

La Formazione della Daunia (Appennino centro-meridionale): un esempio di acquifero minore (1)

*The Daunia Formation (centre-southern Appennines):
an example of minor aquifer*

BRUNO R. (*), ESPOSITO L. (*), MAINOLFI L. (*),
MONACELLI G. (**), PANZA R. (*),
SCALISE A.R. (***), VALLETTA M. (****)

RIASSUNTO - Lo studio riguarda la Formazione della Daunia, una delle più diffuse del bordo orientale dell'Appennino centro-meridionale, finalizzato alla comprensione delle modalità con le quali si realizza il deflusso idrico sotterraneo. La ricerca trae spunto dalla considerazione che la "siccità" ed i suoi effetti possano essere risolti, comunque affrontati, anche attraverso la conoscenza idrogeologica degli acquiferi cosiddetti "minori". Acquiferi che pur essendo meno produttivi rispetto, ad esempio, ai più noti serbatoi carbonatici, rivestono straordinario interesse soprattutto dal punto di vista strategico.

Per pervenire all'obiettivo sono state adottate le classiche tecniche delle prospezioni idrogeologiche che hanno riguardato, nello specifico: 1) la caratterizzazione, in chiave idrogeologica, dei depositi affioranti; 2) il censimento delle sorgenti e lo studio degli idrogrammi sorgivi; 3) la redazione dei diagrammi di classificazione, di comparazione e di caratterizzazione delle acque sotterranee.

Oltre alla considerevole densità sorgiva (circa 300 polle su un territorio che si estende su 1000 Km²), lo studio ha consentito di individuare la presenza di sorgenti con portate medie complessive certamente non trascurabili e con caratteristiche idrochimiche variabili da pregiate a buone e comunque tali da ipotizzare un utilizzo ai fini idropotabili della risorsa.

PAROLE CHIAVE: Daunia; Acquifero minore; Idrogeologia; Idrogeochimica; Risorse idriche sotterranee alternative.

ABSTRACT - The research concerns the Daunia Formation, one of the most widespread formations of the eastern edge in the Centre-Southern Apennines, aimed to comprehend in what way the groundwater flow occurs.

The research takes its starting point from considering that the "drought" and its effects can be solved, or at least discussed, through the hydrogeologic knowledge of the "minor" aquifers.

Even if these aquifers are less productive than the most known carbonate aquifers, they particularly represent an extraordinary interest from a strategic point of view.

To reach this objective, classic techniques of the hydrogeological prospections have been used, which have specifically concerned: 1) the characterization, in terms of hydrogeology, of the emerging sediments; 2) the census of the springs and the study of the spring hydrographs; 3) the drawing up of the diagrams of classification, comparison and characterization of the groundwater.

In addition to the remarkable spring density (about 300 springs in a territory expanding over 1000 Km²), the study allowed to find out the presence of springs with total medium capacities that can't be disregarded and with hydrochemical characteristics varying from excellent to good levels. However, such characteristics allow the hypothesis of a drinking use of the resource.

KEY WORDS: Daunia; Minor aquifer; Hydrogeology; Hydrogeochemistry; Alternative groundwater resources.

(1) Ricerca realizzata con i fondi comunitari relativi al Programma INTERREG III B CADSES - Progetto NETWET II

(*) Dipartimento di Studi Geologici ed Ambientali dell'Università del Sannio (DSGA). Via dei Mulini, 59/a - 82100 Benevento

(**) APAT- Servizio per il supporto delle attività relative ai fondi comunitari. Via Curtatone, 3 - 00187 Roma

(***) APAT- Dipartimento Difesa del Suolo-Servizio Geologico d'Italia. Via Curtatone, 3 - 00187 Roma

(****) Dipartimento di Ecologia e Sviluppo Economico Sostenibile (DECOS) dell'Università della Tuscia. Via S. Giovanni Decollato, 1 - 01100 Viterbo

1. - PREMESSA

Lo studio idrogeologico della Formazione della Daunia, una delle più diffuse del bordo orientale dell'Appennino centro-meridionale, rientra in un filone che è di ricerca, ma che è, soprattutto, una scelta filosofica, concettuale, che gli Autori di questa nota perseguono da tempo, convinti come sono che la "siccità" ed i suoi effetti debbano e possano essere vinti solo attraverso la conoscenza, la più approfondita ed integrata, di tutte le realtà del territorio e non solo attraverso quelle quantitativamente più "interessanti".

Il filone è quello dei "bacini minori", vale a dire di quei bacini sede di acquiferi che, pur se meno produttivi, rivestono straordinario interesse sotto il profilo sia della conoscenza e dell'uso delle risorse idriche, che dell'importanza strategica di essa.

E l'aver scelto la "Daunia" che, peraltro, rientra in pieno in una tale ottica, quale tema di una ricerca di carattere squisitamente applicativo ha voluto essere, ed è, anche omaggio e tributo allo straordinario profilo di ricercatore di ALFREDO JACOBACCI che, circa cinquanta anni orsono, ne ha studiato il settore centrale e meridionale, in condizioni logistiche assai diverse da quelle attuali ed avendo a disposizione solamente basi topografiche che è benevolente definire assolutamente inadeguate. Quei rilevamenti, condotti attraverso un'analisi attenta, minuziosa ed intelligente di ogni dato di campagna, anche di quelli apparentemente secondari, conservano una "modernità" straordinaria ed assolutamente fuori dal comune. Non sfugge, infatti, come quel modo di condurre l'analisi degli elementi di campo abbia rappresentato, e rappresenti, elemento indispensabile per comprendere appieno il modo di infiltrarsi, di circolare e di tornare a giorno delle acque.

LUCIANA MAINOLFI, RAFFAELE BRUNO e ROBERTO PANZA hanno condotto le fasi di raccolta dati, elaborazione, interpretazione, verifica di campagna e stesura del manoscritto. MARIO VALLETTA ha contribuito alle fasi di raccolta dati, verifiche geologiche di campagna ed, in particolare, alla stesura dei paragrafi riguardanti la parte geologica e strutturale. LIBERA ESPOSITO ha curato l'organizzazione delle fasi di studio, in qualità di responsabile del progetto di ricerca ed ha contribuito alla stesura del testo. A GIUSEPPINA MONACELLI ed ANNA ROSA SCALISE si deve la lettura critica del manoscritto.

2. - CENNO STORICO SULLE CONOSCENZE GEOLOGICHE

A CHECCHIA-RISPOLI (1935), che è stato il primo Autore ad occuparsi in maniera particolare

della "Daunia", si devono vari contributi tra il 1916 ed il 1939. Il carattere di essi è prevalentemente stratigrafico e paleontologico: l'unico a recare indicazioni di un qualche significato in chiave applicativa è quello del 1935.

Le sintesi di IPPOLITO & LUCINI (1957) e di Selli (1962) interessano più o meno marginalmente la "Daunia".

Lo studio di CROSTELLA & VEZZANI (1964), corredato da una carta geologica alla scala 1:200.000, è il primo che interessa, specificatamente e con approccio moderno, un settore di affioramento della "Daunia" significativamente ampio.

La base di quella parte della successione stratigrafica che ha più specifico interesse è rappresentata dal flysch della Serra Funaro, alternanza di argille rosse e verdastre, calcareniti e brecce calcaree, che corrisponde al flysch argilloso - calcareo di IPPOLITO & LUCINI (1957) ed alla coltre molisana e alla Formazione di S. Croce di SELLI (1962).

Segue il flysch di Faeto "...formazione...più largamente diffusa nell'area rilevata...", alternanza di calcareniti, calcari marnosi, brecciole calcaree, marne e marne argillose, con rari noduli e lenti di selce: esso corrisponde al flysch marnoso - calcareo dei Monti della Daunia e della Puglia di IPPOLITO & LUCINI (1957) ed alle formazioni di Casoli e di Tufillo di SELLI (1962). Eteropico del flysch di Faeto è quello di S. Bartolomeo, alternanza di marne, molasse ed arenarie, che affiora ad occidente dell'allineamento Monte Miano - Roseto Valfortore e corrisponde al flysch marnoso - arenaceo ed alla Formazione di Agnone di SELLI (1962).

Le marne argillose del Toppo Capuana "chiodono" a tetto sia il flysch di Faeto che quello di S. Bartolomeo. Il passaggio è contrassegnato da sottili intercalazioni che sono calcarenitiche, quando ad essere interessato è il primo, ovvero arenacee, quando è implicato il secondo.

Rare e sottili intercalazioni pelitico - arenacee segnano il passaggio alle sovrastanti molasse di Anzano, che presentano lenti di ghiaia e noduli di gesso amorfo e che, localmente, sono eteropiche della parte basale delle evaporiti di Monte Castello.

Tale unità, che corrisponde alla "zolla f" della coltre molisana di SELLI (1962), è caratterizzata dalla netta prevalenza di depositi evaporitici, quali gesso microcristallino, livelli di anidrite, di calcare cariato, di marne gessose e di molasse, ricche in cristalli di gesso, oltre che di quarzo.

Sono presenti "evidenti direttrici tettoniche appenniniche", talora interessate da un sistema più recente di faglie normali ad andamento garga-

nico, OSO/ENE. Tra le prime, spiccano due direttrici principali, una delle quali pone a contatto il flysch di Faeto con i sedimenti affioranti più ad occidente. L'altra interessa le marne argillose di Panni, di età pliocenica inferiore - media.

Alle Note Illustrative dei Fogli 163 - Lucera (JACOBACCI *et alii*, 1967) e 174 - Ariano Irpino (JACOBACCI & MARTELLI, 1967) si accenna insieme, stanti contiguità e continuità delle successioni litologiche che vi affiorano.

In esse, che ampliano e specificano precedenti osservazioni stratigrafiche e tettoniche descritte in JACOBACCI *et alii* (1958) ed in JACOBACCI & MARTELLI (1957 a e b) rispettivamente, vengono forniti numerosi elementi relativi ai sedimenti in facies di flysch che hanno specifico interesse in chiave idrogeologica: l'opportunità dei riferimenti a CROSTELLA & VEZZANI (1964) è stata dettata dalla parziale sovrapposizione delle aree considerate.

Il complesso indifferenziato "i", che corrisponde al Flysch di Serra Funaro, si identifica in argille, argilloscisti e marne siltose con intercalazioni, a vari livelli, di calcari, calcareniti e brecciole calcaree. La Formazione della Daunia, "bcD", breccie e brecciole calcareo - organogene, a luoghi con lenti di selce, alternanti a marne ed argille varicolori, corrisponde al Flysch di Faeto. Alcuni dei profili geologici (in particolare quelli tracciati tra M.Vento e Castelluccio Valmaggiore e tra il Casone e Masseria Aia Nicola, in sinistra Fortore a nord di Carlantino e quelli che interessano le aree tra Anzano ed Accadia e tra quest'ultima località e Monteleone di Puglia) che illustrano il prevalere, in orizzontale e/o in verticale, delle litologie tipiche della "Daunia", assumono particolare significato pure in un'ottica idrogeologica. "Msa", infine, si identifica con il flysch di S. Bartolomeo. Gessi macro e microcristallini e calcari cariati, corrispondenti alle evaporiti di Monte Castello, e molasse, equivalenti a quelle di Anzano e che appoggiano, con spessori anche dell'ordine di varie decine di metri, sopra varie unità, affiorano estesamente nelle aree del Foglio Ariano Irpino, occupando rilievi quali quello di Monte Ferrara (toponimo che ha "sostituito" il Monte Castello di CROSTELLA & VEZZANI, 1964) ed ampie aree della valle del Fiume Cervaro.

Nelle Note Illustrative del Foglio 175 - Cerignola, MALATESTA *et alii* (1967) descrivono aspetti stratigrafici e strutturali relativi sia alla Formazione della Daunia, "bcD" (che vede, in quelle aree, la propria terminazione sudorientale), sia al complesso indifferenziato, "i".

