

## ANALISI GEOLOGICO–AMBIENTALE DELLE ACQUE DEL TORRENTE FENESTRELLE – RIGATORE (AVELLINO, CAMPANIA)

### GEOLOGIC-ENVIRONMENTAL ANALYSIS ABOUT THE WATERS OF THE FENESTRELLE- RIGATORE RIVER (AVELLINO, CAMPANIA - ITALY)

SABINO AQUINO<sup>(\*)</sup>, RAFFAELE BRUNO<sup>(\*\*)</sup>, LIBERA ESPOSITO<sup>(\*\*\*)</sup>, & ROBERTO PANZA<sup>(\*\*\*\*)</sup>

- <sup>(\*)</sup> Manager, Head of Hydrogeological Services of Alto Calore Servizi S.p.A.  
<sup>(\*\*)</sup> PhD in Earth and Life Sciences (XX Cycle), University of Sannio (Benevento).  
<sup>(\*\*\*)</sup> Associate Professor, University of Sannio (Benevento)  
<sup>(\*\*\*\*)</sup> PhD in Earth Sciences – Federico II University (Naples)

#### RIASSUNTO

La ricerca ha riguardato la classificazione geo-ambientale del torrente Fenestrelle-Rigatore, con deflusso nel territorio di Avellino (Campania). Per pervenire all'obiettivo si è fatto riferimento al D.L.vo 152/99 (artt. 4 e 5) e, in particolare, a quanto riportato all'Allegato 1. Lo studio è stato articolato nelle seguenti fasi: 1) quantificazione delle risorse idriche disponibili nel Rigatore attraverso il calcolo del bilancio idrologico medio annuo sull'area del bacino idrografico; area considerata coincidente con quella del bacino idrogeologico, sulla base di opportune considerazioni; 2) determinazione, sulla matrice acquosa, dei parametri chimico-fisici e microbiologici di base, con particolare riferimento ai "macrodescrittori" riportati nel suindicato Decreto; 3) analisi di base sul "biota", attraverso la definizione dell'Indice Biotico Esteso (I.B.E.).

Il campionamento delle acque è stato effettuato in corrispondenza di otto stazioni di misura opportunamente selezionate sul corso d'acqua principale e su alcuni significativi tributari, in termini di portata defluente. Dalla elaborazione ed interpretazione dei dati si è dedotto che: 1) le acque campionate in corrispondenza delle suddette stazioni hanno caratteristiche tali da rientrare, prevalentemente, nelle classi 4 e 5 (scadente e pessima, rispettivamente); 2) una sola stazione di misura, ubicata su uno degli affluenti considerati (il S. Francesco), rientra in classe 3 (sufficiente/scadente); 3) da monte a valle si assiste, inizialmente, ad un progressivo miglioramento dello stato ambientale del Rigatore. A valle dell'immissione del S. Francesco, la classe di qualità decresce irrimediabilmente ritornando al livello 5 (classe pessima). Per quanto attiene alla tipologia di scarichi in alveo è certa la provenienza urbana, atteso l'elevato inquinamento organico cui si assiste. Infine, la breve permanenza dei microrganismi in acqua è indicativa di un inquinamento tuttora in corso.

*PAROLE CHIAVE: Analisi geoambientale, bacino idrografico, torrente Rigatore*

#### PREMESSA E SCOPO DEL LAVORO

Lo studio riguarda l'analisi geo-ambientale del bacino del torrente Fenestrelle-Rigatore (successivamente, "bacino del Rigatore" o semplicemente "Rigatore"; Avellino, Campania) finalizzato alla classificazione del corso d'acqua in funzione degli obiettivi di qualità

#### SUMMARY

The research concerned the geo-environmental classification of the stream Fenestrelle-Rigatore, flowing down through the territory of Avellino (Campania). To reach our aim we referred to the Legislative Decree 152/99 (articles 4 and 5) and, in particular, to what referred in Annex 1. The study was divided into the following stages: 1) quantification of the water resources available in the Rigatore through the calculation of the annual medium water balance over the area of the catchment basin; on the basis of suitable remarks, this area coincides with the one of the ground water basin; 2) establishment of the basic chemical, physical, microbiological and hydrological parameters of the water, with particular reference to the "macro describers" (see annex 1 L.D.152/99); 3) basic analysis over the "biota", through the definition of the Extended Biotic Index (I.B.E.).

The water sampling was carried out in connection with eight measurement stations suitably chosen on the main water-course and on some significant tributaries, in terms of discharge. From the data processing and explaining it may be inferred that: 1) the sampled waters in connection with the above-mentioned stations have such characteristics to be included mainly in classes 4 and 5 (classified as inadequate and the worst); 2) only one measurement station, situated on one of the examined tributaries (the S. Francesco torrent), falls within class 3 (satisfactory/inadequate); 3) at the beginning we noticed downstream a progressive improvement of the environmental condition of the Rigatore. Downstream in the insertion of S. Francesco torrent the quality of the class irreparably decreases going back to level 5 (the worst class). As far as concerns the type of waste water discharge in the river-bed, the urban origin is certain, considering the high organic pollution that can be noticed. In the end, the brief permanence of micro-organisms in the water reveals a still current pollution.

*KEY WORDS: geo-environmental analysis, drainage basin, Rigatore river*

#### INTRODUCTION AND AIM OF THE RESEARCH

The research is about the geo-environmental analysis of the basin of the river Fenestrelle-Rigatore (from now on "Rigatore basin" or simply "Rigatore"; Avellino, Campania) and it is aimed to the classification of the river-course to point out the objects of environmental

ambientale, ai sensi del D.L.vo 152/99, artt. 4 e 5 e All. 1. Si evidenzia che l'intera ricerca è stata impostata su un riferimento legislativo (D.L.vo 152/99) attualmente abrogato dal D.L.vo 3 aprile 2006, n. 152 ("Codice Ambientale") recante "Norme in materia ambientale". Tuttavia questo testo, entrato in vigore dal 29 aprile 2006, è attualmente sottoposto ad una profonda revisione che prevede la pressoché totale riscrittura di molti degli articoli e degli allegati in esso contemplati. Prescindendo da ciò, si sottolinea la difficoltà oggettiva di pervenire ad una classificazione dello stato ambientale dei corsi d'acqua basata su quanto riportato all'Allegato 1 del "Codice Ambientale" (Allegato 1: "Monitoraggio e classificazione delle acque in funzione degli obiettivi di qualità ambientale") per l'assenza di tabelle che consentano di attribuire la classe di qualità ecologica, biologica, idromorfologica e chimico-fisica dei fiumi.

Il Rigatore, tra i principali affluenti dell'alta valle del Fiume Sabato (tributario del Volturno) con deflusso nel territorio di Avellino (Fig. 1), pur non rappresentando un "corpo idrico significativo" ( $\square$  400 km<sup>2</sup>; cfr. all. 1 del D.L.vo 152/99) a causa della ridotta estensione del bacino imbrifero ad esso sotteso ( $\approx$  50 km<sup>2</sup>) rientra nella categoria dei bacini da sottoporre a "monitoraggio e classificazione" per i seguenti motivi:

- l'elevato carico inquinante da esso convogliato può avere una influenza negativa e rilevante sul corso d'acqua del fiume Sabato, del quale costituisce un'asta del primo e del secondo ordine gerarchico (rispettivamente Rigatore e Fenestrelle). Il Sabato, oltre a rappresentare un "corpo idrico significativo", è in comunicazione idraulica diretta con la falda circolante nelle alluvioni della piana di Benevento; falda che contribuisce all'alimentazione di numerosi pozzi, ad uso privato, utilizzati prevalentemente a scopi agricoli;
- per i valori storico-naturalistici e paesaggistici che lo rendono un sito di rilevante interesse ambientale. Importante è il sistema di mulini e di opere di canalizzazione e distribuzione delle acque, solo attualmente riscoperto e rivalutato, che intorno alla metà dell'800 fu motivo dello stretto rapporto tra la città di Avellino ed il fondovalle in studio.

## BREVE INQUADRAMENTO GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO

La valle del Rigatore si imposta in una depressione strutturale (la conca di Avellino) che interrompe trasversalmente la continuità delle dorsali carbonatiche dei Monti Picentini, a sud est, dei Monti di Sarno, a sud e dei Monti d'Avella, ad ovest (Fig. 1). Essa è delimitata, a nord e a nord est, dai rilievi collinari, a prevalente componente flyschoidi (Fig. 1); questa ultima è attribuibile alle fasi prossimali delle unità Irpine ed ai cicli trasgressivo - regressivi pliocenici.

Il substrato, di natura carbonatica, è riconducibile a successioni di piattaforma di età giurassico-cretacea, riferibili all'unità stratigrafico-strutturale dei Monti Picentini (BONARDI *et alii*, 1988). Sui terreni carbonatici poggiano successioni arenacee, conglomeratiche e pelitiche, riconducibili alla deformazione della parte prossimale del bacino Irpino

quality (according to the Legislative Decree 152/99, articles 4 and 5, Annex 1). The whole research was based on a legislative reference (L.D. 152/99) at the moment revoked by the L.D. of April 3<sup>rd</sup> 2006, n.152 ("Environmental Code") that contains "Regulations in environmental matters". Nevertheless, this text that became effected on April 29<sup>th</sup> 2006, is still being submitted to a deep revision providing for an entire rewriting of many of its articles and annexes. Apart from that, it is important to point out the real difficulty in getting to the classification of the environmental situation of the water-courses based on what reported in Annex 1 of the "Environmental Code" (Annex 1: Monitoring and classification of waters in the role of the environmental quality aims") due to the lack of tables that allow the awarding of the ecological, biological, hydro-morphological and chemical-physical quality class of the rivers.

The Rigatore is one of the main tributaries in the high valley of the Sabato river (a tributary of the Volturno river) with runoff in the territory of Avellino (Fig. 1). Even if the Rigatore doesn't represent a "significant water body" ( $\square$  400 km<sup>2</sup>; see Annex 1 of L.D. 152/99) because of the reduced extension of its catchments basin ( $\approx$  50 Km<sup>2</sup>) it is included in the category of basins to submit to "monitoring and classification" for the following reasons:

- the high polluting load that it conveys can have a negative and relevant influence over the stream of the Sabato river, of which it constitutes a fluvial segment of first and second hierarchic order (respectively Rigatore and Fenestrelle). Besides representing a "significant water body", the Sabato river is in direct hydraulic communication with the alluvial aquifer from Benevento Plain; in this aquifer several private wells, mainly used for agricultural purposes, are situated;
- owing to the historical, naturalistic and landscape values that make it a place of great environmental interest. Another important factor is the system of mills and mills-race, only recently rediscovered and revalued, which around the 19<sup>th</sup> century was the reason of the close relationship between the town of Avellino and the valley object of our research.

