

Caratteristiche idrogeologiche del Foglio n. 348 Antrodoco della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000

Hydrogeological features of the Sheet n.348 Antrodoco, Geological Map of Italy area, 1:50,000 scale

CONTE G.[†] (*), MARTARELLI L. (*), MONTI G.M. (*), MOTTERAN G. (*),
SCALISE A.R. (*), SERAFINI R. (*), SILVI A. (*)

RIASSUNTO - Il presente studio è finalizzato alla realizzazione di una cartografia idrogeologica a integrazione del Progetto CARG (scala 1:50.000) del Foglio 348 Antrodoco. L'area di studio interessa le regioni Lazio e Abruzzo, nelle province di Rieti e L'Aquila, in un settore della catena appenninica caratterizzato da distinte unità tettoniche sovrapposte secondo una principale vergenza adriatica: Unità dei M. Sibillini, Unità di M. Giano-M. Gabbia-M. Nuria, Unità del Gran Sasso-Cittareale e Unità di Acquasanta-M. dei Fiori. Tali unità sono costituite da successioni sedimentarie caratteristiche di domini paleogeografici diversi: dominio della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese (Unità di M. Giano-M. Gabbia-M. Nuria); dominio di bacino pelagico umbro-marchigiano (Unità dei M. Sibillini e Unità di Acquasanta-M. dei Fiori); dominio di transizione (Unità del Gran Sasso-Cittareale).

Sono stati definiti i principali complessi idrogeologici (dal basso verso l'alto): 1) Complesso dolomitico; 2) Complesso calcareo basale; 3) Complesso calcareo superiore; 4) Complesso calcareo-marnoso; 5) Complesso marnoso-calcareo e marnoso; 6) Complesso dei flysch; 7) Complesso conglomeratico-sabbioso e detritico; 8) Complesso delle alluvioni.

La ricchezza di acque sotterranee di buona qualità nell'ambito dei rilievi carbonatici di questo settore ha diffu-

samente promosso la pratica del loro sfruttamento sia per l'approvvigionamento idrico sia per uso idroelettrico.

È stato condotto un censimento di punti d'acqua (circa 250 tra sorgenti, corsi d'acqua e pozzi) e circa 70 di essi sono stati selezionati per la costituzione di una rete di controllo per eseguire, con cadenza circa mensile, misure di portata di sorgenti e in alveo, corredate da analisi speditive di parametri chimico-fisici in sito (temperatura, pH e conducibilità elettrica) e da analisi chimiche delle acque di circa 55 sorgenti. Le informazioni ottenute hanno permesso di caratterizzare e classificare dal punto di vista idrogeochimico le sorgenti, contribuendo alla definizione dei modelli concettuali degli acquiferi interessati.

La maggior parte delle sorgenti censite ha caratteristiche di alta quota e/o di emergenze sospese e ha valori di portata limitati (<10 l/s); le sorgenti che ricorrono in posizione pedemontana e di fondovalle possono invece raggiungere portate di 10-100 l/s, eccezione fatta per una sola sorgente che emette poche centinaia di l/s. I valori di conducibilità elettrica sono generalmente compresi tra 220 e 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tranne alcune sorgenti mineralizzate che hanno valori fino a circa 1200-1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Poche acque solfato/solfuree hanno invece valori compresi tra circa 1900-2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ancora riguardo ai valori di conducibilità elettrica, è stato anche possibile distinguere due classi con intervalli di valori

(*) Dipartimento per il Servizio Geologico d'Italia - ISPRA - Via V. Brancati, 48 - 00154 - Roma, Italia

basso-intermedio (220-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e intermedio-alto (400-840 $\mu\text{S}/\text{cm}$), in cui sono generalmente comprese le sorgenti associate a depositi con caratteristiche, rispettivamente, da calcaree a marnose e di flysch.

Le acque possono essere classificate come acque bicarbonato-calciche. L'analisi delle componenti principali ha permesso la distinzione di due gruppi di ioni a diverso comportamento, ossia bicarbonati e Ca, da una parte, e Mg, Na, K, Cl e solfati, dall'altra. Anche questi due gruppi sono correlati al tipo litologico che caratterizza i terreni in cui si sviluppano i circuiti sotterranei e/o le rocce serbatoio, ossia, come precedentemente accennato, rispettivamente, le formazioni calcaree e marnose della Serie Umbro-Laziale-Abruzzese (tranne le rocce calcareo-dolomitiche) e i depositi arenaceo-pelitici flyschoidi.

Riguardo all'idrologia superficiale, il territorio del Foglio Antrodoco include, a NW, un limitato settore con alcuni tributari in destra idrografica del Bacino del fiume Corno. Vi è quindi un'estesa fascia, con orientazione NE-SW, interessata dal settore di monte del Bacino del fiume Velino, compreso il sottobacino del fiume Ratto, che occupa la parte settentrionale, centrale e sud-occidentale del Foglio. A NE, vi sono porzioni dell'alto corso dei bacini idrografici dei fiumi Tronto e Vomano. Inoltre, compare la porzione dell'alto corso del fiume Aterno, compresa tra le sorgenti presso Montereale, a N, fino a S. Vittorino di L'Aquila, a S, e porzioni molto limitate del sottobacino del fiume Raio. Il bacino endoreico della piana di Cascina è interamente compreso all'interno del foglio nel settore centro-meridionale. Sono stati individuati i tratti fluviali che ricevono contributi dalle acque di falda (sorgenti lineari) e quelli, al contrario, dove avviene dispersione in falda di acque fluviali.

Dai dati termometrici e pluviometrici medi annui delle stazioni meteo-climatiche con rilevazioni di durata pluridecennale sono stati ricostruiti i campi di distribuzione spaziale delle temperature e delle piogge.

Sulla base della ricostruzione geologico-strutturale e delle informazioni riguardanti gli elementi d'interesse idrogeologico ricavati dal presente studio, è stata effettuata una distinzione delle principali idrostrutture e per ognuna è stata elaborata una ricostruzione delle caratteristiche idrogeologiche sotterranee e un tentativo di calcolo di bilancio idrogeologico.

In definitiva, si è spesso riscontrata un'eccedenza di aliquota destinata all'infiltrazione efficace.

Tale risorsa in eccedenza è in genere recapitata, anche attraverso vie preferenziali (e.g.: faglie dirette che delimitano e/o sono presenti nella struttura), verso l'acquifero regionale basale residente nelle limitrofe facies carbonatiche di piattaforma fratturate e carsificate e/o verso altri acquiferi limitrofi, contribuendo alla portata di sorgenti puntuali e lineari di più bassa quota (es., Sorgenti del Peschiera, sorgenti del versante NW del Monte Velino e di quello SW dei Monti del Gran Sasso). Le idrostrutture definite sono le seguenti: 1) Idrostruttura di M. Terminillo (comprendente la Sub-idrostruttura di M. Cambio); 2) Idrostruttura di M.

Porillo; 3) Idrostruttura di M. Tolentino s.s. (Sub-idrostruttura di M. Canestro); 4) Idrostruttura di M. Nocella-C.le Moretto (Sub-idrostruttura di M. Cerasa); 5) Idrostruttura di M. Boragine; 6) Idrostruttura di V. Lunga-Montagnola; 7) Idrostruttura di M. Poponi-M. Mucchio; 8) Idrostruttura di M. Giano-M. Gabbia; 9) Idrostruttura di M. Marine-C.le Grande.

PAROLE CHIAVE: idrogeologia, cartografia idrogeologica, Antrodoco, Italia centrale

ABSTRACT - The present study is aimed to the realization of a hydrogeological map of the Sheet N.348 Antrodoco (1:50,000 scale), in the frame of the Italian Geological Cartography Project (CARG). The study area is included in the Latium and Abruzzi region territory, Rieti and L'Aquila provinces, in a sector of the Apennine Belt characterized by superposition of tectonic units mainly verging SW to NE (Adriatic trend): M. Sibillini Unit, M. Giano-M. Gabbia-M. Nuria Unit, Gran Sasso-Cittareale Unit and Acquasanta-M.dei Fiori Unit. These units are composed of sedimentary successions deposited within different paleogeographical domains: the Latium-Abruzzi carbonate shelf (M. Giano-M. Gabbia-M. Nuria); the Umbro-Marchean pelagic basin (M. Sibillini and Acquasanta-M. dei Fiori); slope-margin transitional (Gran Sasso-Cittareale). The main hydrogeological complexes have been defined (from bottom to top): 1) Dolomitic; 2) Basal Calcareous; 3) Upper Calcareous; 4) Calcareous-marly; 5) Marly-calcareous and Marly; 6) Flysch; 7) Conglomeratic-sandy and detritic; 8) Alluvial.

The large amount of good-quality groundwater hosted within the calcareous reliefs of this area led to diffuse resource exploitation for both human supply and hydroelectrical purposes.

A census of the main hydrogeological elements (about 250 among springs, streams and wells) has been carried out and about 70 points have been selected for the realization of a control network for monthly measurement of spring and stream discharge, in situ hydrochemical analyses (temperature, pH and electrical conductivity). About 55 spring waters were selected to perform major and minor chemical element analyses as well, allowing the hydrochemical characterization and classification of spring waters and contributing to define conceptual models of the studied aquifers.

Most of springs have high elevation and/or perched features and have low discharge values (<10 l/s); springs located at valley bottoms or at the foot of reliefs may reach 10-100 l/s of discharge, except for one spring which yields few hundreds of l/s. Electrical conductivity (EC) is generally between 220 and 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$, excluding some mineralized springs (about 1200-1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and few sulfate/sulfide springs (1900-2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$). The obtained EC values allow the distinction of two main classes of springs showing low-intermediate (220-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) and intermediate-high (400-840 $\mu\text{S}/\text{cm}$) values, likely depending on their affiliation to calcareous/marly and flysch deposit, respectively.

All spring waters may be classified as bicarbonate-calcic, but the principal component analysis allowed the distinction of two main ion groups including (i) bicarbonate and Ca and (ii) Mg, Na, K, Cl and sulfates.

The two groups are likely correlated to the lithological typology of the terrains that host the aquifers and which the underground paths occurred in, i.e., as previously assessed, the calcareous and marly formations of the Umbria-Latium-Abruzzi series (excluding calcareous-dolomitic rocks) and the arenaceous-pelitic flysch deposits, respectively.

As concerns the surface hydrology, the study area includes, at NW, a small sector with some hydrographical right tributary streams of the Corno River Basin and, in the northern, central and southwestern zones, a wide NE-SW trending area with the upstream sector of the Velino River Basin, including the Ratto River Sub-basin. At NE, portions of the high courses of the Tronto and Vomano River Basins occur. Furthermore, the high course of the Aterno River Basin (from springs near Montereale, at N, to S. Vittorino, L'Aquila, at S) and a small part of the Raio River Sub-basin are included as well. The endoreic basin of the Cascina plain is also fully incorporated in the Antrodoco Sheet central-southern territory. In addition, the stream course sectors fed by groundwater (linear springs) and those where, on the contrary, surface waters may reach the alluvial aquifers have been defined.

The thermometric and pluviometric mean annual data of the meteo-climatic stations with pluri-decennial series have allowed the reconstruction of temperature and rainfall spatial distribution fields.

On the basis of the geological-structural reconstruction and of the information about the significant hydrogeological element obtained after the present study, a distinction of the main hydrostructure has been carried out and, for each one, the main groundwater features and the hydrogeological budget have been defined. As a whole, a surplus of effective infiltration amount has been shown. This excess in groundwater resource is generally transferred, also through preferential pathways (e.g., normal faults bordering and/or occurring inside the hydrostructures), to the basal regional aquifer hosted in the nearby fissured and karstified carbonate shelf deposits and/or towards other neighboring aquifers, contributing to the discharge amounts of localized and linear springs placed at lower elevation (e.g., Peschiera Springs, springs in the NW sector of the Velino Mount and in the SW sector of the Gran Sasso Mounts). The defined hydrostructures are: 1) M. Terminillo (including the M. Cambio Sub-hydrostructure); 2) M. Porillo; 3) M. Tolentino (with M. Canestro Sub-hydrostructure); 4) M. Nocella-C.le Moretto (M. Cerasa Sub-hydrostructure); 5) M. Boragine; 6) V. Lunga-Montagnola; 7) M. Poponi-M. Mucchio; 8) M. Giano-M. Gabbia; 9) M. Marine-C.le Grande.

KEY WORDS: hydrogeology, hydrogeological map, Antrodoco, Central Italy

1. - INTRODUZIONE

Il Servizio Geologico d'Italia/Dipartimento Difesa del Suolo dell'ISPRA ha promosso, intorno al 2006, il "Progetto Antrodoco", che prevedeva la realizzazione di cartografie geotematiche, compresa quella idrogeologica, ad integrazione della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Progetto CARG) nell'area campione del Foglio 348 Antrodoco, il cui territorio è situato tra le regioni Lazio e Abruzzo (province di Rieti e L'Aquila).

Le caratteristiche idrogeologiche a scala regionale dell'area dell'Appennino centrale sono ben note (e.g., GIULIANO & SCIOTTI, 1981; CELICO, 1983a, 1983b; BONI *et alii*, 1986a, 1986b; BONI *et alii*, 1995, CAPELLI *et alii*, 2012). Contrariamente ai precedenti studi, però, le indagini idrogeologiche che hanno portato alla stesura del presente lavoro sono state condotte in campagna ad una scala di maggiore dettaglio (1:25.000) e prendono in considerazione anche sorgenti di potenzialità idrica subordinata, tra cui quelle che emergono ad alta quota o nell'ambito dei terreni torbiditici, ma di grande importanza per l'approvvigionamento idrico a livello locale.

Per il rilevamento e la rappresentazione del dato idrogeologico sono state utilizzate le linee guida del SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1995) e le successive proposte di integrazione derivate da alcune verifiche di applicabilità eseguite tramite studi sperimentali cartografici in aree campione, i cui risultati sono riportati in SCALISE & MARTARELLI (2008). Le informazioni raccolte sono state elaborate con fogli di calcolo e quindi importate in ambiente GIS. In particolare, con un software GIS sono stati georiferiti gli elementi idrogeologici, attivando un collegamento tra essi e le informazioni contenute nel database. Sempre tramite GIS sono state eseguite le elaborazioni cartografiche.

La Carta Geologica d'Italia del Foglio 348 Antrodoco alla scala 1:50.000 (Progetto CARG), che dovrà costituire la base geologica della Carta Idrogeologica del Foglio 348 Antrodoco, non è ancora pronta in un formato fruibile per le elaborazioni di interesse idrogeologico. Si è quindi deciso, in attesa, di presentare in un volume della Collana editoriale delle Memorie Descrittive del Servizio Geologico d'Italia il presente lavoro, corredato da una Carta Idrogeologica, in cui è riportata una discussione preliminare della gran mole di informazioni raccolte.

La base geologica adottata è quella ufficiale al momento disponibile, ossia la Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 del F. 139 L'Aquila (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1955), che è stata

opportunamente integrata con le informazioni di rilevamenti più recenti (e.g., CENTAMORE *et alii*, 1991), di alcuni rilevamenti inediti effettuati per il Progetto CARG da altri Colleghi del Servizio Geologico d'Italia, che si ringraziano per la collaborazione, e dei rilevamenti litostratigrafici effettuati dagli scriventi, specialmente in aree particolarmente interessanti o problematiche.

Il responsabile del progetto "Geotematismo idrogeologia del Foglio 348 Antrodoco" è il Dott. M. Amanti; il coordinamento scientifico è stato svolto dal Dott. L. Martarelli. Il presente testo è stato curato dai Dott. G. Conte[†], L. Martarelli e A.R. Scalise, con i contributi dei Dott. G.M. Monti e G. Motteran e dei Sig. R. Serafini e A. Silvi.

2. - INQUADRAMENTO GEOLOGICO-STRUTTURALE E GEOMORFOLOGICO

2.1. - CENNI DI GEOMORFOLOGIA

Il territorio ricadente nel Foglio Antrodoco è situato al margine occidentale della dorsale appenninica tra il Monte Terminillo e il Gran Sasso d'Italia (fig. 1). Il margine W e NO del Foglio corre lungo il bordo orientale della dorsale dei

Monti Reatini che, allungata in direzione meridiana, raggiunge le quote più elevate con il Monte Elefante (2015 m s.l.m.), il Monte Terminillo (2181 m), il Monte di Cambio (2081 m) e il Monte Boragine (1824 m).

I margini N e NE attraversano la parte meridionale della dorsale dei Monti della Laga, mentre il margine S si estende dalla Valle del F. Velino, passa attraverso la dorsale dei monti Nuria (1888 m), Giano (1820 m) e Gabbia (1497 m) e giunge fino alla Valle del F. Aterno.

L'orografia dell'area del Foglio, nei suoi tratti essenziali, è caratterizzata da un paesaggio articolato per la presenza di dorsali e aree collinari che si alternano a conche e valli fluviali.

L'idrografia è caratterizzata da due principali distinti bacini di drenaggio con percorsi, orientamento e direzione di deflusso diversi e recapito nei fiumi Velino e Aterno.

Il bacino del F. Velino occupa solo la parte W del Foglio, dove l'asta principale è il F. Velino che defluisce da NE verso SO, per poi drenare verso Nord (fuori dell'area del Foglio) attraverso la Piana Reatina e le Cascate delle Marmore, fino a immettersi nel F. Nera. Il F. Velino nasce alle falde del M. Pozzoni (1903 m), presso Cittareale (provincia di Rieti), percorre la stretta Alta Valle del Velino, lambendo le pendici del M. Termini-

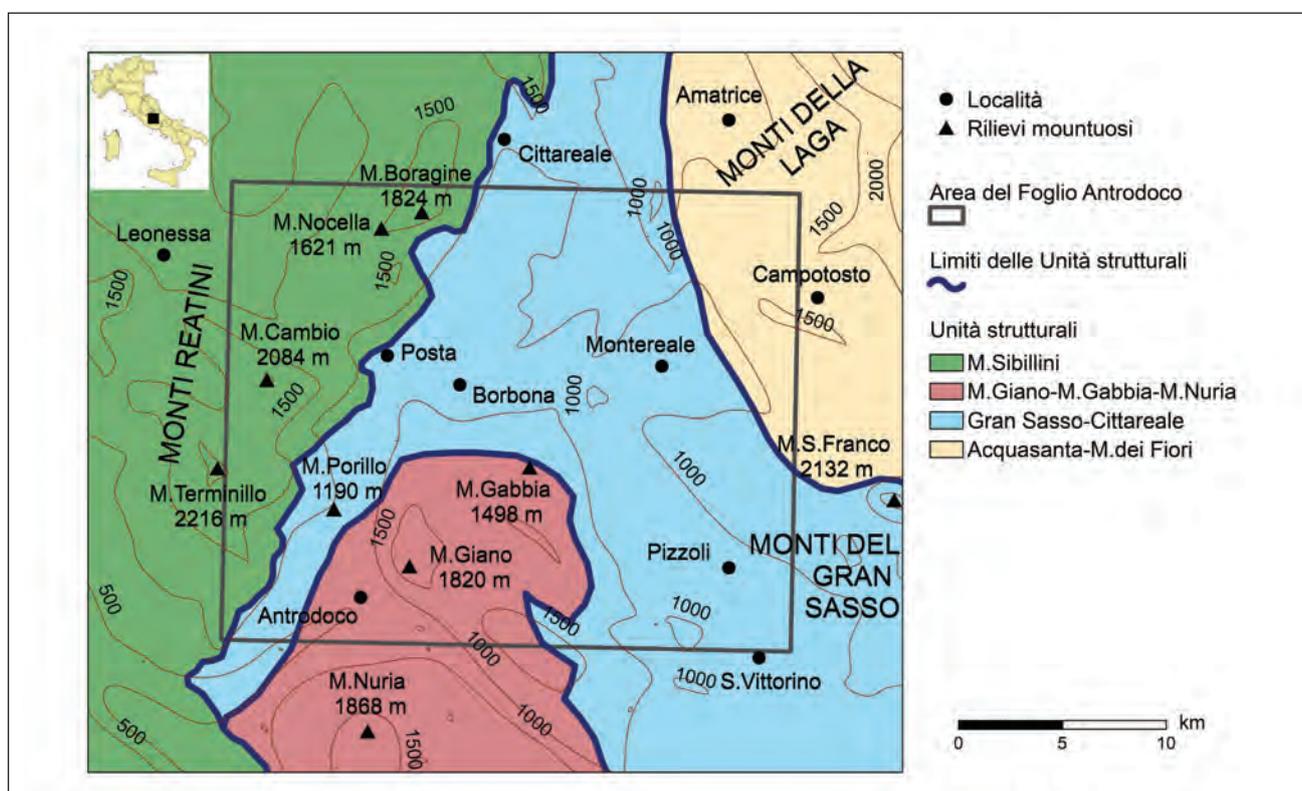


Fig. 1 – Inquadramento strutturale dell'area del Foglio Antrodoco. Nel riquadro in alto a sinistra è indicata l'ubicazione dell'area nel contesto nazionale.
- Structural sketch map of the Antrodoco Sheet area. The inset map shows the location in the Italian context.

nillo a W, attraverso le Gole del Velino, e del M. Giano a E. La lunghezza totale del fiume è di circa 90 km e si sviluppa in un bacino idrografico di 2338 km².

Nell'ambito del Foglio Antrodoco, il F. Velino, nel suo tratto iniziale di circa 14 km mantiene un regime torrentizio mediante l'afflusso di piccoli torrenti fino all'abitato di Posta.

Il F. Ratto, affluente principale ricadente nell'area del Foglio, alimenta l'asta principale a S dell'abitato di Posta.

Il bacino del fiume Aterno-Pescara, che si estende per circa 3188 km², occupa solo una parte del territorio orientale del Foglio, dove l'asta principale è il F. Aterno.

Il fiume Aterno-Pescara è lungo circa 145 km dalle sorgenti fino al mare ed è il maggiore fiume di Abruzzo. Le acque del F. Aterno defluiscono da NW verso SE per poi deviare (al di fuori dell'area del Foglio) verso NNE in prossimità della Valle Peligna e immettersi nel F. Pescara, in corrispondenza delle sue sorgenti, all'altezza di Popoli; da questo punto fino alla foce, nel mare Adriatico, prende il nome di F. Pescara. Nell'ambito del Foglio Antrodoco, l'Aterno nasce a N dell'abitato di Aringo (L'Aquila), dalle sorgenti di M. Civitella (1616 m) e, alimentato da vari torrenti che hanno origine dal massiccio del Gran Sasso, prende il nome di Torrente Mandragone fino alla località Piè di Colle di Montereale.

Il fiume attraversa e drena la Piana di Montereale-Capitignano, per una stretta gola, fino a raggiungere il centro abitato di L'Aquila, appena fuori della cornice del Foglio Antrodoco.

I principali elementi geomorfologici presenti nel Foglio Antrodoco riguardano (e.g., ANGELINI *et alii*, 2004), con processi sia di erosione che di accumulo, forme e depositi dovuti allo scorrimento delle acque superficiali ed alla gravità, forme glaciali e crionivali soprattutto nei rilievi, forme carsiche nei terreni carbonatici e sostanzialmente poche forme antropiche di un certo rilievo.

2.2. - CARATTERISTICHE GEOLOGICO-STRUTTURALI

L'area di studio è interessata da un settore della catena appenninica caratterizzato da distinte unità tettoniche sovrapposte secondo una principale vergenza adriatica (e.g., CALAMITA *et alii*, 1995): Unità dei M. Sibillini, Unità di M. Giano-M. Gabbia-M. Nuria, Unità del Gran Sasso-Cittareale e Unità di Acquasanta-M. dei Fiori (fig. 1). Tali unità sono costituite da successioni sedimentarie caratteristiche di domini paleogeografici diversi: dominio della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese (Unità di M. Giano-M.

Gabbia-M. Nuria); dominio di bacino pelagico umbro-marchigiano (Unità dei M. Sibillini e Unità di Acquasanta-M. dei Fiori); dominio di transizione (Unità del Gran Sasso-Cittareale).

Tali domini si sono individuati alla fine del Liassico inferiore con l'innescò di processi tettonogenetici che hanno causato il progressivo smembramento di un ambito paleogeografico originariamente unitario, costituito da un esteso alto strutturale carbonatico.

Mentre negli altri domini paleogeografici il passaggio ad ambienti di sedimentazione di rampa carbonatica-bacino prossimale, con prevalente sedimentazione calcareo-detritica e marnosa, era avvenuto già nel corso del Giurassico inferiore, nella piattaforma carbonatica laziale-abruzzese la facies di sedimentazione è rimasta sostanzialmente invariata fino al Cretacico medio. Il progressivo annegamento della piattaforma e l'instaurarsi di un ambiente di rampa carbonatica sono una conseguenza delle fasi tettoniche che si sono susseguite a partire dal Cretacico superiore e nel corso del Paleogene.

Nel Miocene inferiore in tutta l'area si è imposta una facies di bacino-avampaese con sedimentazione di pelagiti a prevalente componente marnosa (Formazione del Cerroigna, Formazione delle marne ad Orbulina).

Nel Miocene medio-superiore l'area in studio è stata interessata da processi cinematici compressivi e traslativi con scollamento di blocchi crostali lungo alcuni importanti piani di scorrimento. Di questi i più importanti sono il sovrascorrimento dei M. Sibillini, il sovrascorrimento di M. Cagno-M. Gabbia ed il sovrascorrimento del Gran Sasso-Accumoli (e.g., CALAMITA *et alii*, 1995).

In tale contesto si sono delineati paleoambienti di avanfossa colmati da depositi torbiditici sinorogenici (Formazione della Laga).

Nel corso del Pliocene medio-superiore e nel Pleistocene, con l'emersione dell'area, ha avuto inizio un complesso processo evolutivo geomorfologico e sedimentario condizionato dall'azione di una tettonica prevalentemente distensiva. Quest'ultima ha generato sistemi di faglie con orientazione appenninica interrotte da faglie di trasferimento a componente trascorrente. Il conseguente collasso di porzioni delle preesistenti strutture ha avuto come effetto la formazione di conche intramontane sulle quali nel Quaternario si sono impostati laghi e corsi d'acqua (Alta valle dell'Aterno, Piana di Montereale). Le piane presenti a quote più elevate sono spesso legate alla concomitante azione del carsismo, come nel caso della Piana di Cascina.

2.3. - UNITÀ STRUTTURALI

Le principali unità strutturali riconosciute dagli Autori e citate nella sezione precedente che descrive il quadro geologico d'insieme dell'area del Foglio vengono in questa sezione descritte sinteticamente riguardo ai loro caratteri strutturali e litostratigrafici più rilevanti ai fini della caratterizzazione idrogeologica del territorio.

2.3.1. - *Unità dei M. Sibillini*

È caratterizzata da rilievi con orientazione orografica N-S, morfologie acclivi e quote che raggiungono i circa 2000 m s.l.m.; affiora nell'area occidentale del foglio ed è costituita dalla Successione Umbro-Marchigiano-Sabina giurassico-miocenica (e.g., CENTAMORE *et alii*, 1986). Tale successione è caratterizzata inferiormente da una sequenza di piattaforma carbonatica che verso l'alto evolve verso una successione pelagica di bacino prossimale (Successione Umbro-Marchigiana-Sabina, *sensu* PAROTTO & PRATURLON, 1975) estesa dal Liassico medio (Corniola) all'Oligocene (Scaglia cinerea detritica). A differenza della classica Successione Umbro-Marchigiana diffusa più a nord, sono presenti a diverse altezze stratigrafiche frequenti intercalazioni calcareo-detritiche provenienti dalla vicina Piattaforma Laziale-Abruzzese. La sequenza stratigrafica continua con le torbiditi silicoclastiche di avanfossa del Tortoniano medio-Messiniano, con il caratteristico livello gessifero sommitale.

2.3.2. - *Sub-unità di M. Giano-M. Gabbia*

Occupava la parte centro-meridionale dell'area cartografata e interessa il tratto nord-occidentale della dorsale carbonatica del sistema M. Giano-M. Nuria-M. Velino (e.g., BIGI *et alii*, 1991; CAPOTORTI *et alii*, 1991; CENTAMORE *et alii*, 1991; CAPOTORTI *et alii*, 1995a, 1995b) con asse orientato da SE a NW, con massime quote di circa 1800 m s.l.m.

I livelli più antichi della successione sedimentaria affiorano sui versanti sud-occidentali, presso M. Giano (1820 m s.l.m.), con le formazioni dolomitiche del Triassico superiore (Unità dolomitica) e le dolomie del Liassico superiore-medio (Calcarei a Lithiotis), seguite dai calcari dell'Unità oolitica e dai Calcarei ad Ellipsactinie del Giurassico medio e superiore. Da SW verso NE si incontrano in affioramento calcari del Cretacico inferiore-medio. Fin qui la successione denota le caratteristiche tipiche della facies Laziale-Abruzzese di piattaforma carbonatica attiva. Ad una facies detritica di margine-scarpata sono invece

attribuibili le formazioni del Cretacico medio fino all'Eocene, con calciruditi, calcari marnosi, marne e selce.

Con l'annegamento della piattaforma e l'impostazione della facies di bacino-avanfossa cessa la sedimentazione prevalentemente carbonatica della successione ed ha inizio una sedimentazione marnosa e marnoso-calcareonica riconducibile principalmente alle formazioni delle Marne con Cerrognia (Aquitano-Serravalliano) e delle Marne ad Orbulina (Tortoniano). La serie stratigrafica di ambiente marino che caratterizza la dorsale si esaurisce con queste ultime formazioni. Lo spessore stimato della porzione carbonatica affiorante della successione è di circa 1300 metri.

All'interno della struttura di M. Gabbia-M. Giano, in corrispondenza delle formazioni carbonatiche di piattaforma interna, si individuano alcune depressioni tettono-carsiche allungate secondo le direttrici dell'asse della dorsale. Tali strutture sono colmate da spessori di terreni residui, da depositi lacustri e da depositi clastici derivanti dalla degradazione dei versanti rocciosi.

Dal punto di vista strutturale la Sub-unità di M. Giano-M. Gabbia è limitata a W dal contatto tettonico delle unità di facies umbro-marchigiano-sabina dei M. Sibillini (segmento dell'elemento regionale "Ancona-Anzio" *Auctt.*), a NE e ad E dal fronte di accavallamento delle successioni carbonatiche di M. Cagno-M. Gabbia sui termini terrigeni prevalentemente miocenici dell'Unità Gran Sasso-Cittareale. La porzione meridionale dell'unità corrisponde alla Sub-unità di M. Nuria (CAPOTORTI *et alii*, 1995a) che è limitatamente compresa nel Foglio ed è separata dal massiccio di M. Giano-M. Gabbia dalla discontinuità tettonica di Micigliano-Antrodoco avente direzione circa E-W.

La dorsale carbonatica di M. Giano-M. Gabbia è attraversata da faglie sub-parallele, con direzione appenninica, che in alcune zone delimitano le già citate depressioni tettono-carsiche intermontane, delle quali la più estesa è la piana di Cascina, e da linee di taglio trasversali che segmentano e dislocano l'edificio strutturale.

La stratificazione, generalmente a monoclinale pendente a ENE, è in alcune zone obliterata dalla tettonica. In particolare, nelle porzioni centrali della struttura, ampi tratti di versante di alcuni rilievi sono intensamente fratturati o cataclasiati. Lungo il bordo interno del fronte di sovrascorrimento del settore nord-orientale di M. Gabbia-M. Cagno la porzione sommitale della serie stratigrafica affiorante si presenta particolarmente deformata, spesso piegata ed in alcuni tratti rovesciata (tra Gabbia e Fiugni).

2.3.3. - *Sub-unità di M. Marine-C.le Grande*

Presente nel settore nord-orientale del Foglio, costituisce la porzione nord-occidentale dell'Unità del Gran Sasso-Cittareale (CAPOTORTI *et alii*, 1991) ed è caratterizzata da un sistema orografico che si sviluppa lungo l'asse NW-SE in direzione appenninica (massime elevazioni s.l.m. a M. Marine 1465 m, M. Castiglione 1317 m, C.le Grande 1526 m e M. Mozzano 1493 m) con quote variabili tra i 700 ed i 1500 m s.l.m.

La successione stratigrafica presenta alla base litofacies calcareo-dolomitiche di piattaforma del Giurassico inferiore.

Seguono formazioni calcaree e calcareo-marnose mesozoico-paleogeniche di margine-scarpata riferibili alla Serie Sabina in facies detritica (Diaspri detritici, Marne a Fucoidi di scarpata, Scaglia cinerea detritica; e.g., CENTAMORE *et alii*, 1991). Lo spessore affiorante della componente calcareo-marnosa della successione (dai calcari dolomitici fino alla Scaglia cinerea) è compreso tra 1000 e 1100 metri.

Seguono le formazioni del Bisciario del Miocene inferiore e delle Marne con Cerrognana del Miocene medio-superiore.

La potente coltre di accumulo di conoidi e di detrito di versante che raccorda la base dei rilievi con la piana dell'Aterno, tra gli abitati di Barete e la frazione di S. Lorenzo, comprende termini granulometrici che vanno dal limo alle ghiaie.

La depressione tettonica dell'alto bacino dell'Aterno è stata interessata, dal Pleistocene, da fasi di intensa sedimentazione fluvio-lacustre, con apporti detritici anche dai vicini versanti, alternate a fasi erosive che hanno modellato, localmente, alcuni ordini di terrazzamenti morfologici.

