

# Sorgenti lineari e valutazione dell'infiltrazione efficace in alcuni bacini dell'Italia centrale

Carlo Boni\*, Marco Petitta\*\*

**Riassunto.** È noto che le acque sotterranee emergono in superficie in luoghi ben definiti e circoscritti, facilmente identificabili, comunemente indicati come sorgenti. Le ricerche condotte in molte zone dell'Italia centrale hanno messo in evidenza che le acque sotterranee possono emergere in superficie anche in modo meno evidente, quando si versano direttamente nei corsi d'acqua, alimentandone notevolmente la portata. Lo studio e la valutazione di questo fenomeno, definito sorgente lineare, è stato sovente trascurato, sebbene assuma particolare importanza nelle ricerche di idrogeologia quantitativa, che hanno lo scopo di valutare l'entità delle risorse idriche sotterranee e dell'infiltrazione efficace. Questa nota descrive i metodi impiegati, nelle valli dei fiumi Velino e Nera, per individuare grandi sorgenti lineari e per valutare la loro portata. Dall'analisi degli idrogrammi disponibili è possibile ricavare la valutazione approssimativa del flusso di base, cioè di quella parte della portata totale certamente alimentata da emergenze di acqua sotterranea, perché, su breve periodo, non risente del regime delle precipitazioni e del ruscellamento. Dopo questa prima valutazione, che ha carattere orientativo, per conoscere la precisa ubicazione e la portata delle sorgenti lineari, è necessario eseguire una serie ripetuta di misure di portata nell'alveo del corso d'acqua principale e dei suoi affluenti. Il confronto fra misure contemporanee di sezioni successive, opportunamente ubicate, mette in evidenza l'esistenza di incrementi di portata, alimentati da acque sotterranee. La portata delle sorgenti lineari può variare nel corso delle

stagioni e degli anni; per valutare la portata media è necessario ripetere le misure in anni successivi e confrontare il regime delle sorgenti lineari con quello delle sorgenti localizzate, generalmente noto, o comunque più facilmente determinabile. Nell'alta valle del Velino, tra quota 500 e 400, sono state identificate e misurate, in tre anni successivi, sorgenti lineari che erogano una portata media complessiva di circa 8 m<sup>3</sup>/s; questo valore, sommato ai 21 m<sup>3</sup>/s erogati in media dalle sorgenti puntuali, fornisce una portata media complessiva di 29 m<sup>3</sup>/s, che consente di valutare in 955 mm/anno l'infiltrazione efficace media dell'intero Sistema Idrogeologico dei Monti Giano-Nuria e Velino.

Nella valle del fiume Nera, a monte della confluenza con il Velino, dall'analisi degli idrogrammi della stazione idrometrica di Torre Orsina, è stato valutato un flusso di base medio non inferiore a 28 m<sup>3</sup>/s, con massimi di 32 e minimi di 24 nella tarda estate. Poiché la portata media delle sorgenti puntuali è certamente inferiore a 3 m<sup>3</sup>/s, nel bacino del Nera devono esistere grandi sorgenti lineari.

Una campagna di misure mensili, lungo il corso del Nera e dei suoi affluenti, finanziata dalla Regione Umbria ed eseguita nel secondo semestre 1988, ha consentito di meglio identificare e valutare le grandi sorgenti lineari del bacino. Le misure di questo periodo, caratterizzato da estrema carenza di precipitazioni, sono particolarmente significative per l'assenza di ruscellamento. La portata media complessiva delle sorgenti lineari misurata nel semestre è risultata di circa 18 m<sup>3</sup>/s, leggermente inferiore alla media del periodo estivo-autunnale, desumibile dagli idrogrammi. Questi dati confermano che il fiume Nera è una grande sorgente lineare prevalentemente alimentata da acque sotterranee.

Lavoro eseguito con il contributo del Progetto Nazionale 40% M.P.I. e M.U.R.S.T., «Valutazione delle risorse idriche sotterranee nazionali».

\* Dipartimento Scienze della Terra, Università degli Studi di Roma «La Sapienza».

\*\* Centro di Studio per la Geologia dell'Italia Centrale del CNR, Roma.

**Abstract.** As well known, ground water issues from the ground in specific sites, here called «normal springs», which are easy to identify. Recent researches carried out in central Italy demonstrated that a large amount of

ground water discharges into rivers increasing their flow. This phenomenon called «linear springs» is difficult to identify and therefore it has been generally overlooked. The study of linear springs cannot be neglected when evaluating ground water resources and effective infiltration.

This paper describes methods used to recognise large linear springs and to evaluate their discharge in the valleys of Velino and Nera rivers.

First step is to evaluate the amount of base flow from hydrograph analysis. Base flow is the part of total flow, fed by ground water, not affected by the irregular regimen of precipitations and runoff. This step allows an approximate evaluation of the total spring discharge (normal springs plus linear springs). When base flow sensibly exceeds the normal spring discharge probably linear springs feed the river flow.

It is necessary to carry out a series of flow measures along the course of the river in order to identify the site and to evaluate the discharge of linear springs. Several measure sections are established along the river. Comparison between discharges taken in different sections evidences a possible increase in discharge and therefore the occurrence of a linear spring. Linear spring discharge can vary over the year and from year to year. It is therefore necessary to repeat measures over at least 2 or 3 years to evaluate a mean discharge.

In the upper Velino valley, between 500 and 400 m of elevation a.s.l., linear springs discharging 8 m<sup>3</sup>/s have been measured. For the Hydrogeological System of Giano, Nuria and Velino Mountains, it has been possible to evaluate a mean effective infiltration of 955 mm/year, taking into consideration the discharge of both normal (21 m<sup>3</sup>/s) and linear (8 m<sup>3</sup>/s) springs.

In Nera valley, the hydrograph analysis of Torre Orsina station, shows a mean base flow ranging from 32 to 24 m<sup>3</sup>/s. Since the total discharge of normal springs does not exceed 3 m<sup>3</sup>/s, large linear springs obviously feed the river flow. Monthly measures taken from June to December 1988 proved the existence of linear springs discharging 18 m<sup>3</sup>/s. This campaign confirmed that Nera river is actually a large linear spring mainly fed by ground water.

## PREMESSA

L'idrogeologia dell'Italia centrale è sufficientemente nota grazie al lavoro compiuto nell'ultimo ventennio dai centri di ricerca delle Università, dal C.N.R. e dalla Cassa per il Mezzogiorno.

I ricercatori del Dipartimento di Scienze della Terra dell'Università di Roma «La Sapienza» hanno contribuito con un approccio originale alla problematica dell'idrogeologia adottando metodologie quantitative che hanno consentito di identificare e valutare con buona approssimazione l'entità delle risorse idriche sotterranee; la sintesi del lavoro

è stata esposta nello «Schema Idrogeologico dell'Italia centrale» (Boni, Bono, Capelli, 1986).

## INFILTRAZIONE EFFICACE

Per valutare le risorse idriche sotterranee è necessario calcolare, con buona approssimazione, l'entità media dell'*infiltrazione efficace*, considerata come la capacità di un complesso idrogeologico di assorbire le acque meteoriche, sottraendole al ruscellamento e all'evapotraspirazione.

La valutazione diretta di questo parametro si basa sul principio che la quantità d'acqua che emerge dal sottosuolo equivale, in media, alla quantità che vi penetra.

Una volta individuate strutture idrogeologiche con limiti ben definiti, e quindi idraulicamente isolate, per calcolare i valori di infiltrazione efficace basta misurare la portata erogata dalle sorgenti e dividere il volume medio annuo erogato dalla struttura per l'area di alimentazione.

Si ottiene così per ogni struttura riconosciuta un valore medio dell'*infiltrazione efficace*, che varia in funzione della litologia, della morfologia e dell'entità delle precipitazioni.

Questo approccio metodologico ha il vantaggio di escludere dal calcolo dell'*infiltrazione efficace* sia l'uso di formule empiriche che il valore della precipitazione calcolata, molto spesso inferiore rispetto a quello reale.

Le difficoltà di questa procedura risiedono invece nella necessità di misurare con precisione la portata media di tutte le sorgenti e di definire accuratamente i limiti delle strutture idrogeologiche.

Il procedimento descritto è stato applicato a tutte le grandi strutture idrogeologiche riconosciute nell'Italia centrale, costituite da rocce carbonatiche e vulcaniche, ed ha consentito di valutare la distribuzione delle risorse idriche sotterranee, a scala regionale, nei diversi domini idrogeologici.

## SORGENTI LINEARI

Nel corso dello studio è emersa la notevole importanza delle *sorgenti lineari*, particolarmente diffuse nella struttura dell'arco umbro-marchigiano, ma presenti anche nelle dorsali carbonatiche della piattaforma laziale-abruzzese.

Si ha una sorgente lineare dove un corso d'acqua è direttamente alimentato dalla falda che satura una struttura idrogeologica.