## SHORT GEOLOGICAL AND GEO-MORPHOLOGICAL SETTING

Rigatore valley is situated in a structural trough (Avellino trough) that interrupts crosswise the continuity of the calcareous ridges of Picentini Mounts to the south-east, of Sarno Mounts to the south and of Avella Mounts to the west (Fig. 1). It is delimited, in the north and in the north-east, by hills mainly composed by flysch (Fig. 1); this last one can be related to the Irpinian Units deposits and to the Pliocene transgressive-regressive cycles.

The calcareous substratum is due to Jurassic-Cretaceous carbonate platforms that can be attributed to the stratigraphic-structural unit of Picentini Mounts (BONARDI *et alii*, 1988). Sequences of arenaceous, pudding-stone and pelitic formations rest upon carbonate rocks; they are due to the deformation of the proximal side of the Irpinian basin

(PESCATORE *et alii*, 1970; PESCATORE, 1988; PATACCA *et alii*, 1990).

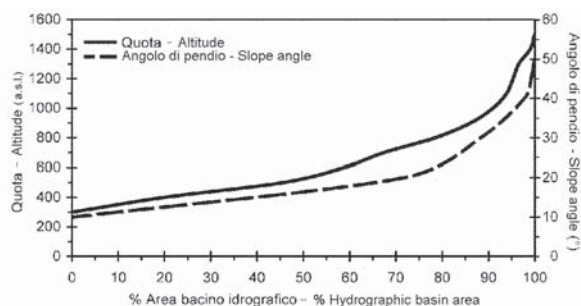
Nel settore orientale della conca di Avellino, tra i terreni di piattaforma carbonatica e quelli in facies di flysch delle unità Iripine, si interpongono, con rapporti non del tutto chiari, alcune formazioni bacinali riferibili all'Unità Sannitica, di età mesozoico-terziaria, (PATACCA *et alii*, 1990). Trattasi di calciruditi e calcari marnosi, stratigraficamente interposti tra le calcilutiti selcifere e i diaspri (in posizione stratigrafica inferiore) e le successioni prevalentemente pelitiche, spesso definite impropriamente argille varicolori scagliose (in posizione stratigrafica superiore).

Durante le fasi tettoniche tardo mioceniche e basso plioceniche, il bacino intracatena in esame fu interessato dalla deposizione di successioni terrigene, argilloso-conglomeratiche (Unità di Altavilla), costituite da sottili alternanze di argille laminate grigio-azzurre, poco deformate, con sottili intercalazioni di livelli arenacei (COPPA DE CASTRO *et alii*, 1969).

Le successive fasi tettoniche tardo-plioceniche furono responsabili del sollevamento dell'area e dell'innesco di intensi processi d'erosione – accumulo. Allo smantellamento dei versanti in flysch delle unità Iripine (GIULIVO & SANTO, 1997) è associabile la deposizione dei conglomerati di Avellino costituiti, prevalentemente, da puddinghe. Altre fasi tettoniche regionali, inquadrabili cronologicamente nel basso quaternario (APRILE *et alii*, 1978), portarono al sollevamento e alla re-incisione dei conglomerati di Avellino a causa della variazione del livello di base locale.

Nel tardo pleistocene eventi connessi all'attività vulcanica del distretto Flegreo mutarono profondamente l'assetto geomorfologico del territorio in esame, colmando in gran parte la conca di Avellino di prodotti piroclastici dell'Ignimbrite Campana (o "Tufo Grigio Campano"; circa 37.000 anni b.p.). La deposizione dell'Ignimbrite ha profondamente mutato la morfologia dei luoghi, come evidenziato dallo stravolgimento dell'andamento del reticolo idrografico e dalla formazione di estesi terrazzi sui quali è stata edificata la città di Avellino. Negli ultimi 10.000 anni, infine, si depositarono alcuni metri di sedimenti piroclastici vesuviani (attività vulcanica del Somma-Vesuvio; BELLUCCI, 1994).

L'andamento altimetrico del bacino idrografico è sintetizzato dalla curva ipsometrica (Fig. 2) dalla quale si evince la quota massima (1485 m s.l.m.), minima (300 m s.l.m.) e mediana (520 m s.l.m.). Dall'analisi della distribuzione delle pendenze si riscontra un'energia di rilievo variabile da bassa ad elevata, procedendo dalle zone di fondovalle a quelle montane (Fig. 2).



(PESCATORE *et alii*, 1970; PESCATORE, 1988; PATACCA *et alii*, 1990).

On the eastern side of Avellino's basin, among the carbonate platform deposits and those ones in flysch facies of the Irpinian Units, some basin formations, the Sannio Unit, of Mesozoic- tertiary age, come between with a relationship not completely clear (PATACCA *et alii*, 1990). They are the calcirudites and the marly limestone that come stratigraphically between the siliceous lime stones and the jaspers (in a lower stratigraphic position) and the pelitic prevailingly formations, often improperly defined multicoloured clays (in upper stratigraphic position).

During the late Miocene and the low Pliocene tectonic phases, the mentioned piggy-back basin was interested in the deposition of the clayey-conglomerate terrigenous formations (Altavilla Unit), made by slim alternations of grey-blue laminated clays, not too deformed, with slim interbeds of arenaceous levels (COPPA DE CASTRO *et alii*, 1969).

The following late Pliocene tectonic phases were responsible for the raising of the area and for the seeding of strong erosion-accumulation processes. The degradation by erosion of the slopes in flysch of the Irpinian Units (GIULIVO & SANTO, 1997) can be combined with the setting of Avellino conglomerates mainly made up of pudding-stones. Further regional tectonic phases, happened in the low Quaternary (APRILE *et alii*, 1978), caused the raising and the re-incision of Avellino conglomerates owing to the change of the local base level.

During the late Pleistocene a series of facts linked to the volcanic activity of the Flegreo district deeply changed the geo-morphological structure of the area, by filling for the most part Avellino trough with pyroclastic products of the Campania Ignimbrite (or "Grey Campanian Tuff"; about 37.000 years b.p.). The deposition of Ignimbrite has deeply changed the morphology of the places, as shown by the changing of the hydrographical network and the formation of wide alluvial terraces on which the town of Avellino was built. Finally, during the last 10.000 years, some meters of Vesuvius pyroclastic sediments laid down (volcanic activity of Somma-Vesuvio; BELLUCCI, 1994).

The altimetry of the hydrological basin is synthesised by the ipsometric curve (Fig. 2) from which the maximum (1485 meters a.s.l.), the minimum (300 meters a.s.l.) and the median (520 meters a.s.l.) height can be noticed.

From the analysis of the distribution of the slope angle, it can be noticed a variable energy of the relief, from low to high, moving downstream (Fig. 2).

Fig. 2 - Distribuzione ipsometrica e dell'angolo di pendio del bacino idrografico del Fenestrelle-Rigatore  
- Hypsometry and distribution of the slope angle of the Rigatore hydrological basin

## ANALISI DEI DATI ELABORATI: METODOLOGIE DI ACQUISIZIONE E LIMITI DI ATTENDIBILITÀ

Per pervenire all'obiettivo la ricerca è stata articolata nelle seguenti fasi:

- quantificazione delle risorse idriche disponibili nel Rigatore attraverso il calcolo del bilancio idrologico medio annuo. Tale operazione è risultata fondamentale per discernere la componente "naturale" del flusso idrico da quella "artificiale" (scarichi antropici in alveo);
- determinazione, sulla matrice acquosa, dei parametri chimico-fisici, microbiologici e idrologici di base, con particolare riferimento ai "macrodescrittori" (cfr. all. 1 del D.L.vo 152/99), necessari per la determinazione del livello di inquinamento delle acque superficiali (L.I.M.: Livello di Inquinamento da Macrodescrittori);
- analisi di base sul "biota", attraverso la definizione dell'Indice Biotico Esteso (I.B.E.), al fine dell'attribuzione dello "stato ecologico dei corsi d'acqua" (cfr. all. 1 del D.L.vo 152/99).

Prescindendo dalla raccolta dei lavori bibliografici, utile per l'inquadramento geologico del territorio, e da quella cartografica (carta geologica ufficiale, alla scala 1: 100.000 e topografica, alla scala 1: 5.000), necessaria soprattutto per l'analisi delle caratteristiche morfologiche del bacino, l'acquisizione dei dati ha riguardato:

- il recepimento e l'elaborazione delle informazioni termo-pluviometriche relative alle stazioni interne e limitrofe al bacino del Rigatore (per l'elenco delle stazioni si confronti la Fig. 4), per il trentennio di osservazione 1970-1999 (Annali dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale – Compartimento di Napoli);
- le misure di portata in alveo in corrispondenza di 6 stazioni di misura (Fig. 5), distribuite omogeneamente da monte a valle lungo l'asta fluviale, tramite mulinello idrometrico (modello ME4003 – Siap, Bologna; sensibilità di 0,05 m/s). I rilevamenti sono stati eseguiti nei mesi di giugno 2003 e luglio 2004;
- il campionamento delle acque per la determinazione dei macrodescrittori (Tab. 1) e del Biota (per il Biota la determinazione è stata

## ANALYSIS OF THE PROCESSED DATA: ACQUISITION METHODOLOGY AND RELIABILITY LIMITS

To reach our purpose the study has been articulated into the following steps:

- quantification of the available water resources in the Rigatore through the calculation of the annual medium water balance. This operation was basic to distinguish the "natural" component of the water flow from the "artificial" one (waste water discharge in the river-bed);
- establishment of the basic chemical, physical, microbiological and hydrological parameters of the water, with particular reference to the "macro descriptors" (see Annex 1 L.D.152/99), required to determine the pollution level of the surface waters (L.I.M.: Pollution level caused by Macro descriptors);
- basic analysis over the "Biota", through the definition of Extended Biota Index (I.B.E.), to assign the "ecological status of the riverbeds" (see Annex 1 L.D.152/99).