La struttura è interessata da due principali zone di taglio, delle quali una, la Faglia di M. Marine, legata ad una tettonica distensiva attiva nel Pliocene medio-superiore, definisce parte del limite orientale della stretta depressione tettonica (semi-graben) dell'alto bacino dell'Aterno, dalla frazione di Marana fino a Pizzoli e oltre, verso SE; l'altra (Faglia di Capitignano-Colle delle Macchie), sub-parallela, prodotta dallo sforzo orogenico compressivo del Pliocene inferiore-medio, segue il bordo del versante opposto della dorsale, da Capitignano, a NW, verso Colle delle Macchie a SE (1579 m s.l.m.; fuori dall'area del Foglio), e ad essa è legata l'evoluzione del bacino di Montereale.

Il limite nord-orientale della struttura, mascherato dalle coperture continentali recenti, è in probabile contatto tettonico con i terreni della formazione della Laga dell'Unità di Acquasanta-M. dei Fiori.

L'edificio strutturale è attraversato da un complesso sistema di faglie parallele all'asse della catena, interrotte da linee di taglio trasversali ed oblique. Gli strati presentano una giacitura inclinata in prevalenza verso NE. In ampi tratti dei ripidi pendii sovrastanti l'abitato di Pizzoli, la litostruttura originaria è stata profondamente alterata dalla tettonica e sono ben esposte, lungo le scarpate di faglia dei versanti, le cataclasi delle formazioni calcaree dolomitizzate della base della successione.

2.3.4. - *Unità di Acquasanta-M. dei Fiori*

È costituita da rilievi con orientazione NW-SE e quote che raggiungono i circa 1600 m s.l.m., affiora al margine nord-orientale del Foglio e comprende i termini deposti nel bacino della Laga, la cui morfologia (BOCCALETTI *et alii*, 1986; CENTAMORE *et alii*, 1978) viene individuata durante il Miocene inferiore e medio su un dominio di avampaese. Assume i caratteri di un'avanfossa nel Messiniano e nel Pliocene evolve in un dominio di bacino satellite colmato da una potente successione torbidity.

La sedimentazione del bacino (CENTAMORE *et alii*, 1991) è stata fortemente influenzata dalla tettonica che ha controllato la morfologia dell'area e dalle interazioni tra subsidenza, eustatismo e apporto di materiali detritici. In relazione a questa complessità morfostrutturale si rinvengono successioni stratigrafiche diverse da zona a zona.

In generale la successione dal basso verso l'alto è la seguente: Bisciario, Marne con Cerrognana, Marne a Pteropodi (Aquitano-Tortoniano e a luoghi Messiniano basale), che costituiscono la sedimentazione di scarpata o di bacino in dominio di avampaese; Formazione della Laga (Messiniano e a luoghi Pliocene basale), che rappresenta la sedimentazione torbidity di avanfossa, suddivisibile in tre membri principali, pre-evaporitico, evaporitico e post-evaporitico; depositi del Pliocene inferiore, di bacino satellite, rappresentati dalle Marne del Vomano, affioranti nel sub-bacino esterno, tra il F. Tronto e il F. Vomano (fuori dal Foglio Antrodoco).

La Formazione della Laga (CENTAMORE *et alii*, 1991) membro pre-evaporitico (Messiniano inf.) affiora nell'area NE del foglio; essa è costituita dal basso verso l'alto da strati arenacei da spessi a molto spessi. I corpi presentano geometrie tabulari e lenticolari a grande scala. Ad essi sono sovrapposti orizzonti arenaceo-pelitici. Al di sopra vi sono strati sottili pelitico-arenacei e al tetto marne emipelagiche con sottili intercalazioni di siltiti ed arenarie fini con rare calcareniti.

La fase evaporitica è costituita da alternanze di marne scure bituminose, livelli tripolacei e diatomi con orizzonti di gessi laminati e di calcareniti del Messiniano medio.

La Formazione della Laga, membro “evaporitico” del Messiniano medio, affiora fuori dal Foglio ed è costituita, dal basso verso l’alto, da strati arenacei da spessi a molto spessi. Seguono alternanze di orizzonti pelitico-arenacei in strati sottili; quindi, olistostromi ed elementi carbonatici di dimensioni anche metriche che passano lateralmente a calcareniti laminate; infine, al tetto, strati sottili pelitici arenacei con intercalazioni poco frequenti di orizzonti arenaceo-pelitici.

3. - INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

3.1. - STUDI IDROGEOLOGICI PRECEDENTI

Un primo tentativo di sintesi idrogeologica della regione Abruzzo è intrapreso da MANFREDINI (1964). Lo studio prende in considerazione i principali tipi litologici affioranti, le relative caratteristiche idrogeologiche e una rassegna sulle condizioni di emergenza e sul regime idrologico delle maggiori sorgenti. In un successivo studio della Piana di Rieti (MANFREDINI, 1972), a E del Foglio Antrodoco, sono esaminati i fattori che condizionano la circolazione idrica sotterranea in situazioni simili a quelle esistenti in gran parte dell’area del Foglio Antrodoco.

In seguito, GIULIANO & SCIOTTI (1974) pubblicano i risultati di una ricerca sulla pianificazione e la gestione delle risorse idriche nell’area del bacino idrografico del fiume Tevere. La cartografia idrogeologica alla scala 1:200.000 descrive le unità idrogeologiche, la circolazione idrica e le potenzialità idriche dell’area d’indagine.

Nell’anno successivo, DEFFENU *et alii* (1975) presentano uno studio sul chimismo di alcune sorgenti dell’alta Valle del Velino e il loro grado di miscelamento.

Nel 1978, si avvia il Progetto Speciale n.29 (PS29) della Cassa del Mezzogiorno (CASMEZ). Il progetto ha come obiettivo la sintesi delle principali conoscenze idrogeologiche e la definizione di uno schema generale di circolazione idrica sotterranea nel Lazio, in Abruzzo, nelle Marche, in Campania ed in Molise. La reinterpretazione dei dati precedenti con successivi studi di dettaglio contribuisce alla definizione delle caratteristiche idrogeologiche dei massicci carbonatici ricadenti in tali aree. Per le piane quaternarie e le zone vulcaniche, sono presentati i risultati d’indagine in gran parte inedite.

A seguito del PS29 CASMEZ vengono pubblicati uno Schema idrogeologico dell’Appennino carbonatico centro-meridionale con alcuni aspetti dell’idrogeologia di massicci carsici (CELICO, 1978a, 1978b) e una Cartografia idrogeologica dell’Italia centro-meridionale, nella quale il territorio è stato suddiviso in unità idrogeologiche, che presentano spesso al contorno condizioni che annullano o ostacolano gli scambi idrici sotterranei con le aree adiacenti, e la circolazione idrica sotterranea all’interno delle unità è stata ridisegnata (CELICO, 1983a, 1983b).

Negli stessi anni, BONI *et alii* (1979) propongono una sintesi idrogeologica e geochemica dell’Appennino carbonatico Laziale-Abruzzese finalizzata alla ricerca geotermica, confermando alcune ipotesi sulla circolazione idrica sotterranea proposte nel PS29 CASMEZ. Inoltre, BONI & BONO (1982) calcolano l’infiltrazione efficace media annua su una superficie di 14.000 km², corrispondente a tutti gli affioramenti carbonatici del Lazio, Umbria, Marche, Abruzzo e Campania. Quindi, BONI *et alii* (1986a, 1986b) pubblicano lo Schema idrogeologico dell’Italia centrale, che comprende: una cartografia idrogeologica alla scala 1:500.000 con i complessi idrogeologici, gli acquiferi alluvionali, i lineamenti strutturali, le sorgenti, i pozzi significativi e i profili geologici; una cartografia idrologica alla scala 1:500.000 con le stazioni pluviometriche, termometriche e idrometriche e le rispettive misure effettuate negli anni di osservazione; una carta dei bilanci idrologici e delle risorse idriche sotterranee alla scala 1:1.000.000 con le strutture idrogeologiche, le direttrici di flusso delle acque sotterranee, i bilanci idrologici e le risorse idriche sotterranee; un’analisi critica e una metodologia di ricerca. In seguito, BONI *et alii* (1988) pubblicano la Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio alla scala 1:250.000, con un maggiore dettaglio informativo rispetto alla cartografia precedente. Lo stesso gruppo di lavoro, seppure diversamente integrato (BONI *et alii*, 1993, 1995; BONI & PETITTA, 1994), analizza i regimi di portata delle acque continentali nel Lazio, calcola l’infiltrazione efficace e le portate lineari in alcuni bacini dell’Italia centrale e, nell’ambito di uno studio promosso dalla Comunità montana del Velino, pubblica una Carta idrogeologica dell’alta e media valle del fiume Velino, con la tipologia ed entità delle risorse idriche.

Un contributo allo studio degli acquiferi carsici dell’Appennino centrale viene dato da BONI (2000) e PETITTA *et alii* (2003).

In seguito, BONI & RUISI (2006) calcolano le portate erogate dalle idrostrutture dell’Italia cen-

trale e le variazioni di portata del fiume Velino e Nera, BONI (2007) valuta le risorse idriche sotterranee dell'Appennino centrale in termini di ubicazione e utilizzo e PETITTA (2009) pubblica i risultati di studi idrogeologici effettuati nella Piana di San Vittorino (Cittaducale) e nella media valle del fiume Velino.

In quest'ultimo lavoro viene proposto un modello concettuale aggiornato della circolazione idrica sotterranea ed è evidenziato come, oltre agli acquiferi carbonatici fratturati del sistema idrogeologico dei monti Giano-Nuria-Velino (falda regionale con gruppi sorgivi di portata totale di oltre 26 m³/s in magra tra sorgenti puntuali e lineari), sono fondamentali per il recapito della risorsa idrica sotterranea anche: 1) l'unità idrogeologica minore di M. Paterno-Canetra, in continuità idraulica con il sistema idrogeologico citato, e, soprattutto, 2) l'acquifero multistrato della piana intramontana quaternaria di San Vittorino, nel settore verso valle compreso tra Antrodoco e San Vittorino di Cittaducale, dove i limiti di permeabilità dell'acquifero carbonatico si trovano alle quote topografiche più basse.

Di recente, CAPELLI *et alii* (2012) pubblicano la Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio alla scala 1:100.000 e la Carta delle unità idrogeologiche della Regione Lazio alla scala 1:250.000. Lo studio, intrapreso da vari autori, procede all'aggiornamento dei dati idrogeologici sia a scala vasta che di dettaglio. Sono stati riconosciuti 25 complessi idrogeologici simili. Le caratteristiche idrogeologiche dei complessi sono espresse dal grado di "potenzialità acquifera", definita come la capacità di ciascun complesso di assorbire, immagazzinare e restituire acqua. Sono state riconosciute 7 classi di potenzialità acquifera in funzione della permeabilità media e dell'infiltrazione efficace del complesso stesso. Le falde e gli acquiferi contenuti nei complessi idrogeologici acquistano una significatività "locale" o "regionale" in funzione della loro capacità di soddisfare il fabbisogno idrico.

3.2. - EVOLUZIONE STRUTTURALE E QUADRO IDROGEOLOGICO REGIONALE

Le tre principali fasi tettoniche che hanno caratterizzato l'evoluzione strutturale dell'Italia centrale (BONI *et alii*, 1986b) hanno esercitato anche un'influenza determinante nella definizione del quadro idrogeologico regionale:

- la tettonica liassica ha portato alla differenziazione di due principali domini di sedimentazione dei carbonati: il dominio pelagico, che risente di influenze continentali, e la piattaforma

subsidente, esclusivamente formata da carbonati. I caratteri idrogeologici delle serie che si sono deposte nei due ambienti e la diversa risposta alle sollecitazioni tettoniche hanno generato due domini idrogeologici differenziati.

- La fase mio-pliocenica ha differenziato le strutture idrogeologiche all'interno dei domini. Nel Miocene superiore il dominio di piattaforma carbonatica si è smembrato in blocchi, separati da profondi solchi. I sedimenti torbiditici hanno riempito i solchi, dando origine al processo di differenziazione delle numerosissime strutture idrogeologiche indipendenti che caratterizzano il dominio di piattaforma carbonatica.

Le spinte orogeniche hanno deformato anche la serie pelagica generando una sequenza continua di pieghe che hanno prodotto ampie depressioni separate da dorsali allungate. L'evoluzione strutturale non è del tutto chiara. All'articolata struttura ad arco degli Autori, si contrappone l'ipotesi di un complesso sistema tettonico costruito per thrust-fault con ripetuti raddoppiamenti di serie e un vistoso raccorciamento (CALAMITA & DEIANA, 1986). Tutti questi motivi hanno probabilmente concorso allo sviluppo, all'interno dell'arco umbro-marchigiano, di falde locali sospese e non di strutture idrogeologiche indipendenti.

- Nella fase tettonica plio-pleistocenica di sollevamento ed emersione della catena il carattere distensivo ha sconvolto il preesistente assetto idrogeologico. Si sono create profonde depressioni ai margini e all'interno delle dorsali carbonatiche che, trasformate in vasti bacini lacustri, sono state colmate da imponenti depositi alluvionali. In questa fase è avvenuta la migrazione dei livelli di base dei principali acquiferi carsici, perché tutte le più grandi sorgenti della regione presentano caratteri morfologici estremamente giovanili.

La recente migrazione del livello di base ha determinato la formazione di un paleoreticolo e la ripresa del processo carsico su nuovi livelli. A scala regionale, queste principali fasi tettoniche hanno imposto l'assetto strutturale e stabilito i rapporti di giacitura fra masse litoidi con diversa permeabilità definendo i limiti attuali delle strutture idrogeologiche.

3.3. - CARATTERISTICHE DEGLI ACQUIFERI CARBONATICI APPENNINICI

Le rocce del dominio di piattaforma carbonatica (BONI *et alii*, 1986b) assorbono in media da 25 a 28 l/s/km², mentre quelle del dominio pelagico ne assorbono solo 17,5; nelle fasce di transizione l'infiltrazione calcolata è di circa 23 l/s/km², nelle

calcareni di 7,5 l/s/km².

L'assetto idrogeologico delle aree di piattaforma carbonatica appenninica è caratterizzato da estesi acquiferi (PETITTA, 2006) ospitati nelle principali dorsali montuose, la cui permeabilità è molto elevata per fessurazione e carsismo. Questi acquiferi, i più importanti dell'Appennino, sono estesi per diverse centinaia di km² e alimentano sorgenti basali di notevole portata, ubicate nelle zone più depresse, dove l'acquifero è tamponato da sedimenti a permeabilità più bassa, costituiti dai depositi terrigeni flyschoidi tardo-miocenici o dai sedimenti plio-quadernari di riempimento delle valli fluviali e delle depressioni tettoniche intramontane.

I sedimenti quadernari, costituiti da depositi di versante, alluvioni fluviali e sedimenti lacustri e/o palustri, presentano una permeabilità variabile in funzione della granulometria e comunque inferiore a quella degli acquiferi carbonatici, in alcuni casi consentono travasi sotterranei dalle falde degli acquiferi regionali negli acquiferi porosi multistrato.

I terreni carbonatici affioranti hanno ruolo di aree di ricarica delle risorse idriche disponibili nei diversi domini idrogeologici.

3.4. - UNITÀ IDROGEOLOGICHE REGIONALI

Nell'area in studio del Foglio Antrodoco ricadono tre delle Unità idrogeologiche distinte all'interno del territorio dell'Italia centrale (CELICO, 1978a, 1978b, 1983a, 1983b; BONI *et alii*, 1986a). Esse sono quelle: a) dei M. Velino-M. Giano-M. Nuria; b) dei Monti del Gran Sasso e dei Monti del Sirente; c) Gruppo dei Monti dell'Arco Umbro-Marchigiano. Recentemente (e.g., CAPELLI *et alii*, 2012), ad una scala di maggior dettaglio nel territorio della Regione Lazio, hanno meglio definito alcune di queste unità e ne hanno individuate altre. In conformità a quest'ultima classificazione, saranno di seguito brevemente descritte le unità idrogeologiche di interesse dell'area del presente studio.

3.4.1. - Unità Idrogeologica dei Monti Tolentino-Cavogna

È parte dell'Unità strutturale dei M. Sibillini. Nell'ambito dell'area in studio sono compresi i rilievi calcarei e calcareo-marnosi di M. Tolentino, M. Boragine e M. Nocella-M. Cerasa. Questa Unità (CAPELLI *et alii*, 2012) occupa un'area di circa 800 km²; l'infiltrazione efficace media annua calcolata dalla portata totale è intorno ai 450 mm; essa rappresenta il bacino di alimentazione di sor-

genti poste a N del Foglio Antrodoco di portata media totale circa 10 m³/s.

3.4.2. - Unità Idrogeologica del Monte Terminillo

È ricompresa nell'Unità strutturale dei M. Sibillini. L'area di studio include i rilievi calcarei e calcareo-marnosi (Serie Umbro-Marchigiano-Sabina dal Liassico inferiore all'Eocene superiore-Oligocene) di M. Cambio, M. Porcini, M. Valloni e Cimata di Castello. Questa Unità (CAPELLI *et alii*, 2012) occupa un'area di 217 km²; l'infiltrazione efficace media annua calcolata dalla portata totale è di circa 900 mm; essa rappresenta, quasi totalmente, il bacino di alimentazione di importanti sorgenti ubicate nella Piana Reatina (nell'ambito del limitrofo Foglio 237 Rieti) quali quelle di S. Susanna, Cantaro, Canapine ed altre minori (portata media totale circa 6,5 m³/s).

3.4.3. - Unità Idrogeologica dei Monti Giano-Nuria-Velino

È ricompresa nell'Unità strutturale omonima e nell'ambito dell'area in studio ricadono i soli rilievi calcarei e calcareo-marnosi di M. Giano e M. Gabbia e la Piana endoreica di Cascina. Questa Unità (BONI *et alii*, 1986a; BONI & RUISI, 2006; BONI, 2007; CAPELLI *et alii*, 2012) occupa un'area di circa 1000 km²; l'infiltrazione efficace media annua calcolata dalla portata totale dell'intera unità è di circa 900 mm; essa rappresenta, quasi totalmente, il bacino di alimentazione delle sorgenti di Antrodoco, Peschiera e Canetra (portata totale circa 30 m³/s) ubicate nel bacino del fiume Velino.

3.4.4. - Unità Idrogeologica dei Monti del Gran Sasso e dei Monti del Sirente

È ricompresa nell'Unità strutturale del Gran Sasso-Cittareale. Nell'ambito del Foglio Antrodoco, interessa i soli rilievi calcarei e calcareo-marnosi di M. Marine, C.le Grande, M. Mozzano e M. Castiglione, relativamente poco elevati. La frammentazione dell'acquifero carbonatico induce l'instaurarsi di una serie di "serbatoi" intercomunicanti (CELICO, 1978b, 1983b), con quote piezometriche decrescenti da NW verso SE.

L'infiltrazione efficace media annua dell'intera unità è stimabile intorno agli 800 mm. La parte nord-occidentale dell'Unità (C.le Grande-M. Mozzano) si può considerare idrogeologicamente isolata e rappresenta il bacino di alimentazione di sorgenti nella coltre quadernaria nella Piana Aquilana.

3.4.5. - *Unità Idrogeologica dei Monti della Laga*

È ricompresa nell'Unità strutturale dell'Acquasanta-M. dei Fiori. Nell'ambito dell'area in studio sono compresi i rilievi relativamente poco elevati di M. Verrico e M. Civitella, costituiti principalmente dal complesso dei flysch marnoso-arenacei. Data la limitata permeabilità dei terreni in essa affioranti e la limitata portata delle sorgenti che vi ricorrono, non sono stati stimati valori significativi di infiltrazione efficace.

3.4.6. - *Unità Idrogeologica della Piana di Leonessa*

La porzione di tale unità che interessa il foglio ricade nel settore nordorientale con un'estensione molto limitata e di scarso peso nel bilancio complessivo del ciclo dell'acqua a scala regionale.

3.5. - COMPLESSI IDROGEOLOGICI

I terreni affioranti nell'area di studio sono stati distinti in complessi idrogeologici sulla base del grado di permeabilità relativa e delle loro altre caratteristiche idrogeologiche secondo quanto previsto dalle linee guida del SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1995).

Comunque, anche altre considerazioni, quali lo stato dei litotipi e la loro estensione, continuità e produttività, hanno necessariamente contribuito a stabilire in pratica tale classificazione. Per evitare la proliferazione del numero dei complessi, i litotipi caratterizzati prevalentemente da bassissima permeabilità sono stati accorpati nei complessi dei litotipi maggiormente permeabili cui fanno in genere da livello acquicluda basale (e.g., Marne a Fucoidi, Corniola argillosa e Marne di Monte Serrone) nella sequenza stratigrafica diretta. Sono stati distinti complessi idrogeologici sia nei depositi di copertura plio-pleistocenici e olocenici sia nel substrato meso-cenozoico. I primi hanno una funzione principale rispetto al recapito della risorsa idrica sotterranea e ai rapporti tra le acque superficiali e quelle sotterranee e quindi svolgono un ruolo importante nei processi idrodinamici ma limitata funzione di stoccaggio. Nell'ambito dei complessi idrogeologici dei depositi meso-cenozoici sono ospitati gli acquiferi e gli acquicluda della circolazione idrica sotterranea a scala regionale e quindi costituiscono il principale serbatoio delle riserve sia regolatrici sia permanenti e i limiti a flusso nullo della circolazione idrica.

I valori d'infiltrazione efficace (IE) media annua riportati in questa sezione sono basati sulle valutazioni di BONI *et alii* (1986a) e BONI *et alii* (1995).

I principali complessi idrogeologici definiti (dal basso verso l'alto) sono i seguenti:

- Complesso dolomitico. Generalmente mostra un basso grado di permeabilità relativa ed include: a) dolomie massive, con intercalazioni evaporitiche a livelli stratigrafici più profondi (Dolomia Principale; Triassico superiore; spessore in affioramento circa 150 m), rappresenta l'aquicluda basale del sistema idrogeologico regionale; b) depositi calcareo-dolomitici (Giurassico inferiore; spessore circa 200-400 m); c) orizzonti di calcari dolomitici sviluppatasi in seguito a processi di dolomitizzazione delle formazioni del Calcare Massiccio e/o della Corniola (Giurassico inferiore). Generalmente b) e c) agiscono come acquicluda di sistemi idrogeologici a scala locale. Questo complesso può mostrare fino ad un medio grado di permeabilità relativa secondaria quando ha subito processi tettonici e, subordinatamente, carsici, portando alla formazione di acquiferi locali di potenzialità idraulica variabile. L'IE media annua in genere è inferiore ai 200 mm e raggiunge i 200-400 mm per permeabilità secondaria.

- Complesso calcareo basale, di potenza variabile da 550-750 m nella facies umbro-sabina (Giurassico inferiore) fino a quasi 2000 m in zone di piattaforma carbonatica attiva (Giurassico inferiore-Cretacico superiore), dove questo complesso è, di fatto, in continuità idraulica con i due successivi. Possiede un alto grado di permeabilità relativa ed include formazioni calcaree con elevata permeabilità secondaria dovuta alla presenza sia di fratture sia di carsismo. L'IE è superiore ai 600 mm/anno e può raggiungere gli 800-1000 mm/anno. Ospita un acquifero regionale basale di elevata produttività che si colloca ai livelli stratigrafici del Calcare Massiccio e della parte inferiore della Corniola in ambito umbro-sabino e delle Dolomie e calcari dolomitici del Giurassico inferiore in ambito di piattaforma carbonatica.

- Complesso calcareo superiore (Giurassico medio-Cretacico inferiore; potenza totale variabile da 450 a 750 m). Mostra in generale un alto grado di permeabilità relativa ed include: a) marne e calcari marnosi, talvolta selciferi, aventi una permeabilità relativamente bassa, uno scarso grado di fratturazione e generalmente un ruolo di acquicluda (Corniola superiore argillosa, Marne del Monte Serrone, Calcari e Marne a Posidonia, Calcari Diasprigni); b) calcari stratificati a grana fine aventi permeabilità secondaria alta per fratturazione e subordinatamente per carsismo ed interessati dalla presenza di acquiferi sospesi (Maio-lica). Nell'idrostruttura di Monte Giano-M. Gabbia le formazioni ricadenti nella successione a) di questo complesso sono condensate, causando,

di fatto, la continuità idraulica con il complesso precedente e, in generale, anche con il successivo. L'IE nei termini carbonatici è superiore ai 600 mm/anno e può arrivare agli 800-900 mm/anno.

- Complesso calcareo-marnoso (Cretacico medio-Eocene medio; spessore totale 250-400 m). È caratterizzato da un grado medio di permeabilità relativa ed è composto da marne con calcari e calcari marnosi selciferi a minore permeabilità (Marne a Fucoidi) e calcari marnosi selciferi (Scaglia Bianca e Scaglia Rossa) e calcari detritici e breccie con rudiste (Calcari a Rudiste), che ospitano acquiferi, spesso sospesi sui terreni marnosi, di importanza locale. L'IE è compresa tra 500 e 600 mm/anno per i termini carbonatici, inferiore in quelli marnosi.

- Complesso marnoso-calcareo e marnoso (Eocene superiore-Miocene superiore p.p.; spessore totale 300-500 m). Hanno un basso grado di permeabilità relativa ed includono marne e calcari marnosi detritici (Scaglia Cinerea), calcari marnosi e marne calcaree (Bisciario), marne, marne calcaree e calcareniti (Marne con Cerrognana, Marne ad Orbulina); i litotipi a più elevata permeabilità possono ospitare limitati acquiferi di importanza locale, mentre le formazioni marnose mostrano una bassissima permeabilità. L'IE è stimabile in 200-300 mm/anno, ma nei termini più marnosi è inferiore a 200 mm/anno.

- Complesso dei flysch (Miocene superiore p.p.; spessore totale circa 1500 m). Possiede un basso grado di permeabilità relativa, è composto dai depositi pre-evaporitici arenacei, arenaceo-pelitici e pelitico-arenacei della Formazione della Laga e ospita acquiferi sospesi di importanza locale negli orizzonti maggiormente permeabili. L'IE è generalmente inferiore a 200 mm/anno, ma può raggiungere i 200-300 mm/anno nei termini più permeabili.

- Complesso conglomeratico-sabbioso e detritico (Pliocene superiore-Pleistocene; spessore totale fino ad alcune centinaia di metri). Mostra un grado di permeabilità relativa medio e comprende conglomerati poligenici cementati e stratificati, sabbie ed argille sabbiose e conoidi e depositi di versante, talvolta cementati, che ospitano acquiferi locali. L'IE è variabile tra 300 e 500 mm/anno.

- Complesso delle alluvioni (Quaternario; spessore totale da pochi metri a circa 100 m). Ha un basso grado di permeabilità relativa e l'IE è in genere limitata. Include alternanze di argilliti, silt, sabbie e ghiaie lignitiferi ed è caratterizzato da acquiferi di importanza variabile. In esso sono stati inseriti anche i depositi inferiori dei bacini lacustri, i tufi vulcanici e le terre rosse della Carta

Geologica d'Italia alla scala 1:100.000 (SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA, 1955).

3.6. - MORFOLOGIE CARSICHE DI INTERESSE IDROGEOLOGICO

Nell'area in studio il carsismo ipogeo è poco diffuso, come testimoniato dalle poche grotte ufficialmente catastate, mentre sono ampiamente presenti tracce di processi carsici superficiali, in particolare nelle aree dove affiorano le serie calcaree cretatiche ed i calcari massicci liassici. Le principali forme epigee sono essenzialmente localizzate nell'area centrale del Foglio, dove i calcari del Cretacico formano la grande struttura carbonatica di Monte Giano, Monte Cagno, Monte Gabbia, Monte Rua e Monte Calvo (quest'ultimo al di fuori dell'area del Foglio). In questa vasta area si rinvengono diffuse forme costituite da vasti bacini carsici, valli carsiche e conche endoreiche allineate in senso appenninico, separate tra loro da dorsali carbonatiche con lo stesso andamento. Le morfologie carsiche che si rinvengono sulle dorsali sono soprattutto *karren*, vaschette di erosione, piccole doline, ecc.

Alcune delle suddette depressioni intra-appenniniche hanno struttura allungata e si estendono per diversi chilometri quadrati, conferendo al paesaggio una caratteristica morfologia, e possono ospitare un breve corso d'acqua che convoglia acque di ruscellamento superficiale e meteoriche in inghiottitoi attivi. Tra questi i più evidenti sono quelli della piana di Cascina, con gli inghiottitoi della Piana di Palanzano e della Piana di Foce. Quest'ultima piana riceve le acque da alcune sorgenti poste ai bordi della depressione raccolte in un canale. Inoltre, l'inghiottitoio attivo della Piana del Lago riceve le acque da sorgenti, quello di Prata di Cagno riceve soltanto acque meteoriche, mentre la vasta conca di Vallemare riceve le acque da alcune sorgenti e le riversa nel Fosso della Palombara. Le conche endoreiche della Piana di Nunzio, della Piana del Monte e di Termine, site sul lato E della citata struttura calcarea, non hanno ricettori naturali delle acque ed alimentano una falda superficiale e stagionale, contenuta nei terreni eluviali, che è captata per mezzo di pozzi superficiali. Tutti i suddetti inghiottitoi attivi alimentano la falda di base dei calcari dell'idrostruttura di M. Giano-M. Gabbia, il fiume Velino in subalveo nella zona compresa tra San Quirico e Santa Giulitta ed il Fosso Maiuri oppure le sorgenti Cascinesi, sempre lungo il corso del F. Velino ai piedi di M. Giano, con regime di carattere intermittente (portate improvvise anche di alcuni m³/s e con tempi di ritorno anche decennali).

Una morfologia carsica particolare è quella posta in località Pozzo del Gesù, dove si rinvengono numerosi massi calcarei solcati da profonde incisioni e doccette di erosione tipiche di un carsismo pregresso. Sempre in prossimità di questa località è presente una profonda dolina, senza apparente inghiottitoio, sul cui fondo si trovano depositi di terre rosse rimaneggiate e di probabile materiale vulcanico.

Lungo la Via Salaria, in località Grotte di San Romualdo, sono visibili forme carsiche in corrispondenza delle pareti verticali che caratterizzano le Gole del Velino. Inoltre, durante lo scavo di una delle vecchie gallerie paramassi e di una delle recenti gallerie stradali lungo la strada statale Salaria, sono state intercettate cavità carsiche ipogee che hanno anche provocato sfornellamenti sotto il piano di scavo.

Tra le forme ipogee catastate da vari gruppi speleologici, si citano la Grotta Zarrante, la Grotta Ferrara ed il Pozzo Marucci (Catasto grotte dell'Abruzzo, provincia di L'Aquila) e la Grotta Oscura (Catasto grotte del Lazio, provincia di Rieti).

Infine, altra depressione caratteristica è quella tettono-carsica del Pozzo dell'Arnaro, in località Sigillo di Posta. Si tratta di un profondo pozzo a forma ellittica, con pareti verticali aggettanti, profondo circa quaranta metri, impostato su terreni eocenici (scaglia e marne variegata verdi-rossastre) e con asse maggiore disposto lungo un lineamento tettonico appenninico. Secondo quanto riportato in BOSCHI *et alii* (1995), il pozzo si è formato a seguito della sequenza sismica dell'Appennino Umbro-Reatino-Aquilano del 14-16 gennaio e 2 febbraio 1703 ($I_{max} = XI$) ed ha avuto i seguenti effetti macrosismici sull'ambiente (BARATTA, 1901): “.. *sul monte Ornarò si aprì una profonda voragine ... essa risultò larga circa 40 m e lunga circa 50 m ... la profondità è indeterminata*”.

3.7. - CARATTERISTICHE CLIMATICHE GENERALI

L'area del Foglio è attraversata dallo spartiacque tra il versante tirrenico e quello adriatico della catena appenninica. Tra la piana di Rieti e l'alta valle del Velino i massicci montuosi reatini aderiscono a barriera delle masse d'aria provenienti da W condizionando la circolazione atmosferica dei settori prossimi all'alto corso dell'Aterno. Infatti, al diminuire della temperatura con la quota, il raffreddamento adiabatico delle correnti in rapida ascesa lungo i versanti occidentali dei primi rilievi favorisce le precipitazioni locali, determinando uno squilibrio degli apporti umidi tra settore occidentale ed orientale del foglio. In generale il

clima appenninico è caratterizzato da inverni rigidi e freddi con frequenti nevicate ed estati calde. La neve si manifesta dal periodo tardo autunnale, sino alla primavera e condiziona in modo rilevante il regime di circolazione delle acque sotterranee e delle portate sorgive stagionali. Nell'area del foglio, dove per altro non sono presenti formazioni vallive e pianure estese e dove scarso è lo sviluppo di strutture collinari, si riscontra la presenza di topoclimi diversificati in corrispondenza delle piccole conche intermontane, degli altipiani carsici di piccola e media estensione (piana di Cascina a circa 1000 m s.l.m. e piana Basanello a 770 m s.l.m.), delle strette valli fluviali e delle diverse zone altimetriche sui fianchi dei rilievi.

4. - PRESENTAZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI IDROGEOLOGICI E DELLA RETE DI CONTROLLO

Sono stati acquisiti i dati geologici, idrologici e idrogeologici disponibili in letteratura, relativi a studi precedenti, e sono state raccolte presso l'ex-Ufficio Compartimentale di Roma (Bacino del Tevere), Pescara (Bacino dell'Aterno-Pescara) e Bologna (Bacino del Tronto) del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN), ora di competenza rispettivamente delle regioni Lazio, Abruzzo e Marche, le informazioni disponibili relative alle stazioni termo-, pluvio- e nivometriche riportate in tabella 1. Le suddette stazioni hanno fornito dati per un periodo complessivo dal 1900 ad oggi (ANNALI IDROLOGICI, 1900-2012), ma purtroppo, non tutte sono state attive ininterrottamente durante quest'intervallo e per la durata della presente indagine (2004-2010) (tab. 1).

Le attività di rilevamento idrogeologico di campagna sono state finalizzate alla caratterizzazione di sorgenti, pozzi, corsi d'acqua e canali artificiali esistenti nell'area di studio. In particolare, è stato condotto un dettagliato censimento di punti d'acqua (circa 250) e circa 70 di essi sono stati selezionati per la costituzione di una rete di controllo. A tal fine, sono state condotte attività di monitoraggio con cadenza circa mensile finalizzate all'acquisizione di misure di portata di sorgenti e in alveo corredate da analisi speditive di parametri chimico-fisici in sito (temperatura, pH e conducibilità elettrica), nonché alcune campagne per l'acquisizione di campioni per analisi chimiche delle acque di circa 50 sorgenti. Il censimento è stato condotto nel periodo tra novembre 2004 e maggio 2009, mentre la rete di controllo è stata attiva tra gennaio 2006 e settembre 2008. Le analisi chimiche si riferiscono a ottobre 2007,

Tab. 1 – *Dati termo-pluvio-nivometrici riassuntivi delle stazioni meteo-climatiche dell'area di studio e dintorni.*
 - Main thermo-pluvio-nivometric data of the meteo-climatic stations in the study area and surroundings.

			Periodo rilevamento dati		Dati pluviometrici			Dati termometrici		
Nome stazione	Quota m s.l.m.	Numero anni di servizio	Piovosità (P)	Temperatura (T)	Media annua in mm	Mese con P media mensile cumulata max e valore in mm	Mese con P media mensile cumulata min e valore in mm	Media annua in °C	Mese con T media mensile max e valore in °C	Mese con T media mensile min e valore in °C
Campotosto	1344	87	1908-2011	1933-2005	1120**	nov (139)	lug (52)	8	ago (17)	gen (0)
L'Aquila	595	101*	1900-2011	1927-2005	715	nov (93)	lug (33)	12	lug/ago (22)	gen (3)
Montereale	913	84	1920-2011	1971-2005	864**	nov (106)	lug (37)	10	ago (20)	gen (2)
Scoppito	780	64	1950-2011	1951-2011	1031**	dic (149)	lug (39)	11	ago (22)	gen (4)
Termine	1031	67	1950-2011	1951-2004	1130**	nov (154)	lug (43)	10	ago (19)	gen (1)
Antrodoco	498	44*	1954-2001	1990-1995	1160	nov (158)	lug (52)	14	lug (23)	gen (5)
Leonessa	929	60*	1951-2011	1955-2011	1471**	nov (216)	lug (51)	10	ago (19)	gen (2)
Posta	721	27*	1951-2000	----	1237	dic (168)	lug (44)	----	----	----
Terminillo	1685	56*	1955-2011	1955-2011	1610**	nov (195)	lug (73)	6	ago (15)	feb (-1)
Amatrice	955	92*	1921-2012	1957-2012	888	nov (110)	lug (39)	10	set (19)	feb (2)

* serie con periodi di interruzione anche di relativamente lunga durata
 ** comprende contributo precipitazione nevosa

gennaio e giugno 2008 e marzo 2010. Le informazioni ottenute hanno permesso di caratterizzare e classificare dal punto di vista idrogeochimico le sorgenti, contribuendo alla definizione dei modelli concettuali degli acquiferi interessati. La localizzazione delle sorgenti censite è riportata in figura 2, mentre in tabella 2 sono riportati i dati di portata e delle determinazioni chimico-fisiche in situ delle acque sorgive. La distribuzione spaziale dei punti d'acqua nel territorio esaminato (circa 605 km²) è: 1) 1 punto ogni circa 2-3 km² rispetto ai punti censiti (circa 250); 2) 1 punto ogni circa 9 km² per i punti della rete di controllo (circa 70); 3) 1 punto ogni circa 11 km² riguardo alle sorgenti oggetto di analisi chimiche (totale 55).

Inoltre, la distribuzione approssimativa delle sorgenti nei singoli complessi idrogeologici più significativi è la seguente:

Complesso Calcarea (25%);
 Complesso Calcareao-marnoso (35%);
 Complesso marnoso-calcareao e marnoso (15%);
 Complesso dei flysch (25%).

È evidente che la maggior parte delle sorgenti (60% in totale) sono distribuite nei complessi calcareao e calcareao-marnoso, che sono risultati essere i più produttivi dal punto di vista idrogeologico, ma un numero considerevole (40% in totale) di emergenze ricadono nei complessi dei flysch e marnoso-calcareao e marnoso, che hanno quindi

di fatto un ruolo essenziale per l'approvvigionamento idrico a scala locale.

È anche stata realizzata una rete di controllo per la misura delle portate (tra aprile 2006 e luglio 2008) in sezioni lungo l'alveo del F. Velino, del F. Ratto, del F. Aterno (disposte in serie con intervallo normalmente di circa 1-2 km) e dei principali corsi d'acqua con regime perenne. La localizzazione delle sezioni di misura è riportata in figura 2. Nella tabella 3 sono riportati i dati di portata fluviale e delle determinazioni chimico-fisiche *in situ* rilevati nelle sezioni di misura misurate.

4.1. - SINTESI DEI DATI METEOROLOGICI

I dati dei principali parametri meteo-climatici ricavati dagli ANNALI IDROLOGICI (1900-2012) relativamente alle stazioni termo-pluvio-nivometriche ubicate nella Carta Idrogeologica allegata al presente volume, sono riassunti in tabella 1, dove sono riportate, per confronto, le medie dell'altezza di pioggia annuale delle stazioni più significative ricadenti nell'alto bacino del Velino e dell'Aterno. Le registrazioni di tali stazioni sono tra le più lunghe e continue tra quelle disponibili nell'area di interesse e sufficientemente confrontabili.

È stato possibile definire l'andamento delle temperature medie annuali nelle varie stazioni

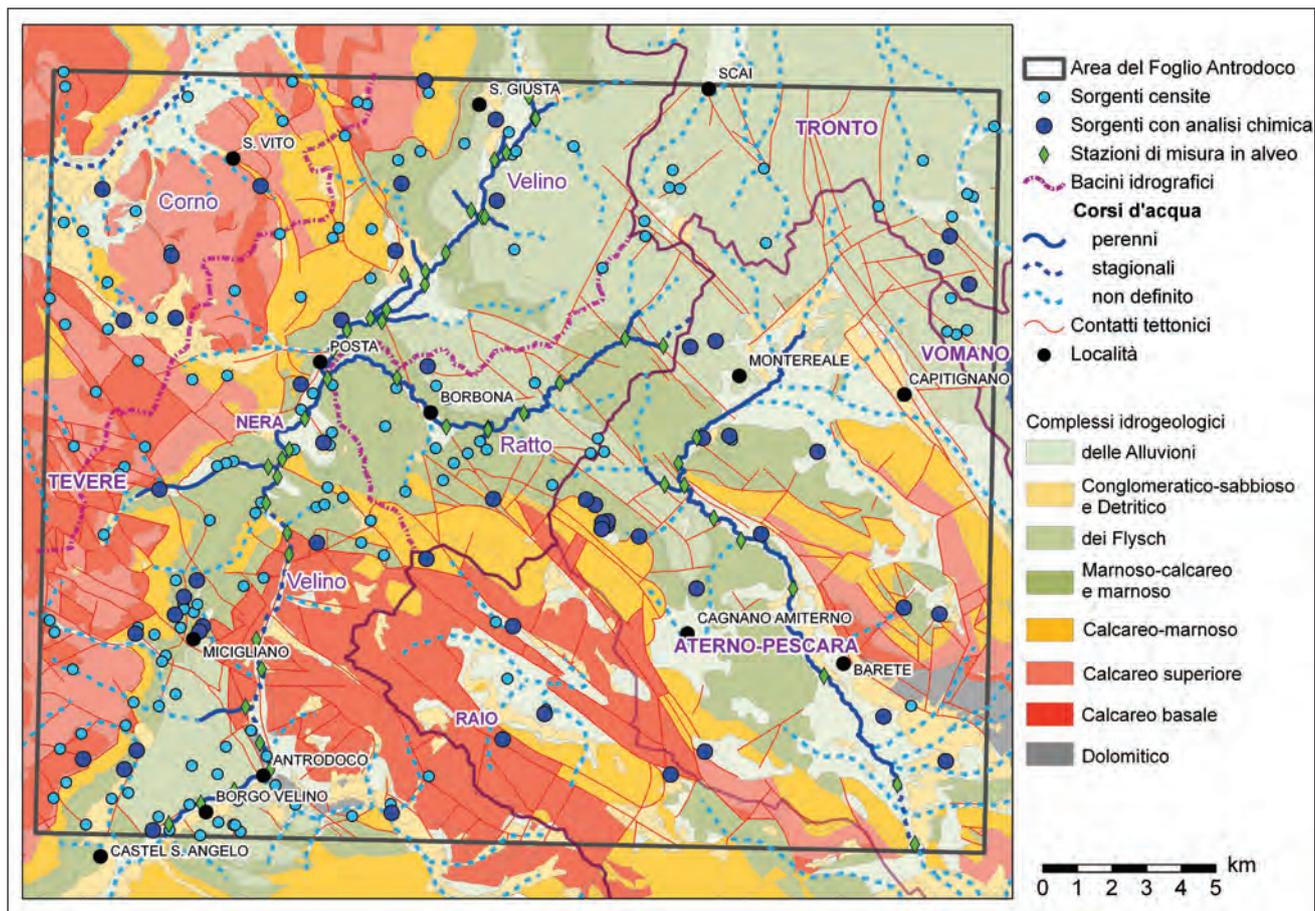


Fig. 2 – Schema idrogeologico dell'area del Foglio Antrodoco con i principali punti di controllo censiti.
 - Hydrogeological sketch map of the Antrodoco Sheet area with the main registered control points.

(minimo 6°C alla stazione di M. Terminillo; massimo 14°C ad Antrodoco) e il valore minimo e massimo della media delle temperature mensili. In particolare, è risultato che nel periodo delle registrazioni termometriche (1927-2012) i mesi più freddi sono stati generalmente gennaio e febbraio (valore minimo media mensile -1°C; stazione di M. Terminillo), mentre i mesi più caldi sono stati luglio e agosto (valore massimo media mensile 23°C; stazione di Antrodoco). Sono state calcolate anche le precipitazioni medie annue nel periodo complessivo 1900-2012. Esse variano da un minimo di 715 mm registrato alla stazione di L'Aquila, fino ad un massimo di 1650 mm a quella di M. Terminillo. Le precipitazioni massime sono state generalmente riscontrate nei mesi di novembre e dicembre (massimo valore cumulativo mensile 216 mm a Leonessa), le minime in luglio (minimo valore cumulativo mensile 33 mm a L'Aquila).

La tabella 1 evidenzia inoltre valori più elevati di pioggia nelle stazioni del bacino del Velino non imputabili alla quota dei pluviografi ma, piuttosto,

alla maggiore esposizione alle perturbazioni atlantiche rispetto alle aree orientali del foglio, collocate in zona climatica di transizione al dominio adriatico.

In figura 3 sono riportati i grafici relativi agli indici stagionali delle stazioni pluviografiche di Montereale, Antrodoco, M. Terminillo e Termini. Il diagramma a blocchi rende conto della variabilità storica dei valori indice, ottenuti dalle registrazioni di altezza di pioggia dal 1950 al 2011.

Nei due principali bacini idrografici, dell'Aterno e del Velino, le registrazioni pluridecennali delle stazioni meteorologiche testimoniano episodi rilevanti (in termini di apporto alle falde idriche locali) di precipitazione nevosa a quote superiori a 900 metri s.l.m. e dal mese di novembre al mese di aprile. Le acque di fusione si generano sin dalle prime nevi autunnali ma è soprattutto in primavera che il processo raggiunge la massima intensità, condizionando in modo molto marcato il regime dei flussi idrici sotterranei. Il diagramma di figura 4 mostra la relazione esistente tra la media annuale dei valori di temperatura atmosferica, calcolata

Tab. 2 – *Dati riassuntivi delle principali sorgenti dell'area del Foglio AnTRODoco. Sono stati riportati anche i valori di magra, di morbida e la media delle portate delle sorgenti della rete di controllo nel periodo delle misure del presente studio (mm/aa-mm/aa).*

- Report of significant information on the main springs of the AnTRODoco Sheet area. Low-water, high-water and mean values of river discharge of the monitored springs in the period of measurement of the present study (mm/yy-mm/yy) are also reported.

N. scheda	Denominazione	Quota m s.l.m.	Data/Periodo*	Q magra l/s	Q media l/s	Q morbida l/s	Data/Periodo*	CE media $\mu\text{S/cm}$	T _{H₂O} media °C	pH media
1	Fonte di Cambio	1775	29/09/2006	0,05			29/09/2006	289	10,1	n.d.
2	Fonte Porana	1429	02/11/2005	0,13			02/11/2005	414	6,9	7,4
3	Fonte della Cerasa	1459	04/06-06/08	0,05	0,15	0,75	04/06-06/08	261	10,1	7,8
4	Fonte Capodacqua	1169	-----	non accessibile			-----	non accessibile		
5	Fonte Martana	1549	28/07/2005	0,05			28/07/2005	484	13,6	7,4
6	Fonte Pacone	1080	04/06-06/08	secca	0,04	0,19	04/06-06/08	421	11,4	7,5
7	Sorgente S. Giusta	807	04/06-06/08	0,27	2,01	8,33	04/06-06/08	493	10,5	7,3
8	Sorgenti Piana di Cognolo	793	04/06-06/08	29	77	241	04/06-06/08	524	10,6	7,9
9	Sorgente Capo d'acqua C.	790	05/06-06/08	21	75	169	05/06-06/08	304	10,6	8
10	Sorgente delle Vene	1047	25/11/2004	2			25/11/2004	359	7,1	8,4
11	Fonte Acqua Calda	730	04/06-06/08	0,11	0,18	0,5	04/06-06/08	448	11,8	7,4
13	Fonte Cupolo	1010	07/07-07/08	secca	0,03	0,07	07/07-07/08	356	13	7,4
14	Fonte Colle dei Pozzi	1477	04/06-06/08	secca	0,06	0,3	04/06-06/08	260	12,5	7,7
15	Fonte del Cane	742	04/06-07/08	0,06	0,09	0,18	04/06-07/08	415	10,3	7,5
16	Fonte Catarna	1049	03/06-07/08	secca	0,15	0,9	03/06-07/08	482	11,2	7,2
17	Fonte Limite	1049	07/06/2006	0,02			07/06/2006	529	11,9	7,8
18	Fonte Cumulata	975	14/07/2006	0,01			14/07/2006	637	11,3	7,6
19	Fonte Vetica	1037	27/05/2005			1	27/05/2005	429	7,8	7,3
20	Fonte Riofreddo	1343	23/05/2005			2,5	23/05/2005	228	6,8	7,2
21	Fonte Porana o Macchione	1423	27/05/2005			0,001	27/05/2005	361	9,9	7,1
22	Fonte Renaro	1165	05/2006;03/2005	0,03		0,17	18/05/2006	264	10	7,6
24	Fonte Pisciarellino	725	23/03/2005			0,5	23/03/2005	387	8,5	7,8
25	Fonte Tofilo	800	24/03/2005			0,5	24/03/2005	786	12	8
26	Sorgente Sommatine	780	05/06-06/08	2	3	5	05/06-06/08	431	10,3	7,6
27	Fonte Cicchetta	829	-----	chiusa; totalmente captata			-----	chiusa; totalmente captata		
28	Fonte delle Sette Acque	1081	22/05/2006			1,3	22/05/2006	403	9,4	7,7
29	Fonte Colle Piano	1025	05/2006; 03/2005	0,06		0,4	17/05/2006	291	11,1	7,6
30	Fonte Vernoni	965	25/03/2005			3	18/12/2009	346	4,3	7,7
31	Sorgenti Cesaproba 995	995	25/03/2005			1	25/03/2005	490	10,7	8,1
32	Sorgente Colli S. Giovanni	775	04/06-12/07	0,01	0,04	0,17	04/06-12/07	465	16,6	7,6
33	Sorgente Mandra Vecchia	825	05/06-06/08	0,01	0,12	0,38	05/06-06/08	532	10	7,5
34	Fonte Fratoldi	844	04/06-05/08	0,01	0,1	0,3	04/06-05/08	397	11,2	7,4
35	Fonte Stefano	1033	04/06-06/08	0,01	0,17	0,3	04/06-06/08	421	8,8	7,4
36	Fonte Pratali	1027	04/06-06/08	secca	0,17	0,6	04/06-06/08	433	9,9	7,4
37	Fonte Palomba	775	-----	chiusa; totalmente captata			-----	chiusa; totalmente captata		
38	Fonte Spugna 2	955	22/07/2005	0,07			22/07/2005	470	13	7
39	Fonte Lanucella	1225	27/07/2005	secca			27/07/2005	secca		
40	Fonte Scendelle	1099	04/06-06/08	0,02	0,16	0,6	04/06-06/08	466	8,8	7,7
41	Fonte Talacchino	765	27/07/2005	0,25			27/07/2005	455	12,6	7,9

segue

42	Fonte La Moglia	1061	06/06-06/08	0,09	0,57	1,7	06/06-06/08	454	10,8	7,5
43	Sorgente Toppa I	867	23/04/2007			8	23/04/2004	336	9,1	7,6
44	Fonte del Pero	1199	02/11/2005	0,02			02/11/2005	433	8,6	7,2
45	Fonte Santogna	1125	04/06-04/07	secca	0,58	1,75	04/06-04/07	447	10	7,4
46	Fonte Palumbo B.	1160	03/11/2005	0,02			03/11/2005	494	12,3	7,1
47	Fonte Le Coste	932	03/11/2005	0,04			03/11/2005	447	10,8	7,4
48	Fonte della Valle	1210	11/2005; 04/2006	0,39		0,94	23/11/2005	341	6,8	7,1
49	Fonte Palumbo P.	1020	-----	chiusa; totalmente captata			-----	chiusa; totalmente captata		
50	Fonte Fonticelle	1228	05/06-06/08	0,02	0,14	0,6	05/06-06/08	501	11,7	7,5
51	Fonte di Castellone	1059	14/12/2005	stillicidio			14/12/2005	450	8,3	7,6
52	Sorgente Scanzano	950	28/09/2006	0,33			28/09/2006	468	12,7	n.d.
53	Fonte Orlando	890	07/07-07/08	0,08	0,61	0,91	07/07-07/08	395	10,7	7,2
54	Fonte Secca	1750	07/2006; 04/2006	0,01		0,25	18/07/2006	350	12,3	8,2
55	F.ti d'Arcione	1676	07/2006; 04/2006	0,03		0,23	18/07/2006	293	15,3	8,2
56	Fonte Terraccia	1075	05/06-03/08	secca	0,02	0,09	05/06-03/07	487	9,1	7,6
57	Fonte Cesavecchia	980	07/2006; 05/2005	secca		0,09	19/05/2006	426	11,8	8,4
58	Fonte del Cupo	1266	07/2006; 05/2006	secca		0,03	18/05/2006	270	13,9	8
59	Fonte Pratali 2	1008	04/06-06/08	secca	0,09	0,33	04/06-06/08	426	9,1	7,4
60	Fonte Vecchia V.C.	990	05/06-07/08	secca	2	13	05/06-07/08	357	10,5	7,5
61	Fonte Vecchia S.G.	1352	04/06-06/08	0,01	0,4	1,4	04/06-06/08	318	9	7,7
62	Sorgente San Giovanni M.	858	04/06-06/08	0,04	0,13	0,26	04/06-06/08	463	11,3	7,7
63	Fonte C.le Valenzano	675	22/03/2007			3	22/03/2007	374	10,1	7,7
64	Fonte Corno	845	28/09/2006	2			28/09/2006	545	10,5	n.d.
65	Fonte di V. Colacchia 1	820	24/11/2006	5			24/11/2006	418	9,8	n.d.
66	Fonte di V. Colacchia 2	805	20/09/2006	0,98			20/09/2006	417	11,6	n.d.
67	Sorgente le Paghette	900	28/09/2006	0,33			28/09/2006	653	11,4	n.d.
68	Fonte Maiolica	1704	29/09/2006	0,3			29/09/2006	263	8,7	7,5
69	Fte Ranna_Toppa II	700	23/04/2007			5	23/04/2007	403	10	7,5
70	Sorgente San Giuseppe	730	02/06-05/08	2	11	23	02/06-05/08	275	9,3	7,9
71	Fonte Vitelli	930	05/06-03/08	secca	0,05	0,14	05/06-03/08	357	9,7	7,8
72	Fonte Regnola	1070	07/06-08/08	0,35	0,62	0,9	07/06-08/08	335	10,2	7,5
73	Sorgente Cechi Media	1100	01/06-09/08	0,11	0,57	1,33	01/06-09/08	334	9,4	7,6
74	Sorgente Cechi Alta	1117	01/06-09/08	0,9	2,03	3,5	01/06-09/08	310	9,2	7,7
75	Sorgente Cechi Bassa	1100	01/06-08/08	0,58	1,86	3,6	01/06-08/08	363	9,4	7,6
76	Sorgente I Pozzi	1050	01/06-06/08	0,01	0,41	1	01/06-06/08	378	10,5	7,7
77	Sorgente Faugette	1114	01/06-09/08	secca	0,12	0,25	01/06-09/08	397	9,3	7,6
78	Presa Sant'Angelo	955	04/06-09/08	4	10	19	04/06-09/08	295	9,4	7,8
79	Sorgente le Fontanelle	925	01/06-02/08	1	3	6	01/06-02-08	312	9,8	7,9
80	Sorgente Campetto	904	01/06-09/08	secca	3	10	01/06-09/08	301	9,8	7,9
81	Sorgente Ripi o Lama	930	02/06-06/08	secca	0,5	2,7	02/06-06/08	361	10,5	7,7
82	Fonte della Palombara	1080	08/06-06/08	0,046	0,72	3,37	08/06-06/08	390	12,4	7,6
83	Fonte del Lago	1340	07/06-08/08	0,02	0,17	0,97	05/06-08/08	313	8,8	7,8
84	Sorgente Brignola	1188	05/06-08/08	0,02	0,24	1	05/06-08/08	361	12,3	7,5
85	Sorgente Rainina	665	03/06-08/08	0,1	3	5	03/06-08/08	399	10,4	7,6
86	Sorgente del Rio	460	02/06-08/08	secca	10	50	02/06-08/08	819	11,6	7
87	Sorgente Cucca Vecchia	645	03/06-08/08	1	3	10	03/06-08/08	520	11,6	7,3

segue

88	Sorgente Canale	1125	07/06-08/08	0,4	1	3	07/06-08/08	265	11,9	7,7
89	Sorgente Fontanelle	455	04/08; 12/05	570		655	03/06-06/08	1203	11,5	7
90	Sorgente Capo d'Acqua	1090	04/06-08/08	2	6	22	04/06-08/08	266	9,2	7,9
91	Sorgente Molina	1175	04/06-09/08	4	5	7	04/06-09/08	275	9,7	7,8
92	Sorgente Capelacqua	820	04/06-09/08	1	3	6	04/06-09/08	431	11,3	7,4
93	Sorgente Malanotte	950	04/06-09/08	1	2	6	04/06-09/08	315	10,5	7,8
94	Sorgente Sulfurea	490	04/06-07/08	1	3	4	04/06-07/08	2281	19,2	6,5
95	Fonte dei Porcini	1482	08/06-07/08	0,02	0,24	1,11	08/06-07/08	352	9,5	7,7
96	Sorgente Vignola	765	05/06-06/08	0,04	0,12	0,83	05/06-06/08	622	12,5	7,5
97	Terme di Antrodoco	480	13/05/2005			1,29	13/05/2005	1971	18	6,6
98	Sorgente Pratagrandi	500	12/06; 06/05	9		14	21/12/0006	2221	15	7,3
99	Sorgente Maiuri	620	13/03/2006			9	13/03/2006	362	8,3	7,4
100	Sorgente S. M. del Monte	980	03/07-08/08	0,02	0,09	0,15	03/07-08/08	422	10,4	7,4
101	Fonte Inseti	800	22/12/2005	0,04			22/12/2005	407	10	7,5
102	Fonte Sant'Angelo	960	16/04/2007			0,27	16/04/2007	450	11,3	7,6
103	Fonte delle Cese	1320	04/07-07/08	0,02	0,03	0,08	04/07-07/08	418	11,6	7,9
104	Fontana San Lorenzo	1025	12/06-06/08	secca	0,1	0,2	12/06-06/08	342	11,5	7,8
105	Sorgente Lodonero	590	02/06-07/08	secca	0,12	0,7	02/06-07/08	568	10,4	7,3
106	Sorgente Valle dell'Inferno	640	22/12/2005	0,04			22/12/2005	522	9,9	7,4
107	Sorgente Le Casette	750	04/06-08/08	0,65	1,16	1,5	04/06-08/08	313	11,1	7,7
108	Sorgente Acqua Puzza	480	03/06-08/08	secca	1,37	2,8	03/06-08/08	2216	18,6	6,7
109	Sorgente Valleonica	455	01/08; 03/07	0,9	1,95	2,3	29/03/2007	448	10,3	7,4
110	Sorgente Faito I	607	01/08; 08/08	0,67		2,3	28/01/2008	467	8	7,4
111	Sorgente Faito II	646	14/03/2006			1	14/03/2006	476	7,5	7,4
112	Fonte Fecorno	880	13/05/2005			0,02	13/05/2005	560	13	7,8
113	Fontanile Nipoli	775	02/07-08/08	secca	0,1	0,42	02/07-08/08	521	12,3	7,1
114	Sorgente San Terenzio	560	12/07; 06/07	secca		0,22	19/06/2007	397	12	7,6
115	Fonte Melangara	1310	12/07/2005	0,04			12/07/2005	580	11,4	7,6
116	Fonte Pecorara	1390	12/07/2005	0,05			12/07/2005	441	10,1	7,5
117	Sorgente località Fontanelle	1073	11/07; 06/07	0,02		0,11	21/11/2007	492	7,6	7,5
118	Fonte Coperta	970	16/04/2007			secca	16/04/2007		secca	
119	Sorgente Colle del Melo	840	12/05/2005			0,09	12/05/2005	447	12	7,8
120	Fonte Murata	1390	05/09/2005			secca	05/09/2005		secca	
121	Sorgente Valle Ravara	1450	05/09/2005			non misurabile	05/09/2005	301	7,6	8,3
122	Fontanile Laculo	950	07/05; 03/08	0,04		0,06	21/07/2005	690	14,7	7,5
123	Sorgente San Pietro	995	29/03/2007			0,06	29/03/2007	529	7,2	7,2
124	Fonte Vecchia	950	13/05/2005			1	13/05/2005	369	12	8,4
125	Fonte Marco	1260	09/05; 05/06	0,03		0,05	18/05/2006	336	9,1	7,9
126	Fonte Perara	983	21/11/2005			3	21/11/2005	405	7,8	7,9
127	Fonte Capo Scura	1490	06/09/2005	0,02			06/09/2005	254	8,4	8,4
128	Fonte dei Cavalli	1582	****		<10		-----		non disponibile	
129	Sorgente Porcini I	1400	04/08/2008	6			04/08/2008	246	6,8	7,9
130	Sorgente Porcini II	1456	04/08/2008	4			04/08/2008	224	7,3	7,9
131	Sorgente I Pisciarelli	950	12/07-03/09	5	16	37	12/07-03/09	246	7,6	8,1
132	Fontanile Chiesa	520	07/07; 04/08	0,15		0,18	18/07/2007	370	20	7,9

segue

133	Sorgente Colle Croce	980	25/11/2008	secca			25/11/2008	secca		
134	Sorgente la Cerasa	1254	07/07; 04/08	0,02		0,26	20/07/2007	410	12,7	7,7
135	Fonte Trenta	1080	07/07; 05/08	0,04		0,05	12/07/2005	580	11,4	7,6
136	Sorgente Fonte Basso	450	24/11/2004			20	24/11/2004	789	12,5	6,9
137	Sorgente S. Giovanni A.	530	21/07/2005	3			21/07/2005	534	19,7	8,4
138	Fonte Molinello	821	-----	chiusa			06/02/2007	378	12	7,2
139	Sorgente Toppo	716	04/06-03/08	1	6	12	04/06-03/08	585	12,2	7,5
140	Sorgente Osteria del Sambuco	792	05/06-08/07	0,22	0,58	1,3	05/06-07/07	503	11,6	7,6
141	Sorgente Fontanelle	975	04/06-03/08	0,2	3	37	04/06-03/08	547	10,1	7,4
142	Sorgente Madonna delle Grazie	1066	12/06-03/08	0,11	0,41	1,42	12/06-03/08	493	9,8	7,3
143	Sorgente Cabbia	1100	04/06-03/08	0,12	0,36	1,45	04/06-03/08	483	9,1	7,5
144	Sorgente Fra Clemente	916	06/06-03/08	0,15	0,25	0,3	06/06-03/08	567	10,3	7,4
145	Sorgente Petriano	1468	21/06/2007	2,2			21/06/2007	363	8,1	7,6
146	Sorgente Caporone	1450	21/06/2007	2,7			21/06/2007	426	9,7	7,8
147	Sorgente Spinilli	1380	21/06/2007	0,5			21/06/2007	452	9,2	7,6
148	Fonte La Foce	820	22/06/2007	0,01			22/06/2007	429	10,7	7,7
149	Sorgente I Pozzilli	1325	27/06/2007	0,07			27/06/2007	428	11	7,3
150	Sorgente Santa Pupa	1275	27/06/2007	stillicidio			27/06/2007	350	10,7	7,5
151	Sorgente Pannacio	1048	-----	abbandonata						
152	Sorgente Cascina I	1018	-----	non misurabile			04/06-09-06	274	20,7	7,3
153	Sorgente Cascina II	1023	-----	non misurabile			07/06-01/07	346	10,9	7,8
154	Sorgente Calabritto	1145	05/06-03/08	0,01	0,07	0,37	05/06-03/08	349	9,6	7,8
155	Fonte dei Frati	900	05/06-03/08	0,01	0,09	0,14	05/06-03/08	424	9,9	7,6
156	Sorgente Trio	810	2014**	10	20		13/09/2006	326	10,3	n.d.
157	Fonte del Peschio	1074	20/09/2007	0,03			20/09/2007	361	15,9	8
158	Fonte del Pidocchio	1030	16/07/2007	0,03			16/07/2007	480	11,6	7,5
159	Fonte Mola 2	1302	16/07/2007	0,08			16/07/2007	331	22	7,8
160	Fonte Prato Pantano	1303	16/07/2007	0,07			16/07/2007	372	12,5	7,8
161	Sorgente Mola 1	1299	25/10/2007	1,5			25/10/2007	395	9,5	7,5
162	Fonte Casale Nardi	1283	25/10/2007	0,01			25/10/2007	497	7,5	7,4
163	Fonte Castiglione	1202	26/10/2007	0,03			26/10/2007	755	12,2	6,9
164	Fonte La Tana 2	1188	26/10/2007	0,02			26/10/2007	753	9,3	7,2
165	Fonte Castiglione 2	1227	10/07; 07/08	0,05		0,18	18/07/2008	680	10,6	7
166	Fonte Colle Paro	941	30/11/2007	0,45			30/11/2007	474	9,3	7,3
167	Fonte Civitella	1175	03/12/2007	0,002			03/12/2007	623	6,3	7,9
168	Sorgente Busci	923	05/06-06/08	0,13	0,17	0,22	05/06-06/08	589	12,1	7,4
169	Sorgente Palarzano	1018	01/07; 02/07	0,04		0,22	16/01/2007	284	4,3	7,9
170	Sorgente Fonte	744	22/06/2007	stillicidio			22/06/2007	726	n.d.	n.d.
171	Sorgente d'Abruzzo	943	24/04/2008			0,02	24/04/2008	490	9,4	8
172	Sorgente Cabbia	1093	06/02/2007			0,85	06/02/2007	349	7,4	7,8
173	Sorgente Palomba	1191	20/09/2007	0,16			20/09/2007	327	8,7	7,6
174	Fonte della Cesa	1158	-----	chiusa; totalmente captata						
175	Fonte Ielata	1340	18/07/2008	0,75			18/07/2008	443	9,3	7,8
176	Fonte del Pinco	1340	24/07/2008	1			24/07/2008	433	12,2	7,3
177	Fonte Sambuco	1330	24/07/2008	0,04			24/07/2008	637	13,2	7,8

segue

178	Fonte Mainesca	1470	14/10/2008	0,001			14/10/2008	415	7,9	7,5
179	Fonte Gelata1	1410	14/10/2008	0,06			14/10/2008	304	10,5	7,6
180	Fonte Gelata	1440	14/10/2008	stillicidio			14/10/2008	366	8,5	8,2
181	Fonte Valle	1175	24/07/2008	0,06			24/07/2008	557	9,8	7,8
182	Fonte S.Clemente 1_2	940	15/10/2008	0,07			15/10/2008	562	10,9	7,5
183	Fonte V.la Immagine	925	15/10/2008	stillicidio			15/10/2008	542	10,6	7,2
184	Fonte Cretara	1000	15/10/2008	stillicidio			15/10/2008	631	17,5	7,4
185	Sorgente Mastrozza	1072	-----	non misurabile						
186	Aquatrina	820	23/11/2004	0,4			-----	non determinati		
187	Sorgente le Stalle di Micigliano	990	21/12/2004	0,08			21/12/2004	434	10,6	7,6
188	Sorgente Pagliara	630	22/11/2004	0,15			22/11/2004	511	11,3	7,3
189	Sorgente Costa del Sole	690	07/05; 04/08	0,02		0,05	21/07/2005	583	19,6	7,4
190	Sorgente Fallarino	580	24/11/2008	0,88			24/11/2008	692	14,3	6,9
191	Sorgente Faito III	660	-----	non misurabile			-----	non misurabile		
192	Sorgente Colle S. Angelo	950	-----	non misurabile			06/10/2005	597	11,3	7,6
193	Fonte Scipioni	870	21/11/2005	1			21/11/2005	386	4,7	7,8
194	Sorgente Lo Tufo	730	23/11/2004	0,5			23/11/2004	327	11	7,2
195	Raiale	690	12/07; 05/08	1		11	20/12/2007	257	5,7	8,4
196	Fontanile Vallemare	1020	07/07-11/08	0,03	0,2	0,6	07/07-11/08	428	9,5	7,2
197	Fonte del Cupo	900	02/05; 03/08	0,33		1,18	06/02/2005	341	8,7	7,6
198	Fontana Collerinaldo	525	25/11/2008	0,5			25/11/2008	533	10,6	6,4
199	Fonte Valle Cupa	959	11/05/2009			0,25	11/05/2009	495	8,3	7,3
200	Fonte di Bagno	1030	11/05/2009			5	11/05/2009	434	9,3	7,6
201	Acqua del Paradiso	505	***		30		***	1300		
202	Favischio	840	****		40		-----	non disponibile		
203	La Terra	847	19/11/2014	0,17			19/11/2014	409	9,8	7,2
204	Fonte del Cane2	875	11/14; 12/04	secca		0,5	-----	non determinati		
205	Acqua Cascinese	507	***		600		***	1360		
206	Sorgente Piedirua	712	20/11/2014	0,43			20/11/2014	512	11,1	7,13
207	Fonte Ara del Colle	702	20/11/2014	stillicidio			20/11/2014	883	8,4	6,9
<p>* mm/aa-mm/aa= periodo di monitoraggio. mm/aa; mm/aa= riferimenti temporali di magra e morbida. gg/mm/aaaa= data singola misura. ** non misurabile, dati forniti dal gestore *** intermittente, non attiva durante il presente lavoro; dati da CAPELLI <i>et alii</i> (2012) ****chiusa; dati da CAPELLI <i>et alii</i> (2012)</p>										

sui dati disponibili degli ultimi 30 anni, e la quota delle stazioni termometriche.