La mancata individuazione di questo particolare tipo di sorgente è causa di errori, talvolta grossolani,

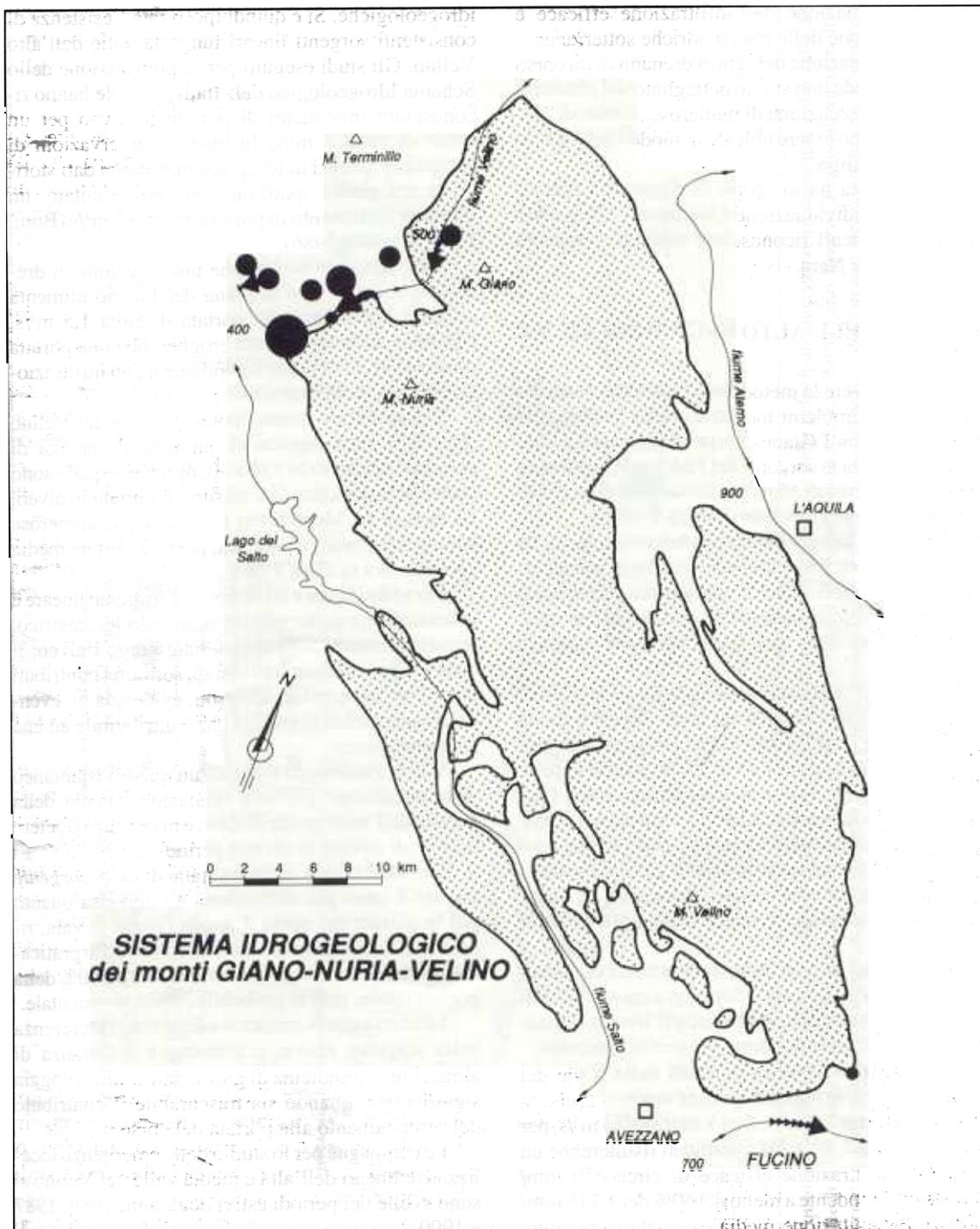


Figura 1. Vengono riportati i limiti del Sistema Idrogeologico dei Monti Giano-Nuria-Velino. Il Sistema (S3), ripreso dallo Schema Idrogeologico dell'Italia Centrale (Boni, Bono, Capelli, 1986), riferito al dominio della piattaforma carbonatica mesozoica laziale-abruzzese, alimenta sorgenti puntuali e lineari ubicate prevalentemente nella valle del fiume Velino, ove i limiti del Sistema si deprimono a quote comprese tra 500 e 400 m slm.

nella determinazione dell'infiltrazione efficace e nella valutazione delle risorse idriche sotterranee.

L'identificazione dei settori drenanti di un corso d'acqua richiede uno studio dettagliato del territorio in esame e l'esecuzione di numerose misure di portata, che devono essere ubicate in modo opportuno e ripetute nel tempo.

Questa nota ha lo scopo di illustrare i metodi seguiti per l'individuazione e la misura della portata di sorgenti lineari riconosciute nell'alto corso dei fiumi Velino e Nera.

### ESEMPIO DELL'ALTO BACINO DEL FIUME VELINO

Per descrivere la metodologia adottata, vengono qui esposti i problemi incontrati nello studio della dorsale dei monti Giano-Nuria-Velino, molto nota perché alimenta le sorgenti del Peschiera, che hanno una portata media di 18 m<sup>3</sup>/s e forniscono alla città di Roma una portata costante di circa 9 m<sup>3</sup>/s.

Il Sistema idrogeologico considerato (fig. 1), ha un'estensione di 1.016 km<sup>2</sup> ed è costituito principalmente dalla successione di piattaforma carbonatica laziale abruzzese; si tratta di rocce ad elevata permeabilità, che ospitano una falda regionale estesa e potente.

La struttura, indicata con la sigla S3 (Boni, Bono, Capelli, 1986) è circondata da limiti di permeabilità ben definiti: a nord il contatto con i depositi terrigeni del Flysch della Laga e con i flysch miocenici in parte coperti da depositi fluvio-lacustri pleistocenici; l'accavallamento della serie carbonatica sui depositi terrigeni miocenici (Monti d'Ocre-Ovindoli) ad est; i potenti depositi fluvio-lacustri della piana del Fucino a sud ed ancora depositi terrigeni miocenici ad ovest. Questi limiti affiorano ovunque sopra i 500 metri di quota.

La valle del Velino, dove il contatto tra carbonati e depositi fluvio-lacustri si deprime a quote variabili tra 500 e 400 m circa, costituisce il livello di base principale del Sistema idrogeologico considerato.

Le principali sorgenti puntuali della Valle del Velino erogano le seguenti portate medie: Peschiera 18 m<sup>3</sup>/s, Canetra 2,9 m<sup>3</sup>/s, San Vittorino 0,3 m<sup>3</sup>/s, per un totale di 21,2 m<sup>3</sup>/s. Da questi dati risulterebbe un valore di infiltrazione efficace di circa 650 mm/anno, corrispondente a meno del 60% dei 1.115 mm/anno di precipitazione media calcolata su 60 anni, col metodo dei topoi di Thjessen.

L'infiltrazione efficace nel Sistema del Giano-Nuria-Velino risulterebbe nettamente inferiore rispetto a valori calcolati su analoghe strutture

idrogeologiche. Si è quindi ipotizzata l'esistenza di consistenti sorgenti lineari lungo la valle dell'alto Velino. Gli studi eseguiti per la preparazione dello Schema Idrogeologico dell'Italia centrale hanno riconosciuto incrementi di portata in alveo per un totale di circa 7 m<sup>3</sup>/s. In base ad osservazioni di campagna, analisi di idrogrammi e alcuni dati storici, si era inoltre ipotizzato, ma non valutato, un ulteriore incremento di portata di circa 2 m<sup>3</sup>/s (Boni, Bono, Capelli, 1986).

Considerando inoltre che una direzione di drenaggio diretta verso la piana del Fucino alimenta sorgenti lineari per una portata di circa 1,5 m<sup>3</sup>/s, l'insieme delle emergenze erogherebbe una portata media di 31,7 m<sup>3</sup>/s, corrispondente ad un'infiltrazione efficace di 983 mm/anno.

Per verificare queste ipotesi la valle del Velino (fig. 2) è stata oggetto di un'accurata analisi di dettaglio nel periodo 1986-90, durante il quale sono state effettuate circa 200 misure di portata in alveo. La ricerca ha identificato l'esistenza di numerose emergenze lineari e puntuali, per una portata media complessiva di circa 8 m<sup>3</sup>/s.

Per identificare e misurare una sorgente lineare è necessario eseguire, con un mulinello idrometrico, accurate misure di portata seriate lungo l'alveo; il confronto tra misure successive, sottratti i contributi laterali provenienti da affluenti, evidenzia un eventuale incremento di portata che è attribuibile ad una sorgente lineare.