Apart from the collection of the references, useful for the geological characterisation of the territory, and the cartographic one (official geologic map, on the scale of 1: 100.000 and topographic, on the scale of 1: 5.000), especially needed for the analysis of the morphologic characteristics of the basin, the acquisition of data concerned:

- the acknowledgement and the process of thermo-pluviometric information around the inside stations and the adjacent ones of the Rigatore basin (for the list of the stations compare Figure 4), during the thirty-year period of observation 1970-1999 (Annals of the National Hydrological Service – Department of Naples);
- the measurements of discharge in 6 measurement stations (Fig. 5), homogeneously distributed downstream along the fluvial segment, through the spinner (model ME4003 – Siap, Bologna; sensitivity 0,05 m/s). The surveys were executed in the months of June 2003 and July 2004;
- the sampling of the waters to establish the macro descriptors (Tab. 1) and of the Biota over 8 sampling points (for Biota the estab-

Parametro / Parameter	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
100-OD*	<  10  (Ξ)	<  20	<  30	<  50	> 50
BOD <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> mg/l)	< 2.5	< 4	< 8	< 15	> 15
COD (O <sub>2</sub> mg/l)	< 2	< 10	< 15	< 25	> 25
NH <sub>4</sub> (N mg/l)	< 0.03	< 0.1	< 0.5	< 1.5	> 1.5
NO <sub>3</sub> (N mg/l)	< 0.30	< 1.5	< 5	< 10	> 10
Fosforo totale / Total phosphorous (P mg/l)	< 0.07	< 0.15	< 0.30	< 0.6	> 0.6
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	<100	< 1000	< 5000	< 20000	>20000
Punteggio da attribuire per ogni parametro analizzato (75° percentile del periodo di rilevamento) Score to assign to each tested parameter (75° percentile of the survey period)	80	40	20	10	5
Livello di inquinamento dai macrodescrittori Pollution level from macro descriptors	480-560	240-475	120-235	60-115	< 60

Tab. 1 - Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori (estratta da all. 1 del D.L.vo 152/99)

\* la misura deve essere effettuata in assenza di vortici; il dato relativo al deficit o al surplus deve essere considerato in valore assoluto; (Ξ) in assenza di fenomeni di eutrofia

- Pollution level expressed by macro descriptors (taken from Annex 1 of Legislative Decree 152/99)

\* the measurement must be done with lack of eddies; the data concerning deficit or surplus must be considered in absolute value; (Ξ) with lack of eutrophy

effettuata solamente sulla sezione del bacino C5, in Fig. 5), su 8 stazioni di prelievo: due ubicate sugli affluenti Fenestrelle e S. Francesco (C4 e C6, in Fig. 5), le restanti sei distribuite lungo l'intera asta fluviale, in relazione alla presenza degli insediamenti urbani, delle aree agricole, degli impianti produttivi e degli apporti provenienti dagli affluenti (Fig. 5).

Questa fase di monitoraggio, da intendersi "conoscitiva iniziale", è stata condotta negli anni 2003 e 2004, in conformità con quanto specificato al punto 3 del D. L.vo 152/99 ("La fase conoscitiva iniziale ha la durata di 24 mesi ..."). Durante questo periodo sono stati eseguiti dodici campionamenti (cadenza bimestrale). In tabella 2a e 2b è riportata la concentrazione di ciascun parametro monitorato corrispondente al 75° percentile del periodo di rilevamento.

Per quanto attiene il Biota sono state effettuate su di esso le "analisi di base", obbligatorie, finalizzate a verificare gli impatti antropici sulle comunità animali dei corsi d'acqua attraverso la valutazione, come anticipato, dell'I.B.E. In accordo con quanto riportato nell'allegato 1 del D.L.vo 152/99 (cfr. punto 3.2.2.2: Frequenza dei cam-

plishment was made only on the part of the basin C5, as in figure 5): two of them were situated on the tributaries Fenestrelle and S. Francesco (C4 and C6 in Fig. 5), the remaining 6 stations were distributed along the whole fluvial segment (with regard to the presence of townships, of agricultural areas, of yielding systems and of the contributions coming from the tributaries; Fig. 5).

This monitoring step, to consider as "starting fact-finding step", was done during the years 2003 and 2004, in conformity with what specified in point 3 of L.D.152/99 ("The starting fact-finding period takes 24 months..."). During this period, twelve water samples were bimonthly analysed. In table 2a and 2b the concentration of each tested parameter corresponding to the 75<sup>th</sup> percentile of the survey period is reported.

Concerning the Biota, compulsory "basic analysis" have been made, aimed to verify the human impact over animal communities of the river-beds through the evaluation, as previously said, of the I.B.E.. According to what reported in Annex 1 of L.D 152/99 (see point 3.2.2.2: sampling frequency), the I.B.E. was seasonally meas-

Parametri chimico fisici <i>Chemical and physycal parameters</i>																
N*	C.E (mS/cm)	pH	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/l)	NO <sub>3</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> (mg/l)	F (mg/l)	S (mg/l)	Cl <sup>-</sup> (mg/l)	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (mg/l)	SiO <sub>2</sub> (mg/l)	COD (O <sub>2</sub> mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	Durezza totale (°F)	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)
C1	427	8.57	7.06	7.62	0.01	7.41	0.36	---	17.04	234.24	38.10	68	51	15.5	46.4	9.36
C2	920	7.79	30.10	28.77	0.94	36.8	0.62	---	75.26	397.72	367	290	218	24.4	86.4	6.72
C3	821	7.42	0.38	46.12	0.051	38.1	0.73	---	66.74	405.04	99	6	4	36.8	137.6	5.76
C4	598	7.78	0.13	45.53	0.038	44.7	0.52	---	30.88	236.68	99.7	14	10	23.3	82	6.72
C5	747	7.82	0.59	44.73	0.4	53.49	0.33	---	31.95	329.4	60.4	3	n.d.**	25	88	7.2
C6	546	8.50	0.005	24.12	0.014	48	0.19	---	28.04	263.52	64.7	4	n.d.**	22	72	9.6
C7	731	7.87	1.38	38.83	0.14	50.04	0.088	---	46.15	329.4	79.3	21	15	27.8	96	9.12
C8	775	7.76	10.1	29.45	0.62	57.31	0.047	---	49.7	348.92	36	41	30	28	96	9.6

Tab. 2a - Parametri chimico-fisici monitorati (il valore riportato rappresenta il 75° percentile del periodo considerato)

\*Punto di campionamento per le acque. Per la relativa ubicazione si confronti la figura 5

\*\* Valore non determinato

N.B. In grassetto sono indicati i parametri chimico-fisici macrodescrittori utilizzati per la classificazione

- Monitored chemical and physical parameters (the reported value represents the 75° percentile of the examined period).

\*Waters sampling point. For the corresponding location compare figure 5

\*\* Undetermined value

P.S. In heavy type are indicated the chemical-physical parameters macro descriptors used for the classification

Parametri microbiologici <i>Microbiological parameters</i>			
N	Coliformi fecali <i>Total coliforms</i> (UFC/100 ml)	<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	Streptococchi fecali <i>Faecal streptococci</i> (UFC/100 ml)
C1	1200000	600000	43000
C2	20000000	11000000	920000
C3	900000	150000	24000
C4	60000	14000	2000
C5	200000	60000	30000
C6	15000	12000	1300
C7	500000	160000	70000
C8	2000000	1000000	300000

Tab. 2b - Parametri microbiologici monitorati (il valore riportato rappresenta il 75° percentile del periodo considerato)

N.B. In grassetto sono indicati i parametri microbiologici macrodescrittori utilizzati per la classificazione

- Monitored microbiological parameters (the reported value represents the 75° percentile of the examined period)

P.S. In heavy type are indicated the macro microbiological parameters macro descriptors used for the classification



pionamenti), l'I.B.E. è stato misurato stagionalmente (4 rilevazioni all'anno). Nella sola stazione di misura C8 (in Fig. 5) l'I.B.E. è risultato sempre minore di 5.

La misura della temperatura, del pH, della conducibilità e dell'alcalinità (non riportate in Tab. 2a) è stata effettuata direttamente sul campo. Per i primi tre parametri è stato utilizzato un misuratore con sonda multiparametrica (Hanna, HI 991300); l'alcalinità, invece, è stata determinata tramite titolazione acido-base (errore digitale dell'1%).

La concentrazione dei cationi e degli anioni principali è stata valutata in laboratorio tramite la tecnica della cromatografia ionica.

I coliformi totali sono stati determinati attraverso il sistema per inoculazione a 37° C, mentre per l'*Escherichia coli* e gli streptococchi fecali è stato utilizzato il sistema a membrane filtranti su terreni selettivi.

L'IBE è stato calcolato attraverso la valutazione qualitativa delle comunità, successiva alle fasi di campionamento e di determinazione accurata dei taxa raccolti.

## CARATTERI IDROGEOLOGICI DELL'AREA DI BACINO

Alla scala di indagine ed alla luce delle evidenze di carattere geologico è possibile distinguere sei complessi idrogeologici (Fig. 1): 1) piroclastico-alluvionale-detritico; 2) ignimbrítico; 3) conglomeratico; 4) argilloso; 5) arenaceo-marnoso-argilloso; 6) calcareo\dolomitico.

Il complesso piroclastico-alluvionale-detritico ricopre, con spessori variabili, la maggior parte del territorio in esame (Fig. 1). Comprende litotipi, irregolarmente stratificati, costituiti da alternanze di lapilli, pomice e scorie in matrice cineritica. A tale complesso sono annesse anche le alluvioni, costituite da depositi sottili (limi e sabbie) e i depositi detritici che bordano i massicci carbonatici. Difficile è valutarne le caratteristiche idrogeologiche. La permeabilità è nel complesso variabile per l'elevata eterogeneità che lo caratterizza; nel dettaglio si può affermare che il grado di permeabilità: i) risulta notevolmente basso nelle cineriti, a causa dei fenomeni d'argillificazione delle stesse; ii) assume valori medio-alti negli orizzonti, tasche e lenti di pomice, scorie e lapilli. Nella sua globalità il complesso mostra una permeabilità primaria, per porosità, da scarsa a media, con un C.I.P. (Coefficiente di Infiltrazione Potenziale) stimato del 30% (CIVITA, 2005).

Il complesso ignimbrítico affiora nelle zone più depresse dell'area di studio formando una placca generalmente continua. Gli spessori massimi raggiunti sono dell'ordine dei quaranta metri circa (centro storico di Avellino; cfr. SEZ. A-B Fig. 1). Dal punto di vista idrogeologico il complesso è caratterizzato da un grado di permeabilità generalmente basso, se confrontato con quello dei depositi piroclastici sciolti. La sua permeabilità, però, diventa localmente più elevata in corrispondenza delle porzioni di roccia caratterizzate dallo sviluppo della fessurazione tipicamente colonnare che lo caratterizza. Il C.I.P. stimato è pari al 30% circa (CIVITA, 2005).

Il complesso conglomeratico, affiorante nella porzione orientale del bacino, è costituito da puddinghe poligeniche, in matrice arenacea o calcarenitica, di spessore molto variabile. La permeabilità, per

ured (4 surveys a year). In the only sampling point C8 (in Fig. 5) the I.B.E. has always been less than 5.

