

# SCOMPOSIZIONE DELLA PORTATA DEI CORSI D'ACQUA DELL'APPENNINO MARCHIGIANO CON IL METODO DELLE PORTATE MENSILI CARATTERISTICHE

Boni C.\*, Mastrobrillo L.\* & Petitta M.\*

\* Dipartimento Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma "La Sapienza"

## RIASSUNTO

Gli idrogrammi di alcune stazioni di misura dei principali fiumi dell'Appennino marchigiano sono stati scomposti in ruscellamento e flusso di base con il nuovo metodo delle "portate mensili caratteristiche". Le componenti del flusso sono state elaborate e messe in relazione con alcune caratteristiche geologiche e idrologiche dei bacini considerati.

## 1. RICHIAMI SUL METODO DELLE PORTATE MENSILI CARATTERISTICHE

Il "metodo delle portate mensili caratteristiche", recentemente proposto da BONI *et alii* (1993), è stato già utilizzato per scomporre gli idrogrammi mensili dei corsi d'acqua del Lazio, allo scopo di valutare l'entità del ruscellamento e del flusso di base. Questo metodo consiste nel selezionare e confrontare alcuni valori medi e minimi caratteristici, ricavati dall'analisi su lungo periodo delle portate giornaliere rilevate alle stazioni idrometriche del Servizio Idrografico di Stato.

Attribuendo un preciso significato idrologico ai valori prescelti, si ottiene un idrogramma mensile in cui la portata media viene scomposta in tre campi identificati come: ruscellamento calcolato (R), flusso di base calcolato (FB) e campo indeterminato (CI), compreso fra i due precedenti. Per ruscellamento (R) si intende quella porzione di acqua meteorica che non penetra nel sottosuolo, ma scorre rapidamente sulla superficie dei bacini idrografici. Il flusso di base (FB) si identifica con il contributo delle acque sotterranee alla portata complessiva del corso d'acqua, corrispondente, con buona approssimazione, all'entità delle risorse idriche sotterranee.

Per la scomposizione vengono selezionati, per ogni mese, due valori medi e due valori estremi della portata, che danno origine a quattro linee corrispondenti rispettivamente:

- linea A: media delle portate mensili
- linea B: media delle portate giornaliere minime (portata di magra ordinaria)
- linea C: minima delle portate mensili
- linea D: minima delle portate giornaliere

Il campo compreso fra la linea A e la linea B (fig. 2) viene riferito al ruscellamento ed indicato come ruscellamento calcolato. Il settore compreso tra la linea C e l'asse delle ascisse viene attribuito al flusso di base (flusso di base calcolato). Tra le due linee B e C si individua un "campo indeterminato", che il metodo non consente di attribuire a nessuna delle due componenti del flusso. Sulla base di considerazioni climatiche e idrogeologiche il campo indeterminato può essere, di volta in volta, identificato con il ruscellamento o con il flusso di base. Generalmente nei mesi più piovosi il campo indeterminato comprende una frazione di ruscellamento, mentre nei mesi più aridi può essere ascritto al flusso di base. Ne consegue che i valori di portata di magra ordinaria (linea B) del trimestre estivo sono espressione del flusso di base estivo e rappresentano l'effettivo contributo di acque sotterranee, in periodo di magra.

La natura del flusso riferita al campo indeterminato è influenzata anche dal regime di portata del corso d'acqua che può essere espresso in funzione dell'"indice del flusso di base", pari al rapporto fra la portata del mese di massima magra e la portata media (BONI *et alii*, 1986). Al diminuire del valore dell'indice del flusso di base aumenta la porzione del campo indeterminato attribuibile al ruscellamento. In modo analogo, l'aliquota del campo indeterminato attribuibile al flusso di base aumenta in proporzione all'estensione degli affioramenti di litotipi con valori di infiltrazione efficace superiori al 25% degli afflussi, costituiti nel caso in esame dalla successione carbonatica umbro-marchigiana.

Tramite la scomposizione dell'idrogramma vengono quindi identificati due diversi valori del flusso di base, entrambi rappresentativi del contributo delle acque sotterranee:

- il "flusso di base calcolato", corrispondente alle minime delle portate mensili (linea C), che fornisce indicazioni sull'entità e sul regime di portata delle acque sotterranee;

- il "flusso di base estivo", identificato dalla media delle portate giornaliere minime (linea B) del trimestre estivo, che è espressione della portata media delle acque sotterranee in periodo di magra.

Il contributo effettivo di acque sotterranee, valutato come la somma del flusso di base calcolato con un' indefinita porzione del campo indeterminato, dovrebbe teoricamente corrispondere alla portata media erogata dalle sorgenti puntuali e lineari esistenti nel bacino.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il metodo descritto viene applicato alla scomposizione degli idrogrammi mensili di alcuni corsi d'acqua dell'Appennino marchigiano, allo scopo di sperimentarne la validità in un contesto idrogeologico diverso da quello laziale-abruzzese. Sono stati presi in esame otto corsi d'acqua delle Marche (Metauro, Candigliano, Esino, Potenza, Chienti di Gelagna, Chienti di Pieve Torina, Tenna ed Aso), tutti drenanti verso l'Adriatico. Lo studio è stato limitato al settore montano dei bacini che hanno estensioni variabili da 1062 km<sup>2</sup> a 83 km<sup>2</sup> e comprendono gran parte delle dorsali carbonatiche appenniniche (fig. 1). Nella tabella 1 vengono indicate: le stazioni idrometriche, la loro quota, il numero di anni di funzionamento considerati ed alcune caratteristiche del bacino idrografico.