Tale metodologia fornisce un quadro istantaneo della situazione: per una valutazione media della portata dell'emergenza lineare, è necessario ripetere la serie di misure in diversi periodi.

La valutazione della portata di una *sorgente lineare* è tanto più difficoltosa e imprecisa quanto più la portata del corso d'acqua risulta elevata, rispetto all'incremento da misurare. Non sono praticamente identificabili incrementi inferiori al 10% della portata totale, pari al probabile errore strumentale.

Le campagne di misura si eseguono di preferenza nella stagione estiva, e comunque a distanza di almeno una quindicina di giorni dall'ultima pioggia significativa, quando sia trascurabile il contributo del ruscellamento alla portata del corso d'acqua.

Le campagne per lo studio delle emergenze localizzate e lineari dell'alta e media valle del Velino si sono svolte nei periodi estivi degli anni 1986, 1987 e 1990.

Le misure di portata seriate sono state eseguite lungo le aste dei fiumi Velino, Peschiera, Salto e Turano, e sui corsi d'acqua minori alimentati dalle sorgenti.

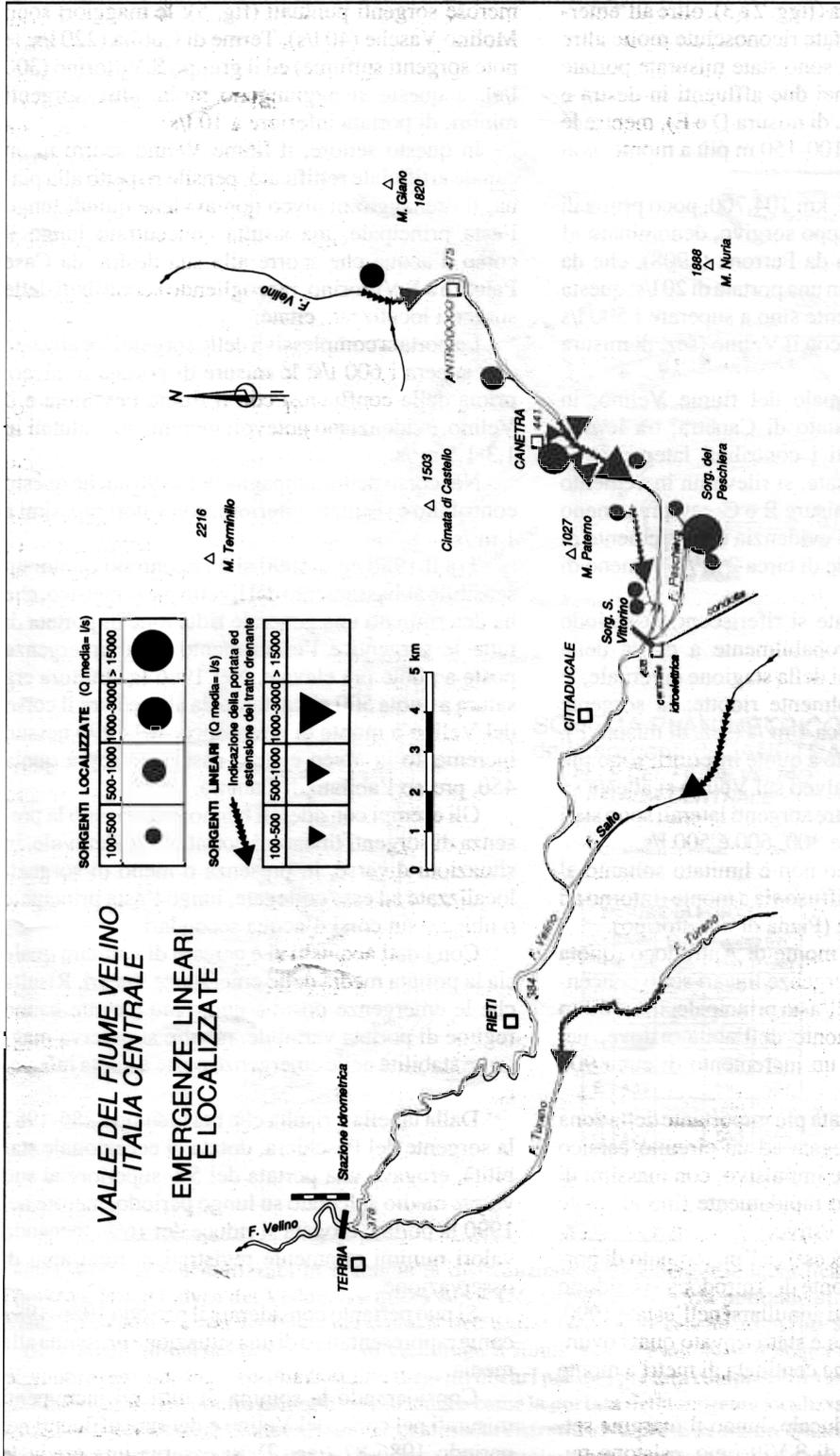


Figura 2. In questa rappresentazione schematica vengono indicate la posizione e le caratteristiche delle principali emergenze riconosciute nella valle del Velino a monte di Rieti, concentrate nel tratto compreso tra Antrodoco e Cittaducale e nel basso corso del Salto e del Turano. Presso Cittaducale viene inoltre indicata una centrale idroelettrica che utilizza le acque del Velino e degli invasi ubicati nell'alto corso del Salto e del Turano; occasionalmente la centrale pompa le acque del Velino per alimentare gli invasi. L'attività idroelettrica modifica sensibilmente il naturale regime di portata del fiume Velino, come risulta dalle registrazioni riportate in fig. 6, relative alla stazione idrometrica di Terria, posta pochi chilometri a valle di Rieti. Il totale della portata erogata in media dalle emergenze a monte di Cittaducale, sia lineari che localizzate, è di oltre 30 m<sup>3</sup>/s. I contributi provengono dalle sorgenti localizzate del Peschiera, di portata media pari a 18 m<sup>3</sup>/s, Canetra (2,9 m<sup>3</sup>/s), S. Vittorino (0,3 m<sup>3</sup>/s), ed altre minori. Un'aliquota cospicua è data da emergenze lineari, distribuite tra quota 500 e 400 circa, di portata media complessiva misurata in circa 8 m<sup>3</sup>/s.

Nella zona di Canetra (figg. 2 e 3), oltre all'emergenza omonima, sono state riconosciute molte altre sorgenti. In particolare, sono state misurate portate di circa 350 e 700 l/s nei due affluenti in destra e sinistra idrografica (sez. di misura D e E), mentre le singole sorgenti, poste 100-150 m più a monte, non superano i 10 l/s.

Lungo la s.s. Salaria, km 104,700, poco prima di Canetra, si trova un gruppo sorgivo, denominato «I Laghetti» già segnalato da Perrone (1908), che dà origine ad un ruscello con una portata di 20 l/s; questa aumenta progressivamente sino a superare i 500 l/s prima della confluenza con il Velino (sez. di misura G).

Lungo l'asta principale del fiume Velino, in corrispondenza dell'abitato di Canetra, tra le due sezioni A e B, sottratti i contributi laterali delle emergenze già considerate, si rileva un incremento di 1,6-1,8 m<sup>3</sup>/s. Tra le misure B e C, sempre a meno dei contributi laterali, si evidenzia un incremento di 200-400 l/s, per un totale di circa 2 m<sup>3</sup>/s, in meno di un chilometro.

Tutte le portate citate si riferiscono al periodo 1986-87; nel 1990, probabilmente a causa della scarsità di precipitazioni della stagione invernale, le portate si sono notevolmente ridotte: la sorgente Canetra passa da 2 a circa 1 m<sup>3</sup>/s (sez. di misura F). Le sorgenti lineari, poste a quote inferiori, sono più stabili: il contributo in alveo sul Velino si attesta su 1,3 m<sup>3</sup>/s, mentre sulle altre sorgenti laterali sono stati misurati rispettivamente 300, 600 e 500 l/s.

Il drenaggio in alveo non è limitato soltanto al settore di Canetra, ma diffuso sia a monte (intorno ad Antrodoco), che a valle (Piana di S. Vittorino).

Nel settore posto a monte di Antrodoco (quota 500 m slm circa) le emergenze lineari sono concentrate esclusivamente sull'asta principale, in un tratto di due chilometri a monte dell'abitato dove, nel 1986, è stato misurato un incremento di circa 900 l/s (fig. 4).

La sorgente localizzata più importante della zona (Acqua Cascinese) è legata ad un circuito carsico evoluto ed ha un regime impulsivo, con massimi di 600 l/s, che si riducono rapidamente fino al totale esaurimento in periodo estivo.

Nelle campagne successive l'incremento di portata lungo il Velino a monte di Antrodoco si è ridotto a 350 l/s nel 1987, sino ad annullarsi nell'estate 1990, quando il letto del fiume è stato trovato quasi ovunque asciutto sino a poche centinaia di metri a monte di Canetra.