Le Note Illustrative del Foglio 154 Larino (BALBONI, 1968) descrivono il Complesso delle Argille Varicolori (PA); i calcari detritici..., breccie calcaree, intercalazioni di marnoscisti variegati

(M₁); il Complesso del Miocene medio (calcareniti, calcari compatti selciferi, arenarie, marne ed argille) (M₂); le argille sabbiose e marne grigie con intercalazioni arenacee (M_{2a}); gessi e calcari polverulenti. La correlazione con quanto precedentemente descritto, vista anche nell'ottica della continuità con le "aree tipo", porta a ricondurre PA ed M₁ sia al complesso indifferenziato "i" ed agli intervalli anche macroclastici, generalmente carbonatici, che ne caratterizzano i livelli più alti, che al Flysch della Serra Funaro; M₂ alla Formazione della Daunia ed al Flysch di Faeto; M_{2a} alle marne argillose del Toppo Capuana; M_{3g} alle evaporiti di Monte Castello e, limitatamente, alle molasse di Anzano.

CENTAMORE & VALLETTA (1968), studiando in dettaglio l'area compresa tra S. Giuliano di Puglia e Colletorto (che comprende un ampio settore a cavallo dei Fogli 155 e 163), riconoscono, entro la Formazione della Daunia, due membri. Quello inferiore, costituito da marne calcaree alternanti con calcari e calcari marnosi a liste e noduli di selce; il superiore, da alternanze di calcari, calcari marnosi, arenarie, calcari organogeni, calcareniti e brecciole, generalmente in grossi strati. Arenarie quarzoso-micacee, con intercalazioni di marne verdastre, segnano, talora, il passaggio tra la "Daunia" ed i sottostanti argilloscisti varicolori; quello con le sovrastanti marne argillose tortoniane (marne argillose del Toppo Capuana in CROSTELLA & VEZZANI, 1964) è estremamente graduale. Un complesso evaporitico - molassico (gesso macro e microcristallino, calcari listati e vacuolari, tripoli, molasse con lenti ciottolose e calcareniti arenacee) poggia, trasgressivamente e con forte discordanza angolare, sopra la Formazione della Daunia e le marne del Toppo Capuana.

I depositi sinora descritti vengono correlati con quelli affioranti in un intorno esteso tra i rilievi in destra del Fiume Trigno, verso nordovest ed i Monti della Daunia, verso sudest.

In BONI *et alii* (1969) quegli stessi Autori ne descrivono caratteristiche, peculiarità ed aspetti nell'ambito dell'intero Foglio 155 - San Severo.

BERGOMI & VALLETTA (1971), nelle Note Illustrative del Foglio 148 - Vasto, descrivono le argille varicolori (av); il complesso flyschioide calcareo-marnoso (M¹); le calcareniti e breccie a briozoi e litotamni (M²); le calcareniti ed i calcari polverulenti, brecciati ed evaporitici (M³); le alternanze argilloso - sabbiose (M³_{as}) ed il gesso (g).

Il passaggio tra M⁴² ed M³ viene descritto come "ben definito, almeno a giudicare dai pochi dati ricavati nell'unica e piccolissima zona in cui sembra ci si trovi di fronte ad una serie autoctona, e ciò nell'estremo angolo SO del foglio...".

Il “sembra ci si trovi di fronte ad una serie autoctona”, si ritiene debba essere considerato, pur se in modo assai rapido, in un’ottica che è duplice.

Relativamente a quella applicativa, idrogeologica nello specifico, l’essere la successione autoctona o meno non ha, in pratica, rilevanza.

In un’ottica più squisitamente geologica, invece, che è stratigrafica, strutturale e paleogeografica, ad essere implicati sono i limiti della colata gravitativa dell’Aventino-Sangro Auctorum, entro la quale rientra quel “*flysch marnoso - calcareo costituito da marne e calcari marnosi bianchi... alternati a sottili livelli argillosi... e a calcari biodetritici anche grossolani con briozoi... ricolleghibili con la Formazione Tufillo (rectius, Casoli) di SELLI, 1962... si riscontrano a più altezze lungo il profilo dei sondaggi petroliferi...*”, descritto nelle Note Illustrative del Foglio 147 - Lanciano.

Quel flysch, indicato con Mc, è rapportabile alla Formazione della Daunia; av, alle Argille Varicolori (o variegata); Ma, a facies del tipo delle Marne argillose del Toppo Capuana; Mg ad un complesso, mal stratificato, di gessi macrocristallini e di gessareniti che, nell’area compresa tra l’abitato di Gessopalena ed il Fiume Aventino, poggia su Ma, con l’interposizione di conglomerati poligenici con livelli marnosi ed argillosi.

COCCO (1971), nelle Note Illustrative del Foglio 161 - Isernia, e CESTARI *et alii* (1975) in quelle del Foglio 162 - Campobasso, illustrano, in maniera più o meno sintetica, le unità litologiche riferite o riferibili alle Argille Varicolori (AV ed O_{av}, rispettivamente) ed alla “Daunia”, indicata con M_m³⁻², nel primo e con M_{bd}³⁻², nel secondo.

I Fogli 186 e 187 della Carta Geologica d’Italia e le relative Note Illustrative (HIEKE MERLIN *et alii*, 1970) vengono citati per completezza, sia per il non avere la “Daunia”, che vi affiora, alcuna continuità con quella che ne caratterizza il grande bacino, sia per il non avere quegli affioramenti alcuna implicazione ed importanza di carattere idrogeologico.

In coincidenza con la conclusione dei rilevamenti relativi al completamento ed all’aggiornamento della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000, si verifica una stasi, non solo temporale ed estremamente lunga, nella produzione scientifica che riguardi la Daunia *stricto sensu*. Fanno eccezione la Carta Neotettonica dell’Italia Meridionale (CIARANFI *et alii*, 1983) che, peraltro, non ha implicazioni specifiche con le finalità della ricerca, sia qualche nota di interesse più squisitamente stratigrafico.

Solo nel 2001 MATANO & DI NOCERA e BASSO *et alii* rendono noti i risultati di ricerche effettuate nell’ambito dei lavori di rilevamento relativi al

Foglio 433 - Ariano Irpino della Carta Geologica d’Italia al 50.000. In MATANO & DI NOCERA (2001), viene cartografata, e descritta in dettaglio, la “Unità Dauna” (flysch di Faeto e Marne argillose del Toppo Capuana, associate, però, a sedimenti più recenti) affiorante tra, circa, il corso dell’Ofanto, ad ovest, ed il Monte Vulture, ad est. A quella “Unità”, in BASSO *et alii* (2001), che illustra le ricerche relative a sedimenti più recenti, vi è solamente qualche cenno.

Gli “studi precedenti” a carattere idrogeologico sono limitati a CELICO P. (1983), CASALE & CELICO F. (1995) e CELICO F. *et alii* (1996).

CELICO P. (1983), nel sintetizzare i risultati di ricerche idrogeologiche condotte, dà ragione anche di Unità Idrogeologiche ricadenti entro il Foglio 153 - Agnone, che hanno un qualche interesse anche nell’ambito della caratterizzazione idrogeologica della “Daunia”.

Della vulnerabilità all’inquinamento di una di tali Unità, quella di Monte Capraro, si occupano CASALE & CELICO F. (1995). Le notazioni strettamente idrogeologiche sono particolarmente interessanti ed hanno anche valore emblematico, se si considera la “scala” alla quale vengono valutate importanza, ruolo e predominanza di taluni fattori. La “Daunia” è, infatti, descritta quale elemento di un complesso calcareo - silico - marnoso, in funzione delle litologie prevalenti, a “scala locale”, in quelle aree; l’osservazione a scala regionale ha, invece, condotto gli Autori a definire, per quella unità, un complesso calcareo - arenaceo - pelitico, che verrà descritto nel par. 3.

CELICO F. *et alii* (1996) si occupano, più specificamente, della vulnerabilità della sorgente S. Mauro, alimentata dalla Unità Idrogeologica di Monte Capraro.

3. - CARATTERISTICHE LITOLOGICHE E TETTONICHE

L’area entro la quale affiora la “Daunia” si sviluppa per circa 5700 Km² ed interessa settori ricadenti, con varie ampiezze, in quattro regioni: l’Abruzzo, il Molise, la Puglia e la Campania.

Litologicamente la Formazione assume caratteri variabili in funzione sia del prevalere di una, piuttosto che di un’altra, delle facies tipiche e delle unità di letto e di tetto (cfr. par. 1), sia della distribuzione delle stesse.

Nel settore più settentrionale, che abbraccia le valli dell’Aventino e del Sangro - Osento, la “Daunia” (elemento della colata gravitativa dell’Aventino-Sangro Auctorum) è stata descritta come caratterizzata dal prevalere di marne e cal-

cari marnosi, alternanti a sottili livelli argillosi ed arenacei ed a calcari detritico-organogeni, brecciole e conglomerati grossolani. Il letto è rappresentato dalle argille varicolori auctorum; il tetto da argille con intercalari arenacei e sabbiosi, “inferiormente con caratteristiche flyschoidi”.

Nella fascia compresa tra le valli del Sangro - Osento e quelle del Trigno e del Biferno, la “Daunia” è riconducibile ad alternanze di calcareniti e calcari brecciati, calcari compatti con lenti e noduli di selce, marne, argille ed arenarie calcari-fere, in continuità (ove presenti) su calciruditi e calcareniti, con sottili intercalazioni marnose. La base è identificabile in calcari marnosi alternanti a marne, talora predominanti tra il Sangro e l’alto corso del Trigno, ed in marne, argille ed argille marnose con intercalazioni di calcari anche microdetritici, tra l’alto-medio Trigno ed il Biferno. Il tetto è rappresentato da arenarie sino all’alta valle del Trigno e da argille e marne, alternanti con arenarie più o meno cementate, sino al Biferno.

Tra le valli del Biferno e del Fortore, la “Daunia” è rappresentata da calcari organogeni, calcareniti e brecciole calcaree, calcari pulverulenti, calcari e calcari marnosi con liste e noduli di selce, arenarie, marne ed argilliti: le rocce carbonatiche caratterizzano nettamente la porzione medio-alta della successione. Il letto è riconducibile ad arenarie, calcareniti ed argille, nelle fascia settentrionale e ad argilliti varicolori, diaspri e calcari, in quella meridionale; il tetto si identifica in marne grigie con rare intercalazioni di calcari marnosi.

Nel settore compreso tra Fortore - Celone e Cervaro - Calaggio, che corrisponde in larga parte ai Monti della Daunia *stricto sensu*, la “Daunia” vede l’alternarsi di breccie, brecciole calcaree, calcari (anche pulverulenti), calcareniti con interstrati marnosi, argillosi ed arenacei. Il letto è rappresentato dal complesso indifferenziato auctorum (argille e marne, variamente intercalate a calcari, calcareniti e breccie); il tetto, da marne ed argille (giustapposte tettonicamente tra Fortore e Celone), la presenza delle quali caratterizza anche i rilievi posti in destra ed in sinistra dell’alto-medio Ofanto.

Evaporiti rappresentate prevalentemente da gesso e, assai subordinatamente, da anidrite, calcari gessosi e calcari vacuolari e depositi ad esse variamente associati, come molasse, arenarie, argille e gessareniti interessano, con spessori ed estensioni variabili, tutti i settori ai quali si è sin qui accennato.

Il quadro tettonico è “dominato” da faglie appenniniche.

Tra le maggiori, e/o di più spiccata rilevanza

idrogeologica, sono da citare quelle che corrono tra Montenerodomo e Quadri (n. 1, in tav. I f.t.), tra Buonanotte e Rosello (n. 2, in tav. I f.t.), e tra Colledimezzo, Castiglione Messer Marino ed ovest di Schiavi d’Abruzzo (n. 3, in tav. I f.t.), che si estende per ben 23 Km. Esse sono dissecate da faglie trasversali, quali la Colle Castellano - Roio del Sangro (n. 4, in tav. I f.t.), la Monte Castellano - Castel Franano (n. 5, in tav. I f.t.), la Roccaspinaveti - Schiavi d’Abruzzo (n. 6, in tav. I f.t.), la Guilmi - Castelmauro (n. 7, in tav. I f.t.), che misura ben 28 Km, la Guilmi - S. Buono - Dogliola (n. 8, in tav. I f.t.) e la Biferno - Larino - Montelongo - S. Giuliano di Puglia (n. 9, in tav. I f.t.).

