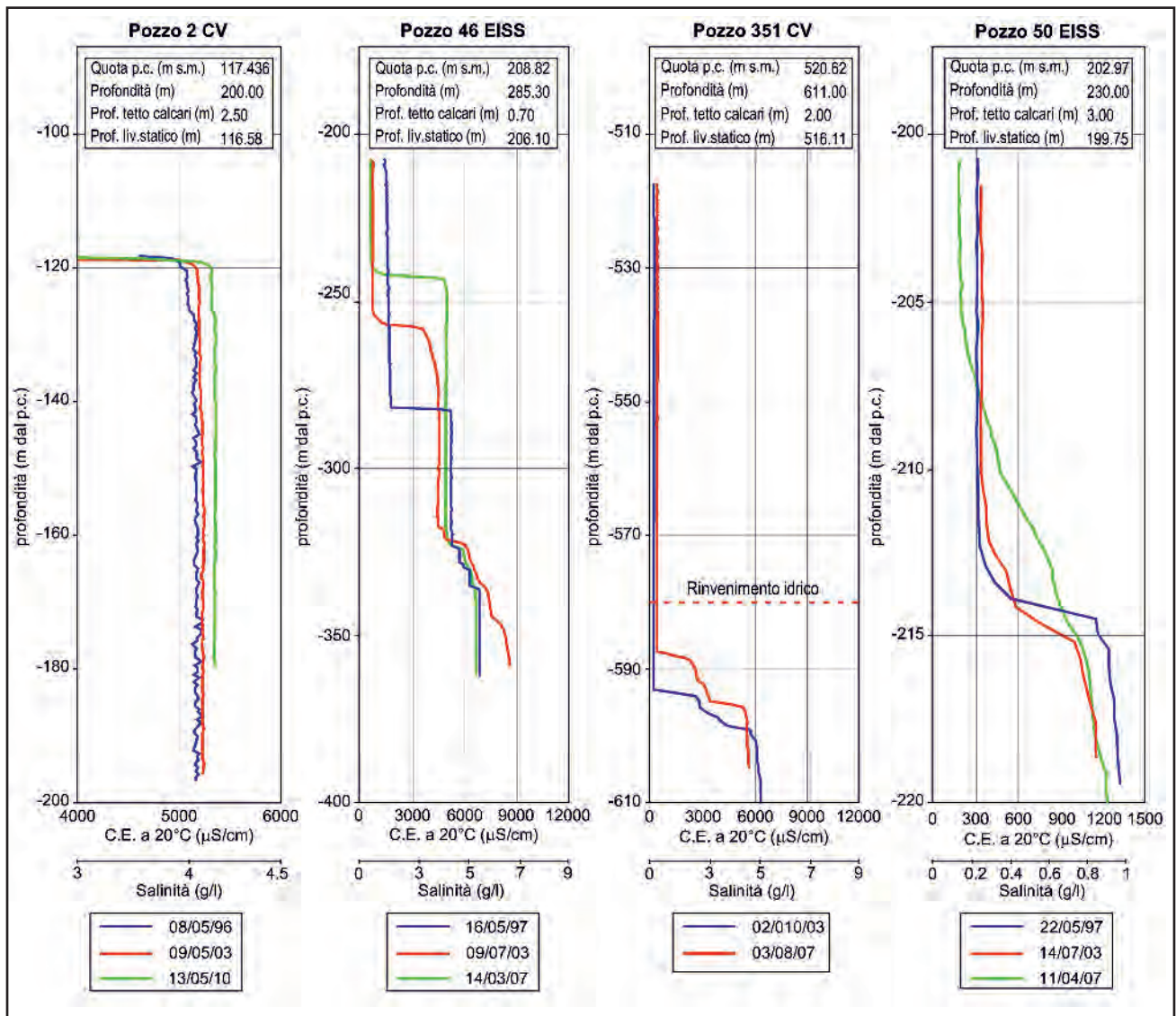


Fig. 13.11 - Profili salinometrici nei pozzi 2 CV, 46 EISS, 351 CV e 50 EISS nel periodo 1996÷2010 ubicati in fig. 13.8.

- Salinity profiles in wells 2 CV, 46 EISS, 351 CV and 50 EISS in the period 1996÷2010 (location shown in fig. 13.8).

spessore investigato, pari a circa 80 m. La concentrazione salina è risultata dunque elevata già per le porzioni di falda più superficiali, e ciò a causa della vicinanza di detto pozzo dalla costa. In detto pozzo si rileva un progressivo incremento di concentrazione salina nel periodo di osservazione.

Nel pozzo 46 EISS, sito a monte del lago di Varano (fig. 13.8), è presente uno spessore di alcuni decine di metri di falda di acqua dolce caratterizzata da modesti contenuti salini (fig. 13.11). Nel 1997 detto spessore era pari a circa 90 m, mentre per profondità maggiori si osservava un brusco incremento di concentrazione salina, sino a valori dell'ordine di 3-4 g/l. Le indagini eseguite nel 2003 e nel 2007, hanno evidenziato una notevole riduzione dello spessore di falda di acqua dolce, dell'ordine di 50 m, determinato dalla risalita del gradino osservato nel log salinometrico. Il degrado qualitativo è confermato da quello quantitativo. Per detto pozzo è stata infatti osservata una riduzione di altezza piezometrica tra il 1997 (3,3 m s.l.m.) ed il 2007 (1,7 m s.l.m.).

Un incremento di concentrazione salina rilevante è stato misurato anche nei pozzi 351 CV e 50 EISS, entrambi ubicati in prossimità del lago di Varano (figg. 13.8 e 13.11).

I tendenziali aumenti della concentrazione salina lungo le verticali dei pozzi esaminati e l'osservata diminuzione del carico piezometrico, in particolare modo per il pozzo 46 EISS, potrebbero essere conseguenza del sovrasfruttamento delle acque di falda nella zona del lago di Varano. Ciò pare confermato anche dal fatto che è presente un significativo numero di pozzi per km<sup>2</sup> (10-20) lungo le sponde orientali del lago con punte di 20-50 pozzi/km<sup>2</sup> (fig. 13.12).

Nel tratto di costa compreso fra Testa del Gargano e Mattinata è presente il pozzo 807 EIARI (fig. 13.8) nel quale è stata misurata un'altezza piezometrica della falda pari a 3,3 m s.l.m. La concentrazione salina si mantiene costantemente intorno ai 0,7 g/l (2003) fino a circa -66 m s.l.m., per poi aumentare sino a 5g/l a -93 m s.l.m. (fig. 13.13). Detto pozzo non evidenzia significative variazioni delle caratte-

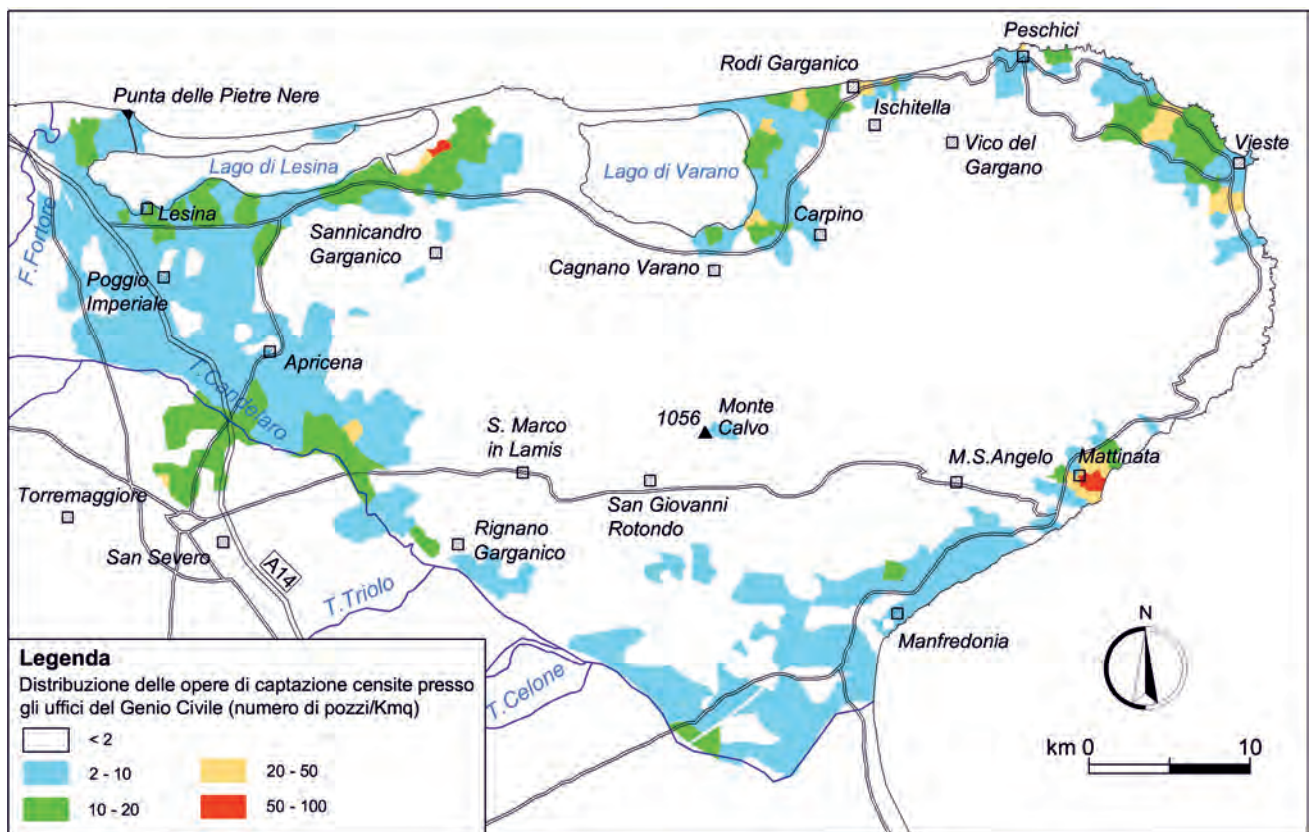


Fig. 13.12 - Carta della densità delle opere di captazione censite presso gli uffici tecnici dei geni civili della Regione Puglia nell'area idrogeologica del Gargano (REGIONE PUGLIA, Piano di Tutela delle acque, 2009).

- Density map of the wells inventoried by the technical offices of Civil Engineers of Regione Puglia in the hydrogeological area of Gargano (REGIONE PUGLIA, Piano di Tutela delle acque, 2009).

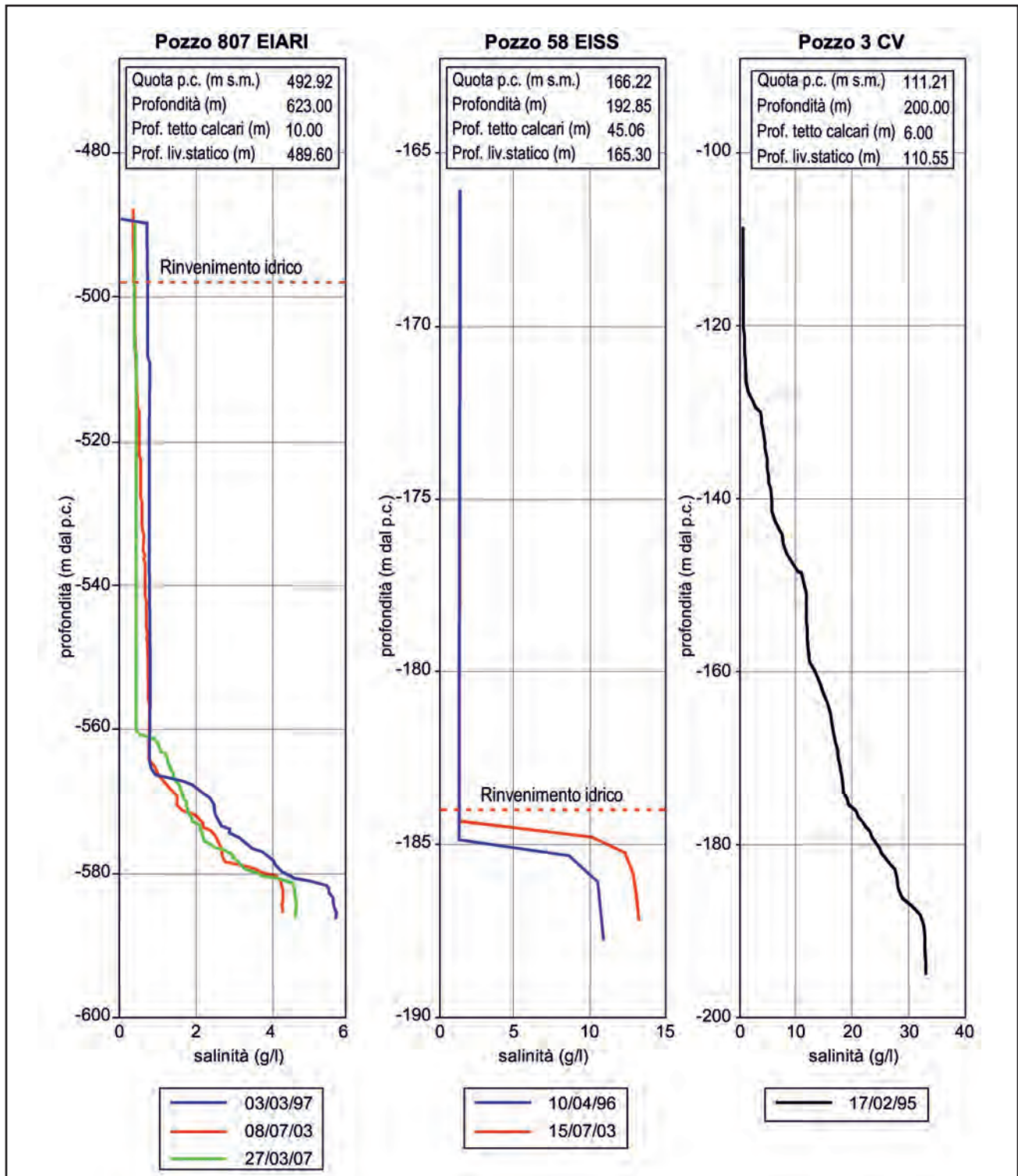


Fig. 13.13 - Profili verticali della salinità nei pozzi 807 EIARI, 58 EISS e 3 CV nel periodo 1995÷2007 ubicati in fig. 13.8.  
- Vertical salinity profiles in wells 807 EIARI, 58 EISS and 3 CV in the period 1995÷2007 (location shown in fig. 13.8).

ristiche qualitative della falda nel tempo.

Il pozzo 58 EISS, ubicato fra Mattinata e Manfredonia (fig. 13.8), ha presentato una concentrazione salina pari a circa 1-2 g/l sino a -20 m s.l.m. circa. Per profondità maggiori si è riscontrato un

incremento di salinità in pochi metri, con concentrazione salina massima pari circa 13,5 g/l (2003). I due log salinometrici disponibili indicano un lieve sollevamento delle isoaline presenti alle massime profondità investigate.

Il pozzo 3 CV, ubicato in prossimità di Manfredonia (fig. 13.8), ha fornito un carico piezometrico pari a 2,45 m s.l.m. nel 1995, data in cui è stato eseguito anche un profilo salinometrico. Quest'ultimo ha indicato l'esistenza di un esiguo spessore di falda presentante una concentrazione salina pari a circa 0,6 g/l e poi un progressivo incremento della stessa, la quale raggiunge il valore 32 g/l ad una profondità pari a circa -85 m s.l.m. (fig. 13.13).

### 13.5.9. - Chimismo delle acque sotterranee

Il chimismo delle acque sotterranee contenute nell'acquifero profondo è stato analizzato attraverso circa 150 campioni d'acqua, prelevati da pozzi variamente distribuiti sul territorio garganico, sia in condizioni statiche sia dinamiche (fig. 13.14). Sulla base dei risultati di determinazioni

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

L'analisi è stata eseguita suddividendo il territorio in aree geografiche ognuna delle quali presentante un chimismo delle acque sotterranee influenzato in maniera grossomodo omogenea dall'acqua di mare. Per ogni area si riportano, ove noti, anche i valori di concentrazione dei nitriti e dei ni-

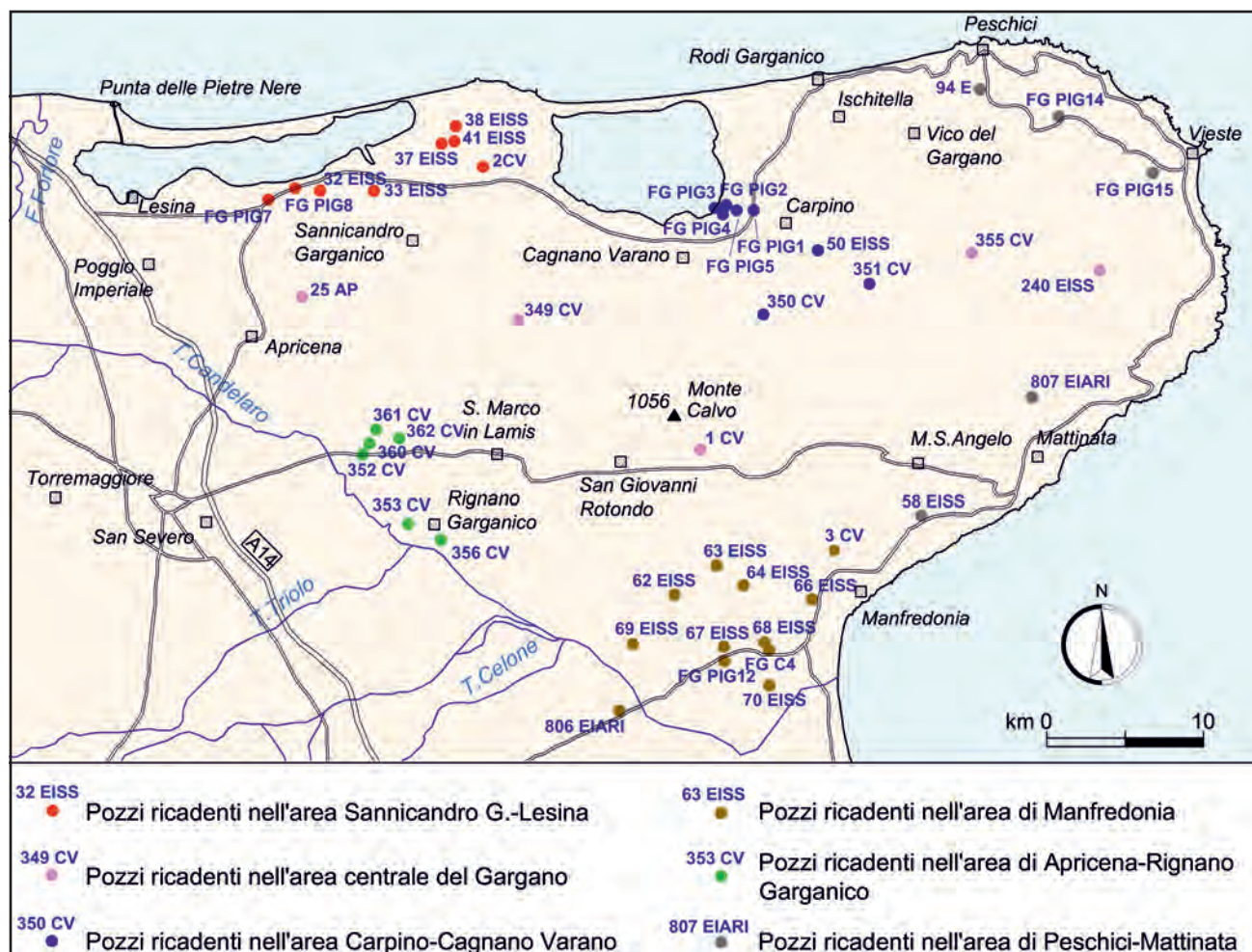


Fig. 13.14 - Planimetria con ubicazione dei pozzi esaminati nell'analisi del chimismo delle acque sotterranee dell'area idrogeologica del Gargano.  
- Plan showing the location of the wells examined for analysis of the groundwater chemistry of the Gargano hydrogeological area.

trati determinati sui campioni d'acqua, e ciò al fine di fornire indicazioni generali sulla possibile presenza di inquinamento antropico.

Va sottolineato che nei casi in cui l'analisi chimica è stata eseguita su campioni dinamici a causa dell'assenza o del numero limitato di prelievi statici, essa è da considerarsi orientativa in quanto influenzata dal fenomeno del *salt-water upconing*, e quindi dalle caratteristiche dimensionali del pozzo e dall'entità e durata del pompaggio che ha preceduto il campionamento dinamico. Detta influenza sarà analizzata nel paragrafo 13.5.10.

#### *Area "centrale"*

Nell'area centrale del Gargano (fig. 13.14), ove si registrano le massime altezze piezometriche della falda, si dispone di campionamenti statici eseguiti in 4 pozzi, sino a profondità massima dal livello mare pari a 100 metri (fig. 13.15a; tabb. 13.3÷13.5). Le acque campionate sono risultate di tipo bicarbonato-alcalino-terrose ( $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} \approx \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{Na}^+ > \text{K}^+$ ). In quest'area risultano sostanzialmente assenti fenomeni di contaminazione salina: sia i diagrammi di Schoeller che i rapporti caratteristici sono prossimi a quelli della sorgente Canneto (figg. 13.15a, 13.16).

Nei pozzi 25 AP e 1 CV si registra un aumento della concentrazione dei nitrati nel tempo. Nel pozzo 25 AP la concentrazione dei nitrati è passata da 3 mg/l a 16 mg/l in circa 10 anni, mentre per il pozzo 1 CV si passa da circa 10 mg/l a 60 mg/l, superando quindi il limite normativo per le acque potabili di 50 mg/l (D.Lgs. 31/2001 e s.m.i.). È evidente la necessità di procedere a maggior accertamenti al fine di comprendere il motivo di detto incremento, probabilmente da attribuire allo svolgimento di attività antropiche inquinanti in superficie, che determina il degrado di acque sotterranee all'origine di ottima qualità.

#### *Area di "Sannicandro G.-Lesina"*

Nell'area di Sannicandro Garganico – Lesina (fig. 13.14) si registrano altezze piezometriche in genere inferiori a 5 m s.l.m. Il chimismo delle acque sotterranee è stato analizzato a partire da campionamenti dinamici a causa dell'assenza di prelievi eseguiti in condizioni statiche (figg. 13.15b e 13.6; tabb. 13.6, 13.7).

Ad eccezione del pozzo 37 EISS, nel quale è

stato misurato un TDS superiore a circa 15 g/l in un campione dinamico prelevato dopo 8 ore di pompaggio, nei restanti campioni si è riscontrata una concentrazione salina compresa fra i 2 e 3 g/l. Le acque di falda di questa zona presentano un chimismo significativamente influenzato dalla contaminazione salina, come dimostrato dai diagrammi di Schoeller e dai rapporti caratteristici (figg. 13.15b e 13.6). Le percentuali di miscelamento fra acqua dolce di falda ed acqua di mare sono risultate variabili da 5% a 40%, con limite superiore determinato per il citato pozzo 37 EISS, e l'acqua di falda risulta essere di tipo cloruro-sodica ( $\text{Cl}^- > \text{CO}_3^{2-} > \text{SO}_4^{2-} \approx \text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , mentre per il solo pozzo 37 EISS è risultato  $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-} > \text{CO}_3^{2-} \approx \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ ).