The measurement of temperature, of pH, conductivity and alkalinity (not reported in Tab. 2a) was directly done in the field. A gauge with a multiprobe (Hanna, HI 991300) was used for the first three parameters; whereas alkalinity was determined through basic-acid titration (digital error 1%).

The concentration of the main cations and anions was evaluated in laboratory through the technique of ionic chromatography.

The total coliforms were determined through the inoculation system at 37 °C, while for *Escherichia coli* and faecal *Streptococci*, the filtering membrane system on selective grounds was used.

The I.B.E was calculated through the qualitative evaluation of animal communities after the previous steps of sampling and careful determination of the collected taxa.

## HYDROGEOLOGICAL CHARACTERISTICS OF THE BASIN AREA

Considering the geological evidences and the scale of survey, it is possible to identify six hydrogeologic complexes (Fig. 1): 1) pyroclastic-alluvial-detritic; 2) ignimbrítico; 3) conglomeratic; 4) clayey; 5) arenaceous-marly-clayey; 6) calcareous/dolomite.

The pyroclastic-alluvial-detritic complex covers, with variable thickness, most of the studied area (Fig. 1). It includes deposits, not regularly stratified, composed by alternations of lapillus, pumice and scoria in ashy matrix. Alluvial deposits are added to that complex as well; they are formed by slim deposits (silts and sands) and the detritic deposits that border the carbonated massifs. It is difficult to evaluate the hydrogeological characteristics. The permeability is in general variable because of the high heterogeneity that characterizes it; in particular it is possible to affirm that: the permeability degree: i) is notably low in ash tuff deposits because of their weathering; ii) it assumes middle-high values in levels of pumice, lapillus and scoria. In its whole the complex shows a primary permeability, due to porosity, going from low to medium degree, with a C.I.P. (Potential Infiltration Coefficient) of about 30% (CIVITA, 2005).

The ignimbrítico complex outcrops in the most depressed areas of the studied zone by forming a generally uninterrupted plate. The maximum thicknesses are of about forty meters (Avellino historical centre; see Section A-B Fig. 1). From an hydrogeological point of view it has a low permeability degree, if we consider the pyroclastic complex. The permeability increase along the typically columnar jointing that the lytic tuff presents. The estimated C.I.P. is about 30% (CIVITA, 2005).

The conglomeratic complex, emerging from the eastern part of the basin, is constituted by polygenic pudding-stone, in arenaceous or calcarenitic matrix with an extremely changeable thickness. The permeability, due to porosity or jointing, is at medium level. It is esti-

porosità e fessurazione, è di grado medio. Si stima un C.I.P. pari al 40% circa (CELICO, 1988).

Il complesso argilloso si rinviene limitatamente nel settore sito ad oriente della città di Avellino (Fig. 1). Esso è costituito da sottili alternanze di argille laminate, con intercalazioni di sottili livelli arenacei. Il grado di permeabilità è da considerarsi bassissimo o nullo, come del resto il C.I.P. (0%; CIVITA, 2005).

Il complesso arenaceo-marnoso-argilloso raggruppa, per evidenti affinità litologiche e idrogeologiche, le numerose formazioni prevalentemente arenacee, affioranti nell'area. La permeabilità, per porosità e fessurazione, risulta notevolmente bassa; questo coerentemente con il ruolo di impermeabile regionale che tale complesso svolge nei confronti dei principali acquiferi carbonatici (CELICO, 1984). Il C.I.P. stimato è pari al 20% circa (CELICO, 1988).

Il complesso calcareo-dolomitico è costituito essenzialmente dalla porzione più francamente calcarea dell'unità di piattaforma (Unità dei Monti Picentini). Esso affiora estesamente nella porzione occidentale, orientale e meridionale dell'area in esame, in corrispondenza dei M.ti di Avella-Partenio-Pizzo d'Alvano (Fig. 1). Il tipo di permeabilità che caratterizza tale complesso è per fratturazione e carsismo ed il grado di permeabilità relativo risulta elevato, anche se variabile da zona a zona in funzione del grado di fratturazione e di carsificazione della roccia. Il C.I.P. stimato è pari al 95% (CELICO, 1988; CIVITA, 2005). Nell'ambito di tale complesso viene considerato anche l'affioramento dolomitico (Fig. 1) costituito da dolomie e calcari dolomitici, talora detritici. Il C.I.P. stimato è del 65% circa (CIVITA, 2005).

Le caratteristiche idrogeologiche dei complessi individuati consentono di ipotizzare un modello di circolazione idrica sotterranea particolarmente frammentato e, per questo, difficilmente cartografabile. In genere il deflusso si concentra nel complesso piroclastico-alluvionale-detritico, a profondità variabili da pochi metri ad una decina di metri dal piano campagna. Ciò nonostante, anche nel complesso arenaceo-marnoso-argilloso è possibile rinvenire, sia pure localmente, la presenza di un livello idrico, com'è evidenziato dalla esistenza di pozzi che si attestano all'interno di tali depositi (Fig. 1). E' pertanto possibile ipotizzare la presenza di più orizzonti idrici attesa l'estrema eterogeneità idrogeologica riscontrabile tra le differenti litologie, ma anche all'interno del medesimo complesso.

La falda è alimentata in modo prevalente dalle acque di precipitazione meteorica nell'area di bacino. Sono da escludere, infatti, aliquote di travaso dalla falda di base, con deflusso nei M.ti di Avella e in quelli di Sarno, verso la piana. Questo è deducibile dal confronto tra le quote della falda in piana (330÷500 m s.l.m.) e quelle misurate nel campo pozzi, ad uso idropotabile, ubicato nell'area di Mercogliano (Fig. 1). Nei sette pozzi gestiti e captati dall'Alto Calore Servizi S.p.A. (tra i principali enti acquedottistici operanti in provincia di Avellino e Benevento), tutti drenanti l'acquifero carbonatico, il livello della falda si attesta intorno a 50 m circa s.l.m., risultando notevolmente più basso di quello monitorato in piana. Tra l'altro la bibliografia specialistica (CELICO, 1978; AQUINO *et alii.*, 2006) evi-

matato a C.I.P. of about 40% (CELICO, 1986).

The clayey complex emerges nearby the eastern side of Avellino city (Fig. 1). It is constituted by alternations of laminated clays with inserts of slim arenaceous levels. The permeability degree must be considered very low or null as besides the C.I.P. (0%; CIVITA, 2005).

The arenaceous – marly – clayey complex includes, due to obvious lithologic and hydrogeologic affinities, the various formations, in the main arenaceous, that emerge in the area (Fig. 2). The permeability, for porosity or jointing, is remarkably low; this is in coherence with the role of the regional aquiclude that this complex does towards the main calcareous aquifers (CELICO, 1983). The estimated C.I.P. is about 20% (CELICO, 1986).

The calcareous/dolomite complex is essentially constituted by the calcareous part of the unit platform (Unit of Picentini Mounts). It emerges in the western, eastern and southern part of the examined area, in connection with the Mounts of Avella-Partenio-Pizzo d'Alvano (Fig. 1). The kind of permeability characterizing such complex is due to fracturing and karst and the relative permeability degree is high, even if it may vary from zone to zone according to the fracturing and karst degree of the rock. The esteemed C.I.P. is of 95% (CELICO, 1986; CIVITA, 2005). In the context of this complex we consider the dolomite outcrop (Fig.1) constituted by dolomite, dolomite limestones, or detritics. The esteemed C.I.P. is of about 65% (CIVITA, 2005).

The hydrogeological characteristics of the identified complexes allow an hypothesis of a particularly fragmented model of ground water flow that for this reason is difficult to define on a map. Usually, the flow is concentrated in the pyroclastic-alluvial-detritic complex, with a depth that can vary from very few meters to about ten meters from the natural surface line. Nevertheless, in the arenaceous – marly – clayey complex it is possible to find as well, only locally, the presence of a water level, as it is shown by the presence of wells inside these deposits (Fig. 1). Consequently, it is possible to suppose the presence of many water levels due to the extreme hydrogeologic heterogeneity to be found among the different litologies, but also inside the same complex.

The aquifer is mainly recharged by the waters of meteoric precipitations in the basin area. We must leave out, indeed, gaining rate coming from the ground water base-level, with downflow on Avella Mounts and Sarno Mounts, towards the plain. This can be deduced by comparing the proportions between the level on the plain (330-500m above sea level) and on the well field, for a potable use, situated in the area of Mercogliano (Fig. 1). In the seven wells managed by Alto Calore Servizi S.p.A. (one of the main aqueduct companies working in Avellino and Benevento), all of them draining the carbonate aquifer, the ground water level is about 50 m above sea level; for this reason, it is considerably lower than the level monitored on the plain. Besides, the specific bibliography (CELICO, 1978; AQUINO *et alii.*, 2006) points out that the ground water flows of the whole massif of Avella-Partenio-Pizzo d'Alvano Mounts

denza che i deflussi sotterranei dell'intero massiccio dei M.ti di Avella-Partenio-Pizzo d'Alvano concorrono ad alimentare un'unica falda di base con recapito esterno al territorio irpino.

Pertanto, il principale recapito delle acque sotterranee è rappresentato dal corso del Rigatore, ad esclusione del contributo emergente in corrispondenza delle piccole polle sorgive ( $Q < 0,5$  l/s, in media) localizzate nel complesso arenaceo-marnoso-argilloso (Fig. 1).

### BILANCIO IDROLOGICO MEDIO ANNUO

Il calcolo del bilancio idrologico medio annuo ha riguardato il trentennio di osservazioni 1970-1999. Per la stima della lama media d'acqua di infiltrazione meteorica l'area di bacino è stata epurata dalle zone di affioramento carbonatico (M.ti di Avella e M.ti di Sarno) in quanto porzioni di unità idrogeologiche indipendenti da quella di studio. E' stata pertanto ipotizzata la coincidenza tra il bacino superficiale (quello idrografico) ed il bacino idrogeologico, con esclusione della porzione carbonatica. Tale ipotesi è stata formulata tenendo conto delle modalità con cui si realizza il deflusso idrico sotterraneo (cfr. par. precedente) e sulla base di quanto viene riportato in bibliografia in merito agli acquiferi dotati di permeabilità mista (CELICO, 1984).

Le condizioni meteo-climatiche riscontrabili sono tipiche delle zone appenniniche del versante tirrenico: il regime pluviometrico presenta massimi di piovosità in autunno e primavera e minimi estivi in genere localizzati tra i mesi di luglio e agosto. In corrispondenza di questi ultimi le temperature raggiungono i valori massimi (Fig. 3).

contributes to recharge only the ground water base-level with outflow outside the Irpina area.