Tra Vasche e Cittaducale, lungo il margine settentrionale della piana di S. Vittorino, esistono nu-

merose sorgenti puntuali (fig. 5): le maggiori sono Molino Vasche (40 l/s), Terme di Cotilia (220 l/s, le note sorgenti sulfuree) ed il gruppo S. Vittorino (300 l/s); a queste si aggiungono molte altre sorgenti minori, di portata inferiore a 10 l/s.

In questo settore, il fiume Velino scorre in un canale artificiale rettificato, pensile rispetto alla piana. Il drenaggio in alveo non avviene quindi lungo l'asta principale, ma risulta concentrato lungo il corso d'acqua che scorre alla sua destra, da Case Paterno a S. Vittorino, raccogliendo i contributi delle sorgenti localizzate citate.

La portata complessiva delle sorgenti localizzate non supera i 600 l/s; le misure di portata in alveo, prima della confluenza con il fiume Peschiera e il Velino, evidenziano notevoli incrementi, valutati in 1,3-1,5 m<sup>3</sup>/s.

Nel corso della campagna del 1990 anche questo contributo è risultato inferiore, con valori prossimi a 1 m<sup>3</sup>/s.

Tra il 1986 ed il 1990 si è riscontrato quindi un sensibile abbassamento del livello piezometrico, che ha determinato una generale riduzione di portata di tutte le sorgenti e l'esaurimento delle emergenze poste a quote più elevate. Nel 1986 la struttura era satura a quota 500 circa, tanto da alimentare il corso del Velino a monte di Antrodoco; nel 1990 nessun incremento in alveo è stato osservato sopra quota 450, presso l'abitato di Canetra.

Gli esempi considerati hanno evidenziato la presenza di sorgenti lineari di portata considerevole, in situazioni diverse, in presenza o meno di sorgenti localizzate ad esse collegate, lungo l'asta principale o ubicate sui corsi d'acqua secondari.

Con i dati acquisiti si è cercato di valutare quale sia la portata media delle emergenze lineari. Risulta che le emergenze poste a quote più elevate hanno regime di portata variabile, mentre si osserva maggiore stabilità nelle emergenze poste a quota inferiore.

Dalla tabella 1 risulta che nel biennio 1986-1987 la sorgente del Peschiera, dotata di eccezionale stabilità, erogava una portata del 5% superiore al suo valore medio calcolato su lungo periodo, mentre nel 1990 la portata erogata si riduce del 16%, toccando valori minimi raramente registrati in trent'anni di osservazione.

Si può pertanto considerare il periodo 1986-1987 come rappresentativo di una situazione prossima alla media.

Considerando la somma di tutti gli incrementi misurati nel corso del Velino e dei suoi affluenti nel periodo 1986-87 (tab. 2), si osserva una graduale

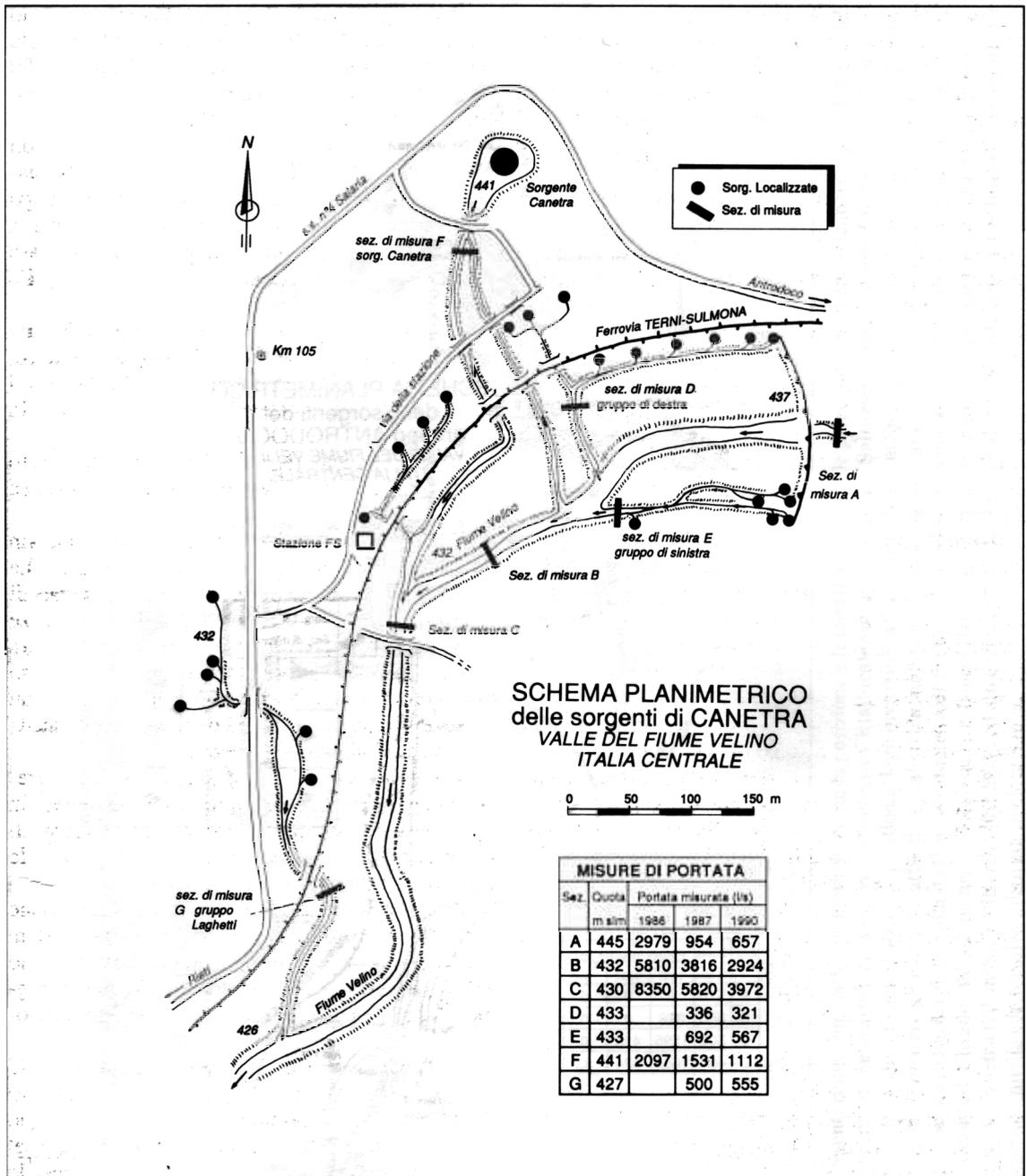


Figura 3. Viene schematizzata in dettaglio la distribuzione delle emergenze identificate presso la sorgente di Canetra e lungo l'alveo del Velino, tra quota 445 e 426. Oltre l'emergenza puntuale di Canetra (sez. F, portata media  $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , misurata nel 1986), nei dintorni dell'abitato sono state censite numerose altre sorgenti puntuali di portata media di norma inferiore ai  $10 \text{ l/s}$ . Lungo il fiume Velino e sui corsi d'acqua secondari si registra un rilevante drenaggio in alveo, che alimenta sorgenti lineari per una portata complessiva variabile tra  $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$  (1986) e  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$  (1990). Da questo esempio risulta chiaro come la portata della sorgente localizzata,  $2,1 \text{ m}^3/\text{s}$ , rappresenti soltanto  $1/3$  del totale delle emergenze misurate nella ristretta area presa in esame. Quando nei calcoli di bilancio viene considerata la portata delle sole emergenze localizzate, si può incorrere in considerevoli errori di valutazione.