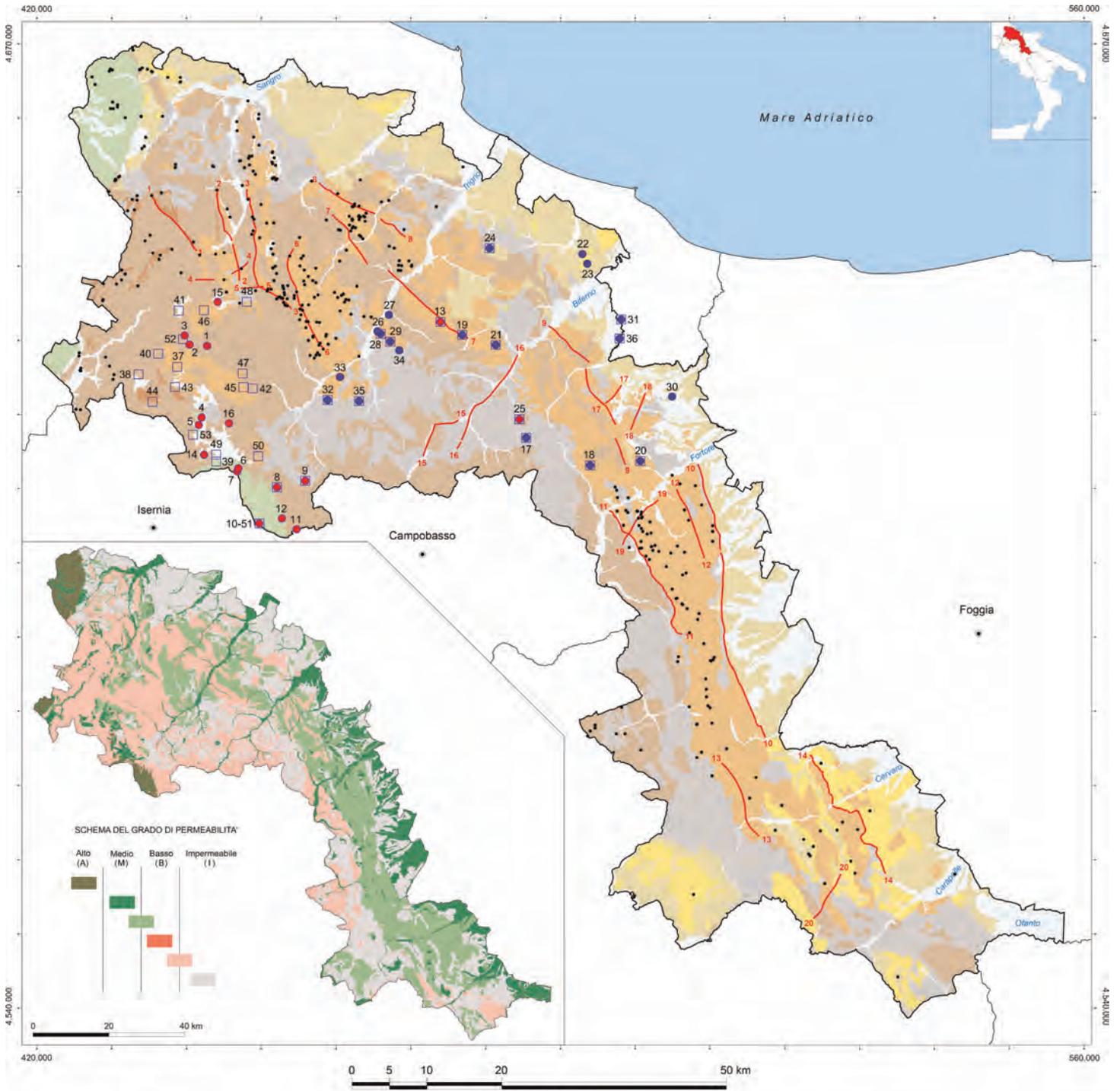
Le faglie bordiere della dorsale dei Monti della Daunia *stricto sensu* corrono, per ben 40 km, tra circa Casalnuovo Monterotaro e Castelluccio Valmaggiore (n. 10, in tav. I f.t.), ad est, e Carlantino e Voltura-ra Apula (n. 11, in tav. I f.t.), ad ovest; tra i sistemi ad esse paralleli da citare Celle S. Vito - la Montagna (n. 12, in tav. I f.t.), sud-est di Savignano di Puglia - Calaggio (n. 13, in tav. I f.t.) e nord-ovest Bovino - M. Albano (n. 14, in tav. I f.t.), estese per oltre 20 km.

Tra le faglie antiappenniniche, da menzionare: la Limosano - Lucito (n. 15, in tav. I f.t.), la Petrella Tifernina - M. Pelato (n. 16, in tav. I f.t.), la Montelongo - Colle Procelle (n. 17, in tav. I f.t.), la S. Croce di Magliano - Rotello (n. 18, in tav. I f.t.), la Carlantino - nord-ovest di Monte Rotaro (n. 19, in tav. I f.t.), e la Anzano - sudovest di Monte Tre Titoli (n. 20, in tav. I f.t.).

4. - CARATTERI IDROLITOLOGICI

Dal punto di vista idrolitologico, tenendo conto delle caratteristiche di permeabilità (tipo e grado) oltre che della natura litologica dei depositi affioranti, sono stati riconosciuti, alla scala di indagine (1: 50.000), sette complessi idrogeologici (tav. I f.t.), che vengono descritti di seguito, con specifici approfondimenti per quelli, tra essi, che svolgono un ruolo peculiare:

1. Complesso Detritico - Alluvionale;
2. Complesso Sabbioso - Conglomeratico;
3. Complesso Argilloso;
4. Complesso Marnoso - Argilloso;
5. Complesso Calcarenitico - Arenaceo - Pelitico;
6. Complesso Argilloso - Marnoso - Calcarenitico;
7. Complesso Carbonatico.



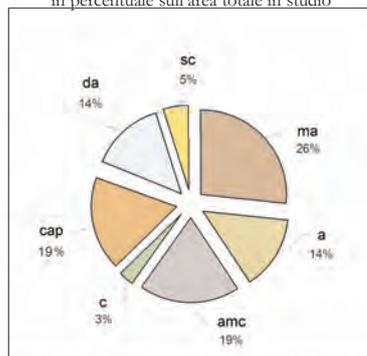
LEGENDA		PERMEABILITA'	
		Tipo	Grado
		P	F
		C	J
		B	M
		A	A
	Complesso Detritico - Alluvionale (da)		
	Complesso Sabbioso - Conglomeratico (sc)		
	Complesso Argilloso (a)		
	Complesso Marnoso - Argilloso (ma)		
	Complesso Calcarenitico - Arenaceo - Pelitico		
	Complesso Calcarenitico - Arenaceo - Pelitico*		
	Complesso Argilloso - Marnoso - Calcarenitico (amc)		
	Complesso Carbonatico (c)		

*Tipo di permeabilità
P = Porosità, F = Fessurazione, C = Carsismo, J = Impermeabile, B = Basso, M = Medio, A = Alto

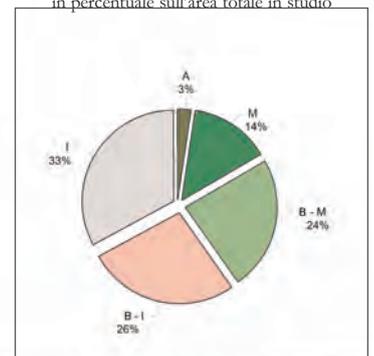
1 - Faglie di rilevanza idrogeologica

● con Analisi chimica - Facies idrogeochimica Bicarbonato - Calcica
● con Analisi chimica - Acque prive di dominanza idrogeochimica
□ con Misure di Portata
● dati relativi al censimento 1930 - 1960

Estensione areale dei complessi idrogeologici in percentuale sull'area totale in studio



Estensione areale del grado di permeabilità in percentuale sull'area totale in studio



Tav. I - Carta idrogeologica schematica.
- Schematic hydrogeological map.

Complesso Detritico-Alluvionale (da)

Il complesso detritico alluvionale accorpa detriti di falda e corpi di frana oltre i depositi fluviali e fluvio - lacustri di età pleistocenica. Questi ultimi, affioranti prevalentemente lungo il bordo orientale dell'area in esame, costituiscono acquiferi porosi, eterogenei ed anisotropi (tav. I f.t.). Il tipo di permeabilità prevalente è per porosità, mentre il grado è generalmente medio (M). Localmente esso può raggiungere valori elevati (A), in funzione dell'assortimento granulometrico e del grado di cementazione; ciò vale soprattutto per le falde detritiche.

Complesso Sabbioso - Conglomeratico (sc)

Il complesso "sc", che comprende i depositi clastici riferibili ai cicli sedimentari trasgressivo-regressivi del Pliocene e del Pleistocene, affiora nel settore meridionale e, limitatamente, in quello nord-orientale dell'area (tav. I f.t.). Sabbie e sabbie argillose caratterizzano i livelli inferiori della successione; quelli superiori vedono la presenza di lenti o banchi conglomeratici, che segnano anche il passaggio ai soprastanti conglomerati a matrice sabbiosa, caratterizzati da intercalazioni sabbioso-argillose. Questi litotipi, scarsamente cementati, sono permeabili per porosità, con un grado di permeabilità che varia dal basso (B), nelle sabbie, al medio (M) nei conglomerati superiori.

Complesso Argilloso (a)

Il complesso "a" (tav. I f.t.) è presente prevalentemente lungo il bordo orientale dell'area, dove affiorano argille ed argille sabbiose, di spessore variabile, riferibili ai cicli sedimentari pliocenici e pleistocenici. Il complesso, permeabile per porosità, mostra un grado di permeabilità molto basso (I) costituendo un limite di permeabilità definito. Esso consente un modesto accumulo di acqua sotterranea nel complesso "sc".

Complesso Marnoso-Argilloso (ma)

Il complesso "ma" comprende marne, argille e marne argillose, con sottili intercalazioni arenacee e calcarenitiche, che prevalgono nel settore orientale dell'area e molasse, che caratterizzano prevalentemente quello occidentale (tav. I f.t.). A tetto delle une e delle altre sono frequenti depositi evaporitici e sedimenti associati. Il tipo di permeabilità prevalente è per porosità; il grado è molto basso. Il complesso "ma", da considerarsi impermeabile (I), svolge il ruolo idrogeologico di *aquiclude* nei confronti del più permeabile "complesso della Daunia".

**Complesso Calcarenitico-Arenaceo-Pelitico (cap)
(complesso della Daunia)**

Questo complesso (tav. I f.t.) accorpa alternanze ritmiche di calcareniti, brecciole, calcari organogeni, calcari marnosi, arenarie, marne e marne argillose con rari noduli e lenti di selce.

In chiave idrogeologica si assiste ad un'alternanza piuttosto articolata di rocce acquifere e limiti impermeabili, i rapporti tra i quali, sia stratigrafici sia tettonici, sono caratterizzati dalla venuta a giorno delle acque di falda. Sono pertanto identificabili modalità di emergenza delle acque sotterranee riconducibili agli schemi del "limite di permeabilità" e della "soglia di permeabilità". In quest'ultimo caso, associabile alla presenza di significativi lineamenti strutturali (cfr. par. 2), è stata osservata una maggiore concentrazione delle polle sorgive.