Consequently, the ground waters discharge into the stream of the Rigatore river, with the exclusion of the rate that emerge as little springs ( $Q < 0,5$  l/s, on average) situated in the arenaceous- marly – clayey complex (Fig. 1).

### ANNUAL MEDIUM HYDROLOGIC BALANCE

The calculation of the annual medium hydrologic balance concerned the thirty year period of observation 1970-1999. To evaluate the depth of meteoric infiltration, the carbonate occurrence has been cut from the basin area (Avella Mounts and Sarno Mounts) because it is part of hydrogeologic units independent from the studied area. Consequently, it has been supposed the coincidence between the hydrologic basin and the ground water basin, with the exclusion of the carbonate portion. This hypothesis was formulated keeping in mind the ways in which the ground water flow has been established and on the basis on what has been reported in bibliography regarding the aquifers with a matrix and secondary permeability (CELICO, 1983).

The verifiable meteorological and climatic conditions are typical of the Apennine areas of the Tirrenic side: the pluviometric trend presents the maximum depth of precipitation (P, in mm) in autumn and in spring and the minimum one usually in the months of June and July. During these months, temperature (T, in °C) reaches its higher values (Fig. 3).

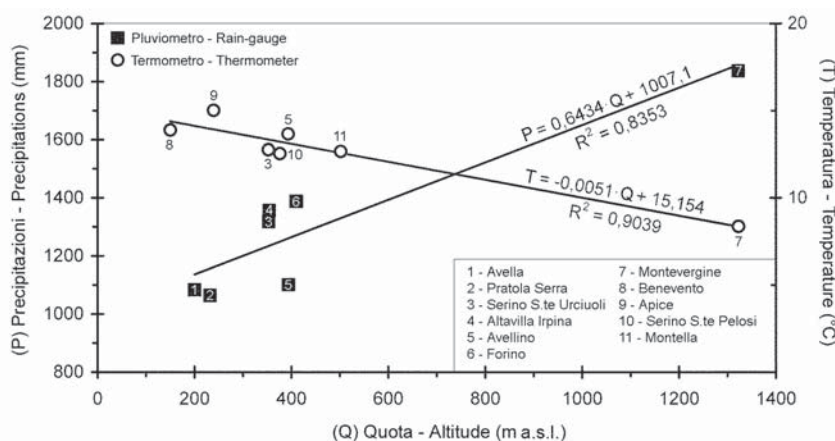
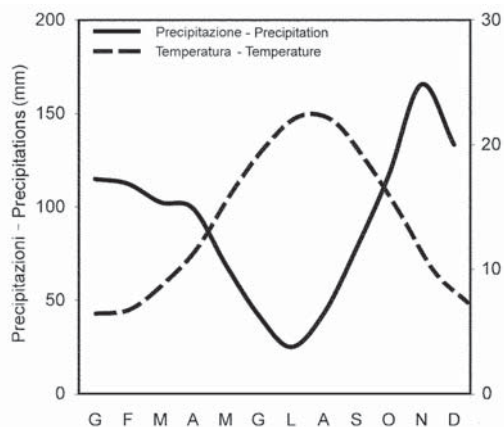


Fig. 3 - Regime pluviometrico e termometrico medio annuo valutato sul trentennio 1970 - 1999 rilevato alla stazione ex SIMN di Avellino  
- Annual medium pluviometric and thermometric trends (thermo-pluviometric stations in Avellino - period 1979-1999)

Fig. 4 - Rette di regressione delle precipitazioni e delle temperature medie annue con la quota per il trentennio 1970÷1999, e dettaglio delle stazioni termo - pluviometriche utilizzate  
- Regression lines of annual medium precipitations and temperatures with altitude (period 1970÷1999), and detail of the used thermo-pluviometric stations



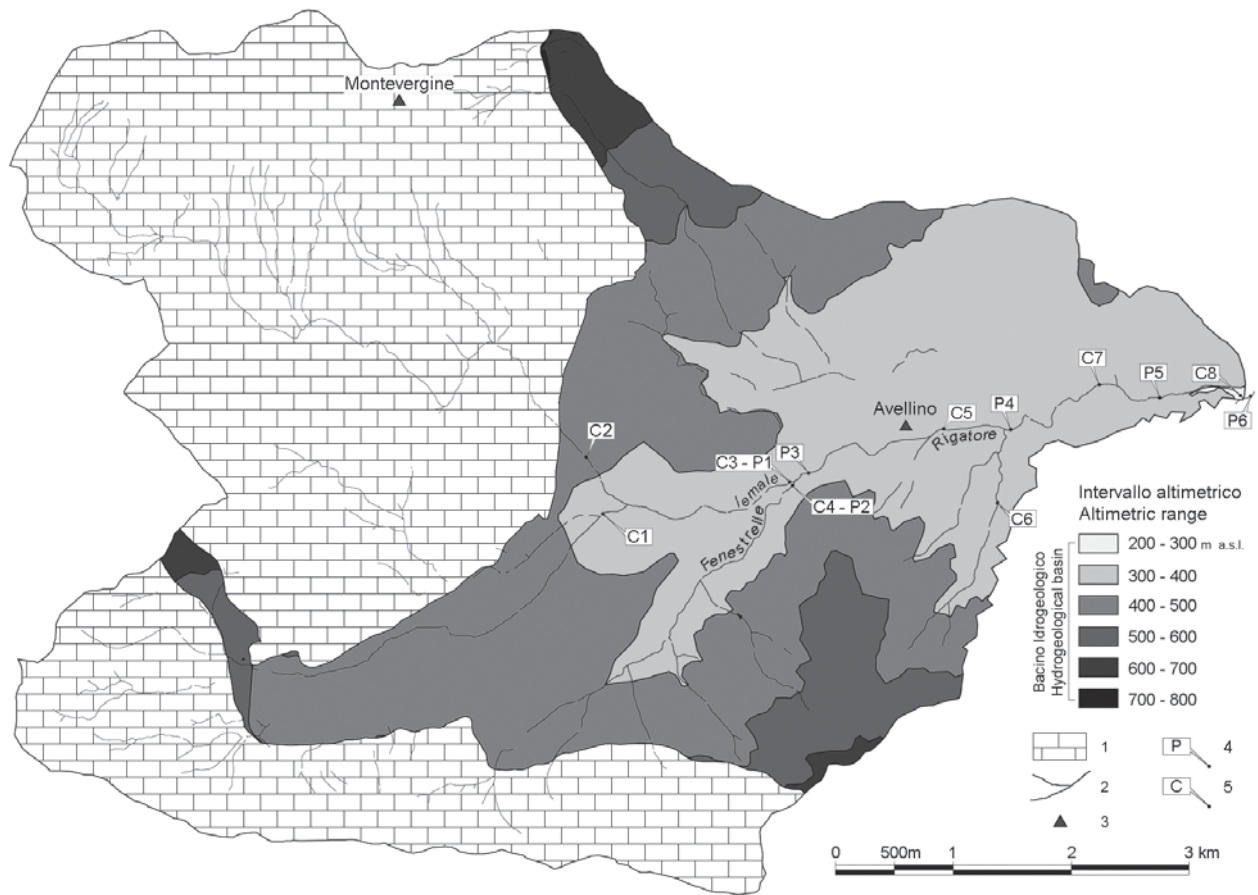


Fig. 5 - Distribuzione ipsometrica del bacino idrografico del Rigatore. 1 – aree a prevalente affioramento carbonatico; 2 – reticolo idrografico; 3 – pluviometro/termometro ricadente nell'area in studio; 4 – sezioni di misura della portata in alveo; 5 – punti di campionamento per la determinazione del L.I.M. e dell'I.B.E.  
 - *Hypsometry of Rigatore hydrologic basin. 1-areas with prevailing carbonate occurrence; 2- hydrographical network; 3- thermo-pluviometric stations; 4- measurement sections of the river discharge; 5- sample points to determine the L.I.M. and the I.B.E.*

Tab. 3 – Sintesi relativa alla determinazione delle aliquote di  $L_P$  e  $L_{ER}$  nell'area di bacino

Intervallo altimetrico <i>Altimetric range</i> (m s.l.m. / m a.s.l.)	Area (m <sup>2</sup> )	P (mm)	$T_P$ (°C)	Er (mm)	$L_P$ (mm)	$L_{ER}$ (mm)
200-300	22,400	1168.0	11.9	595.1	1.281	577
300-400	9,915,600	1232.3	11.3	85.4		
400-500	10,631,300	1296.6	10.8	574.3		
500-600	2,499,600	1361.0	10.3	567.9		
600-700	740,000	1425.3	9.7	548.8		
700-800	10,900	1489.7	9.2	535.1		

(P: precipitazioni;  $T_P^*$ : temperatura corretta in funzione delle precipitazioni; Er: evapotraspirazione reale;  $L_P$ : lama media d'acqua di precipitazione meteorica;  $L_{ER}$ : lama media d'acqua di evapotraspirazione reale)

\* Si calcola per tenere conto dell'umidità dell'aria che influisce sul potere evaporante dell'atmosfera.  $T_P = \sum P_i T_i / P$  ( $P_i$ = precipitazioni medie mensili (mm/a);  $T_i$ = temperature medie mensili (in °C), relative allo stesso periodo di riferimento del bilancio utilizzato per il calcolo di  $P_i$ ; P= altezza di precipitazione (mm/a) dell'anno idrologico di riferimento)

- *Synthesis related to the determination of  $L_P$  e  $L_{ER}$  rate in the catchment area*

(P: precipitations;  $T_P^*$ : temperature rectified in function of precipitations; Er: effective evapotranspiration;  $L_P$ : medium depth of precipitation;  $L_{ER}$ : medium depth of effective evapotranspiration)

\* it is calculated to consider air humidity that has an influence upon the evaporating power of the atmosphere.  $T_P = \sum P_i T_i / P$  ( $P_i$ =monthly medium precipitation, mm/y);  $T_i$ = monthly medium temperature (in °C) related to the same period of the balance used to calculate  $P_i$ ; P= depth of precipitation (mm/y) of the hydrologic reference year

Complesso <i>Complex</i>	Area (m <sup>2</sup> )	CIP (%)	CIP <sub>average</sub> (%)	Ie (m <sup>3</sup> /a) (m <sup>3</sup> /y)	R (m <sup>3</sup> /a) (m <sup>3</sup> /y)
Piroclastico-alluvionale <i>Pyroclastic-alluvial</i>	11917.528	30	27	4594.352	12168.723
Ignimbrítico <i>Ignimbritic</i>	2776.068	30			
Conglomeratico <i>Conglomeratic</i>	1534.472	40			
Argille grigio-azzurre <i>Grey-blue clays</i>	63.052	0			
Arenario-argilloso-marnoso <i>Arenaceous-marly-clayey</i>	7517.542	20			

Tab. 4 - Sintesi dei risultati del bilancio idrologico  
 CIP: coefficiente di infiltrazione potenziale; Ie: volume d'infiltrazione efficace potenziale medio annuo; R: volume di ruscellamento potenziale medio annuo  
 - *Synthesis of hydrologic balance results*  
 CIP: potential infiltration coefficient; Ie: annual medium potential effective infiltration (m<sup>3</sup>/y); R: annual medium potential runoff (m<sup>3</sup>/y)

La distribuzione territoriale delle termo-pluviometrie (sempre con riferimento al periodo anzidetto) segue delle leggi ben precise risentendo, a livello locale, quasi esclusivamente delle variazioni di quota (Fig. 4). Con l'ausilio di elaborazioni GIS sono stati attribuiti alla quota media di ognuno dei sei intervalli altimetrici considerati (Fig. 5) i relativi valori di precipitazione e di temperatura (Tab. 3).