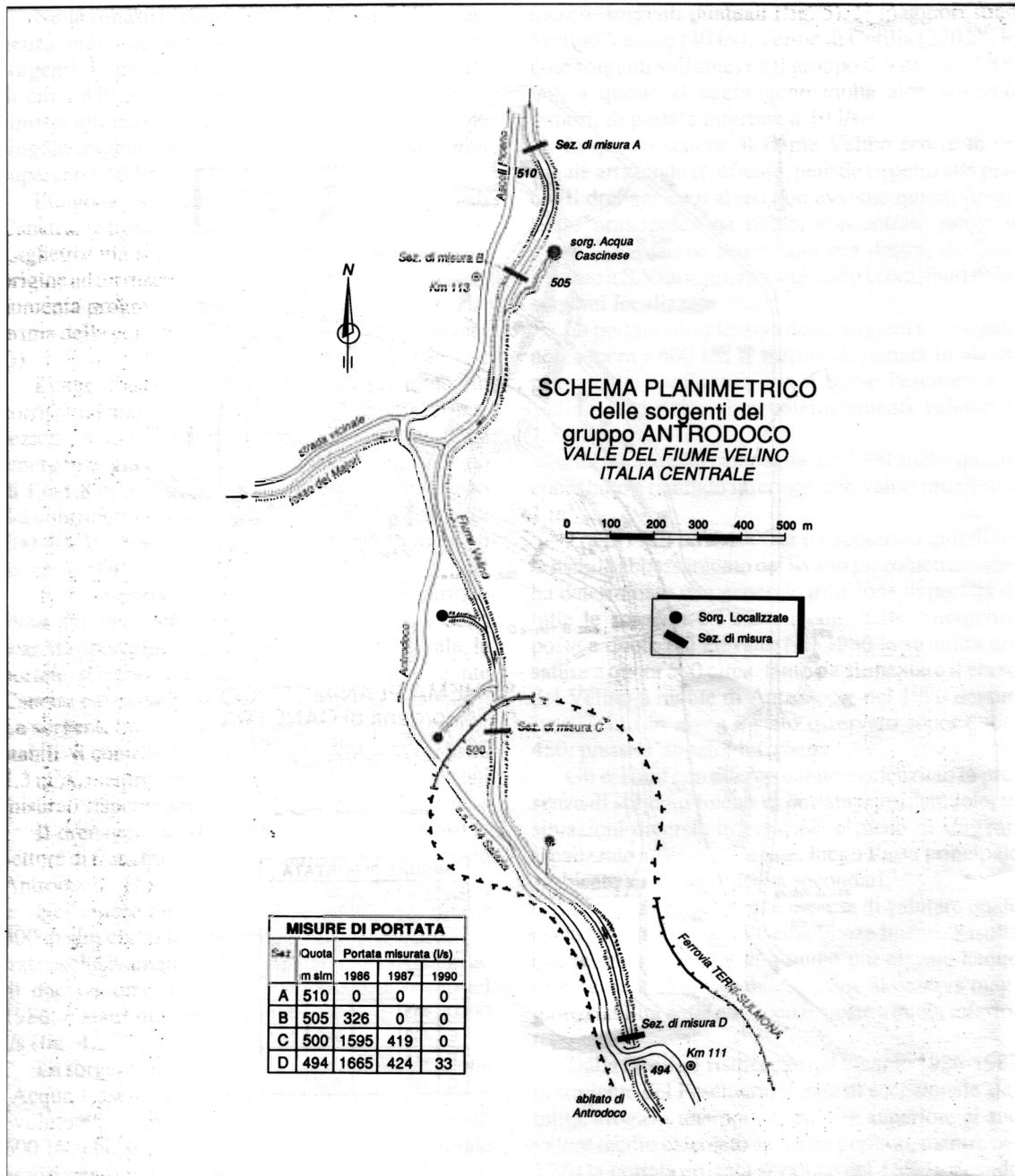


Figura 4. Nel tratto della valle del fiume Velino a monte di Antrodoco sono concentrate sorgenti puntuali e lineari che rappresentano il drenaggio posto a quote più elevate del Sistema Idrogeologico dei monti Giano-Nuria-Velino. Si riconosce un'emergenza localizzata (Acqua Cascinese), alimentata da un circuito carsico evoluto, che è risultata attiva soltanto nell'estate 1986 (portata 600 l/s). Il confronto tra le sezioni A, B, C e D nei tre anni di osservazione, mette in evidenza come sia variata nel tempo la portata della sorgente lineare posta tra quota 510 e 494. A fronte di un incremento di circa 1.000 l/s nel 1986, si passa a 424 l/s nel 1987 e a soli 33 l/s nel 1990. Questa sensibile variazione di portata è chiaramente dovuta ad un generale abbassamento del livello piezometrico dell'acquifero considerato.

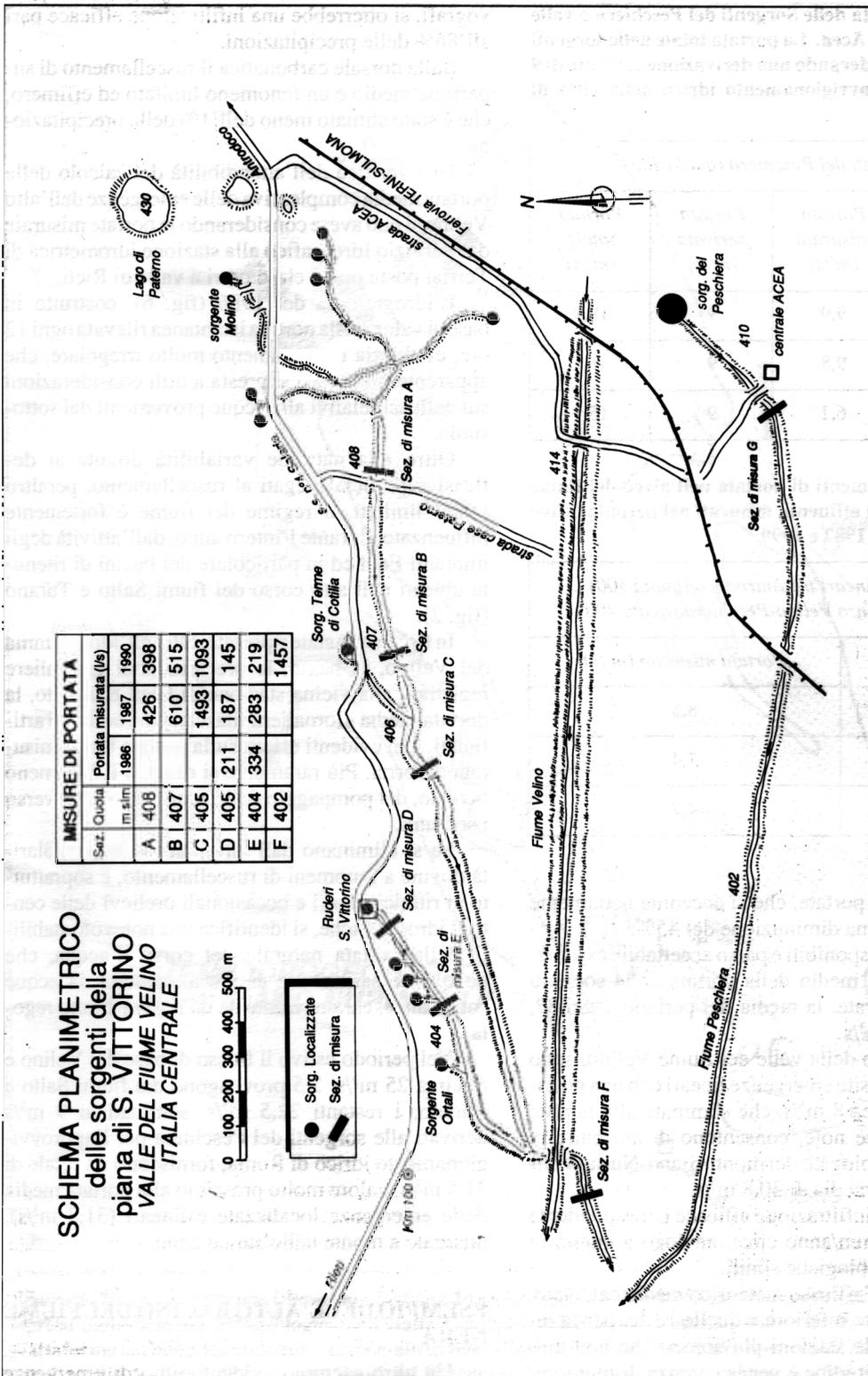


Figura 5. A valle della zona di Canetra, il fiume Velino scorre pensile in alveo rettificato artificialmente. Sul margine meridionale della piana, alle pendici del M. Nuria, sono situate le imponenti Sorgenti del Peschiera, di portata media pari a 18 m<sup>3</sup>/s. Alla sez. G è stata misurata l'aliquota della portata delle sorgenti non utilizzata per l'approvvigionamento idrico della città di Roma (tab. 1). Lungo i corsi d'acqua aventi origine al margine settentrionale della piana in corrispondenza di sorgenti puntuali di portata ridotta, si registrano incrementi in alveo per 1,3 m<sup>3</sup>/s nel 1987, che si riducono a circa 1 m<sup>3</sup>/s nell'estate 1990.

**Tabella 1. Portata delle Sorgenti del Peschiera a valle della captazione Acea. La portata totale delle sorgenti è calcolata considerando una derivazione costante di 9 m<sup>3</sup>/s per l'approvvigionamento idrico della città di Roma.**

<i>Sorgenti del Peschiera (quota 405)</i>			
<i>Periodo</i>	<i>Portata misurata (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Portata derivata (m<sup>3</sup>/s)</i>	<i>Portata totale (m<sup>3</sup>/s)</i>
1986	9,9	9	18,9
1987	9,8	9	18,8
1990	6,1	9	15,1

**Tabella 2. Incrementi di portata nell'alveo del fiume Velino e dei suoi affluenti, misurati nel periodo estivo degli anni 1986, 1987 e 1990.**

<i>Sorgenti lineari tra Antrodoco (quota 500) e la confluenza Velino-Peschiera (quota 400)</i>	
<i>Periodo</i>	<i>Portata misurata (m<sup>3</sup>/s)</i>
1986	8,5
1987	7,4
1990	4,7

riduzione delle portate, che si accentua nettamente nel 1990, con una diminuzione del 45%.

