

IDRODINAMICA SOTTERRANEA DELL'UNITA' IDROGEOLOGICA MONTEA-CARPINOSO (CALABRIA, ITALIA)

GROUNDWATER FLOW IN THE MONTEA-CARPINOSO HYDROGEOLOGICAL UNIT (CALABRIA, ITALY)

SILVIA FABBROCINO(*) & FABIO PERRONE(*)

(*) Università degli Studi di Napoli "Federico II" - Dipartimento di Scienze della Terra - Via Mezzocannone 8, 80138 - Napoli (Italia)
e-mail: silvia.fabbrocino@unina.it

RIASSUNTO

Si delinea il modello di flusso concettuale dell'unità carbonatica individuata dal gruppo montuoso Montea-Carpinosa (Calabria settentrionale). Questo è situato immediatamente a nord della cosiddetta "paleolinea di Sangineto", che segna il contatto tra i domini carbonatici della catena appenninica e le unità cristallino-metamorfiche dell'Arco Calabro-Peloritano. La sua conseguente evoluzione geologica e tettonica ha fortemente condizionato l'idrografia superficiale e frazionato il deflusso idrico sotterraneo. Si consideri che nell'ambito del presente studio sono state monitorate mensilmente (marzo 2005-ottobre 2006) ben 15 sorgenti, distribuite lungo il margine occidentale con portate medie variabili tra 28 e 165 l/s, tutte alimentate dalla falda basale seppure differenziata a grande scala in due distinti bacini sotterranei. Ad esse si aggiungano gli incrementi in alveo osservati nei principali corsi d'acqua, specialmente nel bacino settentrionale, laddove il loro sviluppo coincide con importanti allineamenti tettonici. Addirittura nel caso del T. Vaccuta si assiste, per l'estrema tettonizzazione delle rocce carbonatiche, ad un fenomeno di reinfiltrazione delle acque fino alla quasi estinzione del deflusso superficiale.

È da notare che la diversa evoluzione geomorfologica e geodinamica dei massicci carbonatici calabresi, rispetto a quelli ben noti presenti in altre zone dell'Italia meridionale, hanno esaltato la condizione di falda in rete.

TERMINI CHIAVE: acquiferi carbonatici, sorgenti, flusso idrico sotterraneo

PREMESSA

La conoscenza idrogeologica del territorio dell'Italia meridionale è progredita negli ultimi decenni di pari passo con le attività di studio e di indagine degli enti universitari e di ricerca, ivi presenti, da sempre impegnati nella definizione e nella indicazione delle strategie più appropriate per una ponderata gestione qualitativa e quantitativa delle risorse idriche sotterranee. Tuttavia, per la notevole eterogeneità e complessità delle caratteristiche idrogeologiche di questa vasta area, che comprende gran parte dell'Appennino meridionale, il grado di conoscenza è fortemente variabile in funzione delle diverse zone considerate.

In particolare, esistono estesi settori nei quali, soprattutto per la limitatissima disponibilità di dati idrogeologici storici, la gestione

ABSTRACT

This paper reports an outline of the conceptual model of flow in the carbonate unit formed by the Montea-Carpinosa Mountains (northern Calabria). The area is situated immediately to the north of the so-called "Sangineto line", which marks the interface between the Apennine chain carbonate domains and the crystalline-metamorphic units of the Calabrian Arc. Its consequent geological and tectonic evolution significantly influenced the surface hydrography and split up the groundwater flow. It is worth noting that within the context of the current study, monthly monitorings (March 2005-October 2006) of 15 springs were carried out. Springs are spread along the western edge with an average discharge which ranges between 28 and 165 l/sec, all fed by the basal groundwater flow albeit, divided largely into two distinct groundwater basins. As well as the springs, increases in the discharges of the major streams were recorded, in particular in the northern basin, where their course coincides with significant tectonic alignments. Indeed, in the case of the Vaccuta stream, as a result of the mentioned tectonization of the carbonate rocks, a phenomenon of reinfiltration of the waters to the point of near extinction of the surface flow was observed.

The different geo-morphological and geodynamic evolution of the carbonate massif of Calabria, compared with those which are well documented in other areas of southern Italy, have in fact strengthened the condition of flow through the interconnected fracture network.

KEY WORDS: carbonate aquifers, springs, groundwater flow

INTRODUCTION

The hydrogeological knowledge of the territory of southern Italy has made progress in the last few decades, along with the activities of studies and observations made by or number of research groups active in the region. These organisations have always been involved in the definition and proposal of the most appropriate strategies for a careful management in terms of quality and quantity of the groundwater resources. Nonetheless, given the notable heterogeneity and complexity of the hydrogeological characteristics of this huge area, which covers a large part of the southern Apennines, the level of awareness varies considerably from one area to another.

In particular, there are extensive areas in which, mainly due to

delle risorse idriche sotterranee risente ancora della carenza di una specifica caratterizzazione idrogeologica territoriale. Eppure, si tratta di aree che, nonostante la considerevole complessità geologico-strutturale, hanno rilevanti potenzialità per far fronte alla sempre crescente richiesta idrica intersettoriale, accentuata dai recenti periodi siccitosi e dal degrado qualitativo di alcune risorse da sempre utilizzate.

In tale ambito assumono particolare rilevanza le aree montuose carbonatiche, che notoriamente costituiscono bacini sotterranei di notevoli dimensioni con recapito in sorgenti di diverse centinaia di litri al secondo. Gli acquiferi carbonatici dell'Italia meridionale sono caratterizzati, infatti, da produttività variabili tra 0.015 e 0.027 m³/s/km² (CELICO F. *et alii*, 2000), contribuendo all'approvvigionamento idrico potabile del medesimo territorio per oltre 4000x10⁶ m³/a (CELICO P., 1978; 1983a; 1983b).

Ebbene, la caratterizzazione idrogeologica di alcuni di questi acquiferi deriva prevalentemente dai numerosi studi realizzati nella vasta area dell'Appennino meridionale, la cui evoluzione geo-morfologica è stata fortemente condizionata dall'attività vulcanica dei centri eruttivi dell'area campana. La presenza della conseguente copertura piroclastica, che favorisce la modulazione degli apporti meteorici verso la falda di base, e la presenza di una più sviluppata rete di fratture intercomunicanti, inducono a considerare in taluni casi tali acquiferi carbonatici quali porosi equivalenti. Chiaramente allontanandosi dagli apparati vulcanici si accentuano gradualmente le caratteristiche di discontinuità, eterogeneità ed anisotropia del sistema.

Partendo da tali considerazioni il presente studio si propone di analizzare l'assetto idrodinamico degli acquiferi carbonatici della Calabria settentrionale, in particolare di una parte della "Catena Costiera Calabrese", coincidente con il gruppo montuoso dei Monti Montea-Carpinosa, caratterizzata da una diversa complessità geologico-strutturale in quanto posta lungo il contatto tra le successioni sedimentarie, pelitiche e carbonatiche, del margine della catena appenninica e le unità ofiolitiche dell'Arco Calabro-Peloritano (OGNIBEN, 1969; AMODIO MORELLI *et alii*, 1976; TORTORICI, 1982; BONARDI *et alii*, 1982, IETTO A. & IETTO F., 1998; IANNACE *et alii*, 2005).

ASSETTO GEOLOGICO-STRUTTURALE

Il gruppo montuoso dei Monti Montea-Carpinosa, sito nella zona denominata "Nord Tirreno Cosentino", si sviluppa per circa 74 km² parallelamente alla costa tirrenica, con direzione NW-SE immediatamente a Nord della cosiddetta "paleolinea di Sangineto", che segna il contatto tra la catena appenninica e l'Arco Calabro-Peloritano (AMODIO MORELLI *et alii*, 1976).

L'estrema complessità geologica dell'area è evidenziata sin dai primi studi a carattere regionale che risalgono principalmente agli anni '60 (GRANDJACQUET C. & GRANDJACQUET M.J., 1962; GRANDJACQUET C., 1962; BURTON, 1971; BOUSQUET, 1971; COMPAGNONI & DAMIANI, 1971) e che hanno condotto a diverse interpretazioni stratigrafico-strutturali (AMODIO MORELLI *et alii*, 1976; BONARDI *et alii*, 1982, DEWEY *et alii*, 1989; KNOTT, 1994; CELLO *et alii*,

limited availability historical hydrogeological data, the management of groundwater resources is affected by the lack of a specific identification of local hydrogeology. In addition, the areas under consideration, despite the considerable geological-structural complexity, have a high potential to supply the ever-increasing demand for intersectorial water resources, accentuated by the recent periods of drought and by the decline in quality of some resources which have always been used.

In this context the mountainous carbonate areas take on particular importance. It is well-known that these areas constitute groundwater basins of considerable size and supply springs with hundreds of liters per second. The carbonate aquifers in southern Italy are, in fact, characterized by a yield which varies between 0.015 and 0.027 m³/s/km² (CELICO F. *et alii*, 2000), thus contributing to the supply of drinking water to the relevant territory in terms of over 4000x10⁶ m³/a (CELICO P., 1978; 1983a; 1983b).

The hydrogeological characterization of these aquifers derives mainly from the studies carried out in the vast area of the southern Apennines, whose geo-morphological evolution has been considerably conditioned by the volcanic activity of the eruptive zones in the Campania area. The presence of the consequent pyroclastic cover, which grows the modulation of rainfall towards the main groundwater flow, and the presence of a more developed network of interconnected fractures, leads us to consider in such cases the carbonate aquifers as porous equivalents. As they move away from the volcanic systems there is a gradual increase in the characteristics of discontinuity, heterogeneity and anisotropy of the system. Using the above considerations as a starting point, the present study aims to analyse the hydrodynamic setting of the carbonate aquifers of southern Calabria, in particular of a part of the "Calabrian Coastal Chain", which coincides with the mountainous group of the Montea-Carpinosa Mountains, characterized by a diverse geological-structural in so far as it lies on the contact between the sedimentary, pelitic and carbonate successions, of the external Apennine domains and the ophiolitic units of the Calabro-Peloritano Arc (OGNIBEN, 1969; AMODIO MORELLI *et alii*, 1976; TORTORICI, 1982; BONARDI *et alii*, 1982, IETTO A. & IETTO F., 1998; IANNACE *et alii*, 2005).

GEOLOGICAL-STRUCTURAL SETTING

The mountainous group of the Montea-Carpinosa Mountains, located in the area called "Nord Tirreno Cosentino", covers an area of about 74 km² parallel to the Tyrrhenian coast, in a NW-SE direction, immediately to the north of the so-called "Sangineto line", which marks the contact between the Apennine chain and the Calabrian Arc (AMODIO MORELLI *et alii*, 1976).

The extreme geological complexity of the area was evidenced by the earliest regional studies which date back to the 1960s (GRANDJACQUET C. & GRANDJACQUET M.J., 1962; GRANDJACQUET C., 1962; BURTON, 1971; BOUSQUET, 1971; COMPAGNONI & DAMIANI, 1971) and which have given different stratigraphic-structural interpretations (AMODIO MORELLI *et alii*, 1976; BONARDI *et alii*, 1982, DEWEY *et alii*, 1989; KNOTT, 1994; CELLO *et alii*, 1996; VAN DIJK *et alii*,

alii, 1996; VAN DIJK *et alii*, 2000; IANNACE *et alii*, 1995; IANNACE & VITALE, 2004; IANNACE *et alii*, 2005).

Le diverse unità stratigrafico-strutturali individuate da GRANDJACQUET (1962) e COMPAGNONI & DAMIANI (1971) sono state nel tempo interpretate ed organizzate in funzione dei differenti schemi strutturali ipotizzati. La sintesi di tali studi è efficacemente rappresentata in IANNACE *et alii* (2005).

Le suddette principali unità stratigrafico strutturali (GRANDJACQUET C. & GRANDJACQUET M.J., 1962; GRANDJACQUET C., 1962; COMPAGNONI & DAMIANI, 1971) possono essere ricondotte alle filladi con intercalazioni carbonatiche (Trias medio); ai metacalcari del Cozzo del Pellegrino (Ladinico-Carnico); alle dolomie scure (Norico-Retico); ai calcari laminati e ricristallizzati dell'area di Campotenese e Monte Ciagola ed alle metapeliti di basso grado della Valle del F. Lao.

In particolare nell'area di studio (Fig. 1) si distinguono termini ascrivibili fondamentalmente alle unità di San Donato e Verbicaro e nel settore sud-occidentale alle unità di Diamante-Terranova e di Malvito (AMODIO MORELLI *et alii*, 1976) ovvero all'unità Lungro-Verbicaro e all'unità ofiolitica (IANNACE *et alii*, 2005). D'altra parte studi recenti (IANNACE & VITALE, 2004) hanno evidenziato che parte delle unità considerate metamorfiche non sono altro che rocce carbonatiche e marne caratterizzate da deformazioni duttili lungo limitate zone di taglio (*shear zones*). In definitiva l'unità Lungro-Verbicaro è formata da successioni di scarpata e di bacino che vanno dal Trias medio al Miocene superiore ed è caratterizzata da deformazioni polifasiche, che compren-

alii, 2000; IANNACE *et alii*, 1995; IANNACE & VITALE, 2004; IANNACE *et alii*, 2005).

The various stratigraphic-structural units identified by GRANDJACQUET (1962) and COMPAGNONI & DAMIANI (1971) have since then been interpreted and organized according to the different supposed structural frameworks. The synthesis of these studies is well illustrated in IANNACE *et alii* (2005).

The main stratigraphic-structural units mentioned above (GRANDJACQUET C. & GRANDJACQUET M.J., 1962; GRANDJACQUET C. 1962; COMPAGNONI & DAMIANI, 1971) can be traced to the phyllites with carbonate intercalations (Middle Trias); to the metalimestones of the Cozzo del Pellegrino massif (Ladinian-Carnian); to the dark dolomites (Norian-Rhaetian); to the laminated and recrystallised limestones of the Campotenese and Monte Ciagola area and to the low-grade metapelites of the Lao River valley.