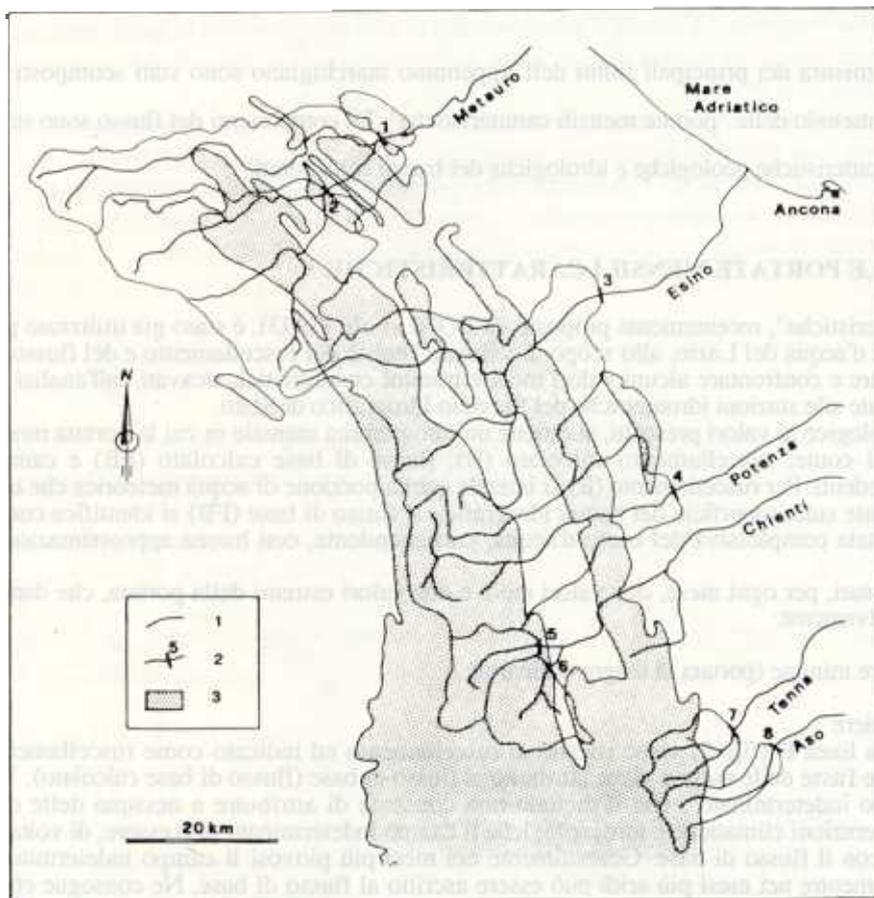


Fig. 1 - Schema di ubicazione delle stazioni idrometriche.

1: limiti di bacino idrografico a monte delle stazioni considerate; 2: stazione idrometrica con numero di riferimento (Tab.1); 3: area di affioramento della successione carbonatica umbro-marchigiana (Lias-Paleogene).

- Stream gauging stations

1: hydrographic basin boundary; 2: stream gauging stations and number (tab. 1); 3: carbonate outcrop area.

In questo settore dell'Appennino affiora la nota successione pelagica umbro-marchigiana (Lias-Paleogene) costituita da formazioni calcaree intercalate a litotipi silico-marnosi e marnosi-argillosi. I rilievi carbonatici sono interamente circondati da depositi torbiditici miocenici, che hanno colmato le depressioni originatesi durante le diverse fasi del corrugamento appenninico. L'assetto strutturale d'insieme dell'Appennino marchigiano è quello di una catena carbonatica a polarità nord-orientale con evidenti motivi traslativi nel settore a sud del Chienti. Più a nord domina uno stile tipicamente plicativo che ha originato anticlinali asimmetriche con marcata vergenza nord-orientale, accavallate su strette sinclinali spesso laminate. Alla generale risposta duttile, si associano motivi rigidi che interessano particolarmente i nuclei liassici delle anticlinali (AUTORI VARI, 1992).

Gli acquiferi carbonatici dell'Appennino marchigiano costituiscono il settore settentrionale del "Gruppo idrogeologico dei Monti dell'arco umbro-marchigiano", per il quale è stata calcolata un'infiltrazione efficace media annua di 533 mm. corrispondente ad una portata totale erogata dal sistema di 58,5 m<sup>3</sup>/s per un'area di ricarica di 3460 km<sup>2</sup> (BONI *et alii*, 1986). Il Gruppo dei Monti dell'arco umbro-marchigiano è quasi interamente circondato dal "complesso dei flysch arenacei" (Miocene-Pliocene inferiore) che presenta una bassa permeabilità d'insieme e ha la funzione di delimitare gli acquiferi carbonatici.

Localmente i depositi torbiditici possono contenere modesti acquiferi superficiali discontinui in grado di alimentare il flusso di base di corsi d'acqua a regime prevalentemente stagionale. Nell'Appennino umbro-marchigiano il reticolo idrografico è inciso tanto da raggiungere la quota di saturazione dei rilievi carbonatici. Ne consegue che le "sorgenti lineari" costituiscono la principale modalità di emergenza delle acque sotterranee.

### 3. DATI UTILIZZATI E METODI DI ELABORAZIONE

Sono stati analizzati, con il "metodo delle portate mensili caratteristiche", i dati di portata giornalieri e mensili pubblicati dal Servizio Idrografico di Stato, sezione di Bologna, per il periodo 1924-1976. Sono stati elaborati i dati delle sole stazioni idrometriche che hanno funzionato per un minimo di quattordici anni; fa eccezione la stazione di Esino a Moie che ha funzionato per soli otto anni.

Il calcolo della precipitazione efficace è stato effettuato sottraendo al valore della precipitazione media annua, desunto dagli Annali del Servizio Idrografico di Stato, l'entità dell'evapotraspirazione calcolata con la formula di TURC (1955), considerando la temperatura media annua riferita alla quota media del bacino.