Fatta eccezione per il pozzo FG\_PIG8, laddove le concentrazioni dei nitrati sono risultate molto elevate (70-127 mg/l), per i restanti campioni d'acqua sono presenti concentrazioni inferiori ai 10 mg/l.

#### *Area di "Carpino-Cagnano Varano"*

Nell'area di Carpino – Cagnano Varano (fig. 13.14), ove si registrano altezze piezometriche massime dell'ordine di 4 m s.l.m., il chimismo delle acque sotterranee è risultato fortemente influenzato dalla presenza di acqua di mare alla base dell'acquifero, e ciò a causa della vicinanza con il lago di Varano, come indicato sia dai diagrammi di Schoeller (fig. 13.15c) sia dai rapporti caratteristici (fig. 13.16). Fanno eccezione i campionamenti statici eseguiti al tetto dell'acquifero, i quali hanno fornito una concentrazione salina bassa, anche inferiore a 0,2 g/l (tabb. 13.8 – 13.10), e rapporti caratteristici tipici di acque di falda non contaminate dal mare. Si fa osservare che tutti i campionamenti dinamici hanno fornito una concentrazione salina molto superiore a quella rilevata dai campioni statici al *top* dell'acquifero, e ciò indica la difficoltà di prelevare le acque meno contaminate presenti in superficie attraverso i pozzi, senza determinare il mescolamento con le acque più salate presenti in profondità.

Per la maggior parte dei campioni è risultato  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , con *facies* chimica di tipo cloruro sodica. Fanno eccezione i pozzi FG\_PIG1 (mag-08), FG\_PIG5 (ott-07 e ott-08), 50 EISS (nov-08), 351 CV (ott-03), FG\_PIG4 (ott-08, mag-08, mag-09), FG\_PIG2 (ott-08, mag-08), per i

quali si è riscontrato  $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ .

In alcuni casi si verificano notevoli variazioni del chimismo delle acque sotterranee nel tempo. Nella maggior parte dei casi non è possibile stabilire se detta circostanza è da imputare al sovrasfruttamento della falda o al *salt-water upconing*. Il pozzo FG\_PIG5, ad esempio, ha fornito campionamenti dinamici con TDS variabili nel periodo di osservazione (ottobre 2007-maggio 2009) tra circa 0,6 e 2 g/l. Non è tuttavia nota la portata di emungimento e la durata del pompaggio che ha preceduto detti campionamenti.

Si registrano anche in questa area concentrazioni di nitrati elevate (105 mg/l per il pozzo FG\_PIG5).

#### *Area "Peschici-Mattinata"*

Nell'area di Peschici – Mattinata (fig. 13.14), ove si registrano altezze piezometriche in genere inferiori a 5 m s.l.m., il chimismo delle acque sotterranee è ovunque influenzato dalla presenza di acqua di mare alla base dell'acquifero, anche se con entità differente da punto a punto, in relazione alla variabilità di condizioni di permeabilità che si verificano presso costa (figg. 13.15d e 13.16; tabb. 13.11, 13.12). Per la maggior parte dei campioni analizzati è risultato  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , con *faces chimica* cloruro sodica. Fanno eccezione i pozzi FG\_PIG14 (ott-08), FG\_PIG15 (ott-07, mag-08 e mag-09), 807 EIARI (giu-97, lug-03), per i quali si riscontra  $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , con contaminazione salina quasi assente.

Si segnalano i campionamenti statici eseguiti a quota -77 m s.l.m. nel pozzo 807EIARI. I primi in ordine di tempo disponibili (giu-97, lug-03) hanno indicato un sequenza  $\text{Ca}^{++} > \text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , mentre l'ultimo (nov-07) ha indicato una sequenza  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ . La concentrazione salina è progressivamente aumentata da 415 mg/l (gen-97) a 1504 mg/l (nov-2007), e si è osservata la progressiva variazione del diagramma di Schoeller. Per detto pozzo si rileva quindi, già dal tetto dell'acquifero circa, un peggioramento qualitativo delle acque di falda a causa della contaminazione marina.

Le concentrazioni di nitrati sono risultate elevate nel pozzo FG\_PIG 14 (56 mg/l).

#### *Area di Manfredonia*

Nell'area di Manfredonia, e più in generale in

quella meridionale del Gargano (fig. 13.14), ove si registrano altezze piezometriche della falda profonda dell'ordine di alcuni metri s.l.m., l'intrusione marina nell'acquifero ha determinato un notevole degrado qualitativo delle acque di falda (figg. 13.15e, 13.16; tabb. 13.13 -13.18). Per tutti i campioni d'acqua analizzati risulta  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++}$  e  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ . Per i campioni presentanti concentrazioni di ione cloruro inferiore a 50-60 meq/l risulta  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++} > \text{Mg}^{++} > \text{K}^+$ , mentre quando  $\text{Cl}^-$  è maggiore di detti valori risulta  $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++} > \text{K}^+$ . È evidente in quest'ultimo caso la notevole influenza marina.

I campionamenti statici eseguiti a quota -42 m s.l.m. nel pozzo 806EIARI nel maggio 2008 e giugno 2009 hanno fornito una concentrazione salina superiore a 30 g/l. Il campionamento statico eseguito quota -147 m s.l.m. nello stesso pozzo ma nel giugno 1997, ha invece fornito una concentrazione salina pari a circa 27 g/l, dunque inferiore a quella successivamente rilevata a quota inferiore. Detta circostanza indica un sollevamento dell'acqua di mare presente alla base dell'acquifero ed il conseguente degrado qualitativo della falda di acqua dolce.

#### *Area "Apricena-Rignano Garganico"*

L'area di Apricena-Rignano Garganico (fig. 13.14) è caratterizzata da altezze piezometriche della falda in genere comprese tra 5 e 13 m s.l.m. Pur essendo l'area a significativa distanza dal mare (distanze dalla costa superiori a 10 km), i calcari del Cretacico, affioranti nell'area di Rignano Garganico e presenti sotto i depositi post-cretacei del Tavoliere in prossimità di Apricena, subiscono l'ingressione marina. Detta circostanza è confermata dai diagrammi di Schoeller e dai rapporti caratteristici determinati sulla base dei risultati di determinazioni chimiche di laboratorio condotte su campioni prelevati in condizioni dinamiche nel periodo 1993-1994 (figg. 13.15f, 13.16) e dai valori di concentrazione salina, risultati variabili tra 776 e 3196 mg/l (tabb. 13.19, 13.20). Il livello di contaminazione salina raggiunto è tuttavia molto diverso tra i pozzi presi in esame; detta circostanza potrebbe derivare dalla modalità di campionamento, avvenuto in condizioni dinamiche; per alcuni pozzi (352 CV, 362 CV, 361 CV, 360 CV) è risultato  $\text{Ca}^{++}$

$> \text{Na}^+$  e  $\text{HCO}_3^- > \text{Cl}^-$ , ed i rapporti caratteristici e diagrammi di Schoeller hanno indicato una modesta contaminazione salina; per altri pozzi (353 CV e 356 CV) è risultato invece  $\text{Na}^+ > \text{Ca}^{++}$  e  $\text{Cl}^- > \text{HCO}_3^-$ , ed i rapporti caratteristici e diagrammi di Shoeller hanno indicato una notevole contaminazione salina. L'assenza di campionamenti statici non consente di approfondire i motivi che determinano detta eterogeneità del chimismo delle acque di quest'area. A tal riguardo va in ogni caso osservato che per i pozzi esaminati si dispone di campionamenti dinamici eseguiti all'inizio ed alla fine della prova di emungimento (tabb. 13.19 e 13.20). In particolare, i pozzi 352 CV, 361 CV e 356 CV hanno evidenziato un incremento della concentrazione salina durante la prova di emungimento e ciò indica inequivocabilmente il sollevamento dell'acqua di mare alla base determinato dal *salt-water upconing*.

#### 13.5.10. - *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 carbonatico profondo del Gargano, 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 fenomeno del *salt-water upconing*. In particolare sono stati ricercati i legami esistenti tra la concentrazione dello ione cloruro ( $\text{Cl}^-$ ) ed altri parametri, quali la concentrazione salina, la percentuale di penetrazione del pozzo in falda (P), l'altezza piezometrica (t) e la distanza della base del pozzo dall'interfaccia teorica (d). L'analisi è stata eseguita seguendo la metodologia già illustrata nel capitolo 12 (tav. 5 f.t.) a cui si rimanda per la puntuale definizione delle grandezze utilizzate.

Lo studio è stato eseguito su 80 pozzi di cui si dispone di informazioni dimensionali, dei risultati di prove di portata e di analisi chimiche condotte su campioni d'acqua prelevati in condizioni dina-

miche (fig. 13.17). La maggior parte dei pozzi esaminati ha fornito una concentrazione dello ione cloruro superiore a 0,1 g/l. La percentuale di penetrazione del pozzo in falda è risultata molto variabile e non correlata alla concentrazione dello ione cloruro (fig. 13.18), a testimoniare l'estrema eterogeneità delle condizioni idrogeologiche del Gargano. Si può però affermare che nella maggior parte dei casi è stato possibile il prelievo di acque sotterranee con concentrazione di ione cloruro inferiore a 0,1 g/l solo adottando percentuali di penetrazione del pozzo in falda inferiori a 40 % (Classe I). Questi sono ubicati in generale a distanze dalle costa maggiori di 3 km (fig. 13.17) e dove la falda idrica presenta altezze piezometriche superiori o prossime a 10 m s.l.m..

I casi in cui si sono adottate percentuali di penetrazione dei pozzi in falda  $>40\%$  e la concentrazione di ione cloruro è risultata superiore a 0,1 g/l (classi IV e VI) sono distribuiti su tutto il Gargano. In molti casi trattasi di situazioni in cui la notevole penetrazione è stata adottata a causa della bassa permeabilità dell'acquifero, come testimoniano le spesso basse portate dei pozzi e le conseguenti elevate depressioni idrodinamiche. Quando l'acquifero si presenta poco permeabile presso costa, si osserva il prelievo di acque con concentrazione di ione cloruro superiore a 0,1 g/l anche quando la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda è bassa (classi III e V).

Nell'analizzare i rapporti esistenti tra la qualità delle acque estratte e le caratteristiche dimensionali dei pozzi, va inoltre ricordato che in molti casi la circolazione idrica sotterranea del Gargano si svolge in pressione ed a notevole profondità. In dette condizioni lo spessore dell'acquifero, delimitato inferiormente dall'acqua di mare intrusa nel continente e superiormente da rocce poco permeabili, può risultare molto modesto ed il prelievo di acque sotterranee dolci molto difficile. Dette condizioni idrogeologiche possono giustificare alcuni dei casi in cui, pur avendo adottato basse penetrazioni dei pozzi in falda, si sono riscontrati elevati valori di concentrazione di ione cloruro.

In figura 13.17 si rileva che i pozzi con percentuale di penetrazione superiore al 70% sono ubicati a distanza dalla costa inferiore a 7 km, ad eccezione



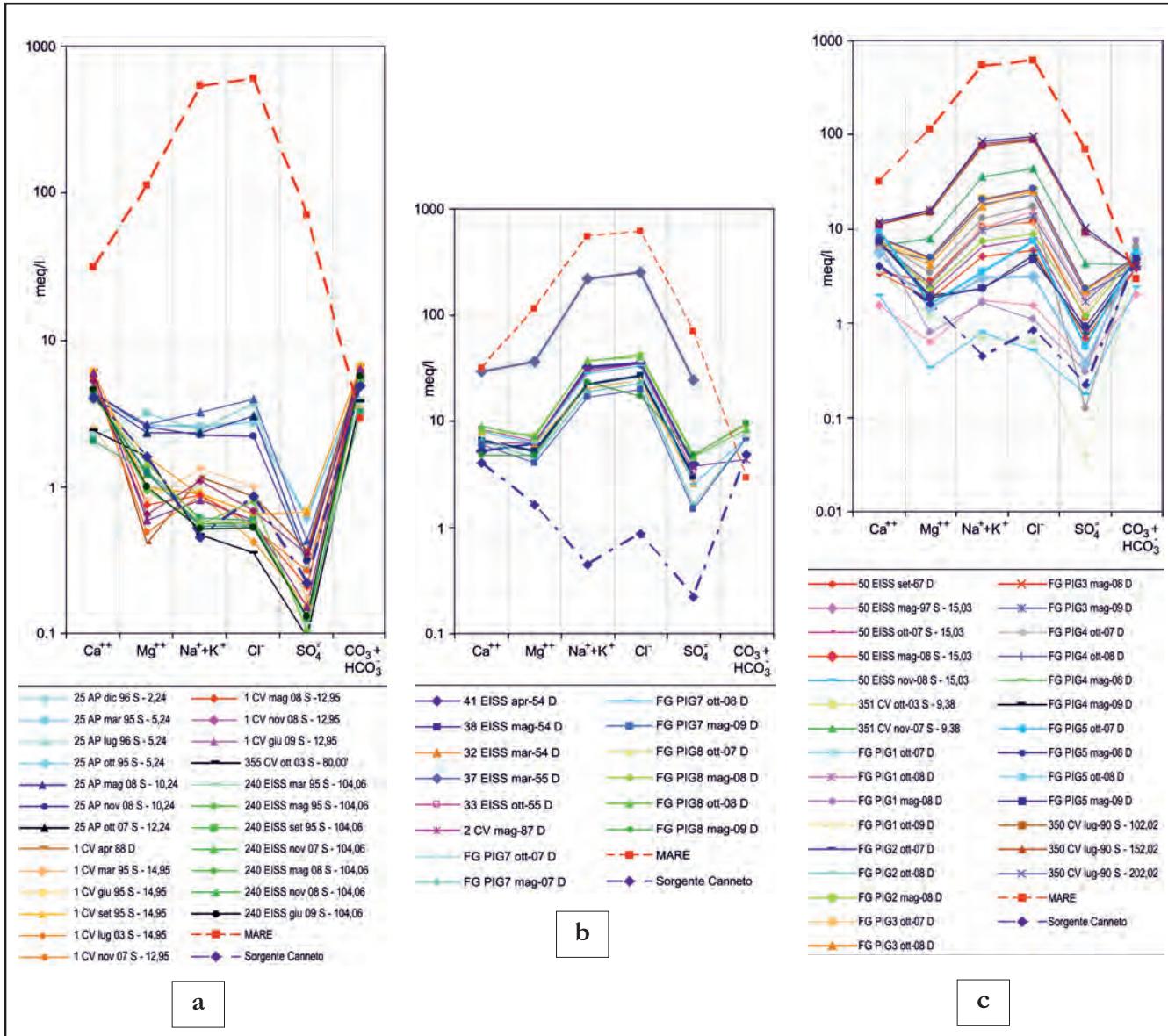
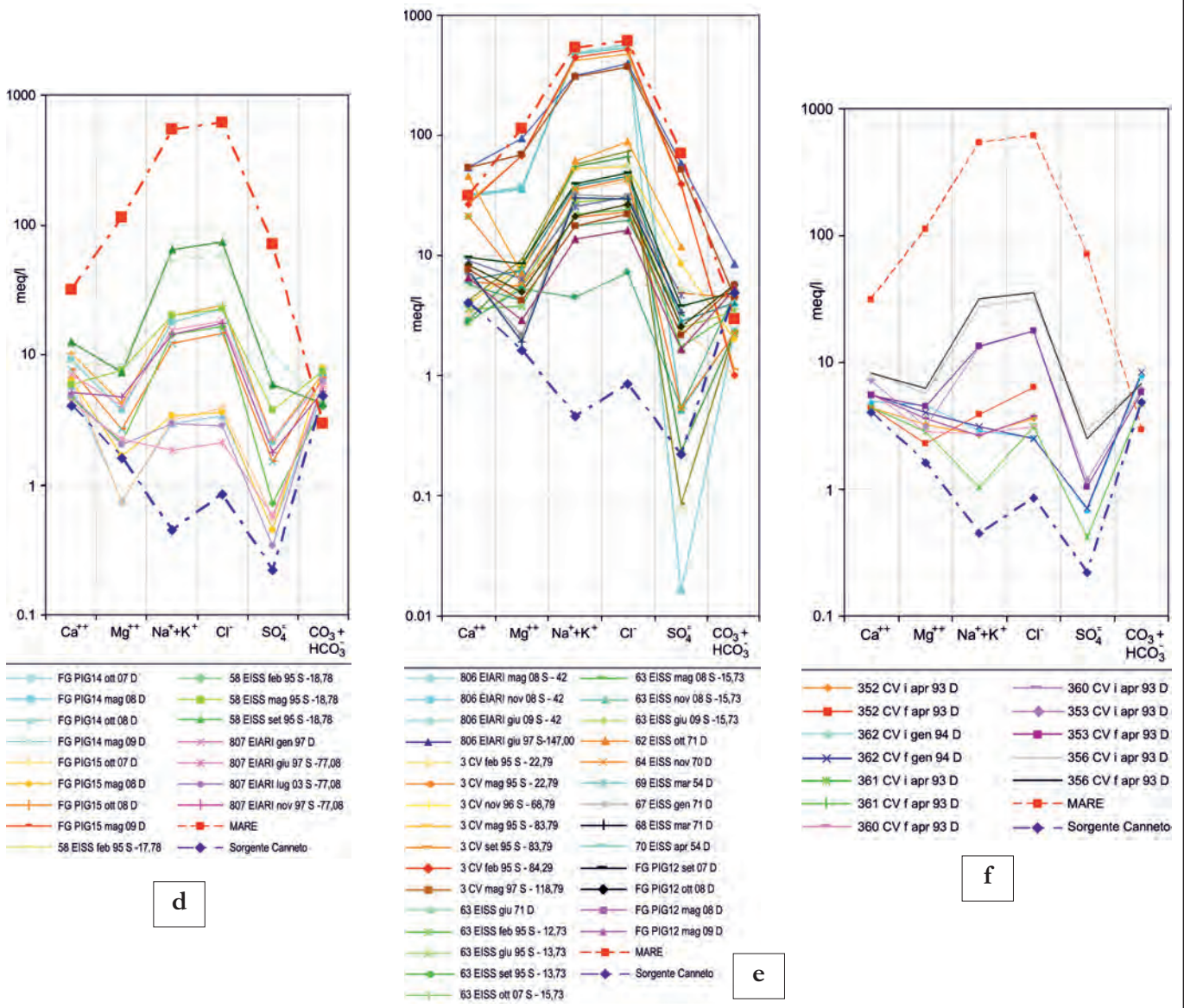


Fig. 13.15 - a) Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 25 AP - 1 CV - 355 CV - 240 EISS ubicati in figura 13.14 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare;  
 b - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 41 EISS - 38 EISS - 32 EISS - 37 EISS - 33 EISS - 2 CV - FG PIG7 - FG PIG8 ubicati in fig. 13.14 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare;  
 c - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 50 EISS - 351 CV - FG PIG1 - FG PIG2 - FG PIG3 - FG PIG4 - FG PIG5 - 350 CV ubicati in fig. 13.14 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare;  
 d - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi FG PIG14 - FG PIG15 - 58 EISS - 807 EIARI ubicati in figura 13.14 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare;  
 e - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 806 EIARI - 3 CV - 63 EISS - 62 EISS - 64 EISS - 69 EISS - 67 EISS - 68 EISS - 70 EISS - FG PIG12 ubicati in figura 13.14 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (S = statico; D = dinamico) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare;  
 f - Diagramma di Schoeller delle acque sotterranee dei pozzi 352 CV - 362 CV - 361 CV - 360 CV - 353 CV - 356 CV ubicati in figura 13.14 con indicazione della data di prelievo, del tipo di campionamento (D = dinamico; i = iniziale; f = finale) e della quota di campionamento rispetto al livello medio mare.

dei pozzi 350 CV e 351 CV a monte del Lago di Varano. Questi ultimi ricadono in una zona di acquifero in cui la circolazione idrica sotterranea è notevolmente influenzata dalla presenza di lineamenti tettonici (par. 13.5.4). L'elevata permeabilità dell'acquifero, in particolare, determina un arretra-

mento delle isopieziche, sicchè detti pozzi, pur essendo significativamente distanti dalla costa, sono caratterizzati da modeste altezze piezometriche della falda (2-4 m s.l.m.) e quindi da una riduzione dello spessore di falda di acqua dolce.

È possibile rilevare una discreta correlazione tra



a) - Schoeller diagram of groundwater in wells 25 AP - 1 CV - 355 CV - 240 EISS located in the figure 13.14 with indication of date, type (S = static; D = dynamic) and elevation of sampling with respect to the mean sea level;  
 b) - Schoeller diagram of groundwater in wells 41 EISS - 38 EISS - 32 EISS - 37 EISS - 33 EISS - 2 CV - FG PIG7 - FG PIG8 located in the figure 13.14 with indication of date, type (D = dynamic);  
 c) - Schoeller diagram of groundwater in wells 50 EISS - 351 CV - FG PIG1 - FG PIG2 - FG PIG3 - FG PIG4 - FG PIG5 - 350 CV located in the figure 13.14 with indication of date, type (S = static; D = dynamic) and elevation of sampling with respect to the mean sea level;  
 d) - Schoeller diagram of groundwater in wells FG PIG14 - FG PIG15 - 58 EISS - 807 ELARI located in the figure 13.14 with indication of date, type (S = static; D = dynamic) and elevation of sampling with respect to the mean sea level;  
 e) - Schoeller diagram of groundwater in wells 806 ELARI - 3 CV - 63 EISS - 62 EISS - 64 EISS - 69 EISS - 67 EISS - 68 EISS - 70 EISS - FG PIG12 located in the figure 13.14 with indication of date, type (S = static; D = dynamic) and elevation of sampling with respect to the mean sea level;  
 f) - Schoeller diagram of groundwater in wells 352 CV - 362 CV - 361 CV - 360 CV - 353 CV - 356 CV located in the figure 13.14 with indication of date, type (D = dynamic) and elevation of sampling with respect to the mean sea level.

la concentrazione dello ione cloruro e l'inverso del carico piezometrico della falda. Detta circostanza indica la notevole influenza esercitata sulla qualità delle acque estratte dalla distanza dalla costa e dallo spessore della falda di acqua dolce. Si rileva, inoltre, che nei casi in cui la percentuale di penetrazione in

falda è risultata molto bassa (<20% in fig. 13.18), è stato possibile il prelievo di acque di falda con concentrazione salina inferiore a 0.1 g/l solo quando la distanza *d* tra la base del pozzo e l'interfaccia acqua dolce – acqua di mare teorica è risultata molto elevata.

Tab. 13.3 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 25 AP e 355 CV presenti nell'area del Gargano centrale.*  
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 25 AP and 355 CV, located in the central Gargano area.

POZZO	25 AP							355 CV
Quota livello statico (m l.m.m.)	11.76							50
Permeabilità (m/s)	-	-	-	-	-	-	-	3.70E-06
Penetrazione	-	-	-	-	-	-	-	12.82%
Data di campionamento	dic-96	mar-95	lug-95	ott-95	mag-08	nov-08	ott-07	ott-03
Tipo di campionamento	S							
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-2.24	-5.24	-5.24	-5.24	-10.24	-10.24	-12.24	-80
TDS (mg/l)	601	824	605	598	619.89	517.38	523.57	214
Nitriti (mg/l)	<0.05	<0.05	<0.05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0.01
Nitrati (mg/l)	11.6	3.3	2.5	12.7	14.3	14.6	16.2	3.8

Tab. 13.4 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 1 CV presente nell'area del Gargano centrale.*  
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 1 CV located in the central Gargano area.