Specifically, in the study area (Fig. 1) it is possible to discriminate the San Donato and Verbicaro units as just in the south-western sector the Diamante-Terranova and Malvito units (AMODIO MORELLI *et alii*, 1976) or rather the Lungro-Verbicaro and the ophiolitic units (IANNACE *et alii*, 2005). Then again the latest studies (IANNACE & VITALE, 2004) have demonstrated that part of the rock units considered as metamorphic actually consists of carbonates and marls, characterized by ductile deformation localized along narrow shear zones. Accordingly, the Lungro-Verbicaro unit is made of a Middle Triassic to Upper Miocene slope to basin succession and is charac-

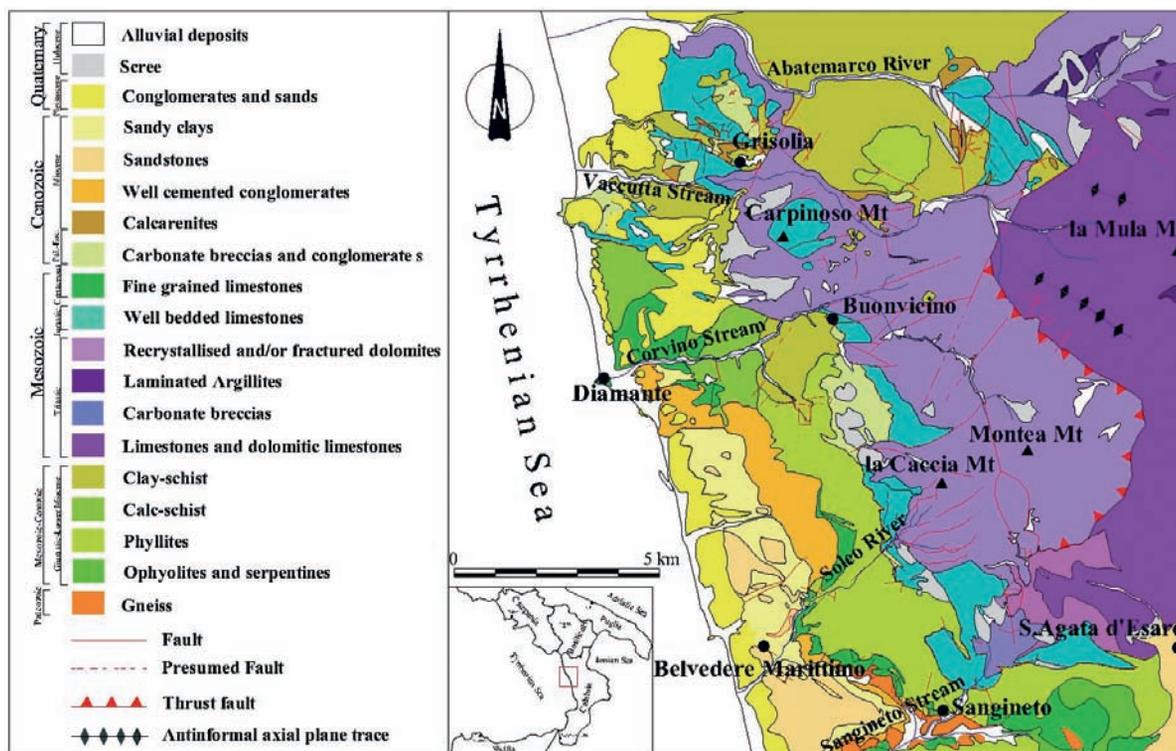


Fig. 1 - Carta geolitologica
- Geolithological map

dono un iniziale HP-LT metamorfismo, seguito da fenomeni di decompressione fino al riequilibrio della facies degli scisti verdi durante le fasi tettoniche prevalentemente distensive. Le principali deformazioni della citata unità sono riconducibili a fenomeni legati a notevoli sforzi localizzati e a ricristallizzazione dinamica in gran parte delle rocce calcaree.

Secondo questa più recente ricostruzione degli eventi deformativi miocenici dell'area di interesse, dunque, le unità carbonatiche di catena appenninica (Lungro-Verbicaro e Pollino-Ciagola), tettonicamente sottoposte alle nappes ofiolitiche, hanno mantenuto al loro interno una coerenza stratigrafica nonostante il processo orogenetico ed il conseguente HP-LT metamorfismo. La definitiva sovrapposizione tettonica dell'unità Lungro-Verbicaro su quella Pollino-Ciagola è avvenuta in condizioni di basse temperature, ma con l'instaurarsi di processi deformativi duttili a muro e di *thrust* e *folds* a tetto.

Il successivo processo di esumazione tettonica è principalmente associato ad un regime di tipo distensivo dovuto al sollevamento dell'area, con sviluppo di zone di taglio a basso angolo e faglie normali. La conseguente evoluzione di detto sistema ha portato poi al tipico sviluppo di *buckle folds* e *thrust*. La sequenza clastica tortoniana chiude tale evoluzione.

Le principali strutture sono orientate secondo assi NNW-SSE e NE-SW variamente smembrati dalle fasi tettoniche successive.

L'assetto attuale del territorio è chiaramente la risultante dei movimenti isostatici e delle oscillazioni glacio-eustatiche quaternarie.

Procedendo dalla costa verso l'interno si osserva, quindi, una zona litorale caratterizzata da una stretta piana costiera, che si allarga verso nord, ove affiorano i depositi miocenici e quaternari segnati dalla presenza di diversi ordini di terrazzi, una zona collinare dove predominano i termini metamorfici e l'area montuosa, costituita dai termini carbonatici e caratterizzata da una morfologia molto aspra ed accidentata, con le vette più elevate (Montea, 1785 m s.l.m., La Caccia, 1744 m s.l.m.) concentrate nel settore sud-orientale; a nord il M. Carpinoso e M. Cocuzzo non raggiungono i 1000 m s.l.m.. Alle pendici dei versanti rocciosi sono estese falde detritiche formate da più conii affiancati e sovrapposti.

Si riconosce un adattamento della rete idrografica alla struttura. I pochi corsi d'acqua (Torrenti Vaccuta, Corvino, Sanginetto e F. Soleo), di più o meno modesto bacino imbrifero e breve corso di pianura, nelle rocce carbonatiche defluiscono in gole profonde, che coincidono con le linee tettoniche.

ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'analisi delle proprietà idrogeologiche dei litotipi riscontrati nell'area di studio consente di distinguere, alla scala di rappresentazione cartografica, sette complessi, qui di seguito sinteticamente descritti.

Complesso igneo-metamorfico: comprende gneiss, scisti argillitici, filladi, metabasalti, pillow lavas e breccie ofiolitiche ascrivibili prevalentemente alle unità ofiolitiche ed è caratterizzato da un basso grado di permeabilità per fessurazione e porosità. Nell'area di interesse affiora ai margini meridionale, occidentale e nord-orientale del-

terized by polyphased deformations, that include an early HP-LT metamorphism, followed by decompression till the greenschist facies re-equilibration during dominantly extensional deformation. The main deformations of the above-named unit can be traced to substantial strain localisation phenomena and dynamic recrystallisation in most limestones.

According to this recent structural-stratigraphic framework of the study area, the carbonate units of the Apennine chain (Lungro-Verbicaro and Pollino-Ciagola), tectonically underlying the ophiolite nappes, have retained an internal stratigraphic coherence, despite the orogenetic process and the consequent HP-LT metamorphism. The final tectonic emplacement of the Lungro-Verbicaro unit over the Pollino-Ciagola one occurred under low-temperature conditions, but with the development of ductile deformations in the footwall and thrust and folds in the hanging wall.

The following tectonic exhumation is mainly associated with extensional deformation due to the vertical shortening of the area. The subsequent evolution of this system have carried out the typical development of buckle folds and thrust. Tortonian coarse clastics seal this evolution.

The main tectonic structures stick to NNW-SSE and NE-SW directions and have split up by subsequent tectonic phases.

It is clear that the present setting of the territory is the result of the combination of isostatic movements with quaternary glacial-eustatic variations.

Moving from the coast to the heartland it is possible to distinguish a narrow coastal plane (that widens towards the northern side), where outcrop the miocenice and quaternary deposits, characterized by a number of levels of terraces, a hilly area, where prevail the metamorphic deposits, and a mountainous area, composed of the carbonate deposits. The morphology of the carbonate massifs is very rough and steep. The highest summits (Montea, 1785 m a.s.l., La Caccia, 1744 m a.s.l.) are located in the south-eastern region, while in the northern region the Carpinoso Mt. and the Cocuzzo Mt. are high less than 1000 m a.s.l.. At the foot of the carbonate slopes are wide debris cones.

Besides there is a strong tectonic control of drainage system. The few streams (Vaccuta, Corvino, Sanginetto Streams and Soleo River) have a more or less small drainage basin and a short way in the plane. In the carbonate area they flow in deep gullies that coincide with the main tectonic alignments.

HYDROGEOLOGICAL SETTING

With regard to the hydrogeological properties of the rocks present in the reference area, on the scale representation the following seven hydrogeological complexes may be recognized:

Igneous-metamorphic complex: It includes gneiss, clay-schist, phyllites, metabasalts, pillow lavas and ophiolitic breccias that compose the ophiolitic units. This complex is characterized by a low intrinsic and fracture permeability. In the study area it outcrops on the southern, western and north-eastern edges of the

l'unità di catena appenninica, operando un'azione di tamponamento rispetto al deflusso idrico che in essa si esplica. Tuttavia, localmente, per effetto della dinamica esogena ed endogena, la parte più superficiale ha acquisito un maggiore grado di permeabilità che ne consente il drenaggio e l'alimentazione di diverse sorgenti (Paleozoico; Giura-Cretaceo inferiore; Miocene inferiore).

Complesso calcareo epimetamorfo: è costituito dai metacalcari interdigitati con dolomie e con intercalazioni di argille fogliettate che formano il gruppo di M. La Mula, sito ad est del gruppo montuoso Montea-Carpinoso. Detto complesso ha un alto grado di permeabilità per fessurazione e carsismo ed alimenta numerose sorgenti anche di notevole entità (Trias inferiore).

Complesso dolomitico: tale complesso è quello che affiora maggiormente nell'area di studio, poiché coincide con le dolomie che individuano il gruppo Montea-Carpinoso. Essendo estremamente tettonizzate e fratturate, hanno un elevato grado di permeabilità. D'altra parte, sia per estensione sia per potenza, questo complesso rappresenta il principale acquifero dell'area, così come dimostrano le numerosissime sorgenti (anche di alta quota), con portate medie anche superiori ai 100 l/s, che da esso traggono alimentazione (Trias medio-superiore).

Complesso calcareo: associa le formazioni calcaree che affiorano ai margini del complesso dolomitico e nell'area del M. Carpinoso. È anch'esso un acquifero particolarmente produttivo per l'alto grado di permeabilità assunto per fessurazione e carsismo (Trias superiore-Cretaceo).

Complesso calcarenitico: si rinviene sovrapposto alle filladi ed è parte della formazione degli scisti del F. Lao. È caratterizzato da un basso-medio grado di permeabilità per porosità e fessurazione (Miocene inferiore).

Complesso argilloso: tale complesso, da considerarsi impermeabile, è formato dalle argille sabbiose grigio-azzurre che affiorano diffusamente lungo la fascia costiera a contatto con altre formazioni mio-pleiocene-quaternarie (Miocene superiore).

Complesso conglomeratico-detritico: i diversi termini conglomeratici si possono considerare costitutivi di un unico complesso, caratterizzato da un grado di permeabilità elevato per porosità. Giustapposto agli altri complessi, è generalmente di modesto spessore. Molto potente laddove coincide con la formazione delle breccie calcaree preorogeniche, alla base dei massicci calcarei, e con la formazione dei conglomerati miocenici-pleiocenici sviluppata lungo la fascia costiera. È da ritenere un acquifero abbastanza produttivo e, per estensione, di interesse per l'area costiera; esso, tuttavia, può esercitare un'azione di parziale tamponamento se in contatto con i complessi carbonatici (Paleocene-Olocene).

Con riferimento ai rapporti spaziali e giaciture fra i suindicati complessi idrogeologici e al censimento delle sorgenti ivi presenti (SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE, 1941), si può rilevare che i massicci carbonatici del gruppo Montea-Carpinoso individuano un'unica unità idrogeologica. Questi, infatti, sono delimitati ad est dal contatto tettonico con i metacalcari dell'unità del Monte La Mula; a sud e ad ovest dal contatto tettonico con le filladi e gli scisti argillosi; a nord-ovest dai depositi sabbioso-gliaiosi plio-pleistocenici della fascia costie-

Apennine chain unit. This confining layer is an impervious boundary. Only in limited zones, because of the weathering processes, the higher permeability of its upper part allows the leakage and supplies a number of springs (Paleozoic; Jurassic-Lower Cretaceous; Lower Miocene).

Metacalcareous complex: It is made up of metalimestones with intercalations of dolomites and laminated argillites of the La Mula massif, located east of the Montea-Carpinoso Mountains. This complex has a high fracture and karst permeability and supplies many important springs (Lower Trias).

Dolomitic complex: This complex is the most widespread in the study area, since it coincides with the mountainous group of the Montea-Carpinoso Mountains. It is characterized by a very high fracture permeability and is the most important aquifer of the area because of its stretch and thickness. Accordingly it supplies many springs (perched springs too) with average discharges higher than 100 l/s too (Middle-Upper Trias).

Calcareous complex: It consists of the carbonate formations that outcrop on the edges of the dolomitic complex and in the sector of the Carpinoso Mount. It is an high-yielding aquifer too because of its high fracture and karst permeability (Upper Trias Cretaceous).

Calcarenitic complex: It overlies the phyllites and is a part of the "Schist of Lao River" formation. It has a low-medium intrinsic and fracture permeability (Lower Miocene).

Argillaceous complex: It is made up of the grey-azure sandy clays that outcrop on the costal strip, coming into contact with the other mio-pleiocene-quaternary formations. It is possible to consider this complex as an aquiclude (Upper Miocene).

Conglomeratic-detrital complex: All of conglomeratic deposits represent a single complex characterized by a very high intrinsic permeability. It has a little thickness when overlies the other complexes, but it becomes very thick where it coincides with the pre-orogenic carbonate breccias, located at the foot of the carbonate massifs, or with the mio-pleiocene conglomerates, present in the coastal strip. It may be considered an yielding aquifer and, for its stretch, important for the coastal area. On the other hand, it may stop somewhat the leakage from the carbonate complexes (Paleocene-Olocene).