Al deflusso sotterraneo più superficiale, che ha sede nelle coltri di alterazione e/o nelle litologie caratterizzate da grado di permeabilità più elevato, se ne aggiunge uno, relativamente più profondo, allorquando: i) l'assetto strutturale risulta particolarmente favorevole, come avviene, ad esempio, nel caso della presenza di strutture a "catino"; ii) la frazione calcareo e calcareo-arenitica fratturata, con spessori significativi, prevale su quella marnoso-argillosa.

Indipendentemente dalla tipologia di deflusso (superficiale o profondo) è l'estensione e la continuità del bacino di alimentazione a giocare un ruolo fondamentale per la presenza delle sorgenti con portate spesso interessanti (> 1.0 l/s; cfr. par. 4). Nel settore nord-occidentale dell'area studiata compreso tra le province di Chieti ed Isernia (tav. 1 f.t.), a letto dei depositi che caratterizzano "cap" affiorano, con spessori di varie decine di metri, calciruditi e calcareniti, con rari interstrati pelitici. La potenzialità idrogeologica di tali affioramenti, opportunamente distinti (complesso Calcarenitico - Arenaceo - Pelitico*; tav. I f.t.) è indicativamente maggiore rispetto a quella mediamente tipica del complesso, in quanto la ridotta presenza di intercalari pelitici rende meno frammentaria la circolazione idrica sotterranea: ne sono prova le portate, in media molto maggiori, delle sorgenti alimentate dal complesso in esame.

Il tipo di permeabilità prevalente risulta essere per porosità e/o fratturazione; il grado di permeabilità relativo può considerarsi, nel complesso, variabile da basso (B) a medio (M).

Complesso Argilloso - Marnoso - Calcarenitico (amc)

Il complesso "amc", che affiora estesamente nel settore nord-occidentale dell'area in studio (tav. I f.t.), accorpa litologie essenzialmente pelitiche, quali argille, argilloscisti e marne variamente

siltose alle quali si intercalano, a vari livelli, successioni torbiditiche, carbonatiche ed arenacee. I forti contrasti di permeabilità possono determinare una significativa frammentazione del deflusso idrico sotterraneo, con la formazione di sorgenti che, in genere, palesano portate molto modeste. La permeabilità, per porosità, è molto bassa (I): sono gli orizzonti carbonatici, quando caratterizzati da spessori significativi, a presentare una permeabilità per fratturazione, che mostra un grado variabile da medio a medio - basso. Il ruolo prevalente di "amc" è quello di impermeabile relativo di base.

Complesso carbonatico (c)

Il complesso carbonatico "c", che affiora limitatamente nella fascia settentrionale e nord-occidentale del territorio esaminato, è dotato di un elevato grado di permeabilità (A) associato ad un tipo di permeabilità, prevalentemente secondario, per fratturazione e carsismo.

5. - LE SORGENTI

5.1 - CENSIMENTO DEI DATI SORGIVI

La prima fase dello studio delle manifestazioni sorgive è consistita nel censimento analitico delle polle partendo dai rilevamenti idrogeologici eseguiti nel trentennio 1930-1960 (Servizio Idrografico e Mareografico Italiano, volumi 1, 7, 8 e 9 della Serie 14, editi tra il 1942 ed il 1964).

Le risultanze di tale fase sono state successivamente verificate ed integrate sulla scorta di studi, spesso inediti, reperiti presso enti pubblici e/o privati operanti sul territorio, oppure, più raramente, di carattere scientifico. In alcuni casi, come per la regione Molise (Assessorato Lavori Pubblici - Aggiornamento dei dati del Piano Regionale Generale degli Acquedotti e degli studi della Cassa per il Mezzogiorno - 1980), il dettaglio delle informazioni disponibili, sia come cartografia di riferimento (VEZZANI & GHISETTI, 1998; VEZZANI *et alii*, 2004), sia come censimenti idrogeologici, talvolta piuttosto recenti, ha rappresentato un'utile fonte soprattutto nella programmazione e nella esecuzione delle operazioni di campo, principalmente consistenti nella verifica e nell'integrazione delle informazioni disponibili. Pertanto, attesa l'uniformità di comportamento idrogeologico del complesso della Daunia, verificata a grande scala, si è scelto di operare l'analisi di dettaglio quantitativa (cfr. par. 5.2) e qualitativa (cfr. par. 5.3) per le sole sorgenti affioranti nell'ambito della regione Molise (162 polle, da censi-

mento riferito al periodo 1980-'00, in tab. 1). Queste ultime sono riportate sulla tavola I, opportunamente numerate e con l'indicazione della facies idrogeochimica, qualora determinata, e della eventuale disponibilità delle misure di portata. Sulla stessa tavola sono altresì ubicate le sorgenti rilevate nel periodo 1930-'60 (tab. 1) per la maggiore copertura geografica che caratterizza questo censimento rispetto a quello più recente (tab. 1) e per l'uniformità del criterio di base utilizzato per il rilevamento delle scaturigini (sono ritenute significative quelle con portata superiore a 0,5 l/s).

Tab. 1 - *Quadro sintetico delle risultanze del censimento delle polle sorgive (numero di sorgenti per provincia o porzione di essa, ricadenti nell'area in studio).*

Il censimento delle sorgenti è stato effettuato in due diversi periodi: (1) fonte: Pubblicazione n. 14 del Servizio Idrografico - Le sorgenti italiane, elenco e descrizione; volumi I (Puglia), VII (Campania), VIII (Molise), IX (Abruzzo). (2) fonti: Regione Molise (Settore Schemi Idrici); Società Abruzzese per il Servizio Idrico Integrato (S.A.S.I. S.p.A.); Alto Calore Servizi S.p.A. (Avellino).

- Synthetic description of the census' results of the springs (the number of springs per province or part of it, belonging to the studied area).

The census of the springs was made over two different periods: (1) source: Publication n.14 of Hydrological Service - The Italian springs, list and description; volumes I (Puglia), VII (Campania), VIII (Molise), IX (Abruzzo). (2) sources: Regione Molise (Sector Water Projects); Società Abruzzese per il Servizio Idrico Integrato [Abruzzese Society for the Integrated Water Service] (S.A.S.I. S.p.A.); Alto Calore Services S.p.A. (Avellino).

Provincia	Censimento delle sorgenti	
	Periodo 1930-'60 ⁽¹⁾	Periodo 1980-'00 ⁽²⁾
L'Aquila	20	-
Chieti	246	57
Isernia	99	17
Campobasso	169	145
Benevento	13	71
Avellino	7	174
Foggia	85	-

L'integrazione tra le informazioni desunte dalla tavola I f.t. con quelle di figura 1, che schematizza la distribuzione numerica delle sorgenti per ogni complesso idrogeologico cartografato (cfr. par. 3), permette di verificare l'elevata densità sorgiva (numero di polle sorgive superiore a 250 e tutte con portate inferiori a 5.0 l/s) caratterizzante il complesso della Daunia. Molto più bassa, in termini relativi, risulta la densità sorgiva del complesso Calcarenitico-Arenaceo-Pelitico* (numero di polle sorgive inferiore a 8). Ciò nonostante è importante sottolineare l'elevata produttività del suddetto complesso (fig. 1 e tav. I f.t.) come evidenziato dalla presenza di sorgenti con portate anche di alcune decine di litri/secondo. Fra queste si differenzia la sorgente Verrino ($Q > 400$ l/s, valore medio annuo) che rappresenta un'importante eccezione rispetto al range medio dei valori di portata, essendo legata ad una circolazione idrica veloce associata a canalizzazioni carsiche che rompono la continuità delle intercalazioni meno permeabili costituendo dei veri e propri assi di drenaggio preferenziale (CASALE & CELICO, 1995).

Variabili sono le modalità di emergenza delle acque sotterranee, ma sempre riconducibili a condizioni stratigrafico e/o tettoniche. Nell'uno e nell'altro caso non è da escludere l'incidenza della topografia come fattore genetico della sorgente. In tabella 2 sono indicate le condizioni di venuta a giorno per un campione rappresentativo di acque sorgive.

5.2. - IDROGRAMMI SORGIVI

Lo studio del tratto di esaurimento della curva di svuotamento delle portate è stato effettuato con la teoria del decremento esponenziale di MAILLET (1905). I dati determinati, riferiti alle sole sorgenti affioranti nella regione Molise, sono riassunti in tabella 3.

Si riportano, a titolo d'esempio, idrogrammi relativi a situazioni rappresentative di un range di portata molto ampio (fig. 2), che vede per la sorgente S. Giso portate massime non superiori a 0,8 l/s (n. 13 su tav. I f.t. e tab. 3) e per la sorgente Javernone portate massime di 30 l/s circa (n. 25 su tav. I f.t. e tab. 3).

Nel complesso il periodo di esaurimento si protrae in media per circa quattro mesi con un inizio collocabile, in genere, tra giugno e luglio. La fine del suddetto periodo si ha in corrispondenza dei mesi di settembre-ottobre (fig. 2). Dal calcolo dell'Indice di Meinzer (R ; MEINZER, 1942) le sorgenti in esame possono essere classificate come subvariabili e variabili (tab. 3). I coefficienti di esaurimento (a) sono dell'ordine di $10^{-2} \div 10^{-3}$ giorni $^{-1}$ (tab. 3). L'estrema variabilità di regime, associata ai relativamente bassi valori di a , è coerente con le ridotte potenzialità idriche sotterranee ($2.272 \text{ m}^3 < W^d < 133.907 \text{ m}^3$; tab. 3) dei diversi sottobacini idrogeologici in cui, per cause tettono-stratigrafiche, è frammentato il complesso della Daunia (cfr. par. 3).

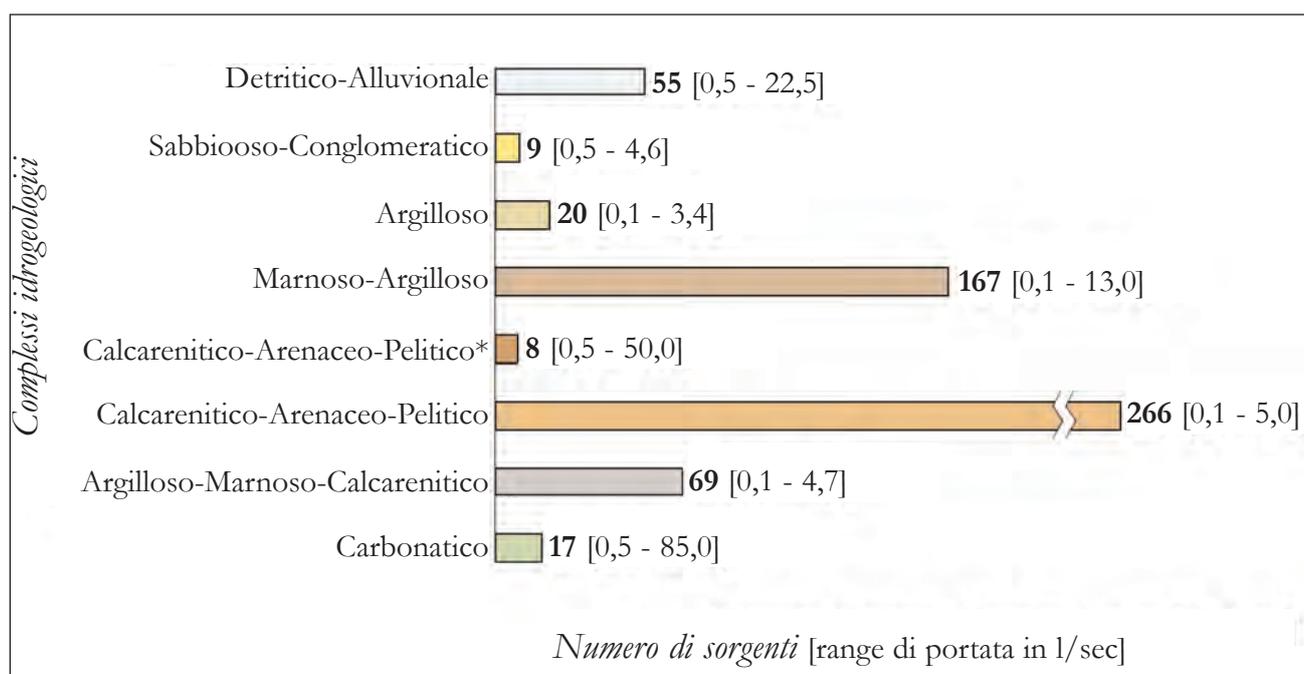


Fig. 1 - Distribuzione delle sorgenti per complesso idrogeologico (dati riferiti al censimento 1930-'60).
- Distribution of springs per hydrogeologic complex (data referred to the census of the years 1930-'60).