I valori di portata media delle sorgenti note in ciascun bacino, sono desunti dallo Schema idrogeologico dell'Italia centrale (BONI *et alii*, 1986) e dai risultati di recenti misure di portata eseguite in occasione di nuove campagne di rilevamento non ancora concluse.

n°	stazione idrometrica	quota (m)	numero di anni	area (km <sup>2</sup> )	C (%)	P (mm/a)	E (mm/a)	PE (mm/a)	D (mm/a)	D/PE	I <sub>fb</sub>
1	Metauro a B. di Bellaguardia	110	21	1045	22	1154	596	558	629	1,13	0,09
2	Candigliano a Acqualagna	183	19	617	28	1221	619	602	713	1,18	0,19
3	Esino a Moie	96	8	791	46	1174	658	516	637	1,23	0,32
4	Potenza a Cannuciaro	168	37	439	53	1146	606	540	559	1,04	0,44
5	Chienti a Ponte Giove	429	24	110	95	1279	589	690	427	0,62	0,44
6	Chienti a Pieve Torina	445	27	118	76	1274	582	692	561	0,82	0,42
7	Tenna a Amandola	425	36	100	51	1321	554	767	873	1,14	0,53
8	Aso a Comunanza	440	21	85	37	1291	561	730	1038	1,42	0,60

Tab.1 - Dati idrologici dei bacini idrografici.

C: affioramenti carbonatici nel bacino; P: precipitazione; E: evapotraspirazione (Turc); PE: precipitazione efficace; D: deflusso; I<sub>fb</sub>: indice del flusso di base.

Hydrologic data

C: carbonate outcrops; P: precipitation; E: evapotranspiration (Turc); PE: effective precipitation;

D: discharge; I<sub>fb</sub>: base flow index.

### 4. ANALISI DEGLI IDROGRAMMI

#### Metauro a Barco di Bellaguardia

Il bacino ha un'estensione di 1045 km<sup>2</sup> e un'altitudine media di 560 m. Prevalgono in affioramento sedimenti terrigeni miocenici, mentre le litologie carbonatiche sono presenti solo sul 22% della superficie. La portata media calcolata è di 20,88 m<sup>3</sup>/s e corrisponde a un deflusso di 629 mm/anno. Il rapporto fra il deflusso e la precipitazione efficace risulta di 1,13 e indica probabili scambi idrici sotterranei di modesta entità con bacini contigui. Il regime di portata risulta estremamente variabile con un indice del flusso di base pari a 0,09.

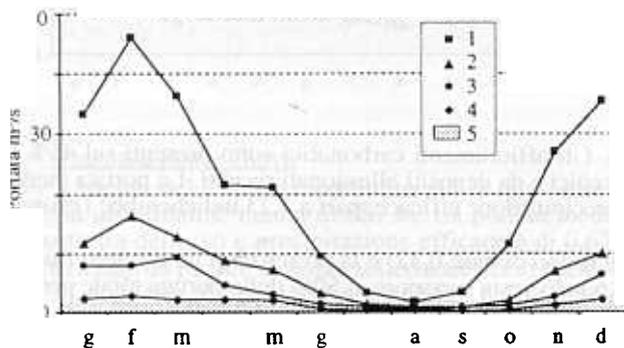


Fig.2 - Metauro a Barco di Bellaguardia. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI *et alii*, 1986).

- Metauro a Barco di Bellaguardia. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

Dalla figura 2 si nota che la componente del ruscellamento calcolato è nettamente predominante ( $14 \text{ m}^3/\text{s}$  in media), pari ad oltre i due terzi della portata per tutti i mesi escluso quello di agosto. La componente del flusso di base calcolato risulta in media di  $4 \text{ m}^3/\text{s}$ , con minimi marcati nel periodo estivo inferiori a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . In questo idrogramma l'entità del campo indeterminato è in media inferiore al 15% della portata totale e tende ad annullarsi nel trimestre estivo, quando si osserva la coincidenza delle portate minime mensili (linea C) con quelle di magra ordinaria (linea B). Gran parte del campo indeterminato può essere attribuito al ruscellamento, in quanto il bacino ha un indice del flusso di base inferiore a 0,20 e risulta costituito prevalentemente da litotipi con valori di infiltrazione efficace inferiori al 25% delle precipitazioni (BONI *et alii*, 1993). La portata media erogata dalle sorgenti (tab.2), pari a  $1,9 \text{ m}^3/\text{s}$ , è confrontabile con il valore del flusso di base estivo rappresentato dalla linea B ( $1,2 \text{ m}^3/\text{s}$ ), mentre risulta decisamente inferiore al flusso di base calcolato ( $4 \text{ m}^3/\text{s}$ ).

Si può quindi ipotizzare che nel periodo invernale il flusso di base del corso d'acqua sia parzialmente sostenuto dall'apporto di falde con potenzialità limitata e regime stagionale, contenute all'interno del "complesso dei flysch arenacei". Questo contributo di acque sotterranee non è compreso nella valutazione della portata media delle emergenze (tab. 2).

n°	stazione idrometrica	Q ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	R ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	C.I. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Fb ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	Q sorg. ( $\text{m}^3/\text{s}$ )
1	Metauro a B. di Bellaguardia	20,88	13,95	2,96	3,99	1,9
2	Candigliano a Acqualagna	13,97	9,35	0,76	3,86	1,2
3	Esino a Moie	16,02	8,63	2,54	4,85	6,7
4	Potenza a Cannucciaro	7,79	2,74	2,02	3,03	2,8
5	Chienti a Ponte Giove	1,49	0,51	0,76	0,22	1,0
6	Chienti a Pieve Torina	2,10	0,63	0,91	0,56	0,9
7	Tenna a Amandola	2,77	0,94	0,61	1,22	1,6
8	Aso a Comunanza	2,80	1,00	0,68	1,12	2,2

Tab. 2 - Risultato della scomposizione e confronto con le portate medie delle sorgenti.

Q: portata media; R: ruscellamento calcolato; C.I.: Campo indeterminato; Fb: Flusso di base calcolato; Q sorg.: portata media delle sorgenti presenti nel bacino (BONI *et alii*, 1986).