According to the boundaries among the hydrogeological complexes above mentioned and to the distribution of the springs (SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE, 1941), it is reasonable to consider the carbonate massifs of the mountainous group of the Montea-Carpinoso Mountains as a unique hydrogeological unit. Actually, the carbonate massifs are bounded on the east by the tectonic contact with the metalimestones of the La Mula Mt.; on the south and west by the tectonic contact with the phyllites and clay-schist; on the north-western by the plio-pleistocene conglomerates and sands of the coastal strip; on the north-eastern by the "Schist of Lao River" formation (Fig. 2).

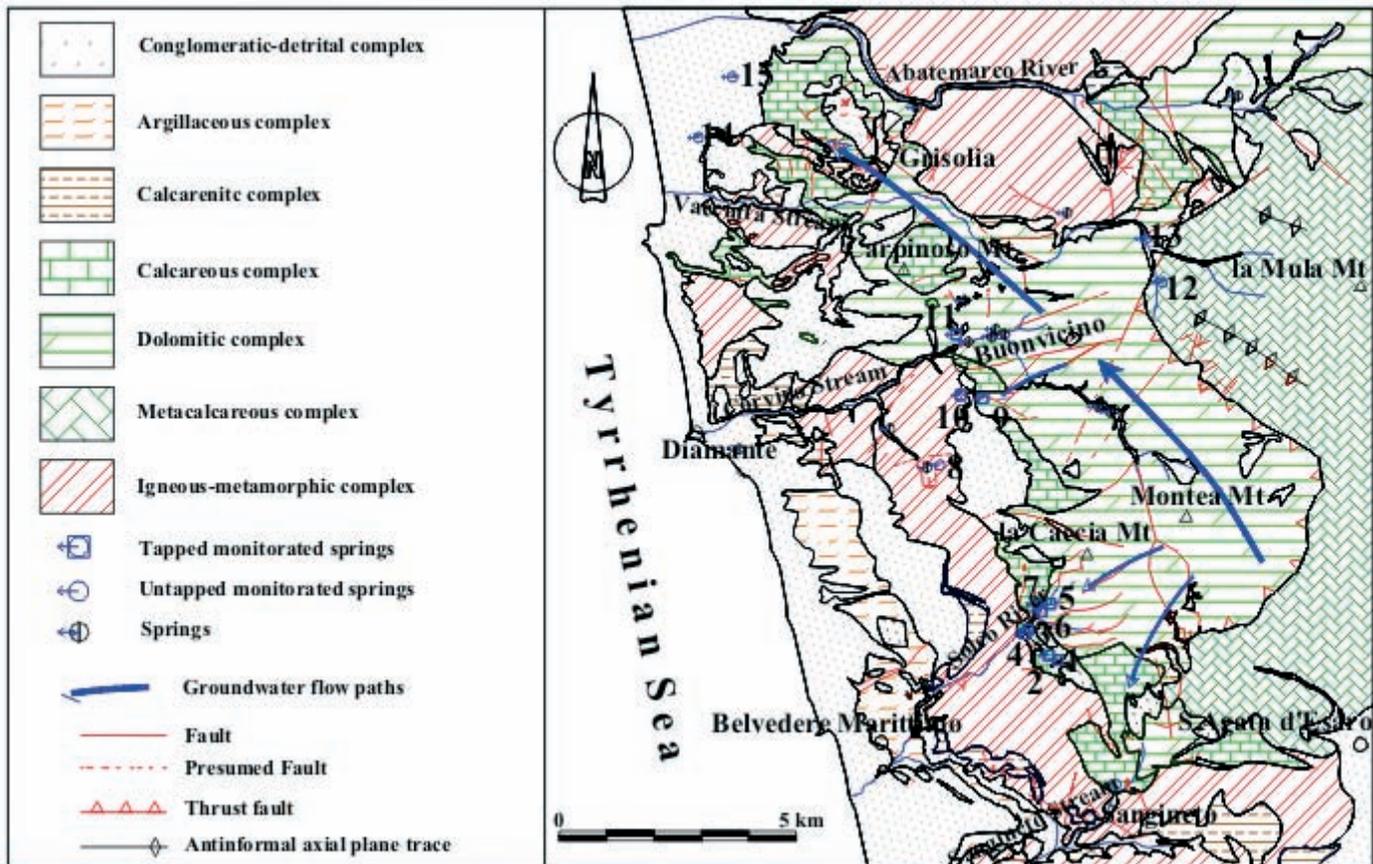


Fig. 2 - Carta idrogeologica
- Hydrogeological map

ra; a nord-est dalla formazione degli scisti del F. Lao (Fig. 2).

La distribuzione delle principali sorgenti, indice di un forte frazionamento del deflusso idrico sotterraneo, evidenzia il controllo dell'assetto strutturale anche sulla circolazione idrica sotterranea.

All'interno dell'unità carbonatica Montea-Carpinosa è pertanto possibile distinguere, a grande scala, due bacini idrici sotterranei coincidenti con le strutture del gruppo Montea a sud e del Monte Carpinoso a nord; tali strutture sono separate dall'allineamento tettonico orientato circa NE-SW, a sud dell'abitato di Buonvicino. Il suddetto limite è da considerarsi di parziale tamponamento, sussistendo la possibilità di travasi dal bacino meridionale verso quello settentrionale.

CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

L'unità idrogeologica Montea-Carpinosa non è mai stata oggetto di uno specifico ed organico studio idrogeologico. Le informazioni storiche sono tutte deducibili da studi a scala regionale che risalgono principalmente agli anni '70 (CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977); solo marginalmente rientra in studi molto più recenti (APOLLARO *et alii*, 2006).

In detta unità sono presenti numerose sorgenti (molte con portate di diverse decine di l/s) lungo il margine occidentale e nord-occidentale, oltre che emergenze di minore entità (qualche l/s) variamen-

The distribution of the springs shows the split of the groundwater flow in the carbonate aquifer and the strong tectonic control of the groundwater system too. Accordingly, in the Montea-Carpinosa hydrogeological unit it is possible to discriminate, on a large scale, two groundwater basins, corresponding on the south to the mountainous group of the Montea Mt. and of the Carpinoso Mt. on the north. The boundary between the two structures is the tectonic alignments in a NE-SW direction, to the south of Buonvicino. This boundary however allows leakage from the southern basin to the northern one.

HYDROGEOLOGICAL CHARACTERIZATION

The Montea-Carpinosa hydrogeological unit is never investigated carefully. The previous hydrogeological knowledge derives from regional studies which date back to the 1970s (CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977); just recent studies concern it slightly (APOLLARO *et alii*, 2006).

Even though they point out the existence of many springs. Those placed along the western and north-western edges of the same hydrogeological carbonate unit have discharges equivalent to many tens of

te distribuite nell'area costiera in funzione della permeabilità dei diversi complessi idrogeologici.

Le misure di portata disponibili erano essenzialmente quelle riportate nel volume VI de' "Le sorgenti italiane" (che si riferiscono agli anni '30) e alcune più o meno sistematiche effettuate nell'ambito del Progetto Speciale 26, a cura della CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1977). Tra queste sono state selezionate 15 sorgenti più significative, sia per le condizioni di emergenza sia per la rilevanza in termini di portata, sulle quali è stato eseguito un monitoraggio mensile nel periodo compreso tra marzo 2005 ed ottobre 2006 (Tab. 1). Contestualmente sono stati monitorati i pozzi posti nell'alta valle del F. Soleo, in prossimità delle opere di captazione delle omonime sorgenti. Inoltre, nel maggio 2006, sono state effettuate misure di portata nell'alveo dei torrenti Vaccuta e Corvino e del F. Soleo.

Analisi delle condizioni di emergenza

Significativa è la distribuzione delle emergenze in relazione all'assetto geologico-strutturale, come si evince dallo schema riportato in Fig. 2.

Procedendo da sud verso nord lungo il limite occidentale dell'unità idrogeologica Montea-Carpinosa si osservano, come sopra accennato, molte sorgenti con portate che spesso superano i 100 l/s (Fig. 2). Nel bacino del T. Sanginetto, di notevole rilevanza è la sorgente Le Forgie (350 m s.l.m.) che scaturisce da una profonda frattura del complesso calcareo per effetto del tamponamento operato in questa zona dagli scisti. Per questa sorgente le misure di portata risalgono al 1928 (portata media di circa 140 l/s, SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO, 1941) e al 1976 (100 l/s il 20/7/1976, CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977).

Proseguendo verso il F. Soleo, nel comune di Belvedere Marittimo si segnalano le sorgenti del Gruppo Petrosa e del Gruppo Soleo.

Le tre polle del gruppo Petrosa (n. 3 e 4 in Fig. 2) sono poste a

l/s, albeit the ones present in the coastal area have discharges equivalent to few l/s and their location is connected to the permeability variations of the hydrogeological complexes. Their discharge measures derived above all from the VI volume of the "Le sorgenti italiane" dating back to the 1930s; few systematic measures dated back to the 1970s (CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977).

According to the outflow conditions and discharge values, the 15 most significant springs and the well placed near the Soleo spring group have been monitored. The monthly monitoring was carried out in the period March 2005-October 2006. The table 1 points out the main characteristics of the monitored springs. Furthermore surface flow measures were carried out in the month of May 2006.

Analysis of the outflow conditions.

It is interesting to observe the distribution of springs in relation to the geological-structural setting, as depicted in Fig. 2.

Moving from south to north along the western boundary of the Montea-Carpinosa hydrogeological unit, it is possible to survey many springs with discharges often higher than 100 l/s (Fig. 2). In the Sanginetto S. basin very important is the Le Forgie spring (350 m a.s.l.), that outflows from a deep fracture of the calcareous complex because of the contact with the impervious schist. Its discharge measures date back to the 1928 (average discharge about 140 l/s, SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO, 1941) and to the 1976 (100 l/s the 20/7/1976, CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977).

Going to the Soleo R., in the territory of Belvedere Marittimo there are two spring groups, Petrosa and Soleo.

The three springs of the Petrosa group (n. 3 and 4 in Fig. 2) are within striking distance among them and their altitude ranges within

N.	Name	Altitude (m a.s.l.)	Discharge (m ³ /s)			T (°C)	pH	EC (µS/cm)
			maximum	average	minimum			
1	Acqua Vena I	580	cp. Soleo I					
2	Acqua Vena II	590	cp. Soleo I					
3	Petrosa Alta	425	0,150	0,127	0,094	10,8	7,98	580
	Petrosa B. Reg.	415	0,037	0,028	0,020			
4	Petrosa B. Com	410	0,106	0,088	0,052	11,0	8,18	548
5 e 6	Soleo 1	550	0,122	0,093	0,074	10,1	8,13	493
7	Soleo 2	550	0,138	0,105	0,079	9,9	8,13	513
8	Ferrara Principale	400	0,170	0,089	0,023	11,3	8,47	386
9	Gruppo Bottario	430	0,140	0,113	0,090	10,0	8,16	446
10	Acqua del Frasso	410	0,063	0,033	0,018	11,3	8,11	439
11	Venicelle I	260	0,169	0,114	0,047	11,4	7,64	738
12	Pantanelle Captata	640	0,358	0,226	0,146	9,7	8,05	480
13	Pantanelle Libera	640	0,063	0,034	0,020	8,5	7,93	456
14	Palazzo	17	0,167	0,074	0,045	14,6	7,69	683
15	Fiumicello	30	0,294	0,165	0,055	15,0	7,64	974

Tab. 1 - Principali sorgenti dell'unità Montea-Carpinosa (marzo 2005-ottobre 2006). In blu quelle della struttura di M. La Mula
- Main springs of the Montea-Carpinosa carbonate unit (March 2005-October 2006). In blue the springs of the La Mula Mt. structure

piccola distanza l'una dall'altra e con una differenza di quota pari a 15 m, come si evince dalla Tab. 1 riassuntiva delle principali caratteristiche delle sorgenti monitorate nell'ambito del presente studio.

Si tratta ancora di sorgenti per soglia di permeabilità sovrapposta, ubicate al contatto tra il complesso calcareo e quello igneo-metamorfico e captate mediante bottini di presa.

Nell'alta valle del F. Soleo, alla quota di circa 550 m s.l.m., nel settore sud-occidentale del complesso dolomitico si riscontrano numerose emergenze con portata misurata il 13/06/1930 pari a 707 l/s e il 17/10/1937 pari a 462 l/s (SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO, 1941). L'emergenza, in questa zona fortemente tettonizzata, avviene all'interno di profonde fratture o piccole caverne formatesi nelle rocce carbonatiche. Significativa è la denominazione locale dell'area, definita "Acqua della Vena". Con riferimento alle sorgenti captate, nel P.S.26 (CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977) si riporta, per gli anni '60-'70, una portata media di circa 76 l/s.

Attualmente, parte del fronte sorgivo è captata con una galleria drenante (Soleo 1, n. 1, 2, 5 e 6 in Fig. 2 e Tab.1) e la rimanente parte con un bottino di presa (Soleo 2, n. 7 in Fig. 2 e Tab. 1). A queste opere sono affiancati alcuni pozzi utilizzati solo nel periodo estivo.

Nel bacino del T. Corvino, rilevanti sono le sorgenti Ferrara Principale (n. 8 in Fig. 2 e Tab.1), del gruppo Bottario (n. 9 in Fig. 2 e Tab. 1), Acqua del Frasso (n. 10 in Fig. 2 e Tab.1) e Venicelle I (n. 11 in Fig. 2 e Tab.1). Da segnalare, comunque, anche varie emergenze di alta quota, quali le sorgenti della zona del Serapodolo e della Grotta di San Ciriaco e la sorgente Pizerra.

A sud-ovest del centro abitato di Buonvicino, nell'ambito del complesso igneo-metamorfico, qui rappresentato dagli scisti filladici, si rilevano molte scaturigini di modesta entità, fatta eccezione della sorgente Ferrara Principale. Le acque emergono in più punti laddove gli scisti si presentano estremamente fratturati. La notevole portata di detta sorgente (89 l/s nel periodo monitorato) è da attribuire ai travasi sotterranei dal contiguo complesso detritico-conglomeratico, qui rappresentato dalle breccie calcaree. La sorgente, non captata, alimenta il T. Cella, affluente del Corvino, e viene utilizzata per scopi irrigui.