I dati di registrazione di temperatura atmosferica media annuale e di altezza totale di pioggia annuale mostrano, nel lungo periodo, andamenti differenti da zona a zona.

I valori di altezza di pioggia della stazione di Termine (Cagnano Amiterno), di Montereale e di Scoppito (leggermente fuori foglio a SE), dal 1950 al 2011, sottoposti al *test* di verifica di Mann-Kendall non forniscono evidenza di una significativa evoluzione tendenziale delle precipitazioni. Relativamente allo stesso intervallo di

anni, a Campotosto l'esito del *test* non esclude l'ipotesi di un *trend* positivo, mentre con i dati della stazione di L'Aquila (fuori foglio a SE) si evidenzia una tendenza opposta con un tasso di variazione di -1,7 mm/anno.

Sul versante del Velino i risultati dei *test* condotti sulle serie disponibili forniscono risultati alquanto diversi da quelli del settore dell'Aterno. Nelle tre stazioni di M. Terminillo, di Antrodoco e di Leonessa (Rieti) si osserva, infatti, una debole tendenza negativa che, nelle ultime due stazioni in particolare, è accompagnata da una diminuzione della dispersione dei valori intorno alla media.

Tab. 3 – *Dati relativi alle sezioni di misura di portata in alveo della rete di monitoraggio dei fiumi Velino e Aterno e dei loro principali corsi d'acqua tributari.*

- Stream gauging data measured at the monitoring stations along the Velino and Aterno rivers and their main tributary streams.

N. stazione	Denominazione	Corso d'acqua	Quota m s.l.m.	Data/Periodo*	Q magra m ³ /s	Q media m ³ /s	Q morbida m ³ /s	Data/Periodo*	CE media µS/cm	T _{H₂O} media °C	pH media
1	Cittareale Collicelle	Velino	820	26/07/2006	0,157			26/07/2006	368	12,4	8,5
2	Cittareale Marianitto	Velino	810	04/06-06/08	0,026	0,189	0,769	05/05-06/08	394	10,1	8,3
3	Marianitto Pacino	della Meta da Pacino	810	15/07/2005	0,038			15/07/2005	515	12,9	8,1
4	Cittareale S.Giusta	Velino	790	26/07/2006	0,234			26/07/2006	415	13,6	8,5
5	S.Giusta Sorgenti	della Piana di Cognolo	785	04/06-06/08	0,029	0,075	0,241	04/06-06/08	516	10,7	8
6	S.Croce Canapine	delle Canapine	775	15/07/2005	0,007			15/07/2005	440	14,1	8,2
7	Cittareale S.Croce	Velino	770	14/07/2005	0,371			14/07/2005	421	14,2	8
8	S.Croce Vene	delle Vene	775	14/07/2005	0,009			14/07/2005	327	16,8	8
9	Posta Colle Capanna	Velino	755	26/07/2006	0,329			26/07/2006	436	14,1	8,6
10	Bacugno Ranaro	Ranaro	740	21/07/2005	0,007			21/07/2005	345	16,7	8,1
11	Posta Bacugno	Velino	740	05/06-07/08	0,107	0,421	1,726	05/06-07/08	459	10,9	8,3
12	Posta Picciame	Velino	730	26/07/2006	0,349			26/07/2006	432	15,1	8,6
13	Bacugno Capo d'Acqua	di Capo d'Acqua	745	05/06-06/08	0,021	0,075	0,169	05/06-06/08	302	10,7	8,1
14	Bacugno Picciame	di Picciame	725	21/07/2005	0,084			21/07/2005	323	12,3	8
15	Picciame Piedimordenti	di Piedimordenti	730	21/07/2005	0,017			21/07/2005	448	17	8,1
16	Posta Macchielone	Velino	710	21/07/2005	0,382			21/07/2005	405	15,3	8
17	Posta traversa fluviale	Velino	710	13/07/2005	0,153			13/07/2005	410	13	8
18	Sigillo C.li S.Giovanni	Velino	690	13/07/2005	0,255			13/07/2005	402	13,5	7,9
19	Sigillo C.le Valenzano	Velino	650	13/07/2005	0,147			13/07/2005	384	14,1	8,2
20	Sigillo Ponte Vecchio	Velino	640	13/07/2005	0,127			13/07/2005	383	14,3	8,2
21	Sigillo Valle Scura	Scura	630	19/07/2006	0,083			19/07/2006	279	14,8	8,6
22	Sigillo depuratore	Velino	620	09/08; 04/08	0,111		0,996	20/07/2006	330	17,6	8,9
23	Sigillo Lodonero	Velino	580	09/08; 04/08	0,054		1,597	20/07/2005	322	17,5	8,9
24	Antrodoco Maiuri	Maiuri	510	20/07/2006	0,02			20/07/2006	339	19,6	8,7
25	Antrodoco ponte ferrovia	Velino	495	14/07/2005	0,353			14/07/2005	890	13,8	7,4
26	Antrodoco Velino	Velino	480	09/08; 04/08	0,059		0,682	12/05/2005	751	15,2	7,6
27	Antrodoco ponte chiesa	Velino	470	09/08; 02/11	0,001		1,298	19/07/2006	751	15	8,2
28	Antrodoco Fontanelle	Fontanelle	460	20/12/2004	0,655			-----	non determinati		
29	Borgovelino Ponte Basso	Velino	450	13/07/2005	1,139			13/07/2005	857	14,7	7,4
30	Ponte Basso sorgente	contributo sorgente	450	21/09/2006	0,02			21/09/2006	792	10,9	6,9
31	Borbona Capo Fano	Ratto	915	20/07/2005	0,002			20/07/2005	528	14	8
32	Borbona Cauccio	delle Moglie	890	01/08/2006	0,008			01/08/2006	480	14,7	8,6
33	Borbona Lonaro	Ratto	830	20/07/2005	0,043			20/07/2005	485	13,8	7,7
34	Borbona S.Angelo	Ratto	800	01/08/2006	0,049			01/08/2006	478	15	8,7

segue

35	Borbona Cretoni	Ratto	780	20/07/2005	0,065			20/07/2005	462	14,7	8
36	Cretoni La Piaia	de La Piaia	780	20/07/2005	0,003			20/07/2005	364	15,6	8
37	Borbona campo sportivo	Ratto	760	20/07/2005	0,07			20/07/2005	432	16,8	8,2
38	Borbona Molino Trebbia	Ratto	730	05/06-06/08	0,037	0,196	0,803	05/06-06/08	465	11,7	8,1
39	Ratto confluenza Velino	Ratto	710	02/08/2006	0,043			02/08/2006	422	14,9	8,1
40	Montereale Casale d'Abruzzo	Aterno	795	07/06-06/08	0,014	0,234	0,81	07/06-08/07	583	14	7,7
41	Montereale Marana I	Aterno	790	04/08/2005	0,09			04/08/2005	501	15,5	7,7
42	Montereale Marana II	Aterno	785	04/08/2005	0,098			04/08/2005	499	15,8	7,8
43	Montereale Marana Cabbia	di Ruala	800	27/07/2006	0,021			27/07/2006	466	18,1	8,6
44	Montereale km12 S471	Aterno	780	04/08/2005	0,114			04/08/2005	490	16	7,7
45	Cagnano Rio	Rio	770	04/08/2005	0,022			04/08/2005	478	13,9	7,9
46	Cagnano S.Pelino	Aterno	740	07/06-06/08	0,03	0,39	1,33	07/06-08/07	508	14,5	8,5
47	Barete S.Eusanio	Aterno	712	04/08/2005	0,036			03/08/2005	434	18,1	7,9
48	Pizzoli Cavallari	Aterno	690	03/08/2005	0,095			03/08/2005	508	20,9	7,8
49	S.Vittorino Molino	Aterno	670	07/06-06/08	secco	0,279	1,23	07/06-03/07	517	16,6	8,6

* mm/aa-mm/aa= periodo di monitoraggio. mm/aa; mm/aa= riferimenti temporali di magra e morbida. gg/mm/aaaa= data singola misura.
 N.B.: le stazioni tra Sigillo e Antrodoco riportate in carta con i numeri da 50 a 53 erano secche nei periodi di magra di luglio 2005 e luglio-agosto 2006

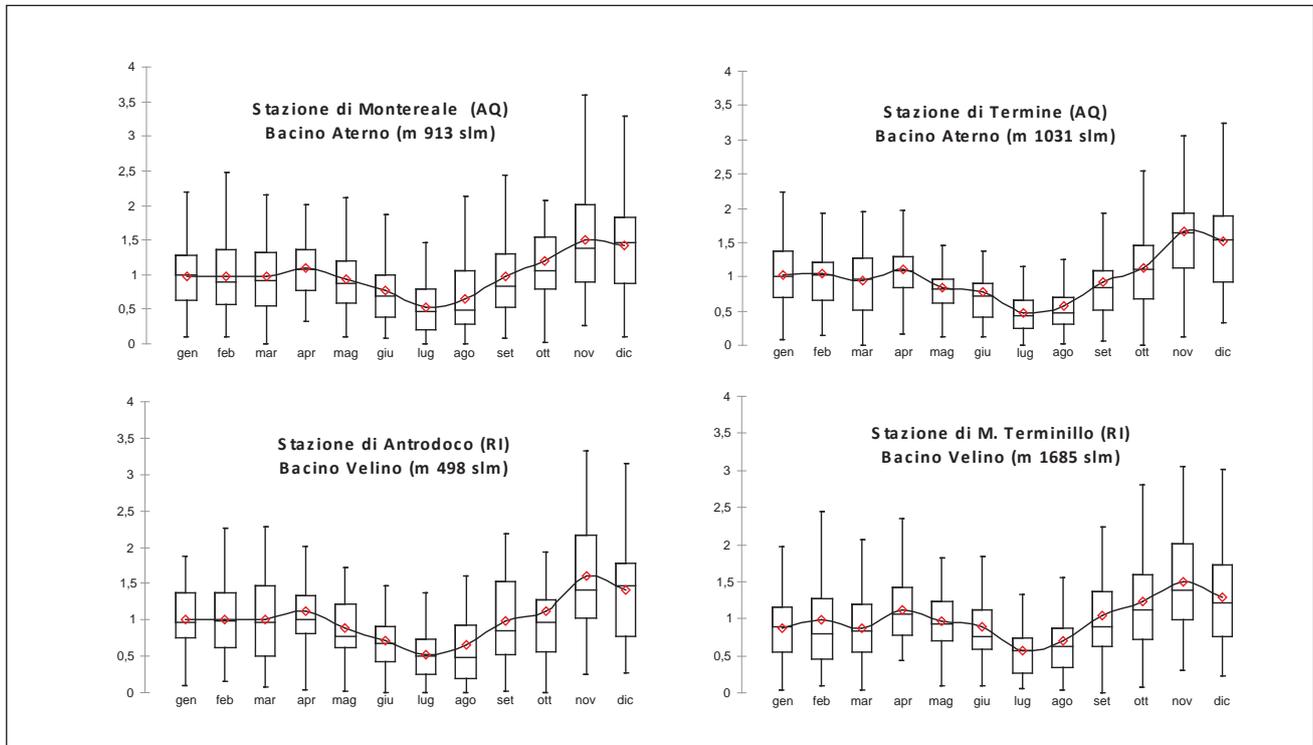


Fig. 3 – Indici stagionali delle piogge in quattro delle stazioni meteo-climatiche rappresentative del Foglio Antrodoco ricadenti nei bacini idrografici dei fiumi Aterno e Velino. Le curve nere uniscono i valori medi (in rosso), i box rappresentano i valori compresi tra il 1° ed il 3° quartile e le linee interne ai box la mediana. Le linee esterne ai box definiscono, rispettivamente, gli intervalli tra il valore minimo e quello del 1° quartile (in basso) e tra il valore del 3° quartile e quello massimo (in alto).

- Seasonal indexes of precipitation in four meteo-climatic stations of the Antrodoco Sheet area located in the Aterno and Velino hydrographical basins. Black lines evidence the mean values (in red), boxes represent values between 1st and 3rd quartile and inside box lines the median. Lines outside boxes define ranges between minimum and 1st quartile values (bottom) and 3rd quartile and maximum values (top), respectively.

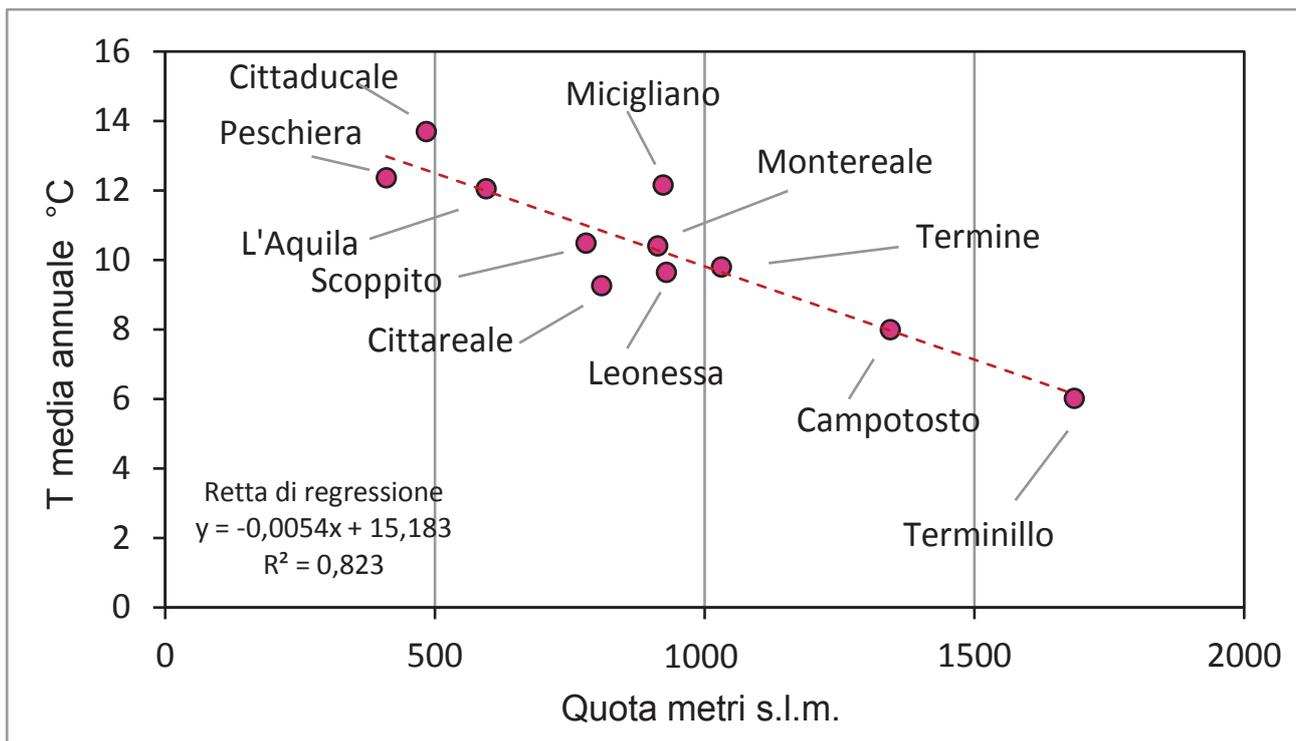


Fig. 4 – Relazione tra i valori di temperatura atmosferica media annua e quota delle stazioni termometriche, calcolata sui dati disponibili degli ultimi 30 anni.
 -Correlation diagram of the annual mean values of air temperature and elevation of the thermometric stations. Annual mean are referred to the available data of the last 30 years.

Le serie della temperatura atmosferica media mostrano un *trend* positivo statisticamente significativo nella stazione del M. Terminillo (1685 m s.l.m.). Altrettanto non è riscontrabile nella serie di Leonessa, poco distante, ma a quota inferiore (929 m s.l.m.) come illustrato in figura 5.

I valori di temperatura atmosferica sono di norma meno dispersi intorno alla media rispetto a quelli delle precipitazioni atmosferiche e quindi un eventuale *trend* che la interessa è più facilmente individuabile. Le precipitazioni nevose nell'area del foglio, a causa della loro estrema variabilità,

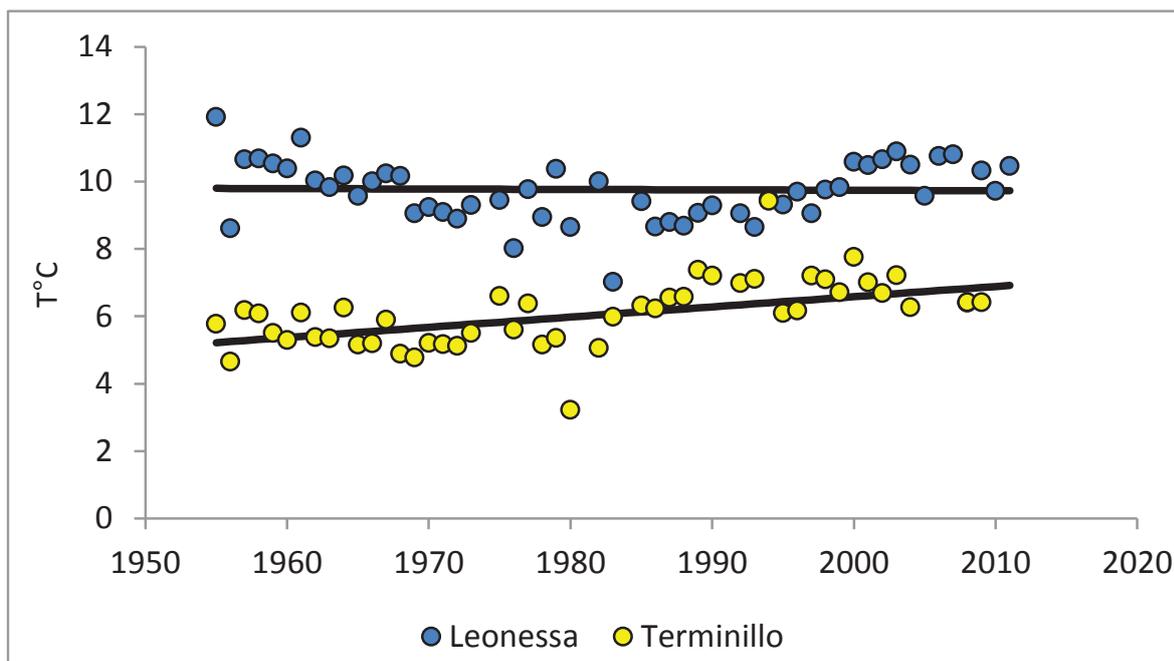


Fig. 5 - Confronto tra le temperature medie annue delle serie temporali delle stazioni di M.Terminillo e Leonessa.
 - Comparison between annual mean values of air temperature of the time series of the M. Terminillo and Leonessa meteo-climatic stations.

sfuggono a valutazioni attendibili sulla loro evoluzione nel tempo.

A tale proposito si precisa che nelle analisi quantitative delle precipitazioni atmosferiche è stato adottato il principio proposto dalla WMO (WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION, 1983), secondo cui ad 1 cm di neve corrisponderebbe approssimativamente 1 mm di pioggia. Purtroppo la precipitazione solida misurata nei nivometri riguarda l'altezza cumulata nel periodo di riferimento e non il reale contributo giornaliero. L'esiguo contributo cumulativo annuale della neve alle precipitazioni totali è stato ad ogni modo sommato alle altezze di pioggia.

Dai dati termometrici e pluviometrici medi annui delle stazioni meteo-climatiche con rilevazioni di durata pluridecennale sono stati ricostruiti i campi di distribuzione spaziale delle temperature e delle piogge, riportati in uno degli schemi a margine della Carta Idrogeologica allegata al presente volume.

Data la buona correlazione tra temperatura atmosferica e quota delle stazioni di rilevamento, le isoterme sono state tracciate nel suddetto elaborato cartografico tramite l'applicazione della funzione di Kernel, ossia una variante dell'interpolazione polinomiale locale. La peggiore correlazione piovosità-quota ha invece comportato la scelta di tracciare manualmente l'andamento delle isoiete in base all'interpolazione dei valori riscontrati nelle singole stazioni, pur utilizzando come riferimento i risultati dell'applicazione sia del metodo sopra descritto sia di quello della triangolazione. Le due elaborazioni ottenute possono essere ritenute, nel complesso, soddisfacenti.

L'andamento delle isoterme rispecchia in generale la situazione altimetrica, con valori minimi di temperatura atmosferica in corrispondenza del M. Terminillo e con un evidente aumento verso i settori ad E del Foglio, in particolare verso la Piana Aquilana e nel settore di monte della Valle del F. Velino. Valori relativamente più bassi di temperatura atmosferica si osservano invece nel settore in corrispondenza del lago di Campotosto (quest'ultimo al di fuori dell'area del Foglio), situato all'estremità NW delle pendici del Gran Sasso d'Italia, che probabilmente influenza le condizioni meteo-climatiche locali.

Riguardo alle isoiete, è stato evidenziato un vasto settore con valori più elevati di piovosità nella parte occidentale dell'area, con un massimo in corrispondenza del M. Terminillo, e nella parte orientale, nel citato settore, meno esteso del precedente, in corrispondenza del lago di Campotosto.

Le zone con più bassa piovosità, come preve-

dibile, si trovano in corrispondenza della Piana Aquilana e del settore di monte della Valle del F. Velino.

4.2. - SORGENTI

È di particolare interesse evidenziare che la maggior parte delle sorgenti hanno caratteristiche di alta quota e/o di emergenze sospese e hanno valori di portata limitati (<10 l/s), mentre le sorgenti che ricorrono in posizione pedemontana e di fondovalle possono raggiungere portate di 10-100 l/s, eccezione fatta per una sola sorgente che emette poche centinaia di l/s (fig. 6).

Riguardo ai parametri chimico-fisici delle acque sorgive, non sono stati evidenziati particolari *trend* stagionali rispetto al tempo. Inoltre, per quanto concerne la temperatura, i valori maggiormente rappresentati per le acque sorgive sono compresi tra 7 e 14 °C (fig. 7), mentre alcuni valori minimi intorno ai 4 e massimi di circa 25 °C sono dovuti a risentimenti stagionali della temperatura esterna.

Riguardo al pH, i valori rilevati rimangono normalmente in un intervallo di valori compresi tra 6,5 e 8,5 (intervallo dei valori maggiormente rappresentati 7 - 8,3; fig. 8). Quindi, le acque possono essere generalmente classificate in base al pH come da neutre a mediamente alcaline, ad ec-

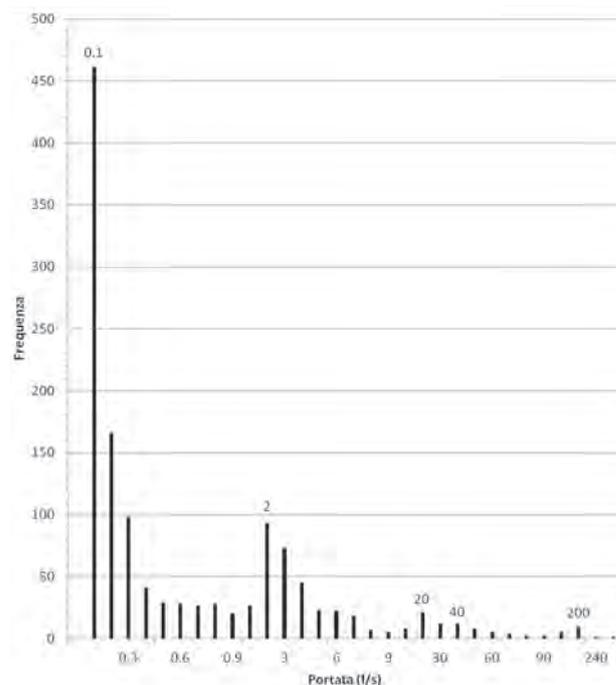


Fig. 6 - Frequenza della distribuzione dei valori di portata delle acque sorgive censite.

- Distribution frequency of discharge values of waters collected from the registered springs.

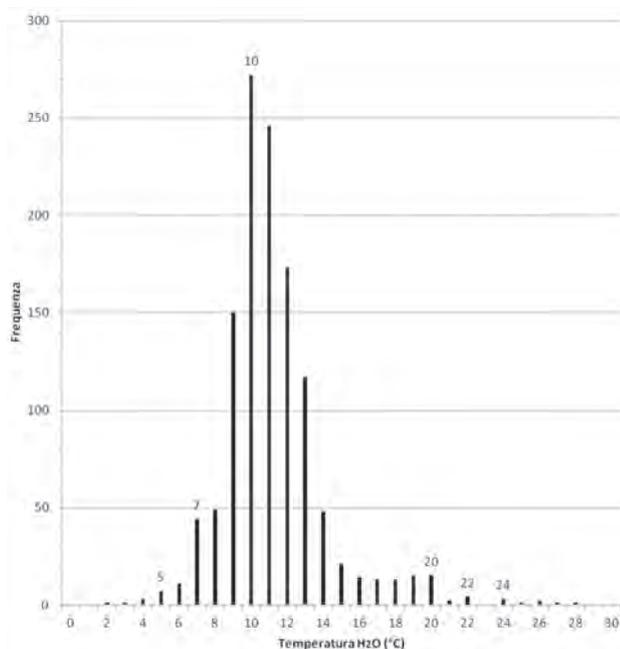


Fig. 7 - Frequenza della distribuzione dei valori di temperatura delle acque sorgive censite.
-Distribution frequency of temperature values of waters collected from the registered springs.

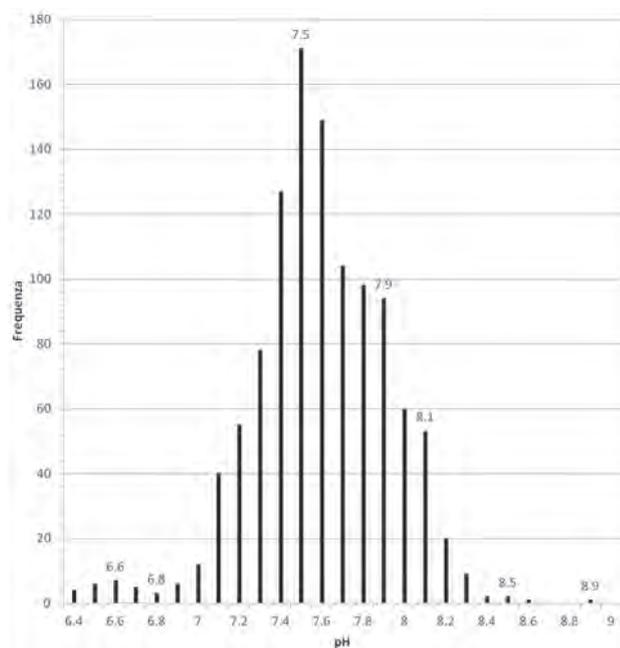


Fig. 8 - Frequenza della distribuzione dei valori di pH delle acque sorgive censite.
- Distribution frequency of pH values of waters collected from the registered springs.

cezione delle sorgenti solfato/solfuree che sono debolmente acide.

Anche i valori di conducibilità elettrica rimangono normalmente in un ristretto intervallo di valori maggiormente rappresentati (220-620 $\mu\text{S}/\text{cm}$

cm; fig. 9), ad eccezione di alcune sorgenti mineralizzate del settore del F. Velino a valle di Micigliano che hanno valori fino a circa 1200-1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le poche acque schiettamente solfato/solfuree hanno invece valori compresi tra circa 1900-2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Quindi, in base alla conducibilità tali acque mostrano generalmente salinità media, tranne che per le acque mineralizzate e solfato/solfuree, che possono raggiungere rispettivamente una salinità alta e altissima. Ancora riguardo alla conducibilità elettrica, a parte le poche acque sorgive mineralizzate e solfato/solfuree, aventi valori $>1100 \mu\text{S}/\text{cm}$, è stato possibile distinguere i valori medi delle singole sorgenti in due classi, una basso-intermedia (220-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e l'altra intermedio-alta (400-840 $\mu\text{S}/\text{cm}$), in cui sono generalmente comprese le sorgenti associate a depositi con caratteristiche, rispettivamente, da calcaree a marnose e di flysch (fig. 9).

È opportuno precisare che alcuni dei dati relativi ad alcune sorgenti di un certo rilievo inserite nel database sono stati presi dalla letteratura scientifica (e.g., CAPELLI *et alii*, 2012). Si tratta di sorgenti escluse dalle campagne di misurazione di questo studio perché intermittenti di lungo periodo e non attive durante il presente lavoro oppure perché chiuse e/o inaccessibili (tab. 2).

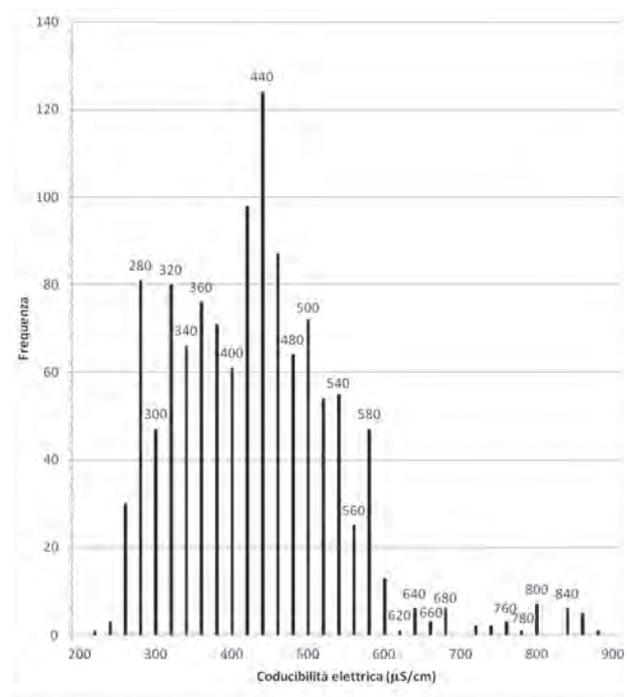


Fig. 9 - Frequenza della distribuzione dei valori di conducibilità elettrica delle acque sorgive censite (sono state escluse le acque fortemente mineralizzate e solfato/solfuree).

-Distribution frequency of electrical conductivity values of waters collected from the registered springs (strongly mineralized and sulfate-sulfuric waters are not shown).