- Hydrograph analysis and springs mean discharge

Q: mean discharge; R: calculated runoff; C.I.: undetermined field; Fb: calculated baseflow; Q sorg.: springs mean discharge.

#### Candigliano ad Acqualagna

Il bacino del Candigliano, affluente del Metauro, ha un'estensione di  $617 \text{ km}^2$  e un'altitudine media di 600 m. Le caratteristiche litologiche e climatiche (tab. 1) sono simili a quelle del bacino del Metauro a Barco di Bellaguardia tanto che la scomposizione dell'idrogramma (fig. 3 e tab. 2) conduce a considerazioni analoghe sul regime di portata e sulle sue componenti.

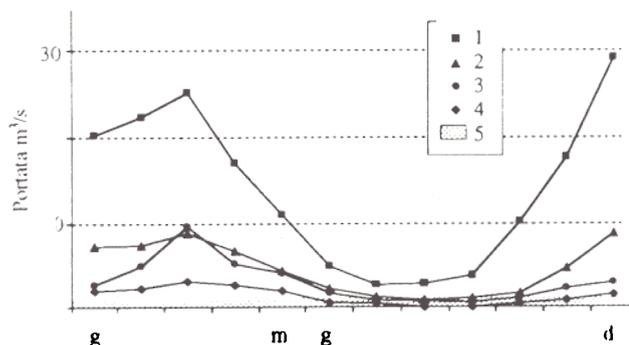


Fig.3 - Candigliano ad Acqualagna. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI *et alii*, 1986).

- Candigliano ad Acqualagna. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

#### Esino a Moie

Il bacino, esteso su  $791 \text{ km}^2$ , ha un'altitudine media di 529 m. Gli affioramenti carbonatici sono presenti sul 46% del territorio; la restante porzione è occupata da sedimenti terrigeni miocenici e da depositi alluvionali recenti. La portata media è di  $16 \text{ m}^3/\text{s}$ , corrispondenti a  $637 \text{ mm}/\text{anno}$ . Il rapporto tra deflussi e precipitazione efficace, pari a 1,23 indicherebbe l'esistenza di scambi idrici sotterranei con i bacini limitrofi.

In fig.4 si osserva la variabilità del regime di portata (indice del flusso di base 0,32) e la presenza di un discreto flusso di base nel periodo estivo. L'entità del ruscellamento calcolato, pari a  $8,6 \text{ m}^3/\text{s}$  resta superiore al 50% della portata totale per nove mesi l'anno e scende al 30% circa nel trimestre estivo; il valore del flusso di base calcolato è di circa  $4,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il bacino presenta caratteristiche intermedie tra quelli costituiti da sedimenti poco permeabili e quelli prevalentemente carbonatici. In prima approssimazione il campo indeterminato può essere suddiviso in egual misura tra le acque sotterranee e di superficie. Si otterrebbe in tal modo un valore del flusso di base pari a  $6,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , confrontabile con la portata media erogata dalle sorgenti del bacino, calcolata in  $6,7 \text{ m}^3/\text{s}$ .

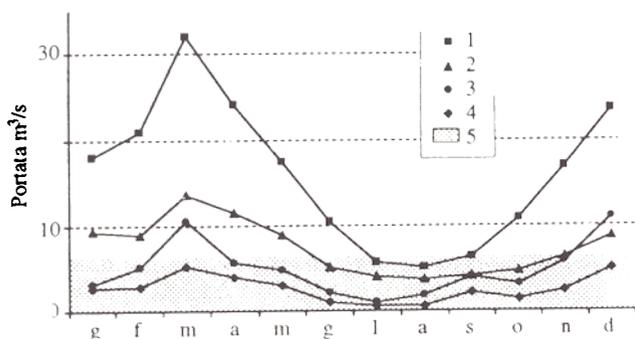


Fig.4 - Esino a Moie. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI et alii, 1986).

- Esino a Moie. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

### Potenza a Cannucciaro Rocchetta

Il bacino si estende su un'area di 439 km<sup>2</sup>, con un'altitudine media di 616 m. Le litologie carbonatiche occupano circa la metà della superficie (53%), nella restante area affiorano prevalentemente i termini terrigeni del Miocene. La portata media calcolata è di 7,8 m<sup>3</sup>/s e corrisponde a un deflusso di 559 mm/a. Gli scambi idrici con altri bacini possono ritenersi trascurabili poichè il rapporto fra il deflusso e la precipitazione efficace si avvicina molto all'unità (1,04).

L'indice del flusso di base, pari a 0,44, indica una limitata variabilità del regime e permette di ipotizzare l'esistenza di un acquifero alimentatore in grado di mantenere elevata la portata estiva del fiume. La presenza di una falda con funzione regolatrice è confermata anche dall'elevata percentuale della portata attribuibile al flusso di base (circa il 40%). Infatti, mentre il ruscellamento risulta di circa 2,7 m<sup>3</sup>/s, la componente del flusso di base calcolato è pari a 3,03 m<sup>3</sup>/s con minimi nei mesi di agosto, settembre e ottobre che non scendono mai al di sotto di 2 m<sup>3</sup>/s (fig. 5). Il campo indeterminato è pari a circa il 25% della portata totale, più o meno costante in tutti i mesi.

La portata media di 2,8 m<sup>3</sup>/s, erogata dalle emergenze del bacino (tab. 2), risulta di poco inferiore al valore del flusso di base calcolato (3,03 m<sup>3</sup>/s). Recenti misure di portata eseguite in occasione di nuove campagne di rilevamento non ancor concluse, forniscono, per la totalità delle emergenze, un valore di portata media di circa 3,5 m<sup>3</sup>/s. Considerata la situazione idrogeologica del bacino, sembra plausibile attribuire la quasi totalità del campo indeterminato estivo al flusso di base e considerare come ruscellamento gran parte del campo indeterminato dei restanti mesi dell'anno.