Con i dati disponibili è parso accettabile assumere come valore medio della portata delle sorgenti lineari considerate, la media del periodo 1986-87, pari a circa 8 m<sup>3</sup>/s.

Nello studio della valle del fiume Velino, sono state quindi censite emergenze lineari con una portata media di circa 8 m<sup>3</sup>/s, che sommate alle portate delle emergenze note, consentono di attribuire al Sistema Idrogeologico dei monti Giano-Nuria-Velino una portata media di 30,8 m<sup>3</sup>/s.

Il valore di infiltrazione efficace corrispondente risulta di 955 mm/anno circa, analogo a quello di strutture idrogeologiche simili.

Rispetto all'afflusso meteorico medio calcolato, presumibilmente inferiore a quello reale, per la distribuzione delle stazioni pluviometriche non uniforme con l'altitudine e per la carenza di pluviomi-

vografi, si otterrebbe una infiltrazione efficace pari all'86% delle precipitazioni.

Sulla dorsale carbonatica il ruscellamento di superficie medio è un fenomeno limitato ed effimero, che è stato stimato meno dell'1% della precipitazione.

Una verifica dell'attendibilità del calcolo della portata media complessiva delle emergenze dell'alto Velino si può avere considerando le portate misurate dal Servizio Idrografico alla stazione idrometrica di Terria, posta pochi chilometri a valle di Rieti.

L'idrogramma del 1986 (fig. 6), costruito in base ai valori della portata istantanea rilevata ogni 12 ore, evidenzia un andamento molto irregolare, che apparentemente non si presta a utili considerazioni sui deflussi relativi alle acque provenienti dal sottosuolo.

Oltre alla naturale variabilità dovuta ai deflussi superficiali legati al ruscellamento, peraltro molto limitati, il regime del fiume è fortemente influenzato, durante l'intero anno, dall'attività degli impianti Enel ed in particolare dei bacini di ritenuta ubicati nell'alto corso dei fiumi Salto e Turano (fig. 2).

In fig. 6 sono state riportate, oltre all'idrogramma del Velino, in basso, le precipitazioni giornaliere registrate alla vicina stazione di Rieti e, in alto, la portata media giornaliera rilasciata dai serbatoi artificiali, con evidenti effetti sulla portata totale misurata a Terria. Più raramente si osserva il fenomeno inverso, del pompaggio delle acque del fiume verso i serbatoi.

Se si eliminano dall'idrogramma le irregolarità dovute a fenomeni di ruscellamento, e soprattutto ai ritmici rilasci e occasionali prelievi delle centrali idroelettriche, si identifica una notevole stabilità della portata naturale del corso d'acqua, che deve necessariamente essere alimentata da acque sotterranee, caratterizzate da un regime molto regolare.

Nel periodo estivo il flusso di base del Velino è di circa 25 m<sup>3</sup>/s; 2,5 provengono dai fiumi Salto e Turano; i restanti 22,5 m<sup>3</sup>/s, sommati ai 9 m<sup>3</sup>/s derivati alle sorgenti del Peschiera per l'approvvigionamento idrico di Roma, forniscono un totale di 31,5 m<sup>3</sup>/s, valore molto prossimo alla portata media delle emergenze localizzate e lineari (31,3 m<sup>3</sup>/s), misurate a monte nello stesso anno.

## **ESEMPIO DELL'ALTO BACINO DEL FIUME NERA**

Un altro esempio evidentissimo di emergenze

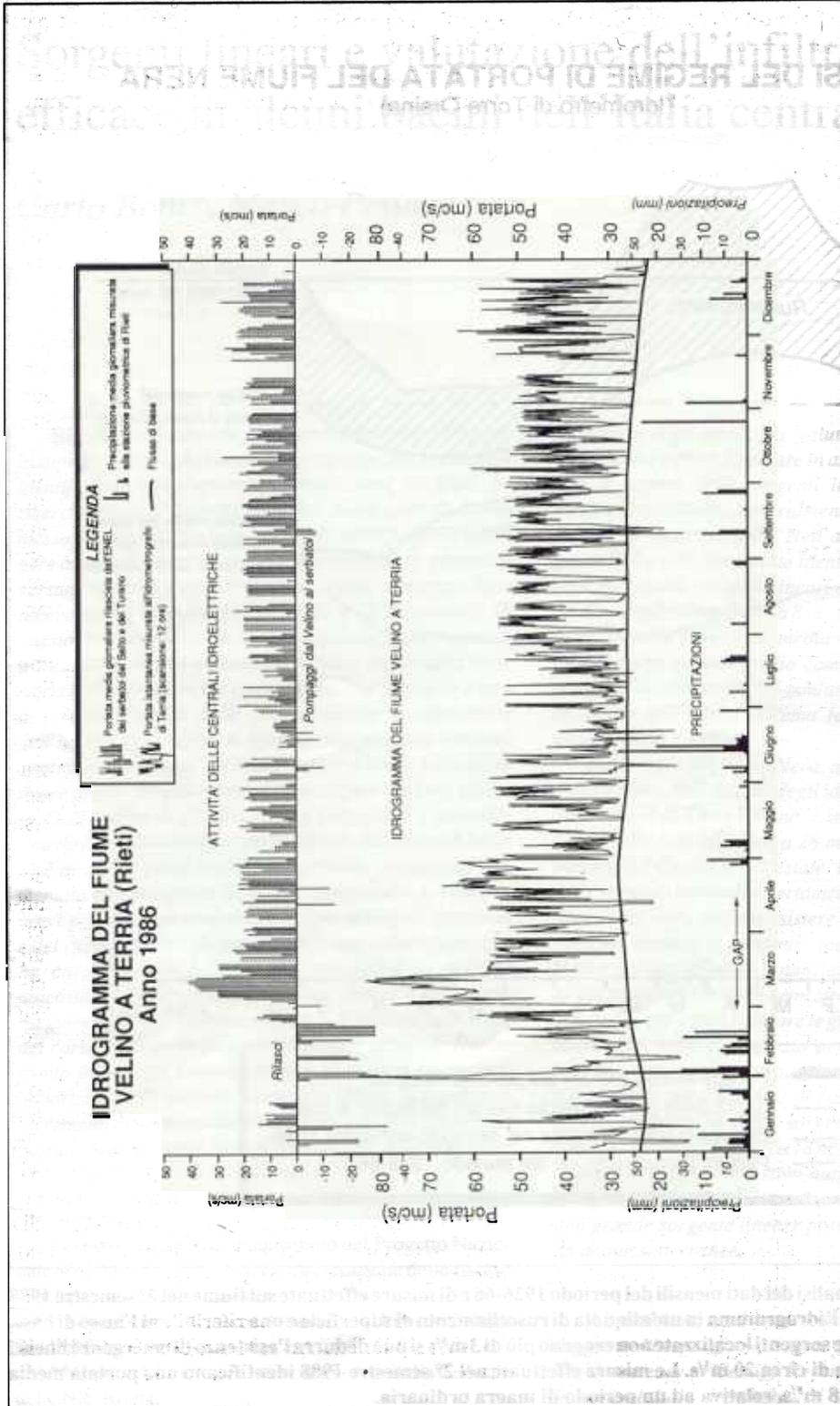
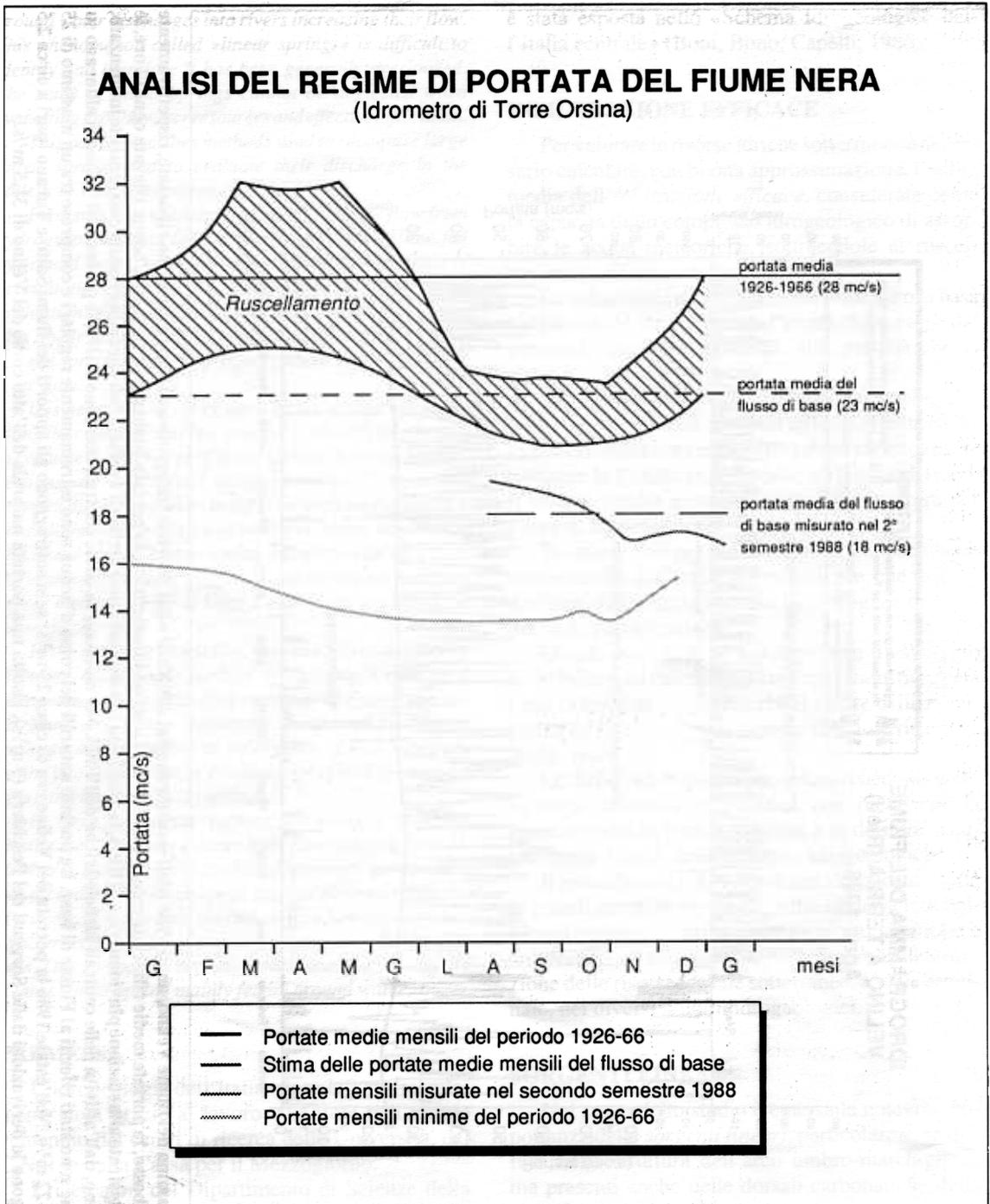