Tab. 2 - *Modalità di emergenza e portate medie annue di alcune sorgenti costituenti un campione rappresentativo dell'intera area di studio.* - Origin way and annual medium range of some springs which constitute a representative sample of the whole studied area.

Settore geografico	Denominazione Sorgente	Modalità di venuta a giorno		Portata media annua (l/sec)
		Situazioni stratigrafiche	Situazioni tettoniche	
Aventino - Sangro/Osento	Cannella I e III		•	5,23
	Iamone		•	
	La Corte I e II		•	2,52
	Pila e Rossi		•	3,65
	Cilmegno		•	3,40
	S. Onofrio I e II	•		7,88
	Pisciarello I e II	•		2,58
	Mali Passaggi	•		2,53
Sangro/Osento - Trigno/Bifento	Caruso		•	1,50
	Uccelli		•	1,60
	Agro		•	2,00
	Schiappatore		•	3,00
	S. Nicola		•	2,90
	Porcareccio		•	3,00
	Porcile		•	1,30
	Lavaturello		•	2,55
	Condotta		•	1,51
	Acqua Villana		•	1,47
	S. Lucia di Sopra		•	1,58
	Fontanelle		•	1,50
	Acquaviva I e II		•	3,00
	Cambone		•	1,70
	dell'Acquaro		•	2,15
	Lata	•		9,00
	Ciabatta	•		6,28
	Turcano	•		4,85
	Spugna	•		4,75
	Monte S. Angelo	•		30,50
Fonte S. Maura	•		22,00	
Trifoglio	•		6,00	
S. Flaviano	•		4,50	
Fontana Grande	•		4,00	
Biferno - Fortore	Venditti		•	2,05
	Cucchiarone		•	1,01
Fortore/Celone - Cervaro/Calaggio	Fiumara	•		5,35
	Pisciarelli e Conca	•		2,00
	Muta e Fontanelle	•		2,00
	Bosco		•	1,60
	Sabato e Muti		•	1,50
	Pietra di Punta		•	1,50
	Casale		•	3,00
	Acquatorta		•	4,00
	Acqua le Rane	•	•	2,14
	Piano dell'Edera	•	•	5,60
	Lago Scuro	•	•	2,66
	Nocellato	•	•	2,15
	Salaconi	•	•	4,00
	Calitri	•	•	5,00
	Giardino	•	•	2,00

Tab. 3 - *Dati caratteristici delle sorgenti molisane alimentate dal complesso Calcarenitico - Arenaceo - Pelitico. R = Indice di Meinzer; Q_0 = Portata all'inizio del periodo di esaurimento; Q_{tn} = Portata alla fine del periodo di esaurimento; T_n = Durata del periodo di esaurimento; α = Coefficiente di esaurimento; W_0 = Immagazzinamento dinamico all'inizio del periodo di esaurimento ($W_0 = W_r + W_d$); W_r = Riserve regolatrici; W_d = risorse dinamiche.*

- Typical data concerning the Molise springs supplied by the Calcarenitic - Arenaceus - Pelitic complex. R = Meinzer Index; Q_0 = discharge at the beginning of groundwater recession period; Q_{tn} = discharge at the end of groundwater recession period; T_n = time of groundwater recession period; α = coefficient of groundwater recession; W_0 = annual storage at the beginning of groundwater recession period ($W_0 = W_r + W_d$); W_r = carryover storage; W_d = annual groundwater resources.

Sorgente	R (%)	Q_0 (l/s)	Q_{tn} (l/s)	R (%)	α (giorni ⁻¹)	W_0 (m ³)	W_r (m ³)	W_d (m ³)
Campo Rotondo	123	11,8	2,7	108	0,013656	74.657	17.083	57.575
Capo D'acqua	170	7,3	1,4	184	0,008329	75.417	16.290	59.127
Capo di Vandra	181	11,5	2,0	87	0,020106	49.419	8.595	40.824
Don Salvatore	259	5,0	0,3	137	0,021867	19.756	988	18.768
F.te del Trocco	179	4,8	0,9	123	0,014074	29.467	5.218	24.249
F.na Vecchia	238	3,7	0,6	93	0,019444	16.263	2.666	13.597
F.te del Cerro	103	1,7	0,9	112	0,005731	25.781	13.569	12.212
F.te delle Cese	120	4,5	1,2	80	0,007577	51.315	27.990	23.325
F.te di Dentro	259	0,7	0,1	121	0,015469	3.630	559	3.072
F.te Loreto	117	3,0	1,0	96	0,007220	35.899	17.949	17.949
F.te Palummo	385	17,5	1,6	74	0,032076	47.138	4.391	42.748
F.te Sambuco	155	1,5	0,5	112	0,009809	13.212	4.404	8.808
F.te Sambuco I	104	22,7	12,6	86	0,006845	286.528	159.042	127.486
F.te Sambuco II	134	17,7	4,4	97	0,014468	105.701	25.977	79.724
F.te Tudino	205	1,0	0,3	81	0,014303	5.980	1.878	4.103
F.te Vregna	189	1,5	0,3	70	0,022992	5.637	1.127	4.509
Ficarola	87	3,1	1,2	91	0,007933	34.090	16.562	17.528
Javerone	164	28,1	9,2	82	0,010408	233.257	99.350	133.907
Lavaturello	265	8,4	0,4	118	0,020321	35.502	3.227	32.274
Macioca	140	19,0	5,2	92	0,014085	116.553	31.899	84.654
Pannone	89	2,4	1,2	120	0,005275	39.471	20.958	18.513
S. Fabiano	338	19,2	0,7	115	0,019037	87.140	9.760	77.380
S. Giso	108	0,6	0,2	62	0,012525	4.208	1.936	2.272
Sorgituro Cemento	191	25,7	2,5	105	0,022192	100.056	9.733	90.323

5.3. - CARATTERISTICHE IDROGEOCHIMICHE

Per la caratterizzazione idrogeochimica delle sorgenti è stato utilizzato un approccio che si adatta sostanzialmente alla tipologia dei parametri analizzati (in tabella 4 è riportata una sintesi delle analisi chimico-fisiche disponibili), elaborati attraverso criteri e diagrammi classificativi in uso in campo scientifico e legislativo. Utilizzando i valori della salinità totale (residuo fisso - R.F. - a 180°, in mg/l), le acque delle sorgenti analizzate sono state suddivise, secondo la classificazione di MAROTTA & SICA (1933), in acque oligo-minerali (R.F. < 200 mg/l), medio - minerali (200 mg/l < R.F. < 1000 mg/l) e minerali (R.F. > 1000 mg/l).

Il grafico a) di figura 3 mostra in maniera sintetica la distribuzione percentuale delle tre classi citate, evidenziando una chiara prevalenza (81%) delle acque medio - minerali.

Il grado di mineralizzazione delle acque analizzate è evidenziato anche dai relativi valori di conducibilità elettrica (C.E. corretta a 18°C, in $\mu\text{S}/\text{cm}$), chiaramente legati, come è noto, alle concentrazioni degli ioni disciolti. Le distribuzioni della C.E. (grafico b di fig. 3), indicano la presenza di acque con una mineralizzazione variabile da "poco accentuata" ($201 \div 333 \mu\text{S}/\text{cm}$) ad "importante" ($667 \div 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$), in base alla regolamentazione francese (CELICO P., 1986).

La natura litologica dell'acquifero in questione,

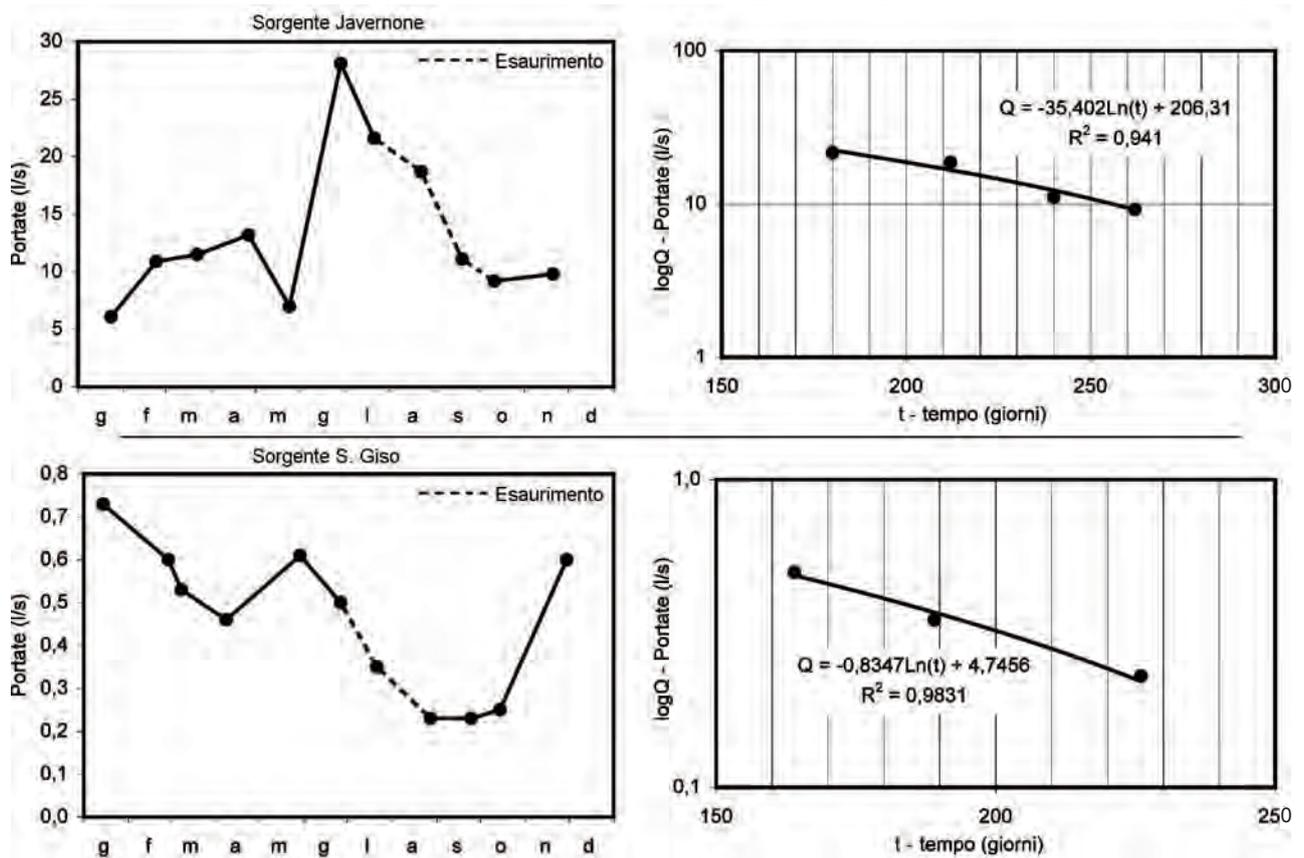


Fig. 2 - Idrogrammi delle sorgenti Javernone e S. Giso.
 - Hydrographs of the springs Javernone and S. Giso.

caratterizzato dall'alternanza di termini a composizione carbonatica e di termini marnoso - argilloso (cfr. par. 2 e 3), ha determinato un arricchimento di ioni alcalino-terrosi (principalmente Ca^{2+} e Mg^{2+}) nelle acque di circolazione. Una visione preliminare di tale aspetto è fornita dalla valutazione della durezza totale (in °F), la cui distribuzione percentuale nelle acque analizzate (grafico c di figura 3) evidenzia una prevalenza delle classi "poco dure" e "medio - dure" con una discreta percentuale (17%) di acque "dure".