4.3. - CARATTERISTICHE IDROGEOCHIMICHE DELLE ACQUE SORGIVE

Uno degli obiettivi delle indagini idrogeologiche svolte ha riguardato la caratterizzazione e la classificazione idrogeochimica delle acque, la loro affiliazione alle facies idrogeochimiche locali e la definizione di eventuali *trend* evolutivi, anche per contribuire alla definizione di un modello generale di circolazione idrica sotterranea.

Riguardo alla trattazione metodologica di un modello di variabilità idrochimica regionale, si rimanda ad AMANTI *et alii* (2012), mentre in questa sezione vengono sinteticamente riportate le principali risultanze analitiche dell'indagine. I dati geochemici delle acque analizzate sono riportati in tabella 4.

Tutti i campioni analizzati possono essere classificati come acque bicarbonato-calciche (fig. 10). I valori *outlier* dei parametri chimici sono principalmente connessi alla risalita lungo lineamenti tettonico-strutturali di acque solfato/sulfuree di origine più profonda.

Ai campioni esaminati è stata applicata l'analisi delle componenti principali (PCA, *principal component analysis*), una tecnica di analisi statistica multivariata inclusa nella classe dell'analisi fattoriale. Essa è finalizzata all'individuazione, partendo da numerose variabili, delle componenti che possono spiegare le relazioni tra le variabili stesse.

In questo studio, sono stati considerati i rapporti tra i gruppi di variabili chimico-fisiche e la litologia delle rocce serbatoio degli acquiferi. Tramite la PCA i campioni sono stati distinti in due gruppi di ioni a diverso comportamento, ossia bicarbonati e Ca, da una parte (gruppo A in fig. 11), e Mg, Na, K, Cl e solfati, dall'altra (gruppo B in fig. 11).

È stato quindi possibile distinguere due principali tipi di acquiferi correlati ai suddetti rispettivi gruppi, il primo ospitato nelle rocce delle formazioni calcaree e marnose della Serie Umbro-Laziale-Abruzzese (tranne le rocce calcareo-dolomitiche), l'altro ospitato nei depositi arenaceo-pelitici flyschoidi.

I campioni delle acque dell'area esaminata, quelli delle aree circostanti il lago di Campotosto e Monte San Franco (L'Aquila) e del restante contesto dell'Appennino centrale (e.g., AMANTI *et alii*, 2012; CELICO *et alii*, 1984; CASTRACANI *et alii*, 1995) mostrano peculiarità simili, in accordo con le caratteristiche geologiche del territorio in cui emergono, contribuendo a validare l'inquadramento delle acque del Foglio Antrodoco all'interno dello scenario regionale di riferimento.

4.4. - STAZIONI DI MISURA IN ALVEO

Le eterogenee caratteristiche geologiche e strutturali riscontrate nel territorio compreso in studio hanno portato alla necessità di un'accurata preventiva definizione dei criteri di scelta dell'ubicazione delle stazioni di misura di portata in alveo, che si sono ispirati a concetti di accessibilità (misurabilità dei punti d'acqua e ripetibilità delle operazioni di misura), geometrici (distribuzione spaziale di circa 1-2 km d'intervallo) e idrogeologici (rappresentatività rispetto alle posizioni di affioramento o sub-affioramento dei complessi idrogeologici potenzialmente sede di scambi idrici tra acque sotterranee e superficiali). Misure di portata di magra eseguite lungo la suddetta distribuzione spaziale di stazioni di controllo hanno permesso di valutare gli scambi idrici tra acque sotterranee e superficiali tramite il calcolo del bilancio delle portate lungo le aste fluviali, previa sottrazione del contributo dei fossi tributari al deflusso superficiale in corrispondenza delle sezioni di misura stesse. In tal modo è stata evidenziata la presenza di alcune sorgenti lineari, riportate in tabella 5.

A tale proposito, lungo l'alveo del fiume Velino (circa 30 km all'interno del Foglio) sono state ubicate 17 stazioni di misura di portata in alveo (1 stazione ogni 2 km circa) e sono stati misurati in prossimità dell'immissione 10 corsi d'acqua perenni tributari.

Il letto alluvionale del fiume Velino scorre in un primo tratto (Collicelle di Cittareale-Sigillo di Posta) sopra i terreni appartenenti ai complessi idrogeologici del Flysch e Marnoso-Calcareo e Marnoso, anche se in destra idrografica sono presenti subordinatamente terreni del complesso Calcareo-Marnoso e occasionalmente di quello Sabbioso-Conglomeratico e Detritico. Più a valle, tra Sigillo di Posta e Antrodoco il corso attraversa i complessi Calcareo-Marnoso, Calcareo Superiore e Calcareo Basale, Dolomitico e subordinatamente Sabbioso-Conglomeratico e Detritico.

Lungo l'alveo del fiume Ratto, che attraversa il territorio del Foglio Antrodoco per circa 15 km, sono state ubicate 6 stazioni (circa 1 stazione ogni 2 km) ed i corsi d'acqua perenni tributari misurati in prossimità della loro immissione sono 3. Il suo letto alluvionale scorre interamente sopra terreni appartenenti ai complessi idrogeologici del Flysch e Marnoso-Calcareo e Marnoso.

Riguardo all'alveo del fiume Aterno, esso scorre nel Foglio per circa 25 km, lungo i quali sono state posizionate 8 stazioni di misura (circa 1 stazione ogni 3 km) e sono stati controllati 2 corsi d'acqua perenni tributari. Le formazioni su

Tab. 4 – *Contenuti degli elementi maggiori e minori delle acque sorgive analizzate (C.E.: conducibilità elettrica specifica; TDS: totale dei sali disciolti; bdl: sotto il limite di rilevabilità).*

- Major and minor element contents of analysed spring waters (C.E.: specific electrical conductivity; TDS: total dissolved salts; bdl: below detection limit).

N. scheda	Denominazione	Litofacies	Quota m s.l.m.	C.E. $\mu\text{S}/\text{cm}$	Ca mg/l	Mg mg/l	Na mg/l	K mg/l	Fe mg/l	HCO ₃ mg/l	Cl mg/l	SO ₄ mg/l	NO ₃ mg/l	TDS mg/l
4	Capo d'acqua	Calcereo-marnosa	790	396	61	1	1,8	0,4	0,054	204	3,3	2	1,7	292
7	S. Giusta	Flysch	807	490	91	2,7	3,4	0,9	0,002	285	4	4	0,8	399
11	Acqua Calda	Marnosa	730	444	89	1,7	2,4	0,4	0,083	289	3,6	5	0,6	327
16	Catarna	Marnoso-calcareo	1049	519	99	1,7	2	0,5	0,002	326	4,5	1,7	0,8	415
26	Sommatine	Flysch	780	428	108	20,4	6,8	1,3	0,019	325	6,9	12,8	1,8	470
33	Mandra Vecchia	Flysch	825	508	79	22,5	12,1	2	0,002	373	10,7	18,7	1,1	500
34	Fratoldi	Calcereo-marnosa	844	391	97	0,3	2,6	0,2	0,002	309	3,5	2,2	0,2	413
35	Stefano	Detritica	1033	413	84	1,4	1,6	0,4	0,002	251	2,9	2,6	0,4	346
36	Pratali	Detritica	1027	428	83	1,5	1,4	0,2	0,002	281	1,9	1,4	2,8	354
40	Scendelle	Marnoso-calcareo	1099	474	99	1,8	1,9	0,5	0,005	311	3,4	2,7	bdl	371
42	La Moglia	Marnosa	1061	473	125	1,3	3	0,5	0,002	301	4,2	6	0,9	436
53	Orlando	Vulcanite pedogeniz.	890	406	77	1,5	3,6	1,8	0,099	301	3,9	4,1	1,3	390
60	Vecchia V.C.	Marnosa	990	347	67	1,2	2	1	0,002	211	2,9	3	1,3	320
61	Vecchia S.G.	Calcereo-marnosa	1352	278	94	0,2	1,6	0,6	0,001	246	4,6	1,8	8,4	355
62	S.Giovanni M.	Marnosa	858	408	93	1,6	4,7	0,4	0,005	289	3	2,7	0,4	392
72	Regnola	Marnosa	1070	334	73	1	2,4	0,2	0,004	262	3,5	5,3	0,3	342
74	Cechi Alta	Marnosa	1117	309	74	1,5	2,4	0,2	0,005	230	4,5	4,5	0,3	312
77	Faugette	Marnoso-calcareo	1114	398	91	1,1	3,1	0,3	0,002	293	4,2	5,4	0,2	393
78	Presa S. Angelo	Calcereo- marnosa	960	437	54	4,9	1,9	0,5	0,005	205	3,9	2,9	1,2	271
79	le Fontanelle2	Flysch	925	315	202	22,3	4,2	1,2	0,001	619	4,7	43,4	2,2	855
80	Campetto	Marnosa	904	308	100	1,7	3,3	0,4	0,002	222	5	8,5	0,7	333
82	Palombara	Calcereo-marnosa	1080	323	109	0,7	2,8	0,2	0,001	317	5,9	2,4	0,3	436
83	del Lago	Calcereo-marnosa	1340	323	83	0,4	2,3	0,5	0,001	262	4,3	2,6	0,9	353
84	Brignola	Marnosa	1188	369	80	1,3	1,7	0,5	bdl	298	2,8	0,9	0,2	385
86	del Rio	Flysch	460	837	153	20,6	4	1,3	0,006	563	5,2	32,2	2,7	749
91	Molina	Calcareo	1175	286	58	0,8	2,3	0,6	0,001	194	4,2	3,6	1,4	261
92	Capelacqua	Marnosa	820	440	93	2,9	3,7	0,6	0,001	318	5,8	4	0,8	425
93	Malanotte	Marnosa	960	318	65	0,8	3	0,7	0,002	217	6,3	4,3	0,9	294
96	Vignola	Detritica	765	603	116	2	13,5	1,4	0,007	372	24,9	4,2	8	538
131	I Pisciarelli	Calcereo-marnosa	950	229	39	3	1,3	0,3	0,002	206	2,2	1,9	0,8	253
138	Molinello	Marnosa	821	378	83	1,4	2,6	0,4	0,009	265	4,7	3,2	1,5	359
139	Toppo	Calcereo-dolomitica	716	573	72	26,2	6,8	6,3	0,005	311	13,2	13,3	34,5	470
140	Ost. del Sambuco	Marnosa	792	502	105	1,8	3,1	0,2	0,005	323	7,6	3,6	0,1	441
141	Fontanelle1	Marnosa	975	518	107	2,5	7,4	2,7	0,005	277	31,1	9,6	12,2	440
142	Mad. delle Grazie	Marnosa	1066	497	99	1,8	2,6	0,2	0,005	293	5,9	9,2	2,5	405
143	Cabbia1	Marnosa	1100	485	101	1,6	1,6	0,2	0,005	293	5,1	4,6	1,4	404
144	Fra' Clemente	Flysch	916	570	79	24,1	8	1,3	0,01	342	17,4	12,7	1,4	473
145	Petriano	Flysch	1468	332	63	5,7	3,1	0,8	bdl	235	3	7,1	0,9	318
146	Capporone	Flysch	1450	391	63	14,4	4,2	1,3	bdl	215	9,3	15	3,4	322
147	Spinilli	Flysch	1380	412	75	9,6	4,1	0,8	bdl	226	4,2	10,7	0,5	330

segue

148	La Foce	Detritica	820	390	68	12,3	2,8	0,3	bdl	274	4,8	5,4	<0,4	367
149	I Pozzilli	Calcareo-marnosa	1325	392	88	1	1,9	0,3	bdl	268	4,6	2,2	1,1	366
150	S.Pupa	Calcareo-marnosa	1275	321	74	0,8	1,2	0,1	bdl	219	2,2	1,6	0,8	298
151	Pannacio/Aringo	Flysch	1050	458	68	19,7	8,5	1,2	bdl	290	15,3	5,6	2,6	408
154	Calabritto	Calcareo	1145	342	68	1,2	2,3	0,2	0,005	201	3,1	2,3	0,2	276
155	dei Frati	Flysch	900	426	64	14	6,5	0,8	0,005	250	6,2	6,6	3,6	345
157	del Peschio	Calcareo	1074	371	59	10	2,2	0,2	13	218	5,4	2,6	1,3	296
168	Busci	Flysch	923	553	82	25,7	8,5	1,3	0,009	356	14,6	15,5	0,7	489
169	Palarzano	Calcareo	1010	280	57	0,7	2,2	0,1	0,005	172	2,6	2,3	0,5	235
170	Fonte	Calcareo-marnosa	820	726	101	29,9	9,8	13,5	0,013	418	21	16,6	59,5	609
171	d'Abruzzo	Marnosa	945	440	105	2	2,5	0,4	bdl	300	5,7	4,3	0,1	415
172	Cabbia2	Marnosa	1090	334	71	1	8	1,3	0,009	212	17,5	12,7	1,4	312
173	Ete Palomba	Marnosa	1191	298	84	2,3	2,3	0,4	12	189	4,4	2,4	0,8	283
	Pozzo Cascina	Calcareo	1023	335	68	0,8	2,6	0,1	0,005	202	2,1	1,7	4,5	281
	Pozzo Cabbia	Calcareo	1115	398	83	2,2	2,2	0,4	82	272	3,9	2,6	0,1	364

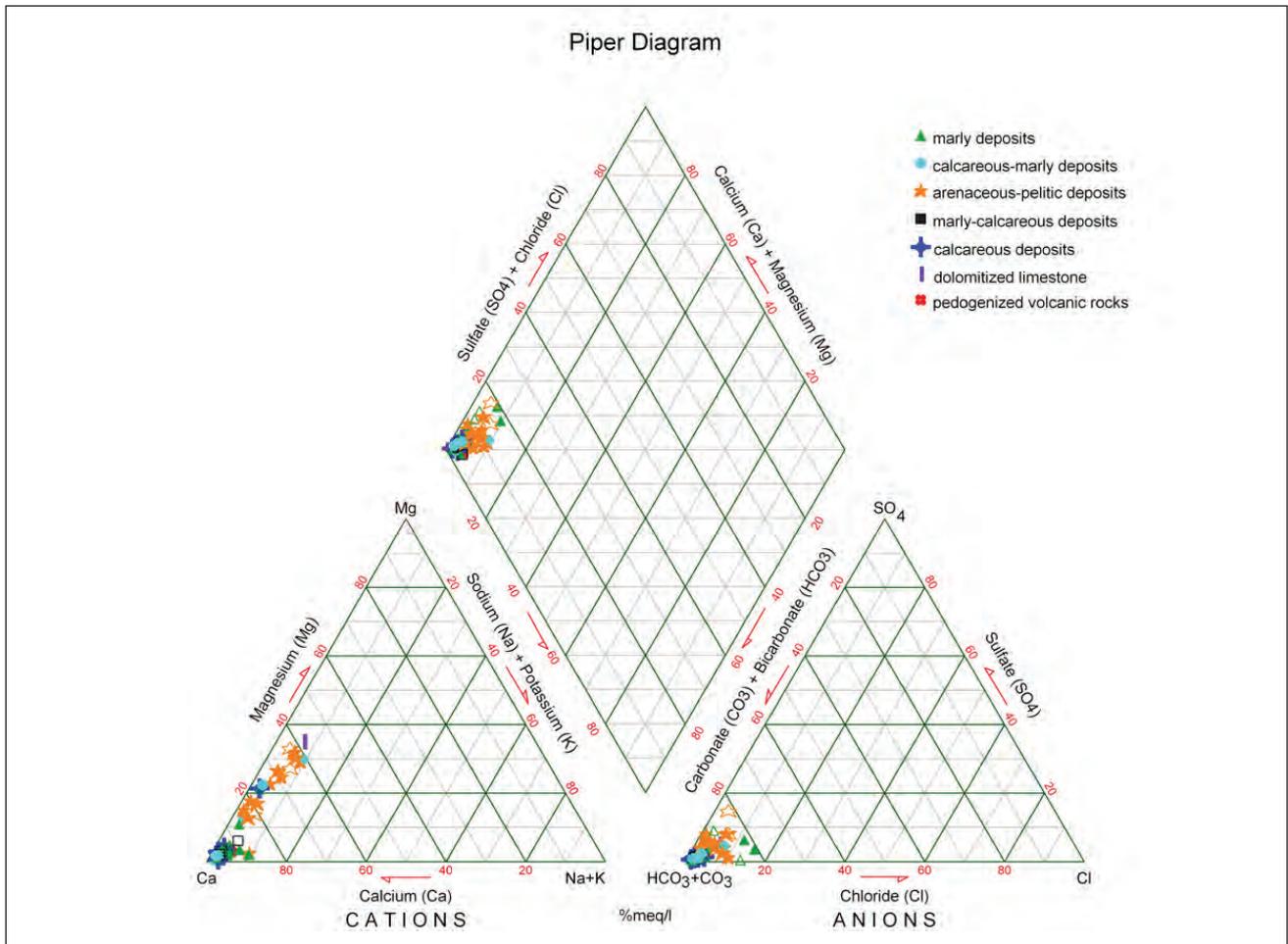


Fig. 10 – Diagramma di Piper delle acque sorgive analizzate affiliate a depositi arenaceo-pelitici (stelle arancio piene); depositi calcarei di piattaforma carbonatica (croci blu piene); depositi marnoso-calcarei di margine/scarpa (quadrati neri piene); depositi calcareo-marnosi pelagici (cerchi blu piene); depositi marnosi pelagici (triangoli verdi piene); calcari dolomitizzati (linea verticale viola piena); rocce vulcaniche pedogenizzate (quadrati rossi piene). I simboli vuoti si riferiscono a campioni provenienti da aree limitrofe nei pressi del lago di Campotosto e di M. S. Franco (da AMANTI *et alii*, 2012).

– Piper diagram of the analysed spring water samples affiliated to arenaceous-pelitic deposits in flysch environment (full orange star); calcareous deposits of carbonate platform environment (full blue cross); marly-calcareous deposits of marine slope margin environment (full black square); calcareous-marly deposits of marine pelagic environment (full light-blue circle); marly deposits of marine pelagic environment (full green triangle); dolomitized limestone (full violet vertical stick); pedogenized volcanic rocks (full red square). Open symbols refer to samples from the neighboring areas of Campotosto Lake and S. Franco Mt. (from AMANTI *et alii*, 2012).

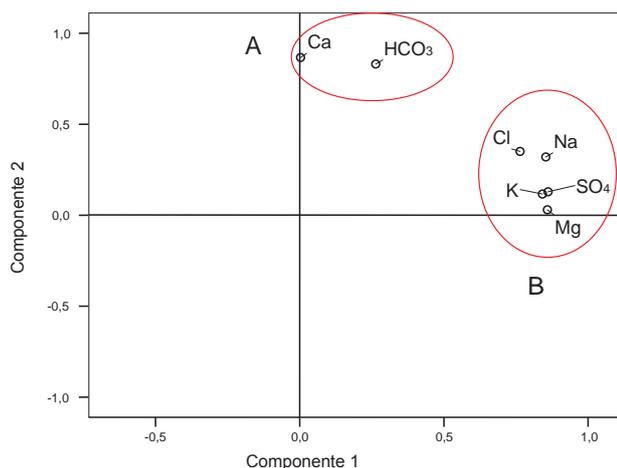


Fig. 11 – Score plot fattoriale delle componenti 1 e 2 nello spazio rotato dei principali parametri analizzati (modificato da AMANTI *et alii*, 2012). Sono stati evidenziati i gruppi A e B citati nel testo.

- Factor score plot of component 1 and 2 in rotated space of the main analyzed parameters (modified from AMANTI *et alii*, 2012). A and B groups defined in the text have been evidenced.

cui scorre il corso d'acqua sono molto diffuse quelle dei complessi idrogeologici del Flysch e Marnoso-Calcareo e Marnoso, con la presenza dei terreni dei complessi idrogeologici Calcareo-Marnoso, Calcareo Superiore e Basale e subordinatamente Sabbioso-Conglomeratico e Detritico nei tratti tra casale d'Abruzzo e Marana e tra Cavallari e San Vittorino.

Le inesistenti o scarse portate del flusso di base dei tributari dei fiumi Corno, Tronto e Vomano non hanno reso necessario il monitoraggio di tali corsi d'acqua con stazioni in alveo. A tale proposito, è verosimile che tali caratteristiche del flusso di base dei suddetti fiumi siano dovute, riguardo al F. Corno, alla presenza di terreni

dei complessi Calcareo-Marnoso e Calcareo Superiore e Basale aventi elevati coefficienti d'infiltrazione mentre per i fiumi Tronto e Vomano all'affiorare di formazioni dei complessi del Flysch aventi scarsa potenzialità idrogeologica e quindi scarsa attitudine a cedere acque in alveo, soprattutto nei periodi di magra.

4.5. - POZZI

Nell'area del Foglio la maggiore concentrazione di pozzi per acqua si riscontra nelle rare e relativamente poco estese zone di pianura, nelle valli fluviali e, più in generale, dove maggiore è la necessità di soddisfare il fabbisogno idrico locale, come nelle aree a maggiore densità abitativa, dove gli apporti sorgivi sono insufficienti. La limitata estensione delle piane (dove peraltro molti prelievi interessano le falde superficiali) e la forte disomogeneità distributiva dei punti d'acqua non hanno consentito di rappresentare su carta, con significativo dettaglio, le isofreatiche delle falde idriche maggiormente produttive. Inoltre, i pozzi che attingono alle falde superficiali per irrigazione, vista la non diffusa presenza di pratiche agricole intensive, prelevano verosimilmente quantità non rilevanti di risorsa idrica che, oltretutto, è parzialmente restituita in falda per re-infiltrazione.

Si evidenzia che sono stati considerati e riportati in carta i soli pozzi ritenuti più rilevanti per la caratterizzazione delle falde sotterranee maggiormente produttive ed alcuni sondaggi stratigrafici dalle cui informazioni si è potuta stabilire la presenza (o l'assenza in caso d'informazione negativa) di falde acquifere.

Tab. 5 - Dati riassuntivi delle sorgenti lineari nell'area del Foglio Antrodoco.

- Report of significant information on the main linear springs of the Antrodoco Sheet area.

N. scheda	Denominazione	Quota monte m s.l.m.	Quota valle s.l.m.	Date mm/aa	Q magra media	CE media $\mu\text{S}/\text{cm}$	T _{H₂O} media °C	pH media
1	Velino790-775	790	775	07/05; 08/06	280	440	14,1	8,2
2	Velino755-740	755	740	07/05; 08/06	30	459	10,9	8,3
3	Ratto915-800	915	800	07/05; 08/06	40	478	15	8,7
4	Ratto760-730	760	730	07/05; 08/06	70	465	11,7	8,1
5	Aterno780-740	780	740	07/05; 08/06	60	508	14,5	8,5
6	Aterno712-690	715	690	07/05; 08/06	75	508	20,9	7,8
7	Velino470-450	470	450	07/05; 08/06	1120	857	14,7	7,4

N.B.:
 1) le sorgenti 1 e 2 sono citate nel testo come sorgente Velino790-740;
 2) le sorgenti 3 e 4 sono citate nel testo come sorgente Ratto915-730;
 3) le sorgenti 5 e 6 sono citate nel testo come sorgente Aterno780-740/712-690.

5. - IDROLOGIA DI SUPERFICIE

Il territorio del Foglio Antrodoco include, a NW, un limitato settore di alcuni tributari in destra idrografica del Bacino del fiume Corno. Vi è quindi un'estesa fascia, con orientazione NE-SW, interessata dal settore di monte del Bacino del fiume Velino, compreso il sottobacino del fiume Ratto, che occupa la parte settentrionale, centrale e sud-occidentale del Foglio. A NE, vi sono porzioni dell'alto corso dei bacini idrografici dei fiumi Tronto e Vomano. Inoltre, compare la porzione dell'alto corso del fiume Aterno, compresa tra le sorgenti presso Montereale, a N, fino a S. Vittorino di L'Aquila, a S, e porzioni molto limitate del sottobacino del fiume Raio. Il bacino endoreico della piana di Cascina è interamente compreso all'interno del foglio nel settore centro-meridionale.

5.1. - BACINO DEL VELINO

Il fiume Velino è un affluente di sinistra del fiume Nera, che è a sua volta affluente di sinistra del fiume Tevere. Il fiume Velino nel suo alto corso taglia il territorio del Foglio Antrodoco dal mezzo del suo lato N, in prossimità della frazione Collicelle di Cittareale, fino verso l'angolo SW, appena oltre l'abitato di Borgovelino. Il suo bacino (superficie totale compresa nel Foglio 264 km²) include il sottobacino del fiume Ratto (49 km²). Questo sottobacino, all'altezza dell'abitato di Posta, divide, nell'ambito del Foglio, il Bacino del Velino in un settore di monte (da Collicelle a Posta) e in un settore di valle (da Posta a Borgovelino), con caratteristiche differenti. Nel settore di monte il F. Velino ha maggiori caratteristiche di naturalità, essendo la prima derivazione lungo il suo corso all'altezza dell'abitato di Posta, ha regime perenne con una portata media nel periodo luglio 2005-luglio 2008 pari a 189 l/s, stazione Cittareale Marianitto, e 421 l/s, stazione Posta Bacugno (portata di massima magra, interpretabile come flusso di base: 26 l/s, stazione Cittareale Marianitto; 107 l/s, stazione Posta Bacugno). Riguardo al F. Ratto, la portata media nello stesso periodo è pari a 196 l/s (portata di massima magra, interpretabile come flusso di base: 37 l/s; stazione Borbona Molino Trebbia). Sono state rilevate diffuse venute d'acqua convogliate nel tratto fluviale in prossimità di Collicelle, al bordo settentrionale dell'area del Foglio (poco più a monte ha origine il Velino). Da questo punto in poi sono stati selezionati i punti stazione lungo l'alveo fluviale per valutare i rapporti tra acque sotterranee e superficiali. Nella tabella 6 sono

rappresentate le situazioni dei mesi di luglio 2005 e luglio-agosto 2006, che contraddistinguono periodi di magra, stimate tramite il calcolo del bilancio delle portate fluviali lungo l'asta del fiume Velino, ottenute, come già riportato, sottraendo l'eventuale contributo dei fossi tributari alla portata di deflusso superficiale in corrispondenza delle sezioni di misura.

Il contributo delle acque sotterranee al deflusso superficiale è variabile lungo il corso del F. Velino. D'interesse è che i tratti fluviali compresi tra le stazioni di misura di Cittareale S. Giusta e Cittareale S. Croce e tra Posta Colle Capanna e Posta Bacugno hanno rivelato drenaggi rispettivamente di circa 48 e 201 e di circa 36 e 7 l/s per km lineare di alveo, riferiti nell'ordine ai due periodi di monitoraggio. Tali drenaggi sono verosimilmente dovuti all'apporto di acque sotterranee provenienti dalle strutture idrogeologiche situate in destra idrografica del F. Velino (M. Boragine e M. Nocella- C.le Moretto). Sono inoltre da segnalare le perdite in alveo tra Posta Picciamme e Posta Macchielone (65 e 25 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006). Tali perdite sono probabilmente imputabili ad infiltrazioni in subalveo e/o verso i terreni calcareo-marnosi sub-affioranti. Altri tratti non hanno mostrato significativi scambi idrici (<10 l/s), oppure differenze sostanziali di scambio tra i due periodi di magra investigati, come tra Cittareale Collicelle e Cittareale Marianitto (-8 e +58 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006), tra Cittareale Marianitto e Cittareale S. Giusta (+2 e -242 l/s/km rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006), e tra Posta Bacugno e Posta Picciamme (-3 e +9 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006), spiegabili con la probabile variabilità nel tempo della posizione degli spartiacque sotterranei. La traversa fluviale di Posta, che è risultata derivare circa 180 e 220 l/s rispettivamente nei due periodi di monitoraggio, separa idraulicamente il settore di monte da quello di valle del F. Velino.

Il tratto fluviale del Velino a valle della traversa di Posta, dalla stazione Posta traversa fluviale fino a quella di Sigillo C.li S. Giovanni rivela limitati incrementi in alveo (8 e 2 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006), mentre più a valle, fino a Sigillo Lodonero, evidenza invece diffuse dispersioni in alveo (totale tra Sigillo C.li S. Giovanni e Sigillo Lodonero 264 e 522 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006). Il tratto tra la stazione di misura Sigillo Lodonero fino alla confluenza del Fosso dei Maiori si presenta nella condizione di alveo stagionalmente secco (e.g., perdita stimata 125 l/s

Tab. 6 – Risultati delle misure di portata in alveo di luglio 2005 e luglio-agosto 2006, rappresentative delle condizioni di magra, e dei calcoli dello scambio idrico lungo i corsi d'acqua del bacino idrografico del fiume Velino.

- Results of stream discharge field measurement on July 2005 and July-August 2006, representative of low-water conditions, and of hydraulic exchange calculations along the stream courses of the hydrographical basin of the Velino River.

BACINO FIUME VELINO		Campagna misure di luglio 2005						Campagna misure di luglio-agosto 2006					
	Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante-disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Ratto (m ³ /s)	Fiume Velino (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Ratto (m ³ /s)	Fiume Velino (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita/km (l/s/km)
1	Cittareale Collicelle	820				0,216					0,157		
2	Cittareale Marianitto	810				0,21					0,197		
	Calcolo scambio idrico: 2-1		0,69				-0,006	-8				0,04	58
3	Marianitto Pacino	810		0,038		0,038			0,376		0,376		
4	Cittareale S.Giusta	790				0,251					0,234		
						-----					-----		
5	Cittareale S.Giusta (correzione: 4-3)					0,213					-0,142		
	Calcolo scambio idrico: 5-2		1,4				0,003	2				-0,339	-242
6	S.Giusta Sorgenti	785		0,039		0,039			0,045		0,045		
7	S.Croce Canapine	775		0,007		0,007			0,007		0,007		
8	Cittareale S.Croce	770				0,371					0,372		
						-----					-----		
9	Cittareale S.Croce (correzione: 8-7-6)					0,324					0,32		
	Calcolo scambio idrico: 9-5		2,3				0,111	48				0,462	201
10	S.Croce Vene	775		0,009		0,009			0,009		0,009		
11	Posta Colle Capanna	755				0,34					0,329		
						-----					-----		
12	Posta Colle Capanna (correzione: 11-10)					0,331					0,32		

segue

	Calcolo scambio idrico: 12-9		1,6			0,007	4			0	0
13	Bacugno Ranaro	740		0,007	0,007			0,007	0,007		
14	Posta Bacugno	740			0,383				0,336		
					-----				-----		
15	Posta Bacugno (correzione: 14-13)				0,376				0,329		
	Calcolo scambio idrico: 15-12		1,25			0,045	36			0,009	7
16	Posta Picciami	730			0,378				0,349		
	Calcolo scambio idrico: 16-14		1,5			-0,005	-3			0,013	9
17	Bacugno Capo d'Acqua	745		0,08				0,156			
18	Bacugno Picciami	725		0,084	0,084			0,156	0,156		
19	Picciami Piedimerdenti	730		0,017	0,017			0,027	0,027		
20	Posta Macchielone	710			0,382				0,494		
					-----				-----		
21	Posta Macchielone (correzione: 20-19-18)				0,281				0,311		
	Calcolo scambio idrico: 21-16		1,5			-0,097	-65			-0,038	-25
22	Borbona Capo Fano	915			0,002				0		
23	Borbona Cauccio	890		0,016	0,016			0,008	0,008		
24	Borbona Lonaro	830			0,043				0,057		
					-----				-----		
25	Borbona Lonaro (correzione: 24-23)				0,027				0,049		
	Calcolo scambio idrico: 25-22		4			0,026	6			0,049	12

26	Borbona S.Angelo	800			0,058					0,049			
	Calcolo scambio idrico: 26-24		2,1				0,015	7				-0,008	-4
27	Borbona Vaglio	780		0,002	0,002				0,002	0,002			
28	Borbona Cretoni	780			0,065					0,065			
					-----					-----			
29	Borbona Cretoni (correzione: 28-27)				0,063					0,063			
	Calcolo scambio idrico: 29-26		1,75				0,005	3				0,014	8
30	Cretoni La Piaia	780		0,003	0,003				0,002	0,002			
31	Borbona Campo Sportivo	760			0,07					0,088			
					-----					-----			
32	Borbona Campo Sportivo (correzione: 31-30)				0,067					0,086			
	Calcolo scambio idrico: 32-29		1,35				0,004	3				0,023	17
33	Borbona Molino Trebbia	730			0,089					0,162			
	Calcolo scambio idrico: 33-31		2,4				0,019	8				0,074	31
34	Posta traversa fluviale	710				0,153					0,274		
35	Ratto confluenza Velino	710			0,082	0,082				0,043	0,043		
36	Sigillo C.li S.Giovanni	690				0,255					0,323		
						-----					-----		
37	Sigillo C.li S.Giovanni (correzione:36-35)					0,173					0,28		
	Calcolo scambio idrico: 37-34		2,5				0,02	8				0,006	2
38	Sigillo C.le Valenzano	650				0,147					0,265		
	Calcolo scambio idrico: 38-36		1,7				-0,108	-63				-0,058	-34

segue

39	Sigillo Ponte Vecchio	640			0,127					0,17		
	Calcolo scambio idrico: 39-38		0,5								-0,095	-190
40	Sigillo Valle Scura	630		0,137	0,137			0,083		0,083		
41	Sigillo depuratore	620			0,225					0,111		
					-----					-----		
42	Sigillo depuratore (correzione: 41-40)				0,088					0,028		
	Calcolo scambio idrico: 42-39		0,59								-0,142	-241
43	Sigillo Lodonero	580			0,131					0,054		
	Calcolo scambio idrico: 43-41		1								-0,057	-57
44	Antrodoco Maiuri	510		0,056	0,056			0,02		0,02		
45	Antrodoco ponte ferrovia	495			0,353					0,078		
					-----					-----		
46	Antrodoco ponte ferrovia (correzione:45-44)				0,297					0,058		
	Calcolo scambio idrico: 46-43		8								0,004	1
47	Antrodoco Velino	480								0,059		
	Calcolo scambio idrico: 47-46		0,85								-0,09	1
48	Antrodoco ponte chiesa	470			0,306					0,048		
	Calcolo scambio idrico: 48-47		1,4								-0,011	-8
	Calcolo scambio idrico: 48-46		2,2					0,009	4			
49	Borgovelino Ponte Basso	450			1,139					1,464		
	Calcolo scambio idrico: 49-48		2,25								1,416	629

nella magra 2006). Anche tali perdite sono probabilmente dovute ad infiltrazioni in subalveo e/o verso i terreni calcareo-marnosi sub-affioranti.