Il gruppo Bottario è formato da diverse polle che vengono a giorno all'interno di fratture e canali che gli eventi tettonici e carsici hanno formato nel complesso calcareo; si tratta ancora di sorgenti per soglia di permeabilità sovrapposta alimentate dall'acquifero carbonatico nel suo complesso. La maggior parte di queste polle sono captate; quelle non captate vengono comunque utilizzate a fini irrigui. Nella tabella 1 si fa riferimento alle scaturigini captate.

La sorgente Acqua del Frasso si trova ad ovest del gruppo precedente, proprio alla base del costone sul quale sorge l'abitato di Buonvicino ed è captata mediante bottino di presa. La sorgente Venicelle I, invece, è ubicata più a nord sul versante carbonatico che sovrasta la sponda destra del T. Corvino. Essa è quella più rilevante tra quelle ivi presenti e che scaturiscono in corrispondenza delle maggiori fratture del complesso dolomitico. È anch'essa captata mediante bottino di presa.

15 m, as showed in Tab. 1. They are fault springs because of the boundary between the calcareous and igneous-metamorphic complexes and are tapped by water plug cesspools.

In the high valley of the Soleo R., at the altitude of about 550 m a.s.l., specifically in the south-western sector of the dolomitic complex, there are a number of springs with discharge equivalent to 707 l/s the day 13/06/1930 and equivalent to 462 l/s the day 17/10/1937 (SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO, 1941). They are fracture springs that outflow from deep fractures or small caverns. Indeed this area is named "Acqua della Vena". As regards the tapped springs, in the P.S.26 (CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977) is registered an average discharge equivalent to about 76 l/s which dates back to the 1960s-1970s.

Now a part of them (Soleo 1, n. 1, 2, 5 and 6 in Fig.2 and Tab.1) are tapped by a drainage tunnel, the others (Soleo 2, n. 7 in Fig. 2 and Tab. 1) by a water plug cesspool. In the summertime some wells, placed near the tapping tools above mentioned, withdraw too.

In the Corvino S. basin the main springs are Ferrara Principale (n. 8 in Fig. 2 and Tab.1), the Bottario group (n. 9 in Fig. 2 and Tab.1), Acqua del Frasso (n. 10 in Fig. 2 and Tab.1) and Venicelle I (n. 11 in Fig. 2 and Tab.1). In addition many perched springs must be considered, e.g. the springs of the Serapodolo zone, the Cavern of San Ciriaco and Pizerra springs.

To the south-western of Buonvicino, inside the igneous-metamorphic complex, coinciding here with the schist and phyllites, there are a number of small springs, except for the Ferrara Principale spring. The outflow is diffused where the schist are highly fractured. The big discharge of the Ferrara Principale spring (89 l/s in the observation period) is due to the leakage from the adjacent conglomeratic-detrital complex, coinciding here with the carbonate breccias. This untapped spring supplies the Cella S., a tributary of the Corvino S, and its water is utilized for the irrigation.

The Bottario spring group is composed of a number of fault springs which outflow from fractures and channels present in the calcareous complex. A large part of them (Tab. 1) is tapped; the water of the untapped ones is utilized for the irrigation. The Acqua del Frasso spring outflows to the west of the Bottario group, at the foot of the carbonate slope on which is Buonvicino. It is tapped by a water plug cesspool. The Venicelle I spring, instead, outflows further to the north, at the foot of the carbonate slope that rears on the right bank of the Corvino S. It is the most important spring of this area, where the waters outflow from the main fractures of the dolomitic complex. It is tapped by a water plug cesspool too.

At last, to the north-western end of the Montea-Carpinosa carbonate unit there are two springs, Palazzo (n. 14 in Fig. 2 and Tab. 1) and Fiumicello (n. 15 in Fig. 2 and Tab. 1). Specifically they are inside the conglomeratic-detrital complex, in the area where the boundary of the whole unit hits the lowest altitude.

Notably, the Palazzo spring outflows to the contact between a

Infine, all'estremità nord-occidentale dell'unità carbonatica Montea-Carpinosa, in prossimità del settore a minore quota della sua intera delimitazione, all'interno del complesso conglomeratico-detritico, si rinvengono due sorgenti, Palazzo (n. 14 in Fig. 2 e Tab. 1) e Fiumicello (n. 15 in Fig. 2 e Tab. 1). La sorgente Palazzo, in particolare, emerge laddove un piccolo affioramento calcareo viene in contatto con i conglomerati pleistocenici. Le acque di entrambe le sorgenti sono incanalate ed utilizzate a fini irrigui.

Da tutto quanto sopra esposto appare, dunque, evidente l'alimentazione dalla falda di base dell'acquifero carbonatico; la complessa ed articolata frammentazione del recapito è l'effetto della specifica evoluzione geologico-strutturale dell'area. Infatti, specialmente nell'individuato bacino meridionale (M. Montea), le principali emergenze sono tutte ubicate all'estremità occidentale delle direttrici tettoniche ad andamento NE-SW.

Nell'alta valle del T. Vaccuta, al margine nord-occidentale della struttura di M. La Mula, è il fronte sorgivo di Pantanelle. Esso è in parte captato mediante trincea drenante e in parte contribuisce ad alimentare il medesimo T. Vaccuta (n. 12 e 13 in Fig. 2 e Tab. 1). L'analisi delle caratteristiche di dette sorgenti, non direttamente correlabili all'idrodinamica sotterranea dell'unità carbonatica in esame, potrebbe contribuire a delinearne meglio le condizioni di flusso.

Analisi delle condizioni di flusso sotterraneo

Per ciascuna delle sorgenti sopra descritte e riportate in tabella 1, con cadenza mensile, tra marzo 2005 e ottobre 2006 è stata misurata la portata e determinati in situ la temperatura, la conducibilità ed il pH delle relative acque.

Le sorgenti con portata media variabile tra 28 l/s e 165 l/s, se si escludono le due Pantanelle, sono caratterizzate da acque con temperatura comprese tra 9.9°C e 15.0°C e con valori di pH tra 7,64 e 8,47. La conducibilità elettrica, compensata a 20°C, varia tra 386 e 974 $\mu\text{mS/cm}$ (Tab. 1).

I valori di pH, tipici di acque chimicamente mature per interazione con rocce carbonatiche, indicano un decremento procedendo dal settore meridionale (gruppo Petrosa, gruppo Soleo, gruppo Bottario, Acqua del Frasso) verso quello settentrionale, confermando l'ipotizzata compartimentazione in due bacini sotterranei coincidenti con le strutture di M. Montea e di M. Carpinoso (MAZZIOTTI DI CELSO *et alii*, 2005). Inoltre, poiché in molti casi è la temperatura che regola le principali reazioni di equilibrio nelle acque bicarbonato alcalino-terrose, allorché si allungano i circuiti idrici sotterranei e si mobilitano acque caratterizzate da maggiori tempi di interazione con la roccia, si registrano valori più bassi del pH (FORD & WILLIAMS, 1989).

Ciò emerge anche da una buona correlazione tra il pH e la quota di emergenza e dal rapporto inverso con la conducibilità (Fig. 3).

La dispersione dei medesimi parametri all'interno di ciascun bacino è, invece, indice delle complesse fenomenologie localmente in atto e della miscelazione tra le acque della falda basale con quella derivante da circuiti più veloci.

small carbonate outcrop and the Pleistocene conglomerates. The waters of both springs have been channelized and are utilized for the irrigation.

After this examination of data, it can be argued that the basal groundwater of the carbonate aquifer supplies all of springs. The split-up of the outflow is due to the intricate geological-structural evolution of this region. It is clear chiefly in the southern groundwater basin (Montea Mt.), where the springs are situated at the western end of the tectonic lines in the NE-SW direction.

In the high valley of the Vaccuta S, specifically to the north-western boundary of the La Mula Mt. structure, are the Pantanelle diffuse springs. A part of ones is tapped by a cut-off trench; the others leak to the Vaccuta S. (n. 12 e 13 in Fig. 2 and Tab. 1). The analysis of their characteristics, even if not directly related to the hydrodynamic conditions of the study carbonate unit, may contribute to assessing its flow state.

Analysis of the groundwater flow conditions

A monthly monitoring (March 2005 - October 2006) of the 15 springs above considered was carried out. Their discharges have been recorded and field measurements of pH, temperature and conductivity have been made.

In summary, their average discharges range between 28 l/s and 165 l/s, excluding the two Pantanelle springs; the average temperatures of their water are in the range 9.9 to 15.0°C, while the average pH in the range 7.64 to 8.47. Lastly, the average electrical conductivity, standardized to 20°C, ranges between 386 and 974 $\mu\text{mS/cm}$ (Tab. 1).

The pH values are typical of chemically evolved waters, which flows in carbonate rocks, (MAZZIOTTI DI CELSO *et alii*, 2005). They decrease going from the southern basin (Petrosa spring group, Soleo spring group, Ferrara Principale, Bottario spring group, Acqua del Frasso) to the northern one. It seems like the supposed partition into two groundwater basins, coinciding with the Montea Mt. and Carpinoso Mt. structures, is actual.

Besides, if we consider that the temperature controls the main reaction equilibria in bicarbonate-alkaline waters, when groundwater flow-paths lengthen, moving water characterized by longer time of water-rock interactions, the pH values decrease (FORD & WILLIAMS, 1989).

There is clear evidence examining the good correlation between the pH and the altitude of the springs or the inverse ratio between the pH and the conductivity (Fig. 3).

The dispersion of the same parameters inside each basin points out, conversely, the localized composite flow conditions and the mixing between basal groundwater and water which flows in

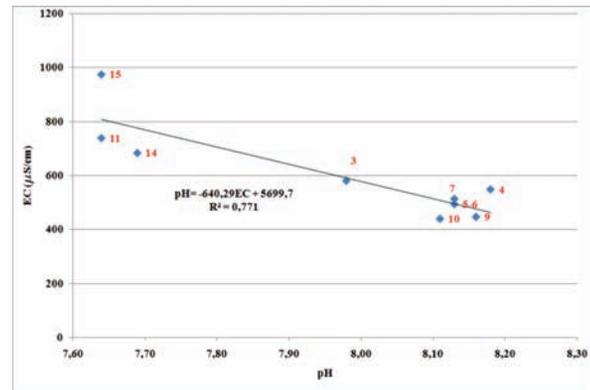
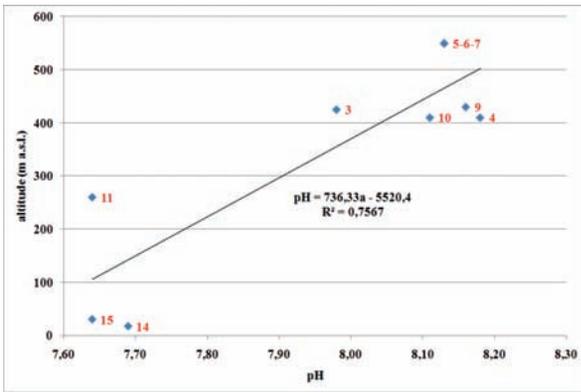


Fig. 3 - Correlazione tra il pH medio e la quota delle sorgenti e tra il pH e la conducibilità
 - pH vs altitude of springs and pH vs electrical conductivity

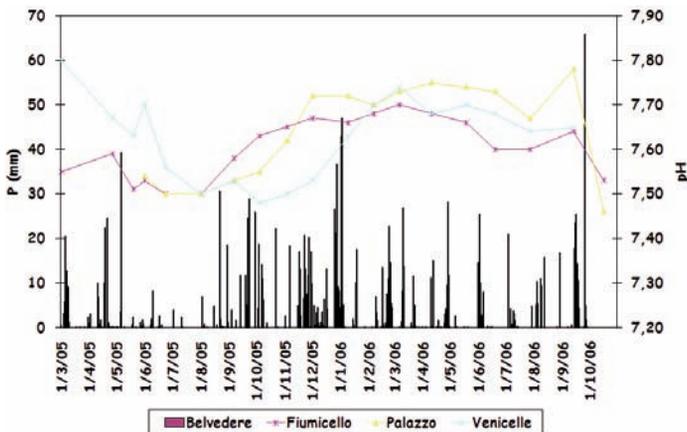
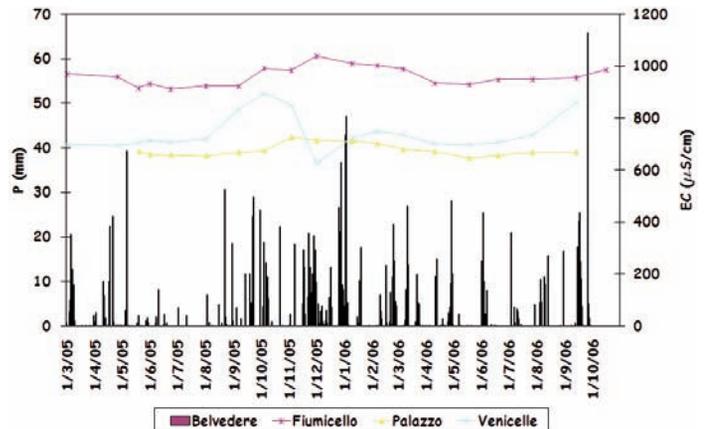
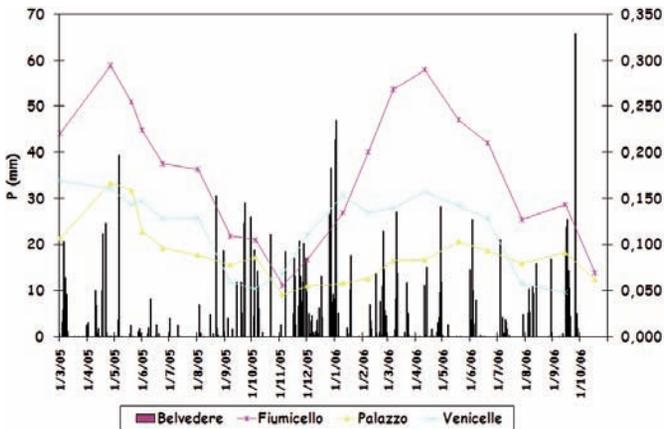


Fig. 4 - Caratterizzazione delle principali sorgenti del bacino settentrionale di M. Carpinoso
 - Characterization of the main springs of the northern basin of Carpinoso Mt.