Figura 6. Idrogramma del fiume Velino, anno 1986 (dati inediti concessi dall'Enel e dal Servizio Idrografico di Stato). Vengono riportate, rispettivamente dall'alto verso il basso, le portate medie rilasciate o derivate dall'Enel a scopo idroelettrico, la portata istantanea del corso d'acqua rilevata ogni 12 ore, le precipitazioni registrate alla stazione pluviometrica di Rieti, la più vicina alla sezione idrometrica di Terra. L'idrogramma risulta chiaramente influenzato, lungo l'intero anno, dall'attività delle centrali idroelettriche dell'Enel. Nei momenti in cui le centrali non sono attive, le portate del Velino si allineano su valori minimi, che sono stati riferiti al Flusso di base. Le portate naturali del corso d'acqua sono estremamente regolari e comprese tra un massimo di 25 ed un minimo di 22 m<sup>3</sup>/s. Nell'estate 1986 la portata del Velino era di circa 25 m<sup>3</sup>/s; se si sottraggono gli apporti dei fiumi Salto e Turano (pari a circa 2,5 m<sup>3</sup>/s) e si aggiungono le derivazioni dalle Sorgenti del Peschiera (9 m<sup>3</sup>/s), risulta una portata naturale dell'alto corso del Velino di 31,5 m<sup>3</sup>/s.



**Figura 7.** In base all'analisi dei dati mensili del periodo 1926-66 e di misure effettuate sul fiume nel 2° semestre 1988 (fig. 8), si può dividere l'idrogramma in un'aliquota di ruscellamento di superficie e una riferibile al Flusso di base, pari a  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ ; poiché le sorgenti localizzate non erogano più di  $3 \text{ m}^3/\text{s}$  si può dedurre l'esistenza di emergenze lineari per una portata media di circa  $20 \text{ m}^3/\text{s}$ . Le misure effettuate nel 2° semestre 1988 identificano una portata media del Flusso di base di  $18 \text{ m}^3/\text{s}$ , relativa ad un periodo di magra ordinaria.

lineari si trova nell'alto bacino del fiume Nera, a monte dell'idrometro di Torre Orsina e della confluenza con il Velino.

Nella fig. 7 sono riportati alcuni valori delle portate del Nera misurate a Torre Orsina nel quarantennio 1926-66. La portata media del periodo è di 28 m<sup>3</sup>/s con massimi di 32 in primavera e minimi di 24 nella tarda estate; gli scarti positivi e negativi sono inferiori al 15% rispetto alla media. Le portate mensili minime del periodo considerato sono comprese tra 14 e 16 m<sup>3</sup>/s.

Questa marcata stabilità delle portate è un fenomeno eccezionale per un corso d'acqua che ha un bacino idrografico esteso circa 1.500 km<sup>2</sup>.

Le precipitazioni meteoriche sono di circa 1.100 mm/anno con estati aride, durante le quali la pioggia efficace è praticamente trascurabile ed il ruscellamento delle acque di pioggia sulla superficie del bacino si può considerare un fenomeno difficilmente valutabile, ma certamente limitato, mentre la portata del corso d'acqua si mantiene su valori molto elevati.

In prima approssimazione si può dividere l'idrogramma mensile in due parti (fig. 7): la parte superiore (tratteggiata), caratterizzata da maggiore variabilità, è stata riferita al ruscellamento di superficie, mentre quella inferiore, presumibilmente alimentata da acque sotterranee, che hanno un regime idrodinamico molto più stabile e regolare rispetto alle acque di superficie, è stata considerata come flusso di base.

Si è valutata una portata media del flusso di base di 23 m<sup>3</sup>/s, presumibilmente variabile tra un minimo di 21 in estate ed un massimo di 25 in inverno.

Il ruscellamento estivo medio di circa 2-3 m<sup>3</sup>/s è certamente valutato per eccesso<sup>(1)</sup>.

Le sorgenti localizzate della Valnerina forniscono complessivamente una portata inferiore a 3 m<sup>3</sup>/s. Dall'esame degli idrogrammi si può dedurre che nell'alto bacino del Nera deve esistere un esteso reticolo di sorgenti lineari che alimenta il corso d'acqua con una portata media di circa 20 m<sup>3</sup>/s (Boni, Bono e Capelli, 1986).

Per verificare direttamente e per meglio definire

questa situazione è utile considerare i dati di una campagna di misure di portata eseguita per conto della Regione Umbria, riportati nelle figg. 7 e 8.

Nel secondo semestre 1988 la portata è stata misurata una volta al mese su 18 sezioni di misura opportunamente scelte. Durante questo periodo le condizioni climatiche sono state eccezionalmente favorevoli per la quasi totale assenza di precipitazioni.

Nella fig. 8 sono riassunti i risultati della campagna.

Per ciascuna sezione viene indicata la quota e la portata media misurata nel periodo. I triangoli indicano l'entità dell'incremento di portata medio tra due sezioni successive. In fig. 8 sono inoltre indicate sia le derivazioni che le restituzioni in alveo operate dall'Enel.

La portata aumenta costantemente sia lungo l'asta principale che lungo il corso dei principali affluenti. L'incremento complessivo è di circa 18 m<sup>3</sup>/s su 600 m di dislivello con un valore medio di 3 m<sup>3</sup>/s per 100 m.

Le misure sono possibili ed attendibili perché l'ENEL deriva la quasi totalità dell'acqua disponibile; a quota 350 restano in alveo circa 1,5 m<sup>3</sup>/s a fronte di 12,5 derivati. Poco a valle di Torre Orsina la portata di 5,5 m<sup>3</sup>/s viene quasi totalmente derivata.

L'area di ricarica di questo imponente reticolo di sorgenti lineari non è stata ancora definita con precisione, ma si può indicativamente stimare in circa 1.400 km<sup>2</sup>.

I dati medi di portata del flusso di base (23 m<sup>3</sup>/s), rapportati alla superficie dell'area di ricarica forniscono un valore di infiltrazione efficace di circa 500 mm/anno. Gli stessi dati del secondo semestre 1988, nettamente inferiori alla media (fig. 7) darebbero un valore di soli 400 mm/anno.

Si può concludere che, in molti casi, la misura della portata delle sorgenti lineari, generalmente difficile e laboriosa, è assolutamente indispensabile per valutare le risorse idriche sotterranee e per determinare l'entità dell'infiltrazione efficace in modo diretto, basandosi esclusivamente sulla misura di portata delle emergenze e sull'analisi dell'idrogeologia strutturale.