Successivamente è stata stimata la lama medio annua di precipitazione ( $L_p$ ; cfr. Tab. 3) e, attraverso l'applicazione della Formula di Turc (TURC, 1961), quella, sempre medio annua, di evapotraspirazione reale ( $L_{ER}$ ; cfr. Tab. 3). La Formula di Turc è stata preferita rispetto ad altre formule empiriche per il calcolo della evapotraspirazione reale (COUTAGNE, 1956; THORNTHWAITE & MATHER, 1957; PENMAN, 1956; etc.) per la tipologia dei dati idrologici disponibili.

In tabella 4 sono riassunti i dati del bilancio idrologico.

## MISURE DI PORTATA IN ALVEO

Il valore del volume di infiltrazione efficace medio annuo (Ie; Tab. 4) è stato confrontato con quello del deflusso in alveo (D; Tab. 5) ricavato dalle misure di portata lungo l'asta del Rigatore (Fig. 5).

Questa fase del rilevamento, riferita a sei sezioni di misura opportunamente selezionate (Fig. 5), è stata eseguita intenzionalmente nel periodo di magra dell'anno idrologico (giugno 2003). In questo modo si è trascurato l'eventuale apporto dovuto al ruscellamento ed il valore misurato è stato attribuito unicamente alle venute in alveo. Da monte (P1:  $Q \cong 90$  l/s; Fig. 5) alla sezione di chiusura (P6:  $Q \cong 1100$  l/s; Fig. 5) è stato determinato un considerevole incremento delle portate stimato in circa 1000 l/s.

I risultati del confronto Ie-D (entrambi espressi in m<sup>3</sup>/a) sono riassunti nella tabella 5.

Dall'analisi dei dati si evince che la portata defluente nel Rigatore (D: "uscite") non è assolutamente associabile al volume d'infiltrazione potenziale stimato (cfr. Ie Tab. 5), in quanto esso ne costituisce il 12% circa. Quindi, se si esclude la possibilità di eventuali errori di calcolo nella valutazione dei parametri del bilancio, lo scarto tra "entrate" ed "uscite" può

Ie (m <sup>3</sup> /a) (m <sup>3</sup> /y)	D (m <sup>3</sup> /a) (m <sup>3</sup> /y)	Ie-D (m <sup>3</sup> /a) (m <sup>3</sup> /y)
4594352	34689600	-30095248
$\cong 146$ l/s	$\cong 1100$ l/s	$\cong -954$ l/s

Tab. 5 - Confronto tra il volume d'infiltrazione efficace potenziale medio annuo (Ie) e la portata defluente (D) nell'alveo del Rigatore  
 - *Comparison between the annual medium total flow (Ie, m<sup>3</sup>/y) and the river discharge (D, m<sup>3</sup>/y) in the Rigatore*

The territorial distribution of thermo-pluviometric values (referred to the previously described period) follows very precise laws and it is almost exclusively locally influenced by altitude (Fig. 4).

With the assistance of GIS processing the respective values of P and T (Fig. 5) have been assigned to the medium altitude of each of the six considered altimetry ranges (Tab. 3).

Soon afterwards the annual medium depth of precipitation ( $L_p$ ; Tab. 3) has been esteemed and, through the application of the Turc Formula (TURC, 1961), the depth, always annual medium, of effective evapotranspiration ( $L_{ER}$ ; Tab. 3). The Turc Formula has been preferred to other empiric ones to calculate the effective evapotranspiration (COUTAGNE, 1956; THORNTHWAITE & MATHER, 1957; PENMAN, 1956; etc.) for the kinds of its available hydrological data.

In table 4 there is a summary of the hydrogeologic balance data. In table 5b the total flow volume is showed ( $D_{tot}$ , in m<sup>3</sup>/y), that is to say the sum between the effective flow rate (Ie in m<sup>3</sup>/y) and that of run off (R in m<sup>3</sup>/a) in the balance area.

## RIVER-BED MEASUREMENTS

The value of the annual medium effective infiltration (Ie; see Tab. 4) has been compared to the river discharge (D, Tab. 5) taken from the discharge measurement sections along the Rigatore river (Fig. 5).

This survey stage, referred to six suitably selected measurement sections (Fig. 5), has been on purpose executed in the dry season of the hydrological year (June 2003). In this way the possible contribution due to runoff has been disregarded and the measured value has been only assigned to the river discharge. A substantial increase of the flows of about 1000 l/s has been determined downstream, from P1 ( $Q \cong 90$  l/s, Fig. 5) to P6 ( $Q \cong 1100$  l/s, Fig. 5).

The results about the comparison Ie-D (both expressed in m<sup>3</sup>/y) are summed up in table 5.

From the analysis of the data it is inferred that the discharge of Rigatore river (D: "discharge") isn't always comparable to the esteemed potential infiltration (see Ie Table 5), because it constitutes about 12%. For this reason, if it is excluded the possibility of incidental miscalculations in the evaluation of the hydrologic balance parameters, the difference between "recharge", and "discharge" can be brought back to the

essere ricondotto alla presenza diffusa di “scarichi antropici” in alveo.

## CONSIDERAZIONI SULLO STATO ECOLOGICO DEL RIGATORE E CONCLUSIONI

Lo stato di qualità ambientale del Rigatore è ovviamente condizionato dalla presenza degli scarichi in alveo. Per comprendere la tipologia di scarico (in assenza delle informazioni che dovrebbero pervenire dagli organi di controllo competenti) sono stati elaborati i dati dei parametri chimico-fisici e microbiologici riportati nelle tabelle 2a e 2b. Questa operazione si è dimostrata necessaria anche per analizzare il ruolo idrochimico svolto dagli affluenti Fenestrelle e S. Francesco.

L'elaborazione è consistita nella stesura di grafici (Fig. 6, a e b) che correlano la concentrazione del parametro considerato alla ubicazione dei siti di prelievo (Fig. 5). Sugli stessi grafici i punti di campionamento C1, C2, C4 e C6 sono stati indicati in maniera differenziata dai restanti C3, C5, C7 e C8. Questo per tener conto dell'evoluzione dello stato ambientale del corso d'acqua, considerando: i) le differenti caratteristiche “qualitative” dei rami C1 e C2 del V.ne Iemale, in funzione della provenienza degli stessi (Fig. 5). Si sottolinea che la stazione di campionamento C2 è ubicata sul ramo proveniente dall'abitato di Mercogliano, frazione densamente popolata del comune di Avellino; ii) gli apporti degli affluenti Fenestrelle e S. Francesco (C4 e C6, in Fig. 5 e in Fig. 6, a e b, Fig. 7).

Prima di discutere degli andamenti visibili in Fig. 6, a e b, si rimanda l'attenzione alla tabella 6 che consente di attribuire a ciascuna stazione di misura il relativo livello di appartenenza (da 1 a 5, da D.L.vo 152/99), sulla base dei valori del L.I.M. indicati nelle tabelle 2a e 2b.

Dalla tabella si ricavano le seguenti considerazioni:

- 1) le acque campionate in corrispondenza delle 8 stazioni hanno caratteristiche tali da rientrare, prevalentemente, nelle classi 4 e 5 (scadente e pessima, rispettivamente, volendo utilizzare la classificazione riferita allo “stato ambientale” dei corsi d'acqua);

Parametri / Parameters	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8
BOD <sub>5</sub> (O <sub>2</sub> mg/l)	L5	L5	L2	L4	n.d.**	n.d.	L4	L5
COD	L5	L5	L2	L3	L2	L1	L4	L5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	L5	L5	L3	L3	L4	L1	L4	L5
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	L4	L5	L5	L5	L5	L5	L5	L5
<i>Escherichia coli</i> (UFC/100 ml)	L5	L5	L5	L4	L5	L4	L5	L5
Punteggio totale / Total score*	30	23	110	65	100	175	40	25
L.I.M.	<60	<60	60-115	60-115	60-115	120-235	<60	<60
Classe / Category	5	5	4	4	4	3	5	5

Tab. 6 - Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori in corrispondenza delle 8 stazioni di campionamento

\* Il punteggio totale è stato calcolato sommando i punteggi attribuiti per ogni parametro analizzato sulla base di quanto indicato alla tab. 1

\*\* Valore non determinato

- Pollution level expressed by macro descriptors in connection with the 8 sampling points

\* The total score has been calculated by summing up the scores assigned to each tested parameter on the basis of what showed in table 1

\*\* Undetermined value

widespread presence of “waste water discharge” in the river-bed.

## REMARKS ABOUT THE ECOLOGICAL STATUS OF THE RIGATORE RIVER AND CONCLUSIONS

The ecological status of Rigatore is obviously conditioned by the presence of waste water discharge in the river-bed. To understand the kind of discharging (due to the lack of information that should get from the qualified control bodies), the data concerning chemical-physical and microbiological parameters have been processed and reported in tables 2a and 2b. This operation proved necessary also to test the hydro-chemical role made by the tributaries Fenestrelle and S. Francesco.

The processing consisted of the drawing up of graphics (Fig. 6, a and b) that correlate the concentration of the considered parameter to the location of the sampling points (Fig. 5). On the same graphics, the sampling points C1, C2, C4 and C6 have been marked differently from the remaining C3, C5, C7 and C8. This to keep in mind the evolution of the ecological status of the examined river-bed, considering: i) the different “qualitative” characteristics of the fluvial segments C1 and C2 of the Iemale stream, according to their own place of origin (Fig. 5). It is important to underline that the sampling point C2 is situated on the fluvial segment coming from the inhabited area of Mercogliano, a highly populated village near the town of Avellino; ii) the contributions of the tributaries Fenestrelle and S. Francesco (C4 and C6 in Fig. 5 and in Fig. 6, a and b, Fig 7).