Le sorgenti più settentrionali (Venicelle I, Fiumicello e Palazzo; n. 11, 15 e 14 in Fig. 2), alimentate dal bacino di M. Carpinoso, presentano un regime del tutto comparabile. Si rileva un deflusso piuttosto modulato, con tempi di risposta dell'acquifero di circa 3-4 mesi, al quale si sovrappone un deflusso legato a circuiti più veloci con immediate ripercussioni sulle portate sorgive (Fig. 4). Ripercussioni differenti in funzione delle specifiche condizioni di emergenza. Alla

speeder paths.

The most northerly springs (Venicelle I, Fiumicello and Palazzo; n. 11, 15 and 14 in Fig. 2), fed by the Carpinoso Mt. basin, have a comparable regime. It is possible to note a flow rather modulated, with response time equivalent to about 3-4 months, on which superimposes a flow from speeder paths, that influences immediately the spring discharges (Fig. 4). The dis-

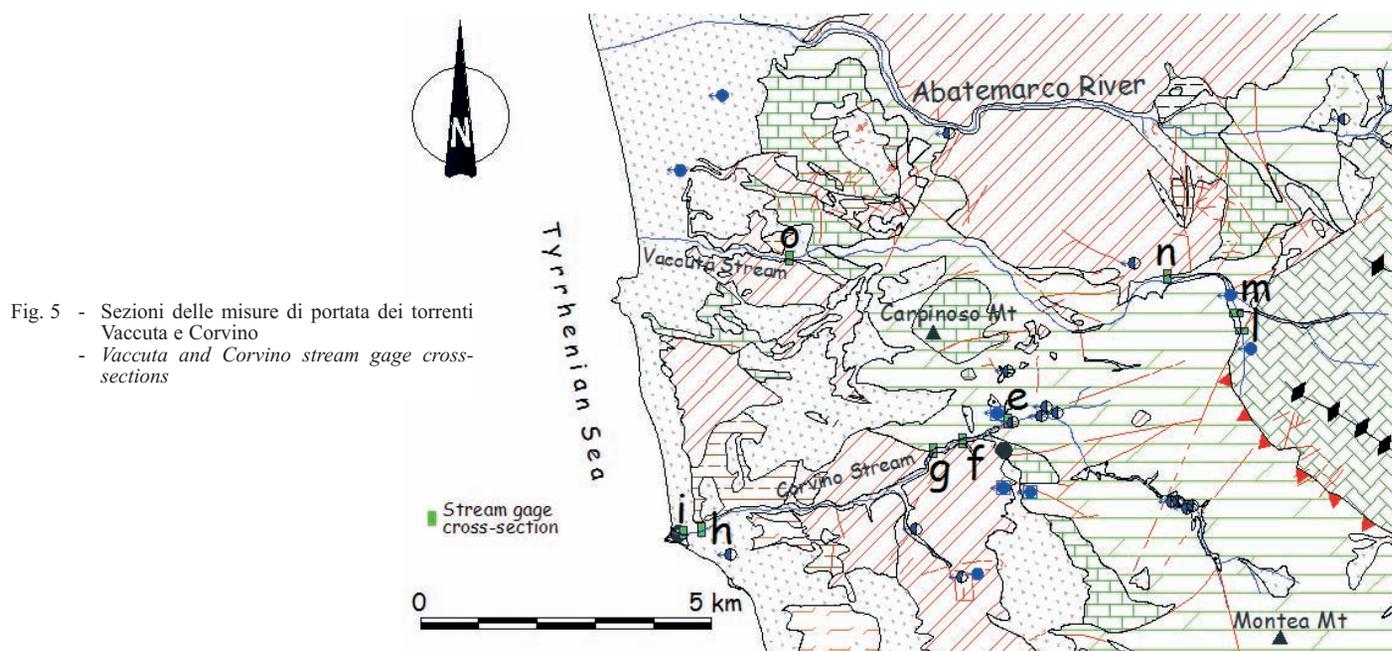


Fig. 5 - Sezioni delle misure di portata dei torrenti Vaccuta e Corvino
- Vaccuta and Corvino stream gage cross-sections

variabilità delle portate, secondo le modalità sopra esplicate, corrisponde una variazione della conducibilità elettrica e del pH delle acque. In particolare si nota per l'intero bacino settentrionale, ma in maniera più marcata per la sorgente Venicelle I, che durante gli eventi pluviometrici di maggiore rilevanza si osserva un incremento della conducibilità e un decremento del pH (Fig. 4). Questo fenomeno, se si escludono possibili contaminazioni considerato lo stato dei luoghi, può essere correlato alla mobilizzazione di acque più mineralizzate.

Per quanto attiene ai rapporti tra acque sotterranee e superficiali, infatti, le misure in alveo rivelano una ulteriore articolazione dell'idrodinamica sotterranea nel bacino di M. Carpinoso. Si precisa che, essendo le acque superficiali derivate per uso irriguo nel periodo estivo, dette misure sono state effettuate nel mese di maggio 2006, ovvero in un periodo in cui l'irrigazione non era ancora praticata e il deflusso superficiale è stato piuttosto trascurabile. Per il T. Corvino le sezioni di misura sono state tre (e, f, g in Fig. 5), comprese tra la zona di emergenza della sorgente Venicelle ed il limite tra il complesso dolomitico e quello igneo-metamorfico; per il T. Vaccuta si fa riferimento a quattro sezioni di misura. Le prime tre (l, m, n in Fig. 5) sono comprese tra la sorgente Pantanelle libera e l'ultimo tratto nel quale il corso d'acqua è accessibile (poi prosegue in una profonda ed impraticabile forra); l'ultima misura (o in Fig. 5) è stata effettuata nella zona in cui il torrente diviene nuovamente accessibile, precisamente nel territorio comunale di Maierà, e comunque al limite occidentale dell'unità Montea-Carpinoso.

Per il T. Corvino si registra un incremento di portata pari a 371 l/s tra le sezioni e ed f, e di ulteriori 469 l/s tra le sezioni f e g. Il che equivale ad un incremento di portata di circa 840 l/s tra la zona di emergenza della sorgente Venicelle (e) e il limite occidentale dell'unità idrogeologica (g). In questo tratto, infatti, l'allineamento tettoni-

charge variations are related to the specific outflow conditions. When the discharges change, as already described, the conductivity and the pH of the water vary too. Namely, in the northern groundwater basin, above all with reference to the Venicelle I spring, with heavy rain the conductivity increases, while the pH decreases (Fig. 4). This phenomenon, excluding any pollution, can be connected to the mobilization of more mineralized waters.

In addition, the surface flow measurements outlines another feature of the hydrodynamic conditions in the Carpinoso Mt. basin. These measurements were carried out in the month of May 2006, to be precise in a dry period and shortly before the surface water were diverted to irrigate.

With reference to the Corvino S. the measurement cross-sections was three (e, f, g in Fig. 5) placed between the Venicelle spring and the boundary of the Montea-Carpinoso unit. With reference to the Vaccuta S. the measurement cross-sections are four: the first three (l, m, n in Fig. 5) were positioned between the Pantanelle libera spring and the last accessible pathway of the stream (further it goes to a deep and impassable gully); the last measurement (o in Fig. 5) was made in the zone where the stream became accessible again, specifically in the territory of Maierà, at the western boundary of the study hydrogeological carbonate unit.

The discharge of the Corvino S. increased by 371 l/s between the cross-sections e and f, by 469 l/s more between the cross-sections f and g. In other words, its discharge increased by about 840 l/s between the Venicelle spring (e) and the western boundary of the hydrogeological unit (g). In this path, indeed, the tectonic alignments, along which the stream flows, probably catches the diffuse outflows from the adjacent carbonate block because it represents, in this area, the lowest zone.

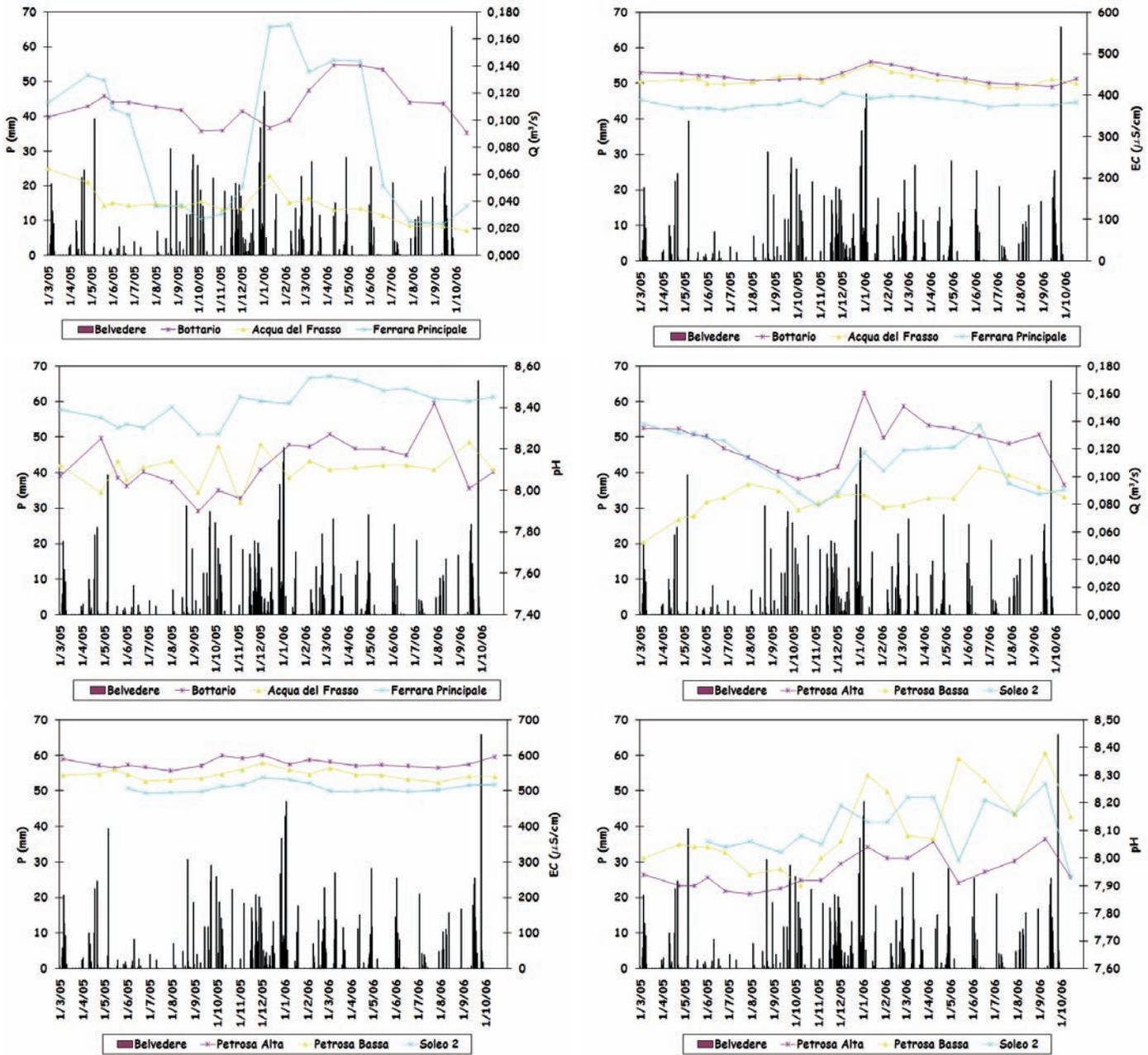


Fig. 6 - Caratterizzazione delle principali sorgenti del bacino meridionale di M. Montea
 - Characterization of the main springs of the southern basin of Montea Mt.

co sul quale si è impostato il corso d'acqua, essendo localmente la zona altimetricamente più depressa, diviene probabilmente il recapito principale del contiguo blocco carbonatico.

Rilevante è anche l'analisi delle variazioni di portata lungo il corso del T. Vaccuta. Si registra un incremento di portata di circa 77 l/s tra le sezioni l ed m e di ulteriori 459 l/s tra le sezioni m e n. In particolare nella sezione n la portata misurata del corso d'acqua è pari a circa 572 l/s. Nella sezione o, invece, ovvero dopo il deflusso lungo

Significant is the analysis of the discharge variations along the path of the Vaccuta S. too. The stream discharge increased by about 77 l/s between the sections l and m; by 459 l/s more between the sections m and n. Precisely in the section n its discharge was equivalent to about 572 l/s. In the section o, after the flow in the deep and impassable gully, on the contrary, the discharge of the Vaccuta S. became less than 1 l/s. According to the characteristics (i.e. fracture and karst) of the carbonate complexes above outlined, it is clear that

Spring	α (d ⁻¹)	Average α (d ⁻¹)	Spring	α (d ⁻¹)	Average α (d ⁻¹)	Spring	α (d ⁻¹)	Average α (d ⁻¹)
Northern basin			Southern basin					
Palazzo (2005)	0,0057	0,0045	Ferrara (2005)	0,0162	0,0138	Petrosa Bassa C. (2005)	0,0030	0,0024
Palazzo (2006)	0,0033		Ferrara (2006)	0,0114		Petrosa Bassa C. (2006)	0,0019	
Fiumicello (2005)	0,0083	0,0080	Gr. Bottario (2005)	0,0018	0,0023	Petrosa Bassa R. (2005)	0,0027	0,0027
Fiumicello (2006)	0,0077		Gr. Bottario (2006)	0,0029		Petrosa Bassa R. (2006)	0,0027	
Venicelle (2005)	0,0023	0,0023	Acqua del Frasso (2005)	0,0012	0,0028	Petrosa Alta (2005)	0,0020	0,0020
Venicelle (2006)	0,0023		Acqua del Frasso (2006)	0,0045		Petrosa Alta (2006)	0,0021	
			Soleo 1 (2005)	0,0023	Soleo 2 (2005)	0,0029	0,0028	
			Soleo 1 (2006)	0,0029	Soleo 2 (2006)	0,0028		

Tab. 2 - Coefficienti di esaurimento delle principali sorgenti
- *Recession constants of the main springs*

Well	Piezometric head (m. a.s.l.)	Dynamic piezometric head (m. a.s.l.)	T (°C)	pH	EC (µS/cm)
Soleo 1	545,19	427,54 (July and August)	11,7	7,96	526
Soleo 2	538,04	-	-	-	-
Soleo 3	537,67	514,54 (July and August)	11,8	8,16	533

Tab. 3 - Dati salienti dei pozzi Soleo (marzo 2005-ottobre 2006)
- *Characteristics of the Soleo wells*

una profonda ed impenetrabile forra, il deflusso superficiale è del tutto trascurabile risultando la portata inferiore ad 1 l/s. Chiaramente, in conformità dello stato di fratturazione dei complessi carbonatici e dell'esistenza di circuiti idrici veloci, si assiste ad una reinfiltrazione delle acque nel tratto compreso tra le sezioni n e o.