Il tratto tra Sigillo Lodonero e Antrodoco ponte ferrovia drena di nuovo acque sotterranee (21 l/s/km a luglio 2005 e solo 1 l/s/km a luglio-agosto 2006); tali incrementi sono verosimilmente dovuti al contributo di acque sotterranee provenienti dalle strutture idrogeologiche situate in sinistra idrografica del F. Velino (M. Giano), probabilmente anche attraverso vie preferenziali quali elementi tettonici parzialmente sepolti. Segue un tratto con limitati scambi idrici tra Antrodoco ponte ferrovia-Antrodoco ponte chiesa (+4 e -7 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006) ed infine, nell'ultimo tratto di competenza del territorio del Foglio, tra le stazioni Antrodoco ponte chiesa e Borgovelino Ponte Basso, il corso del F. Velino assume portate superiori a 1 m³/s, dopo incrementi di 370 e 629 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006, probabilmente anche in questo settore quale contributo proveniente dalle strutture idrogeologiche situate in sinistra idrografica del F. Velino (M. Giano-M. Gabbia-M. Nuria). In questo tratto di valle, ad ogni modo, per un corretto bilancio idrico in alveo sarebbe necessario considerare le effettive derivazioni e restituzioni in alveo a scopo idroelettrico; quest'ultime peraltro avvengono in modo irregolare nel tempo. Anche per questo motivo sono state riscontrate forti diversità, anche a scala stagionale, delle portate registrate alla stazione idrometrica di Antrodoco.

Riguardo al fiume Ratto sono stati rilevati stagionalmente asciutti i tratti a monte delle stazioni di misura Borbona Capo Fano (luglio 2005) e della confluenza nel Ratto del Torrente Cauccio (luglio-agosto 2006).

Il tratto a valle di queste fino alla stazione Borbona Lonaro ha evidenziato un drenaggio di acque sotterranee di 6 e 12 l/s/km, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006.

Nel tratto tra Borbona Lonaro e Borbona S. Angelo è stato evidenziato un incremento (7 l/s/km) solo nel luglio 2005, mentre in luglio-agosto 2006 si è avuto una leggera dispersione in falda (4 l/s/km). A valle, fino alla stazione di Borbona campo sportivo si sono avuti limitati incrementi di portata in alveo, per un totale di 6 l/s/km a luglio 2005 e di 25 l/s/km in luglio-agosto 2006, risultati più significativi tra l'ultima stazione citata e quella di Borbona Molino Trebbia (8 e 31 l/s, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006), prima dell'immissione del fiume nel piccolo Bacino idrico del Ratto (circa 0,01 km²). Tali incrementi, generalmente di modesta entità, sono

verosimilmente dovuti al contributo di acque provenienti dagli orizzonti a granulometria più grossolana ospitati nei complessi Marnoso-Calcareo e dei Flysch, localmente intercettati a livello dell'alveo del F. Ratto.

Inoltre, il F. Ratto riversa in magra nel F. Velino, a valle del bacino idroelettrico, una portata idrica di alcune decine di l/s (82 e 43 l/s nelle due successive campagne di monitoraggio). Pertanto, la portata derivata dal Bacino del Ratto a scopo idroelettrico, considerando anche il contributo della suddetta derivazione dalla traversa fluviale di Posta, è stata variabile tra 190 e 340 l/s, rispettivamente a luglio 2005 e luglio-agosto 2006. Riguardo ai corsi d'acqua minori in destra idrografica del F. Velino, si è rilevato che il Fosso di Favischio è generalmente secco durante tutto l'anno idrologico, probabilmente perché la presenza di terreni prevalentemente calcarei e calcareo-marnosi ne favorisce la funzione di area d'infiltrazione e di ricarica di acquiferi basali ospitati nelle idrostrutture di V. Lunga-Montagnola e M. Nocella-C.le Moretto.

5.2. - BACINO DEL CORNO

Il fiume Corno è affluente di sinistra del F. Nera (a sua volta affluente di sinistra del F. Tevere). I suoi affluenti Torrente Valle Lunga e, per un brevissimo tratto, Torrente Vallonina, con i loro fossi tributari, interessano la parte NW del Foglio Antrodoco (superficie totale compresa nel Foglio 66 km²). In particolare, i sottobacini del Fosso Veticone e del Fosso Carpineto, affluenti del T. Valle Lunga, occupano la maggior parte dell'area ricadente nel Foglio e sono tutti corsi d'acqua a carattere stagionale e con portate idriche limitate anche nel periodo invernale, probabilmente poiché i loro alvei poggiano su aree occupate dai complessi calcareo basale e calcareo-marnoso, ad elevato coefficiente d'infiltrazione (aree di ricarica). La portata di morbida osservata nell'alveo del T. Valle Lunga, che è asciutto in magra estiva e scorre nel Complesso delle Alluvioni, è piuttosto limitata e variabile ed è compresa tra 1-10 l/s.

5.3. - BACINO DEL F. ATERNO

Il fiume Aterno è considerato insieme al fiume Pescara un unico bacino idrografico di primo ordine. L'alto corso del F. Aterno, fino all'abitato di S. Vittorino di L'Aquila, interessa gran parte del settore SE del territorio del Foglio Antrodoco. Oltre al suo bacino principale (superficie totale compresa nel Foglio 174 km²), è rappresentata nella parte centro-meridionale del Foglio una porzione

del sottobacino del fiume Raio (12 km²). L'Aterno nasce sopra la Sella di Aringo, sulle pendici del Monte Capo-Cancelli, nel sistema orografico dei Monti della Laga, a 1013 m s.l.m. L'area sorgiva è localizzata nei terreni arenaceo-pelitico-marnosi delle formazioni flyschoidi. Nel tratto iniziale il corso d'acqua attraversa l'antico bacino lacustre di Montereale in direzione da NE a SW. Qui gli apporti sono principalmente a carico del reticolo di drenaggio in assenza di scambio idrico sotterraneo con i terreni circostanti, data la scarsa permeabilità dei sedimenti della piana. In prossimità dell'abitato di Montereale, nella frazione di Piè di Colle, è presente un piccolo lago artificiale denominato "*S. Maria in Pantanis*" avente un'estensione di circa 0,05 km² ed una profondità di circa 2 metri, formato a seguito delle attività estrattive in una cava di argilla ed ora utilizzato per scopi ricreazionali, compresa la pesca sportiva. Il suo emissario è costituito da un canale artificiale che nella frazione di Aringo convoglia una parte delle acque del F. Aterno.

A sua volta il lago alimenta, tramite un piccolo canale, il Torrente Mandragone che fiancheggia la sua sponda orientale per poi ricongiungersi al corso dell'Aterno. A circa due chilometri a SW di Montereale, il corso dell'Aterno curva verso SE, lungo un primo tratto incassato e drenante (Gole di S. Lorenzo), attraverso i terreni delle successioni dei complessi calcareo-marnosi. Il tronco fluviale assume un andamento quasi rettilineo lungo un secondo tratto, di circa sette chilometri, anch'esso fortemente inciso, fino a S. Giovanni, frazione del comune di Cagnano Amiterno. In tale tratto è presente la fascia collinare interessata dai complessi marnoso-calcareo e dei flysch che borda i rilievi rocciosi di M. Gabbia e di M. Rotondo mentre più a valle sono presenti i complessi carbonatici della dorsale.

A partire dall'abitato di Barete si apre, verso SE, la porzione settentrionale della piana (o bacino) di Scoppito-L'Aquila, di origine tettonica. L'Aterno, in tale tratto, scorre sui depositi di colmamento della depressione costituiti da terreni alluvionali lacustri e di versante, a granulometria varia, del complesso delle alluvioni e del complesso conglomeratico-detritico. All'altezza di S. Vittorino (poco oltre il limite sudorientale del foglio), dopo un altro restringimento della sezione valliva, avviene un cambio di direzione dell'Aterno verso Est in aree al di fuori dell'area interessata. La presenza di un reticolo idrografico molto complesso e ramificato (comprendente anche il sistema sorgivo del F. Aterno) non ha reso possibile nel tratto a monte della stazione di misura di Casale d'Abruzzo una selezione di siti realisticamente af-

fidabile per il posizionamento di stazioni di controllo della portata idrica. Pertanto le stazioni di misura seriate lungo l'alveo fluviale per valutare i rapporti tra acque sotterranee e superficiali sono state scelte procedendo verso valle del suddetto sito. Il F. Aterno all'interno del foglio ha regime generalmente perenne con una portata media nel periodo luglio 2005-luglio 2008 pari a 234 l/s alla stazione Montereale Casale d'Abruzzo, 659 l/s a Cagnano S. Pelino e 279 l/s a S. Vittorino Molino; la portata di massima magra, interpretabile come flusso di base, è di 14 l/s a Montereale Casale d'Abruzzo, 30 l/s a Cagnano S. Pelino e nulla a S. Vittorino Molino. Infatti, a valle della stazione di misura della portata idrica di Pizzoli Cavallari, l'alveo è risultato stagionalmente secco (e.g., luglio 2005). Nella tabella 7 sono rappresentate le situazioni dei mesi di agosto 2005 e agosto 2006, relative a periodi di magra, stimate tramite il calcolo del bilancio delle portate fluviali lungo l'asta del F. Aterno, ottenute anche qui sottraendo il contributo dei fossi tributari alla portata di deflusso superficiale in corrispondenza delle sezioni di misura.

Il contributo delle acque sotterranee al deflusso superficiale è variabile lungo il corso del F. Aterno. Infatti, è stato evidenziato un primo tratto con perdite idriche in alveo dalla stazione Casale d'Abruzzo a quella di Marana I di Montereale (88 e 14 l/s/km; le misure si riferiscono nell'ordine ai due periodi di monitoraggio), seguito da un tratto, tra quest'ultima stazione e quella di S. Pelino di Cagnano Amiterno, caratterizzato da drenaggio in alveo con differenze di distribuzione quantitativa tra i singoli tratti per un totale di 31 e 34 l/s/km (rispettivamente nei due periodi di magra considerati). Si hanno di nuovo dispersioni in alveo tra S. Pelino di Cagnano Amiterno a S. Eusanio di Barete (37 e 34 l/s/km, rispettivamente ai due periodi considerati), ancora drenaggio in alveo da S. Eusanio di Barete a Cavallari di Pizzoli (13 e 21 l/s/km) ed infine, tra Cavallari di Pizzoli e S. Vittorino molino di L'Aquila, perdite (49 e 25 l/s/km). Tali situazioni di scambi idrici sono dovute all'alternarsi di tratti con infiltrazioni in subalveo e/o verso terreni calcarei/calcareo-marnosi localmente sub-affioranti e di tratti alimentati da acque sotterranee provenienti dalle strutture idrogeologiche situate in sinistra idrografica del F. Aterno (M. Marine-C.le Grande), probabilmente anche attraverso vie preferenziali quali elementi tettonici parzialmente sepolti.

Come specificato in precedenza, la stazione idrometrica di Tre Ponti sul F. Aterno non dispone di misure per il periodo di indagine del presente lavoro.

Tab. 7 – Risultati delle misure di portata in alveo di agosto 2005 e agosto 2006, rappresentative delle condizioni di magra, e dei calcoli dello scambio idrico lungo i corsi d'acqua del bacino idrografico del fiume Aterno.

- Results of the stream discharge field measurement on August 2005 and August 2006, representative of low-water conditions, and of exchange calculations along the stream courses of the hydrographical basin of the Aterno River.

BACINO FIUME ATERNO		Campagna misure di agosto 2005				Campagna misure di agosto 2006				
Nome stazione di misura	Quota s.l.m. (m)	Tratto drenante-disperdente (km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Aterno (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita/km (l/s/km)	Corsi d'acqua secondari (m ³ /s)	Fiume Aterno (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita in alveo (m ³ /s)	Drenaggio-Perdita/km (l/s/km)
1	Monteale Casale d'Abruzzo	795		0,184				0,091		
2	Monteale Marana I	790		0,09				0,106		
	Calcolo scambio idrico: 2-1	1,075			-0,094	-88			0,015	14
3	Monteale Marana II	785		0,098				0,11		
	Calcolo scambio idrico: 3-2	0,875			0,008	9			0,004	5
4	Monteale Marana Cabbia	800	0,027	0,027			0,021	0,021		
5	Monteale km12 S471	780		0,114				0,159		
				-----				-----		
6	Monteale km12 S471 (correzione:5-4)			0,088				0,138		
	Calcolo scambio idrico: 5-3	1,7			0,016	10			0,049	29
7	Cagnano Rio	770	0,022	0,022			0,022	0,022		
8	Cagnano S.Pelino	740		0,158				0,161		
				-----				-----		
9	Cagnano S.Pelino (correzione: 8-7)			0,136				0,139		
	Calcolo scambio idrico: 9-6	3,9			0,048	12			0,001	0
10	Barete S.Eusanio	712		0,036				0,047		
	Calcolo scambio idrico: 10-8	3,35			-0,122	-37			-0,114	-34
11	Pizzoli Cavallari	690		0,095				0,139		
	Calcolo scambio idrico: 11-10	4,4			0,059	13			0,092	21
12	S.Vittorino Molino	670		0				0,09		
	Calcolo scambio idrico: 12-11	1,95			-0,095	-49			-0,049	-25

5.4. - BACINO DELLA PIANA DI CASCINA

Le conche intermontane e le piane carsiche della dorsale di M. Gabbia-M. Giano caratterizzano il bacino endoreico della Piana di Cascina (44 km²).

Qui prevalgono le formazioni carbonatiche di piattaforma-scarpata, il reticolo di drenaggio su-

perficiale è molto ridotto, le emergenze sorgive sono di limitata importanza e gli apporti ai corsi d'acqua dei bacini adiacenti avvengono lungo percorsi sotterranei. Nelle porzioni marginali della dorsale da N ad E, lungo i rilievi dove affiorano le successioni terrigene di bacino-avanfossa a bassa permeabilità, si sviluppa un reticolo di drenaggio superficiale relativamente più evoluto.

5.5. - BACINO DEL TRONTO

Interessano la parte NE dell'area in studio i corsi d'acqua tributari di estremo monte del Bacino del fiume Tronto (superficie totale compresa nel Foglio 45 km²).

In particolare si evidenziano, tra i più importanti, il Torrente Castellano e il Rio di Scandarello, cui fanno da tributari una numerosa rete di fossi che, probabilmente a causa dell'impermeabilità dei terreni del Complesso del Flysch che costituiscono prevalentemente il loro alveo, conservano, seppure con discontinuità nel tempo, un minimo flusso in alveo, pur dell'ordine di una frazione di l/s, anche in alcuni momenti dei mesi di magra estiva. La portata massima osservata nell'alveo di detti corsi d'acqua è piuttosto variabile ed è compresa tra 1-10 l/s.

5.6. - BACINO DEL VOMANO

Il Bacino del fiume Vomano interessa una piccola porzione di territorio lungo il lato est del Foglio Antrodoco (superficie compresa nel Foglio 4 km²). Il corso d'acqua che attraversa questo territorio è il Rio Valle Ramata, immissario del lago di Campotosto, il cui braccio di SW è situato proprio nelle immediate vicinanze del margine del Foglio.

Tale Rio ha carattere di quasi perennità, nel senso che, anche se in modo irregolare nel tempo, mantiene un minimo di portata idrica in alveo, anche se di qualche frazione di l/s, favorita dalla presenza di emergenze idriche puntuali lungo l'alveo e dall'impermeabilità dei terreni, affiliati prevalentemente al Complesso del Flysch, su cui si imposta l'alveo stesso. La portata massima in questi corsi d'acqua è piuttosto variabile ed è compresa tra 1-10 l/s.

5.7. - VARIAZIONI DI PORTATA FLUVIALE NEL TEMPO

La figura 12 rappresenta la variazione di portata rispetto al tempo per le 6 stazioni di misura ritenute più significative nel bacino idrografico del Velino (sezioni Marianitto di Cittareale e Bacugno di Posta), del suo affluente Ratto (sezione Molino Trebbia di Borbona) e dell'Aterno (sezioni Casale d'Abruzzo di Montereale, S. Pelino di Cagnano Amiterno e Molino di S. Vittorino).

Dagli idrogrammi delle suddette sezioni si notano andamenti nel tempo tra loro molto simili ed è, inoltre, è stato possibile evidenziare che nel periodo indagato (maggio 2005-luglio 2008) si sono succeduti:

- un periodo di massima magra tra luglio/ago-

sto e ottobre/novembre (portata minima 26 l/s a Marianitto di Cittareale, 107 l/s a Bacugno di Posta, 37 l/s a Molino Trebbia di Borbona, 14 l/s a Casale d'Abruzzo di Montereale, 30 l/s a S. Pelino di Cagnano Amiterno e con alveo secco a Molino di S. Vittorino);

- un periodo di morbida principale in marzo/aprile-maggio/giugno (portata massima 769, 1726, 803, 810, 1330 e 1230 l/s, rispettivamente nelle sei sezioni sopra riportate);

- alcuni periodi di morbida relativa, temporalmente distribuiti in periodi apparentemente occasionali in differenti anni idrologici.

Nella figura 12 è stato confrontato l'andamento delle precipitazioni medie mensili cumulate rilevate nelle stazioni di Antrodoco e di Leonesse con le portate mensili rilevate nelle sezioni di misura.

È possibile rilevare in generale una corrispondenza dei massimi e minimi dei valori della portata rispetto a quelli delle precipitazioni, verosimilmente per la diffusa presenza di terreni con permeabilità medio-bassa nell'alveo dei corsi d'acqua principali, con la conseguente forte incidenza del ruscellamento delle acque meteoriche.

Le misure rilevate nella stazione idrometrica di Treponti sul fiume Aterno non sono disponibili per il periodo di indagine del presente lavoro; considerando comunque i valori medi annui di portata di Treponti (fig. 12) si nota una sostanziale corrispondenza nella posizione dei picchi di minima e di massima rispetto alle portate misurate nel periodo monitorato.

5.8. - DETERMINAZIONI CHIMICO-FISICHE *IN SITU* DELLE ACQUE SUPERFICIALI

Contestualmente alla misura mensile della portata in alveo, le indagini sono state integrate dall'esecuzione in situ di analisi di temperatura, conducibilità elettrica e pH delle acque.

Per quanto concerne la temperatura, i valori rilevati nei corsi d'acqua dei bacini nei fiumi Velino, Ratto e Aterno risentono delle variazioni della temperatura esterna e sono pertanto risultati compresi tra 4,5 e 25,2 °C. I valori maggiormente rappresentati per tale parametro sono invece compresi tra 8,6 e 21,0 °C. È d'interesse che gli intervalli di confidenza dei valori di tale parametro nei suddetti bacini fluviali sono maggiormente simili tra Velino a valle di Posta (12,2-18,4°C) e Aterno (12,2-21,0°C) da un lato e tra Velino a monte di Posta (8,6-14,4°C) e Ratto (9,7-16,1°C) dall'altro.

Riguardo al pH i valori rilevati rimangono normalmente in un intervallo di valori compre-

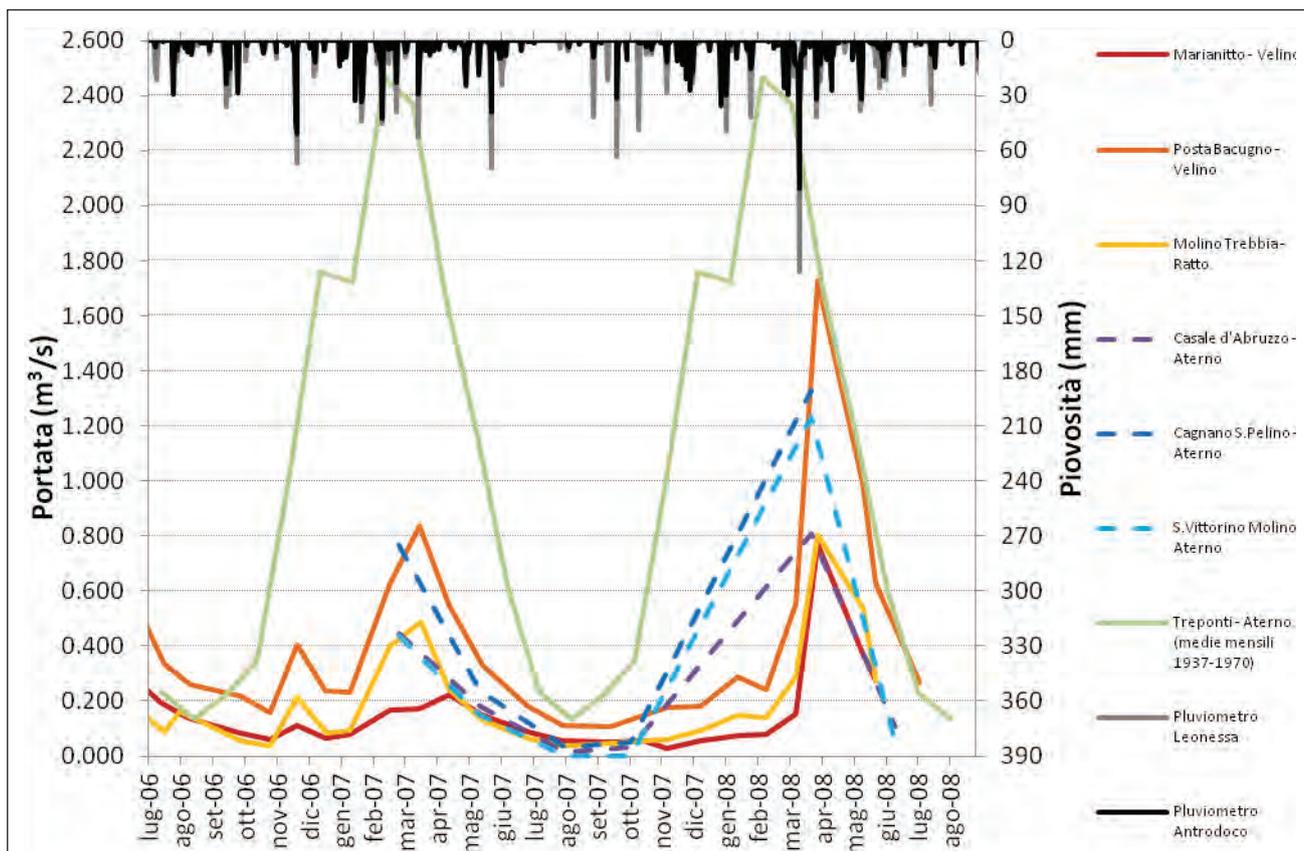


Fig. 12 – Variazioni della portata in alveo rispetto al tempo (periodo luglio 2006 - agosto 2008) nelle stazioni di controllo situate lungo il corso dei fiumi Velino, Ratto e Aterno. Per riferimento sono stati inseriti il tracciato delle portate medie mensili 1937-1970 della stazione idrometrica Treponti sul F. Aterno e della precipitazione media annua delle stazioni pluviometriche di Leonessa ed Antrodoco.

- Variation with time of river discharge values (from July 2006 to August 2008) in the control stations along the Velino, Ratto and Aterno stream course. Data about the mean annual discharge at the hydrometric station of Treponti along the Aterno River and about the mean annual precipitation at the pluviometric stations of Leonessa and Antrodoco have been also shown for reference.

si tra 6.79 e 9.37 (intervallo dei valori maggiormente rappresentati 7,38-8,84). Pertanto le acque possono essere nel complesso classificate in base al pH come da debolmente acide a discretamente alcaline.

Anche i valori di conducibilità elettrica rimangono normalmente in un ristretto intervallo di valori maggiormente rappresentati (291-558 $\mu\text{S}/\text{cm}$), ad eccezione del tratto del fiume Velino a valle di Posta, dove sono stati rilevati valori fino a 890 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ciò potrebbe essere spiegato con il miscelamento di acque di sorgenti solfato/solfuree, presenti nella zona in questione, con quelle superficiali. Il valore massimo delle rimanenti stazioni di misura nei corsi d'acqua è di 665 $\mu\text{S}/\text{cm}$. I valori minimi di tale parametro mostrano delle differenze tra quelle riguardanti i bacini dei fiumi Velino, Ratto e Aterno e sono rispettivamente di 278, 364 e 434 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Pertanto tali acque mostrano generalmente salinità media, tranne che per il tratto di valle del F. Velino le cui acque possono raggiungere una salinità alta.

6. - IDROLOGIA SOTTERRANEA E TENTATIVO DI VALUTAZIONE DEL BILANCIO IDROGEOLOGICO

Sulla base della ricostruzione geologico-strutturale e delle informazioni riguardanti gli elementi d'interesse idrogeologico ricavati dal presente studio, è stata effettuata una distinzione delle principali idrostrutture che interessano l'area in esame e per ognuna sono stati elaborati una ricostruzione delle caratteristiche idrogeologiche sotterranee e un tentativo di calcolo di bilancio idrogeologico.

Come primo approccio per l'individuazione delle idrostrutture sono stati utilizzati i valori di conducibilità elettrica specifica (CE) delle acque delle sorgenti censite e monitorate. Infatti, tale parametro idrogeologico si è dimostrato il più rappresentativo tra quelli rilevati, sia per la sua potenziale relazione con i litotipi costituenti le idrostrutture stesse sia per la sua buona ed omogenea distribuzione spaziale.

In base alla presenza di settori con sorgenti aventi simili valori di CE sono state preliminarmente individuate le idrostrutture, i cui limiti sono quindi stati tracciati definitivamente utilizzando gli elementi geologici e strutturali ritenuti di interesse idrogeologico. Sono state individuate le idrostrutture e sub-idrostrutture riassunte nella tabella 8. La loro distinzione in elementi di più limitata estensione, rispetto a quella di altri lavori idrogeologici di letteratura a scala più piccola (e.g., BONI *et alii*, 1986a, CAPELLI *et alii*, 2012), è stata effettuata anche per verificare, alla luce di considerazioni ad una scala, appunto, di maggior dettaglio, il quadro idrodinamico finora ricostru-

ito dagli Autori mediante i tentativi di calcolo di bilancio idrogeologico che seguono.

Sono stati quindi esaminati per ogni idrostruttura, considerata come possibile unità di bilancio:

a) le precipitazioni (P), stimate in base ai dati delle stazioni pluviometriche dell'Ufficio Idrografico della Regione Lazio e Abruzzo;

b) l'evapotraspirazione reale (E) calcolata mediante la formula di Thornthwaite, sulla base delle temperature medie mensili (T) valutate dai dati delle suddette stazioni meteo-climatiche;

c) il ruscellamento superficiale (R), stimato come percentuale degli apporti meteorici (da dati

Tab. 8 – *Principali caratteristiche delle idrostrutture individuate.*
- Main information on the defined hydrostructures.

Denominazione	Tipo	Quote (1) m s.l.m.	Q magra l/s	Q media l/s	Q _{max} l/s	CE μS/cm	T _{H₂O} °C	IE diretta* mm/a	IE attesa** mm/a	Δ IE (2) mm/a	Ricarica m ³ /a
M. Terminillo	idrostruttura	700÷1100	1	15	40	228÷580	6÷11 (3)	950	900÷1000	=	2,9*10 ⁸
M. Cambio	sub-idrostrutt.	1600÷1700	<4	10	25	228÷294	7÷10	250	950÷1050	+700÷800	3,1*10 ⁶
M. Porillo	idrostruttura	450÷1100	3	30	50	295÷573 (4)	6÷10 (3)	60	250÷350	+190÷290	1,8*10 ⁷
M. Tolentino s.s.	idrostruttura	900÷1000	<1	10	40	400÷450	10	5	600÷750	+595÷745	8,8*10 ⁶
M. Canestro	sub-idrostrutt.	1165	<1	<1	<1	200÷250	10	5	550÷650	+545÷645	0,9*10 ⁶
M. Nocella – C.le Moretto (settore di monte)	idrostruttura	1170÷1225	<1	170	400	290÷370	11÷12	250	600÷700	+350÷450	1,8*10 ⁷
(settore di valle)		790÷1060									
M.Cerasa	sub-idrostrutt.	1459÷1477	<0.1	<0.5	<1	250÷300	11÷12	5	550÷600	+445÷595	2,7*10 ⁶
M. Boragine (settore in quota)	idrostruttura	1050÷1750	<1	5	10	293÷350	7÷15	350 (5)	750÷800	-400÷450	9,1*10 ⁷
(settore verso valle del F.Velino)		740÷1228	300			359÷502					
V. Lunga – Montagnola	idrostruttura	890÷1125	<0.1	<1	2	406÷474	10÷15	5	600÷700	+595÷695	3,2*10 ⁷
C.le Lungo (settore)						519÷637					
M. Poponi – M. Mucchio	idrostruttura	700÷1100	1	5	10	328÷490	5÷14	100 (6)	250÷300	+150÷200	1,2*10 ⁷
M. Giano–M.Gabbia (Cascina; M.Cagno; M.Gabbia-M.Rua)	idrostruttura	800÷1200	<<1	<1	2	300÷500	7÷11	200	400÷550	+200÷350	6,7*10 ⁷
(Valle F. Velino)		500÷765	10	15	20-30	500÷800	11÷15				
M.Marine - C.le Grande	idrostruttura	716÷943	<<1	<1	2÷3	420÷590	9÷12	400 (7)	400÷500	=	5,3*10 ⁷

* IE calcolata col metodo "diretto"

** IE calcolata col metodo "indiretto"

(1) quote delle principali emergenze idriche affiliate all'idrostruttura

(2) +: surplus di IE (scambio idrico verso altre idrostrutture); -: deficit di IE (scambio idrico da altre idrostrutture); =: bilancio IE in equilibrio (scambio idrico trascurabile).

(3) alcune acque con T tra 14÷19°C

(4) mineralizzate: CE=750÷850μS/cm, T=10÷15°C; solfatiche: CE >2200, T=18°C

(5) include sorgente lineare Velino790-740 (300 l/s)

(6) include sorgente lineare Ratto915-730 (115 l/s)

(7) include sorgenti lineari Aterno780-740/712-690 (140 l/s)

di letteratura per simili situazioni geologiche in ambito regionale; BONI *et alii* 1986a, 1986b);

d) il coefficiente di infiltrazione potenziale (e.g., CELICO, 1988) dei complessi idrogeologici affioranti.

È stato quindi calcolato il parametro infiltrazione efficace annua (IE) con il metodo “indiretto” classico, definendo un modello matematico con copertura spaziale sull'intero territorio indagato suddiviso in celle di 20x20m. L'interpolazione dei valori di T nella griglia impostata, data la buona correlazione temperatura-quota delle stazioni di rilevamento, non ha evidenziato errori significativi, mentre la peggiore correlazione piovosità-quota ha invece comportato la scelta di effettuare l'interpolazione dei valori di P applicando il metodo dei topoi e la conseguente definizione di un “Reticolo di Thiessen”. I valori ottenuti con il metodo “indiretto” sono stati quindi confrontati con quelli desunti tramite il metodo “diretto” (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b). Quest'ultimo prevede di risalire, a partire dai valori di portata erogata dalle sorgenti e da quelli di estensione delle probabili aree di alimentazione, ai valori di IE (volume di acqua mediamente erogato dalle sorgenti di ogni idrostruttura “chiusa” diviso per la relativa area di alimentazione).

Le sorgenti lineari, ossia i tratti drenanti individuati durante i rilievi, sono state computate come portata in uscita dalle differenti idrostrutture, dopo un primo approccio quantitativo di bilancio idrogeologico, per verificare i valori di infiltrazione efficace stimati.

In definitiva, si è spesso riscontrata un'eccedenza di aliquota destinata all'infiltrazione efficace (tab. 8), come riportato nei prossimi paragrafi. Tale risorsa in eccedenza è in genere recapitata, anche attraverso vie preferenziali (e.g.: le faglie dirette che delimitano e/o sono presenti nella struttura), verso l'acquifero regionale basale residente nelle limitrofe facies carbonatiche di piattaforma fratturate e carsificate e/o verso altri acquiferi limitrofi, contribuendo alla portata di sorgenti puntuali e lineari di più bassa quota, quali le Sorgenti del Peschiera e, più in generale, le emergenze nella Piana di S.Vittorino di Cittaducale (per il settore reatino) e le sorgenti di base del versante NW del Monte Velino e di quello SW dei Monti del Gran Sasso (settore aquilano). Il quadro idrodinamico interpretato è stato rappresentato nella Carta idrogeologica allegata al presente lavoro e sostanzialmente conferma ed implementa quanto finora definito dagli Autori (e.g., CELICO, 1983a, 1983b; BONI *et alii*, 1986a, 1988, 1995; CAPELLI *et alii*, 2012).