Considerando la linea C rappresentativa del flusso di base invernale (valutazione per difetto) e la linea B rappresentativa del flusso di base estivo, si può osservare come la portata del flusso di base oscilla tra 2,69 m<sup>3</sup>/s in agosto e 4,89 m<sup>3</sup>/s in marzo, rilevando una buona stabilità del regime. Inoltre il valore del flusso di base si mantiene costante nel periodo estivo, confermando l'ipotesi di un acquifero alimentatore con potenzialità tale da modulare l'effetto delle precipitazioni, assicurando portate estive consistenti e stabili nel tempo.

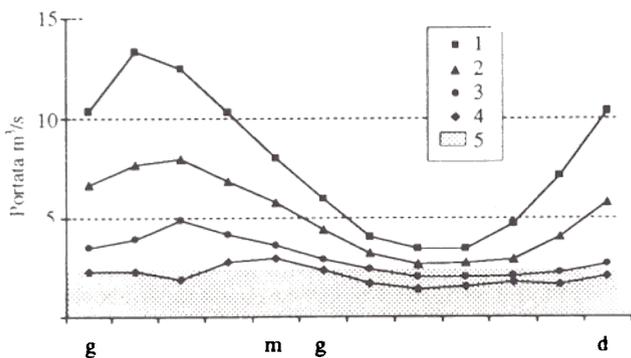


Fig.5 - Potenza a Cannucciaro. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI et alii, 1986).

- Potenza a Cannucciaro. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

### Chienti a Ponte Giove

Il bacino del Chienti è costituito per la quasi totalità (95%) da affioramenti carbonatici e si estende su un'area di 110 km<sup>2</sup>, su un'altitudine media di 887 m. La portata media risulta pari a 1,5 m<sup>3</sup>/s, equivalenti a 427 mm/anno di deflusso. Il rapporto tra deflusso e precipitazione efficace è di 0,62. Questo valore sembra indicare che il bacino idrografico è aperto e caratterizzato da perdite di acque sotterranee verso bacini contigui.

Si nota (fig. 6) la discreta regolarità del regime di portata, espressa anche da un indice del flusso di base di 0,44. L'idrogramma è caratterizzato dall'esistenza di un campo indeterminato molto ampio (circa 60% della portata totale). Il ruscellamento calcolato corrisponde a 0,5 m<sup>3</sup>/s, pari al 30% circa della portata totale in tutti i mesi dell'anno. La regolarità del regime delle acque superficiali è attribuibile alla natura litologica del bacino, in cui affiorano quasi esclusivamente carbonati. La componente del flusso di base calcolato è di soli 0,22 m<sup>3</sup>/s, ed ha un regime molto regolare.

Considerando l'elevata percentuale di carbonati affioranti, il campo indeterminato può essere in gran parte attribuito a contributi di acque sotterranee. La portata relativamente bassa ed il regime del flusso di base fanno ipotizzare che il fiume sia alimentato da un acquifero non molto esteso, che risente della variabilità degli afflussi sia stagionale che pluriennale. Il confronto con la portata media erogata dalle sorgenti lineari presenti nel bacino, pari a 1 m<sup>3</sup>/s, confermerebbe l'attribuzione del campo indeterminato interamente al flusso di base.

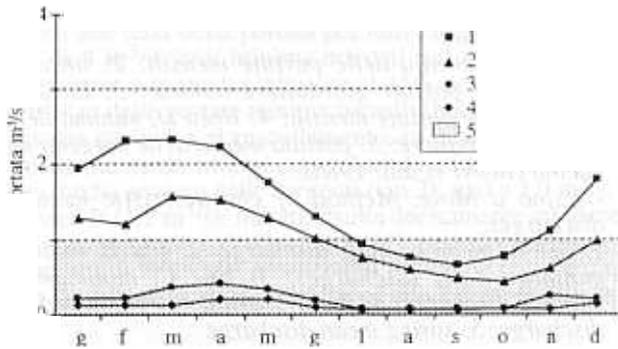


Fig.6 - Chienti a Ponte Giove. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI et alii, 1986).

- Chienti a Ponte Giove. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

### Chienti a Pieve Torina

Il bacino ha un'estensione di 118 km<sup>2</sup> e un'altitudine media di 924 m. Le dorsali carbonatiche occupano il 76% della superficie, il restante 24% è quasi totalmente occupato dai sedimenti miocenici. Il deflusso medio annuo di 561 mm, corrispondente ad una portata media di 2,1 m<sup>3</sup>/s, risulta inferiore alla precipitazione efficace lasciando ipotizzare perdite di acque sotterranee verso bacini contigui. L'indice del flusso di base è pari a 0,42. La porzione della portata attribuibile al ruscellamento è di 0,63 m<sup>3</sup>/s, mentre la componente del flusso di base calcolato è pari a 0,56 m<sup>3</sup>/s; l'entità del campo indeterminato costituisce il 43% della portata totale, scendendo a meno del 30% nel trimestre estivo (fig. 7). La portata media delle sorgenti del bacino (tab. 2) è pari a 0,9 m<sup>3</sup>/s, valore molto più elevato del flusso di base calcolato (0,56 m<sup>3</sup>/s). Il campo indeterminato può essere attribuito al flusso di base non solo nei mesi estivi, ma anche nel resto dell'anno. Il flusso di base risulta molto variabile tanto che nella stagione estiva si assiste ad una sua progressiva diminuzione, probabilmente legata all'assenza di consistenti risorse sotterranee capaci di sostenere la portata.

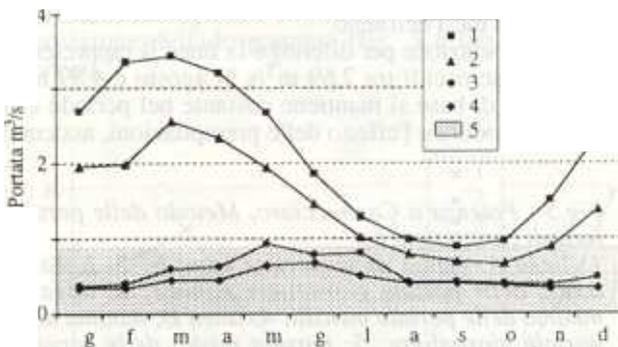


Fig.7 - Chienti a Pieve Torina. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI et alii, 1986).