POZZO	1 CV								
Quota livello statico (m l.m.m.)	52.95								
Penetrazione (m/s)	9.20%								
Data di campionamento	apr-88	mar-95	giu-95	set-95	lug-03	nov-07	mag-08	giu-09	nov-08
Tipo di campionamento	D	S	S	S	S	S	S	S	S
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-	14.95	14.95	14.95	14.95	12.95	12.95	12.95	12.95
TDS (mg/l)	420	364	591	369	346	396.29	418.99	427.25	388.72
Nitriti (mg/l)	0	0.05	0.05	0.05	0.51	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrati (mg/l)	13.62	4.5	2.2	20.2	19.5	61.1	45.8	35.3	30

Tra la concentrazione dello ione cloruro ed il residuo fisso a 110 ° è stata rilevata una buona correlazione (fig. 13.18). In particolare si rileva che per valori di concentrazione di ione cloruro maggiori di circa 0,1 g/l il rapporto Cl<sup>-</sup>/TDS si mantiene all'incirca costante, pari al valore assunto nell'acqua di mare, ad indicare la forte contaminazione marina di detti pozzi. Per valori inferiori della concentrazione dello ione cloruro si ha una maggior dispersione dei dati, ad indicare una minore o assente contaminazione marina.

#### 13.5.11. – *Il patrimonio idrico sotterraneo inesplorato del Gargano*

Negli anni '60 del secolo scorso venivano condotte sul Gargano le prime ricerche sistematiche che hanno consentito di definire i principali lineamenti idrogeologici dell'area. I risultati conseguiti con detta ricerca vennero presentati in occasione del primo *Decennio Idrologico Internazionale* promosso dall'UNESCO (COTECCHIA & MAGRI, 1966 riportata nel DVD allegato). Le indagini eseguite successivamente,

anche con perforazioni profonde svariate centinaia di metri, non hanno contribuito a migliorare significativamente il quadro conoscitivo della idrogeologia di detta area, il quale continua quindi ad essere quello definito quasi 50 anni fa. Le indagini eseguite nell'ultimo trentennio sono state infatti condotte in assenza del necessario coordinamento e sono risul-

tate spesso svincolate dal contesto geologico – strutturale del Promontorio, costituito da formazioni carbonatiche molto tettonizzate e variegata.

I legami esistenti tra le lineazioni tettoniche presenti in questa area ed i caratteri di permeabilità dell'acquifero non sono stati appieno compresi. I pochi dati disponibili hanno però evidenziato una

Tab. 13.5 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 240 EISS presente nell'area del Gargano centrale.*  
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 240 EISS, located in the central Gargano area.

<b>POZZO</b>	<b>240 EISS</b>									
Quota livello statico (m l.m.m.)	10.37									
Permeabilità (m/s)	9.77E-07									
Penetrazione	42.14%									
Data di campionamento	mar-95	mag-95	set-95	mag-96	nov-96	nov-07	nov-08	mag-08	giu-09	
Tipo di campionamento	S									
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-104.06	-104.06	-104.06	-124.06	-124.06	-104.06	-104.06	-104.06	-104.06	-104.06
TDS (mg/l)	286	449	315	250	220	339.184	332.992	339.184	350.88	
Nitriti (mg/l)	0.05	0.05	0.05	-	-	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	
Nitrati (mg/l)	1.9	2.6	1.2	-	-	3.49	3.38	3.28	3.18	

Tab. 13.6 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 32 EISS, 33 EISS, 37 EISS, 38 EISS, 41 EISS e 2 CV presenti nell'area di Sannicandro-Lesina.*  
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 32 EISS, 33 EISS, 37 EISS, 38 EISS, 41 EISS e 2 CV, located in the Sannicandro-Lesina area.

<b>POZZO</b>	<b>32 EISS</b>	<b>33 EISS</b>	<b>37 EISS</b>	<b>38 EISS</b>	<b>41 EISS</b>	<b>2 CV</b>
Quota livello statico (m l.m.m.)	5.66	-	-	1.95	2.79	0.86
Permeabilità (m/s)	5.28E-02	1.36E-02	7.41E-06	3.28E-03	7.70E-06	3.41E-07
Penetrazione	10.72%	-	-	37.15%	36.76%	-
Data di campionamento	mar-54	ott-55	mar-55	mag-54	apr-54	mag-87
Tipo di campionamento	D					
TDS (mg/l)	1906	2494	16428	1995	2500	2550
Nitriti (mg/l)	-	-	-	-	-	0.02
Nitrati (mg/l)	-	-	-	-	-	19.08
Ore di pompaggio	7.3	7.25	8.3	8	10.15	-

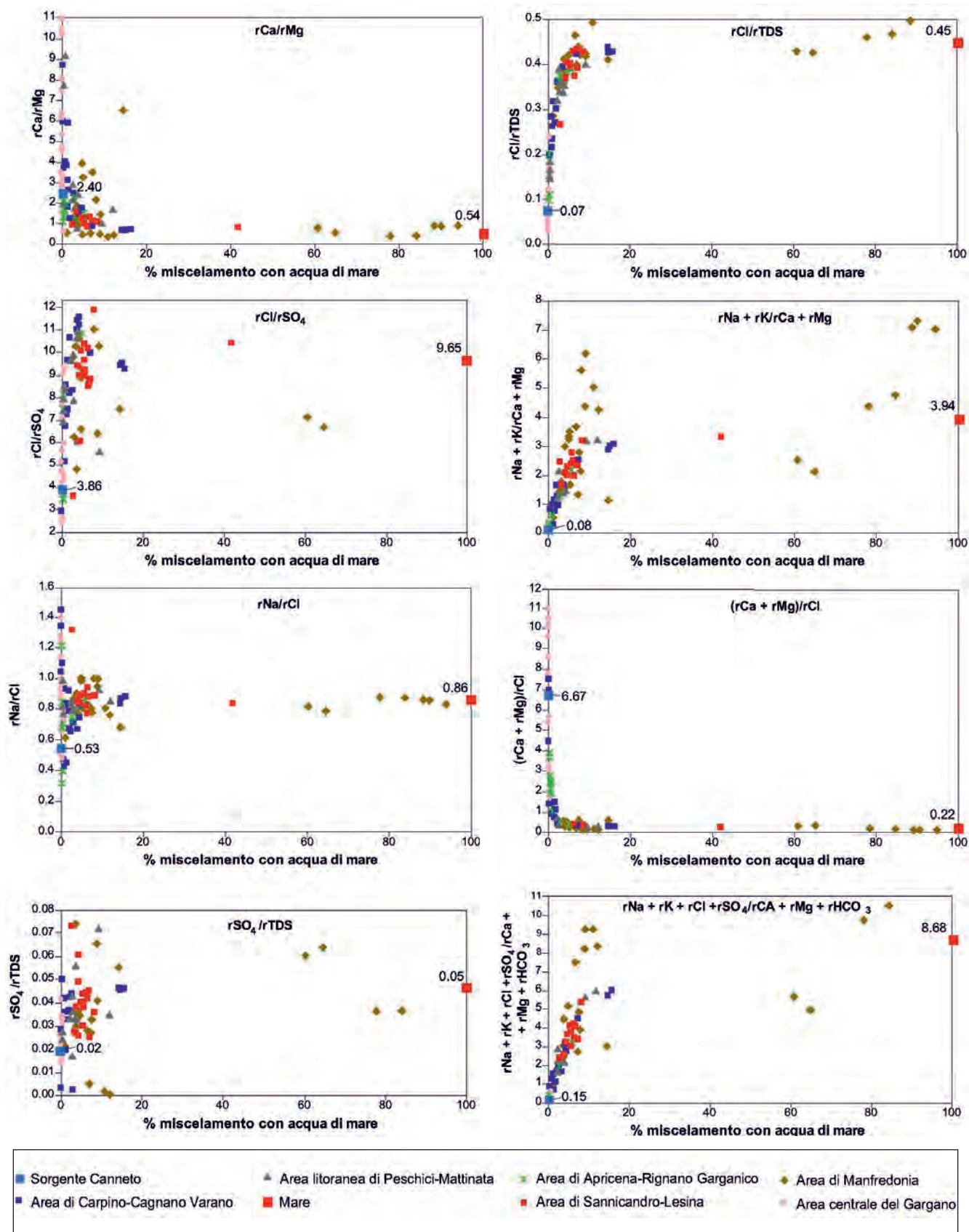


Fig. 13.16 - Variazione dei principali rapporti caratteristici in funzione della percentuale di mescolamento acqua dolce/acqua di mare, rilevata per i campioni d'acqua prelevati dai pozzi utilizzati per l'analisi del chimismo delle acque sotterranee del Gargano.

- Change in the characteristic ratios versus fresh water/ seawater mixing percentage, measured in water samples taken from the wells used for groundwater chemistry analysis of Gargano.

Tab. 13.7 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi FG\_PIG7 e FG\_PIG8 presenti nell'area di Sannicandro-Lesina.*  
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells FG\_PIG7 e FG\_PIG8, located in the Sannicandro-Lesina area.

POZZO	FG_PIG7				FG_PIG8			
	ott-07	mag-08	ott-08	mag-09	ott-07	ott-08	mag-08	mag-09
Data di campionamento	ott-07	mag-08	ott-08	mag-09	ott-07	ott-08	mag-08	mag-09
Tipo di campionamento	D							
TDS (mg/l)	2017.904	1830.08	2650.86	1704.864	3239.1	3343.68	3199.2	2004.83
Nitriti (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	-	<0,05
Nitrati (mg/l)	6.57	7.73	10.2	8.87	71.5	83.5	91.8	127

Tab. 13.8 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi FG\_PIG5 e 351 CV presenti nell'area di Carpino-Cagnano Varano.*  
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells FG\_PIG5 e 351 CV, located in the Carpino Cagnano Varano area.

POZZO	FG_PIG5				351 CV	351 CV
	ott-07	mag-08	ott-08	mag-09	ott-03	nov-07
Quota livello statico (m l.m.m.)	-	-	-	-	4.51	4.51
Permeabilità (m/s)	-	-	-	-	1.11E-02	1.11E-02
Penetrazione	-	-	-	-	55.37%	55.37%
Data di campionamento	ott-07	mag-08	ott-08	mag-09	ott-03	nov-07
Tipo di campionamento	D				S	S
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-	-	-	-	-9.38	-79.38
TDS (mg/l)	606.13	2102.53	942.56	719.65	267	3784
Nitriti (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	0.01	<0,05
Nitrati (mg/l)	51.7	16.9	105	84.7	1.12	5.38

Tab. 13.9 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 50 EISS presente nell'area di Carpino-Cagnano Varano.*  
 - Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 50 EISS, located in the Carpino-Cagnano Varano area.

POZZO	50 EISS				
Quota livello statico (m l.m.m.)	3.22				
Permeabilità (m/s)	3.23E-04				
Penetrazione	24.09%				
Data di campionamento	set-67	mag-97	ott-07	nov-08	mag-08
Tipo di campionamento	D	S	S	S	S
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-	-15.03	-15.03	-15.03	-15.03
TDS (mg/l)	956	290	776.75	183.01	661.17
Nitriti (mg/l)	-	0.05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrati (mg/l)	-	8.3	9.91	5.43	11

Tab. 13.10 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 350 CV presente nell'area di Carpino-Cagnano Varano.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 350 CV, located in the Carpino Cagnano Varano area.

POZZO	350 CV		
Quota livello statico (m l.m.m.)	2		
Permeabilità (m/s)	3.90E-06		
Penetrazione	>100 %		
Data di campionamento	lug-90		
Tipo di campionamento	S		
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-102.02	-152.02	-202.02
TDS (mg/l)	6032.5	6337.4	6695.2

Tab. 13.13 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 806 ELARI presente nell'area di Manfredonia.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 806 EIARI, located in the Manfredonia area.

POZZO	806 EIARI			
Quota livello statico (m l.m.m.)	5.4			
Permeabilità (m/s)	1.41E-06			
Data di campionamento	mag-08	nov-08	giu-09	giu-97
Tipo di campionamento	S			
Quota di campionamento	-42	-42	-42	-147
TDS (mg/L)	36051.2	30822.4	30408.22	27800
Nitriti (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	0
Nitrati (mg/l)	0.58	2.71	1.62	6.02

Tab. 13.11 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi FG\_PIG14 e FG\_PIG15 presenti nell'area litoranea di Peschici-Mattinata.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells FG\_PIG14 e FG\_PIG15, located in the Peschici-Mattinata coastal area.

POZZO	FG_PIG14				FG_PIG15			
Data di campionamento	ott-07	mag-08	ott-08	mag-09	ott-07	mag-08	ott-08	mag-09
Tipo di campionamento	D							
TDS (mg/l)	2068.816	1934.66	597.184	1435.856	663.232	669.424	2045.424	688.688
Nitriti (mg/l)	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Nitrati (mg/l)	18.2	20.6	56.2	27.6	42	7.24	21.8	10.2

Tab. 13.12 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 58 EISS e 807 ELARI presenti nell'area litoranea di Peschici-Mattinata.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 58 EISS e 807 EIARI, located in the Peschici-Mattinata coastal area.

POZZO	58 EISS				807 EIARI			
Quota livello statico (m l.m.m.)	0.92				3.32			
Permeabilità (m/s)	2.30E-04				1.01E-03			
Penetrazione	76.78%				-			
Data di campionamento	feb-95	mag-95	set-95	nov-96	gen-97	giu-97	lug-03	nov-07
Tipo di campionamento	S				D	S	S	S
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-17.78	-18.78	-18.78	-18.78	-	-77.08	-77.08	-77.08
TDS (mg/l)	3764	1765	1870	4390	1190	415	507	1504.656
Nitriti (mg/l)	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.47	0.01	<0,05
Nitrati (mg/l)	4	3.1	26.1	32.6	13.5	31.9	22.2	12.7

Tab. 13.14 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 3 CV presente nell'area di Manfredonia.*  
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 3 CV, located in the Manfredonia area.

POZZO	3 CV						
Quota livello statico (m l.m.m.)	0.66						
Permeabilità (m/s)	9.16E-07						
Nitriti (mg/l)	0.05	0.05	-	0.05	0.05	0.05	0.01
Data di campionamento	feb-95	mag-95	nov-96	mag-95	set-95	feb-95	mag-97
Tipo di campionamento	S						
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-22.79	-22.79	-68.79	-83.79	-83.79	-84.29	-118.79
TDS (mg/l)	2740	3845	21780	27653	2270	30522	25800
Nitrati (mg/l)	6	1.7	-	1.8	3.5	0.7	3.5

Tab. 13.15 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo 63 EISS presente nell'area di Manfredonia.*  
- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 63 EISS, located in the Manfredonia area.

POZZO	63 EISS							
Quota livello statico (m l.m.m.)	3.77							
Permeabilità (m/s)	6.48E-02							
Penetrazione	14.62%							
Data di campionamento	giu-71	feb-95	giu-95	set-95	ott-07	mag-08	nov-08	giu-09
Tipo di campionamento	D	S	S	S	S	S	S	S
Quota di campionamento (m l.m.m.)	-	-12.73	-13.73	-13.73	-15.73	-15.73	-15.73	-15.73
TDS (mg/l)	3650	1768	2167	798	4344.03	4609.6	3219.84	3028.58
Nitriti (mg/l)	-	0.1	0.05	0.05	<0,05	<0,05	340	<0,05
Nitrati (mg/l)	-	0.4	1.9	4	<0.10	<0.10	9.16	0.42

Tab. 13.16 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 62 EISS, 64 EISS e 69 EISS presenti nell'area di Manfredonia.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 62 EISS, 64 EISS e 69 EISS, located in the Manfredonia area.

POZZO	62 EISS	64 EISS	69 EISS
Quota livello statico (m l.m.m.)	1.81	0.61	1.83
Permeabilità (m/s)	1.04E-05	2.81E-03	3.96E-04
Penetrazione	80.42%	-	53.89%
Data di campionamento	ott-71	nov-70	mar-54
Tipo di campionamento	D		
TDS (mg/l)	6780	3374	2341
Ore di pompaggio	8	7.3	9.45

Tab. 13.17 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici del pozzo FG\_PIG12 presente nell'area di Manfredonia.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells FG\_PIG12, located in the Manfredonia area.

POZZO	FG_PIG12			
Data di campionamento	set-07	ott-08	mag-08	mag-09
Tipo di campionamento	D			
TDS (mg/l)	3940.86	2233.25	1865.86	1502.59
Nitriti (mg/l)	<50.00	<50.00	<50.00	<50.00
Nitrati (mg/l)	95.7	24.9	24.9	22.2



stretta corrispondenza esistente tra le discontinuità tettoniche, la piezometria della falda, la permeabilità dell'acquifero e l'ubicazione delle sorgenti ed entità delle relative portate. A tal riguardo sarebbe necessario disporre di un maggior numero di pozzi sui quali eseguire prove di portata e misure piezometriche, al fine di migliorare le conoscenze riguardanti

Tab. 13.18 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 67 EISS, 68 EISS e 70 EISS presenti nell'area di Manfredonia.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 67 EISS, 68 EISS e 70 EISS, located in the Manfredonia area.

POZZO	67 EISS	68 EISS	70 EISS
Quota livello statico (m l.m.m.)	1.52	1.37	-
Permeabilità (m/s)	5.72E-04	3.60E-02	1.69E-03
Penetrazione	70.38%	71.87%	-
Data di campionamento	gen-71	mar-71	apr-54
Tipo di campionamento	D		
TDS (mg/l)	2294	2324	1591
Ore di pompaggio	7.3	5.2	10.15

la distribuzione del coefficiente di permeabilità e le isopieziche della falda profonda. Inoltre, è necessario procedere ad un censimento delle sorgenti costiere e all'analisi dei relativi caratteri qualitativi e quantitativi, da relazionare alla circolazione idrica sotterranea della falda che le alimenta. A tal riguardo va sottolineato che per gran parte del litorale Garganico non si dispone di dati circa l'efflusso a mare delle acque di falda, che in alcune zone dovrebbe essere molto cospicuo. La portata delle sorgenti note, all'incirca pari a 5 m<sup>3</sup>/s, è infatti solo un'aliquota della portata effettivamente scaricata in mare stimata in circa 14 m<sup>3</sup>/s.

Procedendo verso le aree più interne si rileva l'assenza di dati piezometrici e di elementi che illuminino in ordine ai rapporti ivi presenti tra le acque dolci di falda e l'acqua di mare. I dati idrochimici analizzati hanno consentito di rilevare la presenza di acque di falda contaminate dal mare in quasi tutto il territorio garganico, ma non è possibile stabilire le condizioni di equilibrio esistenti tra la falda di acqua dolce e l'acqua di mare presente alla base dell'acquifero. La comprensione di detti rapporti è fondamentale se si vuol procedere a valutazioni sulla effettiva potenzialità idrica dell'acquifero pro-

Tab. 13.19 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 352 CV, 362 CV e 361 CV presenti nell'area di Apricena-Rignano Garganico, "i"= campione prelevato ad inizio prova di emungimento; "f"= campione prelevato a fine prova di emungimento.*

- Chemico-physical and hydrogeological parameters of wells 352 CV, 362 CV and 361 CV, located in the Apricena - Rignano Garganico area, "i"= sample taken at the beginning of the test; "f"= sample taken at the end of the test.

POZZO	352 CV i	352 CV f	362 CV i	362 CV f	361 CV i	361 CV f
Quota livello statico (m l.m.m.)	13.5		10		13	
Permeabilità (m/s)	2.05E-07		4.26E-08		1.86E-07	
Penetrazione	11.49%		19.23%		6.51%	
Data di campionamento	apr-93		gen-94		apr-93	
Tipo di campionamento	D		D		D	
TDS (mg/l)	847.29	1070.31	787.37	807.09	776.75	819.23
Nitriti (µg/l)	0.01	0.02	-	-	tracce	tracce
Nitrati (mg/l)	0.71	0.61	91	95.8	0.2	0.1
Portata (l/s)	9.08	50	4.9	11.2	8.25	26
Depressione (m)	2	31	10	46	3	18

Tab. 13.20 - *Parametri chimico-fisici ed idrogeologici dei pozzi 360 CV, 353 CV e 356 CV presenti nell'area di Apricena Rignano Garganico, "i"= campione prelevato ad inizio prova di emungimento; "f"= campione prelevato a fine prova di emungimento.*

- Chimico-fisical and hydrogeological parameters of wells 360 CV, 353 CV and 356 CV, located in the Apricena-Rignano Garganico area, "i"= sample taken at the beginning of the test; "f"= sample taken at the end of the test.

POZZO	360 CV i	360 CV f	353 CV i	353 CV f	356 CV i	356 CV f
Quota livello statico (m l.m.m.)	13		5.01		-	
Permeabilità (m/s)	1.41E-07		9.61E-07		-	
Penetrazione	12.23%		14.17%		-	
Data di campionamento	apr-93		apr-93		apr-93	
Tipo di campionamento	D		D		D	
TDS (mg/l)	823.02	832.88	1979.8	1881.19	3022.8	3196.5
Nitriti (µg/l)	tracce	tracce	tracce	tracce	0	0
Nitrati (mg/l)	0.42	0.42	0.5	0.2	tracce	tracce
Portata (l/s)	11.5	37	15	56	20	41.6
Depressione (m)	4	36	0.5	2	4	18

fondo del Gargano ed al progetto delle opere di captazione. A tal riguardo è necessario procedere all'esecuzione di pozzi spia, ossia di pozzi che, dopo aver attraversato la falda di acqua dolce, intercettino l'acqua di mare di intrusione continentale. Detti pozzi consentirebbero di determinare la posizione, forma e spessore della zona di transizione e di analizzare le sue variazioni nel tempo, in ragione della ricarica e degli emungimenti. Sullo spessore della zona di transizione zona hanno certamente influenza la permeabilità e il carattere anisotropo delle rocce acquifere, fattori che nel Gargano assumono notevole importanza.

Inoltre, sarebbe necessario procedere alla realizzazione di pozzi a celle, ossia di pozzi che isolino porzioni di acquifero entro cui eseguire misure piezometriche e indagini chimico-fisiche (cap. 9). Stante la notevole eterogeneità ed anisotropia dell'acquifero, non è da escludere la possibilità che le altezze piezometriche della falda presentino delle riduzioni con la profondità, e che quindi l'acqua di mare alla base dell'acquifero si rinvenga a profon-

dità inferiore a quella stimabile sulla base delle altezze piezometriche misurate nei pozzi esistenti (20-50 m s.l.m.).

Infine, l'esecuzione di indagini chimico-fisiche (maggiormente finalizzate di quelle disponibili) ed isotopiche potrebbe fornire interessanti informazioni riguardanti i tempi di residenza delle acque di falda e quindi dei legami esistenti tra le zone di alimentazione e quelle di efflusso.