Before debating the trends visible in Fig. 6, a and b, it is important to pay attention to table 6 that allows to assign to each sampling point the corresponding belonging level (from 1 to 5, as in L.D.152/99), on the basis of the L.I.M. values shown in tables 2a and 2b.

From the table it is possible to draw the following considerations:

- 1) the waters tested in connection with the 8 sampling points have such characteristics to be mainly included in the categories 4 and 5 (respectively inadequate and the worse, if we want to use the classification referred to the “ecological status” of the river-beds);

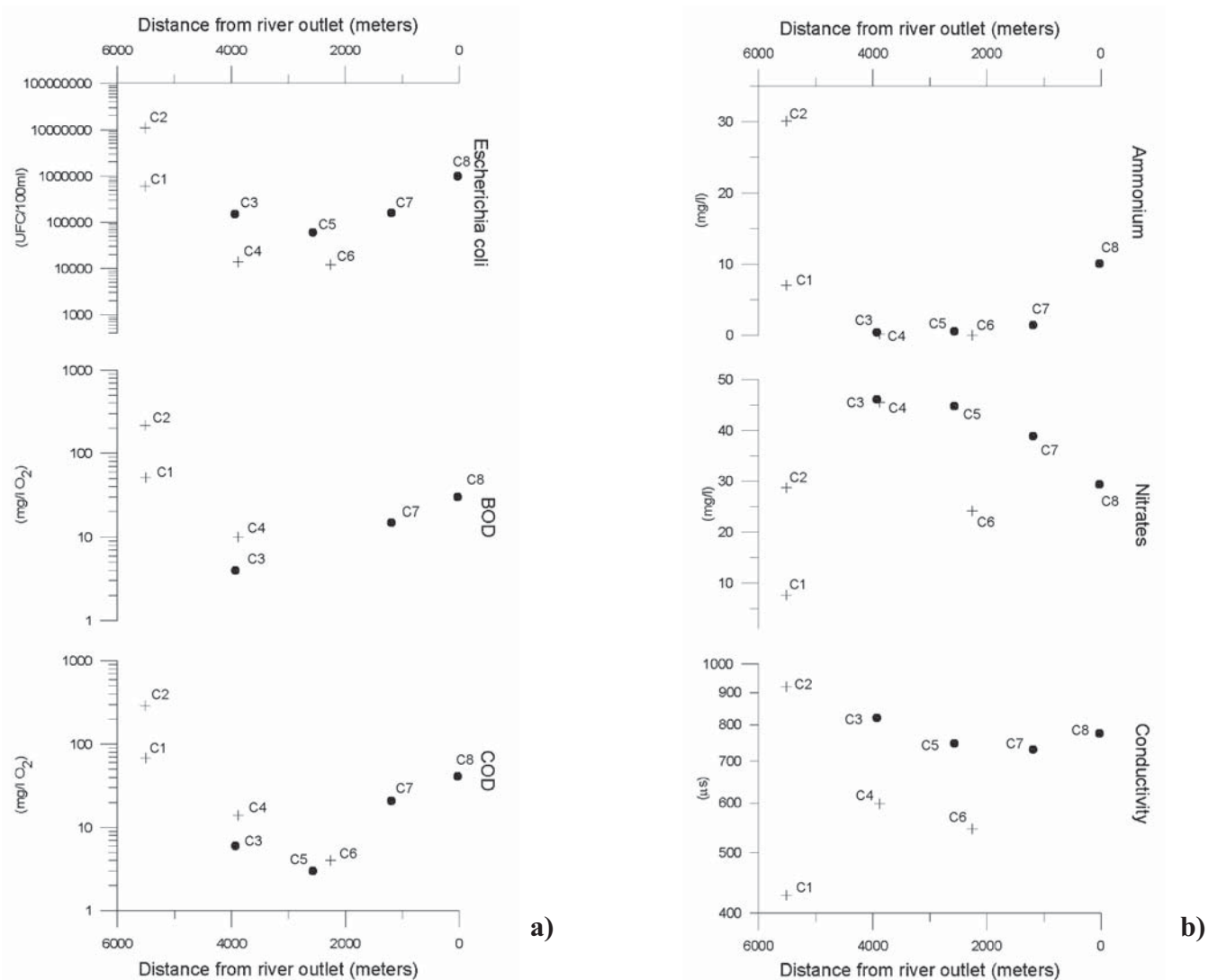


Fig. 6 - a) Variazione delle concentrazioni della componente microbiologica (*Escherichia coli*, BOD e COD) lungo l’asta del Rigatore; b) Variazione delle concentrazioni della componente chimico-fisica, con riferimento all’azoto ammoniacale, ai nitrati ed alla conducibilità elettrica, in corrispondenza degli stessi punti di prelievo considerati in a)

●) stazioni di prelievo ubicate sull’asta principale; +) stazioni di prelievo ubicate sui tributari

N.B. I grafici sono stati ricostruiti sulla base dei valori riportati nelle tabelle 2a e 2b

a) *Variation in the concentration of the microbiologic component (*Escherichia coli*, BOD and COD) along the Rigatore river-bed; b) Variation in the concentration of the chemical-physical component, with reference to ammoniac nitrogen, nitrates and to electric conductivity, in connection with the same sampling points considered in a)*

●) *sampling points situated on the main river channel; +) sampling points situated on the tributaries*

*P.S. The graphics have been reconstructed on the basis of the values reported in tables 2a and 2b*

- 2) solo il punto di misura C6, ubicato sull’affluente S. Francesco, rientra in classe 3 (sufficiente/scadente);
- 3) lungo il deflusso, ossia da monte a valle (da C1 a C8, in Fig. 5), si assiste ad una particolare variazione della classe: il L.I.M., inizialmente indicativo del L5 (livello 5, classe 5, pessimo) tende ad aumentare passando ad un L4 (livello 4, classe 4, scadente) alle stazioni C3, C4 e C5. Raggiunge la classe migliore L3 (livello 3, classe 3, sufficiente/scadente) in prossimità del punto di prelievo

- 2) only the sampling point C6, located on the tributary S. Francesco, is included in category 3 (satisfactory/inadequate);
- 3) moving downstream (from C1 to C8, in Fig. 5), a particular change of the category can be noticed: the L.I.M., at first marking L5 (level 5, category 5, the worse), has a tendency to rise changing to L4 (level 4, category 4, inadequate) at the sampling points C3, C4 and C5. It reaches the higher category L3 (level 3, category 3, satisfactory/inadequate) near the sampling point C6. It irrepara-

C6. Decresce irrimediabilmente in corrispondenza delle stazioni C7 e C8 ritornando ad L5 (livello 5, classe 5, pessimo).

Quanto deducibile dalla tabella è visibile dai grafici di figura 6, sia per quanto attiene ai parametri microbiologici (Fig. 6a), sia con riferimento alla componente chimico-fisica (Fig. 6b). Il miglioramento dello stato di qualità del corso d'acqua, cui si assiste tra i punti di misura C1-C5, è presumibilmente da ricondurre all'incremento della portata defluente in alveo (la Q misurata, in l/s, aumenta del 200% circa, passando da 330 a 1000 l/s nel tratto compreso tra le sezioni di misura P3-P4, in Fig. 5). Dagli stessi grafici si rileva, altresì, una differenza nelle concentrazioni dei macrodescrittori determinati alle stazioni C1 e C2. Differenza che non comporta, però, alcuna variazione della classe di appartenenza (Tab. 6). Questo particolare aspetto è giustificato se si tiene conto delle diverse zone di provenienza dei due rami del V.ne Iemale: il primo, quello su cui è ubicata la stazione di prelievo C1, scorre su un territorio scarsamente antropizzato; viceversa, quello relativo alla stazione C2 attraversa, come anticipato, la zona di Mercogliano. Zona che, oltre ad essere densamente popolata, è del tutto priva di rete fognaria.

Da quanto esposto risultano certe le motivazioni che giustificano la variazione dei tenori dei parametri chimico-fisici e microbiologici lungo l'alveo del Rigatore. Considerazioni altrettanto verosimili riguardano la tipologia di scarico. Le alte concentrazioni riferite ai macrodescrittori sono indicative: i) di un inquinamento organico del corso d'acqua, da associare alla presenza di numerosi scarichi urbani nel Rigatore; ii) di un inquinamento tuttora in corso, se si tiene conto dei brevi tempi di permanenza dei microrganismi in acqua.

Anche le concentrazioni dello ione ammonio concordano con quanto sinora affermato. I tenori dei nitrati si mantengono sempre elevati (Tab. 2a e Fig. 6b); da monte a valle essi variano in modo diametralmente opposto a quello dell'azoto ammoniacale, in accordo con il naturale ciclo di ossidazione dell'azoto.

La presenza dei nitrati è da associare alla doppia origine agricola e urbana. Ciò nonostante, la discreta correlazione tra le concentrazioni di nitrati e quelle di cloruri (Fig. 7), lascia ipotizzare per i nitrati

	Classe Category 1	Classe Category 2	Classe Category 3	Classe Category 4	Classe Category 5
I.B.E	10	8-9	6-7	4-5	1,2,3
Livello inquinamento macrodescrittori <i>Pollution level from macrodescribers</i>	480-560	240-475	120-235	60-115	< 60

Tab. 7 - Stato ecologico dei corsi d'acqua (si consideri il risultato peggiore tra I.B.E. e macrodescrittori; estratta da all. 1 del D.L.vo 152/99)  
- *Ecologic status of the river-bed (considering the worse result between I.B.E. and macro describers; taken from Annex. 1 of L.D. 152/99)*

bly decreases at the points C7 and C8, coming back to L5 (level 5, category 5, the worse).

All what may be inferred from the table can be seen in the graphics of figure 6, as far as concerns both the microbiological parameters (Fig. 6a), and the chemical-physical component (Fig. 6b). The advancement for the ecological status of the river-bed, which we notice between the measurement points C1-C5, is presumably to assign to the rise of the river discharge (the measured Q, in l/s, increases of about 200%, going from 330 to 1000 l/s in the distance included between the measurement stations P3-P4, in Fig. 5). The same graphics also mark a difference in the concentration of the macro describers determined in the sampling points C1 and C2. However, this difference doesn't involve any change in the belonging category (Tab. 6). This particular aspect is justified if we consider the different place of origin of the two Iemale stream fluvial segments: the former, where the sampling point C1 is situated, flows on a sparsely populated territory; on the contrary, the latter, referred to the point C2, flows, as previously said, in the area of Mercogliano. This village is highly populated and with lack of sewerage network.