- Chienti a Pieve Torina.. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

### Tenna ad Amandola

Il bacino del Tenna, esteso per 100 km<sup>2</sup>, ha un'altitudine media di 1170 m. Il bacino è occupato per circa la metà (51%) da affioramenti carbonatici, mentre il resto è costituito prevalentemente da litotipi terrigeni. La portata media misurata risulta di 2,77 m<sup>3</sup>/s, equivalenti ad un deflusso di 873 mm/anno. Rapportando i deflussi alla precipitazione efficace, si ottiene un coefficiente di 1,14, che indicherebbe l'esistenza di un apporto di acque sotterranee dall'esterno del bacino.

La scomposizione della portata (fig. 8) evidenzia un regime abbastanza regolare, sostenuto da un notevole flusso di base. Il ruscellamento calcolato, equamente distribuito nel corso dell'anno, è circa il 30% della portata totale, pari a 0,94 m<sup>3</sup>/s, con punte massime del 40% in mesi particolarmente piovosi (novembre e febbraio). Il campo indeterminato rappresenta il 20% della portata. Il flusso di base calcolato è di poco inferiore al 50% della portata, corrispondente in media a 1,22 m<sup>3</sup>/s e coincide con il flusso di base estivo (1,21 m<sup>3</sup>/s). L'indice del flusso di base relativamente elevato (0,53) e la presenza, su metà del bacino, di rocce caratterizzate da alti valori di infiltrazione efficace e ruscellamento effimero, portano ad attribuire gran parte del campo indeterminato a contributi di acque sotterranee. Si ottiene quindi un valore del flusso di base superiore a 1,5 m<sup>3</sup>/s, corrispondente in linea di massima alla portata media erogata dalle sorgenti del bacino (1,6 m<sup>3</sup>/s). Gli affioramenti carbonatici presenti nel bacino (50 km<sup>2</sup> circa) non sono sufficienti ad alimentare la portata del flusso di base: è quindi ipotizzabile un'alimentazione esterna al bacino.

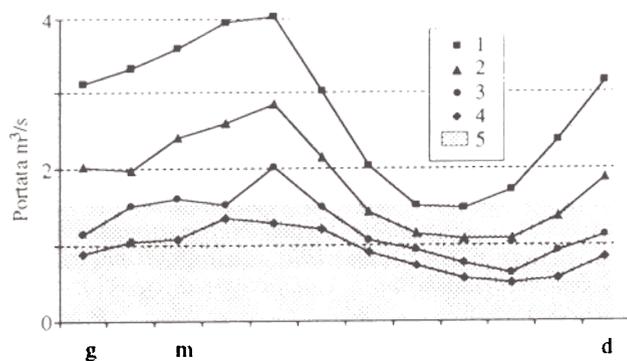


Fig.8 - Tenna ad Amandola. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI et alii, 1986).

- Tenna ad Amandola. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

### Aso a Comunanza

Il bacino si estende su un'area di 85 km<sup>2</sup> ed ha una quota media di 1095 m. I carbonati si estendono solo sul 37% della superficie, dove affiorano prevalentemente i terreni miocenici. La portata media è pari a 2,8 m<sup>3</sup>/s. Il regime di portata è il più stabile fra quelli dei corsi d'acqua studiati: l'indice del flusso di base è infatti uguale a 0,60. A differenza di quanto riscontrato negli altri bacini, l'elevato valore dell'indice del flusso di base non corrisponde ad una percentuale altrettanto elevata di litotipi carbonatici in affioramento. Questa situazione indicherebbe l'esistenza di cospicui apporti di acque sotterranee provenienti da settori esterni al bacino, confermata dal rapporto tra deflusso e precipitazione efficace (tab. 1), decisamente superiore all'unità (1,42).

La scomposizione dell'idrogramma (fig. 9) consente di valutare un ruscellamento di 1 m<sup>3</sup>/s e un flusso di base calcolato di 1,12 m<sup>3</sup>/s. Resta un campo indeterminato pari al 24% della portata, che risulta di difficile attribuzione alle due componenti del deflusso. La portata media delle sorgenti del bacino valutata in letteratura 2,2 m<sup>3</sup>/s risulta sensibilmente superiore a quella rilevata in recenti campagne non ancora concluse (1,3 m<sup>3</sup>/s). Inoltre, dall'analisi dei valori di portata giornaliera il regime del corso d'acqua risulta influenzato in modo determinante dall'esercizio di impianti di derivazione, per uso idroelettrico e irriguo, presenti a monte della stazione idrometrica. La scarsa attendibilità dei dati non consente di ottenere risultati rappresentativi dalla scomposizione dell'idrogramma.

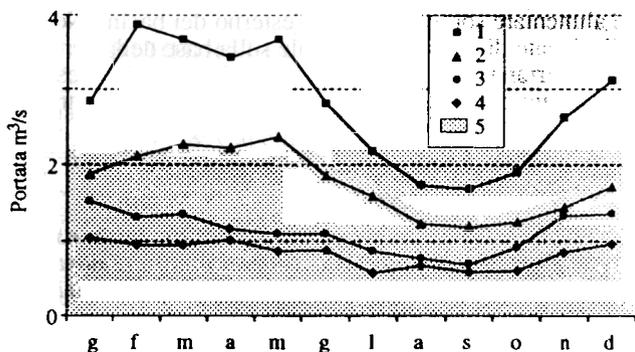


Fig.9 - Aso a Comunanza. Metodo delle portate mensili caratteristiche.

1: linea A, media delle portate mensili; 2: linea B, media delle portate giornaliere minime; 3: linea C, minima delle portate mensili; 4: linea D, minima delle portate giornaliere; 5: portata media delle sorgenti del bacino (BONI et alii, 1986).