L'acquifero profondo del Gargano è attualmente l'acquifero meno utilizzato tra quelli regionali. Il Piano d'Ambito 2010-2018 lo considera quale utile serbatoio cui attingere per rispondere alla domanda idropotabile, soprattutto in periodi di crisi idrica, attraverso l'esecuzione di 4 campi pozzi, per una portata complessiva di emungimento pari a circa 425 l/s. Quanto finora illustrato evidenzia la necessità di subordinare ulteriori importanti prelievi in quest'area ai risultati di studi e ricerche che consentano di pianificare l'uso delle acque sotterranee, tenendo conto delle conoscenze idrauliche di base fornite nel presente capitolo.

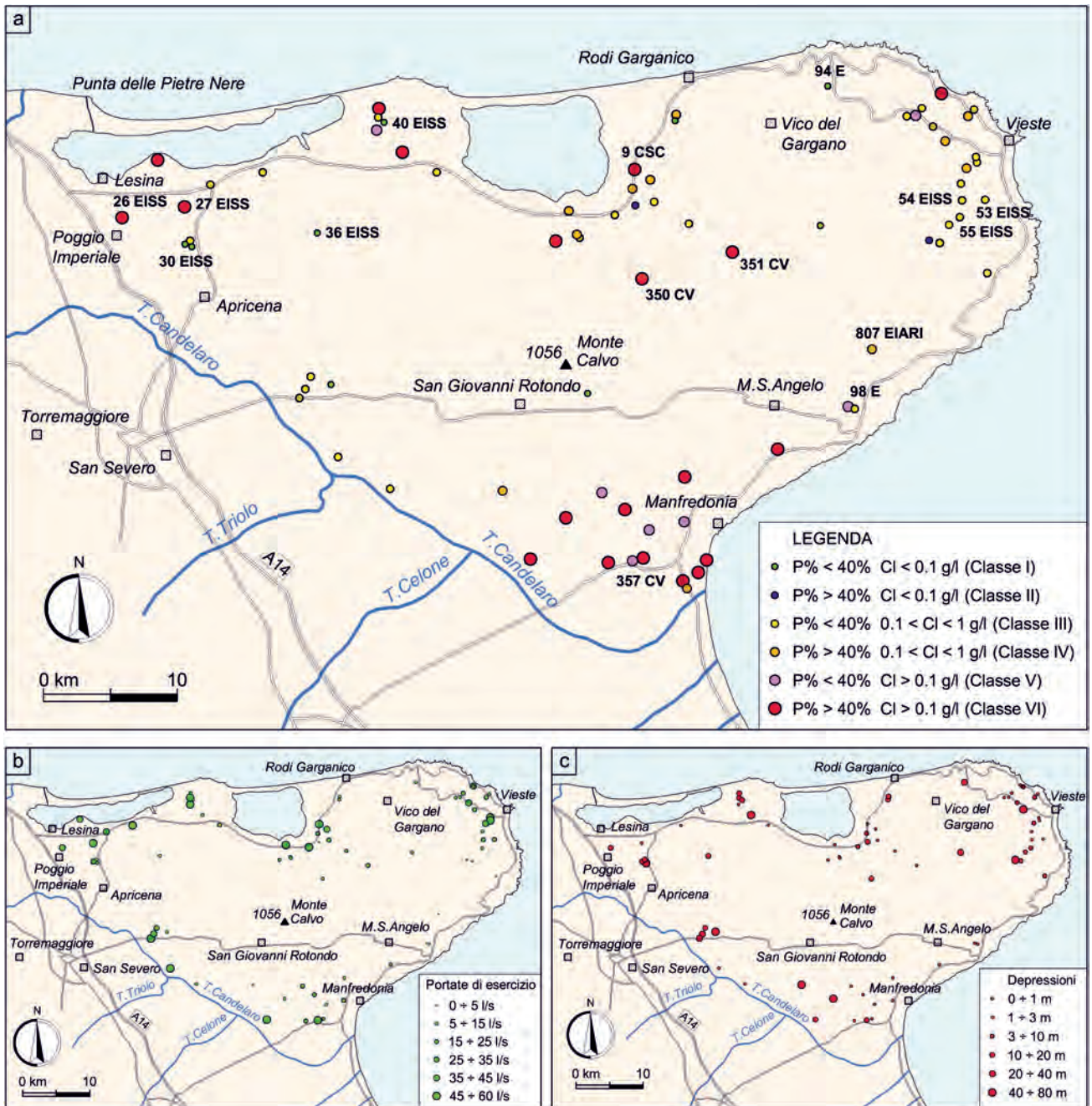


Fig. 13.17 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area del Gargano sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e concentrazione dello ione cloruro delle acque sotterranee estratte in condizioni dinamiche (Cl); b) portate di esercizio dei pozzi; c) depressione piezometrica durante l'emungimento.

- Influence of the dimensional and working characteristics of wells in the Gargano area 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.

### 13.6. - IL PATRIMONIO NATURALE E GEOLOGICO DEL GARGANO: GLI SLUMPS NELLA MAIOLICA CON SELCE E IL CASO TETTONICO DI PUNTA DELLE PIETRE NERE

In questi ultimi anni, a livello nazionale ed internazionale, è in fase crescente l'interesse nei confronti delle politiche di conservazione e di valorizzazione

del patrimonio naturale e geologico. In tale ambito, i geositi vengono catalogati come elementi fisici del territorio o particolarità del paesaggio che ne aumentano la valenza sia per gli aspetti scientifici, sia per la loro componente naturalistica, culturale e socioeconomica. La loro conoscenza e conservazione rappresenta uno strumento di fon-

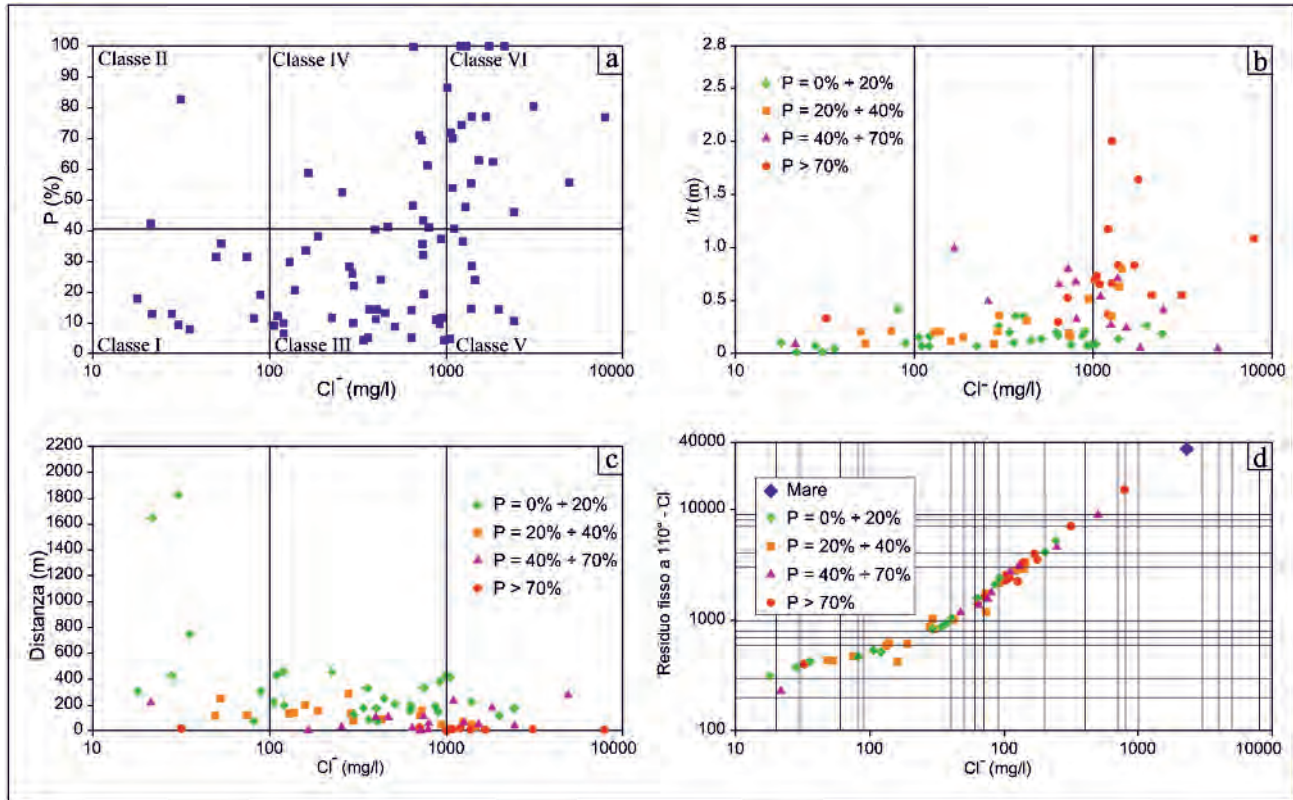


Fig. 13.18 - Influenza delle caratteristiche dimensionali e di esercizio dei pozzi dell'area del Gargano sulla concentrazione salina delle acque sotterranee: a) confronto tra la percentuale di penetrazione dei pozzi in falda (P) e la concentrazione dello ione cloruro ( $Cl^-$ ) delle acque sotterranee prelevate in condizioni dinamiche con indicazioni delle classi indicate in fig.13.17; b) confronto tra il carico piezometrico della falda profonda ( $1/h$ ) e la concentrazione dello ione cloruro con indicazione della percentuale di penetrazione; c) confronto tra la distanza della base del pozzo dalla interfaccia teorica acqua dolce-acqua di mare (d) e la concentrazione dello ione cloruro; d) confronto tra il residuo fisso e la concentrazione dello ione cloruro.

- Influence of the dimensional and working characteristics of wells in the Gargano area on the saline concentration of groundwaters: a) comparison between the percentage of wells penetration in groundwater (P) and concentration of the chloride ion ( $Cl^-$ ) of groundwaters extracted in dynamic conditions, with indication of the classes indicated in fig.13.17; b) comparison between the deep aquifer piezometric head ( $1/h$ ) and the concentration of the chloride ion, with indication of the percentage of penetration; c) comparison between distance of the well bottom from the theoretical freshwater-seawater interface (d) and concentration of the chloride ion; d) comparison between dry residue level and the concentration of the chloride ion.

damentale importanza nella salvaguardia della natura, nella ricerca scientifica, nelle attività di educazione ambientale, nella promozione turistica del territorio, ma anche nelle scelte di pianificazione territoriale. Tra i principali geositi del Gargano vi sono gli affioramenti cretacei e Punta delle Pietre Nere (AA.VV., 2010), quest'ultima in evidente stato di abbandono.

### 13.6.1. – Gli Slumps nelle successioni bacinali garganiche

Percorrendo la strada provinciale che corre tra Mattinata e Vieste, a SE del promontorio, si scorrono, sulle pareti dei tagli stradali, tra strati rocciosi indisturbati appartenenti ai Calcari tipo Maiolica, orizzonti deformati, che interrompono la continuità litostratigrafica, che suscitano allo spettatore un interesse non solo scientifico, ma anche artistico.

Lungo i faraglioni di Baia delle Zagare (Mattinata), una spiaggia situata dopo la Baia di Pugnochiuso, sono evidenti anche numerose convoluzioni della roccia (slump) interposte tra sedimenti indisturbati che offrono uno spettacolo naturale unico a chi raggiunge via mare la suddetta baia (fig. 13.19). Nei depositi dei Calcari tipo Scaglia o Maiolica queste convoluzioni sono spesso esaltate dalla discontinuità cromatica creata dalle liste di selce (talora di colore bruno) che si interpongono agli strati calcarei e paiono fornire una chiara guida dei percorsi deformativi della roccia. Non di rado tali strutture deformative sono interrotte da lineazioni tettoniche sin e post-diagenetiche.

Quando si osserva un antico deposito si ha inevitabilmente a che fare con i risultati dei processi che sono intercorsi dalla sua formazione a tutt'oggi, e le sue caratteristiche debbono essere rico-

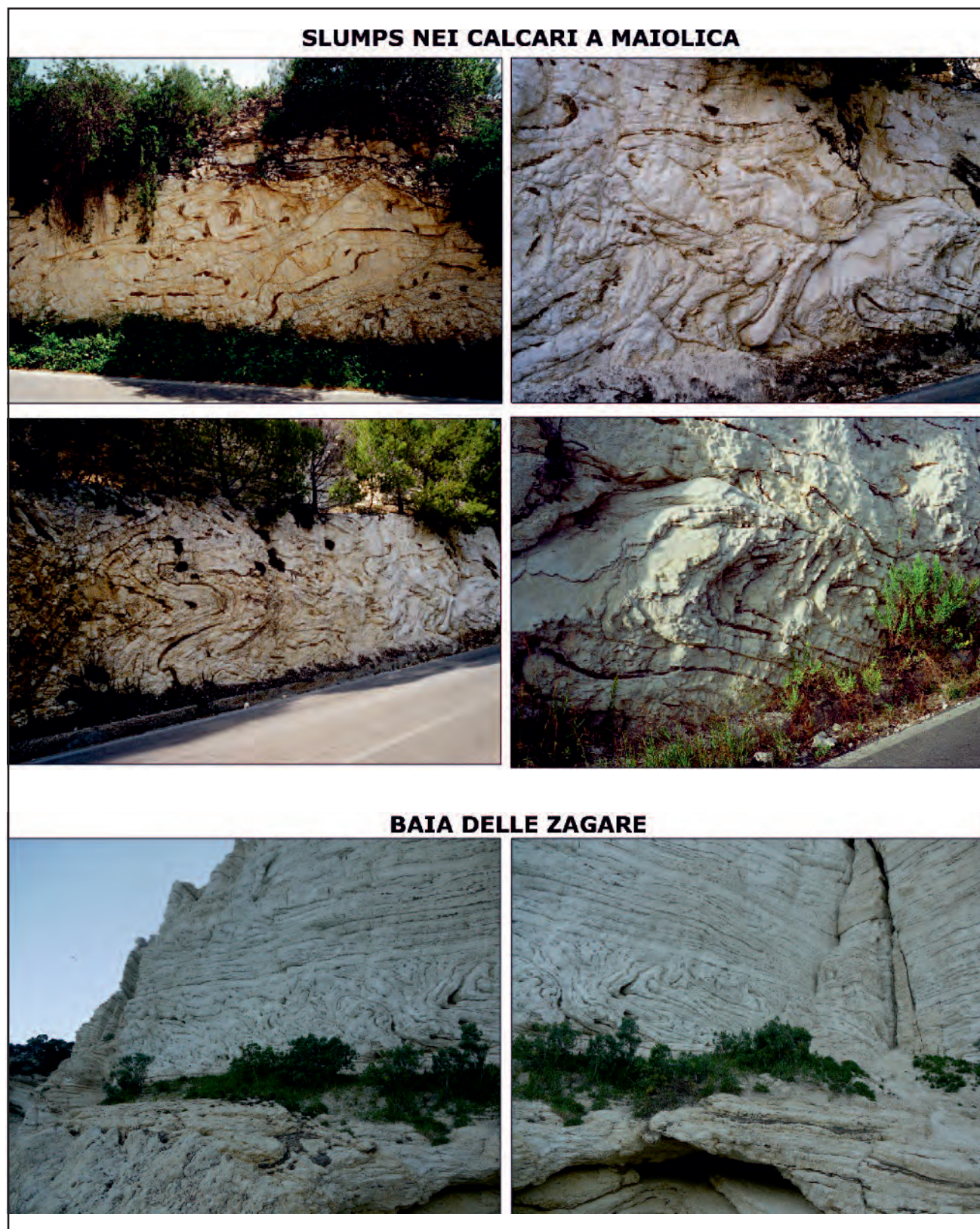


Fig. 13.19 - Slumps nei Calcari a Maiolica osservabili lungo la SP 53 tra Vieste e Mattinata e presso Baia delle Zagare (FG). Tali convoluzioni sono spesso esaltate dalla discontinuità cromatica creata dalle liste di selce che si interpongono agli strati calcarei e paiono fornire una chiara guida dei percorsi deformativi della roccia. Non di rado sono interrotti da lineazioni tettoniche sin e post-diagenetiche.

- Slumps in Maiolica Limestones along the province road SP 53 between Vieste and Mattinata, near Baia delle Zagare (Foggia province). These convolutions are often highlighted by the chromatic discontinuity produced by the chert bands interposed between the limestone layers, and seem to provide a clear guide of the deformation processes of the rock. They are frequently interrupted by sin- and post-diagenetic tectonic lineations.

struite o inferite almeno in parte, a partire dai processi primari (genetici) dei sedimenti sino ai processi di diagenesi, metamorfismo e tettonica. Il ciclo dei sedimenti, in cui intervengono processi endogeni ed esogeni, ha come luogo d'arrivo e punto di raccolta, il mare, in relazione al fatto che essi devono sottostare al campo gravitazionale terrestre. I caratteri fisici, chimici e geometrici dei sedimenti, nonché il modo in cui essi si accumulano e si distribuiscono nelle diverse parti della terra, dipende dall'ambiente di formazione e dalle vicissitudini a cui sono sottoposti. Una volta accumulati in fondo al mare essi, infatti, partecipano ad un insieme di eventi che vede continuamente interagire litosfera, idrosfera e atmosfera, in un continuo ciclo che si è ripetuto innumerevoli volte. Basti pensare alle variazioni del livello del mare che costituisce spesso il paleoambiente di deposizione, o alle orogenesi, al diastrofismo e ai cicli erosivi (RICCI LUCCHI, 1978).

Tornando indietro con l'immaginazione di circa 100-200 milioni di anni, vedremmo i sedimenti che oggi compongono le rocce carbonatiche interessate dagli slumps in un bacino di sedimentazione sottomarino, in paleoambienti pelagici o di mare profondo, con un livello del mare del Cretaceo molto più alto dell'attuale, dove la sedimentazione avveniva per la continua decantazione di fanghi carbonatici e silicei, che produceva una pasta omogenea chiamata micrite. In simili ambienti peritidali a bassa energia, che tipicamente si associano ad una morfologia dei fondali quasi piatta, è facile attendersi una lenta sedimentazione dei clasti indigeni che, soggetti a consolidamento e successiva diagenesi, danno luogo a rocce stratificate con livelli distinti abbastanza regolari.

Queste considerazioni suggeriscono che, i sedimenti che oggi dipingono gli slumps garganici, hanno subito, prima della litificazione, un processo di sedimentazione turbato improvvisamente da forze esterne ed insolite, che hanno indotto sforzi di taglio maggiori di quelli critici e capaci di mettere in moto i granuli costituenti il paleo-fondale marino.

Quando, infatti, lo sforzo di taglio è di poco superiore a quello critico, soli pochi granuli vengono trasportati; il loro numero aumenta in maniera di-

rettamente proporzionale allo sforzo, fino al punto che i granuli si possono muovere in nastri o sottilissimi strati (tappeto di trazione; RICCI LUCCHI, 1978).

Il fatto che poi, spesso, al di sopra degli strati deformati oggi si osservi nuovamente una stratificazione regolare e indisturbata sta a significare che successivamente si sia ricomposto l'ambiente deposizionale originario, in assenza cioè di tali eventi straordinari.

In letteratura, tali strutture deformative vengono spesso definite come il risultato di una perdita di resistenza a taglio in materiali granulari e saturi d'acqua, indotta da liquefazione e/o fluidificazione del suolo per un improvviso aumento della pressione interstiziale (ALLEN, 1982; OWEN, 1987).

Le cause costituenti il meccanismo di attivazione indotta, nel caso in esame, possono essere connesse a processi naturali: tra i più probabili, terremoti e/o tsunami.

A prescindere dal fenomeno scatenante, la variabilità di comportamenti dei sedimenti che si riscontra all'interno dei singoli strati, potrebbe essere correlata alla diversità delle condizioni pre-deformative, come ad esempio: a) diversi gradi di litificazione; b) differenti porosità e contenuti d'acqua; c) diversa composizione e/o contenuto di sostanze organiche (SPALLUTO *et alii*, 2007).

I meccanismi di innesco della deformazione, in generale, possono essere "interni" (legati ai processi sedimentari e/o idrodinamici normalmente o eccezionalmente attivi nel sistema deposizionale) o "esterni" (legati alla tettonica o ad altre cause non correlate al sistema deposizionale). Nel caso in esame vi sono pochi dubbi sul fatto che si tratti di una causa esterna e fuori dall'ordinario, che ha turbato il normale sistema deposizionale.

Lo scuotimento sismico rappresenta dunque la causa di innesco più probabile per fenomeni di liquefazione regionale estesa; strutture deformative indotte da terremoti sono state segnalate da molti autori in sedimentologia e studi di paleosismica (SPALLUTO *et alii*, 2007).

Secondo studi pregressi, questo tipo di deformazioni necessita di terremoti con magnitudo > 5 (AMBRASEYS, 1988; AUDEMARD & DE SANTIS, 1991) e con un'accelerazione al suolo locale di picco di almeno 0,2 g (CARTER & SEED, 1988).

ALLEN (1982) asserisce che il sistema di forze che causa tali dissesti è connesso alla forza gravitazionale che agisce sul sedimento in presenza di una pendenza del fondale. Una superficie ripida è generalmente l'ambiente ideale per il verificarsi di scivolamenti simili, anche se le facies carbonatiche in questione si sono formate in ambienti peritidali (che si associano ad una morfologia dei fondali quasi piatta). Tuttavia, anche pendenze molto dolci dell'ordine di  $0,25^\circ$  (FIELD *et alii*, 1982) possono essere corresponsabili della formazione di slumps e scivolamenti. Slumps, catalogati come indotti da paleosismi, infatti, sono stati osservati in successioni intertidali o in quelle tipiche di un ambiente di transizione (BHATTACHARYA & BANDYOPADHYAY,

1998; ROSSETTI & SANTOS, 2003).

Tali pendenze, anche blande, possono aver agevolato durante il sisma scatenante, la formazione, sia pure con spostamenti laterali contenuti, di correnti torbide, vale a dire di una massa fluida, che portando in sospensione materiali solidi risultava più densa del fluido circostante.

Inoltre, differenti orientamenti locali delle pendenze del fondale possono indurre direzioni preferenziali di accorciamento/deformazione differenti. Tra l'altro, slumps a diversa morfologia sono stati riprodotti da OWEN (1996), con esperimenti che prevedevano l'utilizzo di "shaking table" in grado di riprodurre la liquefazione.