Il rilevante ruolo dell'assetto tettonico e dei conseguenti circuiti idrici veloci connessi a fratture beanti e canali carsici è ancor più palese nel bacino meridionale di M. Montea (Fig. 6). A tale proposito significativo è il repentino incremento di portata registrato in concomitanza degli eventi pluviometrici dei primi giorni del gennaio 2006 in tutte le sorgenti del bacino meridionale, con esclusione del solo gruppo Bottario. Tutto ciò si riflette in una variabilità dei parametri chimico-fisici che sono la risultante delle dinamiche di mescolamento tra acque chimicamente più mature con acque a circolazione più attiva.

Tali dinamiche locali controllano anche i coefficienti di esaurimento delle diverse sorgenti (Tab. 2). Si precisa che i valori mediamente più alti per le sorgenti Fiumicello e Palazzo sono correlabili anche al deflusso nel complesso calcareo, che affiora più estesamente nel settore nord-occidentale dell'unità idrogeologica Montea-Carpinosa.

D'altra parte l'estrema eterogeneità dell'acquifero si rileva anche dall'analisi dei dati acquisiti sui pozzi, prossimi l'uno all'altro, che affiancano le opere di captazione delle sorgenti Soleo. Si sottolinea a tal fine la differente risposta ad analoghe portate di emungimento (30 l/s per il pozzo Soleo 1 e 37 l/s per il pozzo Soleo 3) (Tab. 3); il pozzo Soleo 2 non viene utilizzato per la sua trascurabile produttività.

Tutto ciò è ancor più esaltato dalla elaborazione ed analisi delle prove di emungimento a gradini crescenti di portata eseguite sui medesimi pozzi in fase di realizzazione (anno 2001) (Fig. 7 e 8). Al di là della più breve durata delle prove di emungimento dei pozzi Soleo 1 e 2, dovuta proprio alla più limitata produttività, si rileva come l'apparente anomalia delle rispettive curve caratteristiche sia da correlare alla forte eterogeneità e discontinuità dell'acquifero carbo-

the water reinfiltrates between the sections n and o.

The influence of the tectonic setting and of the subsequent fractures and karst channels on the groundwater flow is still easy to see in the Montea Mt. basin (Fig. 6). Actually, with regard to the southern basin considerable is the simultaneous increase of the spring discharges, excluding the Bottario group, with the heavy rain of the first days of January 2006. It is possible to note a strong fluctuations in chemical-physical parameters just because of the mixing between chemically evolved and active waters.

These localized dynamics control the recession constants too (Tab. 2). The higher values of the Fiumicello and Palazzo springs are due to the flow in the calcareous complex, widespread in the north-western area of the study hydrogeological unit.

On the other hand, the analysis of the characteristics of the wells, located near the tapping works of the Soleo springs and one another, shows the strong heterogeneity of the aquifer. An example of this is the different response to the same pumping rate (30 l/s for the Soleo 1 well and 37 l/s for the Soleo 3 well) (Tab. 3); the Soleo 2 well is not utilized because of its lesser yield.

Accordingly is the result of the step-drawdown pumping tests carried out during the well construction (year 2001) (Figg. 7 and 8). Even though the short time of the tests, still due to the low yield of the wells, it is clear that the apparent anomaly of their characteristic curves is related to the heterogeneity and discontinuity of the carbonate aquifer. The latter causes sharp specific capacity variations according to the fractures and faults present in the volume of aquifer involved in pumping.

With reference to the first step-drawdown, comparable to the undisturbed hydrodynamic conditions, it is evaluated a specific capacity (Q_s) = $8,7 \times 10^{-4}$ m²/s and a transmissivity (T) = $2,9 \times 10^{-3}$ m²/s for the Soleo 1 well; Q_s = $4,9 \times 10^{-4}$ m²/s and T = $2,3 \times 10^{-5}$ m²/s for the Soleo 2 well; Q_s = $1,7 \times 10^{-3}$ m²/s and T = $1,4 \times 10^{-2}$ m²/s for the

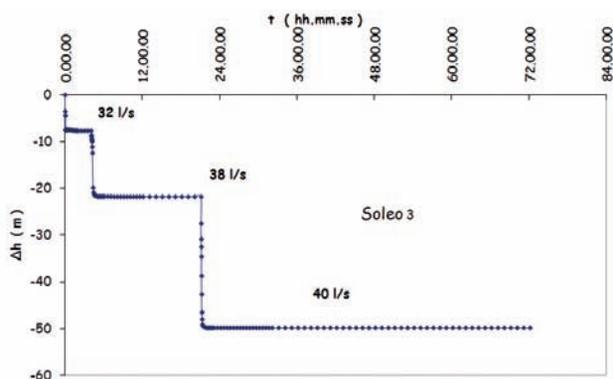


Fig. 7 - Prova di emungimento del Pozzo Soleo 3
- Soleo 3 pumping test

natico. Tale condizione, infatti, determina repentine variazioni della portata specifica in funzione delle fratture e/o faglie intercettate nel volume di acquifero interessato dall'emungimento.

Con riferimento al primo gradino di portata, idrodinamicamente più assimilabile alle condizioni di flusso laminare, interpretato in regime di non equilibrio, si stima una portata specifica (Q_s) = $8,7 \times 10^{-4}$ m^2/s e una trasmissività (T) = $2,9 \times 10^{-3}$ m^2/s per il pozzo Soleo 1; una Q_s = $4,9 \times 10^{-4}$ m^2/s e una T = $2,3 \times 10^{-5}$ m^2/s per il pozzo Soleo 2; una Q_s = $1,7 \times 10^{-3}$ m^2/s e una T = $1,4 \times 10^{-2}$ m^2/s per il pozzo Soleo 3.

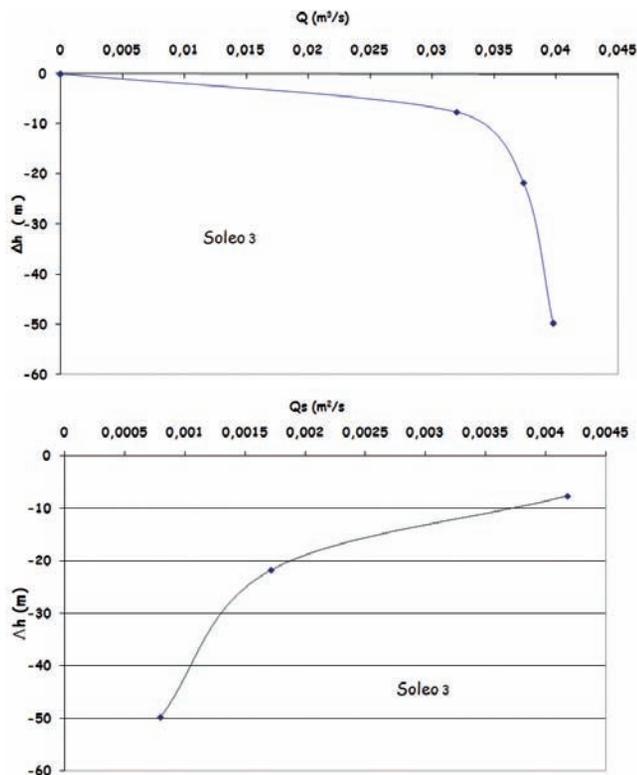
D'altra parte l'analisi delle stratigrafie dei tre pozzi in esame indica, per il pozzo Soleo 3, fasce di intensa fratturazione alla profondità di circa 47 e 80 m dal p.c.

Stima delle risorse idriche sotterranee

La valutazione delle risorse idriche sotterranee dell'unità Montea-Carpinosa, utile anche per un riscontro della caratterizzazione idrogeologica fin qui trattata, è basata sul bilancio idrologico riferito sia all'anno medio (1951-1989) sia all'anno idrologico 2005-2006.

L'assenza di stazioni meteo-climatiche nell'area montuosa in oggetto e le particolari condizioni orografiche del medesimo territorio hanno reso indispensabile una articolata e complessa analisi delle serie termo-pluviometriche storiche.

Al fine di rilevare l'esistenza di un trend climatico a scala regionale sono state esaminate, con riferimento al massimo periodo di osservazione (1921-2006), le serie termo-pluviometriche dell'intera provincia di Cosenza (ANNALI DEL SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREO-



Soleo 3 well.

Actually, the analysis of the well stratigraphies outlines very fractured zones at the depth of 47 and 80 m b.s.l.

Evaluation of the groundwater resources

The evaluation of the groundwater resources of the Montea-Carpinosa carbonate unit is a very useful means of verifying the hydrogeological characterization already discussed. The water budget was carried out with reference both to the average hydrological year (1951-1989) and to the hydrological year 2005-2006.

The analysis of precipitation and air temperature time series has been very complex and difficult for the lack of a weather monitoring network in the study mountainous area and for orographical features of the territory.

In order to assess a climate trend on regional scale, the precipitation and air temperature time series of whole province of Cosenza (ANNALI DEL SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO; PROTEZIONE

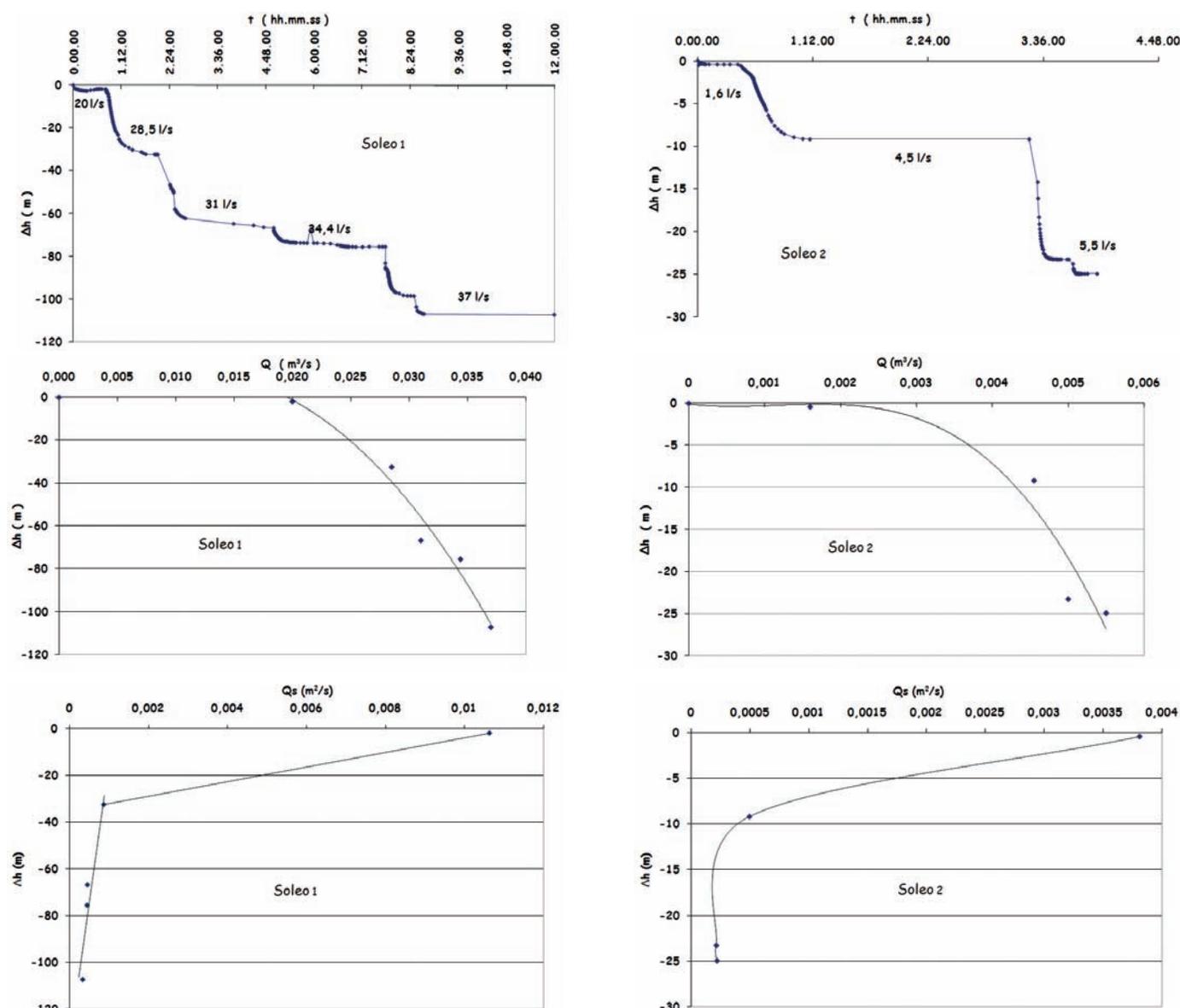


Fig. 8 - Prova di emungimento dei pozzi Soleo 1 e Soleo 2
 - Soleo 1 and Soleo 2 pumping test

GRAFICO; PROTEZIONE CIVILE REGIONE CALABRIA). La conseguente selezione delle stazioni che hanno funzionato con maggiore regolarità e continuità temporale ha indotto a riferire il bilancio medio al periodo 1951-1989.