- Aso a Comunanza. Method of characteristic monthly discharges.

1: line A, mean monthly discharge; 2: line B, mean of minimum daily discharges; 3: line C, minimum of monthly discharge; 4: line D, lowest of minimum daily discharge; 5: spring mean discharge

## 5. CONFRONTO DEI PARAMETRI IDROLOGICI E IDROGEOLOGICI DEI BACINI

La scomposizione degli idrogrammi ha portato alla valutazione di due componenti fondamentali: flusso di base estivo e ruscellamento invernale calcolato, i cui valori sono stati messi in relazione con la percentuale di carbonati in affioramento e con l'indice del flusso di base. I valori rappresentativi del flusso di base estivo e del ruscellamento invernale dei diversi bacini sono stati espressi in termini di "portata specifica", definita come rapporto tra portata e superficie del bacino idrografico (l/s/km<sup>2</sup>) (Tab.3).

n°	stazione idrometrica	R inv (l/s/km <sup>2</sup> )	Fb est (l/s/km <sup>2</sup> )	C (%)	Ifb
1	Metauro a B. di Bellaguardia	23,69	1,14	22	0,09
2	Candigliano a Acqualagna	23,90	1,78	28	0,19
3	Esino a Moie	16,62	4,92	46	0,32
4	Potenza a Cannuciaro	10,43	6,51	53	0,44
5	Chienti a Ponte Giove	7,55	5,55	95	0,44
6	Chienti a Pieve Torina	8,31	7,12	76	0,42
7	Tenna a Amandola	12,20	12,10	51	0,53
8	Aso a Comunanza	16,24	16,53	37	0,60

Tab.3 - Parametri idrologici e idrogeologici dei bacini.

R inv: ruscellamento invernale calcolato; Fb: flusso di base estivo (linea B); C: affioramenti carbonatici nel bacino; Ifb: indice del flusso di base.

- Hydrologic and hydrogeologic data

R inv: calculated winter runoff; Fb: summer base flow; C: carbonate outcrops; Ifb: base flow index

Nel grafico di fig. 10 risulta evidente la relazione inversa che intercorre tra l'entità del ruscellamento invernale specifico dei singoli corsi d'acqua e la percentuale di carbonati in affioramento nei rispettivi bacini. In dettaglio si nota che nei due rami del fiume Chienti (stazioni 5 e 6), dove la quasi totalità dell'area è occupata da carbonati, il ruscellamento invernale presenta i valori più bassi. Viceversa, sui bacini di Metauro e Candigliano (stazioni 1 e 2), occupati per circa 1/4 da affioramenti carbonatici, il contributo delle acque superficiali in inverno assume i valori maggiori.

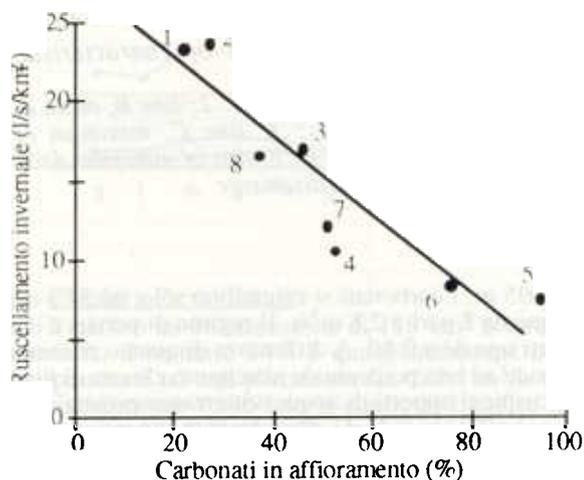


Fig.10 - Correlazione tra ruscellamento invernale specifico e percentuale di carbonati in affioramento. I numeri si riferiscono alle stazioni idrometriche, come indicato in tab.1. Coefficiente di correlazione: 0,78.  
- Specific winter runoff (l/s/km<sup>2</sup>) vs. carbonate outcrops (%). Number of stream gauging stations in tab.1. Correlation coefficient: 0.78.

Il confronto tra flusso di base estivo specifico e percentuale dei carbonati in affioramento (fig. 11) fornisce lo spunto per le seguenti osservazioni:

- in alcuni bacini il contributo delle acque sotterranee aumenta proporzionalmente alla percentuale di superficie carbonatica (Metauro, Candigliano, Esino, Potenza);
- la proporzionalità tra i due parametri non è rispettata nei bacini del Chienti, dell'Aso e del Tenna. Nei due rami del Chienti, vista l'elevata percentuale dei carbonati, il flusso di base estivo dovrebbe essere molto più consistente. Si può ipotizzare che parte dell'acqua che si infiltra nel sottosuolo vada ad alimentare sorgenti poste all'esterno dei bacini. Nei bacini dell'Aso e del Tenna, il flusso di base estivo risulta notevolmente più elevato di quanto prevedibile sulla base della percentuale di carbonati presenti. E' evidente che parte del contributo di acque sotterranee provenga da aree di alimentazione esterne ai bacini. Ne consegue che questo tipo di correlazione consente di evidenziare probabili apporti o perdite sotterranee attraverso i limiti del bacino considerato.

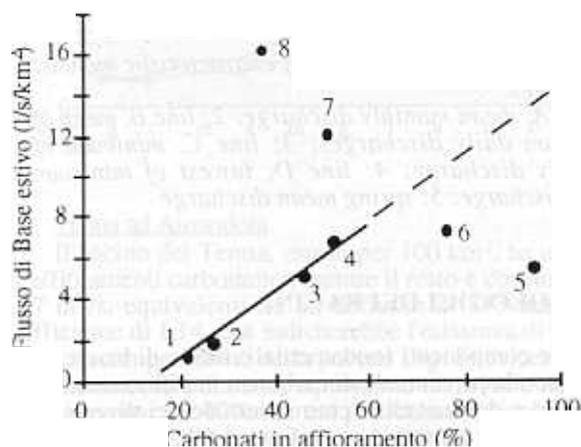


Fig.11 - Correlazione tra flusso di base estivo specifico e percentuale di carbonati in affioramento. I numeri si riferiscono alle stazioni idrometriche, come indicato in tab.1.  
- Specific summer baseflow (l/s/km<sup>2</sup>) vs. carbonate outcrops (%). Number of stream gauging stations in tab.1.