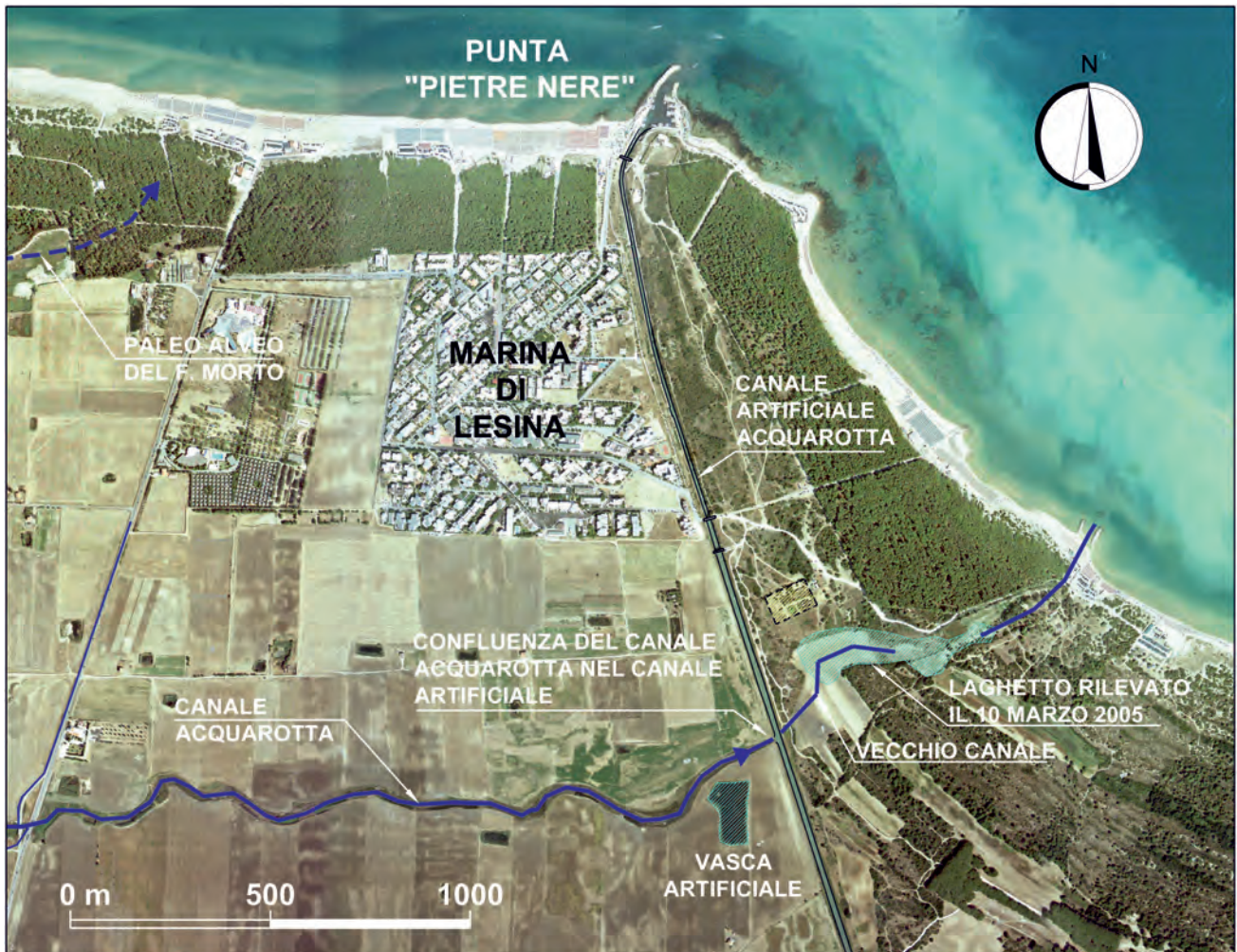


Fig. 13.20 - Foto aerea di Marina di Lesina con indicazione del geosito "Punta delle Pietre Nere". In sinistra del tratto terminale del Canale artificiale Acquarotta, che un tempo sfociava a poco meno di 2 km a SE della Punta, è interessato da qualche tempo da fenomeni di degrado idrogeologico e geotecnico, legato principalmente alla dissoluzione carsica di gessi, che in gran parte costituiscono il "Diapiro delle Pietre Nere".

- Aerial photo of Marina di Lesina with indication of the geosite "Punta delle Pietre Nere". On the left of the end of the Acquarotta artificial channel, which once flowed into the Adriatic sea less than 2 km SE of Punta delle Pietre Nere, the site is affected since some years by hydrogeological and geotechnical problems, mainly related to the karst dissolution of the gypsum deposits that constitutes most of the "Diapiro delle Pietre Nere".

### 13.6.2. – Area delle Pietre Nere e Marina di Lesina

Nel nostro Paese, purtroppo, sempre più frequentemente si constatano situazioni di degrado di geositi di valenza anche internazionale, il che rende doveroso dare consapevolezza anche ai non addetti ai lavori di quanto interessante sia il patrimonio geologico del territorio nazionale, legato peraltro a manifestazioni e fenomenologie idrogeologiche, geotecniche e ambientali di grande significato paesaggistico e scientifico insieme. Questo argomento è oggetto di oblio nei confronti di quanto fino a qualche tempo fa si verificava, allorché studiosi e paesaggisti stranieri si avventuravano fino a raggiungere la Punta delle Pietre Nere, per constatare e rilevare quanto al tempo non aveva ancora subito il degrado derivante dall'uso antropico malsano del territorio. Negli ultimi decenni, questa zona ha sollecitato solo l'avventurosa aggressione edilizia, spietata e illogica, come più avanti sarà in particolare dimostrato, che ha riguardato in particolare la zona immediatamente in sinistra del tratto terminale del Canale artificiale Acquarotta, ove è sorto un denso insediamento edilizio residenziale prospiciente la sponda sinistra del citato canale (fig. 13.20). Quest'ultimo, che un tempo sfociava a poco meno di 2 km a SE della Punta ed ora invece collega idraulicamente il lago di Lesina e il mare nei pressi di detta punta (fig. 13.21), è interessato da un disastroso degrado idrogeologico e geotecnico legato principalmente al processo naturale di dissoluzione carsica dei gessi, che in gran parte costituiscono il "Diapiro delle Pietre Nere" (fig. 13.22).

Alle sembianze stupendamente paesaggistiche di alcuni decenni fa si contrappone oggi il degrado di un geosito di grande valenza, stratigraficamente e strutturalmente di interesse determinante agli effetti del comportamento geologico e soprattutto strutturale ed idrogeologico dell'area, i cui aspetti negativi si evidenziano qua e là sparsi nel detto territorio, come sta a dimostrare l'edicola di cattivo gusto, incorniciata da sassi strappati dal filone magmatico facente parte della Punta delle Pietre Nere, in sponda Canale Acquarotta, nel porticciolo nato negli ultimi decenni all'estremità della detta Punta (fig. 13.23).



Fig. 13.21 - Canale artificiale Acquarotta: a) vista del Canale che collega idraulicamente il lago di Lesina al Mar Adriatico nei pressi della Punta; b) ammassi di rocce ignee delle Pietre nere, lungo il Canale.

- Acquarotta artificial channel: a) view of the channel connecting the Lesina lake to the Adriatic Sea near the Punta; b) igneous rock masses of Pietre nere, along the Channel.

#### 13.6.2.1. - Caratterizzazione geologica e strutturale dell'area

L'argomento, benché rilevato e studiato adeguatamente nei primi anni '50 (COTECCHIA & CANITANO, 1954), non ha beneficiato negli ultimi decenni della dovuta attenzione da parte della comunità scientifica, che avrebbe potuto trarre dalle Pietre Nere conseguenze ed ipotesi riguardanti non soltanto la





Fig. 13.22 - Degrado idrogeologico e geotecnico dei gessi (selenite) lungo le sponde del canale Acquarotta a causa del fenomeno di dissoluzione carsica.  
- Hydrogeological and geotechnical degradation of gypsum (selenites), caused by karst dissolution, along the banks of the Acquarotta channel.



Fig. 13.23 - Vista del porticciolo nato negli ultimi decenni all'estremità di Punta delle Pietre Nere.  
- View of the small harbour established in the last decades at the end of Punta delle Pietre Nere.

tettonica, che caratterizza il passaggio dal Gargano al Tavoliere, bensì anche l'idrogeologia dell'area stessa, che più avanti questo testo tratta.

Pertanto, in ordine alla Storia che la letteratura scientifica menziona sull'argomento, val la pena riproporre, testualmente, quanto su detto argomento veniva pubblicato nel 1954 sul Bollettino della Società Geologica Italiana (Vol. LXXIII), specificamente riferendosi alla provata origine della Punta delle Pietre Nere, immediatamente ad ovest del lago di Lesina (COTECCHIA & CANITANO, 1954).

La nota ricordata così recita: *“Tra il Lago di Lesina ed il mare, con direzione all'incirca Nord-Sud, si rinviene, racchiuso sui due lati da depositi alluvionali recenti, modellati dal vento a forme di dune, un discreto affioramento di gesso cristallino, scuro per impurità bituminose, alla cui estremità settentrionale, verso il mare, si affiancano due affioramenti, lunghi poco più di un centinaio di metri, di una roccia ignea scura e di calcare marnoso nero, che costituiscono la “Punta delle pietre nere” vera e propria... I terreni recenti che ad oriente e ad occidente delimitano l'affioramento di gesso, di forma allungata, sono rappresentati dagli estesi e bassi depositi sabbiosi, che dalla foce del Fiume Fortore si spingono verso la spiaggia di Chienti, fino a raggiungere le falde occidentali del M. d'Elio, ad Est del Lago di Lesina. Tali materiali, nei quali abbondano gusci di conchiglie terrestri, provengono evidentemente dalle piene dei fiumi del litorale adriatico, compresi fra Vasto e Lesina, e principalmente dal Fortore. Essi, trasportati dalla corrente marina verso levante, hanno costituito la barriera litorale che oggi divide il Lago di Lesina dal mare, barriera che va assottigliandosi verso Est e che ricopre in buona parte le rocce dell'affioramento delle Pietre Nere, il quale probabilmente costituiva un tempo un isolotto circondato da ogni parte dal mare. Recenti lavori (1927) per la costruzione di un nuovo emissario (Canale Acquarotta) del lago di Lesina hanno aperto un lungo canale in trincea dal lago alla “Punta”. Lungo questa trincea è possibile osservare in dettaglio la formazione dei gessi (varietà selenite). La massa è molto disturbata: non si notano mai stratificazioni regolari, ma invece è palese che tutto il complesso ha subito forti contorsioni, in virtù della sua plasticità di assieme. Inoltre si notano, sovente, inclusi nel gesso, calcari bituminosi, identici a quelli dell'affioramento della “Punta” ..omissis .... Macroscopicamente il gesso si presenta di colore variabile dal bianco sporco al grigio scuro quasi nerastro. I campioni esaminati mostrano una struttura zonata, quasi fluidale, mar-*

*cata, a fasce variamente colorate dal bianco al nerastro e di spessore variabile da frazioni di millimetro a qualche centimetro (figg. 13.24a, 13.24b). Caratteristiche sono alcune zone che microscopicamente mostrano pezzi frammentari, brecciati, di colore grigio-marrone chiaro, di aspetto terroso, attraversati da vene di gesso bianco microcristallino che mostrano all'esame microscopico una grana estremamente fina, con probabile presenza di minute sostanze argillose frammiste al gesso cripto cristallino.*

Passando a citare la presenza dei calcari (fig. 13.24c) è detto fra l'altro: *di questo calcare sono stati esaminati al microscopio tre campioni, ..ecc., con frequenti seppur esili intercalazioni di pirite, disposta con andamento parallelo alla scistosità ecc. E per quanto riguarda le rocce eruttive (fig. 13.24d), le “Pietre Nere” si presentano prevalentemente con struttura olocristallina granulare porfirica o ofitica, talora invece mostrano una struttura porfirica con visibili grossi cristalli di feldspato, biotite ed anfibolo ... omissis... I risultati delle prospezioni geoelettriche profonde hanno mostrato che i calcari cretaci, che formano l'ossatura profonda del Tavoliere e ...omissis... formano una struttura a “Horst” e “Graben”, derivanti da una successione di faglie di primo ordine, appartenenti al sistema di fratture appenniniche. Di tali faglie una infatti è ...omissis... la faglia marginale che limita il Gargano verso Sud-Est (“Faglia del Candelaro”), ecc..*

*Quando si pensi che l'affioramento della Punta delle Pietre Nere giace proprio all'estremità settentrionale della Faglia di Apricena, delimitante ad Ovest, insieme alla dianzi ricordata “Faglia del Candelaro”, il Promontorio del Gargano, i fatti ora elencati suggeriscono l'ipotesi che nella faglia stessa si sia verificata una “intrusione diapirica” del gesso, proveniente dalla nota formazione salina, che caratterizza in tutta l'Italia l'inizio della sedimentazione triassica, cioè la fase di trasgressione con la quale si apre la storia geologica della geosinclinale mesozoica.*

È utile in proposito rendere noto il risultato di due trivellazioni, il pozzo 26 EISS (2/FP) e il pozzo Sannicandro 2, eseguite rispettivamente per ricerca di acqua dall'Ente Irrigazione e per ricerche petrolifere dall'AGIP, a non più di 10 km a Sud e a ovest della Punta delle Pietre Nere (fig. 13.25). Mentre la prima perforazione si è arrestata a 356 m sotto il p.c. nei calcari del Cretaceo dopo aver attraversato terreni (sabbie e argille) plio-pleistocenici e calcareniti mioceniche, la seconda ha incontrato, tra 800 e 1567 metri di profondità,

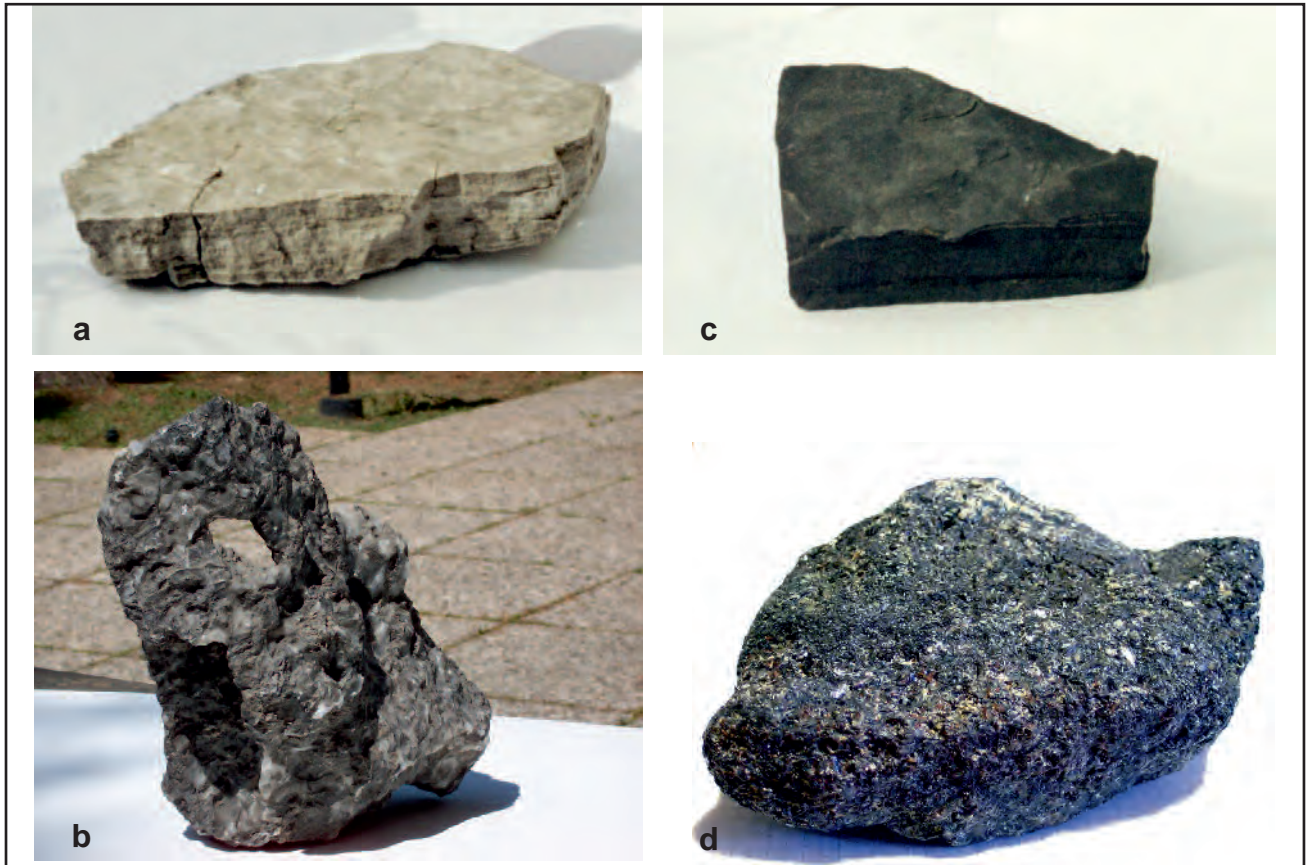


Fig. 13.24 - Campioni di rocce estratte dalla Punta delle Pietre Nere: a) Campione di gesso (selenite) stratiforme; b) Gesso contorto, a seguito della migrazione diapirica subita; c) Calcarea bituminosa nerastro del Trias; d) Filone igneo (melasyenite) con evidenza di cristalli di augite e miche.  
 - Rock samples from Punta delle Pietre Nere: a) sample of stratified gypsum (selenite); b) gypsum convoluted as a result of diapirism; c) black bituminous Trias limestone; d) igneous vein (mela-syenite) with evidence of augite and mica crystals.

alternanze di calcari e dolomie del Giurassico superiore, mentre rimane di imprecisabile datazione, per la mancanza di reperti fossili, il tratto finale sino alla profondità di 2570 metri. Il pozzo petrolifero non ha quindi riscontrato il Trias evaporitico che contraddistingue invece il pozzo Foresta Umbra 1 (AGIP) per circa 2000 metri (tav. 1 f.t.).

Tali considerazioni, unite all'intensa storia tettonica accertata (par. 13.3) e alle anomalie termiche riscontrate nelle acque della sorgente San Nazario e di taluni pozzi (par. 13.5.7) tra cui, seppur limitatamente riferito alle acque di falda dei primi 45 metri a partire dal livello statico, il pozzo 26 EISS, fanno del promontorio garganico una regione molto attiva dal punto di vista geodinamico, e dalle origini non ancora tutte note.

A tal riguardo a circa 4 km, in direzione O-NO, da Apricena ed ad una quindicina di chilometri a SSE della Punta delle Pietre Nere, nei pressi della Masseria S. Giovanni in Pane, è presente un affio-

ramento eruttivo basaltico collegabile a quelli delle Pietre Nere. Tali eruttivi di tipo basaltico sono sicuramente di età post-cretacea e pre-miocenica; per la loro composizione chimica e petrografica le rocce in parola sono assai vicine a quelle di Punta delle Pietre Nere. Questi rapporti, ovviamente non casuali, fanno ritenere giustificata l'ipotesi della provenienza dell'igneo delle due località dallo stesso focolare magmatico (CARELLA, 1963), con risalita filoniana dello stesso verso l'alto entro le numerose fratture associate all'importante linea-zione tettonica della faglia di Apricena.

#### 13.6.2.2. - Genesi della Punta delle Pietre Nere

Circa le origini di un tale straordinario geosito, val la pena ricordare gli studi svolti nel lontano passato per quest'area. Riguardo alle modalità tettoniche del fenomeno, (CASTERAS, 1933) nel segnalare molti casi interessanti di diapirismo triassico nella

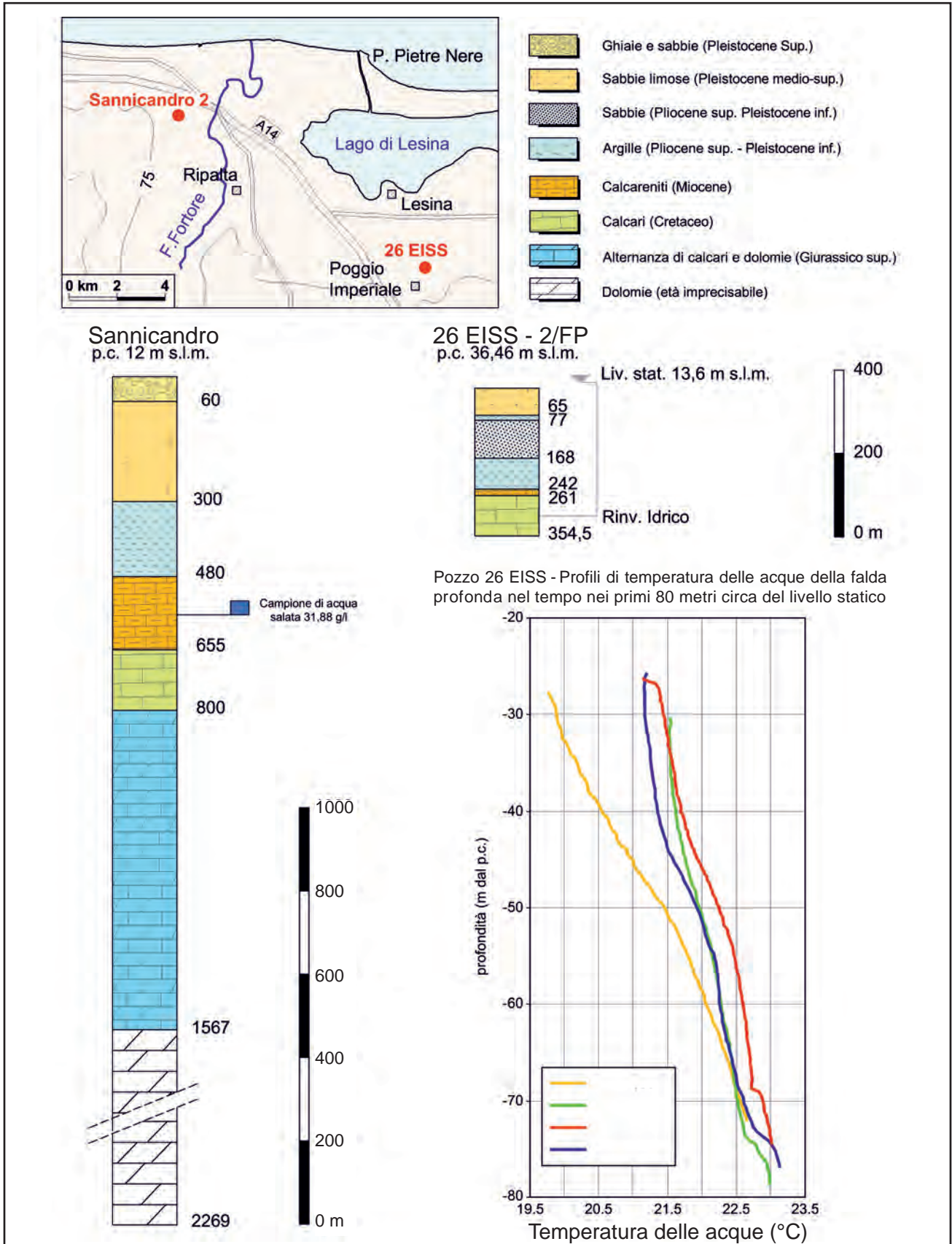


Fig. 13.25 - Litostratigrafie schematiche ed elementi idrogeologici dei pozzi 26 EISS (2/FP) e Sannicandro 2 a non più di 10 km a Sud e a Ovest della Punta delle Pietre Nere.

- Schematic lithostratigraphies and hydrogeological elements of wells 26 EISS (2/FP) and Sannicandro 2, at a distance lower than 10 km, South and West of Punta delle Pietre Nere.

zona sub-pirenaica francese, descrive in particolare la speciale attività tettonica svolta dai gessi. Questi, in conseguenza della loro plasticità, proprietà esaltata con la temperatura, che, negli strati profondi, risulta relativamente alta, migrano come fluidi viscosi, svolgendo talora, alla base delle formazioni mesozoiche, scorrimenti tettonici altamente deformanti nei confronti delle rocce sovrastanti. Peraltro, per un semplice effetto isostatico il Trias gessoso riesce quindi ad accumularsi in profondità in masse talora enormi e, spinto verso l'alto, a migrare entro le fratture tettoniche ben frequenti e oggi abbastanza esaurientemente individuate, al limite tra il promontorio garganico e il Tavoliere, di talché, una volta giunto all'esterno, si riversa su terreni più recenti. Ciò accade appunto nell'aera che qui si descrive, dopo una migrazione tettonica subita dai gessi per più chilometri, all'incirca in verticale, dalla sede stratigrafica profonda di origine fino al piano campagna.