Lo studio della variabilità delle concentrazioni dei cationi e degli anioni principali è stata effettuata attraverso l'elaborazione di diagrammi classificativi e comparativi sia di tipo qualitativo sia quantitativo. Nello specifico è stato impiegato il diagramma di Piper (PIPER, 1944) per l'individuazione preliminare delle facies idrochimiche presenti e per ricercare la presenza di eventuali fenomeni di *mixing*; successivamente, è stato adottato il diagramma quantitativo di Schoeller - Berkaloff (SCHOELLER, 1935; BERKALOFF, 1967) per discernere, all'interno di ciascuna facies, le acque a debole mineralizzazione da quelle più mineralizzate.

La rappresentazione delle sorgenti analizzate

nel diagramma di Piper ha consentito di distinguere due gruppi di acque: il primo, caratterizzato da una facies idrochimica di tipo bicarbonato-calcica (facies a, fig. 4); il secondo contraddistinto dall'assenza di dominanza idrochimica (facies b, fig. 4).

La "facies a" distingue le sorgenti ubicate nel settore occidentale dell'area di studio (tav. I f.t.), ed accorpa le scaturigini che traggono alimentazione dal complesso carbonatico (con portate medie annue che raggiungono i 180 l/s), con le emergenze alimentate dal complesso calcarenitico-arenaceo-pelitico* (con portate medie annue comprese tra 2 e 50 l/s; tav. I f.t., fig. 1); quest'ultimo, come specificato in precedenza, costituisce la porzione della *complesso della Daunia* in cui risulta maggiormente rappresentata la componente carbonatica (cfr. par. 3).

La "facies b", invece, contraddistingue in maniera piuttosto netta le sorgenti alimentate dal complesso calcarenitico-arenaceo-pelitico (cfr. par. 3 e tav. I f.t.), che rappresenta come già detto la "*Daunia s.s.*", emergenze che presentano portate medie annue che non superano i 30 l/s. La mancanza di una chiara dominanza idrochimica

Tab. 4 - Sintesi dei risultati delle analisi chimico-fisiche eseguite su un campione rappresentativo di sorgenti ricadenti nel territorio molisano.

- *Synthesis of the results of the chemical-physical analysis carried out over a representative sample of springs falling over the Molise territory.*

N	Denominazione Sorgente	Parametri fisico-chimici			Concentrazioni delle sostanze analizzate (in mg/l)						
		Temp. (°C)	R.F. (mg/l)	Durezza (°F)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺⁺	K ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ⁻⁻	HCO ₃ ⁻
1	Verrino	11,5	171,0	17,6	62,8	4,2	8,4	1,1	7,5	8,0	34,0
2	La spugna	8,3	184,0	15,6	52,2	4,6	7,0	0,9	8,2	5,5	31,0
3	Trione	8,8	240,0	19,5	60,2	8,7	11,3	2,4	11,7	12,2	38,0
4	Gamberale	12,5	198,0	17,5	60,8	2,7	8,0	2,7	8,5	7,2	33,0
5	F. Viola	12,5	197,0	16,3	61,8	2,1	8,0	1,4	8,5	7,3	34,0
6	F. Regina	9,5	218,0	19,0	68,2	2,0	5,2	1,4	7,8	6,9	37,0
7	Costa Cupa	9,0	181,0	15,8	56,6	2,1	4,7	1,7	10,3	6,7	30,0
8	Brecciosa	9,6	145,0	13,2	43,2	5,8	2,5	0,6	14,1	3,3	30,5
9	Cannavine	11,8	246,0	20,4	58,4	14,1	10,8	2,1	9,9	5,3	50,0
10	S. Maria II	9,3	208,0	21,0	70,4	8,3	3,4	1,4	7,8	0,0	39,5
11	Pisciarello	11,9	264,0	25,0	81,6	11,2	6,5	0,8	9,9	12,5	51,0
12	Grotte	9,8	136,0	14,0	52,2	1,6	4,0	1,5	7,1	2,1	28,0
13	F. S. Giso	14,0	335,0	27,8	97,6	8,2	10,8	1,9	14,2	8,0	60,0
14	Capo d'Acqua	10,0	229,0	21,0	76,8	1,9	5,5	1,2	7,8	6,5	41,0
15	Rio Verde	8,5	213,0	19,3	54,0	10,5	10,4	1,5	10,3	10,6	38,0
16	S. Andrea	10,0	309,0	26,0	95,0	3,7	12,9	1,8	13,1	17,6	49,0
17	Capo d'Acqua (B)	16,0	280,0	20,6	60,8	13,1	14,5	1,3	15,0	15,0	49,0
18	Ficarola	14,5	386,0	29,2	104,0	7,7	19,2	2,6	19,1	9,0	63,5
19	Lavaturello	13,8	459,0	34,2	34,4	62,2	23,8	8,4	26,0	47,6	63,0
20	Pannone	14,7	629,0	33,8	89,6	27,7	96,0	14,7	60,3	10,0	62,5
21	F. Loreto	17,7	640,0	33,4	59,2	20,9	61,5	15,2	38,2	57,2	67,0
22	Adamo	16,5	491,0	32,4	103,2	16,0	70,5	7,1	51,0	19,4	67,0
23	Fiat	15,5	1066,0	65,4	164,0	52,3	60,0	27,7	117,0	120,0	71,0
24	La Teglia	16,8	524,0	38,8	34,4	73,3	41,8	6,9	35,4	40,0	78,0
25	Iaverone	14,5	384,0	26,0	31,2	44,2	42,6	4,4	29,0	21,6	49,0
26	Della Noce	13,0	457,0	34,0	84,8	21,1	31,5	5,8	28,3	24,8	67,5
27	Caneto	n.d.	422,0	25,2	65,6	2,4	61,5	6,1	27,6	59,2	52,0
28	S. Fabiano	16,5	411,0	29,8	90,4	12,7	21,2	3,8	23,4	29,6	57,5
29	Tudino	16,5	462,0	31,4	120,8	2,9	27,6	2,3	20,5	36,4	70,0
30	Bollella	13,8	751,0	31,8	88,0	23,3	143,0	5,3	148,2	74,0	53,0
31	Reginosa	15,3	634,0	27,8	85,6	15,5	94,5	12,9	56,0	57,2	65,0
32	F. delle Cese	12,3	544,0	24,8	35,2	38,8	14,5	2,6	52,4	48,0	45,0
33	Scarpa	15,5	372,0	30,6	8,2	24,7	26,4	4,0	17,7	46,0	51,0
34	Troccoli	11,6	325,0	26,8	76,8	18,4	20,6	2,8	14,0	44,8	50,5
35	del Cerro	16,5	346,0	29,2	89,6	16,5	37,0	4,5	39,0	48,0	51,5
36	F. Cigno	17,4	545,0	33,4	97,6	21,8	70,0	1,9	58,8	62,0	57,0

nelle acque sotterranee è generalmente legata ad un basso grado di mineralizzazione delle acque connesso con la presenza di circuiti idrici sotterranei piuttosto rapidi.

Nel caso specifico, invece, pur essendo verosimile l'ipotesi di circuiti idrici sotterranei piuttosto rapidi (cfr. par. 4.2; CASALE & CELICO, 1995) le acque analizzate presentano un grado di minera-

lizzazione tutt'altro che basso, come evidenziato in precedenza (fig. 3) e reso particolarmente evidente dalla lettura dei diagrammi di Schoeller-Berkaloff (fig. 5a).

Ciò è coerente con l'estrema varietà litologica che caratterizza la Formazione della Daunia e con la possibilità di mescolamenti fra componenti idriche assai diverse, talvolta associate anche alla dissoluzione di gessi o marne gessose (cfr. par. 1, 2 e 3).

A tale proposito sono stati redatti i diagrammi di correlazione R.F./SO₄²⁻; R.F./Cl⁻; R.F./Na⁺; Cl⁻/Na⁺ (fig. 6).

Gli elevati valori del coefficiente di determinazione ($0,62 < R^2 < 0,76$) sono sintomatici di un deflusso idrico sotterraneo attraverso le litologie della Formazione Gessoso-Solfifera, sino ad interessare quelle altamente solubili quali il salgemma.

La possibilità di riconoscere oltre alla facies bicarbonato-calcica, chiaramente individuata, nel diagramma di Schoeller-Berkaloff, dal tipico andamento "a catino" (fig. 5b), altri due andamenti riconducibili rispettivamente alle facies

bicarbonato-magnesiaca (fig. 5c) e bicarbonato-alcalino-calcica (fig. 5d), è ancora una volta conseguenza di processi di *mixing*.

In ultimo, è stato considerato l'aspetto qualitativo della risorsa idrica attraverso la valutazione dell'impatto antropico al quale le acque sotterranee sono soggette, facendo riferimento alle disposizioni previste dalla normativa vigente in materia di acque sotterranee (D. Lgs. 152/99 e succ. mod.). Nello specifico, sono stati valutati i tenori dei parametri di base contemplati nella tabella di classificazione dello stato chimico delle acque (Conducibilità Elettrica, Cloruri, Manganese, Ferro, Nitrati, Solfati, Ione ammonio; cfr. All. 1, par. 4.4.2). A tale proposito, come previsto dalla normativa (D.Lgs. 152/99, All. 1, par. 4.4.2) è stata considerata, per ciascuno dei suddetti parametri, la peggiore concentrazione riscontrabile durante il periodo di osservazione. Ne risulta, come illustrato nello schema di figura 6, una situazione caratterizzata da acque appartenenti alle classi 1 e 2, indicative di condizioni di impatto antropico da nullo a ridotto, e con caratteristiche