Per ciascun bacino il flusso di base estivo in l/s/km<sup>2</sup> è stato messo a confronto con l'indice del flusso di base (fig. 12). Si nota anche in questo caso una relazione diretta tra i due parametri. In bacini con indice del flusso di base ridotto (Metauro), si registra un flusso di base estivo specifico poco consistente, mentre dove il regime di portata è più stabile (Tenna, Aso) il contributo delle acque sotterranee è nettamente più elevato. Risulta che il flusso di base estivo, espresso in l/s/km<sup>2</sup>, oltre che indice del contributo delle acque sotterranee al deflusso, può essere considerato come parametro rappresentativo del regime di un corso d'acqua.

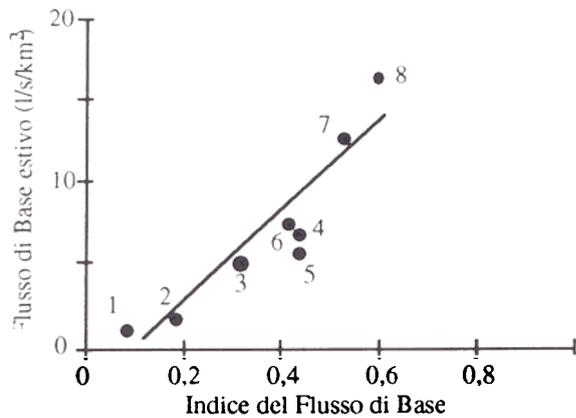


Fig.12 - Correlazione tra flusso di base estivo specifico e l'indice del flusso di base.

I numeri si riferiscono alle stazioni idrometriche, come indicato in tab.1. Coefficiente di correlazione lineare: 0,82.

- Specific summer baseflow ( $l/s/km^2$ ) vs. Baseflow index. Number of stream gauging stations in tab.1. Correlation coefficient: 0,82.

## 6. CONCLUSIONI

Il metodo delle portate mensili caratteristiche (BONI *et alii*, 1993) è stato utilizzato per la scomposizione degli idrogrammi dei corsi d'acqua dell'Appennino marchigiano. In tal modo è stato possibile calcolare i valori minimi del ruscellamento (ruscellamento calcolato) e del flusso di base (flusso di base calcolato), lasciando un campo di indeterminazione attribuibile in parte alle acque sotterranee e in parte a quelle di superficie in funzione delle caratteristiche litologiche e idrologiche dei singoli bacini. L'entità del contributo delle acque sotterranee, espressa per ogni bacino come somma del flusso di base calcolato con una parte del campo indeterminato, è risultata ben confrontabile con il valore medio della portata delle sorgenti ubicate nel bacino. Alcuni valori stagionali delle componenti del flusso (ruscellamento invernale e flusso di base estivo), ottenuti con l'applicazione del nuovo metodo di scomposizione ed espressi in termini di portata specifica ( $l/s/km^2$ ), possono essere messi in relazione con la percentuale di superficie carbonatica e l'indice del flusso di base di ciascun bacino. Queste correlazioni, applicate solo allo studio dei bacini dell'Appennino marchigiano, consentono di evidenziare probabili apporti o perdite sotterranee attraverso i limiti del bacino considerato. La metodologia utilizzata dovrà essere ulteriormente sperimentata nello studio di bacini con caratteristiche climatiche, litologiche e idrologiche differenti.

## BIBLIOGRAFIA

- Autori Vari (1992) - L'ambiente fisico delle Marche. A cura di E. Centamore e Micarelli A., p.255 Regione Marche Giunta Regionale Assessorato Urbanistica. Ed. Elca Firenze
- Boni C., Bono P., & Capelli G. (1986) - Schema idrogeologico dell'Italia centrale. *Mem. Soc. Geol. Ital.*, 35, p. 991 - 1012, Roma
- Boni C., Petitta M., Preziosi E. & Sereni M (1993) - Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio. p. 78, CNR Roma
- Ministero dei Lavori Pubblici (1924-1976) - Annali idrologici (parte prima e seconda), Pubblicazione Servizio Idrografico, Sezione di Bologna, Istituto Poligrafico dello Stato, Roma
- Turc L. (1955) - Le bilan d'eau des sols. Relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron.*, 5

## ABSTRACT

The method of "characteristic monthly discharges", described by BONI *et alii* (1993), was applied to the main rivers of Marche Apennine (fig. 1), in order to divide the mean monthly discharge into baseflow and runoff. Discharge values are shown in figg.2-9. Line A represents the river total discharge, including baseflow and runoff for each month. The field between lines A and B should correspond to the "calculated runoff". Line C was assumed to represent the "calculated baseflow". The field between lines B and C corresponds to the so-called "undetermined field"; it represents the amount of discharge which cannot be divided by this method. The undetermined field can be ascribed to runoff or baseflow according to both hydrogeological features and climatic conditions of each basin. Line D is the minimum daily discharge, which is supposed to correspond to the baseflow during severe droughts. The evaluation of mean discharge, calculated runoff, undetermined field and calculated baseflow are shown in tab.2.

Hydrogeological features of drainage basins (carbonate outcrops area and baseflow index) are compared with specific winter runoff and specific summer baseflow (tab. 3). The obtained linear correlations are shown in fig.10-11-12.

The method of "characteristic monthly discharge", previously tested in the main rivers of Latium, has been applied to the Marche Apennine, where the hydrogeological features are different.