A questo punto è bene ricordare che moltissimi sono gli esempi di diapiri imputabili alla presenza di Trias in facies lagunare nell'Africa del Nord, nelle Alpi occidentali, nei Pirenei e in Spagna. RIOS ha esaminato, infatti, nel 1948 numerosi stili di diapiri europei ed extraeuropei, fra i quali prevalgono appunto i diapiri triassici, accompagnati quasi tutti

da lembi di rocce eruttive, designate genericamente col nome di "oliti". DE LAPPARENT *et alii*, 1950 definiscono "ofiti" alcune rocce ignee, di aspetto e costituzione abbastanza simili alle dioriti, che accompagnano taluni affioramenti di Trias nei Pirenei e in Algeria.

I diapiri del Keuper di Salinas de Rosio, Villasana de Mena, Orduna, Murguia e Maestu, ed altri ancora rilevati in Spagna e ricoprenti le formazioni calcaree e calcareo-marnose del Cenomaniano e del Turoniano, mostrano una forte analogia di età e di costituzione con l'affioramento diapirico delle Pietre Nere. I gessi diapirici di Salinas de Rosio risultano altresì, similmente a quanto è dato notare alle "Pietre Nere", circondati da un'aureola di calcari marnosi scuri, strappati anch'essi al Keuper e talora metamorfosati.

Confortati dal riferimento degli esempi di letteratura sopra esposti, è stata data ai gessi della Punta delle Pietre Nere già da oltre 60 anni a questa parte, un'indubbia origine diapirica, che spiega tra l'altro la struttura fluidale del gesso e la presenza in esso dei frammenti di calcari del Carnico. Il fascio di strati calcareo-bituminosi, come mostra lo schizzo rappresentato in figura 13.26, è stato anch'esso spinto dal gesso, e probabilmente sono stati trascinati anche lembi di calcari cretatici, in-

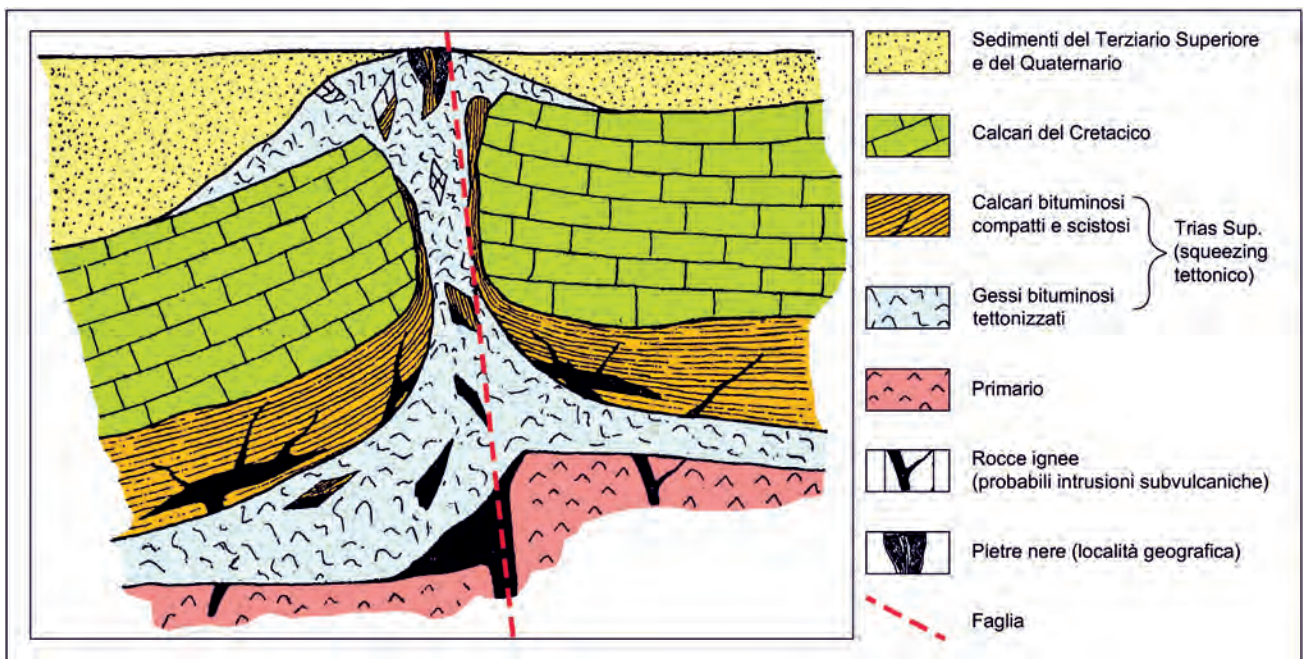


Fig. 13.26 - Schizzo della struttura diapirica di Punta Pietre Nere (da COTECCHIA & CANNITANO, 1954).

- Sketch of the diapiric structure of Punta Pietre Nere (after COTECCHIA & CANNITANO, 1954).

globati probabilmente nell'ammasso dei gessi, ma oggi ricoperti dalle alluvioni recenti della zona.

Per quanto riguarda le rocce eruttive delle Pietre Nere, esse sembrano costituire lembi strappati dai gessi ad alcuni dicchi subvulcanici intrusi entro le spaccature e i giunti di stratificazione dei calcari triassici e anche di quelli cretaci sovrastanti.

A tal riguardo, RIOS, 1948 ritiene che il comportamento delle inclusioni magmatiche fra i gessi abbia avuto, in taluni casi, un'azione diretta prevalente nella genesi dei diapiri da lui considerata, il che sotto il profilo scientifico, sollecita ancora una volta l'opportunità che modalità geostutturali afferenti al sollevamento del Promontorio garganico trovino fra i ricercatori interessi più agguerriti al riguardo. È infatti assai probabile che il fenomeno diapirico, quello che si evidenzia oggi alla Punta delle Pietre Nere, rappresenti una fenomenologia estesa largamente alle fratture costituenti la fagliazione, con la quale il Promontorio garganico si affaccia sul Tavoliere, anche se in sostanza detto squeezing tettonico non raggiunge il piano campagna, ma contribuisce in ogni caso, sotto il profilo idrogeologico in particolare, a ridurre la permeabilità dell'acquifero e dunque l'afflusso di acque sotterranee dal Gargano al Tavoliere, area trattata nel capitolo che segue.

Anche altri autori concordano con l'ipotesi formazionale del Diapiro. In particolare, MARTINIS & PIERI (1963) affermano: “*Secondo l'interpretazione più attendibile, i gessi si trovano nella situazione attuale per un fenomeno di tipo diapirico e nel loro movimento hanno trascinato i lembi di calcari triassici ed i lamprofiri associati a questi ultimi*”. In accordo con questa conclusione sono anche i risultati dello studio sulla direzione di magnetizzazione nei vari affioramenti delle Pietre Nere (MOLINA *et alii*, 1961). Martinis si sofferma particolarmente, a proposito di pozzi eseguiti per ricerca petrolifera, sul ben noto Pozzo Foresta Umbra 1, perforato alla sommità del Gargano, col quale si riscontra, fra le profondità 3291 e 5071 m, la presenza di anidriti cristalline con intercalazioni di dolomie e calcari dolomitici. Tale formazione evaporitica è stata attribuita al Triassico Superiore. Non si esclude la possibilità, in base all'effettiva presenza di anidriti nel pozzo Foresta Umbra 1 ed a considerazioni termodinamiche, che i calcari e le evaporiti triassiche

della Punta delle Pietre Nere siano stati appunto spremuti (squeezing tettonico) e spinti verso la superficie anche da eventi insiti nella evoluzione tettonica dell'area (BIGAZZI *et alii*, 1996).

Si può quindi ipotizzare che, sovrapposta alla fenomenologia principale della risalita diapirica, vi sia anche una componente di “squeezing tettonico”, strettamente connessa con la fenomenologia diapirica che interessa entrambe le Faglie del Candelaro e Apricena, e ciò, come in precedenza accennato, non solo nell'area di affioramento diretto a Marina di Lesina.

#### *Datazioni delle Pietre Nere*

Nell'ambito dell'affioramento della Punta delle Pietre Nere, invero assai limitato, si rinvencono calcari e gessi del Trias Superiore, melasieniti e melagabbri riferibili al Paleocene e biocalcareniti formatesi nel Pleistocene Superiore (fig. 13.27).

Lungo il canale Acquarotta si distinguono due corpi ignei separati, consistenti in un dicco alcalino melasienitico e da un gruppo di piccoli affioramenti maggiormente rappresentati da melagabbri alcalini ed in subordine da facies ultramafiche e porfiriche (DE FINO *et alii*, 1981). Trattasi di frammenti di formazioni derivanti da un magma di tipo atlantico, differenziato in senso basico (melanotrongabbroide) (AMENDOLAGINE *et alii*, 1964; DELL'ANNA & PIZZIRANI, 1964).

Nel lavoro di CORTECCI *et alii* (2000), i gessi ed i calcari, con intrusioni di Melasienite e Melagabbri, hanno formato oggetto di datazioni per via radioisotopica ( $d^{13}C$ ,  $d^{18}O$ ,  $d^{34}S$  e  $^{87}Sr / ^{86}Sr$ ). Circa l'età dei litotipi in argomento, il rapporto  $^{87}Sr / ^{86}Sr$  nei calcari e nei gessi e, limitatamente a questi ultimi, il valore  $d^{34}S$ , confermano in via definitiva che entrambi sono ascrivibili al Triassico superiore (circa 200 milioni di anni fa). Relativamente ai gessi, essi sono risultati praticamente identici come età alla formazione delle Anidriti di Burano, così come del resto già asserivano BIGAZZI *et alii* (1996). Le analisi isotopiche relative alle biocalcareniti pleistoceniche, pur presenti nell'area, evidenziano, infine, che i valori di  $d^{13}C$  e  $d^{18}O$  sono congruenti con quelli che si riscontrano nelle ordinarie condizioni deposizionali marine.

Per quanto riguarda i corpi ignei melasienitici e melagabbri, datazioni derivanti dal rapporto K/Ar della mica nera forniscono un'età di 58-59

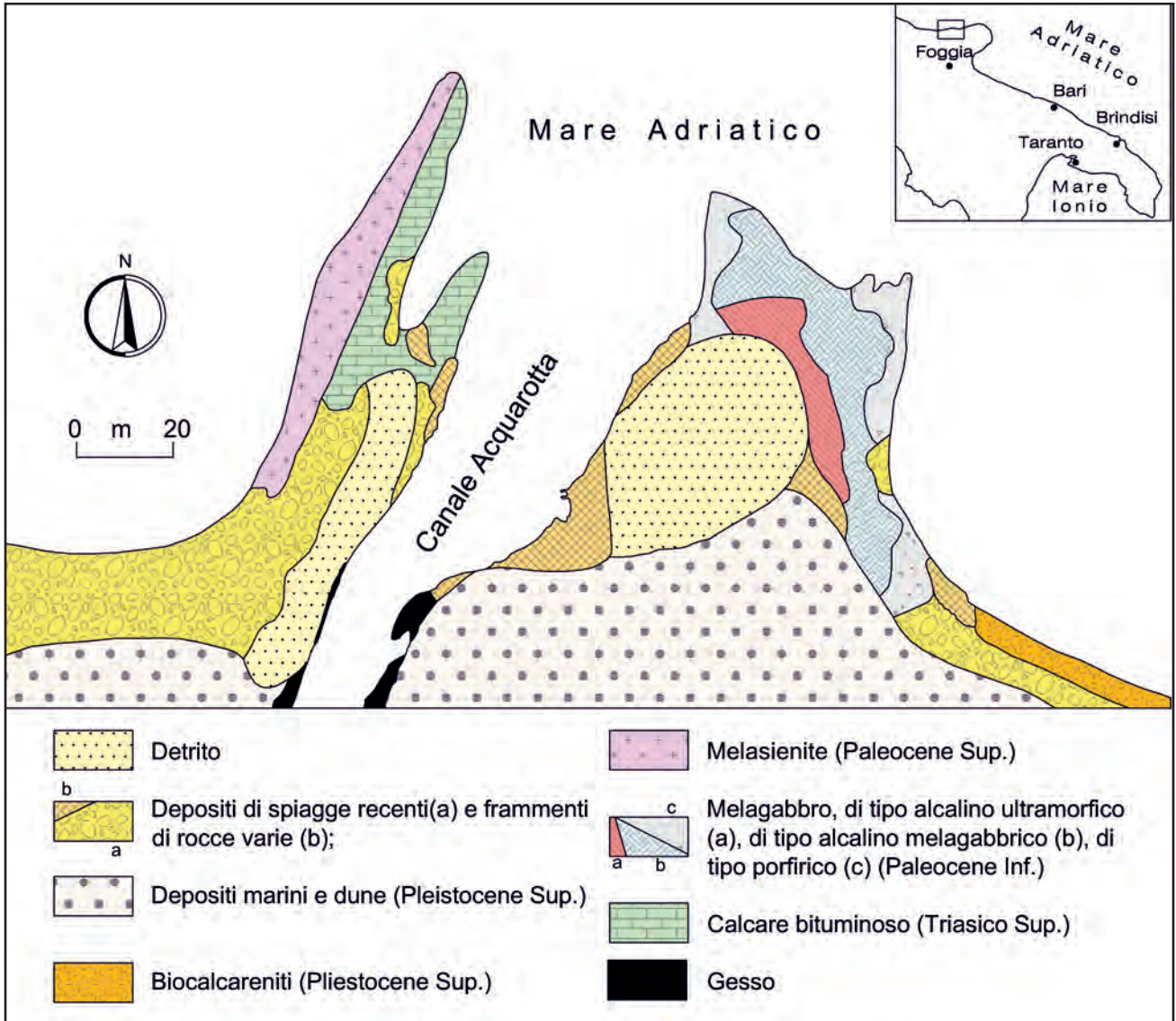


Fig. 13.27 - Mappa geologica schematica di Punta delle Pietre Nere (mod., da DE FINO *et alii*, 1981).  
- Schematic geological map of Punta delle Pietre Nere (modified after DE FINO *et alii*, 1981).

Ma per il primo e 62 Ma per il secondo.

Sulla scorta delle risultanze analitiche è accertato quindi che l'intrusione delle rocce ignee paleoceniche ed i susseguenti eventi tettonici non hanno sensibilmente modificato la composizione chimica ed isotopica dei calcari e dei gessi. Di grande interesse per l'interpretazione geostrutturale dell'area in esame è l'elevata anomalia magnetica, che rivelerebbe la presenza intorno alla profondità di 6 km di alcuni corpi di rocce ignee a sviluppo verticale, prodotti da intrusioni avvenute prima della fase compressiva, probabilmente in una fase distensiva premiocenica (CORRADO *et alii*, 1974; BOLIS *et alii*, 1981).

13.6.2.3. - Deformazioni del suolo dovute al sollevamento indotto dallo *squeezing* tettonico

Immediatamente a valle delle considerazioni svolte relativamente al fenomeno diapirico, prima di soffermarsi sui fenomeni di subsidenza dovuti all'ormai ben noto carsismo dei gessi del quale si dirà più avanti, è importante evidenziare i singolari fenomeni di sollevamento (*uplift*) che si determinano costantemente al suolo, proprio in virtù dello *squeezing* tettonico connesso all'attuale dinamica del diapiro illustrato. Trattasi in sostanza di una fenomenologia che, al pari della subsidenza delle evaporiti gessose, interessa in senso geotecnico fortemente l'uso del territorio.

Il fenomeno dell'*uplift*, inequivocabilmente confermato dalle misure interferometriche a detto fine qualche anno fa effettuate e che qui si illustrano, non è meno importante di quello che più avanti si illustra relativamente alla subsidenza da *sinkholes*, fenomenologia quest'ultima che ha creato situazioni di grave instabilità del recente edificato del centro abitato di Marina di Lesina.

Le fenomenologie da *uplift* suddette sono state comprovate, in misura inequivocabile, da misure satellitari svolte nel periodo 1992-2000 con la tecnica dell'interferometria radar a *Permanent Scatterers*, attuata dal Politecnico di Milano e concessa in uso esclusivo a Tele-Rilevamento Europa T.R.E. S.r.l.

Per detta elaborazione interferometrica è stata utilizzata la Tecnica PS, strumento operativo per il monitoraggio accurato di fenomeni di deformazione della superficie terrestre fondato sull'osservazione di un sottoinsieme di bersagli radar (diffusori permanenti o *Permanent Scatterers*), consistenti in una griglia di PS (*Permanent Scatterers*) come una sorta di rete di stazioni GPS (*Global Positioning System*), avente in genere una frequenza di aggiornamento del dato mensile e una densità spaziale di punti di misura estremamente elevata (in aree urbane 100-400 PS/km<sup>2</sup>). In corrispondenza di ciascun punto di misura, si è ricavato un trend medio di deformazione con una precisione compresa tra 0.1 e 0.5 mm/anno.

Sono stati a detti fini utilizzati dati SAR (*Synthetic Aperture Radar*) acquisiti dai satelliti ERS-1 e ERS-2 dell'Agenzia Spaziale Europea (ESA). L'elaborazione di tali dati ha permesso una inequivocabile misura indiretta degli spostamenti verticali (sollevamenti o abbassamenti) di particolari punti individuati sulla superficie terrestre. I dati vengono acquisiti sia durante l'orbita ascendente che discendente dei satelliti e l'elaborazione può essere eseguita utilizzando, a secondo dei casi, l'uno o l'altro set di dati. Infatti a volte i due *set* di dati possono fornire risultati leggermente diversi, se si è in presenza anche di movimenti orizzontali.

Tali misure hanno messo in chiara evidenza un concentrato *uplift* proprio nell'area di Marina di Lesina, nello specifico nelle zone adiacenti al Canale Acquarotta. I *pixel* cromatici dell'immagine satellitare con passaggio dal rosso (subsidenza) al

blu (sollevamento), hanno messo in evidenza che le coperture degli edifici, utilizzate come rifrattori radar, hanno subito nel detto periodo temporale un innalzamento di qualche millimetro per anno (fig. 13.28). Nei diagrammi riferiti agli spostamenti verticali misurati nel periodo tra il 1992 e il 2000 si osservano infatti sollevamenti dei terrazzi di taluni condomini (zona A e B) di circa 20 mm, circostanza tutt'altro da sottovalutare nell'uso del territorio. Detto fenomeno è stato peraltro confermato anche dalle livellazioni topografiche eseguite nella stessa zona negli anni 1998 – 2001 (fig. 13.29).

Pare superfluo a questo punto conclusivamente soffermarsi sul significato di quanto fin qui osservato, agli effetti delle deformazioni derivanti dallo *squeezing* tettonico in atto.

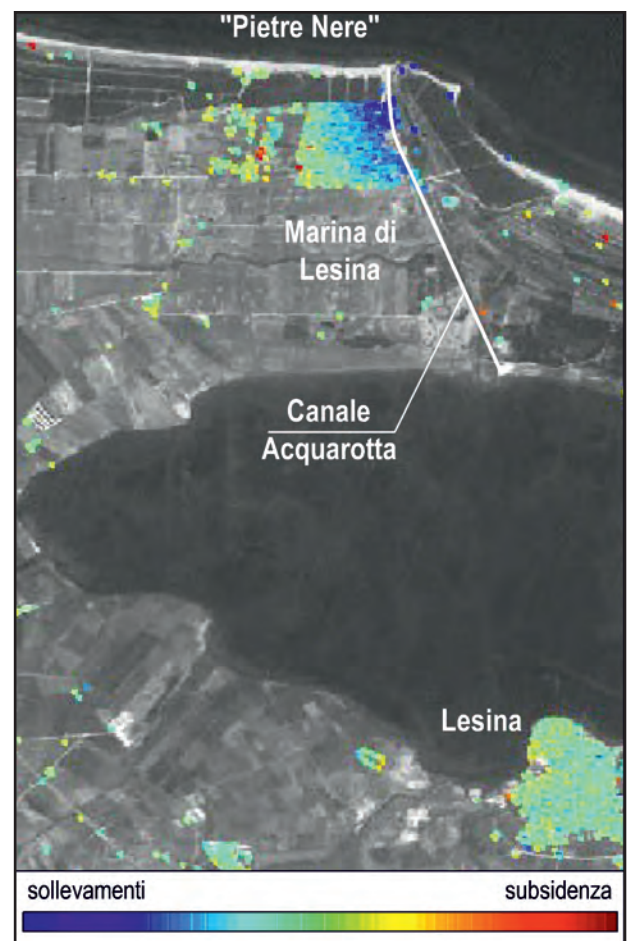


Fig. 13.28 - Misure di variazione delle quote, relative al periodo 1992/2000, misurate con la tecnica di interferometria radar da satellite.

- Elevation changes in the period 1992/2000, obtained using the satellite radar interferometry.





Fig. 13.29 - Posizioni dei PS (Permanent Scatterers) che hanno permesso di acclarare un concentrato *uplift* nell'area di Marina di Lesina attraverso la tecnica dell'interferometria radar.

- Location of the PS (Permanent Scatterers) that allowed to identify a concentrated *uplift* at Marina di Lesina through the satellite radar interferometry.

13.6.2.4. - Elementi tettonici ed idrogeologici dell'estesa area compresa fra la destra del F. Fortore e Poggio Imperiale, a Sud del L. di Lesina e della Punta delle Pietre Nere

Finora, nel corso del paragrafo afferente tale straordinario geosito delle Pietre Nere, non ci si è scostati geograficamente dall'area a valle del lago di Lesina, che come sopra specificato, è connesso idraulicamente alla Punta dal canale artificiale Acquarotta. Al fine di studiare l'idrogeologia a monte della laguna e dunque conoscere di più sul sistema acquifero in cui viaggiano le acque sotterranee, spostiamo temporaneamente l'attenzione sull'estesa porzione di territorio fra la destra del F. Fortore e l'abitato di Poggio Imperiale.

Sull'argomento in parola, certamente impor-

tante da segnalare in un'area di determinante significato fra le pendici del Promontorio garganico e la sponda del F. Fortore, non si sono raggiunti dati idrogeologici adeguati, il che tuttavia induce a trarre conclusioni quantomeno orientative, soffermandosi in particolare sulle illustrazioni riportate nelle figure 13.31, 13.32.

Come descritto nei precedenti paragrafi, nell'area affiorano calcari mesozoici della piattaforma carbonatica, le calcareniti del Miocene, i depositi plio-pleistocenici sia calcarenitici che argillosi dell'Avanfossa appenninica, e nonchè depositi marini terrazzati del Pleistocene Medio-Superiore.