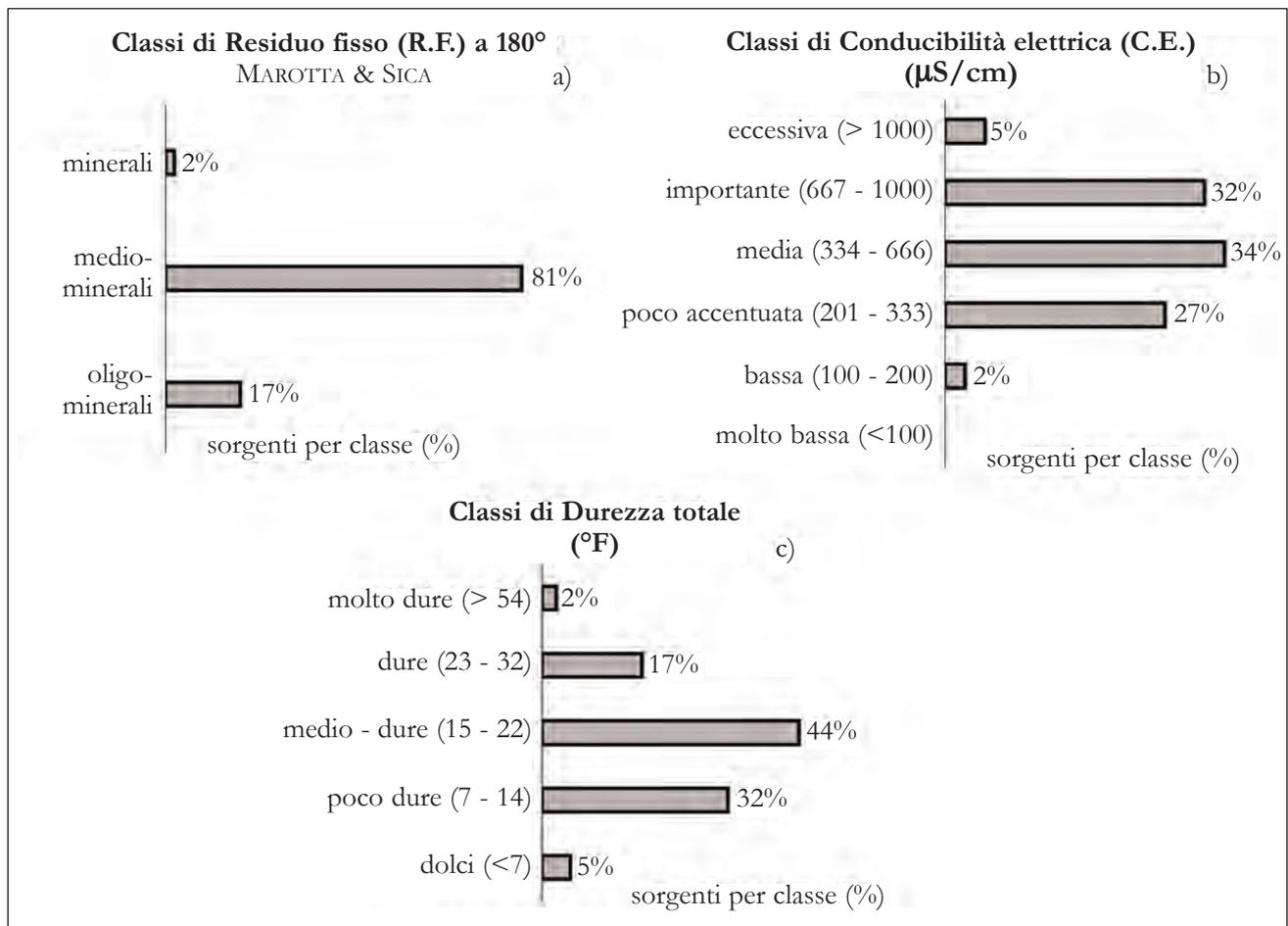


Fig. 3 - Classificazione delle acque che alimentano le sorgenti analizzate, in funzione di alcuni parametri chimico - fisici.
- Classification of the waters supplying the analyzed springs, in function of some chemical-physical parameters.

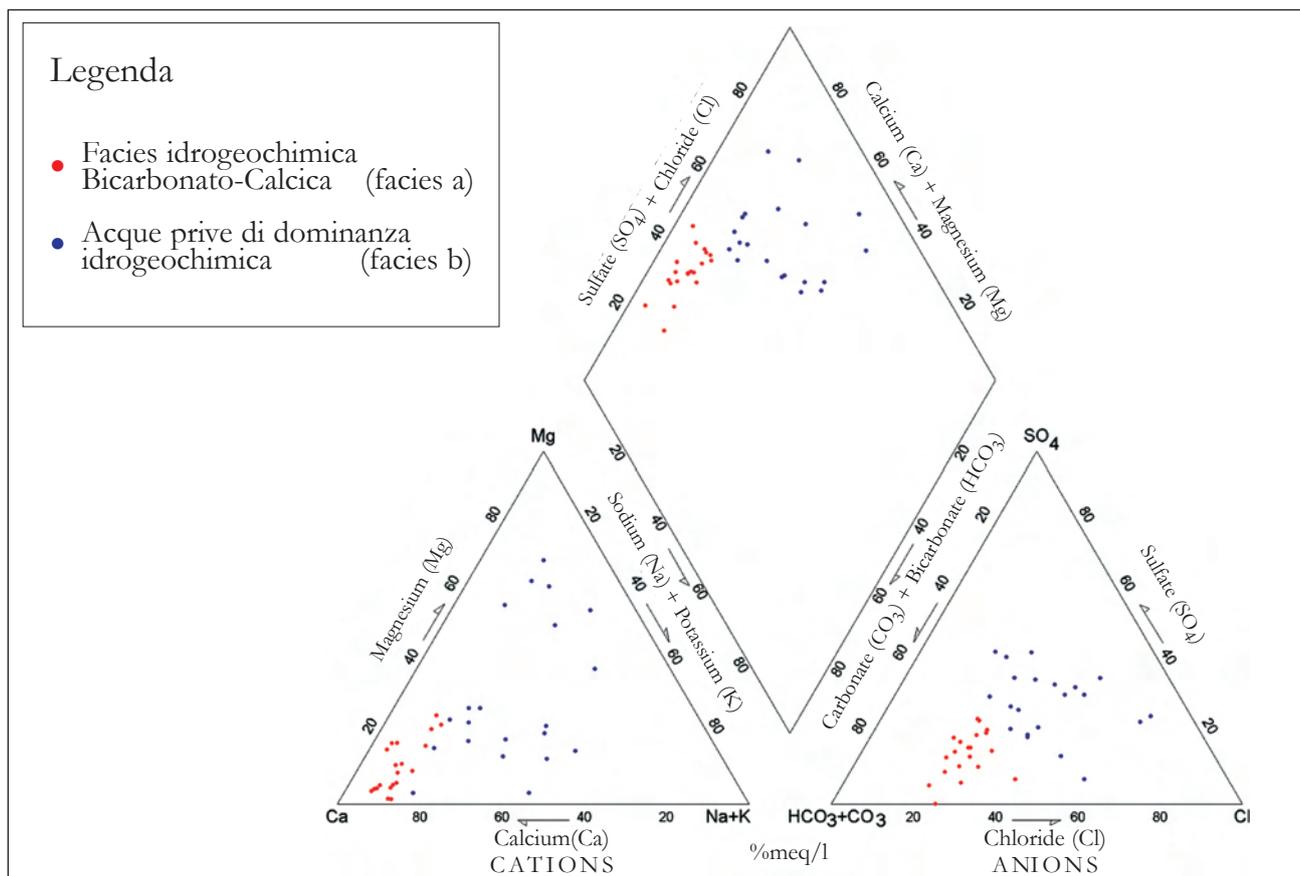


Fig. 4 - Rappresentazione delle sorgenti analizzate all'interno del diagramma classificativo di Piper.
- Description of the studied springs inside Piper's classificative diagram.

idrochimiche da pregiate a buone. D'altronde è da considerare che la maggior parte del territorio ricadente nell'area in esame, e più precisamente quella coincidente con le aree di alimentazione delle polle sorgive, risulta, a causa della morfologia accidentata, poco sfruttata dal punto di vista delle attività agricole intensive e di quelle industriali.

6. - CONCLUSIONI

Il complesso idrogeologico della Daunia, esteso per circa 5700 Km², consente l'alimentazione di un numero piuttosto cospicuo di polle sorgive (circa 300). Ciò nonostante, la ridotta portata emergente alle singole sorgenti (generalmente inferiore a 30 l/s e superiore a 0,1 l/s, eccezion fatta per la polla Verrino, che raggiunge portate anche dell'ordine di 400 l/s) fa di questo complesso uno dei principali e più rappresentativi esempi di "acquifero minore", perlomeno con riferimento all'Italia centro-meridionale. Non a caso, una valutazione piuttosto speditiva della sua produttività, elaborata attraverso la brutale somma delle misure di portata disponibili per

tutte le sorgenti censite, ovviamente con riferimento a dati medi, fornisce un valore di circa 600 l/s. Se si considerano le portate medie delle più importanti sorgenti alimentate dai serbatoi acquiferi carbonatici, anche dell'ordine di diversi metri cubi al secondo, ci si rende maggiormente conto del significato dell'aggettivo "minore". Ciò premesso, soprattutto in considerazione dell'incremento del fabbisogno idrico per gli usi prevalentemente potabili, oltre che industriali ed irrigui e del generale decremento delle precipitazioni o, più precisamente, della concentrazione della ricarica attiva in periodi limitati (FIORILLO *et alii*, 2007), questi acquiferi non possono e non devono essere considerati poco significativi. Da qui nasce l'esigenza di un affinamento delle conoscenze attraverso lo svolgimento di studi scientifici di dettaglio, peraltro già avviati dal gruppo di ricerca, in ambito idrogeologico, dell'Università del Sannio. In tale contesto si inserisce, infatti, l'individuazione di un "bacino campione" (Monti della Baronìa), opportunamente monitorato attraverso l'installazione di una stazione per il rilevamento dei dati termo-pluviometrici, di sensori per la determinazione dell'umidità del terreno e di idonei misuratori di portata sorgiva. Tutte

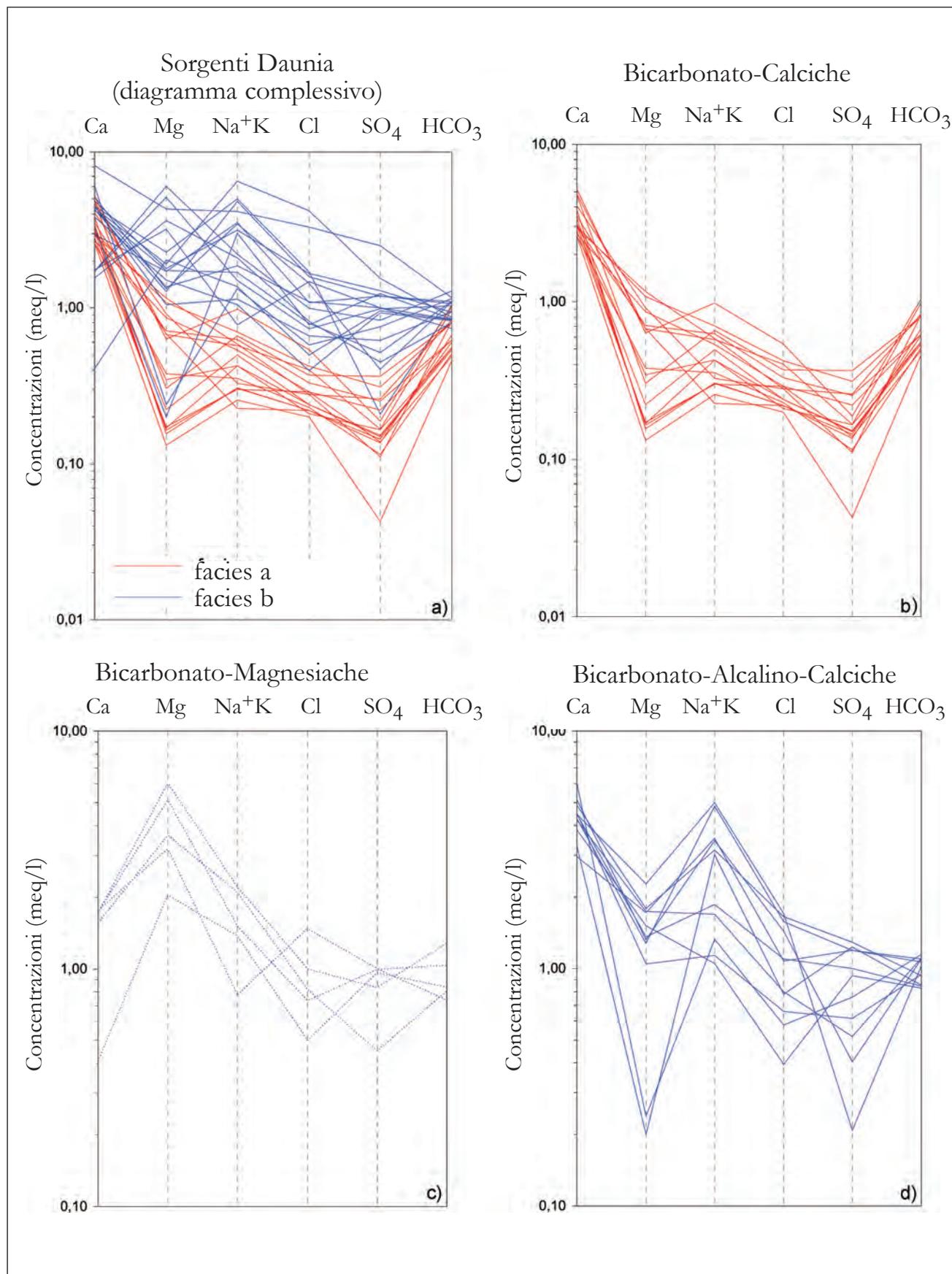


Fig. 5 - Rappresentazione delle sorgenti analizzate all'interno del diagramma di Schoeller - Berkaloff.
 - Description of the studied springs inside Schoeller - Berkaloff diagram