What above-mentioned explains the reasons for the changing of the chemical-physical and microbiological parameters along the Rigatore river-bed. The same probable remarks concern the kind of waste water discharge. The high concentrations referred to the macro describers reveal: i) an organic pollution of the river-bed, to combine with the presence of many waste water discharge in the Rigatore; ii) a pollution still in course, if we consider the short permanence of micro-organisms in the water.

Also the concentrations of ammonium ion agree with what so far asserted. Nitrates are always high (Tab. 2a and Fig. 6b); downstream they change in a diametrically opposed manner to that one of ammoniac nitrogen, in accordance with the natural nitrate oxidation cycle.

The presence of nitrates has to be combined to the double agri-

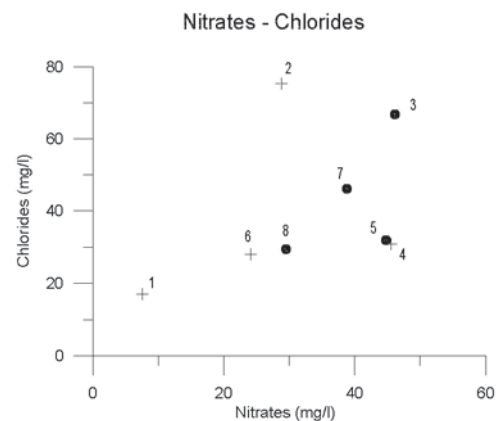


Fig. 7 - Correlazione tra nitrati e cloruri (concentrazioni espresse in mg/l).  
●) stazioni di prelievo ubicate sull'asta principale; +) stazioni di prelievo ubicate sui tributari  
- *Nitrates versus chlorides (concentrations expressed in mg/l).*  
●) *sampling points situated on the main river channel; +) sampling points situated on the tributaries*



ti la prevalenza della componente urbana su quella agricola (BERETTA, 1992).

L'attribuzione dello stato ecologico del Rigatore è stata effettuata considerando il valore medio ottenuto dalle analisi eseguite durante il periodo di misura dell'I.B.E. utile per la classificazione. Valore che è risultato sempre compreso nella classe 4 (I.B.E. 4-5, in Tab.7), tipica di un ambiente “molto inquinato” (All. 1, D.L.vo 152/99). Come anticipato, la fase di monitoraggio ha riguardato un'unica stazione di campionamento (C5, in Fig. 5). Ciò non rappresenta un limite considerando le indicazioni circa il numero delle stazioni di prelievo in funzione dell'estensione areale del bacino (cfr. par. 3.2.2.1, D.L.vo 152/99). Inoltre, il limitato numero di stazioni di prelievo del Biota non conduce all'errata valutazione dello stato ecologico del corso d'acqua poiché, come si evince dalla Tab. 7, ai fini della suddetta attribuzione occorre considerare il risultato peggiore tra I.B.E. e macrodescrittori.

Si deduce, pertanto, che il Rigatore rientra in Classe 5 (considerando quale risultato peggiore quello relativo ai macrodescrittori). Il corso d'acqua, pertanto, può considerarsi di qualità “pessima”, anche se ai fini della definizione dello “stato ambientale” dello stesso, risulterebbe necessaria la definizione dello stato chimico, con riferimento alla specifica presenza nelle acque di sostanze chimiche ritenute pericolose (All. 1, D.L.vo 152/99).

cultural and urban origin. Nevertheless, the quite good correlation between the nitrate and the chloride concentrations (Fig. 7), make us suppose that as far as concerns nitrates the urban component predominates over the agricultural one (BERETTA, 1992).

The attribution of the ecological status of the Rigatore has been done considering the medium value obtained from the analysis made during the measurement period of the I.B.E., useful for the classification. This value has always been included in the category 4 (I.B.E. 4-5, Tab. 7), that is characteristic of a “highly polluted” environment (Annex 1, L.D.152/99). As previously said, the monitoring stage only concerned one sampling point (C5, in Fig. 5). This isn't a limit if we consider the indications about the number of sampling points according to the extension of the drainage basin (see par. 3.2.2.1, L.D.152/99). Besides, the small number of sampling points of Biota doesn't cause a wrong evaluation of the ecologic status of the river-bed because, as it can be noticed in Tab. 7, for the above-mentioned attribution it is necessary to consider the worse result between I.B.E and macro describers.

It may thus be inferred that the Rigatore is included in category 5 (considering the result referred to macro describers as the worse result). On that account, the river-bed can be considered of “ the worse” quality, even if to determine its “ecological status” the definition of the chemical status would be necessary, with reference to the specific presence in the waters of dangerous chemical substances (Annex 1, L.D. 152/99).

## OPERE CITATE / REFERENCES

- AA.VV. (1996) – *Buffer Zone: Their processes and potential in water protection* (Ed. Heycock N.E., Burt T.P., Goulding K.W.T, Pinay G.) – Proceedings of International Conference on Buffer Zone – Guest Environmental, P.O. Box 45, Harpenen, Hertfordshire, AL5 5LJ, UK
- AQUINO S., ALLOCCA V., ESPOSITO L. & CELICO P. (2006) – *Le risorse idriche della Provincia di Avellino (Appennino meridionale, Italia)*. Rivista “L’Acqua” (sottoposto alla stampa/ submitted).
- APRILE F., BRANCACCIO L., CARANNANTE G., CRAVERO E., CINQUE A., DI NOCERA S., GUIDA M., IACCARINO G., ORTOLANI F., PESCATORE T., SGROSSO I. & TORRE M. (1978) – *Dati preliminari sulla neotettonica dei fogli 174 (Ariano Irpino), 186 (S. Angelo dei Lombardi), 198 (Eboli)*. Pubbl. n°15, Prog. Final. Geodinamica.
- BALDACCINI G.N. & SANSONI G. (2002) - *Prime riflessioni sull’applicazione dell’Indice di Funzionalità Fluviale*. *Biologia Ambientale*, **16** (1): 29-33.
- BELLUCCI F. (1994) – *Nuove conoscenze stratigrafiche sui depositi vulcanici del sottosuolo del settore meridionale della Piana Campana*. *Bollettino della Società Geologica Italiana*, **113**: 395-420.
- BERETTA G.P. (1992) – *Idrogeologia per il disinquinamento delle acque sotterranee*. Quaderni di tecniche di protezione ambientale. Pitagora editrice. Bologna.
- BONARDI G., D’ARGENIO B., PERRONE V. (1988) – *Carta geologica dell’Appennino Meridionale in scala 1: 250.000*. Mem. Soc. Geol. It., **41**: Roma.
- BOON P.J., CALOW P. & PETTS G.E. (1992 Eds.) - *River conservation and management*. John Wiley & Sons, Chichester, 470 pp.
- CELICO P. (1978) – *Schema idrogeologico dell’Appennino carbonatico centro-meridionale*. Mem. e Note Ist. Geol. Appl., **14**: 1-97.
- CELICO P. (1983) – *Idrogeologia dei massicci carbonatici, delle piane quaternarie e delle aree vulcaniche dell’Italia centro – meridionale (Marche e Lazio meridionali, Abruzzo, Molise e Campania)*. Quaderni della Cassa per il Mezzogiorno, 4/2, Roma.
- CELICO P. (1986) – *Prospezioni idrogeologiche. Voll. I e II*. Liguori Ed., Napoli.
- COPPA DE CASTRO M.G., MOCHARMONT ZEI M., PESCATORE T. & SGROSSO I. (1969) - *Depositi miocenici e pliocenici ad est del Taburno (Campania)*. *Atti Acc. Gi. Sc. Nat. in Catania, Serie VII*, **1**, 479-512.
- COUTAGNE A. (1956) – *La pouvoir évaporant de l’atmosphère*. *Rev. Genl. De l’Hydraul.*, **73**.
- CUMMINS K.W. (1974) - *Structure and function of stream ecosystems*. *BioScience*, **49** (1): 24-30.
- CUMMINS K.W., KLUG M.G. (1979) - *Feeding ecology of stream invertebrates*. *Ann. Rev. Ecol. Syst.*, **10**: 147-172.
- CUMMINS K.W. (1988) - *The study of stream ecosystem: a functional view*. In L.R. POMEROY & J.J. ALBERT (eds): *Ecosystem processes*, Springer-Verlag, 240-5.
- DECRETO LEGISLATIVO 152/99 E S.M.I.– *Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato da nitrati provenienti da fonti agricole*. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana – Serie Generale, parte prima*. 29 maggio 1999, Roma.
- DECRETO LEGISLATIVO 152/06 – *Norme in materia ambientale (Codice Ambientale)*. *Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana n. 88 del 14 Aprile 2006- suppl. ord. n. 96, Roma*.
- DIRETTIVA 2000/60 CE DEL PARLAMENTO EUROPEO E DEL CONSIGLIO – *Direttiva quadro in materia di acque*. *Gazzetta Ufficiale delle Comunità Europee – L- 327/1 del 22 Dicembre 2000*.
- GIULIVO I. & SANTO A. (1997) – *Stratigrafia del sottosuolo e problemi geomorfologico-applicativi della città di Avellino*. Progetto strategico CNR, Bologna 4/5 novembre.
- PATACCA E., SARTORI E & SCANDONE P. (1990) - *Tyrrhenian basin and Appenninic arcs: kinematic relation since late Tortonian times*. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, **45**: 425-451.
- PENMAN H.L. (1956) – *Evaporation and introductory survey*. *Neth. Journ. of Agric. Science*, **4**.
- PESCATORE T.S. (1986) – *Evolution of a flysch basin during continental collision: Irpinian Basin, Southern Italy*. *Giorn. Di Geol.*, serie 3, **48** (1/2): 25-43, Bologna.
- PESCATORE T.S., SGROSSO I. & TORRE M. (1970) – *Lineamenti di tettonica e sedimentazione nel Miocene dell’Appennino campano-lucano*. *Mem. Soc. Natur. In Napoli suppl. boll.* **78**: 337-408.
- SERVIZIO IDROGRAFICO E MAREOGRAFICO ITALIANO, COMPARTIMENTO DI NAPOLI (1970-1999) – *Pubblicazione n. 27 – Elenco delle stazioni termo-pluviometriche del SIMI, Annali Idrologici – parte I*.
- THORNTHWAITE C.W. & MATHER J.R. (1957) – *Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance*. *Pubbl. Clim. Drexel Inst. Technol.*, **10**.
- TURC L. (1961) – *Evaluation des desoins en eau d’irrigation, évapotranspiration potentielle*. *Ann. Agron.*, **1**.

Received March 2006 - Accepted January 2008