Al di sopra dei suddetti sedimenti si ritrovano, infine, i depositi terrazzati alluvionali e deltizi del Pleistocene superiore, di limitata continuità laterale a causa della intensa attività erosiva dei corsi

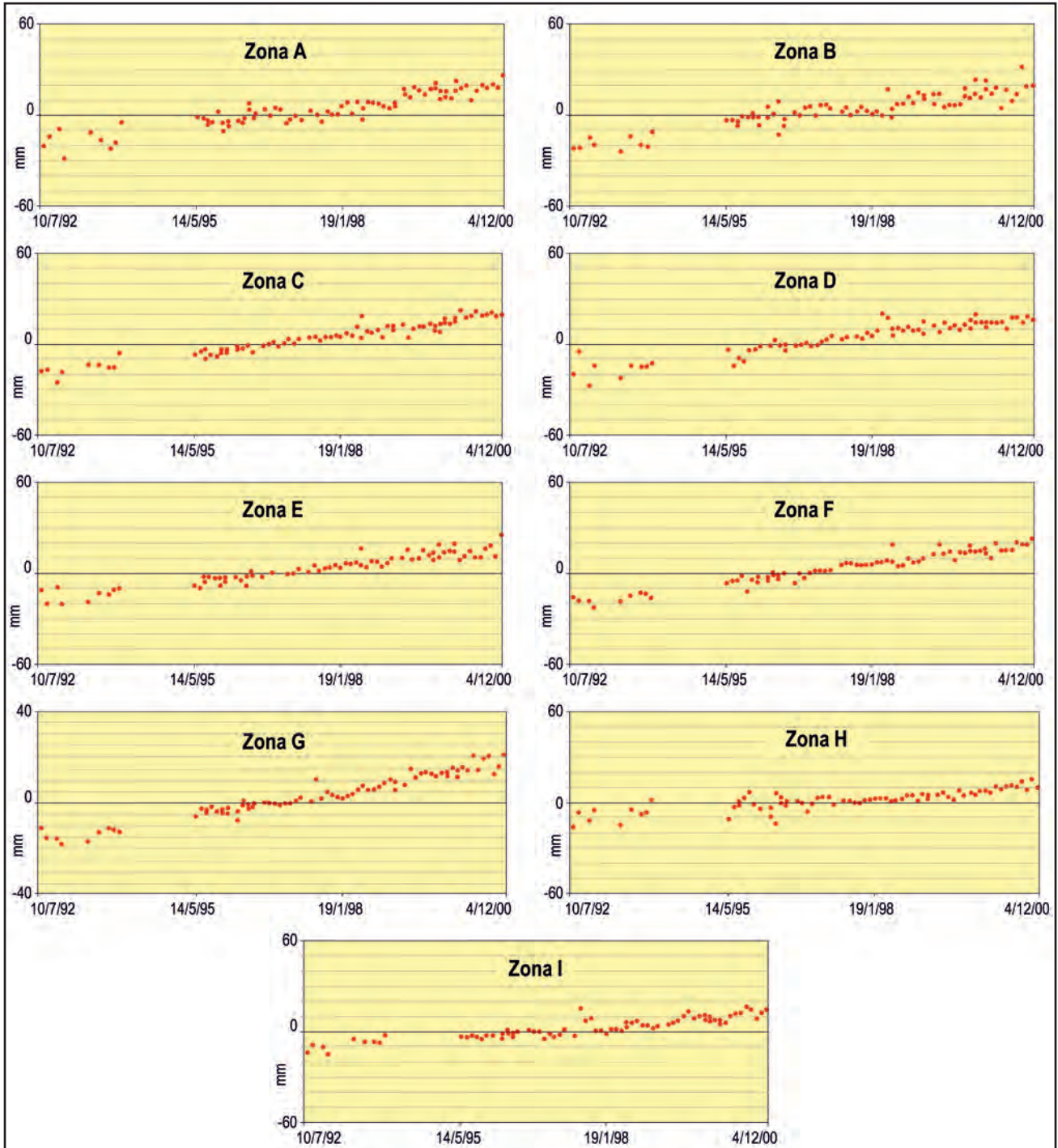


Fig. 13.30 - Misure di variazione delle quote dei P.S. (permanent scatterers) riportanti le serie storiche delle risalite dei vari punti (in rosso) indicati in fig. 13.29, nel periodo 1992÷2000 nella zona di Marina di Lesina.

- Elevation changes of the PS (Permanent Scatterers) with the historical time series of uplifts of the points (in red) shown in fig. 13.29, in the period 1992÷2000 at Marina di Lesina.

d'acqua che solcano la piana. Questi depositi, che poggiano in trasgressione in parte sui depositi del ciclo bradanico ed in parte sui depositi marini terrazzati, sono costituiti da ciottoli poligenici, a luoghi cementati, con intercalazioni sabbiose.

L'esistenza di un doppio sistema di faglie, l'uno

ad andamento prevalentemente appenninico (circa parallelo al corso del T. Candelaro) e l'altro ad andamento antiappenninico fa sì che il substrato carbonatico risulti suddiviso in una serie di blocchi con un generale ribassamento a gradinata fino a profondità superiori ai 1000 m.

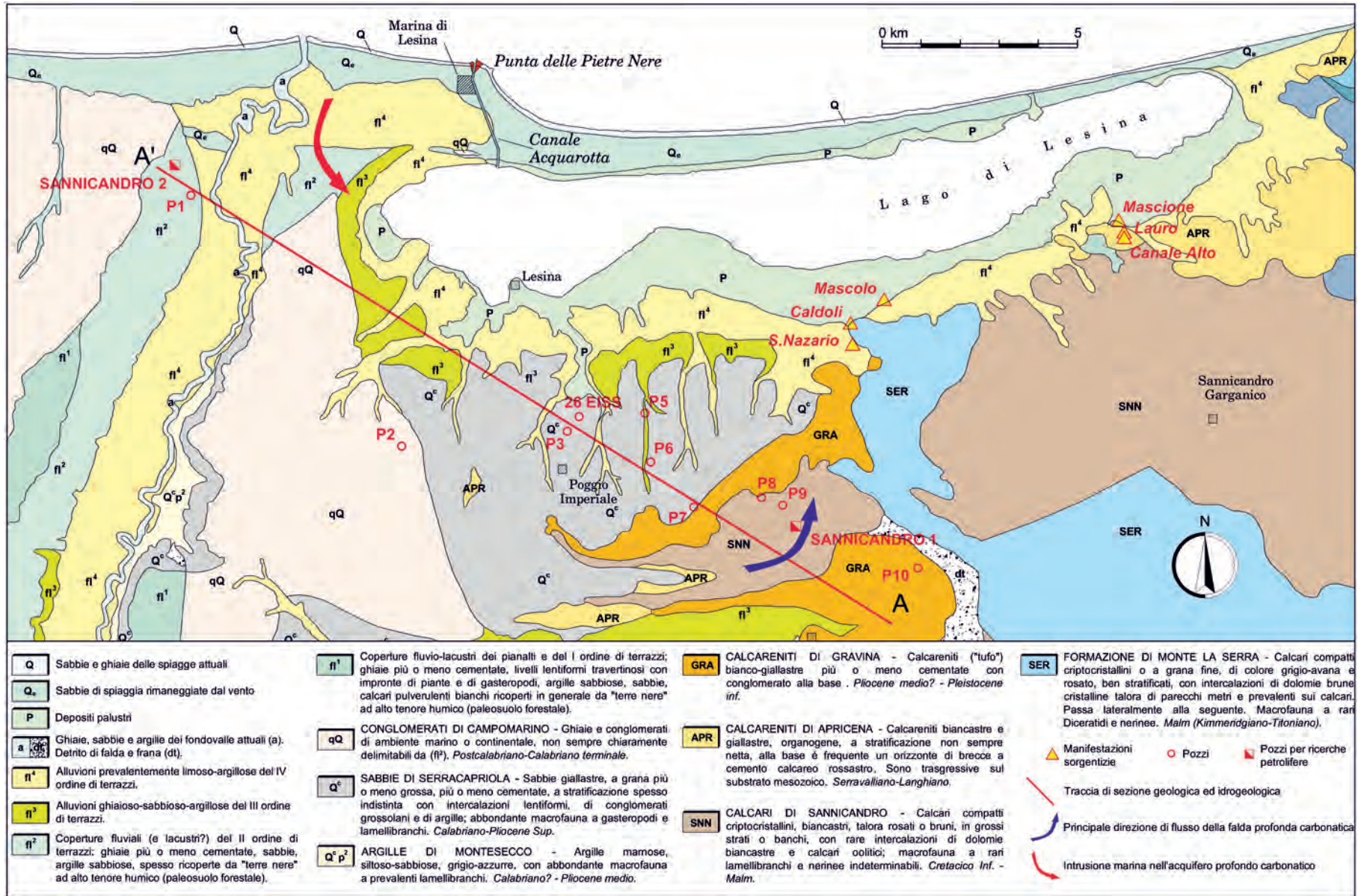


Fig. 13.31 - Planimetria geologica dell'estesa area compresa fra la destra del F. Fortore e Poggio Imperiale, a sud del lago di Lesina e di Punta delle Pietre Nere, con indicazione delle principali sorgenti carsiche che alimentano il lago e delle perforazioni utili alla ricostruzione delle sezioni geologica ed idrogeologica A-A' di figura 13.32.

- Geological map of the wide area between the right bank of the Fortore River and Poggio Imperiale, South of the Lesina Lake and Punta delle Pietre Nere, with indication of the main karst springs supplying water to the lake and of the boreholes used for reconstructing the A-A' geological and hydrogeological section shown in figure 13.32.

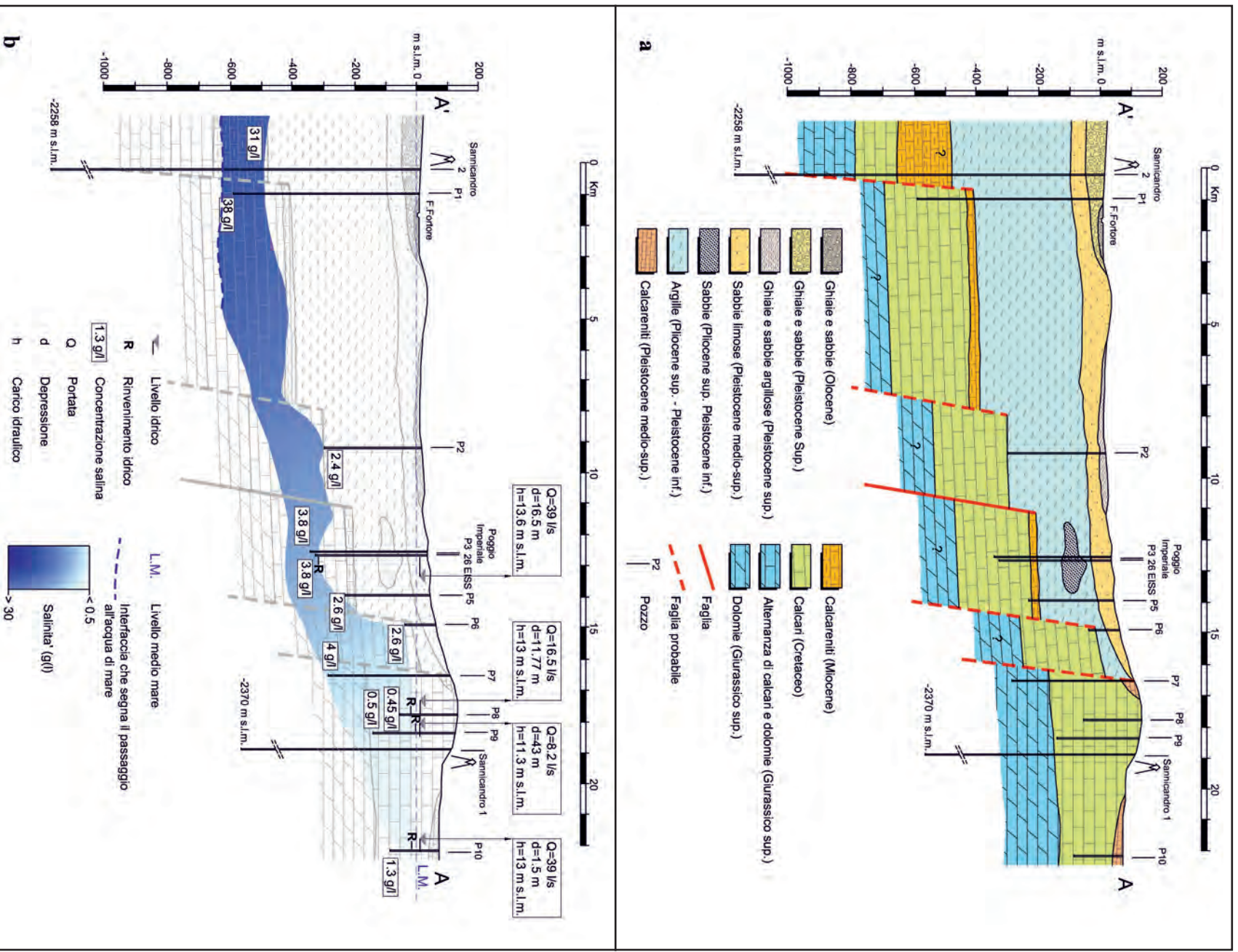


Fig. 13.32 - Area compresa fra la destra del F. Forore e Poggio Imperiale, a Sud del Lago di Lesina e della Punta delle Pietre Nere: a) sezione geologica; b) sezione idrogeologica (traccia di sezione in figura 13.31).

-Area between the right bank of the Forore River and Poggio Imperiale, South of the Lesina Lake and Punta delle Pietre Nere: a) geological section; b) hydrogeological section (trace shown in figure 13.31).

Nella sezione A-A' di figura 13.32, sono indicati, oltre i presunti lineamenti tettonici, anche i pozzi (tra cui i già citati 26 EISS e Sannicandro 2, fig. 13.25), che raggiungono gli acquiferi variamente profondi ritrovati, ai quali si associano le relative concentrazioni saline.

Le masse carbonatiche mesozoiche ospitano l'esteso corpo idrico costituente la falda profonda carsica del Gargano, i cui rinvenimenti idrici sono stati localizzati a diverse profondità; il prelievo di acque dolci è tuttavia limitato nelle zone dove il substrato carbonatico è affiorante e fino a profondità non superiori a qualche centinaio di metri, vale a dire in prossimità dell'abitato di Apricena, dove il valore di salinità non supera 1.5 g/l.

La circolazione idrica sotterranea avviene prevalentemente in pressione ed è fortemente condizionata dai caratteri geostrutturali dell'area; la presenza, infatti, a varie altezze stratigrafiche, dei depositi argillosi plio-pleistocenici impermeabili che sovrastano il basamento mesozoico, e l'esistenza di banchi di roccia calcarea compatta sovrastante l'acquifero carsico, comporta un confinamento della falda profonda, le cui acque risalgono, a partire dal rinvenimento, a più di 10 metri sul livello mare.

Le acque sotterranee defluiscono dalle zone più interne, dove è prevalente l'alimentazione dell'acquifero ad opera delle acque meteoriche, verso le sponde del lago, tendenzialmente lungo una direttrice perpendicolare alla costa e dando luogo a numerose sorgenti spesso localizzate in tratti ben definiti del lago stesso. Si ricordano a tal riguardo le sorgenti S. Nazario, Caldoli e Mascolo concentrate in prossimità della porzione centro-meridionale del lago di Lesina e le sorgenti Lauro e Canale Alto nella porzione meridionale dello stesso (fig. 13.31). In genere, queste sorgenti presentano una quota di affioramento che si aggira intorno a 1-2 m s.l.m. Fa eccezione la sorgente S. Nazario che presenta una quota sensibilmente più elevata (circa 6 m s.l.m.; cap. 4). Scarsi o nulli sono gli apporti verso il lato Tavoliere in direzione del Fortore per la presenza delle Argille Subappennine che sbarrano il libero deflusso delle acque. Ciò è avvalorato dal fatto che i carichi idraulici afferenti ai tratti acquiferi intercettati, partendo da Apricena, e per una distanza pari a circa 10 km, subiscono variazioni molto più modeste (com-

presi tra 11 e 13 m. s.l.m.) di quelle invece riscontrate in direzione perpendicolare alle sponde del lago.

La maggior permeabilità dell'acquifero si riscontra nei pressi dell'abitato di Apricena, dove risiedono impianti estrattivi di proprietà dell'Acquedotto Pugliese. Qui è possibile estrarre dai pozzi portate d'acqua dell'ordine dei 40 l/s con depressioni idrodinamiche dell'ordine del metro.

Quanto sinora esposto trova conferma nella sezione di figura 13.32, nella quale, procedendo dal Gargano verso il F. Fortore, si registra una notevole riduzione dello spessore della falda profonda a causa dello sprofondamento dei calcari mesozoici a parità di profondità dell'interfaccia acqua dolce – acqua di mare, ipotizzabile considerata l'esistenza di una sostanziale invarianza della quota piezometrica (circostanza accertata solo per il tratto esaminato compreso tra i pozzi P10 e 26 EISS). Ipotizzando che l'invarianza del carico piezometrico sia conservata sino al F. Fortore, l'interfaccia acqua dolce – acqua di mare dovrebbe qui essere presente a profondità dal livello mare inferiori a 400 m, mentre i calcari si rinvengono a profondità maggiori. Ciò giustifica la presenza di acque presentanti una concentrazione salina superiore a 30 g/l nei pozzi P1 e P2. Al bordo garganico del Tavoliere, ove i calcari si rinvengono a profondità dal livello mare inferiori a 300 m, e quindi alla profondità dell'interfaccia teorica, si registrano invece valori di salinità decisamente inferiori, compresi tra 2,5 e 4 g/l.

A conclusione di quanto fin qui illustrato, è probabile che dal sottosuolo del lago, nella parte ovest dello stesso, si verifichi ingressione di acqua marina con modalità di penetrazione che le conoscenze al momento disponibili non consentono di illustrare, con particolari idrogeologici adeguati, stante la mancanza di conoscenze pregresse nel merito.

#### 13.6.2.5. - Conseguenze idrogeologiche e geotecniche indotte dai fenomeni carsici sviluppati nei gessi: il caso di Marina di Lesina

Dopo il breve riesame delle condizioni idrogeologiche, concernente l'area compresa tra la destra del F. Fortore e Poggio Imperiale, per l'area di Marina di Lesina è importante analizzare sia le conse-

guenze idrogeologiche dei processi carsici coinvolgenti i gessi, notoriamente più rapidi della dissoluzione carbonatica, che le correlazioni tra variazione dell'idrografia/idrogeologia dell'area ed i dissesti che nel tempo si sono verificati. Nell'area, infatti, sono stati riscontrati i cosiddetti sinkholes, che appaiono come vere e proprie voragini generatesi a seguito del crollo delle volte delle cavità carsiche nei gessi, i quali mettono a serio rischio taluni insediamenti abitativi (fig. 13.33).

#### *Caratteri idrologici ed idrogeologici dell'area*

L'area in oggetto è inserita in un delicato e articolato sistema idrico superficiale. Si rilevano, infatti, ad Ovest un corto canale artificiale, immissario dell'Acquarotta, che costeggia la strada Lesina-Marina di Lesina, nonché il corso del F. Fortore, a circa 4 km dall'abitato; a Sud l'alveo del canale Acquarotta, che raccoglie le precipitazioni in occasione di eventi meteorici importanti; a Nord-Ovest l'alveo del F. Morto, parallelo all'attuale linea di costa, con la foce a ridosso della Torre Fortore ad Est; il canale artificiale Acquarotta che collega idraulicamente il Mare Adriatico al lago di Lesina. Quest'ultimo è alimentato da 22 piccoli corsi d'acqua, 6 sorgenti carsiche, che sono manifestazione della falda profonda carsica del Promontorio del Gargano, dalle precipitazioni direttamente insistenti sul lago e dall'ingresso d'acqua dal Mar Adriatico, che si attua tramite i due canali Acquarotta e Schiapparo. Prima del 1930, periodo in cui fu realizzato il canale Acquarotta, il livello del lago era generalmente superiore a quello del Mar Adriatico in primavera, a causa dell'elevata portata dei corsi d'acqua e delle sorgenti, mentre era inferiore in estate, quando l'evapotraspirazione superava evidentemente gli apporti idrici. In questo periodo le foci dei canali di marea che collegavano il lago con il mare, in parte naturali ed in parte artificiali (fig. 13.34) risultavano occluse dalla sabbia trasportata dalle correnti marine. Dopo il 1930, a causa della realizzazione di detti canali che collegano perennemente il lago con il mare, le oscillazioni del lago stesso sono diventate molto complesse, e collegate essenzialmente alle oscillazioni del livello del mare Adriatico, anche giornaliere, alle condizioni meteorologiche, e alla gestione delle aperture dei canali per esigenze legate all'al-

levamento del pesce (FIDELIBUS *et alii*, 2011).

Prima della realizzazione degli insediamenti abitativi di Marina di Lesina, oggi a rischio per il carsismo dei gessi, l'area su cui sorge era denominata "Petramaura"; essa era costituita da un alto topografico con base a quota 7-8 m e sommità a quota 16,5 m circa. Esso, nel 1927, è stato tagliato dal nuovo canale emissario del lago di Lesina, scavato nella formazione dei gessi fino a quota inferiore a quella del mare (fig. 13.35). La morfologia superficiale originaria, prima dell'edificazione sprovveduta nell'area, faceva sì che l'acqua piovana scorresse prevalentemente verso ovest e in minima parte verso Sud-Ovest ed Est.

L'attuale idrografia superficiale è stata totalmente sconvolta dalla presenza dei fabbricati e dalla mancanza di un adeguato convogliamento delle acque meteoriche. Altro elemento importante incidente sulla idrografia superficiale è rappresentato dai sinkholes, talvolta caratterizzati da notevoli dimensioni, sia in senso areale che in profondità ove, in alcuni di essi, è anche visibile la superficie della falda.

In quanto ai caratteri di permeabilità dei terreni, notoriamente le sabbie sciolte affioranti, riferibili al Pleistocene ed all'Olocene, sono molto permeabili per porosità mentre i gessi triassici manifestano spiccati caratteri di "permeabilità in grande" per fratturazione e carsismo. Questi ultimi sono poco permeabili solo laddove l'ammasso è scarsamente interessato dalla fratturazione o sono presenti cavità occupate da depositi limo-argillosi secondari intasanti.

La circolazione idrica sotterranea, trattandosi di un'area prettamente costiera, ha come livello di recapito finale sulla costa l'orizzonte marino ed è sostenuta, a motivo della minore densità, dall'acqua di mare che invade il continente. Non è però affatto di facile comprensione, per mancanza di dati preesistenti la realizzazione, la quantificazione dell'impatto del canale Acquarotta sul flusso delle acque sotterranee attraverso l'acquifero carsico evaporitico. La realizzazione di detto canale nei gessi, penetrante sotto il livello di falda, ha certamente turbato un equilibrio preesistente e con molto probabilità provocato una variazione nella direzione del flusso idrico, nel gradiente idraulico, nelle leggi che regolano le oscillazioni del livello di falda dovute alle maree ed infine nelle caratteristiche chimi-



Fig. 13.33 - Sinkhole nei pressi degli insediamenti abitativi di Marina di Lesina: a) Sinkhole (15 metri di diametro) rilevato al margine del condominio “Tremiti B”; b) Sinkhole rilevato il 10 Marzo 2005 al margine del muretto di recinzione del condominio “Levante”; c) Sinkhole in progressione che ormai sta per interessare il margine di una struttura; d) dissesto geologico al margine di alcuni condomini in via Plutone.  
 - Sinkholes near the built-up area of Marina di Lesina: a) a sinkhole of 15 metres in diameter at the edge of the condominium “Tremiti B”; b) sinkhole detected on 10 March 2005 at the edge of the fencing wall of condominium “Levante”; c) a progressively extending sinkhole which is on the way to affect the edge of a house; d) geological instability at the edge of some condominiums in Via Plutone.