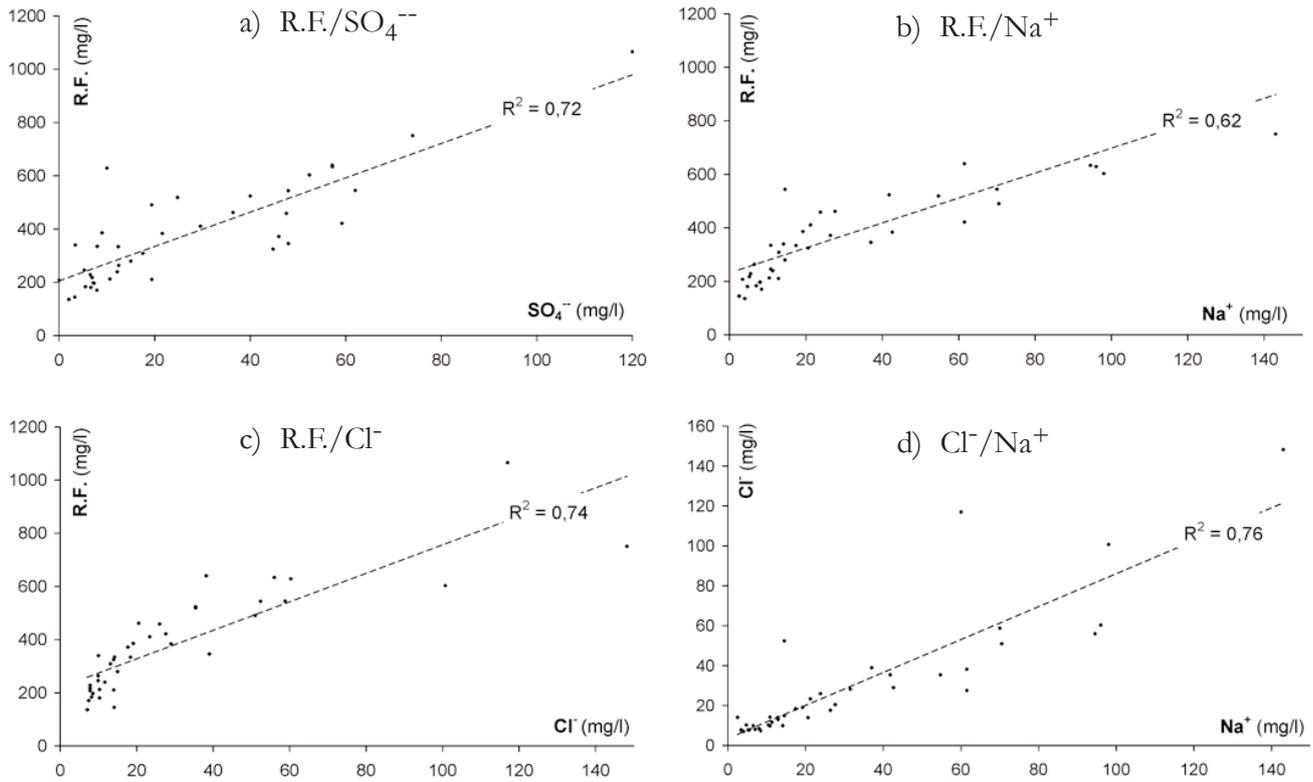


Fig. 6 - Diagrammi di correlazione: a) Residuo fisso / solfati; b) Residuo fisso / cloruri; c) Residuo fisso / sodio; d) cloruri / sodio.
- Correlation diagrams: a) fixed solids/ sulphates; b) fixed solids/ chlorides; c) fixed solids/ sodium; d) chlorides/ sodium.

le strumentazioni, che è stato possibile acquistare grazie al programma di ricerca finanziato dall'APAT, permettono la registrazione in continuo dei dati di cui sopra. Tutto ciò potrà consentire di pervenire alla comprensione dettagliata delle modalità di ricarica, di esaurimento e di deflusso idrico sotterraneo fornendo la base nozionistica necessaria anche per valutazioni riguardanti la prevenzione del decadimento qualitativo e quantitativo della risorsa.

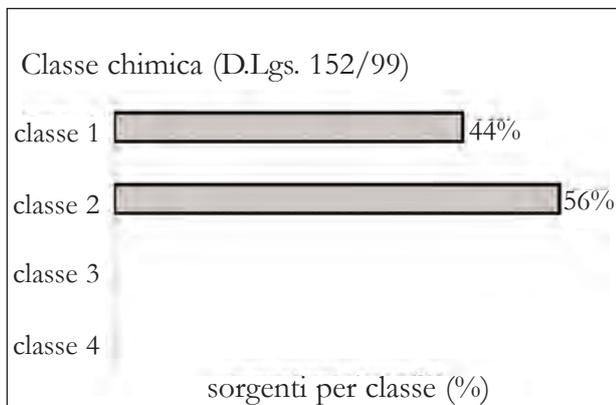


Fig. 7 - Classificazione dello stato chimico delle acque che alimentano le sorgenti analizzate (D.Lgs. 152/99 - All. 1; 4.4.2).
- Classification of the chemical condition of the waters supplying the analyzed springs (D.Lgs. 152/99 - Annexe 1; 4.4.2).

Ringraziamenti

Gli Autori desiderano ringraziare il dr. Geol. NICOLA SCAPILLATI del Servizio Geologico della Regione Molise, per la straordinaria disponibilità nel fornire ogni elemento idrogeologico utile ai fini della ricerca e l'Ing. DOMENICO DI RENZO della Società Abruzzese per il Servizio Idrico Integrato, che ha fornito i dati relativi ad alcune sorgenti del territorio abruzzese.

BIBLIOGRAFIA

- BALBONI A. (1968) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 154 Larino.*
- BASSO C., DI NOCERA S., ESPOSITO P., MATANO F., RUSSO B. & TORRE M. (2001) - *Stratigrafia delle successioni sedimentarie evaporitiche e post-evaporitiche del Messiniano superiore in Irpinia settentrionale (Appennino meridionale, Italia).* Boll. Soc. Geol. It., **120** (2-3).
- BERGOMI C. & VALLETTA M. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 148 Vasto.*
- BERKALOFF E. (1967) - *Limite de validité des formules courantes de tarissement du débit.* Chron. d'Hydrogeol., B.R.G.M., **10**.
- BONI A., CASNEDI R., CENTAMORE E., COLANTONI P., CREMONINI G., ELMI C., MONESI A., SELLI R. & VALLETTA M. (1969) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 155 San Severo.*
- CASALE M. & CELICO F. (1995) - *Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero carbonatico del Monte Capraro (Molise).* Quaderni di Geologia Applicata, **3**, suppl. 1.
- CATENACCI V. (1974) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 147 Lanciano.*

- CELICO F., CELICO P., DE BENEDITTIS A., MINAUDO R., MOFFA G. & PASQUALE M. (1996) - *Sulle modalità di inquinamento della sorgente S. Mauro (Molise)*. Mem. Soc. Geol. It., **51** (2).
- CELICO P. (1983) - *Idrogeologia dell'Italia centro-meridionale*. Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, 4/2.
- CELICO P. (1984) - *Prospezioni idrogeologiche*, **1**. Liguori Editore, Napoli.
- CENTAMORE E. & VALLETTA M. (1968) - *Contributo alla conoscenza geologica dell'Appennino molisano*. Boll. Serv. Geol. d'It., **89** (1968).
- CESTARI G., MALFERRARI N., MANFREDINI M. & ZATTINI N. (1975) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 162 Campobasso*.
- CHECCHIA-RISPOLI G. (1935) - *Su di una formazione miocenica dell'Appennino della Capitanata*. Atti R. Acc. Naz. dei Lincei, Rend. Cl. Sc. Fis. Mat. Nat., s.6°, **22**, fasc. 7-8.
- CIARANFI N., GHISSETTI F., GUIDA M., IACCARINO G., LAMBIASE S., PIERI P., RAPISARDI L., RICCHETTI G., TORRE M., TORTORICI L. & VEZZANI L. (1983) - *Carta Neotettonica dell'Italia meridionale*. C. N. R. - Progetto Finalizzato Geodinamica - Pubbl. 515.
- COCCO E. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 161 Isernia*.
- CROSTELLA A. & VEZZANI L. (1964) - *La geologia dell'Appennino Foggiano*. Boll. Soc. Geol. It., **83** (1).
- DECRETO LEGISLATIVO 152/99 e s.m.i. (1999) - *Disposizioni sulla tutela delle acque dall'inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall'inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole*. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana - Serie Generale, parte prima, 29 maggio 1999, Roma.
- FIORILLO F., ESPOSITO L. & GUADAGNO F.M. (2006) - *Analyses and forecast of water resources in an ultra-centenarian spring discharge series from Serino (Southern Italy)*. Journal of Hydrology (2007) **336**, 125-138, Elsevier..
- HIEKE MERLIN O., LA VOLPE L., NAPPI G., REDINI R. & SANTAGATI G. (1970) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Fogli 186 e 187 S. Angelo dei Lombardi e Melfi*.
- IPPOLITO F. & LUCINI P. (1957) - *Il flysch nell'Appennino meridionale*. Boll. Soc. Geol. It., **75** (3) (1956).
- JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1957a) - *Appunti sul rilevamento geologico nei Fogli 173 "Benevento" e 174 "Ariano Irpino"*. Boll. Serv. Geol. d'It., 79.
- JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1957b) - *Introduzione allo studio dei sedimenti miocenici dell'Irpinia e del Sannio*. Boll. Serv. Geol. d'It., 79.
- JACOBACCI A., MARTELLI G. & PERNO U. (1958) - *Osservazioni geologiche nel F. 163 Lucera*. Boll. Serv. Geol. d'It., **80**.
- JACOBACCI A., MALATESTA A., MARTELLI G. & STAMPANONI G. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 163 Lucera*.
- JACOBACCI A. & MARTELLI G. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 174 Ariano Irpino*.
- MAILLET E. (1967) - *Essais d'hydraulique souterraine et fluviale*. Lib. Scient. Herman, Paris.
- MALATESTA A., PERNO U. & STAMPANONI G. (1967) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 - Foglio 175 Cerignola*.
- MATANO F. & DI NOCERA S. (2001) - *Geologia del settore centrale dell'Irpinia (Appennino meridionale): nuovi dati e interpretazioni*. Boll. Soc. Geol. It., **120** (1).
- MEINZER O.E. (1942) - *Hydrology*. Mc Gran.Hill, New York.
- PIPER A.M. (1944) - *A graphic procedure in the geochemical interpretation of water analysis*. Amer. Geophys. Union. Trans., **25**.
- REGIONE MOLISE - ASSESSORATO LAVORI PUBBLICI (1980) - *Aggiornamento dei dati del Piano Regionale Generale degli Acquedotti e degli Studi della Cassa per il Mezzogiorno*.
- SELLI R. (1962) - *Il Paleogene nel quadro della geologia dell'Italia meridionale*. Mem. Soc. Geol. It., **3**.
- SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE (1942-1964) - *Le sorgenti italiane, elenco e descrizione*. Pubblicazione n. 14, **1** (Puglia), **7** (Campania), **8** (Molise) e **9** (Abruzzo).
- SHOELLER H. (1935) - *Utilité de la notion des échanges de bases pour la comparaison des eaux souterraines*. Bull. Soc. Geol. de France, **5**.
- VEZZANI L. & GHISSETTI F. (1998) - *Carta Geologica dell'Abruzzo - Foglio Ovest, alla scala 1:100.000*.
- VEZZANI L., GHISSETTI F. & FESTA A. (2004) - *Carta Geologica del Molise, alla scala 1:100.000*.