Dati utili sull'entità del flusso di base si possono ricavare non solo da misure di grande dettaglio direttamente eseguite, ma anche da un'accorta valutazione degli idrogrammi disponibili.

Nel caso del fiume Nera, l'analisi degli idrogrammi consente di valutare approssimativamente l'entità degli apporti sotterranei e di programmare ricerche di maggior dettaglio.

<sup>(1)</sup> Dopo la presentazione di questa nota è stato pubblicato un lavoro di Cencetti, Dragoni e Nejad Massoum (1989), nel quale viene confermata l'eccezionale costanza delle portate, per un deflusso di base intorno al 94% dei deflussi totali ed un conseguente ruscellamento molto ridotto, in particolare nel periodo estivo.

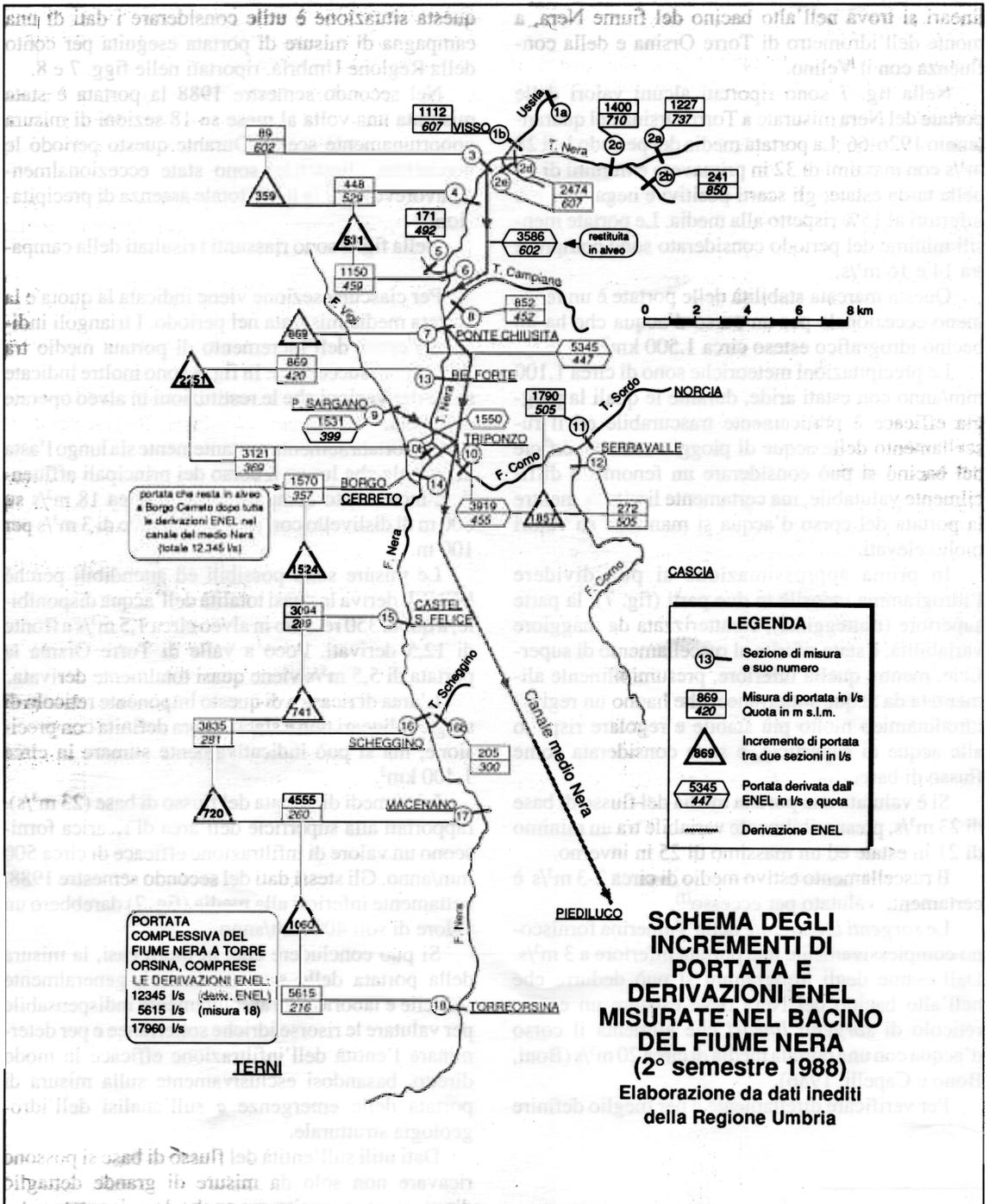


Figura 8. La valutazione della portata delle emergenze lineari del fiume Nera è stata effettuata tramite l'esecuzione di misure di portata in 18 sezioni, ripetute mensilmente per un semestre. Valutando anche i prelievi e le restituzioni ENEL è stato possibile definire l'entità degli incrementi nei singoli tratti. La portata media misurata di circa 18 m<sup>3</sup>/s, relativa ad un periodo di magra ordinaria. Da questi dati risulta evidente che il fiume Nera e i suoi affluenti, nel loro insieme, costituiscono una grande sorgente lineare.

**BIBLIOGRAFIA**

- Arnone G., Faillace C. (1975): *Bibliografia idrogeologica italiana (1930-1973). Acque sotterranee*, Boll. Serv. Geol. d'It., 95.
- Bally A.W., Burbi L., Cooper C., Ghelardoni R. (1986): *Balanced sections and seismic reflection profiles across the Central Apennines*, Mem. Soc. Geol. It., 35.
- Boni C., Bono P. (1982): *Prima valutazione quantitativa dell'infiltrazione efficace sui sistemi carsici della piattaforma carbonatica laziale-abruzzese e nei sistemi di facies pelagica umbro-marchigiano-sabina (Italia centrale)*, Geologia applicata e Idrogeologia, 17.
- Boni C., Bono P., Capelli G. (1986): *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*, Mem. Soc. Geol. It., 35.
- Boni C., Bono P., Capelli G. (1988): *Carta idrogeologica del territorio della regione Lazio*, Regione Lazio, Università degli studi «La Sapienza».
- Boni C., Bono P., Capelli G., Lombardi S., Zuppi G.M. (1986): *Contributo all'idrogeologia dell'Italia centrale: analisi critica dei metodi di ricerca*, Mem. Soc. Geol. It., 35.
- Cantelli C., Castellarin A., Praturlon A. (1978): *Tettonismo giurassico lungo l'«Ancona-Anzio» nel settore M. Terminillo-Antrodoco*, Geologica Romana, 17.
- Castellarin A., Colacicchi R., Praturlon A. (1978): *Fasi distensive, trascorrenze e sovrascorrimenti lungo la «Ancona-Anzio» dal Lias al Pliocene*, Geologica Romana, 17.
- Cencetti C., Dragoni W., Nejad Massoum M. (1989): *Contributo alle conoscenze delle caratteristiche idrogeologiche del fiume nera (Appennino centro-settentrionale)*, Geologia Applicata e Idrogeologia, 24.
- C.N.R. Vari Autori (1986): *Lithofacies map of Latium-Abruzzi and neighbouring areas*, P.F. Geodinamica, sottoprogetto 4 - Quaderni della Ricerca Scientifica, 114, Roma.
- C.N.R. Vari Autori (1992): *Structural Model of Italy, sheet 3 e 4*, P.F. Geodinamica, sottoprogetto «Modello Strutturale Tridimensionale», Firenze.
- Giuliano G., Sciotti M. (1981): *Schema idrogeologico del bacino del Tevere*, CNR, Ist. di Ricerca sulle acque, 48.
- Manfredini M. (1972): *Studio idrogeologico della piana di Rieti*, CNR, Ist. di Ricerca sulle acque, 6.
- Ministero dei Lavori Pubblici (1921-84): *Annali Idrologici (parte prima e parte seconda)*, Pubbl. Serv. Idrografico, Sez. di Roma.
- Ministero dei Lavori Pubblici (1985-90): *Dati e misure inediti (resi disponibili per la consultazione ai fini di studio)*, Servizio idrografico, sezione di Roma.
- Perrone E. (1908): *Tevere*, Min. Agr. Ind. Comm., Mem. Illustrative della Carta Idrografica d'Italia, 26 bis.
- Regione Umbria (1989-90): *Piano ottimale di utilizzazione delle risorse idriche della Regione. Studio dei massicci carbonatici*, Lavoro inedito, Perugia.
- Servizio Geologico d'Italia (1934-71): *Carta Geologica d'Italia, scala 1/100.000. Fogli: 131, 132, 138, 139.*
- Servizio Geologico d'Italia (1980): *Carta Geologica dell'Umbria, scala 1/250.000.*