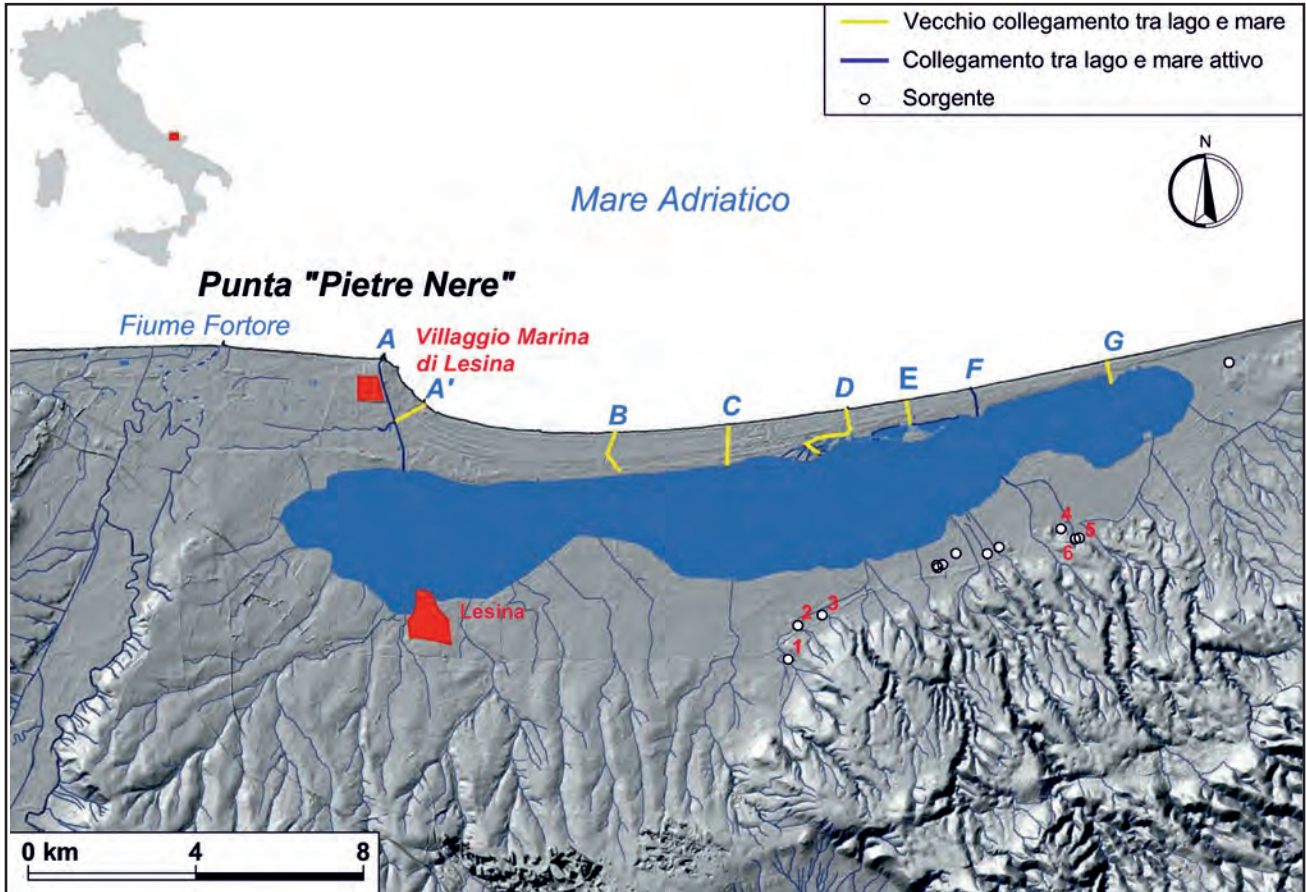


Fig. 13.34 - Carta del lago di Lesina: A) canale Acquarotta attuale; A') vecchio canale Acquarotta; B, C, D, E, G) antichi collegamenti inattivi tra il lago e il mare; F) canale Schiapparo attivo. Sono indicate anche le principali sorgenti carsiche che alimentano il lago: 1) S. Nazario, 2) Caldoli, 3) Mascolo, 4) Mascione, 5) Lauro, 6) Canale Alto (mod., da FIDELIBUS *et alii*, 2011).

- Map of the Lesina Lake: A) the present Acquarotta channel; A') old Acquarotta channel; B, C, D, E, G) the old unused connections between the lake and the sea; F) Schiapparo channel in operation. The main karst springs feeding the lake are also shown: 1) S. Nazario, 2) Caldoli, 3) Mascolo, 4) Mascione, 5) Lauro, 6) Canale Alto (modified after FIDELIBUS *et alii*, 2011).

che delle acque di falda. Il canale, il cui livello idrico è funzione delle oscillazioni del livello del Mar Adriatico e del lago di Lesina, risulta un elemento attivo nella circolazione idrica sotterranea, influenzando anche sulle oscillazioni del livello di falda.

Secondo studi recenti, l'attuale direzione di deflusso principale delle acque è verso il canale ed è influenzata dalle variazioni del livello superficiale dello stesso. Il livello della laguna, collegata idraulicamente al canale, varia pochi cm in relazione alle oscillazioni indotte dalle maree, essendo invece notevolmente influenzato dal regime delle precipitazioni. Nell'anno idrologico il livello statico della falda si attesta intorno al metro e oscilla in accordo con le variazioni di marea, fenomenologia tipica di acquiferi costieri. Inoltre, misure di velocità di filtrazione effettuate in pozzi disposti a differenti distanze durante la bassa e l'alta marea indicano che

la velocità di flusso è maggiore nelle vicinanze del canale, con un ulteriore incremento durante la bassa marea. La direzione prevalente di deflusso è risultata ortogonale al canale che, a seconda della fase di marea, ora drena, ora alimenta l'acquifero con la presenza di velocità di filtrazione, tutt'altro che modeste ( $0.5 \div 1.0$  m/g), che incontestabilmente agiscono sul deterioramento progressivo dei gessi, già profondamente carsicizzati e agevolanti il rapido ricambio fra acqua sotterranea e acqua del canale (FIDELIBUS *et alii*, 2011).

Lo scavo ha di certo provocato, localmente, una distorsione della rete di flusso e un aumento della permeabilità dell'ammasso evaporitico. Tale condizione al contorno è responsabile dell'effetto drenante, con aumento locale delle velocità di filtrazione, quando il flusso è diretto verso il canale, mentre favorisce una condizione di serbatoio e dunque di alimenta-





Fig. 13.35 - Canale artificiale Acquarotta: a) attuale tracciato del Canale, collegante il lago di Lesina con la foce a mare alla Punta delle Pietre Nere; b) ripresa del Canale dal ponte a sud in direzione sud; sullo sfondo la paratoia; c) confluenza del canale Acquarotta naturale in quello artificiale.  
 - Acquarotta artificial channel: a) current layout of the channel connecting the Lesina Lake with the outlet to the sea at Pietre Nere; b) upstream view of the channel from the bridge to the South, showing the gate in the background; c) confluence of the natural Acquarotta channel into the artificial one.

zione in caso di inversione del flusso.

Il tasso di dissoluzione dell'anidrite è controllato principalmente dalla quantità di acqua a contatto con tali minerali e, in secondo ordine, dalla modalità con cui tale contatto avviene (FORD & WILLIAMS, 2007). È, infatti, significativo che le vie preferenziali di circolazione idrica sotterranea corrispondano alle zone ove più marcati sono i dissesti finora rilevati.

In prossimità del Canale Acquarotta, le inversioni

del deflusso idrico sotterraneo e le oscillazioni piezometriche regolano le concentrazioni saline delle acque di falda e in parte quelle del canale, nonché la stratificazione salina della falda. Sia che si tratti della marea montante, sia che il deflusso avvenga dal lago verso il mare, la densità delle acque nel canale è sempre superiore a quella della falda sotterranea, con residui fissi (determinati su campionamenti effettuati in corrispondenza dell'imbocco ed alla foce del Canale) compresi tra 19,7 g/l e 26,8 g/l. Il medesimo parametro per le acque sotterranee circolanti nella zona superficiale dell'acquifero, al di sopra della zona di diffusione salina, denota valori estremamente variabili a partire da 0,5 ÷ 0,7 g/l ai valori suddetti. Il fatto che i caratteri idrochimici della falda idrica non siano uniformi deriva fra l'altro dal fenomeno dell'intrusione marina, dalla miscelazione con le acque del canale nelle adiacenze dello stesso e dall'esplicarsi della dissoluzione carsica dei gessi variabile da luogo a luogo.

#### *Il carsismo nei gessi ed i relativi fenomeni di sinkholes*

I fenomeni di subsidenza determinati dalla formazione di sinkholes sono sostanzialmente legati a due tipi di processi: formazione o allargamento di una cavità carsica in profondità e conseguente movimento verso il basso dei materiali sovrastanti, a causa di erosione interna e deformazione gravitativa. Negli ambienti carbonatici l'effetto dei processi di dissoluzione che agiscono alla scala temporale umana sono generalmente trascurabili a causa della bassa solubilità dei calcari e delle dolomiti (BECK, 2005). Al contrario, la solubilità dei materiali evaporitici può avere un effetto determinante sulle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche anche in brevi periodi di tempo, dell'ordine di alcune decine di anni (COOPER, 1995; WHITE, 2002; DREYBRODT *et alii*, 2002; FORD & WILLIAMS, 2007; ).

Molti sono i casi di studio in tutto il mondo ove si sono osservati allargamenti di esistenti condotti carsici o formazione di nuove cavità determinate da un incremento del gradiente idraulico, sviluppatasi in tempi paragonabili a quelli della vita utile delle opere di ingegneria civile, come nel caso di dighe realizzate su materiali evaporitici (JAMES, 1992). Detta circostanza comporta che una parte significativa dei sinkholes oggi osservati in materiali evaporitici possono essere stati indotti, o accelerati,

dalle attività umane che comportano delle alterazioni nella idrogeologia, ed in particolare sulle caratteristiche della circolazione idrica sotterranea. Tra queste vanno annoverate le attività che comportano (FIDELIBUS *et alii*, 2011):

- un abbassamento del livello piezometrico della falda, come ad esempio quello determinato da forti estrazioni da pozzi o drenaggi dovuti ad attività di scavo, che determinano un incremento del gradiente idraulico.
- un innaturale innalzamento del livello piezometrico della falda, che può portare ad una espulsione dei sedimenti che riempiono le cavità e quindi un rapido allargamento per dissoluzione delle stesse;
- incremento della ricarica della falda;
- scongelamento dei permafost.

I sinkholes di Marina di Lesina da anni affliggono la fascia di terreni a ridosso del canale (fig. 13.36).

La solubilità dei gessi è condizionata da numerosi fattori quali la temperatura, il tenore di anidride carbonica e, soprattutto, dalla velocità di deflusso sotterraneo e dalla concentrazione di cloruro di sodio disciolto. Poiché la solubilità del litotipo evaporitico, come per altri sali, è esaltata dalla forza ionica della soluzione a contatto, nel caso in esame il miscelamento con acque marine, nella zona di transizione acqua dolce-acqua salmastra, comporta un aumento della solubilità dei gessi, (fino a 7 g/l di solfato di calcio quando le concentrazioni di NaCl raggiungono i 30 g/l). Ciò in quanto con l'aumento della concentrazione di ioni cloruro, si vengono a creare condizioni di sottosaturazione rispetto al gesso.

Le escursioni della superficie piezometrica dell'acquifero nel sottosuolo sono fra le cause più comuni dei collassi di sinkhole nei gessi; così pure agiscono sfavorevolmente gli allagamenti o gli effetti di piogge prolungate. Ciò induce a considerare il ruolo preminente svolto dalla rete carsica e delle bizzarre discontinuità tettoniche derivanti dallo squeezing tettonico. Studi pregressi hanno evidenziato la presenza di cavità nei gessi grossomodo in corrispondenza del pelo libero della falda ove, spesso, sono stati riscontrati i massimi valori di velocità di filtrazione.

La dissoluzione è tuttavia da considerarsi un fenomeno dinamico, in relazione alle capacità di rin-

novamento dell'acquifero, per esempio connessi agli apporti meteorici, alle velocità di filtrazione, all'influenza di fattori esterni all'acquifero quali le oscillazioni dovute alle maree in prossimità della costa, ecc. Si spiega così anche la maggiore concentrazione del fenomeno carsico in corrispondenza della zona di transizione. A tale proposito si osserva che ad ogni stadio di stasi del livello mare nei tempi geologici la zona di transizione ha occupato una certa zona dell'acquifero che si è poi spostata secondo le variazioni subite dal livello mare assoggettando altre parti dello stesso acquifero ai fenomeni di dissoluzione e quindi di carsismo. Susseguenti variazioni, innalzamenti e/o abbassamenti, del livello mare hanno determinato la migrazione verticale della zona di transizione attraverso lo spessore dell'acquifero, causando una diagenesi addizionale e una dissoluzione differenziale delle rocce (carbonatiche o costituite da gessi).

Il fenomeno è oggi di fatto attivo prevalentemente laddove si produce il miscelamento tra acque dolci ed acque di mare mentre è un po' più lento nelle zone sature in acqua salata.

In tale ordine di idee si deduce facilmente che la presenza del canale Acquarotta, soprattutto in sinistra canale, laddove sembrano più frequenti i sinkholes, eserciti una indubbia influenza negativa, agli effetti delle cause idrauliche e meccaniche inducenti gli eventuali collassi.

#### *Considerazioni per la riduzione del rischio da sinkholes*

La scelta delle soluzioni discende dall'analisi delle modificazioni che l'ambiente in esame ha subito sia per cause naturali che, soprattutto, a causa degli interventi antropici. Fra le modificazioni naturali si ricordano le variazioni dei corsi d'acqua presenti nella zona (fiume Fortore e torrente Saccione), la carsificazione delle rocce gessifere, ecc.. Fra le modificazioni antropiche si ricordano l'apertura del canale Acquarotta (avvenuta nel 1927), l'alterazione del reticolo idrografico superficiale, l'alterazione del deflusso delle acque sotterranee, la mancanza di regimazione delle acque piovane, la mancanza di idonee opere di urbanizzazione, soprattutto idraulico-fognarie, ecc.

La scelta degli interventi più idonei per la soluzione dei problemi che affliggono l'area in esame, riguardano due aspetti principali: l'eliminazione del



Fig. 13.36 - Esempi di sinkhole: a) viale dissestato a causa della presenza di un sinkhole; b) tipico (cilindrico) del diametro di circa 3 m, e tanto profondo da far scorgere sul fondo l'acqua a -10 m circa dal p.c..

- *Examples of sinkholes: a) uneven pathway due to the presence of a sinkhole; b) typical shape (cylindrical), 3 metres in diameter, deep enough to show water at its bottom, about -10 m from the ground level.*

rischio di crolli improvvisi delle volte delle cavità presenti nel sottosuolo e il controllo delle condizioni idrogeologiche in modo da eliminare il riporsi del fenomeno di dissoluzione dei gessi.

Ciò si traduce in azioni che portano al colmamento delle cavità sotterranee al fine di scongiurare nuovi e più pericolosi crolli delle volte delle cavità stesse ed ad intercettare il flusso di marea ed il flusso della falda sotterranea al fine di eliminare, o quanto meno ridurre al minimo, la filtrazione dell'acqua, che modificando continuamente il grado di saturazione delle acque stesse, accelerano il fenomeno di dissoluzione dei gessi. Tali azioni devono garantire comunque il ricambio di acqua necessario per evitare l'eutrofizzazione del lago di Lesina.

Per quanto riguarda l'aspetto idrogeologico (deflussi sotterranei legati anche alle escursioni di marea), la soluzione più idonea sembrerebbe essere

la modifica del tracciato del canale Acquarotta, ripristinando l'antico tracciato del canale ed il colmamento del tratto che attualmente attraversa la formazione dei gessi.

Il ripristino di detto canale implica, da un lato, l'attraversamento della spiaggia che attualmente borda il tombolo del lago, dall'altro, un attento studio della dinamica marina al fine della valutazione degli effetti che l'apertura della nuova bocca può avere sull'equilibrio della spiaggia. Vanno anche attentamente valutati i costi dell'intervento e le ricadute ambientali di detta soluzione.

Lo spostamento della foce del canale, impone di far ricorso ad armature di foce piuttosto rigide in modo da stabilizzare lo sbocco del canale. È comunque ipotizzabile che la costruzione di opere trasversali alla spiaggia possa produrre accumulo di sedimenti nella parte sopraflutto e conseguente erosione sul lato opposto.

Per evitare questo rischio sarebbe possibile prevedere un *by-pass* delle sabbie, da azionare in coincidenza delle mareggiate più intense. Il *by-pass* delle sabbie, poco diffuso in Italia, ma già da tempo utilizzato negli Stati Uniti, consiste in un impianto piuttosto semplice in grado, mediante una pompa a fango, di trasferire i sedimenti accumulati nella zona a monte dell'armatura verso quella a valle maggiormente esposta al rischio di erosione. Il tratto terminale della condotta di trasferimento, in alcune applicazioni statunitensi, consiste in una tubazione flessibile, in modo da lasciare ampia discrezionalità in fase di gestione sulla scelta della zona di spiaggia con maggiori esigenze di ricarica.

*Il Promontorio del Gargano è da considerarsi un geosito di valenza internazionale, grazie all'importante patrimonio geologico-strutturale che esso rappresenta. A conclusione di questo capitolo, si è quindi ritenuto opportuno riportare una rassegna fotografica (figg 13.37÷13.46), atta ad evidenziare come aspetti litostratigrafici e tettonici possano rendere spettacolari (ancorché talora a rischio di instabilità idrogeologica) gli affioramenti rocciosi, che un osservatore attento può ovunque rilevare anche semplicemente percorrendo le strade che attraversano il Promontorio o le splendide spiagge che lo bordano.*



Fig. 13. 37 - Condizione tettonica "vivente" lungo il tratto di falesia corrispondente alla località Vignanotica, sul tratto di litorale Mattinata-Vieste, in prossimità di Baia delle Zagare. La formazione della Maiolica è costituita da strati di calcari micritici densamente intervallati da liste di noduli di selce.

- "Live" tectonic condition along the cliff at Vignanotica locality, between Mattinata and Vieste, near Baia delle Zagare. The Maiolica Formation consists of layers of micritic limestones interlayered by chert bands and nodules.



Fig. 13.38 - Calcari a Maiolica, densamente fratturati e tettonizzati, con alternanza di liste di selci, interessati da un raro affioramento di Terre rosse entro una cavità carsica lungo la SP. 53 Mattinata-Vieste.

- *Maiolica Limestones, densely fractured and tectonized, alternated to bands of chert, with the rare presence of Terre rosse filling a karst cavity along the province road 53 Mattinata-Vieste.*



Fig. 13.39 - Evidenze stratigrafiche, lungo la SP. 53 Mattinata-Vieste, di Maiolica-strati di selce nella formazione di Calcari micritici biancastri disseccati da una faglia avente rigetto dell'ordine del metro.  
– Stratigraphic evidence, along the province road 53 Mattinata-Vieste, of Maiolica-chert strata in the whitish Micritic Limestones, cut by a fault showing offset on the order of one meter.



Fig. 13.40 - Pieghe sinsedimentarie degli strati calcarei intervallati da straterelli di selce densamente interessati da slumps nella formazione della Maiolica, in una grotta paesaggisticamente singolare prossima alla Baia delle Zagare (Mattinata).  
– *Syn-sedimentary folds of the calcareous strata, interlayered by thin chert bands, densely affected by slumps in the Maiolica Formation, within a cave near Baia delle Zagare (Mattinata).*



Fig. 13.41 - Falesia rocciosa in località Baia delle Zagare, Mattinata. Splendida veduta panoramica dei depositi bacinali del Cretaceo, afferenti alla nota Formazione della Maiolica, disseccati da lineazioni tettoniche di recente formazione.

*- Cliff in the locality Baia delle Zagare, Mattinata. Beautiful panoramic view of the Cretaceous basin deposits, belonging to the Maiolica Formation, cut by recent tectonic lineations.*





Fig. 13.42 - Formazione della Maiolica lungo la SP.53 Vieste-Mattinata. Convoluzioni sinsedimentarie (*slumps*) fortemente tettonizzate, esaltate dagli interstrati a liste e noduli di selce.  
- *Maiolica Formation along the province road 53 Vieste-Mattinata. The strongly tectonised syn-sedimentary deformations (slumps) are highlighted by the interlayers with bands and nodules of chert.*



Fig. 13.43 - Vista dello spettacolare e caratteristico arco naturale conosciuto come “Architiello” di Punta San Francesco (Baia San Felice), risultato della costante azione di demolizione da parte del mare del piccolo promontorio roccioso che delimita a nord la baia. Alla sommità dell’arco è ben visibile una frattura obliqua che separa i calcari intercalati a strati di selce da una porzione di calcari dolomitizzati indice di un complicato contatto tettonico fra le due sponde dell’arco.  
- *View of the spectacular and characteristic natural arch known as ‘Architiello’ of Punta San Francesco (Baia San Felice), produced as a result of the continuous action that the sea waves produce on the small rock promontory bounding the bay to the north. At the top of the arch, an inclined fracture is visible, separating the limestones interlayered with chert strata from a section of dolomitized limestones, evidence of a complicated tectonic contact between the two parts of the arch.*



Fig. 13.44 - Veduta dal mare della falesia di Vieste. Alla base risalta l'erosione al piede che coinvolge la Formazione dei Calcarei di tipo "scaglia" (Cretaceo sup.), costituita da calcari micritici debolmente marnosi, in strati sottili e medi intervallati da straterelli a liste e noduli di selce. La porzione sommitale della falesia è costituita da calcareniti bioclastiche a strati medio-spessi della Formazione a nummuliti di Peschici (Eocene). Il contatto di tipo trasgressivo mostra chiaramente sulla parete la discordanza angolare tra gli strati delle due formazioni.

- *View from the sea of the Vieste cliff. To the base, the erosion affects the Scaglia Formation (Upper Cretaceous), consisting of micritic limestones, slightly marly, in thin strata interlayered by bands and nodules of chert. The upper part of the cliff is made by bioclastic calcarenites in medium to thick layers of the Formation with nummulites of Peschici (Eocene). The contact clearly shows the angular unconformity between the strata of the two formations.*



Fig. 13.45 - Interessante esempio di erosione differenziale nella Formazione della Maiolica. Vele e noduli di selce scolpite in rilievo nei calcari micritici biancastri.  
- Interesting example of selected erosion in the Maiolica Formation: bands and nodules of chert at relief in the whitish micritic limestones.



Fig. 13.46 - Utensili in selce del Neolitico, ritrovati lungo il Vallone di Tor di Lupo (Mattinata - FG).  
– *Chert tools of Neolithic time, found along Vallone di Tor di Lupo (Mattinata – Foggia province).*