Inoltre, sono state costruite 6 sezioni idrogeologiche interpretative (riportate a margine della Carta Idrogeologica allegata) secondo le orientazioni ritenute più significative per la comprensione delle caratteristiche idrogeologiche e idrodinamiche dell'area di studio. In particolare, si è tentato di chiarire il rapporto tra le idrostrutture e gli acquiferi in esse ospitati.

Sono state investigate:

a) nella parte settentrionale del Foglio, una traversa che partendo dalle idrostrutture carbonatiche situate a NW (idrostrutture di M. Tolentino s.s., di M. Nocella-C.le Moretto e di M. Boragine) arriva, con andamento circa W-E, fino oltre il fiume Velino ad interessare le idrostrutture caratterizzate dai terreni flyschoidi presenti nel settore NE;

b) nella parte occidentale del Foglio, una prima traccia che come la precedente parte dalle idrostrutture carbonatiche a NW (idrostrutture di M. Tolentino s.s., di V. Lunga-Montagnola) e termina, con andamento complessivo N-S, ai margini orientali della idrostruttura carbonatica di M. Terminillo e una seconda che dalla idrostruttura carbonatica di M. Terminillo, con andamento WNW-ESE, arriva ad interessare, attraversando il F.Velino, l'idrostruttura carbonatica di M. Giano fino all'inizio dell'area endoreica della piana di Cascina;

c) nella parte centro-meridionale del Foglio, una sezione con direzione SW-NE che attraversa l'idrostruttura carbonatica di M. Giano-M. Gabbia, compresa l'area endoreica della piana di Cascina, e arriva a toccare la parte SW della l'idrostruttura carbonatica di M. Marine-C.le Grande;

d) nella parte sud-orientale del Foglio, un transetto che dalla parte NE dell'idrostruttura carbonatica di M. Giano-M. Gabbia, con andamento circa SW-NE, attraversa tutta l'idrostruttura carbonatica di M. Marine-C.le Grande;

e) nella parte nord-orientale del Foglio, una traccia che, dal settore N della Piana di Montereale, attraversa con direzione SW-NE l'area di affioramento dei terreni flyschoidi di M. Civitella.

6.1. - IDROSTRUTTURA DI M. TERMINILLO

L'idrostruttura carbonatica di M. Terminillo è situata nella parte centro-meridionale del margine W del territorio del Foglio Antrodoco.

La porzione che ricade nel Foglio copre un'area di circa 60 km² (su circa 215 km² totali) ed è limitata dalle idrostrutture di M. Porillo a E, di V. Lunga-Montagnola a N e di M. Poponi-M. Mucchio a NE. È costituita principalmente dai terreni dei complessi idrogeologici Calcarea

Superiore e Calcarea Basale ma include piccole porzioni dei complessi Calcarea-Marnoso, Conglomeratico-Sabbioso e Detritico, dei Flysch e delle Alluvioni, che comunque rivestono un ruolo idrogeologico secondario.

Le sorgenti sono collocate prevalentemente in corrispondenza del tetto di formazioni marnose sub-affioranti al tetto del contatto tettonico inverso dei M. Sibillini che costituisce il margine orientale della struttura e rappresentano emergenze per soglia di permeabilità sottoposta. Affiorano in una fascia altimetrica compresa tra quote di circa 700 e 1100 m s.l.m. Le portate di magra di quelle perenni sono generalmente inferiori a 1 l/s (solo raramente raggiungono i circa 1-2 l/s), con medie normalmente nell'ordine di 10-15 l/s e le massime fino a qualche decina di l/s.

Alcune sorgenti sono captate ad uso di acquedotti locali o a servizio di fontanili rurali. I valori di CE delle acque di questa idrostruttura ricadono in un intervallo tra 228 e 580 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinità da bassa a media), le temperature tra 6.4 e 11.4 °C (una sola sorgente ha rivelato 14,5 °C) con pH da debolmente a mediamente alcalino (7.5-8.5).

Le sorgenti alimentate da questa struttura ricadenti nel foglio hanno portata totale di circa 100 l/s. Sorgenti di portata ben più elevata (fino a oltre 5000 l/s, Sorgente S. Susanna) hanno recapito nel settore occidentale della struttura, nell'ambito della Piana Reatina, nell'area Foglio 347 Rieti. I suddetti valori di portata erogata dalle sorgenti e quelli di estensione delle probabili aree di alimentazione hanno permesso di applicare il metodo di valutazione "diretta" dell'IE (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b). Pertanto, è stata calcolata per l'intera struttura una IE di circa 950 mm/a, compatibile con l'alta potenzialità acquifera attesa per idrostrutture costituite da complessi idrogeologici carbonatici alle condizioni meteo-climatiche locali (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012).

È probabile inoltre che acque provenienti da questa idrostruttura contribuiscano ad alimentare le sorgenti dell'area di Valle Pura, a N, e le sorgenti verso l'idrostruttura di M. Porillo, a E, attraverso percorsi sotterranei anche parzialmente in pressione canalizzati da linee tettoniche e/o strutturali.

Acquiferi sospesi di alta quota sono piuttosto frequenti nel sistema orografico del M. Terminillo, a causa della variabile permeabilità idraulica dei differenti litotipi presenti nella successione sedimentaria locale, con i termini meno permeabili che svolgono funzione di *aquitard* o *aquiclude*.

6.1.1. - *Sub-idrostruttura di M. Cambio*

Si trova nella parte NE della struttura idrogeologica di M. Terminillo ed è attraversata in superficie dallo spartiacque che divide due dei sottobacini idrografici del fiume Tevere (fiumi Corno e Velino). L'idrostruttura è caratterizzata dai depositi del complesso idrogeologico Calcarea Superiore. L'acquifero di alta quota individuato nell'idrostruttura è sospeso sui termini argilloso-marnosi delle Marne del Monte Serrone e della parte superiore della Corniola, che svolgono funzione di *aquitard* o *aquiclude*. Modeste tracce di carsismo sono presenti negli affioramenti dei calcari micritici.

L'idrostruttura di Monte Cambio è limitata a NE da una linea tettonica diretta subverticale e a S e a W dall'*aquiclude* basale, presente, ma non affiorante, anche nell'estremità NW. L'area sottesa da tali limiti misura circa 3 km². Attraverso la suddetta linea tettonica è possibile che avvengano processi di *drenance* dall'idrostruttura in studio verso l'acquifero basale, ospitato nel complesso Calcarea Basale. Le sorgenti censite sono collocate prevalentemente in corrispondenza del tetto di formazioni marnose affioranti ai margini della struttura come sorgenti per soglia di permeabilità sottoposta, in una fascia altimetrica compresa tra quota 1600 e 1700 m s.l.m. Le portate di magra di quelle perenni non superano i 4 l/s, le maggiori hanno portata media tra 5-10 l/s e massima pari a circa 25-30 l/s, pertanto il loro regime è fortemente variabile con le stagioni. Le sorgenti dell'idrostruttura di M. Cambio con portata media maggiore di 1 l/s sono captate ad uso dell'Acquedotto Reatino (sorgenti Cavalli, Porcini 1 e 2).

I suddetti valori di portata erogata dalle sorgenti e quelli di estensione delle probabili aree di alimentazione hanno permesso di applicare il metodo di calcolo "diretto" dell'IE (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b). Pertanto, è stata stimata per l'intera struttura una IE di circa 250 mm/a, piuttosto ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012) e quindi è stato possibile definire che una parte delle acque dreni verso l'acquifero carbonatico basale dell'idrostruttura ospitate (AMANTI *et alii*, 2011), contribuendo alla portata di sorgenti perenni quali Riofreddo, situata a NNE, e Capo Scura, a SE, come riportato nella Carta Idrogeologica allegata al presente lavoro.

A favore dell'ipotesi dell'unitarietà della struttura, i parametri chimico-fisici delle acque, misurati *in situ*, ricadono in intervalli ristretti (CE tra 228 e 294 $\mu\text{S}/\text{cm}$; temperature tra 7 e 10 °C; pH neutro o leggermente alcalino).

6.2. - IDROSTRUTTURA DI M. PORILLO

L'idrostruttura di M. Porillo, situata nella parte SW del territorio del Foglio Antrodoco, viene proposta come unità distinta nel presente lavoro. È posta tra le unità di M. Terminillo e dei Monti Giano-Nuria-Velino di CAPELLI *et alii* (2012) ed in particolare comprende anche l'estremità settentrionale della sub-unità di M. Nuria. La porzione che ricade nel Foglio copre un'area di circa 40 km² (su circa 55 km² totali) ed è limitata dalle idrostrutture di M. Giano-M. Gabbia a E, di M. Poponi-M. Mucchio a NE e di M. Terminillo a W. Nel suo ambito, hanno ampia diffusione i terreni dei complessi Marnoso e Calcareao-Marnoso e dei Flysch, mentre sono meno rappresentati come estensione, ma rivestono un ruolo idrogeologico preminente, i terreni dei complessi Calcareao-Marnoso, Calcareao Superiore, Sabbioso-Conglomeratico e Detritico e delle Alluvioni; il complesso dolomitico ha ruolo di *aquitard/aquiclude* in un tratto al contatto con l'idrostruttura di M. Giano-M. Gabbia.

Le sorgenti alimentate da questa struttura (che verosimilmente ha una qualche continuità idrogeologica con l'idrostruttura di M. Terminillo) e ricadenti nel foglio sono in massima parte allineate nella fascia pedemontana, dove i terreni dei complessi Calcareao-Marnoso e Sabbioso-Conglomeratico sono tamponati dai terreni del complesso dei Flysch lungo il versante che degrada verso l'alveo del F. Velino. Lungo l'alveo del F. Velino, tra Antrodoco e Borgovelino, sono presenti sorgenti solfato/solfuree.

La parte di struttura al di fuori del Foglio (nell'ambito del Foglio 358 Pescorocchiano) è di limitata estensione con emergenze e scambi idrici di scarsa importanza.

Le sorgenti sono collocate prevalentemente in corrispondenza del tetto di formazioni marnose che hanno subito una tettonica plicativa (emergenze per soglia di permeabilità sottoposta) oppure vengono a giorno per affioramento della superficie piezometrica, eventualmente parzialmente in pressione. Sono distribuite in un ampio intervallo di quote comprese tra circa 450 e 1100 m s.l.m.

Le portate di magra di quelle perenni sono di pochi l/s, con medie normalmente nell'ordine di 15-35 l/s e le massime fino a poche decine di l/s. I valori di CE delle acque di questa idrostruttura ricadono in un intervallo tra 295 e 573 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinità media), anche se alcune sorgenti raggiungono i 750-1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinità alta) e quelle solfato/solfuree superano i 1900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le temperature sono generalmente tra 6 e 10 °C

(alcune sorgenti presentano valori di 10-15 °C; quelle solfato/solfuree arrivano a circa 18 °C) ed il pH è da neutro a moderatamente alcalino (7-8) o tendenzialmente acido per le acque solfato/solfuree.

Le sorgenti alimentate da questa struttura ricadenti nel foglio rappresentano in sostanza la totalità della risorsa idrica sotterranea erogata dall'idrostruttura, che è stimabile in circa 110 l/s. Con il metodo di valutazione "diretta" (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata calcolata per l'intera struttura una IE di circa 60 mm/a, piuttosto ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012). Quindi, considerando anche le apprezzabili portate che immettono lungo l'alveo del F. Velino e nel suo intorno, probabilmente connesse a circuiti sotterranei provenienti dalle idrostrutture limitrofe, si può concludere che in tale idrostruttura transitano acque con recapito finale verso settori situati a S, appena al di fuori dell'area in studio (es., area delle Sorgenti del Peschiera e della Piana di S. Vittorino di Citaduale).

6.3. - IDROSTRUTTURA DI M. TOLENTINO S.S.

L'idrostruttura carbonatica di M. Tolentino s.s. (parte della unità idrogeologica complessa dei Monti Tolentino-Cavogna di CAPELLI *et alii*, 2012) è situata al vertice NW del territorio considerato. La porzione che ricade nel Foglio copre un'area di circa 5 km² (su circa 113 km² totali) ed è limitata dall'idrostruttura di V. Lunga-Montagnola a SE.

È costituita principalmente dai terreni dei complessi idrogeologici Calcareao Basale e Calcareao-Marnoso. Sporadiche sorgenti, a regime stagionale ed in quota (circa 1100 m s.l.m.), alimentate da questa struttura ricadono nel Foglio ed hanno una portata complessiva inferiore a 1 l/s. Esse scaturiscono per il sostegno operato dalle Marne di Monte Serrone su porzioni dell'acquifero residente nell'idrostruttura, verosimilmente per affioramento della superficie piezometrica con falda libera o parzialmente in pressione. Le sorgenti che hanno recapito al di fuori dell'area considerata (nell'ambito dei Fogli 336 Spoleto, 337 Norcia e 347 Rieti) erogano portate complessivamente maggiori, valutabili tra 5-10 l/s (e.g., CAPELLI *et alii*, 2012). Tali sorgenti sono distribuite in un intervallo di quote comprese tra circa 900 e 1000 m s.l.m.

I valori di riferimento della CE delle acque di questa idrostruttura sono di 400-450 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinità media). Le temperature dell'acqua sono

intorno ai 10 °C ed il pH è debolmente alcalino (7-7,5).

In base alle suddette portate erogate e superfici delle aree di alimentazione presunte, con il metodo di calcolo “diretto” (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata stimata per l'intera struttura una IE di circa 5 mm/a, troppo bassa rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012); pertanto è possibile che buona parte delle acque dreni verso altre idrostrutture, verosimilmente con recapito anche nella limitrofa Piana di Leonessa, a SW (nell'ambito del Foglio 347 Rieti).

Un acquifero sospeso, che sarà descritto nel paragrafo seguente, è stato individuato in quota nell'ambito dell'idrostruttura.

6.3.1. - Sub-idrostruttura di M. Canestro

Si trova all'interno dell'idrostruttura di M. Tolentino s.s. ed è caratterizzata dai depositi del complesso idrogeologico Calcarea Superiore. L'acquifero di alta quota individuato nell'idrostruttura è sospeso sui termini argilloso-marnosi delle Marne del Monte Serrone, che hanno subito una tettonica plicativa e svolgono funzione di *aquitard* o *aquiclude* e che la limitano a NE e a SW, fuori dall'area del Foglio (fogli 336 Spoleto e 347 Rieti). L'area sottesa da tali limiti misura circa 1,5 km² (di cui 0,2 km² compresi nel Foglio Antrodoco).

È stata censita e controllata una sorgente collocata in corrispondenza delle formazioni marnose affioranti al margine orientale della struttura come sorgente per soglia di permeabilità sottoposta, ad una quota di circa 1165 m s.l.m. Essa ha regime stagionale con portata inferiore ad 1 l/s.

A favore dell'ipotesi dell'esistenza di questa sub-idrostruttura sono i valori di CE di 200-250 µS/cm, rappresentativa di una salinità più bassa (altri parametri chimico-fisici misurati in situ sono la temperatura di circa 10 °C ed il pH debolmente alcalino, 7-7,5) rispetto a quella delle acque dell'idrostruttura principale di M. Tolentino (CE 400-450 µS/cm).

Con il metodo di valutazione “diretta” (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata calcolata per l'intera struttura una IE di pochi mm/a, troppo ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012).

È pertanto possibile che buona parte delle acque sia drenata verso l'idrostruttura ospite di M. Tolentino s.s.

6.4. - IDROSTRUTTURA DI M. NOCELLA-C. LE MORETTO

L'idrostruttura calcarea di M. Nocella-C. le Moretto è parte dell'unità complessa dei Monti Tolentino-Cavogna di CAPELLI *et alii* (2012) ed è situata a NW del territorio in esame. Essa ricade quasi interamente nel Foglio con un'area di circa 20 km² (circa 2 ulteriori km² nel Foglio 337 Norcia) ed è limitata dall'idrostruttura di V. Lunga-Montagnola a W, per un brevissimo tratto dall'idrostruttura di M. Terminillo a S, dall'idrostruttura di M. Poponi-M. Mucchio a SE e dall'idrostruttura di M. Boragine a E. È costituita principalmente dai terreni dei complessi idrogeologici Calcarea-Marnoso e Calcarea Superiore e subordinatamente sono presenti i complessi Sabbioso-Conglomeratico e Detritico e delle Alluvioni.

La principale sorgente alimentata da questa struttura è situata nel margine SE, nella fascia pedemontana lungo il versante che degrada verso l'alveo del F. Velino ed è dovuta all'effetto di tamponamento operato dai terreni del complesso Sabbioso-Conglomeratico e Detritico in prossimità di una linea tettonica (emergenza per soglia di permeabilità sottoposta). La quota di emergenza della suddetta sorgente principale è di 790 m s.l.m., mentre le altre sorgenti minori sono spazialmente diffuse ed emergono a quote maggiori, comprese tra circa 1000 e 1060 m s.l.m., nello stesso versante SE, ossia nel settore di valle dell'idrostruttura, e tra 1170 e 1225 m s.l.m. nel versante N (settore di monte). La suddetta sorgente principale ha una portata media di 169 l/s, mentre le altre non raggiungono l'unità di l/s. I valori di CE delle acque di questa idrostruttura ricadono in un intervallo di circa 290-370 µS/cm (salinità media). Le temperature sono tra 11-12 °C ed il pH è da neutro a moderatamente alcalino (circa 7-8).

Le sorgenti alimentate da questa struttura ricadenti nel foglio rappresentano l'effettiva totalità della risorsa idrica sotterranea erogata dall'idrostruttura, che è stimabile in circa 170 l/s. Con il metodo di calcolo “diretto” (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata valutata per l'intera struttura una IE di circa 250 mm/a, troppo bassa rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012), anche considerando la portata derivata dalla traversa fluviale di Posta riconducibile a questa idrostruttura. Pertanto è verosimile che parte delle acque sotterranee siano convogliate verso la falda reginale basale.

Alcune sub-idrostrutture, tra cui la più estesa e meglio individuabile è quella di M. Cerasa, sono presenti in quota nell'ambito dell'idrostruttura di

M. Nocella-C.le Moretto. I relativi acquiferi sono sospesi e sostenuti dalla presenza di terreni marnosi con funzione di *aquitard* o *aquiclude*.

6.4.1. - Sub-idrostruttura di M. Cerasa

Questa idrostruttura si trova all'interno della più ampia struttura idrogeologica di M. Nocella-C.le Moretto. L'idrostruttura è caratterizzata dai depositi del complesso idrogeologico Calcareao-Marnoso ma, con ruolo idrogeologico subordinato, è presente anche il complesso Sabbioso-Conglomeratico e Detritico. L'acquifero di alta quota in essa individuato è sospeso su terreni marnosi e/o marnoso-calcarei che svolgono funzione di *aquitard* o *aquiclude*. L'area sottesa misura circa 4 km².

Le sorgenti censite sono collocate in corrispondenza della zona di minima quota di affioramento delle formazioni marnose al nucleo di una sinclinale. Esse emergono ai margini della struttura come sorgenti per soglia di permeabilità sottoposta, in una fascia altimetrica compresa tra quota 1459 e 1477 m s.l.m. Hanno regime perenne con alta variabilità stagionale e ridotte portate (frazioni di l/s, con massimi che non superano il l/s).

Le sorgenti alimentate da questa sub-idrostruttura hanno valori di CE di circa 250-300 µS/cm (salinità media) e di temperatura di circa 7-9°C, entrambi relativamente più bassi rispetto a quelli delle sorgenti dell'idrostruttura principale di M. Nocella-C.le Moretto (CE 290-370 µS/cm; temperatura 11-12 °C). Il pH è moderatamente alcalino (7,5-8).

Le sorgenti alimentate da questa sub-idrostruttura e ricadenti nel foglio hanno portata totale di circa 0,3 l/s. Con il metodo di valutazione "diretta" della IE (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata calcolata per l'intera struttura una IE di pochi mm/a e quindi ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012). È pertanto possibile ipotizzare che l'isolamento idraulico dovuto ai terreni marnosi sia solo parziale e che una buona parte delle acque sia drenata verso l'idrostruttura ospite.

6.5. - IDROSTRUTTURA DI M. BORAGINE

L'idrostruttura di M. Boragine (parte dell'unità complessa dei Monti Tolentino-Cavogna di CAPELLI *et alii*, 2012) è situata al margine N del territorio esaminato. La porzione che ricade nel Foglio copre un'area di circa 10 km² (su circa 80 km² totali; i restanti nell'ambito del Foglio

337 Norcia) ed è limitata dalle idrostrutture di M. Nocella-C.le Moretto a W e da affioramenti di terreni flyschoidi a SE. Nel suo ambito sono rappresentati principalmente i terreni dei complessi Calcareao Superiore e Calcareao-Marnoso. Le sorgenti alimentate da questa struttura sono in genere allineate lungo le fasce di affioramento di terreni marnoso-calcarei delle Marne a Fucoidi o delle Marne del Monte Serrone, che svolgono funzione di *aquitard* o *aquiclude*. Esse rappresentano emergenze per soglia di permeabilità sottoposta o sovrainposta secondo la posizione rispetto all'immersione dei livelli marnosi delle suddette formazioni che fungono da setti a bassa permeabilità.

Le sorgenti sono distribuite in un relativamente ampio intervallo di quote comprese tra circa 1050 e 1750 m s.l.m. Quelle ricadenti nel foglio hanno portata tra qualche frazione e circa 2 l/s. Nella parte orientale della struttura, poco al di fuori del Foglio, si rinvengono altre sorgenti con portata complessiva di circa 50 l/s che devono anch'esse la loro presenza alla funzione tampone della formazione delle Marne del Monte Serrone.

Le portate di magra di quelle perenni sono di frazioni di l/s, con medie normalmente inferiori al l/s e le massime fino a poche unità di l/s. I valori di CE delle acque di questa idrostruttura ricadono in un intervallo tra circa 290 e 350 µS/cm (salinità media). Le temperature sono tra 7 e 15 °C ed il pH è da neutro a mediamente alcalino (7-8,5).

Le sorgenti alimentate da questa struttura ricadenti nell'area in studio hanno una portata totale di circa 5 l/s. Sorgenti di portata più elevata (totale circa 50-60 l/s) hanno recapito nel settore NE della struttura, nell'ambito del Foglio 337 Norcia. Con il metodo di calcolo "diretto" (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata stimata per l'intera struttura una IE di circa 100 mm/a, piuttosto ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012) e pertanto è possibile che una parte delle acque dreni verso aree limitrofe. Sono state pertanto considerate nel computo dell'IE anche le emergenze tra le quote 793-1228 m s.l.m., esternamente alla struttura nelle pendici degradanti a SE verso il F. Velino (tra S. Giusta di Cittareale e Bacugno di Posta) ed il limitrofo settore del F. Velino interessato da sorgenti lineari (circa tra le quote 790-740; portata complessiva circa 300 l/s), entrambe nell'ambito dei complessi idrogeologici Marnoso-Calcareo e Marnoso e dei Flysch, e ripetendo il calcolo viene ad essere stimata una IE di circa 350 mm/a, ancora ridotta

(possibile contributo idrico verso altre idrostrutture e/o la falda basale) rispetto al valore atteso (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012). Per questo motivo, le suddette aree sono state incluse nei limiti dell'idrostruttura di M. Boragine.

I maggiori valori di CE di quest'ultime acque (359-502 $\mu\text{S}/\text{cm}$) fanno intendere un relativo arricchimento in mineralizzazione durante il percorso o per contributo di acque di altra provenienza.

6.6. - IDROSTRUTTURA DI V. LUNGA-MONTAGNOLA

Fa parte dell'unità complessa dei Monti Tolentino-Cavogna di CAPELLI *et alii* (2012), ricade quasi completamente nell'area in studio, nel settore NW. Ricopre un'area di circa 40 km² ed è limitata dalle idrostrutture di M. Terminillo a S, di M. Nocella-C.le Moretto a E e di M. Tolentino s.s. a NW. Si tratta di una struttura complessa ed eterogenea che a W e a N fa transizione, rispettivamente, verso le pianure di Leonessa e di Terzone-S. Paolo. Nel suo ambito i terreni dei complessi Calcareao Basale e Calcareao Superiore rivestono un ruolo idrogeologico preminente rispetto ai complessi Calcareao-Marnoso, Sabbioso-Conglomeratico e Detritico e, sebbene piuttosto sviluppato in affioramento, al complesso delle Alluvioni. Nel suo interno è possibile individuare un settore, nell'area di C.le Lungo, limitato dalla presenza delle formazioni delle marne del M. Serrone e delle Marne a Fucoidi presenti rispettivamente verso E e verso W. Le sorgenti alimentate da questa struttura e ricadenti nel foglio sono relazionate alle fasce di affioramento della formazione delle Marne del M. Serrone, con funzione di *aquiclude/aquitard*, alla presenza dei terreni del complesso Sabbioso-Conglomeratico e Detritico o di quelli del complesso delle Alluvioni oppure sono allineate nella fascia pedemontana in genere al contatto o all'interno dei terreni del complesso delle Alluvioni, i cui terreni riempiono le Pianure intermontane citate in precedenza. Tali sorgenti rappresentano emergenze per soglia di permeabilità sottoposta o sovrainposta secondo la posizione rispetto all'immersione dei livelli marnosi che fungono da setti a bassa permeabilità oppure per affioramento della superficie piezometrica di falda (anche in pressione) all'interno dei terreni del Complesso delle Alluvioni. Sono distribuite in un intervallo di quote comprese tra circa 890 e 1125 m s.l.m. Le portate di magra di quelle perenni sono di frazioni di l/s, con medie normalmente inferiori al l/s e le massime fino a poche unità di l/s. I valori di CE delle acque di questa idro-

struttura ricadono in un intervallo tra 406 e 474 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinità media). I valori di CE delle acque del settore di C.le Lungo hanno sempre salinità media, ma ricadono in un più elevato intervallo di valori (519 e 637 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Le temperature sono tra 9 e 17 °C ed il pH è da neutro a debolmente alcalino (7-7,5).

Le sorgenti alimentate da questa struttura rappresentano la totalità della risorsa idrica sotterranea erogata dalla idrostruttura, che è stimabile in circa 5 l/s. Con il metodo di valutazione "diretta" (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata calcolata per l'intera struttura una IE di pochi mm/a, piuttosto ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012); pertanto è verosimile che una parte delle acque dreni verso le pianure di Leonessa e di Terzone-S. Paolo, verso idrostrutture limitrofe e/o verso la falda basale.

6.7. - IDROSTRUTTURA DI M. POPONI-M. MUCCHIO

L'idrostruttura di M. Poponi-M. Mucchio (posta tra l'unità dei monti Giano-Nuria-Velino e dei Monti della Laga di CAPELLI *et alii*, 2012) è situata in posizione centrale rispetto al territorio del Foglio Antrodoco, in cui ricade completamente occupando un'area di circa 38 km². Nel suo ambito affiorano i terreni dei complessi Marnoso-Calcareao e Marnoso, dei Flysch e, subordinatamente, Calcareao-Marnoso, mentre ha ruolo secondario il complesso delle Alluvioni. Data la bassa permeabilità dei terreni costituenti questa idrostruttura, è stato trovato un limitato numero di sorgenti per lo più di limitata produttività (portata inferiore al l/s). Le poche sorgenti di portata superiore ad 1 l/s sono probabilmente connesse alla locale presenza dei terreni calcareao-marnosi, peraltro scarsamente presenti in affioramento.

Le sorgenti sono in genere collocate in corrispondenza dell'affioramento di livelli maggiormente permeabili o di linee tettoniche che ne favoriscono l'emergenza, anche parzialmente in pressione. Sono distribuite diffusamente nell'area della struttura e ricadono in un ampio intervallo di quote comprese tra circa 700 e 1100 m s.l.m. Le portate di magra di quelle principali sono intorno al l/s, con medie normalmente nell'ordine di qualche l/s e le massime fino a circa 10 l/s. I valori di CE delle acque di questa idrostruttura ricadono in un intervallo tra 328 e 490 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinità media), le temperature sono tra 5 e 14 °C ed il pH è da neutro a mediamente alcalino (7-8,5).

Le sorgenti alimentate da questa struttura ricadenti nel foglio hanno una portata stimabile in circa 30 l/s. Con il metodo di calcolo "diretto"

(BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata valutata per l'intera struttura una IE di circa 20 mm/a, relativamente ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012). Quindi, inserendo nel computo dell'IE anche le emergenze lineari nel F. Ratto (circa tra le quote 915 e 730; portata complessiva circa 115 l/s) e ripetendo il calcolo risulta una IE di circa 100 mm/a, ancora ridotta, sebbene più attendibile considerando anche la derivazione di acqua dal bacino idrico del fiume Ratto.

6.8. - IDROSTRUTTURA DI M. GIANO-M. GABBIA

Questa idrostruttura è limitata dalle idrostrutture di M. Porillo a W, di M. Poponi-M. Mucchio a N e dall'idrostruttura di M. Marine-C.le Grande, oltre che dai terreni del complesso Marnoso-Calcareo e Marnoso, a E con un'estensione areale riconpresa nell'area in studio di circa 130 km² (su circa 170 km² totali; i restanti nell'ambito del Foglio 358 Pescorocchiano). È situata nel settore centro-meridionale del territorio del Foglio Antrodoco ed è compresa nell'unità idrogeologica complessa dei Monti Giano-Nuria-Velino di CAPELLI *et alii* (2012). Buona parte di quest'area è interessata dai complessi Calcareo Basale e Calcareo Superiore, ad elevata permeabilità relativa, diffusamente e variamente carsificati. In corrispondenza di questi ultimi si individua una parte consistente dell'acquifero di base dell'idrostruttura, sostenuto dalle formazioni evaporitiche e dalle dolomie del Triassico superiore, meno permeabili. Queste ultime sono esposte lungo i fianchi della stretta valle del Velino per quasi 5 km del tratto compreso tra S. Quirico ed Antrodoco. I calcari di piattaforma del Giurassico-Cretacico inferiore affiorano lungo buona parte della dorsale, con uno spessore complessivo di circa 1300 metri, mentre il complesso Marnoso borda il margine settentrionale e nord-orientale della struttura assolvendo una funzione tamponante nei confronti degli acquiferi carbonatici e favorendo il deflusso sotterraneo verso SW. A SW l'unità è delimitata dalla discontinuità tettonica di Micigliano-Antrodoco, avente direzione circa NNE-SSW, che tampona l'acquifero carbonatico dell'adiacente struttura di M. Nuria.

Le sorgenti sono distribuite in un intervallo di quote comprese tra 800 e 1200 m s.l.m. nel settore centrale, a N e ad E e tra 500-765 m s.l.m. nel settore W. In particolare, una serie di piccole sorgenti si allinea lungo il bordo NE della dorsale in corrispondenza del sovrascorrimento NE-vergente di M. Gabbia, ad una quota di circa 1100 m

s.l.m., per una lunghezza complessiva di circa tre chilometri.

Tali punti sorgivi rappresentano generalmente emergenze per soglia di permeabilità sottoposta e la loro distribuzione coincide con la zona di contatto tettonico tra i termini carbonatici paleogenici permeabili della serie e le formazioni terrigene mioceniche di bacino-avanfossa caratterizzate da bassa permeabilità.

Nel complesso è possibile ritenere che le sorgenti di questo settore, se pur non chiaramente riconducibile ad una sub-idrostruttura indipendente, siano collegate ad un acquifero di piccola entità, confinato ad alta quota come conseguenza delle locali condizioni litostrutturali, la cui area di ricarica è localizzata sui rilievi di M. Gabbia.

Nelle depressioni tettono-carsiche, come nella piana di Cascina e nella Piana di Basanello, l'eterogeneità dei depositi e delle coperture plio-quaternarie (complesso Conglomeratico-Sabbioso e Detritico; complesso delle Alluvioni) rende possibile l'esistenza di modeste falde idriche, alimentate dai versanti circostanti. Le portate di magra delle emergenze idriche di questa idrostruttura sono comprese tra frazioni di l/s e circa 10 l/s, con medie normalmente con valori medi tra meno di 1 l/s e circa 15 l/s e le massime tra poche unità ed alcune decine di l/s. I valori di CE delle acque ricadono in intervallo tra circa 300 e 500 (salinità media) nel settore centrale, settentrionale e NE (M. Gabbia) e tra 500 e 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (settore W; salinità da media a alta). La bassa conducibilità elettrica delle acque sorgive del primo gruppo di sorgenti si può attribuire al limitato sviluppo dei relativi circuiti idrici sotterranei. Le temperature sono tra 7 e 11 (settore centrale, settentrionale e NE) e tra 11 e 15 °C (settore W) ed il pH è da neutro a moderatamente alcalino (7-8).

Le sorgenti alimentate da questa struttura ricadenti nell'area d'interesse hanno una portata totale di circa 20 l/s. Nell'ambito della parte di struttura al di fuori del territorio considerato si hanno invece emergenze più cospicue per un totale di circa 1000 l/s. Con il metodo di valutazione "diretta" (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata calcolata per l'intera struttura una IE di circa 200 mm/a, piuttosto ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b; CAPELLI *et alii*, 2012). Tale circostanza, assieme al quadro litostrutturale descritto, sembra indicare che una parte delle acque sotterranee possa drenare verso aree limitrofe, probabilmente al di fuori dell'area esaminata, verso SE, al margine del contiguo settore di M. Velino, appartenente alla medesima unità strutturale M. Giano-M. Nuria-M. Velino.