Tenendo conto dei fattori climatici ed orografici che notoriamente condizionano la distribuzione delle precipitazioni in un dato territorio, le stazioni sono state raggruppate in maniera da distinguere la presenza di eventuali zone pluviometriche.

Sono state così individuate a scala regionale tre zone pluviometriche (zona tirrenica, zona interna, zona ionica) all'interno delle quali vige una specifica variazione delle precipitazioni con la quota (Fig.

CIVILE REGIONE CALABRIA) have been examined, with reference to the maximum period available (1921-2006). The following selection of the stations has been based on the temporal continuity of the record, so that the average water budget has been evaluated with reference-period 1951-1989.

Thus three pluviometric zones (Tyrrhenian, interior and Ionian zones) have been recognized within which is operative a specific precipitation variation law with altitude (Fig. 9). Conversely, because of the less spatial variability of air temperature, it is possible to consider a unique temperature variation law with altitude (Fig.10).

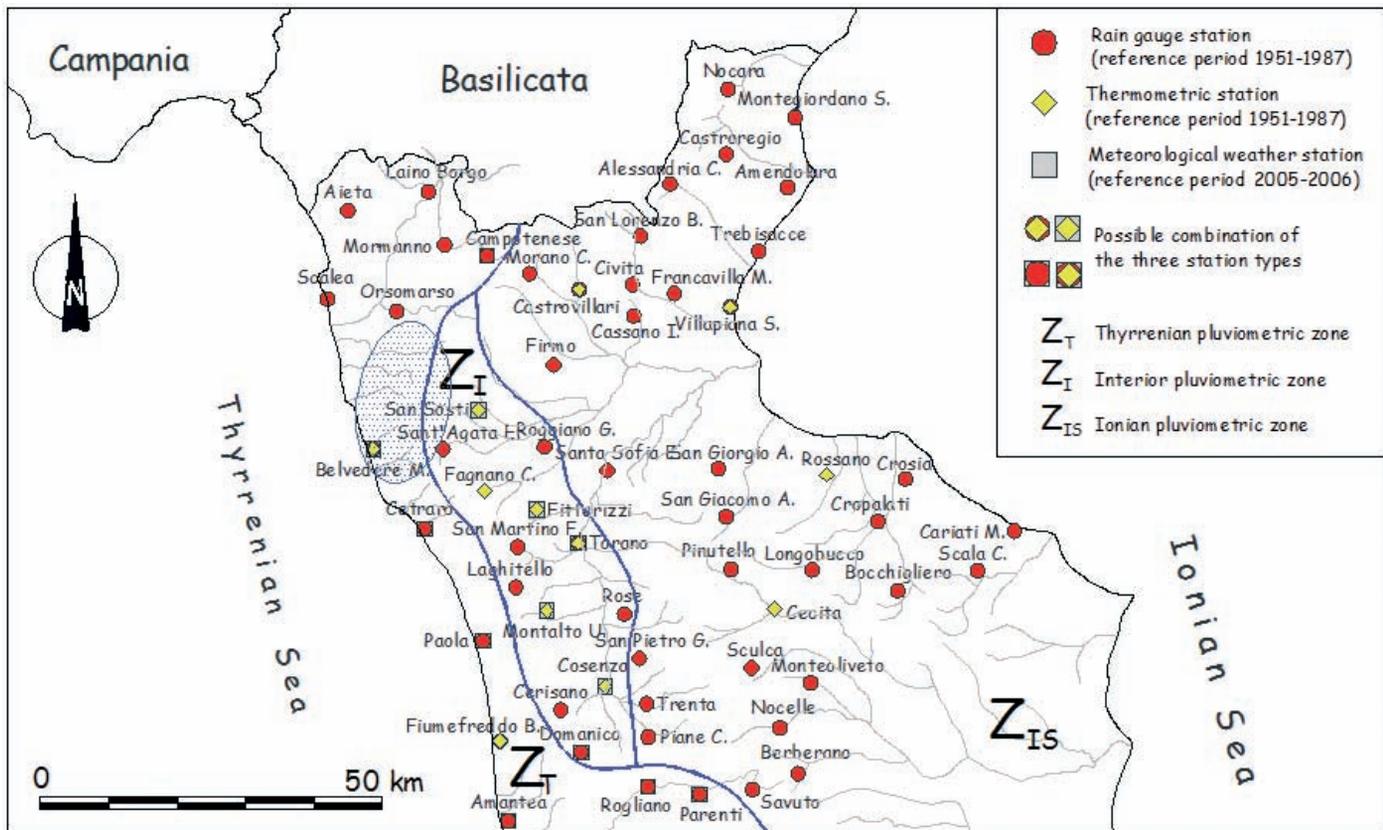


Fig. 9 - Zone pluviometriche
- Pluviometric zones (Calabria Region)

9). Chiaramente, essendo la temperatura meno condizionata da fattori locali, è possibile far riferimento ad un'unica legge (Fig. 10).

Definite le caratteristiche climatiche delle zone pluviometriche nelle quali ricade l'unità idrogeologica Montea-Carpinosa, il bilancio idrologico medio è stato computato combinando l'analisi ipsometrica dell'area di interesse con le corrispondenti zone pluviometriche. Considerata l'assenza di una rigogliosa vegetazione, per il calcolo dell'evapotraspirazione si è adottata la formula di TURC (1954) così come modificata da SANTORO, 1970. Per la stima delle uscite si è fatto riferimento agli unici dati storici di portata delle principali sorgenti disponibili (SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE, 1941; CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977).

La sintesi delle elaborazioni effettuate è riportata in tabella 4.

Negli ultimi anni è diminuito drasticamente il numero di stazioni meteo-climatiche funzionanti (Fig. 9), per giunta spesso in maniera discontinua. Per integrare le serie pluviometriche disponibili e valutare il bilancio idrologico relativo all'anno 2005-2006, corrispondente a quello del monitoraggio delle principali sorgenti, si è utilizzato l'indice di precipitazione media annua, rappresentativo delle anomalie degli apporti pluviometrici annuali (DE VITA & FABBROCINO, 2007). Chiaramente il calcolo del bilancio annuale ha poi seguito il medesimo approccio di quello medio. La relativa sintesi è riportata in tabella 5.

As a result the average water budget has been calculated combining the hypsometric analysis of the study area with the corresponding pluviometric zones.

The evapotranspiration has been estimated by applying the TURC formula (1954), as modified by SANTORO, 1970 on account of the deficiency of a lush vegetation. The outflow has been evaluated with reference to the few available spring discharge data (SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE, 1941; CASSA PER IL MEZZOGIORNO, 1977).

The summary of the average hydrologic balance is showed in table 4.

In the last years the number of the meteorological weather stations is decreased (Fig. 9) and their recordings have been often discontinuous. In order to complete the available precipitation series and calculate the annual hydrologic balance (2005-2006), it has been utilized the annual precipitation index, representative of the annual anomalous precipitation conditions (DE VITA & FABBROCINO, 2007). Obviously, the approach to the following assessment of the annual water budget has been the same of the average one. Its summary is showed in table 5.

The average balance, even if characterized by deficiency of systematic and homogeneous spring discharge measurements, so

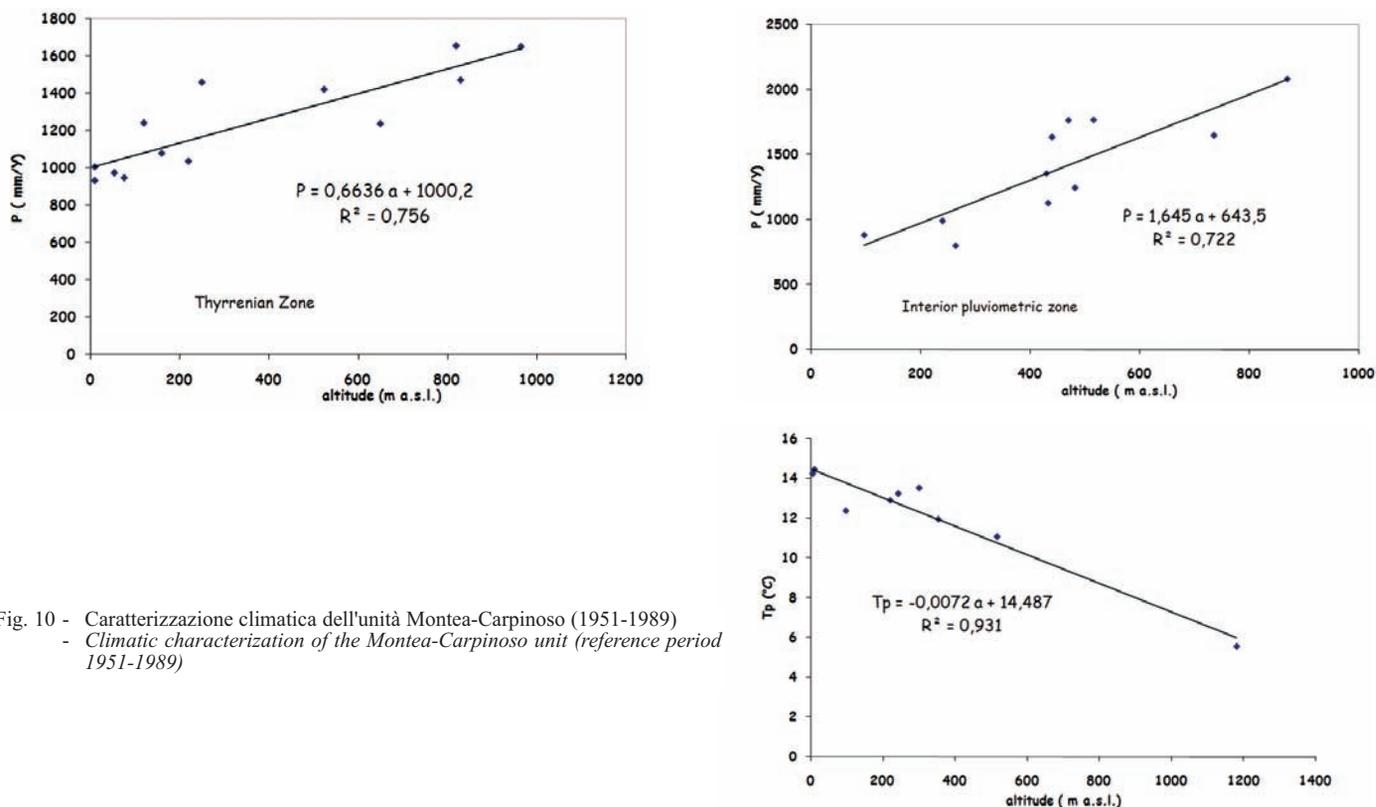


Fig. 10 - Caratterizzazione climatica dell'unità Montea-Carpinosa (1951-1989)
 - Climatic characterization of the Montea-Carpinosa unit (reference period 1951-1989)

	Northern basin		Southern basin	
	Thyrrenian zone	Interior zone	Thyrrenian zone	Interior zone
Area (km ²)	24	4	16	30
P (mm/y)	1286	1751	1618	2430
E (mm/y)	507	513	509	509
P-E (mm/y)	779	1238	1109	1921
R.I.C.	76%	77%	82%	75%
Rn (mm/y)	595	958	913	1441

	INPUT		OUTPUT	
	Northern basin	R _n (m ³ /sec)	0,573	Venicelle, Palazzo, Fiumicello, T. Corvino (m ³ /s)
Pantanelle libera (m ³ /sec)		0,236		
Footing (m³/s)		0,809		
Southern basin	R _n (m ³ /s)	1,812	Frasso, Bottario, Ferrara, Petrosa A., Soleo, le Forge, T. Sangineto (m ³ /s)	0,682
			F. Soleo, Petrosa B. (m ³ /s)	0,229
	Footing (m³/s)	1,812	Footing (m³/s)	0,912
Hydrogeological unit	2,622 (m³/s)		1,739 (m³/s)	

Tab. 4 - Bilancio idrologico medio (1951-1989)
 - Average annual water budget (reference period 1951-1989)

	Northern basin		Southern basin	
	Thyrrhenian zone	Interior zone	Thyrrhenian zone	Interior zone
Area (km ²)	24	4	16	30
P (mm/y)	1466	1353	1844	1877
E (mm/y)	531	485	516	501
P-E (mm/y)	935	868	1329	1377
R.I.C.	76%	77%	82%	75%
Rn (mm/y)	714	672	1093	1032

	INPUT		OUTPUT	
Northern basin	R _n (m ³ /sec)	0,623	Venicelle, Palazzo, Fiunicello, T. Corvino (m ³ /s)	0,982
	Pantanelle libera (m ³ /sec)	0,035		
	ΔW (m ³ /sec)	-0,010		
	Footing (m³/s)	0,648		
Southern basin	R _n (m ³ /s)	1,515	Frasso, Bottario, Ferrara, Petrosa A., Soleo, F. Soleo, Petrosa B. (m ³ /s)	0,788
			le Forge, T. Sanginetto (m ³ /s)	0,231
	ΔW (m ³ /sec)	0,011		
	Footing (m³/s)	1,526	Footing (m³/s)	1,019
Hydrogeological unit	2,174		2,001	

Tab. 5 - Bilancio idrologico annuale (2005-2006)
- Annual water budget (reference period 2005-2006)

Il bilancio medio, seppure carente per mancanza di misure di portate sorgive sistematiche ed omogenee rispetto al periodo di osservazione dei dati meteo-climatici, tanto da segnalare una forte disparità tra l'infiltrazione efficace e le uscite dall'unità idrogeologica, costituisce un utile supporto per la lettura critica del bilancio annuale.

Al di là della limitata rete di monitoraggio meteo-climatico, la combinazione del bilancio idrologico medio ed annuale consente di accertare la notevole potenzialità idrica sotterranea dell'area carbonatica Montea-Carpinosa, pari a circa 2 m³/s ovvero di circa 27 l/s/km².

La trascurabile differenza tra le risorse idriche sotterranee stimate e le portate sorgive misurate nell'anno idrologico 2005-2006 conferma, per l'intera unità considerata, un'alimentazione attribuibile essenzialmente agli apporti idrici diretti e la validità dei limiti individuati, oltre che le ipotizzate condizioni idrodinamiche.

A scala di bacino si riscontra un deficit di uscite rispetto alle entrate nel bacino meridionale, corrispondente alla struttura di M. Montea; condizione questa invertita nel bacino settentrionale coincidente con la struttura di M. Carpinoso, dove si osserva altresì un notevole incremento di portata nel T. Corvino.

Ciò avvalorava il ruolo di spartiacque aperto dell'allineamento tettonico ad andamento NE-SW sviluppato a sud dell'abitato di Buonvicino.

CONCLUSIONI

Il presente studio, basato sulla combinazione delle tradizionali metodologie idrogeologiche, costituisce un primo contributo alla caratterizzazione idrodinamica sotterranea di un settore ascrivibile

much so that it outlines a big difference between the effective infiltration and the outflow, is a very useful means of reading the annual water budget.

The combination of both average and annual hydrologic balances outlines the big yield of the Montea-Carpinosa carbonate area. It is equivalent to about 2 m³/s or about 27 l/s/km², despite of the deficiency of the weather monitoring network.

The minor difference between the evaluated groundwater resources and the spring discharges, monitored in the year 2005-2006, validates the boundaries of the hydrogeological unit and consequently its hydrodynamic conditions.

On scale of basin, it is possible to note that the outflow is lesser than the inflow in the southern basin, corresponding to the Montea Mt. structure; in the northern basin, coinciding with the Carpinoso Mt. structure, this condition is completely reversed. Besides in the latter basin the flow rate of the Corvino stream increases.

It proves like the tectonic alignments in direction NE-SW, immediately to the south of Buonvicino, is a groundwater divide.

CONCLUSIONS

The main focus of this paper consists of the characterization of the groundwater flow conditions of a part of the "Calabrian Coastal Chain". The conceptual model of flow in the carbonate unit formed

alla Catena Costiera Calabrese.

L'analisi del relativo assetto geologico-strutturale, affiancata a mirate indagini idrogeologiche, ha consentito di delineare il modello fisico concettuale di deflusso idrico sotterraneo dell'unità carbonatica individuata dai rilievi del "Gruppo Montea-Carpinosa".

Tra le principali risultanze, considerata la grande variabilità spaziale e temporale dei processi idrologici, si evidenzia la necessità di un approccio olistico nei territori nei quali le informazioni sono disgregate e discontinue, oltre che il forte controllo dell'assetto tettonico sul deflusso idrico superficiale e sotterraneo. Condizionamento, quest'ultimo, esaltato dalla diversa evoluzione geomorfologica e geodinamica dei massicci carbonatici calabresi rispetto a quelli ben noti presenti in altre zone dell'Italia meridionale.

Si individua, infatti, un classico esempio di falda in rete dove il deflusso idrico sotterraneo avviene quasi esclusivamente all'interno di canali e faglie e/o fratture beanti che, interconnesse fra loro, creano delle vere e proprie fasce di drenaggio preferenziale.

A grande scala è possibile distinguere due bacini ma certamente le acque sotterranee seguono circuiti ben più articolati, defluendo preferenzialmente nelle zone più fratturate e carsificate assimilabili a veri e propri assi di drenaggio preferenziale, secondo molteplici sottobacini interconnessi. Il deflusso idrico è diretto prevalentemente verso nord, ma localmente è deviato verso sud e verso sud-ovest. Infatti, la direttrice tettonica ad andamento NE-SW sita a sud dell'abitato di Buonvicino esercita un'azione di parziale tamponamento: la falda del bacino meridionale si mantiene ad alta quota e defluisce verso nord in corrispondenza di veri e propri assi di drenaggio preferenziale, costituiti dalle aree più fratturate e carsificate, ma contestualmente viene drenata verso il margine occidentale e sud-occidentale in corrispondenza dei principali lineamenti tettonici, frazionando il recapito della falda basale.

L'estrema fratturazione delle rocce carbonatiche e la sua forte influenza sul deflusso idrico sotterraneo sono confermate dalla reinfiltrazione delle acque del T. Vaccuta, fino all'estinzione del deflusso superficiale, e dalla conseguente interconnessione con le sorgenti Venicelle I, Palazzo e Fiumicello, oltre che dall'incremento in alveo osservato nel T. Corvino.

In definitiva i risultati conseguiti, pur nel limite di una banca dati idrogeologica ed idrogeochimica limitatissima e disomogenea in termini temporali, forniscono ulteriori indicazioni sul comportamento idrodinamico degli acquiferi carbonatici, particolarmente significative in un territorio nel quale finora tali problematiche non sono state affrontate in maniera specifica ed organica.

Il prosieguo delle attività, supportate da una più completa determinazione delle caratteristiche chimico-fisiche delle acque, sarà indirizzata non solo all'affinamento del delineato modello concettuale ma anche delle più appropriate tecniche di protezione delle acque.

OPERE CITATE/REFERENCES

- AMODIO MORELLI L., BONARDI G., COLONNA V., DIETRICH D., GIUNTA G., IPPOLITO F., LIGUORI V., LORENZONI S., PAGLIONICO A., PERRONE V., PICCARETTA G., RUSSO M., SCANDONE P., ZANETTIN LORENZONI E. & ZUPPETTA A. (1976) - *L'Arco calabro-peloritano nell'orogene appennino-maghrebide*. Memorie Società Geologica Italiana, **17**: 1-60, Roma, Italia.

by the mountainous group of the Montea-Carpinosa Mountains is outlined. Combination of traditional hydrogeological methods, specifically the analysis of its geological-structural setting supported by suitable hydrogeological investigations, is used.

Main findings, on account of the space and time variations of the hydrologic processes, are the need for an holistic approach in the territory where the information is split and discontinuous, besides the highly tectonic control of the surface water and groundwater flows. Influence, the latter, intensified by the different geomorphological and geodynamic evolution of the carbonate massif of Calabria, compared with those which are well documented in other areas of southern Italy.

They represent a typical example of groundwater flow through the interconnected fracture and/or channel network.

On a large scale it is possible to distinguish two groundwater basins, but certainly the flow paths are more composite, as to the distribution of more fractured and karst zones. In other words there are a number of interconnected groundwater basins.

The main groundwater flow paths go towards north, but the flow can be turned south and south-west. Actually, the tectonic line in direction NE-SW, to the south of Buonvicino, obstructs the groundwater flow: the basal water table, in the southern basin, remains at high altitude but the groundwater flows to north across the most fractured and karst zones, that become the main flow-paths. In the same time the groundwater is drained towards the western and south-western boundaries of the carbonate unit along the most important tectonic lines, splitting up the outflow.

As a result and prove of the marked tectonization of the carbonate rocks, there are a phenomenon of reinfiltration of the Vaccuta S. waters to the point of near extinction of the surface flow, as well as effects on the Venicelle I, Palazzo and Fiumicello springs and discharge increases in the Corvino S.

In conclusion this study, though within the limit of a limited and discontinuous hydrogeological and hydrochemical data-base, gives an insight the knowledge of the hydrodynamic performance of carbonate aquifers, in a territory where up to now these aspects have not been taken into consideration.

The future research activities, based on a more complete chemical-physical characterization of waters, will concern with the improvement of this conceptual groundwater flow model and with the assessment of the most efficient strategies for the groundwater safeguard from pollution.

- APOLLARO C., ARTUSA C., FRANCO C., DE ROSA R., POLEMIO M. & VIRGA R. (2006) - *Studio geochimico delle acque sorgive dei bacini del Torrente Vaccuta e del Fiume Abatemarco (Calabria nord-occidentale, Italia)*. Italian Journal of Engineering and Environment, **2**: 59-75, Roma, Italia.
- BONARDI G., CELLO G., PERRONE V., TORTORICI L., TURCO E. & ZUPPETTA A. (1982) - *The evolution of the northern sector of the Calabria-Peloritani Arc in a semi-quantitative palinspastic restoration*. Bollettino Società Geologica Italiana, **101**: 259-274, Roma Italia.
- BURTON A.N. (1971) - *Carta geologica della Calabria alla scala 1:25 000*. Relazione generale. Cassa per il Mezzogiorno, Servizio Bonifiche, Roma, Italia.
- BOUSQUET J.C. (1971) - *La tectonique tangentielle des séries calcaires dolomitiques du Nord-Est de l'Apennin Calabro-Lucanien (Italie Meridionale)*. Geologica Romana, **X**: 23-51, Roma, Italia.
- CASSA PER IL MEZZOGIORNO (1977) - *P.S. 26: Studio organico delle risorser idriche sotterranee della Calabria*. Servizio bonifiche, Roma, Italia.
- CELICO F., CELICO P., DE VITA PANTALEONE & PISCOPO V. (2000) - *Groundwater flow and protection in the Southern Apennines (Italy)*. Hydrogéologie, **4**: 39-47, Orléans Cedex, France.
- CELICO P. (1978) - *Schema idrogeologico dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Memorie e Note Istituto di Geologia Applicata di Napoli, **14**: 1-74, Napoli, Italia.
- CELICO P. (1983a) - *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell'Italia centro-meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quaderni CASMEZ, **4/2**: 1-225, Roma, Italia.
- CELICO P. (1983b) - *Le risorser idriche sotterranee dell'Appennino carbonatico centro-meridionale*. Idrotecnica, **1**: 3-18, Roma, Italia.
- CELLO G., INVERNIZZI C. & MAZZOLI S. (1996) - *Structural significance of tectonic processes in the Calabrian Arc, Southern Italy: evidence from the oceanic-derived Diamante Terranova Unit*. Tectonics, **15**: 187-200.
- COMPAGNONI B. & DAMIANI A.V. (1971) - *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia. Foglio 220 Verbicaro*. Servizio Geologico d'Italia, Roma, Italia.
- DEWEY J.F., HELMAN M.L., TURCO E., HUTTON D.H.W. & KNOTT S.D. (1989) - *Kinematics of the western Mediterranean*, In: Coward M.P. & Dietrich D., Alpine Tectonics, Special Publications Geological Society, **45**: 265-283, J. Park Editor, London, United Kingdom.
- DE VITA P. & FABBROCINO S. (2007) - *Influence of the North Atlantic Oscillation on the climatic variability and groundwater resources in carbonate aquifers of Southern Italy*. Italian Journal of Engineering Geology and Environment, **1**: 1-16, Roma, Italia.
- FORD, D. & WILLIAMS, P. (1989) - *Karst Geomorphology and Hydrology*. Chapman & Hall, London, United Kingdom.
- GRANDJACQUET C. (1962) - *Données nouvelles sur la tectonique tertiaire des massifs calabro-lucaniens*. Bulletin Société Géologique de France, **4**: 695-706, Paris, France.
- GRANDJACQUET C. & GRANDJACQUET M.J. (1962) - *Géologie de la zone de Diamante-Verbicaro (Calabre)*. Geologica Romana, **1**: 297-314, Roma, Italia.
- IANNACE A., BONARDI G., D'ERRICO M., MAZZOLI S., PERRONE V. & VITALE S. (2005) - *Structural setting and tectonic evolution of the Apennine Units of northern Calabria*. C.R. Geoscience, **337**: 1541-1550, Elsevier.
- IANNACE A., BONI M. & ZAMPARELLI V. (1995) - *The Middle-Upper Triassic of the San Donato Unit Auct. (Northern Calabria): stratigraphy, palaeogeography and tectonic implications*. Rivista Italiana di Paleontologia e Stratigrafia, **101**: 301-324, Dipartimento di Scienze della Terra, Milano, Italia.
- IANNACE A. & VITALE S. (2004) - *Ductile shear zone on carbonates: the calcaires plaquetés of northern Calabria (Italy)*. C. R. Geoscience, **336**: 227-234, Elsevier.
- IETTO A. & IETTO F. (1998) - *Sviluppo e annegamento di un sistema carbonatico piattaforma-bacino nel Trias superiore della Catena Costiera Calabrese*. Bollettino della Società Geologica Italiana, **117(1)**: 313-331, Roma, Italia.
- KNOTT S.D. (1994) - *Structure, kinematics and metamorphism in the Liguride Complex, southern Apennines, Italy*. Journal of Structural Geology, **16**: 1107-1140, Elsevier.
- MAZZIOTTI DI CELSO G., SPIZZICO M. & TALLINI M. (2005) - *Studio idrochimico multitemporale delle acque sorgive dell'acquifero carsico del Gran Sasso (Italia centrale) per un affinamento del modello idrochimico concettuale*. Giornale di Geologia Applicata, **2**: 420-428, Roma, Italia.
- OGNIBEN L. (1969) - *Schema introduttivo sulla geologia del confine calabro-lucano*. Memorie Società Geologica Italiana, **8(4)**: 453-763, Roma, Italia.
- PROTEZIONE CIVILE REGIONE CALABRIA - *Dati meteorologici*. http://www.protezionecivilecalabria.it/index.asp?banca_dati_meteorologici.
- SANTORO M. (1970) - *Sulla applicabilità della formula di Turc per il calcolo dell'evapotraspirazione effettiva in Sicilia*. Atti I Convegno Internazionale sulle Acque sotterranee, IAH, Palermo, Italia.
- SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE (1941) - *Le sorgenti italiane. Calabria*. Pubblicazione del Servizio, 14(VI), Istituto Poligrafico dello Stato, Roma, Italia.
- SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO NAZIONALE - *Annali idrologici*. Pubblicazione del Servizio, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma, Italia.
- TORTORICI L. (1982) - *Lineamenti geologico-strutturali dell'Arco Calabro-Peloritano*. Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia, **38**: 927-940, Pavia, Italia.
- TURC L. (1954) - *Le bilan d'eau des sols: relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écolument*. Annales agronomiques, Paris: 491-595 et (1955): 5-131.
- VAN DIJK J.P., BELLO M., BRANCALEONI G.P., CANTARELLA G., COSTA V., FRIXIA A., GOLFETTO F., MERLINI S., RIVA M., TORRICELLI S., TOSCANO C. & ZERILLI A. (2000) - *A regional structural model for the northern sector of the Calabrian Arc (southern Italy)*. Tectonophysics, **324**: 267-320, Elsevier.

Received December 2008 - Accepted March 2009