6.9. - IDROSTRUTTURA DI M. MARINE-C.LE GRANDE

È situata in posizione centro-meridionale rispetto al territorio del Foglio Antrudoco. La porzione che ricade nel Foglio copre un'area di circa 60 km² (su circa 150 km² totali; i restanti nell'ambito del Foglio 349 Gran Sasso d'Italia e 359 L'Aquila) ed è limitata dalla idrostruttura di M. Giano-M. Gabbia per un tratto a SW e per il resto del perimetro dai terreni a bassa permeabilità del complesso Marnoso-Calcareo e Marnoso (*aquiclude* regionale). A NE il limite si sviluppa lungo la Faglia di Capitignano-Colle delle Macchie e, sul versante opposto, lungo la Faglia di M. Marine che mette in contatto i complessi calcarei con i depositi continentali quaternari.

Nel territorio considerato la falda idrica di base riferibile a questa idrostruttura, definita in letteratura come Falda del Gran Sasso (falda regionale), è ospitata principalmente nel complesso Calcareo Basale, con direttrice principale di deflusso da NW a SE. Lungo tale percorso, le acque trovano recapito naturale a SE, in sorgenti ubicate nell'ambito del Foglio 359 L'Aquila. La dorsale alimenta la circolazione idrica nelle coperture continentali quaternarie dell'alta valle dell'Aterno.

Nel comune di Pizzoli, alla base di un versante calcareo-dolomitico molto fratturato, è localizzata la Sorgente Trio, le cui acque scaturiscono dai calcari dolomitizzati della base della successione carbonatica di M. Marine e la cui portata è di pochi l/sec.

All'interno della dorsale, in corrispondenza del contatto tra i litotipi calcarei e le unità marnose della successione di M. Marine (complesso Calcareo Superiore e Calcareo-Marnoso), a quote comprese tra 1200 e 1300 m s.l.m. e sui rilievi di M. Mozzano, sono presenti falde sospese che alimentano piccole sorgenti. A NW di M. Marine, le falde in quota sono captate e convogliate in acquedotto (Acquedotto di Barete).

Il complesso Sabbioso-Conglomeratico e Detritico nei pressi di Pizzoli ospita una falda alimentata dall'acquifero carbonatico. In corrispondenza di tali depositi di conoide e di piede di versante sono ubicate alcune sorgenti di portata limitata.

Allo stesso acquifero è collegato il complesso delle Alluvioni nella valle dell'Aterno che poggia lateralmente sulle porzioni ribassate dell'idrostruttura carbonatica.

La bassa permeabilità dei terreni del complesso Marnoso-Calcareo e Marnoso non consente l'immagazzinamento di importanti riserve idriche come anche lo sviluppo di circuiti idrici

sotterranei significativi. Tuttavia alcune piccole sorgenti (<1 l/sec), come a Colle Paganica, Marana e M. Castiglione, sono captate per uso idropotabile.

Le sorgenti, poco numerose e di portata limitata, sono collocate prevalentemente in corrispondenza della parte centrale e nord-occidentale della struttura, al contatto con formazioni marnose, rappresentano generalmente emergenze per soglia di permeabilità sovrainposta e sono distribuite in un intervallo di quote comprese tra circa 716 e 943 m s.l.m. Le portate di magra sono di frazioni di l/s, con medie normalmente inferiori al l/s e le massime fino a poche unità di l/s. I valori di CE delle acque di questa idrostruttura ricadono in un intervallo tra circa 420 e 590 µS/cm (salinità media). Le temperature sono generalmente tra 9 e 12 °C ed il pH è da neutro a moderatamente alcalino (7-8).

Le sorgenti alimentate da questa struttura ricadenti nel foglio hanno una portata totale di circa 7-8 l/s. Con il metodo di calcolo "diretto" (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) è stata stimata per l'intera struttura una IE di circa 50 mm/a, comprese le emergenze lineari dell'Aterno, riportate in tabella 5, di portata complessiva circa 140 l/s e localizzate tra circa le quote 780-740 e 712-690, di fatto idraulicamente connesse all'idrostruttura e situate nel suo settore SW. Tale valore è inferiore alla potenzialità acquifera attesa per simili idrostrutture (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b) ed è pertanto possibile che sussista un drenaggio di acque verso aree limitrofe, verosimilmente verso le sorgenti del Gruppo Tempera e Capovera (a SE, fuori del Foglio Antrudoco) appartenenti alla medesima unità idrogeologica dei Monti del Gran Sasso (e.g., BONI *et alii*, 1986a), che contribuirebbe alla loro portata totale di circa 1800 l/s (considerando anche questa portata si hanno valori di IE di circa 400 mm/a, compatibili con quelli attesi).

6.10. - IL SETTORE DEI RILIEVI DELLA LAGA

È situato in posizione NE nell'ambito del territorio del Foglio Antrudoco e ricade nell'unità dei Monti della Laga di CAPELLI *et alii* (2012). In esso possono essere delineati due settori che culminano nei rilievi di M. Verrico e di M. Civitella. La porzione che ricade nel Foglio copre un'area di circa 190 km² (altri circa 110 km² ricadono esternamente al foglio), anche se in realtà i suoi limiti verso N (foglio 337 Norcia) e E (foglio 349 Gran Sasso d'Italia) e quelli di eventuali suddivisioni interne, sono incerti per la continuità spaziale dei depositi terrigeni che la compongono.

Infatti, nel suo ambito affiorano principalmente i soli terreni dei complessi dei Flysch e Marnoso-Calcareo e Marnoso. Data la bassa permeabilità di tali terreni, sono presenti in genere sorgenti di limitata produttività con portata di frazioni di l/s; poche sorgenti maggiormente produttive (portata di qualche unità di l/s), probabilmente connesse alla presenza di livelli più permeabili a granulometria più grossolana o di linee tettoniche che ne favoriscono l'emergenza, rivestono importanza per l'approvvigionamento idrico locale di frazioni isolate o di fontanili rurali e del lago di Campotosto (foglio 349 Gran Sasso d'Italia).

Tali sorgenti sono disperse nell'area della struttura e ricadono in un ampio intervallo altimetrico compreso tra la prossimità del corso del F. Velino (quota circa 850 m s.l.m.) e l'area di M. Verrico (1250 m s.l.m.) o sono distribuite in un intervallo di alte quote compreso tra circa 1280 e 1470 m s.l.m. (area di M. Civitella). Le portate di magra di quelle perenni principali sono di pochi l/s, con medie nell'ordine di qualche l/s e le massime fino a circa una decina di l/s. I valori di CE delle acque di questa idrostruttura sono per lo più compresi tra 300 e 623 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (salinità media) e solo di rado arrivano a circa 750 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Le temperature sono in genere comprese tra 6 e 14 °C (raramente raggiungono circa 20°C) con valori di pH da neutri a moderatamente alcalini (7-8).

Le sorgenti presenti in quest'ampia area hanno una portata complessiva stimabile in circa 10 l/s. È stata comunque tentata l'applicazione del metodo di valutazione "diretta" (BONI & BONO, 1982; BONI *et alii*, 1986a, 1986b) ed è stata calcolata per l'intera struttura una IE di circa qualche unità di mm/a, piuttosto ridotta rispetto alla potenzialità acquifera attesa (e.g., BONI *et alii*, 1986a, 1986b).

7. - OPERE IDRAULICHE

La ricchezza di acque sotterranee di buona qualità nell'ambito dei rilievi carbonatici dell'Appennino Centrale ha diffusamente promosso la pratica del loro sfruttamento sia per l'approvvigionamento idropotabile sia per uso idroelettrico.

Nell'ambito dell'area di studio sono presenti alcune opere idrauliche del sistema idroelettrico del Velino-Nera. L'opera realizzata più a monte è la traversa fluviale del F. Velino a Posta, che deriva circa 200 l/s verso il Bacino idrico del Ratto, da cui in sotterraneo quantità variabili di acque (circa 200-350 l/s) vengono convogliate alla Centrale idroelettrica di Sigillo per poi essere in parte cedute al Velino con turnazione settimanale (cadenza e portata non note) e per il rimanente inviate

alla condotta che, insieme a quelle provenienti dai laghi del Turano e del Salto, fa loro proseguire (nell'ambito del Foglio 358 Pescorocchiano) il percorso fino alla Centrale idroelettrica di Cotilia.

Altre derivazioni minori per sistemi idroelettrici locali sono presenti nell'ambito del Fosso dei Maiori (Comune di Micigliano) e sono in progetto nel Torrente Scura (Comune di Posta).

Una delle più importanti attività economiche presenti nell'area è lo stabilimento per la produzione di leganti idraulici di Cagnano Amiterno (L'Aquila), titolare di una concessione di piccola derivazione delle acque del F. Aterno. Il prelievo complessivo medio è pari a 8 l/s, peraltro non in continuo. Dopo l'utilizzo viene effettuata una parziale restituzione in alveo delle acque derivate.

Per un maggiore dettaglio informativo e per la conoscenza di tutta la rete degli acquedotti presenti sul territorio in esame si rimanda agli elaborati tecnici ottenibili presso gli enti gestori. Infatti, per gli scopi del presente lavoro, ci siamo generalmente limitati a segnalare in carta le principali sorgenti captate, giacché le numerose reti di utilizzazione delle acque sotterranee ricadenti nel Foglio Antrodoco avrebbe notevolmente appesantito la leggibilità della Carta idrogeologica allegata, già sovraccarica di altri elementi di maggior interesse specifico.

Un altro tipo di opere idrauliche presenti sul territorio in studio sono i depuratori, che possono rilasciare in alveo le acque trattate con cadenza e portata difficilmente stimabili con una sufficiente approssimazione. Di conseguenza, in questo studio i principali depuratori sono stati riportati in carta per segnalare la possibile alterazione del regime naturale dei corsi d'acqua nei tratti fluviali a valle di questi.

8. - CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Questo lavoro si inserisce nell'ambito delle attività di cartografia idrogeologica sperimentale su scala nazionale, avviate negli anni '90 dal Servizio Geologico Nazionale. Tali attività hanno prodotto, tra l'altro, nell'ambito del Progetto CARG, le linee guida al rilevamento e alla rappresentazione della Carta Idrogeologica d'Italia alla scala 1:50.000 (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1995). Lo stesso Servizio ha recentemente pubblicato i risultati di sperimentazioni cartografiche effettuate in significativi contesti idrogeologici di interesse regionale (SCALISE & MARTARELLI, 2008). In considerazione di quest'ultima esperienza e tenendo conto del fatto che ad oggi non sono state pubblicate carte idrogeologiche

conformi alle linee guida, si può concludere che l'allegata Carta Idrogeologica del Foglio Antrdoco costituisce un primo esempio di foglio CARG dedicato all'Idrogeologia del territorio nazionale.

Come nelle precedenti cartografie sperimentali, anche in questo studio è stato costituito un *database* interfacciato a vari strati informativi georiferiti nei quali sono stati riportati i dati idrogeologici rilevati sul campo nel tempo e nello spazio. Tale sistema soddisfa l'esigenza di rappresentare gli elementi descrittivi dei vari aspetti dell'idrogeologia operando selezioni e filtraggi dei dati per una migliore leggibilità della cartografia, incrementando nel contempo il suo carattere informativo. Tra i vari elaborati cartografici ottenibili dalla banca dati sono state inserite in questo lavoro le carte della distribuzione delle piogge e delle temperature atmosferiche. Un GIS *software* è stato inoltre utilizzato per il calcolo del bilancio idrico degli acquiferi e per analizzare alcune caratteristiche idrogeologiche dipendenti dal tempo, in particolare quelle che possono avere un ruolo nelle attività di gestione e protezione delle risorse idriche sotterranee.

Inoltre, poiché le proposte per la rappresentazione cartografica degli elementi idrogeologici riportate nel Quaderno SGN serie III n 5 (SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE, 1995) erano concepite per essere realizzate con elaborazione grafica manuale o assistita da computer, già in SCALISE & MARTARELLI (2008) erano state presentate alcune soluzioni riguardanti la scelta di simboli cartografici compatibili con la struttura dei livelli informativi e con i *layout* di stampa del *software* GIS utilizzato. Tali soluzioni sono state riprese ed in parte modificate ed integrate nella cartografia allegata al presente lavoro. Ad ogni modo, la questione dell'allestimento di una libreria di simboli adeguata per una carta idrogeologica potrà essere affrontata quando, in un prossimo futuro, saranno riesaminate, a livello nazionale e con l'apporto di esperti del settore, le linee guida per il rilevamento e la rappresentazione cartografica del geotematismo Idrogeologia.

Infine, sono di seguito riportate in sintesi le principali considerazioni scaturite dalla discussione delle informazioni idrogeologiche acquisite:

- i complessi idrogeologici definiti sono (dal basso verso l'alto):

1) Complesso dolomitico, basso grado di permeabilità relativa (Dolomia Principale, Triassico, spessore in affioramento circa 150 m; depositi calcareo-dolomitici, Giurassico medio, spessore circa 400 m);

2) Complesso calcareo basale, alto grado di permeabilità relativa (Giurassico inferiore; spessore totale 550-750 m);

3) Complesso calcareo superiore, alto grado di permeabilità relativa (Giurassico medio-Cretacico superiore; potenza totale 450-750 m);

4) Complesso calcareo-marnoso, medio grado di permeabilità relativa (Cretacico medio-Eocene medio; spessore totale 250-400 m);

5) Complesso marnoso-calcareo e marnoso, basso grado di permeabilità relativa (Eocene superiore-Miocene superiore p.p.; spessore totale 300-500 m);

6) Complesso dei flysch, basso grado di permeabilità relativa (Miocene superiore p.p.; spessore totale circa 1500 m);

7) Complesso conglomeratico-sabbioso e detritico, grado di permeabilità relativa medio (Pliocene superiore-Pleistocene; spessore totale fino ad alcune centinaia di metri);

8) Complesso delle alluvioni, basso grado di permeabilità relativa (Quaternario; spessore totale da pochi metri a circa 100 m);

- la maggior parte delle sorgenti censite ha caratteristiche di alta quota e/o di emergenze sospese e ha valori di portata limitati (<10 l/s); le sorgenti che ricorrono in posizione pedemontana e di fondovalle possono invece raggiungere portate di 10-100 l/s, eccezione fatta per una sola sorgente che emette poche centinaia di l/s. I valori di conducibilità elettrica sono generalmente compresi tra 220 e 620 $\mu\text{S}/\text{cm}$, tranne quelli di alcune sorgenti mineralizzate (fino a circa 1200-1250 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e delle poche acque schiettamente solfato/solfuree (circa 1900-2300 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Ancora riguardo alla conducibilità elettrica delle acque sorgive non mineralizzate, è stato possibile distinguere due classi con intervalli di valori basso-intermedio (220-400 $\mu\text{S}/\text{cm}$) e intermedio-alto (400-840 $\mu\text{S}/\text{cm}$), in cui sono generalmente comprese sorgenti associate a depositi con caratteristiche, rispettivamente, da calcaree a marnose e di flysch;

- le acque sorgive sottoposte ad analisi chimica possono essere classificate come acque bicarbonato-calciche. Tramite l'analisi delle componenti principali è stato possibile distinguere il diverso comportamento del gruppo bicarbonati e Ca, da una parte, e Mg, Na, K, Cl e solfati, dall'altra, correlati, rispettivamente, al tipo litologico che caratterizza le formazioni calcaree e marnose della Serie Umbro-Laziale-Abruzzese (tranne le rocce calcareo-dolomitiche) e i depositi arenaceo-pelitici flyschoidi, in cui si sviluppano i circuiti sotterranei e/o le rocce serbatoio;

- lungo il corso del F. Velino, i tratti fluviali compresi tra le stazioni di misura di Cittareale S. Giusta e Cittareale S.Croce e tra Posta Colle Capanna e Posta Bacugno hanno rivelato drenaggi

in alveo verosimilmente dovuti al contributo di acque sotterranee (sorgenti lineari) provenienti dalle strutture idrogeologiche situate in destra idrografica del F. Velino (M. Boragine e M. Nocella-C.le Moretto). Sono inoltre da segnalare delle perdite in alveo tra Posta Picciame e Posta Macchielone probabilmente dovute ad infiltrazioni in subalveo e/o verso i terreni calcareo-marnosi sub-affioranti. La traversa fluviale di Posta, che deriva circa 200 l/s, separa idraulicamente un settore di monte da uno di valle del F. Velino. Il tratto fluviale del Velino a valle della traversa di Posta, rivela diffuse dispersioni in alveo tra Sigillo C.li S. Giovanni e Sigillo Lodonero. Il tratto tra la stazione di misura Sigillo Lodonero fino alla confluenza del Fosso dei Maiori si presenta nella condizione di alveo stagionalmente secco. Anche tali perdite sono probabilmente dovute ad infiltrazioni in subalveo e/o verso i terreni calcareo-marnosi sub-affioranti. Il tratto tra Sigillo Lodonero e Antrodoco ponte ferrovia drena di nuovo acque sotterranee; tali incrementi sono verosimilmente dovuti al contributo di acque provenienti dalle strutture idrogeologiche situate in sinistra idrografica del F. Velino (M. Giano), probabilmente anche attraverso vie preferenziali quali elementi tettonici parzialmente sepolti. Infine, tra le stazioni Antrodoco ponte chiesa e Borgovelino Ponte Basso, il corso del F. Velino riceve contributi idrici provenienti dalle strutture idrogeologiche in sinistra idrografica del F. Velino (M. Giano). In questo tratto di valle, ad ogni modo, per un corretto bilancio idrico in alveo sarebbe necessario considerare anche le effettive derivazioni e restituzioni in alveo a scopo idroelettrico, di difficile stima;

- riguardo al F. Ratto, sono stati rilevati stagionalmente asciutti i tratti più a monte, mentre un lungo tratto fino alla stazione Borbona Lonaro ha evidenziato un limitato drenaggio di acque sotterranee, più importante tra la stazione di Borbona campo sportivo e quella di Borbona Molino Trebbia, prima dell'immissione del fiume nel piccolo Bacino idrico del Ratto. Tali incrementi generalmente limitati sono verosimilmente dovuti al contributo di acque provenienti dagli orizzonti a granulometria più grossolana ospitati nei complessi Marnoso-Calcareo e dei Flysch, localmente intercettati a livello dell'alveo del F. Ratto. Inoltre, la portata derivata dal Bacino del Ratto a scopo idroelettrico, considerando anche il contributo della suddetta derivazione dalla traversa fluviale di Posta, è stimabile in circa 200-300 l/s.

- il F. Aterno tra la stazione di Marana di Montereale e quella di S. Pelino di Cagnano Amiterno e da S. Eusanio di Barete a Cavallari di Pizzoli è

caratterizzato da drenaggio in alveo. Si hanno invece dispersioni in alveo prima, dopo e tra questi due tratti;

- le conche intermontane e le piane carsiche della dorsale carbonatica di M. Gabbia-M. Giano caratterizzano il bacino endoreico della Piana di Cascina, dove il reticolo di drenaggio superficiale è molto ridotto;

- si è spesso riscontrata un'eccedenza di aliquota destinata all'infiltrazione efficace. Tale risorsa in eccedenza è in genere recapitata, anche attraverso vie preferenziali (e.g.: le faglie dirette che delimitano e/o sono presenti nella struttura), verso l'acquifero regionale basale residente nelle limitrofe facies carbonatiche di piattaforma fratturate e carsificate e/o verso altri sistemi acquiferi limitrofi, contribuendo alla portata di sorgenti puntuali e lineari di più bassa quota, quali le Sorgenti del Peschiera e più in generale le emergenze della Piana di S. Vittorino (Cittaducale), recapito finale del sistema acquifero del settore reatino, e le sorgenti di base del versante NW del Monte Velino e di quello SW dei Monti del Gran Sasso, nel settore aquilano;

- il quadro idrodinamico interpretato sostanzialmente conferma ed implementa quanto finora ricostruito dagli Autori.

Ringraziamenti

Per la raccolta di alcune delle informazioni riportate nel presente lavoro ci si è avvalsi della collaborazione del personale degli Enti locali (in particolare i Comuni di Antrodoco, Borbona, Borgovelino, Cagnano Amiterno, Campotosto, Castel Sant'Angelo, Cittareale, Leonessa, Micigliano, Montereale, Pizzoli, Posta) e delle Società di gestione degli acquedotti e delle opere idrauliche presenti nel territorio d'indagine (in particolare SOGEA, Acquedotto Reatino e Gran Sasso Acqua), che si ringraziano tutti vivamente.

Si ringraziano, inoltre, i Colleghi del Servizio Geologico d'Italia che stanno terminando, nell'ambito del Progetto CARG, il rilevamento geologico nell'area del Foglio Antrodoco, per il proficuo confronto sui risultati cartografici ancora inediti, il collega Dott. M. ROMA, per i suggerimenti riguardo alla cartografia GIS, ed il collega Sig. R. VENTURA, per aver fornito parte del materiale cartografico digitale utilizzato.

Un ringraziamento particolare è dovuto al Prof. M. PETITTA per l'apprezzata e accurata opera di revisione del manoscritto.

BIBLIOGRAFIA

- AMANTI M., BUCHETTI M., CENTIOLI D., CONTE G., FLAMMINI D., GAUDINO S., MARTARELLI L., MONTI G.M., MOTTERAN G., PATI A. & SILVI A. (2012) – *Hydrogeochemical features of spring waters in the Sheet N.348 “Antrodoco” area*. Per. Mineral., **81**, 269-299.
- AMANTI M., CONTE G., MARINO M., MARTARELLI L., MONTI G.M., MOTTERAN G., PERINI P. & SILVI A. (2011) – *Hydrogeological features of high-altitude springs of the Cambio Mt. hydrostructure (Rieti, Italy) and local meteo-climatic effects on their discharge processes*. Italian Jour. Engin. Geol. and Environment, **1**, 37-53.
- ANGELINI S., FARABOLLINI P., MENOTTI R.M., MILLESIMI F. & PETITTA M. (2004) - *Carta geomorfologico-turistica del comprensorio dei Monti Reatini (Appennino centrale), scala 1:12.500*. Regione Lazio. L.A.C., Firenze.
- ANNALI IDROGEOLOGICI (1900-2012) – *Parte prima e parte seconda (sezioni di Roma, Pescara e Bologna)*. Servizio Idrografico Ministero dei Lavori Pubblici/Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale/Regioni Lazio, Abruzzo e Marche.
- BIGI S., CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G., RIDOLFI M. & SALVUCCI R. (1991) - *Assetto strutturale e cronologia della deformazione della “Zona d'incontro” tra le aree umbro-marchigiana e laziale-abruzzese (Marche meridionali e Lazio-Abruzzo settentrionale)*. Studi Geol. Camerti, vol. speciale 1991/2, CROP 11, 21-26.
- BOCCALETTI M., CALAMITA F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., DEIANA G., MORATTI G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - *Evoluzione dell'Appennino toско-umbro-marchigiano durante il Neogene*. Giornale di Geologia, **48**, 227-233.
- BONI C.F. (2000) - *Karst aquifers of the Central Apennines*. Hidrogeologie, **4**, 49-62.
- BONI C.F. (2007) - *Le imponenti risorse idriche sotterranee rinnovabili dell'Appennino centrale: quante sono, dove sono, come sono utilizzate*. In: Atti del convegno “La crisi dei sistemi idrici: approvvigionamento agro-industriale e civile”, VII Giornata dell'Acqua. 22 marzo 2007, Roma (in stampa).
- BONI C.F. & BONO P. (1982) - *Prima valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace nei sistemi carsici della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese e nei sistemi di facies pelagica umbro-marchigiano-sabina (Italia Centrale)*. Geol. Appl. e Idrogeol., **17**, 427-436.
- BONI C.F., BONO P. & CAPELLI G. (1986a) - *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 991-1012.
- BONI C.F., BONO P. & CAPELLI G. (1988) - *Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio alla scala 1:250.000*. Regione Lazio - Univ. degli Studi di Roma La Sapienza, Roma.
- BONI C.F., BONO P., CAPELLI G., LOMBARDI S., PAROTTO M. & VENTURA G. (1979) - *Indagine idrogeologica e geochimica nell'Appennino carbonatico laziale-abruzzese. Primi risultati della campagna 1976-1978*. Atti del Seminario informativo del Sottoprogetto “Energia Geotermica” del CNR, Roma.
- BONI C.F., BONO P., CAPELLI G., LOMBARDI S. & ZUPPI G.M. (1986b) - *Contributo all'idrogeologia dell'Italia centrale: analisi critica e metodi di ricerca*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 947-956.
- BONI C.F., CAPELLI G. & PETITTA M. (1995) - *Carta idrogeologica dell'alta e media valle del Fiume Velino*. Dip.to Scienze della Terra Univ. degli Studi di Roma La Sapienza - Dip.to Scienze Geologiche Univ. degli Studi di RomaTre - Comunità Montana del Velino-VI Zona (Posta-Rieti).
- BONI C.F. & PETITTA M. (1994) - *Sorgenti lineari e valutazione dell'infiltrazione efficace in alcuni bacini dell'Italia centrale*. Quad. Geol. Appl., **1**/1994, 99–113.
- BONI C.F., PETITTA M., PREZIOSI E. & SERENI M. (1993) - *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio*. CNR- Centro di Studio per il Quaternario e l'Evoluzione Ambientale Univ. degli Studi di Roma La Sapienza -Dip. di Sc. della Terra. Ufficio pubblicazioni e informazioni scientifiche, Collana di Monografie Scientifiche, 79 pp., Roma.
- BONI C.F. & RUISI M. (2006) - *Le grandi sorgenti che alimentano il corso del fiume Nera-Velino: una importante risorsa strategica nell'economia dell'Italia centrale*. In: Atti del convegno “Le condizioni dei fiumi italiani”, VI Giornata dell'Acqua. 22 marzo 2006, Roma (in stampa).
- BOSCHI E., FERRARI G., GASPERINI P., GUIDOBONI E., SMERIGLIO G. & VALENSISE G. (eds.) (1995) - *Catalogo dei forti terremoti in Italia dal 461 a.C. al 1980*. ING-SGA, 973 pp., Bologna.
- CALAMITA F., CENTAMORE E., DEIANA G. & RIDOLFI M. (1995) - *Caratterizzazione geologico- strutturale dell'area Marchigiano-Abruzzese esterna (Appennino centrale)*. Studi Geol. Camerti, vol. speciale 1995/1, 171-182.
- CALAMITA F. & DEIANA G. (1986) - *Geodinamica dell'Appennino Umbro-Marchigiano*. Mem. Soc. Geol. It., **35**, 311-316.
- CAPELLI G., MASTRORILLO L., MAZZA R., PETITTA M., BALDONI T., BANZATO F., CASCONI D., DI SALVO C., LA VIGNA F., TAVIANI S. & TEOLI P. (2012) - *Carta Idrogeologica del territorio della Regione Lazio scala 1:100.000. Carta delle unità idrogeologiche della Regione Lazio scala 1:250.000*. Sapienza Università di Roma – Università Roma Tre, S.EL.C.A. Firenze.
- CAPOTORTI F., CENTAMORE E., CHIOCCHINI M., CIVITELLI G., CORDA L., MANCINELLI A., MARIOTTI G., ROMANO A. & SALVUCCI R. (1991) - *Dati preliminari geologico-stratigrafici sull'Unità di Monte Giano e Monte Gabbia*. Studi Geologici Camerti, vol. spec. 1991/2 “Studi preliminari all'acquisizione dati del profilo CROP 11 Civitavecchia-Vasto”, 119-123.
- CAPOTORTI F., FUMANTI F. & MARIOTTI G. (1995a) - *Evoluzione tettonico-sedimentaria e strutturazione del settore di piattaforma carbonatica laziale-abruzzese nell'alta Valle del F. Velino*. Studi Geologici Camerti, vol. spec. 1995/2 “Atti del Convegno Geodinamica e tettonica attiva del sistema Tirreno-Appennino”, 101-111.
- CAPOTORTI F., FUMANTI F. & MARIOTTI G. (1995b) - *Carta geologica del settore compreso tra il M. Nuria, il M. Gabbia e l'alta valle del Fiume Velino (Appennino centrale) - scala 1:50.000*. Studio Faro, Roma.
- CASTRACANI A.M., CELICO P., DI GIULIO S., GHIARA M.R.,

- STANZIONE D. & VALLETTA M. (1995) – *Idrogeologia e geo-chimica del settore meridionale dei Monti del Sannio*. Boll. Serv. Geol. d'It., **112**, 3-26.
- CELICO P.B. (1978a) - *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Memorie e Note dell'istituto di Geologia Applicata, n.14, NAPOLI.
- CELICO P.B. (1978b) - *Osservazioni su alcuni aspetti dell'idrogeologia dei massicci carsici dell'Appennino centro-meridionale; risvolti applicativi e importanza economica*. Atti del Seminario internazionale sui processi paleocarsici e neocarsici e loro importanza economica nell'Italia meridionale, Napoli.
- CELICO P.B. (1983a) - *Carta Idrogeologica dell'Italia centro-meridionale alla scala 1:400.000*. Cassa per il Mezzogiorno. Roma.
- CELICO P.B. (1983b) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale*. Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, 4(2): 225 pp.
- CELICO P.B. (1988) - *Prospezioni Idrogeologiche*. Liguori (Ed.) 1, 2 Napoli.
- CELICO P., DE GENNARO M., GHIARA M.R., RUSSO D. & STANZIONE D. (1984) – *Relazioni tra idrodinamica e composizione chimica ed isotopica delle acque di alcuni massicci carbonatici del Molise*. Periodico di Mineralogia, **53**, 67-88.
- CENTAMORE E., CHIOCCHINI U., CIPRIANI N., DEIANA G. & MICARELLI A. (1978) - *Analisi dell'evoluzione tettonico-sedimentaria dei "bacini minori" torbiditici del Miocene medio-superiore nell'Appennino umbro-marchigiano e laziale-abruzzese: Risultati degli studi in corso*. Mem. Soc. Geol. It., **18**, 135-170.
- CENTAMORE E., DEIANA G., MICARELLI A. & POTETTI M. (1986) - *Il Trias-Paleogene nelle Marche*. In "La Geologia delle Marche", Studi Geologici Camerti, Vol., Spec., 9-27.
- CENTAMORE E., CIVITELLI G., CORDA L., MARIOTTI G., ROMANO A., CAPOTORTI F. & SALVUCCI R. (1991) - *Carta geologica dell'area di M. Giano-M. Gabbia - Gole del Velino (Alta valle del F. Velino, Lazio nord-orientale) - Scala 1:25.000*. ESSE GI ESSE, Roma.
- DEFFENU L., LOMBARDI L., FEDERICI C. (1975) - *An introductory note on statistical analysis of physiochemical characteristics of natural waters. Application to some central Apennines spring waters*. Accademia Nazionale dei Lincei, Rendiconti della classe di Scienze fisiche, matematiche e naturali, n.59, Roma.
- GIULIANO G. & SCIOTTI M. (1974) - *Ricerca sulla pianificazione e gestione delle risorse idriche di un grande bacino idrografico: il Bacino del Tevere*. Quad. IRSA-CNR, Roma, 65 pp.
- GIULIANO G. & SCIOTTI M. (1981) - *Schema idrogeologico del Bacino del Tevere*. Quad. Ist. Ric. Acque, **48**, 67 pp., Consiglio Nazionale delle Ricerche, Roma.
- MANFREDINI M. (1964) - *Schema idrogeologico dell'Abruzzo: le sorgenti italiane - Abruzzo, n.9*. Ministero dei lavori pubblici- Servizio idrografico, Roma.
- MANFREDINI M. (1972) - *Studio idrogeologico della Piana di Rieti*. Quad. IRSA-CNR, **6**, 87-122.
- PAROTTO M. & PRATURLON A. (1975) - *Geological summary of the Central Apennines*. In: L. OGNIBEN, M. PAROTTO & A. PRATURLON (eds.) "Structural Model of Italy". Quad. Ric. Scient. C.N.R., **90**, 257-311.
- PETTITA M. (2006) - *Cenni di idrogeologia*. In: CENTAMORE E., CRESCENTI U. & DRAMIS F. (a cura di): "Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000. F.359 L'Aquila", 112-114.
- PETTITA M. (2009) - *Idrogeologia della media valle del fiume Velino e della piana di S.Vittorino (Rieti, Italia Centrale)*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, I, 157-181 Roma
- PETTITA M., TALLINI M., BENEDETTI G. & DEL MONACO M. (2003) - *Fracture pattern influence on groundwater discharge along the tectonic border of karst aquifers (Velino Valley, Central Italy)*. Proceedings of IAH Int. Congress: "Groundwater in fractured rocks", Prague, 85-86.
- SCALISE A.R. & MARTARELLI L. (Eds.) (2008) – *Studi sperimentali finalizzati alla cartografia idrogeologica*. Mem. Descr. Carta Geol. d'It., **81**, 174 pp.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1955) – *Carta Geologica d'Italia. F.139 L'Aquila, scala 1:100.000*. IPZS, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1995) - *Carta Idrogeologica d'Italia – 1:50.000. Guida al rilevamento e alla rappresentazione*. Quaderni SGN, serie III, n.5, IPZS.
- WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION (1983) – *Guide to climatological practices*. WMO, **100** (2nd ed.), 198 pp. Secretariat of the World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland.