

RIASSUNTO

Le acque continentali che si versano nel mare del Lazio esercitano una notevole influenza sulle condizioni del litorale perché trasportano sia sedimenti utili alla rialimentazione delle spiagge, sia le sostanze inquinanti prodotte dalla attività antropica. La capacità di trasporto di un fiume dipende dalla sua portata, che può variare considerevolmente nel corso dell'anno in funzione delle caratteristiche idrogeologiche del bacino e delle variazioni climatiche stagionali.

Par. 5.1

In questo paragrafo, viene messo in particolare evidenza che la portata complessiva di un fiume è dovuta a due componenti, il ruscellamento e il flusso di base, che hanno diversa origine e svolgono ruoli differenti, nel complesso sistema che presiede al trasporto a mare di sostanze liquide e solide.

Il ruscellamento si sviluppa esclusivamente in superficie, a seguito di precipitazioni intense e prolungate, ed è responsabile del processo di erosione e trasporto dei sedimenti e del dilavamento delle sostanze sparse sulla superficie del bacino: è un fenomeno discontinuo, estremamente variabile, come il regime delle precipitazioni dalle quali dipende, che si esaurisce in pochi giorni dopo la fine delle piogge.

Il flusso di base è la componente della portata alimentata da acque sotterranee che vengono a giorno attraverso le sorgenti: non interessa in alcun modo la superficie dei bacini ma si sviluppa esclusivamente negli alvei del reticolo fluviale perenne. Il flusso di base, alimentato da acque sotterranee, ha un regime molto regolare in quasi tutti i fiumi del Lazio e assicura la stabilità delle portate e la depurazione dell'ambiente, soprattutto nei mesi estivi, quando il ruscellamento si riduce a valori minimi.

Questo paragrafo descrive i processi che danno origine alle abbondantissime acque continentali del Lazio e mette in evidenza l'entità delle due componenti del flusso sopra considerate e il ruolo che ciascuna gioca nella modulazione delle portate durante il corso dell'anno.

Dopo aver brevemente illustrato il metodo utilizzato per la scomposizione dell'idrogramma nelle sue due principali componenti, viene data una sintetica descrizione della situazione geologica e idrogeologica dell'Italia centrale, dove si estendono i bacini idrografici dei fiumi che sfociano nel mare del Lazio. Lo schema idrogeologico (allegato) fornisce una sintesi dei caratteri idrogeologici ed idrologici del territorio. Vengono quindi esaminati singolarmente i bacini del Tevere, del Liri-Garigliano, del Volturno e dei corsi d'acqua minori. Di ciascun bacino vengono illustrati i processi idrogeologici che si sviluppano nei diversi settori, in periodo estivo ed invernale. Di ciascun fiume vengono indicati i valori di portata media nei diversi mesi dell'anno e la loro scomposizione in ruscellamento e flusso di base. Infine alcuni grafici sintetizzano e mettono a confronto le caratteristiche idrologiche dei principali corsi d'acqua.

Par. 5.2

Il complesso problema della valutazione del trasporto solido è stato affrontato prendendo in considerazione gli scarsi dati bibliografici, che si riferiscono prevalentemente al bacino del Tevere, e quelli di un'apposita campagna di misure particolarmente concentrata sui bacini minori.

Dai dati di bibliografia opportunamente elaborati risulta evidente una netta diminuzione del trasporto solido a seguito della costruzione degli impianti idroelettrici più recenti lungo l'asta principale del Tevere. Contribuiscono attivamente al trasporto solido attualmente circa 8500 km² di superficie del bacino con un valore medio di circa 250 t/km² all'anno, valore confrontabile con quello riferito all'intero bacino prima della costruzione degli impianti.

La campagna di misura appositamente condotta nel 1990-91 sui corsi d'acqua minori ha fornito dati poco significativi perché effettuata in un periodo di marcata aridità. Tuttavia l'elaborazione dei dati sperimentali acquisiti porta ad una stima del valor medio del trasporto solido, riferito ai corsi d'acqua minori del Lazio, di circa 563000 m³ all'anno, pari a 2 m³ per metro lineare di costa.

5.1 Idrogeologia

C. Boni, M. Petitta, E. Preziosi, M. Sereni

5. Introduzione

Il litorale laziale è minacciato da almeno due gravi inconvenienti: i processi erosivi, che riducono l'estensione degli arenili; l'inquinamento delle acque marine, soprattutto nella fascia più prossima alla linea di riva.

Processi erosivi ed inquinamento sono dovuti a diversi fattori concorrenti, fra i quali gioca un ruolo importante l'apporto delle acque continentali, che sono il veicolo di trasporto a mare delle sostanze inquinanti e dei sedimenti utili al ripascimento delle spiagge.

L'entità degli apporti di acqua continentale, la provenienza dell'acqua che scorre nei fiumi e la natura delle sostanze trasportate variano notevolmente nel corso dell'anno, in relazione alle condizioni idrogeologiche del bacino e alle variazioni climatiche stagionali. Nei mesi più piovosi si sviluppa prevalentemente il processo di "ruscellamento", che interessa esclusivamente la superficie dei bacini, mentre nei mesi più aridi, quando si riduce nettamente o si esaurisce il processo di ruscellamento, la portata dei corsi d'acqua è quasi esclusivamente alimentata dal "flusso di base", sostenuto dalle sorgenti, che versano le loro acque direttamente negli alvei.

Questa ricerca intende valutare non solo l'entità complessiva delle portate medie che in ogni mese dell'anno si versano a mare, nei diversi punti della costa laziale, ma soprattutto quale parte della portata ha origine da processi che si sviluppano sulla superficie dei bacini e quale proviene invece dal sottosuolo.

Questa differenza fra acque di ruscellamento e acque sotterranee è essenziale per comprendere la natura delle sostanze trasportate nelle diverse stagioni.

Il fenomeno di erosione dei versanti e di trasporto dei sedimenti si può sviluppare solo a causa di un esteso processo di ruscellamento che ha origine a seguito di precipitazioni intense e prolungate nei mesi più piovosi. In queste situazioni, oltre ai prodotti dell'erosione, dai versanti vengono trasportate nei fiumi anche le sostanze usate in agricoltura (fertilizzanti, antiparassitari, ecc.) e qualunque altro prodotto viene sparso sulla superficie dei bacini, compresi i rifiuti solidi accumulati in siti non idonei e mobilizzati dal ruscellamento.

Nei mesi più aridi, quando il processo di ruscellamento tende ad esaurirsi o assume carattere effimero, il fiume perde la sua capacità di trasportare a mare sia i prodotti dell'erosione che i prodotti di dilavamento. Quando la portata del fiume è alimentata dalle sole acque di sorgente, resta attiva la capacità di diluizione e trasporto delle sostanze contenute negli scarichi liquidi (fognature, scarichi industriali o zootecnici, ecc.) che vengono immessi direttamente nei corsi d'acqua a regime perenne, non sempre previo adeguato trattamento di depurazione.

La concentrazione di una determinata sostanza nelle acque di un fiume deve essere valutata nel momento in cui esistono le condizioni al contorno che ne consentano la mobilità e quindi con dei prelievi mirati eseguiti nel momento più opportuno. Controlli casuali che non tengano conto delle modalità di trasporto sopra accennate, assumono scarso significato.

Allo stesso modo si può dire che la concentrazione delle sostanze trasportate nelle acque fluviali, che viene generalmente considerata come indice

dello stato di inquinamento, non è solo funzione della quantità di sostanza immessa, ma anche della capacità di diluizione e quindi della portata istantanea del fiume, che varia sensibilmente anche nell'arco di una sola giornata. Per conoscere il reale carico inquinante trasportato è indispensabile valutare contemporaneamente la concentrazione e la portata istantanea; se la portata non è nota il significato delle analisi viene in gran parte compromesso.

Nel Paragrafo 5.1.2 viene descritto il metodo adottato per la scomposizione degli idrogrammi in flusso di base, alimentato da acque sotterranee, e ruscellamento, alimentato dallo scorrimento di superficie. Nell'area considerata sono disponibili 39 stazioni di misura della portata, 19 nel bacino del Tevere, 14 nel bacino del Liri-Garigliano, 5 su corsi d'acqua minori. Si è inoltre presa in considerazione la stazione terminale del Volturno, che sfocia in territorio campano presso il confine col Lazio.

La maggioranza delle stazioni, gestite dal Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici (oggi alle dipendenze della Presidenza del Consiglio dei Ministri) hanno funzionato in modo molto discontinuo. La situazione odierna è decisamente carente, soprattutto nel bacino del Liri-Garigliano, dove dal 1942 non funziona più alcuna stazione a valle della confluenza del Gari col Liri.

Vengono quindi richiamate le linee essenziali della geologia ed idrogeologia dei bacini che hanno foce lungo il litorale laziale (par. 5.1.3).

I risultati della scomposizione degli idrogrammi sono stati elaborati in tabelle, grafici e carte dove viene messo in evidenza il contributo dato al ruscellamento e al flusso di base, da diversi bacini, o diversi settori del territorio, in periodo invernale ed estivo (paragrafi 5.1.4, Tevere; 5.1.5, Liri-Garigliano e Volturno; 5.1.6, bacini minori).

Nel paragrafo 5.1.7 vengono considerati alcuni aspetti del trasporto torbido nel bacino del Tevere ed in particolare i rapporti tra portata liquida e portata solida.

Sono stati infine preparati degli schemi di sintesi dove vengono riassunti i risultati della ricerca. In particolare vengono rappresentati gli apporti di ciascun corso d'acqua al litorale laziale, suddivisi in flusso di base e ruscellamento medio. Gli stessi valori vengono rappresentati a mezzo di istogrammi mensili, in valori assoluti e percentuali.

5. 2 Metodologia

Questa ricerca ha lo scopo di analizzare e mettere a confronto le caratteristiche idrogeologiche del territorio con il regime di portata dei corsi d'acqua. I metodi della ricerca idrogeologica sono ormai noti e ampiamente sperimentati nella regione considerata. Meno nota è la metodologia adottata per la scomposizione degli idrogrammi, che ha lo scopo di definire la provenienza delle acque che sostengono la portata di un fiume. Sarà pertanto questo il tema dominante di questo paragrafo.

In questo lavoro vengono esposti i risultati dell'analisi dei dati di portata registrati alle stazioni idrometriche di tutti i corsi d'acqua con foce al litorale laziale. Il periodo di funzionamento è molto variabile da stazione a stazione (Tab. 1, 4 e 8). Tutti i dati utilizzati provengono dagli Annali Idrologici del Servizio Idrografico, Ministero dei Lavori Pubblici (sezioni di Roma e Napoli), escluso i dati delle sorgenti del Peschiera, rilevati dall'Acea di Roma.

5.1.2. Scomposizione degli idrogrammi

Quest'analisi ha lo scopo di scomporre la portata di un corso d'acqua in due componenti: il flusso di base alimentato dalle acque sotterranee, e il ru-

scellamento alimentato dal processo di scorrimento delle acque meteoriche sulla superficie dei bacini.

Il flusso di base corrisponde alla somma delle portate di tutte le sorgenti puntuali e lineari presenti nel bacino a monte della sezione considerata; questa componente ha regime di flusso relativamente regolare nel corso dell'anno e sostiene quasi interamente la portata nei mesi estivi.

Il ruscellamento è alimentato da quella porzione della pioggia efficace che scorre sui versanti fino al corso d'acqua; questa componente ha un regime molto irregolare ed impulsivo, legato alle precipitazioni, ed è il principale agente dell'erosione superficiale e del trasporto dei suoi prodotti.

5.2.2 Metodo delle portate mensili caratteristiche

Sono stati considerati i dati relativi a 39 stazioni di misura, di cui 19 nel bacino del Tevere, 14 in quello del Garigliano e 5 ubicate su corsi d'acqua minori del Lazio. Sono stati inoltre analizzati i dati della stazione terminale del Volturno, che sfocia in territorio campano, in prossimità del confine col Lazio. I dati di portata di queste stazioni sono stati analizzati col "metodo delle portate mensili caratteristiche" (BONI *et al.*, 1993), che permette la scomposizione della portata mensile in ruscellamento e flusso di base. Resta un margine di incertezza ("campo indeterminato") di entità variabile da stazione a stazione e da una stagione all'altra. Il metodo, descritto esaurientemente nel lavoro citato, viene qui di seguito brevemente illustrato (Fig. 1, 2, 3 e 4).

Il metodo delle portate mensili caratteristiche si fonda sul presupposto elementare che l'intera portata del corso d'acqua è alimentata da acque sotterranee quando si esaurisce il ruscellamento di superficie. I valori di portata registrati nel momento in cui cessa il ruscellamento, sono quindi rappresentativi del flusso di base.

Il processo di ruscellamento, che si sviluppa in corrispondenza degli eventi piovosi, al termine della pioggia prosegue per un tempo, detto tempo di corrivazione. Ogni sezione è caratterizzata dal proprio tempo di corrivazione, che corrisponde al "tempo che le acque di afflusso meteorico impiegano per raggiungere la sezione considerata partendo dai punti più lontani del bacino" (CIABATTI, 1982); questo parametro, influenzato da molti fattori, può variare per i bacini che sfociano nel Tirreno da qualche giorno a poche settimane. Utilizzando le varie formule empiriche note in letteratura (GIANDOTTI, 1937 e PASINI, 1910) si ottengono, per il bacino del Tevere a Roma, valori del tempo di corrivazione variabili da pochi giorni a circa due settimane. Le sezioni ubicate a monte hanno ovviamente tempi di corrivazione inferiori.

Quando sul bacino in esame non piove per un periodo superiore al tempo di corrivazione, il ruscellamento si esaurisce e tutta l'acqua che attraversa la sezione considerata dovrebbe provenire dal sottosuolo o da bacini lacustri, naturali o artificiali, in grado di modulare il deflusso. Durante la stagione invernale e primaverile la portata dei corsi d'acqua può essere alimentata anche dallo scioglimento di precipitazioni nevose cadute in precedenza. Nel clima dell'Italia centrale periodi aridi di oltre due settimane, comuni durante la stagione estiva, ricorrono frequentemente durante tutto l'anno. È quindi possibile, teoricamente, determinare il flusso di base in ogni mese, selezionando i valori di portata registrati al termine di un periodo di aridità sufficientemente prolungato.

Sulla base dei principi teorici descritti, si è tentato di scorporare il ruscellamento dal flusso di base, utilizzando dati mensili e giornalieri opportunamente selezionati.

Questa valutazione è affetta da un errore difficilmente determinabile, ma certamente non inferiore a quello che si commette nella misura delle portate,

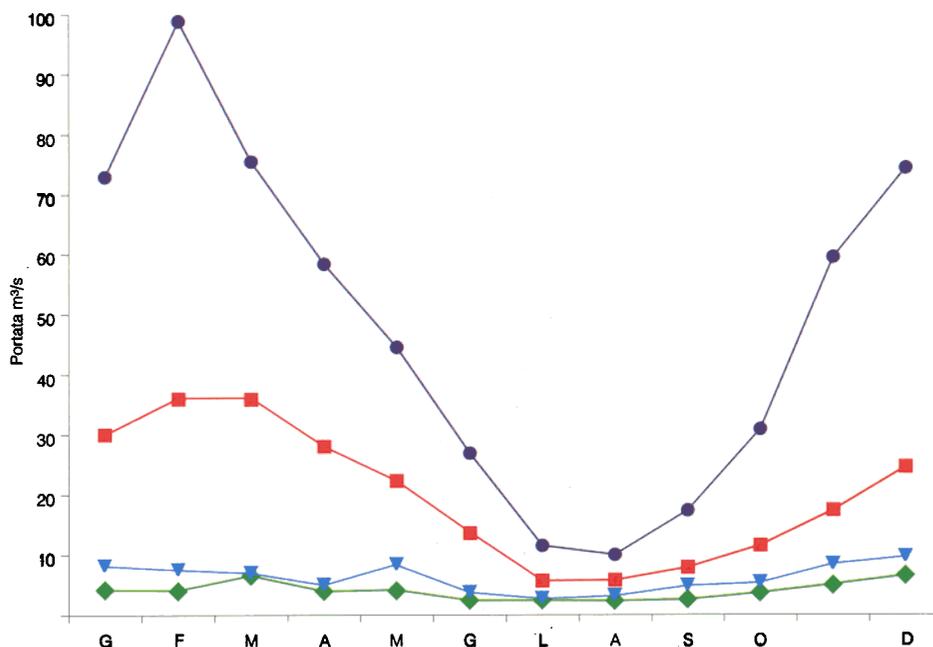
valutato almeno il 5% nei casi più favorevoli (CASTANY *et al.*, 1970). Inoltre, all'epoca delle osservazioni, il regime di deflusso nei bacini del Tevere, del Liri-Garigliano e del Volturno era già influenzato dalla presenza di bacini di ritenuta. I valori minimi di portata registrati alle sezioni di misura, che in questo lavoro assumono un significato particolare, possono essere stati notevolmente alterati dai prelievi e rilasci effettuati a monte dai suddetti impianti. È stato quindi necessario operare un filtraggio dei dati idrologici per eliminare i valori delle portate minime giornaliere che scartano bruscamente rispetto a quelli dei giorni precedenti, presumibilmente a causa di un forte prelievo oppure di un errore strumentale. I valori scartati non superano mai il 2% dei dati esaminati.

Il metodo delle portate mensili caratteristiche consiste nel selezionare e mettere a confronto, per ogni mese, quattro valori di portata, ricavati dagli Annali Idrologici. Un esempio dell'elaborazione dei dati idrologici, eseguita per tutte le stazioni idrometriche, è riportato nelle Figure 1 e 2, dove sono rappresentati i dati mensili elaborati rispettivamente per il Tevere a Ponte Nuovo e per il fiume Nera a Torre Orsina. Queste stazioni sono state scelte come esempio dell'elaborazione perché rappresentative di casi estremi: un regime molto impulsivo (Tevere a Ponte Nuovo) ed un regime estremamente regolare (Nera a Torre Orsina).

Figura 1
 Diagramma dei dati mensili
 relativi alla sezione del fiume
 Tevere a Ponte Nuovo.
 Dati del periodo 1940-42,
 1946 e 1970-80.

Del periodo considerato,
 per ogni mese,
 vengono indicate:

- media delle portate mensili A ●
- media delle portate giornaliere minime B ■
- minima delle portate mensili C ▼
- minima delle portate giornaliere D ◆



Le quattro linee raffigurate delimitano dei campi ai quali si attribuisce un differente significato idrogeologico. Due di queste linee (A e B) sono state ottenute da valori mediati su tutto il periodo di osservazione. Le altre (C e D) sono costituite da valori singoli selezionati sullo stesso periodo come valori minimi.

La linea A ("media delle portate mensili") rappresenta il valore medio del deflusso complessivo, pari alla somma di flusso di base e ruscellamento. Nel corso dell'anno, le portate oscillano notevolmente tra valori massimi, corrispondenti alle stagioni più piovose e valori minimi, caratteristici dei mesi più asciutti. La variabilità è molto forte per il Tevere a Ponte Nuovo, mentre è minima per il Nera.

Con la lettera B viene indicata la linea della "media delle portate giornaliere minime", corrispondente alla media aritmetica delle portate giornaliere più basse registrate ogni mese. Nella stagione estiva quando le precipitazioni significative

sono scarse e distanziate nel tempo, il valore più basso della portata giornaliera, registrato nell'arco di un mese, è certamente espressione del momento in cui la portata del corso d'acqua è meno influenzata dal ruscellamento ed è quindi rappresentativa del flusso di base. Nei mesi più piovosi, l'intervallo tra due precipitazioni significative è sovente inferiore al tempo di corrivazione; ne consegue che il valore di portata giornaliera più basso registrato in un mese può essere sensibilmente influenzato dal ruscellamento. La portata giornaliera minima di alcuni corsi d'acqua inoltre può aumentare, nei mesi primaverili, a causa dello scioglimento delle nevi. La linea B rappresenta quindi, con una buona approssimazione, il flusso di base medio nei mesi estivi, mentre nei mesi umidi comprende, generalmente, una frazione imprecisata di ruscellamento. Il campo compreso tra le linee A e B corrisponde di conseguenza al valore medio dell'aliquota di portata certamente attribuibile al ruscellamento ("ruscellamento calcolato"). Questo valore generalmente corrisponde al ruscellamento reale nei periodi aridi e ne fornisce una valutazione per difetto nei periodi piovosi.

La linea C rappresenta la "minima delle portate mensili", ovvero i valori più bassi delle portate mensili, su tutto il periodo d'osservazione. Per ogni mese questo valore estremo viene considerato rappresentativo del periodo più lungo durante il quale il corso d'acqua non è stato alimentato o ha comunque ricevuto dal ruscellamento il minimo contributo. Si assume infatti che, su un periodo di osservazione superiore a 10-15 anni, in tutte le stazioni si siano sempre verificati casi di aridità superiori a 30-45 giorni, pari ai giorni del mese considerato più il tempo di corrivazione teorico. La linea C sottende quindi il campo ragionevolmente attribuibile per intero al flusso di base ("flusso di base calcolato").

Le linee B e C delimitano un campo ("campo indeterminato"), che rappresenta l'aliquota di portata che non può essere attribuita con certezza né al ruscellamento né al flusso di base. Le conoscenze sull'idrogeologia dell'Italia centrale permettono peraltro di fare alcune considerazioni di carattere generale. In estate, quando le precipitazioni significative sono più scarse e il ruscellamento è ridotto o assente, la portata del campo indeterminato è in buona parte ascrivibile al flusso di base. Inoltre, per i corsi d'acqua con regime di flusso molto regolare (Fig.2), buona parte del campo indeterminato è ascrivibile al flusso di base durante tutto l'anno.

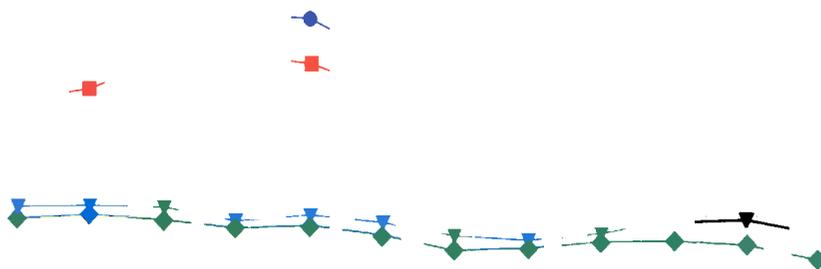


Figura 2

Diagramma dei dati mensili relativi alla sezione del fiume Nera a Torre Orsina.

Dati del periodo 1940-43, 1949-62, 1964-68 e 1970-74.

Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate:

- A media delle portate mensili;
- B media delle portate giornaliere minime;
- ▼ C minima delle portate mensili;
- ◆ D minima delle portate giornaliere.

Viceversa, per i corsi d'acqua con regime di portata molto irregolare (Fig.1) gran parte del campo indeterminato è, nei mesi umidi, attribuibile al ruscellamento. Per le stazioni caratterizzate da regime di flusso variabile, nei mesi umidi il campo indeterminato comprende una parte imprecisata di ruscellamento e di flusso di base.

La linea D rappresenta le "minime delle portate giornaliere", vale a dire i valori più bassi di portata registrati, in ciascun mese, durante tutto il periodo di osservazione. Questi valori vengono considerati rappresentativi del flusso di base minimo nel periodo considerato, corrispondente a condizioni di magra particolarmente accentuate (sempre che non siano dovuti ad errori strumentali o alla presenza di opere idrauliche che alterano il naturale regime di deflusso).

Il campo compreso tra i valori minimi assoluti della portata giornaliera (linea D) e i corrispondenti valori medi (linea B), nei mesi estivi è espressione del campo di variabilità pluriennale della portata delle acque sotterranee.

La linea C si posiziona normalmente tra la linea B e la linea D. Nei casi esaminati ciò si verifica quando i dati si riferiscono a periodi di osservazione superiori ai 14 anni. Per alcune stazioni i dati disponibili coprono un arco di tempo più breve; in questi casi alcuni valori della linea C possono essere più elevati di quelli della linea B. Quando si verifica questa circostanza non è più possibile identificare il campo indeterminato, perché il periodo d'osservazione è troppo breve. In questi casi particolari la linea C non rappresenta soltanto il flusso di base minimo, ma può comprendere anche una parte di ruscellamento. I campi individuati dalle linee A, B e C vengono rappresentati anche in valori percentuali (Fig. 3 e 4): la zona inferiore rappresenta le percentuali di flusso di base calcolato; la zona superiore il ruscellamento calcolato; la fascia intermedia corrisponde al campo indeterminato.

Figura 3
Valori mensili del ruscellamento e del flusso di base espressi in percentuale. Sezione del fiume Tevere a Ponte Nuovo. Dati del periodo 1940-42, 1946-68 e 1970-80

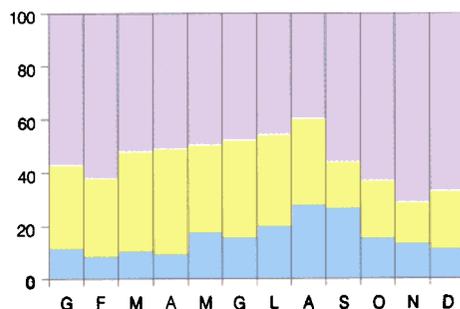
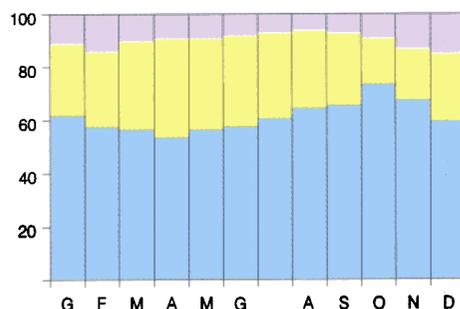


Figura 4
Valori mensili del ruscellamento e del flusso di base espressi in percentuale. Sezione del fiume Nera a Torre Orsina. Dati del periodo 1940-43, 1949-62, 1964-68 e 1970-74



5.2.3 Esempi di applicazione del metodo

Nella Figura 1 (Tevere a Ponte Nuovo) viene presa in esame una stazione caratterizzata da un regime di flusso con forte variabilità stagionale. Le portate medie (linea A) oscillano da 9 m³/s in estate a 98 m³/s in inverno. Il flusso di base calcolato varia da circa 2 m³/s in estate a 8 m³/s in inverno. Il ruscellamento calcolato varia da 3-4 m³/s in estate a oltre 60 m³/s in inverno. Il campo indeterminato varia da 3-4 m³/s in estate a quasi 30 m³/s in inverno. Nella stagione estiva questo valore può essere attribuito in gran parte al flusso di base, che risulta perciò pari a 5-6 m³/s.

Da quest'analisi risulta che l'alto bacino del Tevere è caratterizzato da un regime impulsivo governato dal ruscellamento che rappresenta, per la maggior parte dell'anno, la componente più cospicua della portata totale; in estate, quando la precipitazione efficace è molto ridotta, la portata del fiume si riduce rapidamente a valori minimi, sostenuta da modesti apporti di acque sotterranee. La

percentuale del flusso di base (Fig. 3) è molto ridotta rispetto alla portata totale.

Il Nera a Torre Orsina (Fig. 2 e 4) rappresenta un caso completamente diverso: il regime di portata è estremamente regolare, con una variabilità stagionale media molto limitata. La portata, sempre piuttosto sostenuta, varia tra circa 21 e 30 m³/s. La percentuale del flusso di base calcolato è praticamente costante durante l'intero anno (60% della portata). Se si considera che, per un corso d'acqua con regime tanto regolare, buona parte del campo indeterminato è attribuibile al flusso di base per tutto l'anno, il contributo di acque sotterranee sale a circa 20-22 m³/s, vale a dire oltre l'80% della portata (Fig. 4).

I due casi esaminati mostrano quanto la natura litologica dei bacini influenzi il regime dei corsi d'acqua: nel primo caso il bacino è impostato su depositi terrigeni, complessivamente poco permeabili, dove prevale il processo di ruscellamento superficiale e dove mancano serbatoi naturali per l'immagazzinamento di acque sotterranee. Nel secondo caso invece il bacino è costituito essenzialmente da rocce carbonatiche, molto permeabili, dove il ruscellamento è ridottissimo e l'infiltrazione delle acque meteoriche molto elevata. Questa situazione dà origine ad acquiferi imponenti che alimentano sorgenti con regime di portata estremamente regolare, capaci quindi di sostenere il flusso di base del Nera durante tutto l'anno.

In conclusione il metodo proposto fornisce, tramite un'elaborazione relativamente semplice di dati idrologici, una valutazione significativa, per quanto non rigorosa, dell'entità media del flusso di base e del ruscellamento e la loro variabilità nel corso dell'anno. Gli istogrammi forniscono i valori percentuali di flusso di base e ruscellamento e ne illustrano la variabilità stagionale.

L'applicazione di questo metodo di scomposizione degli idrogrammi alle stazioni di misura presenti nei bacini del Tevere, del Garigliano e dei corsi d'acqua minori, ha consentito di definire la distribuzione territoriale delle risorse idriche sotterranee e di superficie e quindi di precisare, per ogni mese dell'anno, l'entità e la natura delle acque continentali che si versano a mare lungo il litorale del Lazio.

5.3 Cenni di geologia e idrogeologia

L'assetto geologico dell'Italia centrale è il risultato di un lungo e complesso processo evolutivo che si va sempre più chiarendo col procedere della ricerca geologica. Per meglio comprendere i processi idrogeologici che condizionano il regime di portata delle acque continentali del Lazio, vengono brevemente descritte le linee generali della geologia regionale.

Nel Trias medio si è aperto il bacino oceanico della "Tetide", che divideva il margine meridionale del blocco continentale euro-asiatico dal margine settentrionale del blocco costituito dall'Africa, dall'Arabia e dall'India. Durante tutto il Mesozoico, lungo i margini del bacino della Tetide si sono accumulati sedimenti, prevalentemente carbonatici, che hanno raggiunto spessori variabili da un migliaio ad alcune migliaia di metri. Alla fine del Mesozoico l'avvicinamento dei blocchi continentali ha prodotto l'imponente orogenesi alpina che ha corrugato i sedimenti accumulati nel mare della Tetide e ha dato origine ad un'articolata fascia di grandi catene montuose che si estendono oggi dai Pirenei, attraverso le Alpi, fino all'Himalaya. La modesta catena dell'Appennino centrale, dove si estendono i bacini idrografici del Lazio, costituisce una piccola parte di questo esteso sistema montuoso.

5.1.3.1 Lineamenti geologici e idrogeologici dell'Italia centrale

I rilievi dell'Appennino sono stati costruiti dalla fase orogenica mio-pliocenica, che ha corrugato i sedimenti carbonatici mesozoici e gran parte dei depo-

siti terrigeni cenozoici depositi nel bacino oceanico della Tetide. Nel Plio-Pleistocene la catena, già emersa, è stata interessata da una fase tettonica prevalentemente distensiva, che ha dato origine a vaste depressioni colmate da estesi bacini lacustri (Valle Umbra, conche di Rieti, di Terni, bassa valle Latina) e da un vasto braccio di mare che si estendeva nella valle del Tevere fino ad Orvieto e più ad Ovest lungo l'attuale Valle del Chiani-Paglia. Nelle depressioni interne si sono accumulati sedimenti eterogenei fluvio-lacustri, mentre nella depressione del Tevere si sono depositi sedimenti marini prevalentemente argilloso-sabbiosi, successivamente coperti da sedimenti continentali.

Contemporaneamente ha avuto inizio un'intensa attività vulcanica, ormai praticamente estinta, che ha dato origine all'allineamento di vulcani che si estende dal Monte Amiata fino a Roccamonfina.

La letteratura sull'argomento è ricchissima ed esauriente: si segnalano i contributi di sintesi sull'assetto geologico-strutturale della regione e, più in generale, dell'Appennino centrale, di ACCORDI (1966), OGNIBEN *et al.* (1975), (AA.VV., 1988) e il Modello strutturale d'Italia (AA. VV., 1992).

La regione considerata risulta attualmente costituita da tre principali ambienti morfo-strutturali:

- la dorsale appenninica, dove corre lo spartiacque che divide i bacini idrografici con foce all'Adriatico e al Tirreno, occupa il settore orientale e meridionale; è costituita da rilievi carbonatici che, nel settore meridionale, si spingono fino al mare con la catena dei Volsci;

- il Graben del Tevere e le sue diramazioni, che hanno dato origine ad una vasta e articolata depressione posta al centro della regione; ne fanno parte la valle del Tevere, la valle del Paglia, la valle Umbra, le conche ternana e reatina; la depressione si prosegue più a Sud nella valle Latina, percorsa dal Sacco e dal basso corso del Liri-Garigliano;

- gli apparati vulcanici del Monte Amiata, dei Monti Vulsini, Cimini, Sabatini, Albani e, all'estremo settore meridionale, l'apparato di Roccamonfina, che occupano gran parte del settore occidentale.

Questi tre ambienti, con caratteristiche idrogeologiche differenti brevemente descritte ai paragrafi 5.1.3.2-3-4, sono riconoscibili nello Schema idrogeologico allegato che rappresenta, in sintesi, i principali caratteri geologici e idrogeologici della regione. Per ulteriori approfondimenti si rimanda alla cartografia geologica (Modello strutturale d'Italia, AA. VV., 1992) e idrogeologica (BONI *et al.*, 1986, BONI *et al.*, 1988) più recente.

Le più estese strutture idrogeologiche sono costituite da rocce dotate di elevata permeabilità (rocce carbonatiche, rocce vulcaniche, depositi alluvionali, ecc.) e delimitate da rocce meno permeabili o impermeabili; gli affioramenti di rocce permeabili rappresentano le aree di ricarica dove una porzione delle acque meteoriche (infiltrazione efficace) penetra nel sottosuolo e scende in profondità fino a raggiungere un settore della struttura, completamente saturo, che viene definito acquifero regionale. Questo è un grande serbatoio naturale ricaricato dall'infiltrazione efficace, che alimenta a sua volta grandi sorgenti. Queste ultime sono dette puntuali quando sono localizzate in un punto ben definito o in un'area molto ristretta, generalmente ubicata nelle zone più depresse del contatto tra l'acquifero e i litotipi meno permeabili che lo contornano. Le sorgenti sono dette lineari, invece, quando le acque sotterranee emergono direttamente in un corso d'acqua, che incide la struttura tanto da raggiungere l'acquifero; in questa situazione la portata del corso d'acqua aumenta progressivamente da monte a valle, anche quando non riceve alcun apporto di superficie; è possibile valutare il contributo di acque sotterranee alla portata del fiume, confrontando i risultati di misure dirette di portata seriate, eseguite a quote diverse lungo il corso del fiume. Alla luce di queste brevi considerazioni, va specificato che:

- 1) l'area di alimentazione di una sorgente si può estendere oltre i limiti del bacino idrografico in cui la sorgente si trova. Infatti le acque sotterranee

seguono percorsi indipendenti dai limiti dei bacini idrografici, ma condizionati dall'assetto delle strutture idrogeologiche.

2) Nel processo di alimentazione della portata dei corsi d'acqua oltre alle più note ed evidenti sorgenti puntuali contribuiscono notevolmente anche le sorgenti lineari.

Nei bacini idrografici con foce al Tirreno considerati in questo studio (si veda lo Schema idrogeologico allegato) la portata media del flusso di base alimentata dalle sorgenti puntuali e lineari è stata valutata circa 250 m³/s, pari al 50% della portata media complessiva dei corsi d'acqua considerati (Fig. 27).

5. 3.2 Dorsale appenninica

La dorsale appenninica è prevalentemente costituita da sedimenti carbonatici di età mesozoica che si sono depositi in diversi ambienti di sedimentazione.

Il ciclo sedimentario appenninico ha avuto inizio nel Trias medio con l'impostarsi del bacino oceanico della Tetide. Il mare triassico ingredisce su uno zoccolo metamorfico paleozoico, dove comincia a depositare sedimenti di tipico ambiente lagunare ed evaporitico. Con il progressivo approfondimento del bacino, la sedimentazione diviene prevalentemente dolomitica nel Trias superiore e quindi tipicamente calcarea nel Lias inferiore. Quando nel Lias medio il bacino è stato investito dalla prima importante fase tettonica, sullo zoccolo continentale metamorfico si era già depositato uno spessore imprecisato di sedimenti evaporitici e di dolomie, certamente superiore a qualche centinaio di metri, coperti da un esteso e rigido piastrone di sedimenti di piattaforma, potente più di 500 m, ben noto nell'Umbria e nelle Marche come formazione del Calcarea massiccio.

La fase tettonica medio-liassica, che ha avuto un marcato carattere distensivo, ha prevalentemente interessato il settore nord-occidentale della porzione di territorio qui esaminata, provocandone il repentino annegamento, mentre il settore sud-orientale è stato interessato solo marginalmente. Nel Lias medio si delinea quindi il seguente quadro paleoambientale: nel settore sud-orientale permangono le condizioni di mare basso che consentono lo sviluppo di una piattaforma carbonatica subsidente; nel settore nord-occidentale, il deciso approfondimento del fondale ha determinato l'annegamento quasi completo della piattaforma e ha dato origine ad un esteso bacino pelagico. Il suo fondale era molto articolato, con un'irregolare disposizione di dorsali e di fosse, dove si sono impostati diversi ambienti di sedimentazione e dove si sono depositate, di conseguenza, successioni stratigrafiche differenti. Tra il dominio di piattaforma e il bacino pelagico si estendeva una larga fascia di raccordo dove si è deposita la tipica successione di transizione bacino-piattaforma.

Nel Lias medio si sono quindi delineati tre domini geologici, ciascuno con caratteri litostratigrafici uniformi e con un assetto strutturale tipico e ben definito.

Nel dominio pelagico l'orogenesi ha avuto inizio al termine del Mesozoico ed è prosèguita nel Miocene. Si è sviluppata una tettonica tipicamente plicativa che ha dato origine ai rilievi umbro-marchigiani, formati da una successione di anticlinali e sinclinali, sovente accavallate, con generale vergenza verso E e NE.

Nel dominio di piattaforma l'orogenesi ha inizio nel Miocene inferiore e si sviluppa in fasi successive. La prima fase, con evidenti caratteri distensivi, determina lo smembramento della piattaforma in diversi settori, separati da solchi orientati NW-SE, che vengono colmati da sedimenti argilloso-arenacei sinorogenici, potenti diverse centinaia di metri. Segue una fase traslativa, con marcata vergenza da orientale a nord-orientale, che determina il raccorciamento dei solchi e quindi l'accavallamento delle dorsali carbonatiche sui depositi terrigeni. In tal modo hanno origine le attuali dorsali carbonatiche appenniniche separate da depressioni colmate da sedimenti argilloso-arenacei.

La distribuzione areale e le caratteristiche dei sedimenti di ciascun dominio vengono illustrate nello Schema idrogeologico allegato.

Alle particolari condizioni geologiche di ciascun dominio corrispondono situazioni idrogeologiche altrettanto definite e sostanzialmente omogenee. I sedimenti carbonatici dei tre domini, molto permeabili, costituiscono ovunque delle estese aree dove si sviluppa un abbondante processo di infiltrazione e quindi di rialimentazione degli acquiferi, mentre i sedimenti sinorogenici, che chiudono il ciclo sedimentario meso-cenozoico, prevalentemente argilloso-arenacei, poco permeabili, hanno la funzione di delimitare sistemi idrogeologici indipendenti.

I caratteri idrogeologici del dominio di piattaforma (complesso 7 nello Schema idrogeologico) paiono ben definiti. Le rocce carbonatiche, intensamente ed omogeneamente fratturate, hanno acquisito notevole permeabilità. La precipitazione media annua sul dominio varia da 1000 a 2000 mm/anno, con valori medi calcolati di 1250 mm/anno. L'infiltrazione efficace media è di circa 900 mm/anno, particolarmente elevata perché il ruscellamento sulle dorsali carbonatiche è praticamente trascurabile, con valori inferiori all'1% delle precipitazioni. L'elevata infiltrazione ricarica gli enormi acquiferi che saturano la base delle strutture carbonatiche e che alimentano numerose e grandi sorgenti caratterizzate da regimi di portata molto regolari. Sono numerosissime le sorgenti puntuali, molto rare quelle lineari.

In questa situazione idrogeologica le grandi sorgenti alimentano i fiumi con un considerevole flusso di base, che in periodo estivo costituisce la quasi totalità del deflusso; il ruscellamento si sviluppa, nei periodi piovosi, solo sugli affioramenti argilloso-arenacei e sui depositi fluvio-lacustri, mentre è praticamente assente sui rilievi carbonatici.

La piattaforma carbonatica risulta attualmente suddivisa in strutture idrogeologiche ben distinte, isolate tra loro dai depositi terrigeni sinorogenici. Procedendo dal settore tirrenico verso l'Adriatico, si incontrano:

- il sistema idrogeologico dei Volsci (Monti Lepini, Ausoni e Aurunci), con un acquifero di base che alimenta le sorgenti poste al margine della Pianura Pontina (15 m³/s), le sorgenti della Piana di Fondi e di Terracina (5 m³/s), le sorgenti sottomarine tra Terracina e Gaeta che erogano una portata stimata 8 m³/s;

- la dorsale dei Monti Simbruini-Ernici-M. Cairo e il gruppo delle Mainarde-Monti di Venafro, cui fanno capo principalmente le sorgenti della valle dell'alto Aniene (12 m³/s), le sorgenti del Gari a Cassino (portata media 18 m³/s), le sorgenti del Peccia (5 m³/s) e la sorgente lineare del Rapido (1,5 m³/s).

- il sistema idrogeologico dei Monti Giano-Nuria-Velino, che alimenta le sorgenti del Peschiera (18 m³/s) e altre sorgenti puntuali e lineari nella valle del Velino (12 m³/s);

- la struttura dei Monti della Marsica Occidentale, con un acquifero di base che alimenta le grandi sorgenti di Posta-Fibreno (10 m³/s).

I caratteri idrogeologici del dominio pelagico (complesso 8 nello Schema idrogeologico) sono ben conosciuti. Le dorsali prevalentemente carbonatiche ricevono una precipitazione media di circa 1100 mm/anno ed hanno una infiltrazione efficace variabile tra 500 e 650 mm l'anno. Il ruscellamento medio sulle dorsali è stato valutato circa il 15% degli afflussi, nettamente superiore a quello che si sviluppa sui rilievi del dominio di piattaforma. L'abbondante infiltrazione dà origine a limitati acquiferi sospesi sulle intercalazioni marnoso-silicee e ad un esteso acquifero basale molto articolato. Le sorgenti puntuali, con portate medie fino a qualche decina di litri al secondo, sono numerose mentre sono molto rare quelle con portate elevate. Sono diffuse le sorgenti lineari, che alimentano direttamente il flusso di base dei corsi d'acqua con portate che raggiungono diversi metri cubi al secondo. Sulle dorsali carbonatiche mesozoiche l'infiltrazione è nettamente superiore al ruscellamento che si sviluppa, invece, particolarmente sui terreni prevalentemente terrigeni dell'Eocene, dell'Oligocene e del Miocene.

La portata dei corsi d'acqua perenni è sempre sostenuta da un elevato flusso di base, con regime molto regolare, alimentato dai grandi acquiferi carbonatici; nelle stagioni piovose i corsi d'acqua ricevono anche una notevole componente di ruscellamento, diffuso prevalentemente sui depositi terrigeni cenozoici.

Nel settore tirrenico del sistema idrogeologico dell'arco umbro-marchigiano, le sorgenti lineari sono particolarmente diffuse lungo l'alveo del fiume Nera a monte di Terni (circa 20 m³/s), nelle gole di Montoro-Stifone (15 m³/s) e lungo il Chiascio e il Topino con portate inferiori.

Il dominio di transizione (complesso 9 nello Schema idrogeologico) è costituito da una serie stratigrafica che presenta caratteri intermedi tra quelli del dominio pelagico e del dominio di piattaforma.

A sedimenti tipicamente pelagici si trovano intercalati consistenti apporti detritici provenienti dallo smantellamento dei margini della piattaforma. Ne risulta una successione dove la componente carbonatica è nettamente dominante su quella silico-marnosa.

I valori di infiltrazione efficace non sono stati ancora chiaramente definiti ma si possono considerare intermedi rispetto a quelli dei due domini contigui. Anche l'entità del ruscellamento non è nota ma dovrebbe essere presumibilmente inferiore a quella valutata per il dominio pelagico.

Nell'area in esame, i principali affioramenti del dominio di transizione si trovano in Sabina e nel reatino. Le falde basali alimentano principalmente le sorgenti de Le Capore in Sabina (5 m³/s), di S.Susanna (5 m³/s) nel reatino e delle Acque Albule (4 m³/s), presso Tivoli.

Nella fascia di transizione i sedimenti oligo-miocenici, generalmente costituiti da marne e calcareniti (complesso 6), rappresentano il termine di passaggio verso le sequenze più schiettamente arenaceo-argillose (complesso 5).

Le falde contenute nel complesso 6 sono spesso sospese e alimentano generalmente sorgenti con portata inferiore a 1 m³/s. L'infiltrazione efficace è dell'ordine di 200-300 mm l'anno, su una precipitazione di 1000-1400 mm/anno.

5.1.3.3 Graben del Tevere

Nel Plio-Pleistocene una fase tettonica distensiva ha collassato gran parte del settore occidentale della regione considerata, sia nel dominio pelagico che in quello di piattaforma. Nelle aree più interne e più elevate del dominio pelagico e di transizione, si sono create ampie depressioni (Conca di Norcia e di Leonessa, Conca reatina), che sono state in parte colmate da depositi detritici e fluvio-lacustri. Più a occidente si è aperta una vasta depressione occupata dal lago Tiberino, che si estendeva da Perugia a Todi ed aveva due ampie diramazioni, una verso Foligno e Spoleto e l'altra verso Terni. Il lago Tiberino, ormai colmato, ha lasciato spessori notevoli di sedimenti detritici e fluvio-lacustri, che sono sede di importanti acquiferi. Il settore più depresso e più occidentale, che corrisponde alla media valle del Tevere, si estende da Tivoli a Baschi, e si prosegue a NW nella valle del Paglia. Quest'area è stata invasa dal mare pliocenico, che ha depositato una potente coltre di sedimenti prevalentemente argillosi e in minor misura sabbiosi e conglomeratici.

Più a sud, nel dominio di piattaforma, un'analogha depressione ha dato origine al lago Lirino, che occupava gran parte dell'attuale valle Latina e della depressione di Cassino.

I sedimenti detritici che colmano queste depressioni (complesso 1 nello Schema idrogeologico) costituiscono un notevole serbatoio, generalmente poco profondo, che esercita una funzione regolatrice sul regime dei deflussi; le potenzialità di questi depositi non sono ancora note con precisione.

Nella carta allegata viene anche distinto il complesso dei travertini, che ha buona permeabilità e capacità di immagazzinamento ma, per la sua limitata estensione, ha solo interesse locale.

5. 3.4 Apparatii vulcanici

Gli apparati vulcanici del Monte Amiata, dei Monti Cimini, Vulsini e Sabatini, dei Colli Albani e quello più meridionale di Roccamonfina, hanno avuto origine dalla stessa fase tettonica distensiva che ha prodotto il graben del Tevere e le altre depressioni contigue. L'attività vulcanica, sviluppata negli ultimi 2 milioni di anni, ha un'età decrescente da Nord verso Sud. Gli edifici sono prevalentemente costituiti da ignimbriti, da piroclastiti e in minor misura da lave. Fenomeni di collasso vulcano-tettonici hanno dato origine a vaste depressioni interne colmate da bacini lacustri (laghi di Bolsena, Bracciano, Vico, Albano, Nemi).

Gli apparati vulcanici hanno caratteri idrogeologici sufficientemente conosciuti. La precipitazione media è di circa 1000 mm l'anno; l'infiltrazione efficace media è stata valutata circa 300 mm/anno; valori molto più elevati di precipitazione e di infiltrazione sono stati calcolati per il Monte Amiata. Il ruscellamento medio è stato valutato circa il 10% della precipitazione. Gli apparati vulcanici sono saturati da estesi acquiferi molto produttivi, che alimentano i laghi interni e un articolato reticolo di drenaggio perenne, caratterizzato da elevati valori del flusso di base.

Il drenaggio avviene prevalentemente lungo i corsi d'acqua disposti radialmente rispetto agli edifici vulcanici: Fiora, Marta e Mignone sul versante tirrenico, e il Treia, affluente di destra del Tevere.

Le principali sorgenti lineari sono ubicate lungo i fiumi Treia, Marta, Fiora e su altri corsi d'acqua minori. La loro portata media complessiva è di circa 31 m³/s per il settore Vulsino-Cimino-Vicano-Sabatino e di 14 m³/s per l'area albana. L'apparato di Roccamonfina alimenta solo in minima parte il bacino del Garigliano; va segnalato infine il contributo alla portata del fiume Fiora da parte del sistema del Monte Amiata (circa 1,5 m³/s).

5. 4 Bacino del Tevere

5. 4. Introduzione

Il bacino del Tevere si estende su una superficie di circa 17.000 km², compresa prevalentemente nelle regioni Lazio, Umbria e Abruzzo e, in minor misura, in Toscana e nelle Marche. Il Tevere nasce sull'Appennino tosco-emiliano e sfocia nel Mar Tirreno dopo un percorso di circa 400 km. Il bacino è limitato ad est dalla dorsale carbonatica dell'Appennino umbro-marchigiano, mentre il settore occidentale è occupato prevalentemente dai rilievi vulcanici tosco-laziali. In prossimità della foce il corso d'acqua è deviato bruscamente verso ovest dall'apparato vulcanico dei Colli Albani.

I principali affluenti di destra sono il sistema fluviale Chiani-Paglia e il Treia, mentre dalla sinistra orografica si immettono il Chiascio-Topino, il sistema Salto-Turano-Velino-Nera ed infine l'Aniene.

I dati idrometrici relativi a 18 stazioni di misura del Servizio Idrografico e quelli delle Sorgenti del Peschiera, forniti dall'Acea (Tab.1), sono stati elaborati col metodo delle "portate mensili caratteristiche", descritto precedentemente. In tal modo si è potuto valutare, per ciascuna stazione, quale sia l'apporto medio dovuto al ruscellamento di superficie e quale il contributo delle acque sotterranee al deflusso totale registrato dalla stazione, a meno di un "campo indeterminato" che il metodo adottato non consente di attribuire.

Le principali caratteristiche delle stazioni considerate sono indicate in Tabella 1: nome, quota dello zero idrometrico, area del bacino sotteso, periodo di osservazione considerato; per ciascuna stazione vengono riportati anche i risultati della scomposizione: portata media, flusso di base calcolato, campo indeterminato, ruscellamento calcolato, ottenuti con il metodo delle portate mensili caratteristiche.

Tabella 1
Stazioni idrometriche del
bacino del fiume Tevere

N	Stazione	Quota (m s.l.m.)	Area del bacino (km ²)	Periodo considerato	Portata media (m ³ /s)	Flusso di base calcolato (m ³ /s)	Campo indeterminato (m ³ /s)	Ruscellamento calcolato (m ³ /s)
	Tevere a S. Lucia	261	934	40-43 49-62 64-68 70-71	13,5	2,15	2,29	9,09
	Tevere a Ponte Felcino	198	2033	40-42 47-62 64-65 67-68 70-73	25,6	3,88	4,35	
	Topino a Ponte di Bettona	75	1220	40-42 50-62 64 66-68 70-73		3,91		4,81
	Chiascio a Torgiano	169	1956	40-42 47-62 64-65 67-68 70-78	20,1	5,57	4,45	10,1
	Tevere a P. Nuovo	163	4147	40-42 46-68 70-80	47,9	5,95	13,9	28,1
6	Tevere a Corbara	90	6075	49-62	54,0	10,6	9,14	34,2
7	Chiani a Ponte di Morrano	130	422	40-42 47-62 64-67 70-78 80	4,31	0,34	1,02	2,95
	Paglia a Orvieto	96	1320	54-59 70-71	12,9	2,55	0,68	9,65
9	Tevere a Baschi	76	7443	40-43 45-62	73,5	12,9	13,4	47,2
	Velino a Posta	706	95	40-43 50-53	1,47	0,59	0,27	0,60
11	Sorgenti del Peschiera	406		41-43 46-64 73-77	17,7	15,0	2,71	
12	Velino a Terria	370	2076	40-43 47-74	41,3	17,2	7,69	16,4
13	Nera a Torre Orsina	210	1445	40-43 49-62 64-68 70-74	25,5	15,3	7,48	2,67
14	Nera a Macchiagrossa	97	4020	40-43 47-57	74,4	42,5	11,6	20,4
15	Tevere a Passo S. Francesco	40	12701	40 50-58	159	87,0	8,59	63,1
16	Treia a Civita Castellana	36	497	64-68 70-80	4,64	2,10	1,35	1,20
17	Aniene a Subiaco	366	233	40-43 46-61 64-68 70 73-80	9,11	3,26	3,46	2,39
18	Aniene a Lunghezza	23	1115	41-42 49-62 64-80	27,3	13,5	7,18	6,64
19	Tevere a Roma	0,7	16545	40-43 45-62 64-68 70-80	225	107	42,8	74,7

5. 4.2 Analisi comparativa dei dati ottenuti dalla scomposizione degli idrogrammi di tutte le stazioni situate lungo l'asta del Tevere.

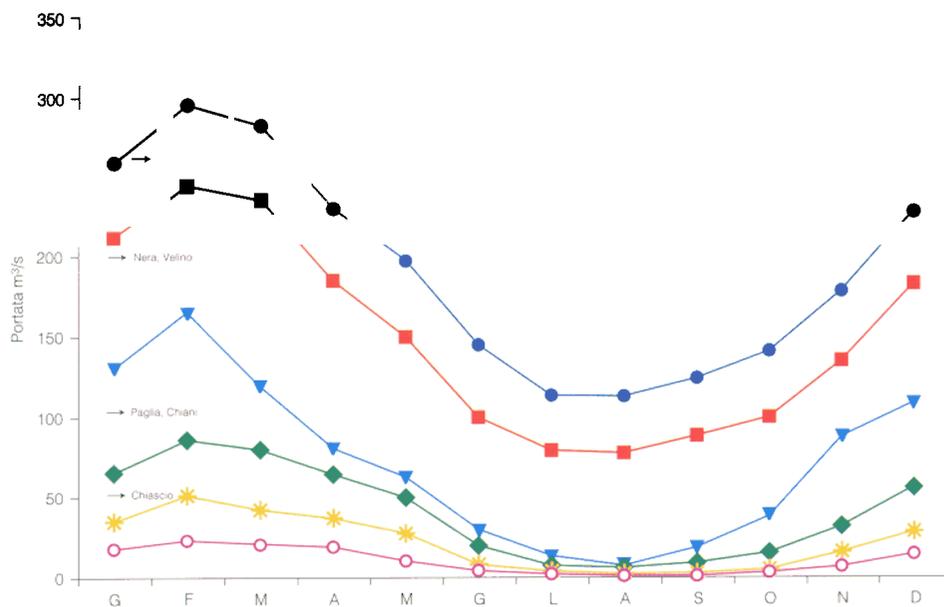
I risultati della scomposizione degli idrogrammi vengono rappresentati in forma schematica e comparativa nelle Figure 5 e 6 e in Tabella 1. Sono messi a confronto i valori medi della portata mensile (Fig.5) e i valori medi delle portate giornaliere minime (Fig.6) nelle sei stazioni principali distribuite lungo l'asta del Tevere. Perché questo confronto fosse più significativo si sono considerati solo i dati relativi al 1950-58, unico periodo nel quale le sei stazioni hanno funzionato contemporaneamente. Le frecce indicano la posizione delle principali confluenze, rispetto alle stazioni.

Dal confronto dei valori medi mensili (Fig.5) si nota che nell'alto bacino del Tevere (stazioni di S.Lucia, Ponte Felcino, Ponte Nuovo e Baschi) il regime delle portate è molto irregolare, con valori elevati in inverno e marcati minimi estivi. Il rapporto tra massimi invernali e minimi estivi è per tutte le stazioni superiore a 10. Il Chiani-Paglia e il Chiascio forniscono un apprezzabile contributo nelle stagioni umide che si esaurisce quasi completamente nella stagione secca. Le minime estive aumentano progressivamente da 1,5 a 10 m³/s fino a Baschi, per passare ad oltre 80 m³/s a Passo S.Francesco e a circa 120 a Roma. Dopo la confluenza con il Nera-Velino la portata del fiume

Figura 5

Bacino del fiume Tevere.
Confronto della media della portata mensile in stazioni successive, per il periodo 1950-58.

- Tevere a Roma ● 19
- Tevere a P.sso S. Francesco ■ 15
- Tevere a Baschi ▼ 9
- Tevere a Ponte Nuovo ◆ 5
- Tevere a Ponte Felcino * 2
- Tevere a S. Lucia ○ 1



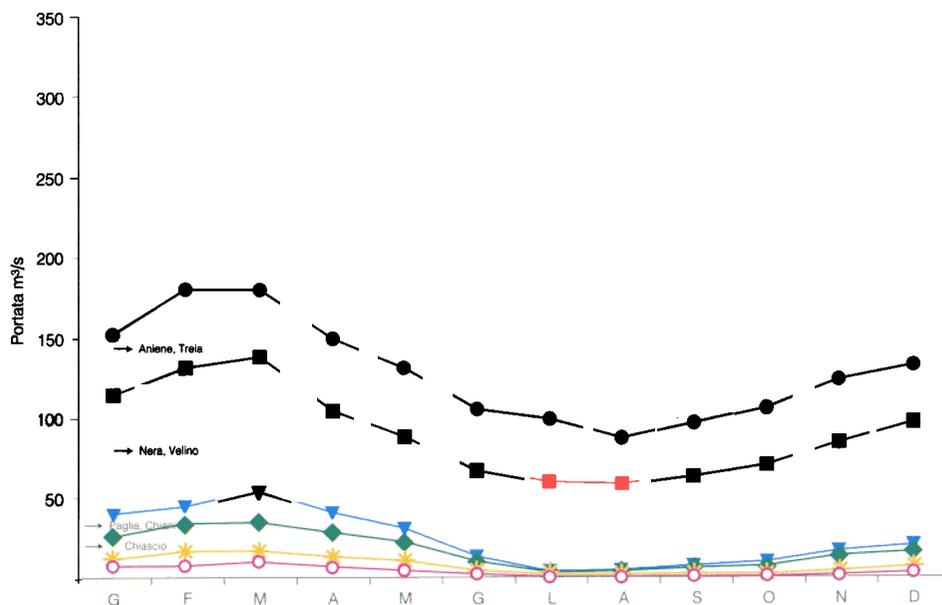
crece nettamente e il regime si stabilizza: il rapporto tra portate invernali e estive scende a valori inferiori a 3.

I valori medi delle portate giornaliere minime (portate di magra ordinaria) sono messi a confronto nella Figura 6. È bene precisare che le portate considerate sono la somma del flusso di base calcolato con il campo indeterminato: questi valori sono considerati rappresentativi del flusso di base reale in periodo estivo. Dal grafico risulta evidente che le portate di magra invernale variano da poco più di 50 m³/s a Baschi a poco più di 180 m³/s a Roma. Nei mesi estivi il flusso di base è invece ridottissimo nell'alto bacino del Tevere (circa 7 m³/s a Baschi), mentre a Roma si registrano valori di circa 100 m³/s. Di questi 55 m³/s sono assicurati dal Nera-Velino, 20 provengono dal bacino dell'Aniene, 5 dalle sorgenti delle Capore e circa 20 dagli apparati vulcanici e dagli estesi depositi alluvionali antichi e recenti. Il rapporto tra le portate di magra invernale ed estiva nelle due stazioni a valle di Baschi è approssimativamente pari a 2.

Figura 6

Bacino del fiume Tevere.
Confronto della media delle portate giornaliere minime rappresentative della portata di magra ordinaria in stazioni successive, per il periodo 1950-58.

- Tevere a Roma ● 19
- Tevere a P.sso S. Francesco ■ 15
- Tevere a Baschi ▼ 9
- Tevere a Ponte Nuovo ◆ 5
- Tevere a Ponte Felcino * 2
- Tevere a S. Lucia ○ 1



5 .4.3 Flusso di base estivo e ruscellamento invernale nel bacino del Tevere

Nella Figura 7 sono indicate le stazioni idrometriche con lo stesso numero riportato in Tabella 1; di ciascuna viene indicato il valore del flusso di base del trimestre estivo (luglio-agosto-settembre) e il valore del ruscellamento calcolato del trimestre invernale (gennaio-febbraio-marzo). Vengono inoltre indicate le principali sorgenti puntuali e lineari con lo stesso numero che figura nella Tabella 2. I valori del flusso di base estivo e del ruscellamento invernale sono stati valutati su tutto il periodo di funzionamento degli idrometri che, come risulta dalla Tabella 1, è variabile da stazione a stazione.

È significativo osservare che tutte le sorgenti sono concentrate lungo la dorsale carbonatica (bacini del Topino, del Nera, del Velino e dell'Aniene) e lungo i margini orientali degli apparati vulcanici. Il settore settentrionale è privo di sorgenti significative. Risulta evidente che, a monte della confluenza con il Nera-Velino, il ruscellamento invernale è dominante rispetto al flusso di base estivo. Situazione opposta si riscontra nei bacini del Nera, dell'Aniene e del Treia dove, per la presenza di grandi sorgenti, il flusso di base estivo è nettamente superiore al ruscellamento invernale.

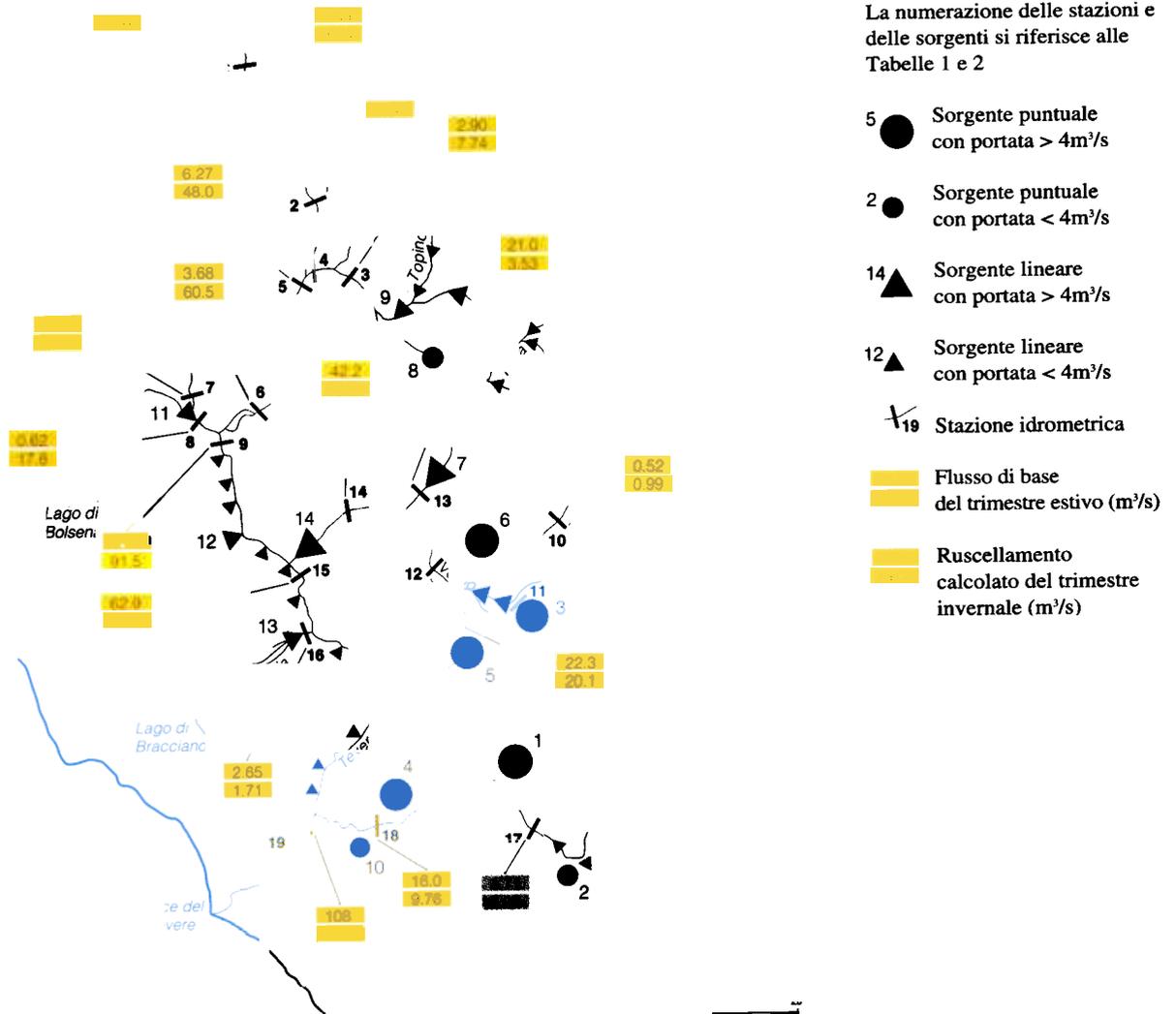


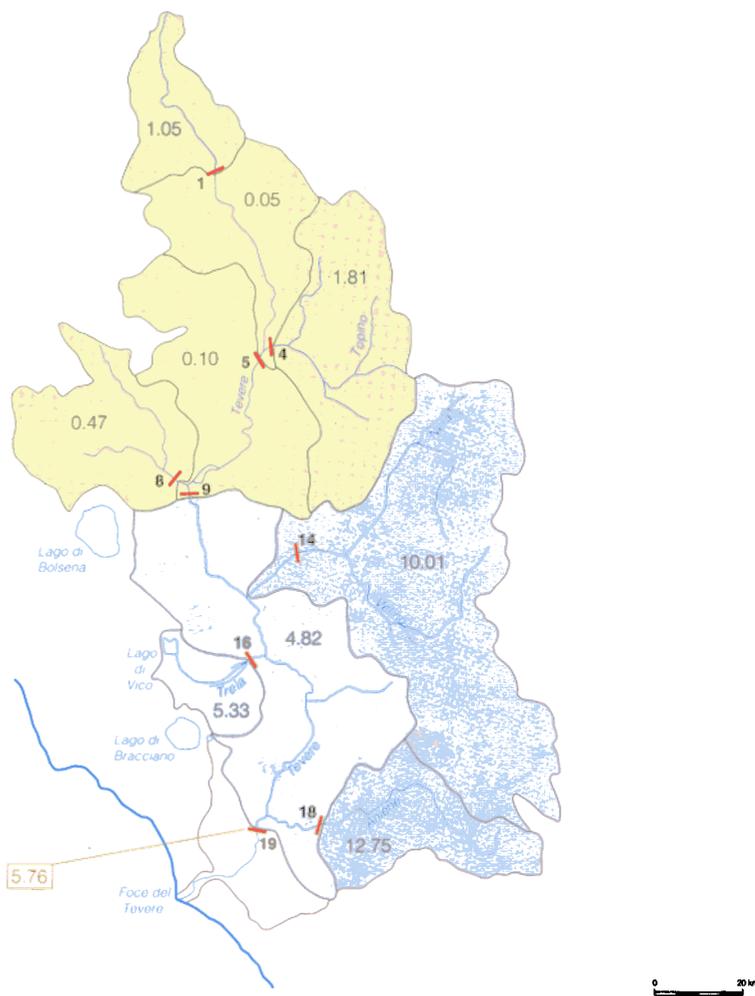
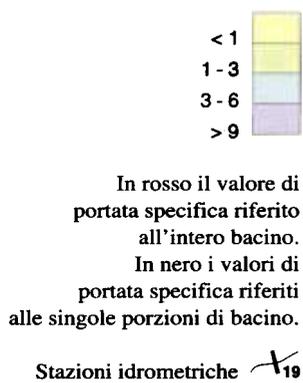
Tabella 2
Elenco delle sorgenti principali
del bacino del Tevere.

N	Nome	Quota (m)	T (°C)	Portata media (m³/s)
1	Gruppo di Agosta	330	11	5,4
2	Pertuso	700	8	1,6
3	Peschiera	406	11	18
4	Acque Albule	80-35	24	4
5	Capore	246	12-14	5
6	S. Susanna	390	12	5,5
7	Alto e Medio Nera	>370	-	23
8	Clitunno	220	12	1,6
9	Alto Topino e Menotre	>250	10	2,8
10	Salone-Acqua Vergine	24	14	1
11	Sorgenti lineari nell'alveo del Fiume Paglia	270-112	-	0,1
12	Sorgenti lineari minori in riva destra del Tevere	-	-	4,6
13	Sorgenti lineari nell'alveo del Fiume Treia	45	14	2,9
14	Montoro-Stifone	90-75	16	15
15	Sorgenti lineari nell'alveo del Fiume Velino	400	-	10
16	Sorgenti lineari nell'alveo del Fiume Aniene	-	-	5

5.1.4.4 Rappresentazione planimetrica della portata specifica del flusso di base estivo, del ruscellamento invernale e della portata media.

La scomposizione della portata media ha fornito i valori mensili calcolati del flusso di base e del ruscellamento di ciascuna stagione. La differenza tra portate rilevate in stazioni successive fornisce il contributo dato dal territorio

Figura 8
Flusso di base specifico estivo
(l/s/km²) del bacino del Tevere.



compreso tra le stazioni considerate; il rapporto tra portata e superficie, espresso in $l/s/km^2$, viene definito portata specifica. In tal modo è stata calcolata la portata specifica relativa al flusso di base estivo, al ruscellamento invernale e alla portata media.

Il bacino del Tevere è stato suddiviso in diversi settori, corrispondenti ai sottobacini delimitati dalle principali stazioni idrometriche. Il sottobacino del Nera-Velino è stato chiuso alla confluenza col Tevere, dove non esiste alcuna stazione di misura: i dati relativi a questo settore sono stati ottenuti sommando ai valori calcolati per la stazione di Macchiagrossa sul Nera, la portata erogata dalle grandi sorgenti di Montoro-Stifone (Fig.7 e Tab.2), e considerando l'area del bacino del Nera chiuso alla confluenza.

Per ciascun settore è stato calcolato e rappresentato schematicamente: il flusso di base estivo, mediato sui valori di luglio, agosto e settembre; il ruscellamento invernale, mediato sui valori di gennaio, febbraio e marzo; la portata media.

La carta del flusso di base estivo (Fig. 8) mette in evidenza che l'alto bacino del Tevere a monte della stazione 9 (Baschi) contribuisce al flusso di base con una portata specifica mediamente inferiore a $1 l/s/km^2$. Il bacino del Chiascio-Topino, parzialmente esteso sulla dorsale carbonatica umbra, dà un contributo di poco inferiore a $2 l/s/km^2$.

Il settore sud-occidentale, costituito dagli apparati vulcanici e da estese coltri alluvionali, fornisce al flusso di base un contributo specifico di circa $5 l/s/km^2$. Le dorsali carbonatiche che occupano il settore sud-orientale danno una portata specifica media compresa tra 10 e $13 l/s/km^2$.

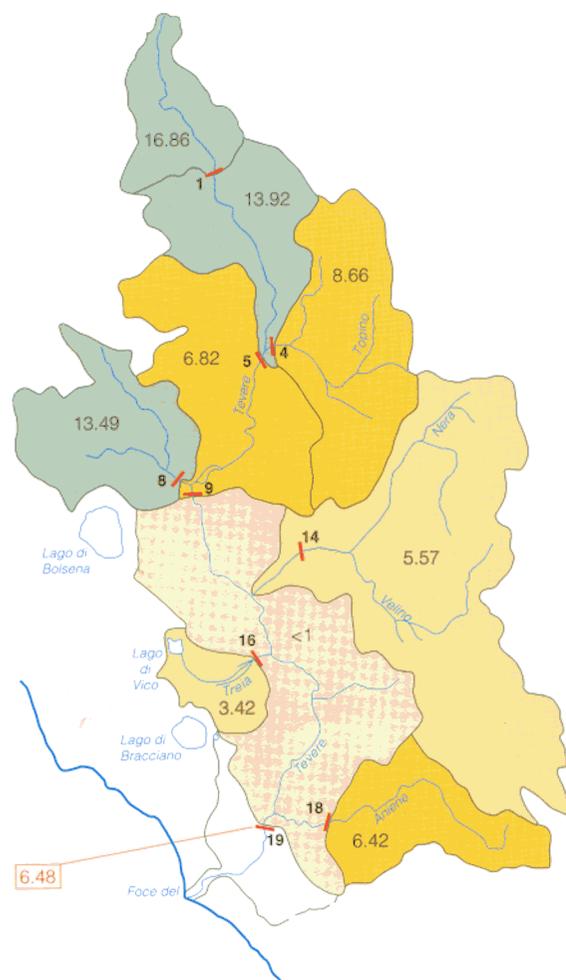
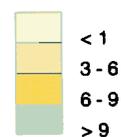


Figura 9
Ruscellamento specifico invernale ($l/s/km^2$) del bacino del Tevere.



In rosso il valore di portata specifica riferito all'intero bacino.

In nero i valori di portata specifica riferiti alle singole porzioni di bacino

Stazioni idrometriche

Il contributo medio del bacino è di circa 6 l/s/km².

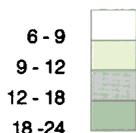
Nella carta del ruscellamento invernale (Fig. 9) le portate specifiche appaiono nettamente più elevate dove il flusso di base è più ridotto. Nell'alto bacino del Tevere il ruscellamento specifico è compreso tra 6 e 17 l/s/km².

Le dorsali carbonatiche forniscono portate specifiche prossime a 6 l/s/km², mentre il bacino del Treia ha valori di poco superiori a 3. Dallo schema risulterebbe che il graben del Tevere non dà contributi significativi al ruscellamento invernale. Questo dato, che non trova giustificazione allo stato attuale delle conoscenze, meriterebbe un'analisi più approfondita, in particolare sull'accuratezza delle misure delle portate di piena nelle diverse stazioni.

Lo schema delle portate medie specifiche (Fig.10) mette in evidenza che i valori più alti (oltre 20 l/s/km²), si riscontrano nelle dorsali carbonatiche dove è più elevata sia la precipitazione che la capacità di assorbimento; seguono i settori dove domina il ruscellamento (Tevere a monte di Ponte Nuovo, Chiascio, Chiani-Paglia) e il bacino vulcanico del Treia, con valori superiori a 9 l/s/km². Un contributo specifico leggermente inferiore è stato calcolato per le zone più depresse (media e bassa valle del Tevere) che ricevono meno afflussi e subiscono maggiori perdite per evapotraspirazione.

È significativo osservare fin d'ora che la portata media specifica di 12,6 l/s/km², relativa all'intero bacino, è circa la metà della portata specifica del Liri-Garigliano (Par. 5.1.5, Fig. 18).

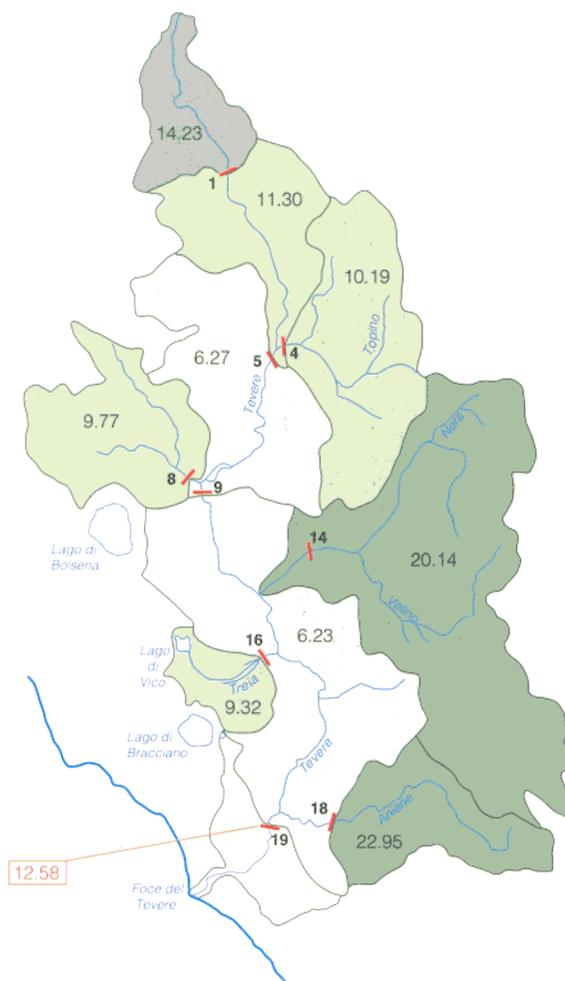
Figura 10
Portate specifiche medie (l/s/km²)
del bacino del Tevere.



In rosso il valore di portata specifica riferito all'intero bacino.

In nero i valori di portata specifica riferiti alle singole porzioni di bacino.

Stazioni idrometriche



5.1.4.5 Analisi delle portate del Tevere a Roma

La scomposizione della portata del Tevere a Roma, effettuata col “metodo delle portate mensili caratteristiche”, è schematizzata nella Figura 11; in Tabella 3 sono indicati i valori numerici mentre in Figura 12 sono mostrati i valori percentuali mensili del flusso di base calcolato, del ruscellamento calcolato e del campo indeterminato.

La linea A, che rappresenta, mese per mese, il deflusso complessivo, mostra il tipico andamento delle portate dei corsi d’acqua dell’Italia centrale, con un massimo nella stagione invernale (358 m³/s in febbraio) e un minimo in estate (125 m³/s in agosto). La portata del Tevere è sempre sostenuta dai cospicui apporti di acque sotterranee provenienti dal sistema Nera-Velino, dall’Aniene, dal Treia e dal drenaggio dell’apparato vulcanico, che hanno un effetto stabilizzante sul regime. La portata media, che non figura nel grafico, è pari a circa 225 m³/s. Il flusso di base calcolato (linea C) non scende sotto 76 m³/s; il ruscellamento calcolato raggiunge i valori massimi, compresi fra 100 e 150 m³/s, nel periodo invernale, per ridursi a valori di poco superiori a 20 m³/s in estate (Tab. 3).

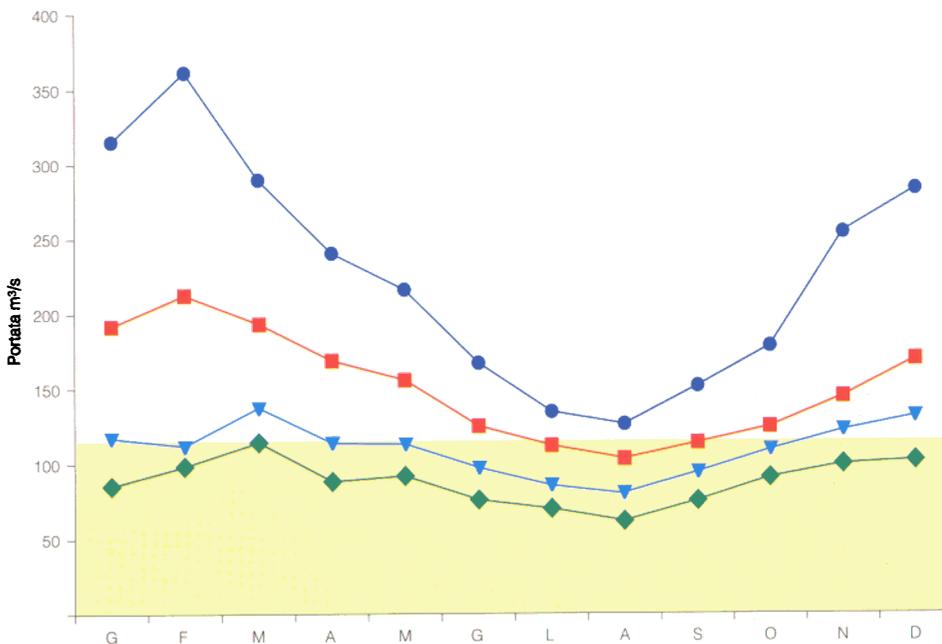
Figura 11
Scomposizione dell'idrogramma mensile. Sezione del fiume Tevere a Roma. Dati del periodo 1940-43, 1945-62, 1964-68, 1970-80

Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate:

- A media delle portate mensili;
- B media delle portate giornaliere minime;
- ▼ C minima delle portate mensili;
- ◆ D minima delle portate giornaliere.

Portata media delle sorgenti del bacino

La figura mette a confronto i valori ottenuti con il “metodo delle portate mensili caratteristiche” e la portata media erogata dalle sorgenti del bacino del Tevere.



È significativo osservare che la portata media delle sorgenti pari a 115 m³/s (BONI *et al.*, 1986) riportata in Figura 11, corrisponde sostanzialmente alla media delle portate giornaliere minime (linea B) nella stagione estiva (108 m³/s). In conclusione col metodo delle portate mensili caratteristiche sono stati calcolati: durante il trimestre invernale 122 m³/s di ruscellamento (pari al 38%), 120 m³/s di flusso di base (pari al 38%) e 78 m³/s non determinati (pari al 24%). Nel trimestre estivo sono stati registrati i seguenti valori: 28 m³/s di ruscellamento (pari al 21%), 84 m³/s di flusso di base (pari al 62%) e 24 m³/s non determinati (pari al 18%). Gran parte del campo indeterminato può essere attribuito al flusso di base nel periodo estivo e al ruscellamento nel periodo invernale.

Le aree che maggiormente contri-

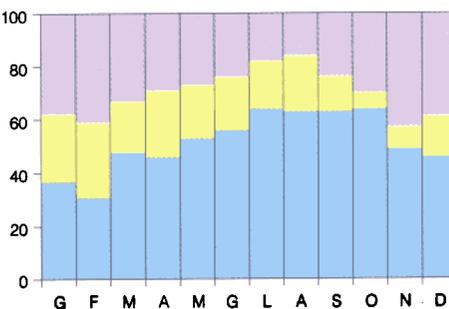


Figura 12
Valori mensili del ruscellamento e del flusso di base espressi in percentuale. Sezione del fiume Tevere a Roma. Dati del periodo 1940-43, 1945-62, 1964-68, 1970-80.

- Ruscellamento calcolato
- Campo indeterminato
- Flusso di base calcolato

Tabella 3
Scomposizione
dell'idrogramma mensile.
Sezione del fiume Tevere a Roma.
Dati del periodo 1940-43, 1945-62,
1964-68, 1970-80

Del periodo considerato, per
ogni mese, vengono indicate:
media delle A
portate mensili;
media delle portate B
giornaliere minime;
minima delle C
portate mensili =
flusso di base calcolato ;
minima delle D
portate giornaliere;
campo indeterminato; B-C
ruscellamento calcolato. A-B

Portate in m ³ /s	A	B	C	D	(B-C)	(A-B)
Gennaio	313,00	191,47	115,00	83,90	76,47	121,53
Febbraio	358,29	210,79	109,00	94,80	101,79	147,50
Marzo	290,76	193,85	137,00	113,00	56,85	96,91
Aprile	243,53	170,47	110,00	89,20	60,47	73,06
Maggio	217,44	155,66	114,00	92,00	41,66	61,78
Giugno	169,28	126,11	95,70	76,10	30,41	43,17
Luglio	135,66	110,79	85,60	70,10	25,19	24,87
Agosto	125,36	103,05	75,90	60,80	27,15	22,31
Settembre	148,29	110,53	91,80	71,10	18,73	37,76
Ottobre	171,76	118,79	107,00	86,60	11,79	52,97
Novembre	247,16	142,10	119,00	98,90	23,10	105,06
Dicembre	277,45	167,97	128,00	99,80	39,97	109,48

buiscono al flusso di base sono le dorsali carbonatiche (bacini del Nera-Velino e dell'Aniene) e gli apparati vulcanici (bacino del Treia) dotati di una elevatissima capacità di immagazzinamento delle acque meteoriche, che vengono restituite con regolarità attraverso numerose grandi sorgenti distribuite nell'area. Nel settore settentrionale dominano litotipi prevalentemente marnoso-argilloso-arenacei, che hanno scarsa attitudine ad immagazzinare le acque sotterranee e che favoriscono quindi i processi di ruscellamento superficiale. Nell'alto bacino del Tevere mancano sorgenti significative se si fa eccezione per il bacino del Topino, che nel settore orientale interessa la dorsale carbonatica umbra.

5. 5 Bacini del Liri-Garigliano e del Volturno

.5. Bacino del Liri-Garigliano

Il bacino del Liri-Garigliano si estende nel Lazio meridionale, in Abruzzo e in Campania su una superficie di quasi 5000 km². Il fiume Liri nasce nell'alta Val Roveto, una stretta depressione che separa la Marsica occidentale dalla catena dei Monti Simbruini-Ernici. Riceve i principali contributi dagli affluenti di sinistra: il Fibreno, che si immette tra Sora e Isola Liri, il Gari, che confluisce nel Liri nei pressi di Cassino e il Peccia che si immette poco prima di

Tabella 4
Stazioni idrometriche
del bacino del fiume Garigliano

Stazione	Quota (m)	Area del bacino (km ²)	Periodo considerato	Portata media (m ³ /s)	Flusso di base calcolato (m ³ /s)	Campo indeterminato (m ³ /s)	Ruscellamento calcolato (m ³ /s)
20 Liri a Castronuovo	390	1070	26-28 32-42	15,1	7,10	3,67	4,34
21 Liri a Sora	279	1329	29-42 48-64 66-70	19,5	6,17	5,94	7,38
22 Fibreno a Brocco	288	48	23-42 59-70	10,8	6,97	3,05	0,81
23 Liri a Isola Liri	244	1410	30-42 49-62	29,2	14,3	6,56	8,34
24 Sacco a Ceccano	130	923	59-70	14,1	3,08	1,22	9,75
25 Cosa a Ceccano	120	324	59-70	2,04	0,46	0,32	1,27
26 Melfa a Picinisco	450	42	25-42 46-48 50-53	3,83	1,65	1,01	1,18
27 Melfa a Atina	351,5	77	23-42 48-53	4,18	1,35	1,16	1,66
28 Rio Mollo a Settignano	328	71	65-70	0,66	0,09	0,09	0,48
29 Liri a S. Apollinare	19,7	4180	33-41	86,3	35,3	14,6	36,5
30 Rapido a Sant'Elia	100	69	57-70	1,85	1,29	0,29	0,27
31 Gari a Cassino	29		65-70	18,9	15,9	1,40	1,54
32 Garigliano a Ponte S. Ambrogio	11,5	4514	31-42	109	50,9	17,0	40,9
33 Garigliano a Suio	2	4763	33-42	123	74,3	7,60	40,6
34 Volturno a Canello arnone	35	5888	31-42 50-53	104	51,7	9,66	47,3

Suio. Dopo la confluenza con il Gari il fiume prende il nome di Garigliano. Questi importanti affluenti hanno origine da grandi sorgenti alimentate da estesi acquiferi posti sul versante nord-orientale del bacino. Contributi minori provengono dal Sacco-Cosa, affluente di destra che raccoglie le acque della Valle Latina, e dal Melfa, che nasce sui rilievi delle Mainarde. La dorsale carbonatica dei Volsci, che limita il bacino a Sud-Ovest, sulla base delle conoscenze finora acquisite, sembra dare un contributo molto limitato alla portata del fiume.

La superficie del bacino, a Suio, è di 4763 km², di cui circa 800 sono costituiti dalla Conca del Fucino che, in epoca romana, è stata artificialmente collegata al Liri tramite l'emissario Claudio, attualmente sostituito da una condotta idroelettrica che sfocia nei pressi di Canistro, a monte di Castronuovo.

Per valutare l'entità del ruscellamento e del flusso di base nei vari settori del bacino sono stati analizzati, col metodo delle portate mensili caratteristiche, i dati idrometrici relativi a 14 stazioni di misura del Servizio Idrografico. In Tabella 4 vengono indicati, per ogni stazione idrometrica, il nome, la quota dello zero idrometrico, l'area del bacino sotteso, il periodo di funzionamento considerato, variabile da una stazione all'altra e spesso discontinuo; vengono inoltre riportati: la portata media, il flusso di base calcolato, il campo indeterminato, il ruscellamento calcolato, ottenuti col metodo di scomposizione delle portate mensili caratteristiche.

5.1.5.2 Analisi comparativa dei dati ottenuti dalla scomposizione degli idrogrammi di tutte le stazioni situate lungo l'asta del Liri-Garigliano.

Le portate mensili (Fig. 13) e le medie delle portate giornaliere minime (Fig. 14) per le 6 stazioni situate lungo l'asta principale del Liri-Garigliano, sono state poste a confronto per valutare gli incrementi della portata media e della portata di magra ordinaria lungo l'alveo; i numeri si riferiscono alle stazioni elencate in Tabella 4. Le frecce indicano la posizione delle principali confluenze, rispetto alle stazioni. Per ottenere un confronto significativo è stato necessario selezionare i dati riferiti all'unico periodo di contemporaneo funzionamento delle 6 stazioni considerate (1933-41).

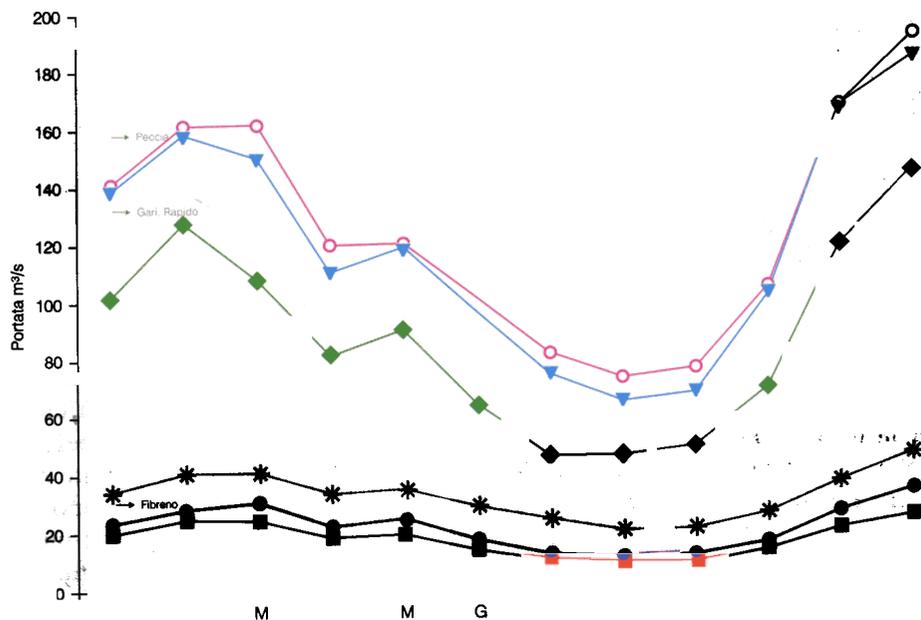
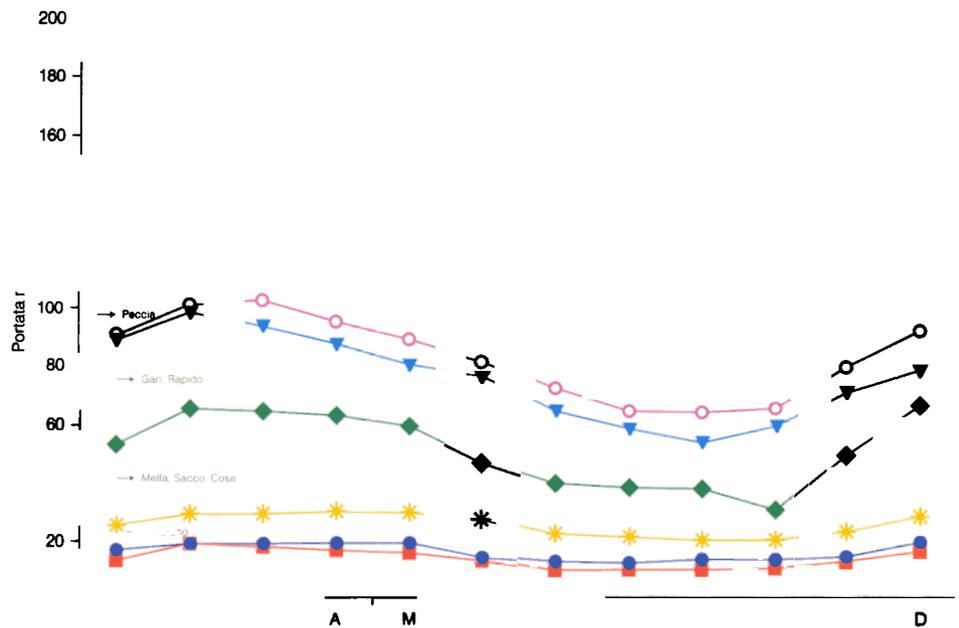


Figura 13
Bacino del fiume Garigliano
Confronto della media
della portata mensile
in stazioni successive
per il periodo 1933-41

- 33 Garigliano a Suio
- ▼ 32 Garigliano a P.S. Ambrogio
- ◆ 29 Liri a S. Apollinare
- * 23 Liri a Isola Liri
- 21 Liri a Sora
- 20 Liri a Castronuovo

Figura 14
 Bacino del fiume Garigliano
 Confronto della media
 delle portate giornaliere
 minime rappresentative
 della portata di magra ordinaria
 in stazioni successive
 per il periodo 1933-41

- Garigliano a Suio 33 ○
- Garigliano a P.S. Ambrogio 32 ▼
- Liri a S. Apollinare 29 ◆
- Liri a Isola Liri 23 *
- Liri a Sora 21 ●
- Liri a Castronuovo 20 ■



Dal confronto dei valori medi mensili (Fig.13) si osserva un graduale incremento delle portate da monte verso valle, più sensibile in autunno-inverno, specie a valle di Isola Liri. Le portate estive a Castronuovo sono di poco inferiori a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, sostenute dalle sorgenti ubicate nella Piana del Fucino. Aumentano quindi gradualmente verso valle, grazie ai contributi dei vari affluenti, fino ad oltre $70 \text{ m}^3/\text{s}$ a Suio. Le portate medie di dicembre passano da circa $20 \text{ m}^3/\text{s}$ a Castronuovo a $190 \text{ m}^3/\text{s}$ a Suio. Il rapporto tra le portate medie invernali e quelle estive è sempre inferiore a 3, il che indica una buona stabilità del regime.

I valori medi delle portate giornaliere minime sono posti a confronto in Figura 14. Le portate considerate sono la somma del flusso di base calcolato con il campo indeterminato. Questi valori sono considerati rappresentativi del flusso di base reale solo in periodo estivo. Rispetto al grafico di Figura 13, che considera i deflussi complessivi, si osserva una minore variabilità stagionale con portate sostenute durante tutto l'anno, indice della marcata incidenza del flusso di base sulla portata del Liri-Garigliano. Il flusso di base estivo passa da valori prossimi a $8 \text{ m}^3/\text{s}$ a Castronuovo a circa $60 \text{ m}^3/\text{s}$ a Suio. I maggiori incrementi sono legati all'immissione del Fibreno ($8-10 \text{ m}^3/\text{s}$, dovuti al rilevante contributo delle sorgenti di Posta-Fibreno) e del Gari-Rapido ($20 \text{ m}^3/\text{s}$, provenienti dalle sorgenti di Cassino e dall'alto Rapido). Tra Isola Liri e S. Apollinare il forte incremento nel flusso di base estivo (circa $20 \text{ m}^3/\text{s}$) è giustificato solo in parte con l'immissione dei fiumi Sacco, Cosa e Melfa ($5 \text{ m}^3/\text{s}$) e con l'apporto di alcune sorgenti minori (circa $5 \text{ m}^3/\text{s}$ in totale).

I rimanenti $10 \text{ m}^3/\text{s}$ d'incremento, non sono attribuibili né agli affluenti, né alle sorgenti già note. Una campagna di misure, effettuata nell'estate 1991, non ha individuato alcun apprezzabile incremento di portata nel tratto in esame. L'esecuzione delle misure risulta peraltro estremamente difficile per la forte variabilità del deflusso dovuta all'esercizio di centrali idroelettriche. Tra Ponte S.Ambrogio e Suio l'incremento medio delle portate di magra è valutato circa $8 \text{ m}^3/\text{s}$. In questo tratto si immette nel Garigliano il Peccia, alimentato da sorgenti con portata media pari a circa $6 \text{ m}^3/\text{s}$. Il rapporto tra i valori invernali e quelli estivi è sempre inferiore a 2 per tutte le stazioni.

5. 5.3 Flusso di base estivo e ruscellamento invernale nel bacino del Liri-Garigliano

In Figura 15 sono indicate le stazioni idrometriche del bacino del Garigliano; la numerazione si riferisce alla Tabella 4. Sono inoltre riportate le sorgenti del bacino, in maggioranza puntuali, con lo stesso numero che figura in Tabella 5. Di ciascuna stazione viene riportato il flusso di base del trimestre estivo (luglio-agosto-settembre) e il ruscellamento del trimestre invernale (gennaio-febbraio-marzo), calcolato sull'intero periodo di funzionamento degli idrometri che, come risulta dalla Tabella 4, è molto variabile da stazione a stazione. Nonostante questo limite, è significativo il confronto fra i valori calcolati: il rapporto fra ruscellamento calcolato del trimestre invernale e flusso di base del trimestre estivo è superiore a 10 nel bacino del Sacco, dove dominano le acque superficiali e le magre estive hanno valori molto ridotti. Nel resto del bacino generalmente il rapporto tra i due valori è inferiore a 2. Tutte le grandi sorgenti (Fibreno, Gari, Peccia) sono ubicate ai margini delle strutture carbonatiche.

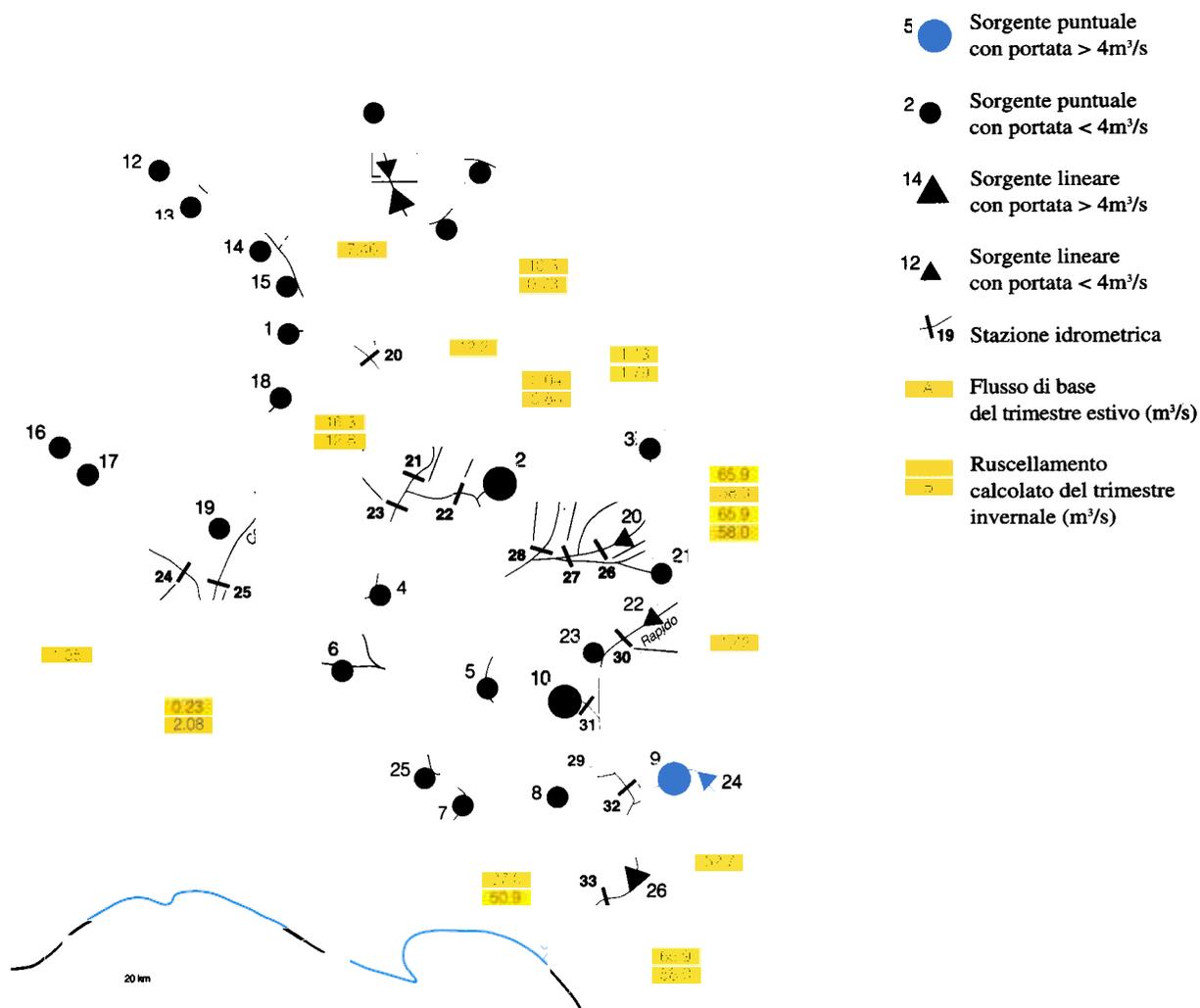


Figura 15
Bacino del fiume Garigliano. Ruscellamento invernale e flusso di base estivo delle stazioni idrometriche considerate. La numerazione delle stazioni e delle sorgenti si riferisce alle Tabelle 4 e 5

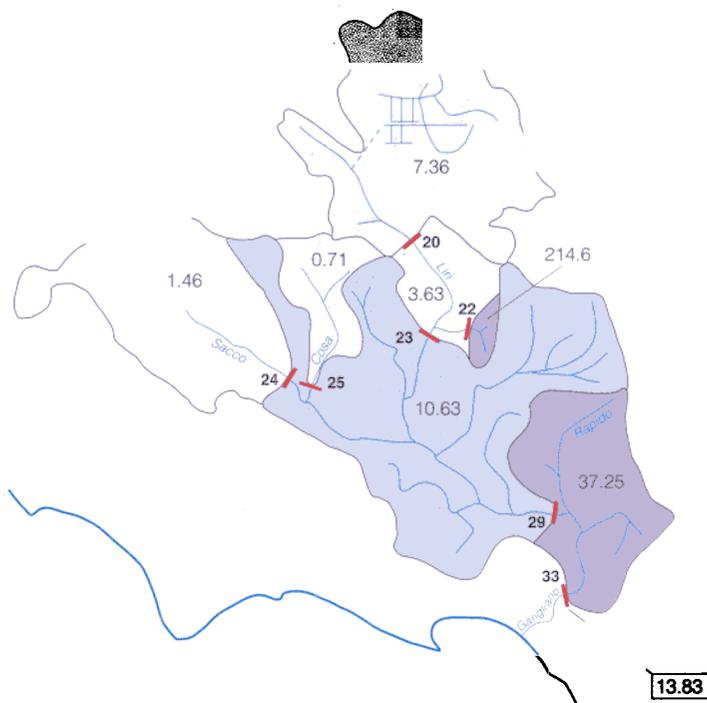
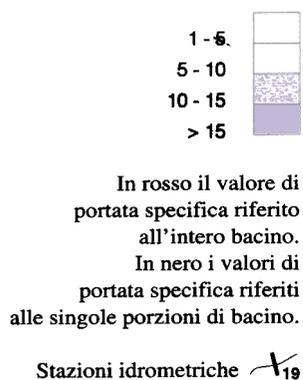
Tabella 5
Elenco delle sorgenti principali
del bacino del Garigliano.

N	Nome	Quota (m)	T (°C)	Portata media (m ³ /s)
1	Gruppo Pantanecce	780	9	1,6
2	Gruppo Lago Fibreno	295	10	9,8
3	Madonna di Canneto	1030	6	1,2
4	Bucone	140	14	1,8
5	Capodacqua	112	13	1,2
6	Obaco	170	–	0,2
7	Le Bocche	70	12	0,8
8	S. Giorgio a Liri	39	13	0,7
9	Gruppo f. Peccia	27	14	5,5
10	Gruppo f. Gari	40-35	13	18
11	Gruppo Fucino	650	10	8,4
12	Verrecchie	1020	7	0,2
13	Liri	950	7	1
14	Rio Sonno	900	8	0,1
15	Sponga	830	8	0,4
16	Tufano	284	14	0,7
17	Le Monache	230	–	0,3
18	Alto Cosa	700-150	7	0,9
19	Laghetto	140	–	0,2
20	Alto Melfa	1000-450	8	0,8
21	Capodacqua	800-700	9	0,3
22	Rapido	300-100	9	1,5
23	Salauca	75	13	0,2
24	Alto Peccia	100	12	0,5
25	Caldaia	75	9	0,3
26	Gole del Garigliano	16-12	17	2

5.1.5.4 Rappresentazione planimetrica della portata specifica del flusso di base estivo, del ruscellamento invernale e della portata media

Sono stati ricavati i valori del flusso di base nel trimestre estivo (luglio-agosto-settembre), del ruscellamento calcolato nel trimestre invernale (gennaio-febbraio-marzo) e delle portate medie, espressi in l/s/km², nel bacino del Liri-Garigliano, con lo stesso metodo utilizzato per il Tevere. Nelle Figure 16, 17 e 18 è sinteticamente mostrata la distribuzione delle risorse idriche nel territorio.

Figura 16
Flusso di base
specifico estivo (l/s/km²)
del bacino
del Liri-Garigliano.



In Figura 16 sono mostrati i valori del flusso di base del trimestre estivo.

I valori più elevati si registrano in corrispondenza delle grandi sorgenti. La stazione 22, Fibreno a Brocco, registra una portata specifica del flusso di base estivo di 215 l/s/km²: il bacino idrogeologico comprende vaste aree di ricarica che si estendono ben oltre i limiti del bacino imbrifero. Questa stazione misura infatti una grande sorgente con portata media molto costante, di circa 10 m³/s, con un bacino imbrifero ridottissimo (48 km²).

Il settore compreso tra la stazione 29 (S. Apollinare) e la stazione 33 (Garigliano a Suio), che registra le portate del Gari e del Peccia, fornisce un flusso di base estivo pari a circa 37 l/s/km². Anche in questo caso l'elevatissimo valore del flusso di base specifico è dovuto alla presenza di grandi sorgenti (Gari, Peccia) che hanno il loro bacino di alimentazione esteso oltre i limiti del territorio considerato.

La porzione di bacino compresa tra Isola Liri e S. Apollinare, esclusi gli affluenti, eroga circa 11 l/s/km², mentre l'alto Liri, compresa la Piana del Fucino, ne fornisce 7. Valori minimi, inferiori a 4, provengono dal Sacco, dal Cosa e dal settore compreso tra Sora e Isola Liri. Il valore medio di flusso di base estivo erogato dal bacino è di poco inferiore a 14 l/s/km².

In Figura 17 vengono individuate le zone in cui, nel trimestre invernale, prevale il ruscellamento. Il valore più elevato, circa 17 l/s/km², si registra nel bacino del Sacco (stazione 24), dove dominano in affioramento formazioni argilloso-arenacee, poco permeabili. Valori intermedi (circa 13 l/s/km²) si riscontrano nel settore compreso tra Castronuovo e S. Apollinare. I valori più bassi (inferiori a 9 l/s/km²) si osservano per il Liri a monte di Castronuovo, il bacino del Cosa e il bacino del Garigliano tra S. Apollinare e Suio, compreso il sistema Gari-Rapido. L'elevato valore di ruscellamento invernale risultante per il Fibreno (15 l/s/km²), è dovuto al fatto che il ridottissimo bacino imbrifero è in gran parte occupato dal lago di Posta-Fibreno e da depositi prevalentemente argilloso-arenacei. Il valore ottenuto ha scarso significato, considerato inoltre che il ruscellamento calcolato rappresenta, in effetti, solo il 7% della portata totale. Il valore medio del bacino è di circa 12 l/s/km².

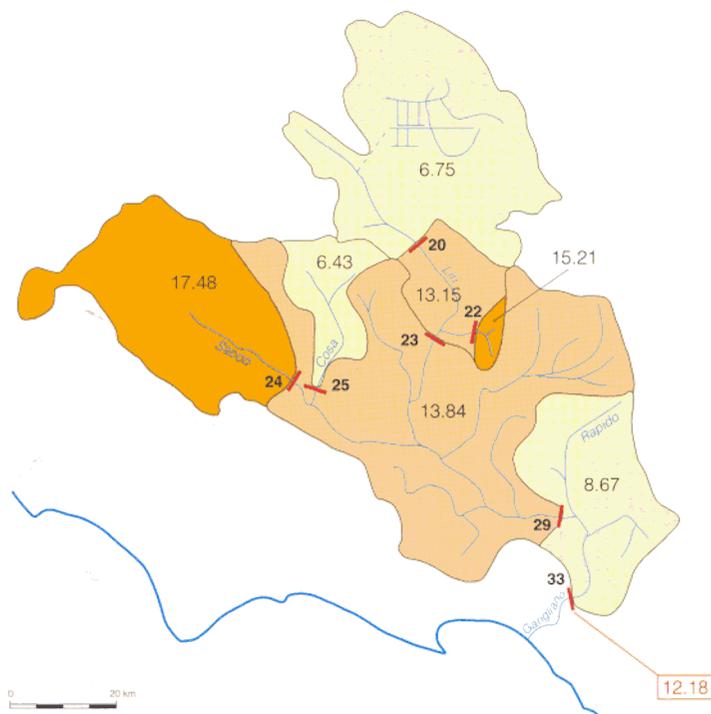
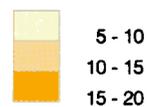


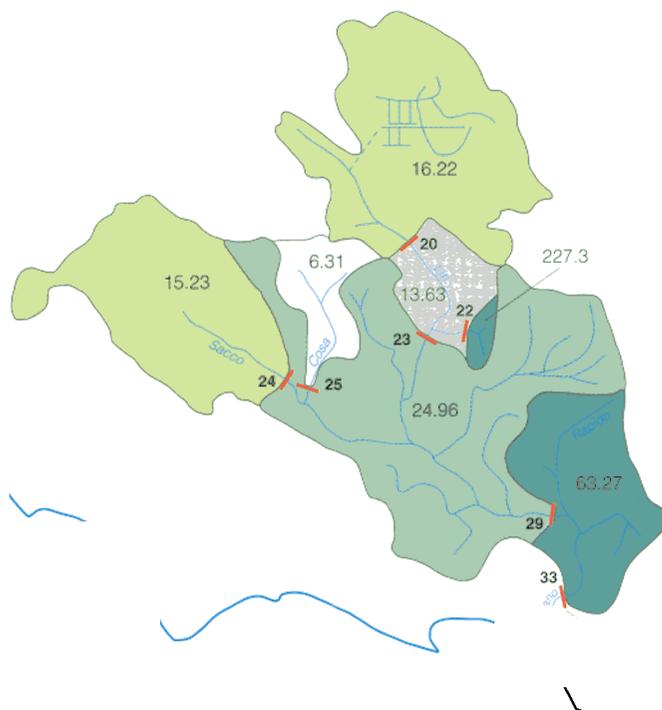
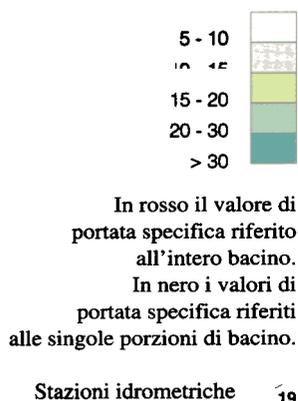
Figura 17
Ruscellamento
specifico invernale (l/s/km²)
del bacino
del Liri-Garigliano.



In rosso il valore di portata specifica riferito all'intero bacino.
In nero i valori di portata specifica riferiti alle singole porzioni di bacino.

19 Stazioni idrometriche

Figura 18
Portate medie
specifiche ($l/s/km^2$) del bacino
del Liri-Garigliano.



In Figura 18 è mostrata la distribuzione delle portate medie. I settori con i più alti valori sono quelli in cui sono presenti grandi sorgenti ed il bacino imbrifero sotteso è di limitata estensione. Per il bacino del Fibreno, con portata media di $227 l/s/km^2$ e per il settore terminale, con $63 l/s/km^2$, valgono le considerazioni già fatte a proposito del flusso di base. Valori intermedi ($15-25 l/s/km^2$) si registrano nei rimanenti settori del bacino (Liri a Castronuovo, compresa la Conca del Fucino, bacino del Sacco, bacino del Liri tra Isola Liri e S.Apollinare). Il valore più basso di portata specifica viene registrato nel bacino del Cosa, con $6,3 l/s/km^2$. Questo settore, che si sviluppa prevalentemente su terreni carbonatici, è certamente esteso nell'area di ricarica di sorgenti poste al di fuori del suo bacino imbrifero.

La portata specifica media del bacino è di $25,8 l/s/km^2$, il doppio di quanto fornito dal bacino del Tevere: ciò è dovuto in parte alle precipitazioni più cospicue ($1400 mm/anno$ nel bacino del Liri-Garigliano contro 1040 per il Tevere) in parte ad una minore evapotraspirazione, dovuta ad una quota media leggermente più elevata ($663 m$ contro $524 m$ del bacino del Tevere) e certamente anche alla presenza di grandi sorgenti alimentate da aree esterne ai limiti del bacino idrografico.

5.1.5.5 Analisi delle portate del Garigliano a Suio

Nella Figura 19 è riportato il risultato della scomposizione della portata per il Garigliano a Suio effettuata col metodo delle portate mensili caratteristiche; in Tabella 6 sono indicati i valori di portata mentre in Figura 20 sono mostrati i valori percentuali mensili del flusso di base calcolato, del ruscellamento calcolato e del campo indeterminato.

Il deflusso complessivo (linea A) presenta un minimo marcato in estate ed uno meno evidente in gennaio, mostrando un regime di deflusso tipico dei corsi d'acqua dell'Italia centrale. I valori variano tra circa $75 m^3/s$ in estate e oltre $180 m^3/s$ in dicembre (Tab. 6). La linea B (media delle portate giornaliere minime) ha un andamento piuttosto regolare, con valori minimi in estate ($60 m^3/s$) e massimi in marzo (circa $100 m^3/s$). La linea C (minima delle portate mensili) non si discosta molto da quella appena descritta.

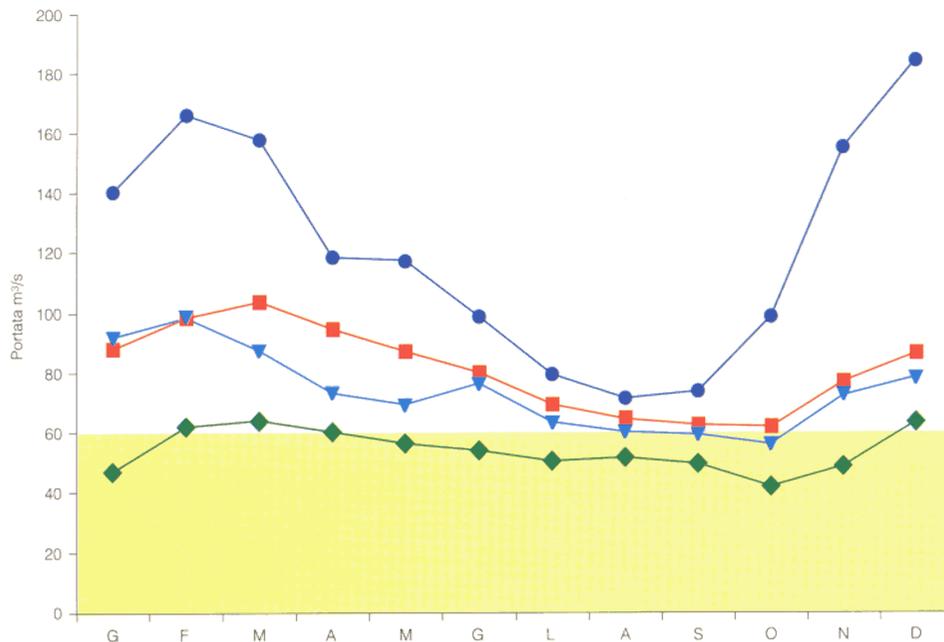


Figura 9
Scomposizione dell'idrogramma mensile. Sezione del fiume Garigliano a Suio. Dati del periodo 1933-42. Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate:

- A media delle portate mensili;
- B media delle portate giornaliere minime;
- ▼ C minima delle portate mensili;
- ◆ D minima delle portate giornaliere.

Portata media delle sorgenti del bacino.

La figura mette a confronto i valori ottenuti con il "metodo delle portate mensili caratteristiche" e la portata media erogata dalle sorgenti del bacino del Garigliano

Portate in m³/s	A	B	C	D	(B-C)	(A-B)
Gennaio	141,10	88,80	# 93,00	48,00	52,30	
Febbraio	166,25	99,32	98,50	63,00	0,82	66,93
Marzo	159,36	104,48	89,90	66,00	14,58	54,88
Aprile	120,46	96,18	75,00	61,20	21,18	24,28
Maggio	118,86	88,70	69,20	57,80	19,50	30,16
Giugno	100,27	80,97	78,20	55,40	2,77	19,30
Luglio	81,20	70,73	64,90	51,60	5,83	10,47
Agosto	73,13	64,33	60,50	52,60	3,83	8,80
Settembre	73,60	62,55	60,20	50,60	2,35	11,05
Ottobre	97,00	63,01	56,10	43,20	6,91	33,99
Novembre	154,67	76,59	72,30	49,40	4,29	78,08
Dicembre	184,24	87,62	78,50	64,00	9,12	96,62

Tabella 6
Scomposizione dell'idrogramma mensile. Sezione del fiume Garigliano a Suio. Dati del periodo 1933-42. Il valore contrassegnato dal simbolo # è da considerarsi anomalo. Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate:

- A media delle portate mensili;
- B media delle portate giornaliere minime;
- C minima delle portate mensili = flusso di base calcolato;
- D minima delle portate giornaliere;
- (B-C) campo indeterminato;
- (A-B) ruscellamento calcolato.

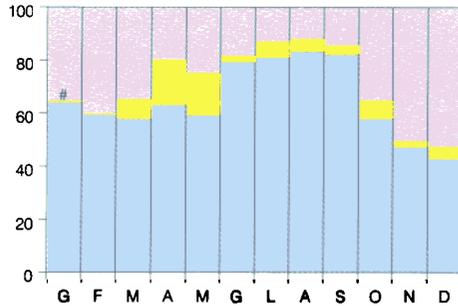
Solo nel mese di gennaio si riscontra un valore della linea C leggermente superiore a quello della linea B per lo stesso mese, per cui il campo indeterminato, generalmente compreso tra le due linee, in questo caso si annulla. La linea D (minima delle portate giornaliere) ha un andamento molto regolare, con valori compresi tra 40 e 65 m³/s. In Figura 20 gli stessi valori sono confrontati in termini percentuali. Il flusso di base calcolato oscilla tra il 60% della portata in inverno ed il 90% in estate, mentre il ruscellamento calcolato è compreso tra il 40% in inverno e il 10% in estate. Il campo indeterminato è particolarmente ristretto.

La somma delle portate erogate dalle sorgenti note nel bacino è pari a 59 m³/s (BONI *et al.*, 1986). Questo valore, riferibile al periodo di magra, riportato per confronto in Figura 19, risulta quasi coincidente col flusso di base calcolato per il periodo estivo.

In sintesi, col metodo delle portate mensili caratteristiche, sono stati calcolati: 58 m³/s di ruscellamento, 94 m³/s di flusso di base e 5 m³/s non determinati nel trimestre invernale; 10 m³/s di ruscellamento, 62 m³/s di flusso di base e 4 m³/s non determinati nel trimestre estivo (Fig.15), pari al 37% di ruscellamento e 60% di flusso di base in inverno e al 13% di ruscellamento e 82% di flusso di base in estate (Fig.20).

Figura 20
Valori mensili del ruscellamento e del flusso di base espressi in percentuale. Sezione del fiume Garigliano a Suio. Dati del periodo 1933-42. Il valore contrassegnato dal simbolo # è da considerarsi anomalo.

Ruscellamento calcolato ■
Campo indeterminato ■
Flusso di base calcolato ■



L'analisi dei dati idrologici effettuata mostra che il Liri-Garigliano ha un regime molto regolare e sempre sostenuto da un elevato flusso di base, in accordo con la omogenea situazione idrogeologica. Fa eccezione il sistema Sacco-Cosa, caratterizzato da una variabilità molto maggiore del regime di flusso.

Nell'area sono distribuite grandi sorgenti con portate estremamente stabili durante tutto l'anno, alimentate prevalentemente dalle dorsali carbonatiche del settore orientale del bacino. Il contributo proveniente dal settore occidentale e da quello meridionale è proporzionalmente molto ridotto. Facendo il confronto con il Tevere si nota, nel bacino del Liri-Garigliano, una maggiore stabilità delle portate, una più omogenea distribuzione delle risorse idriche sotterranee, una portata specifica nettamente più elevata e valori medi assoluti più bassi, dovuti al fatto che la superficie del bacino idrografico è circa un quarto rispetto a quella del Tevere. Dal 1954 e quindi in epoca successiva a quella del funzionamento dell'idrometro di Suio, è entrata in funzione, nell'adiacente bacino del Volturno, una derivazione idroelettrica che versa nel bacino del Garigliano una portata media pari a 19 m³/s, variabile da circa 26 in gennaio-febbraio a circa 10 nel mese di agosto.

5.1.5.6 Bacino del Volturno

Il Volturno, con un bacino di 5558 km² alla sezione di Cancellone Arnone, si versa nel Tirreno presso i confini del Lazio meridionale. Sono stati analizzati i dati della sola sezione terminale, per valutare gli apporti a mare, suddivisi in acque sotterranee e acque di ruscellamento. I dati disponibili vanno dal 1931 al 1970 con qualche lacuna.

Dal 1954, parte dei deflussi nell'alto corso del fiume, viene derivata per uso idroelettrico (centrale di Montelungo) verso il bacino del Liri-Garigliano. La portata media derivata nel periodo 1957-1970 (dati ENEL per la sezione di

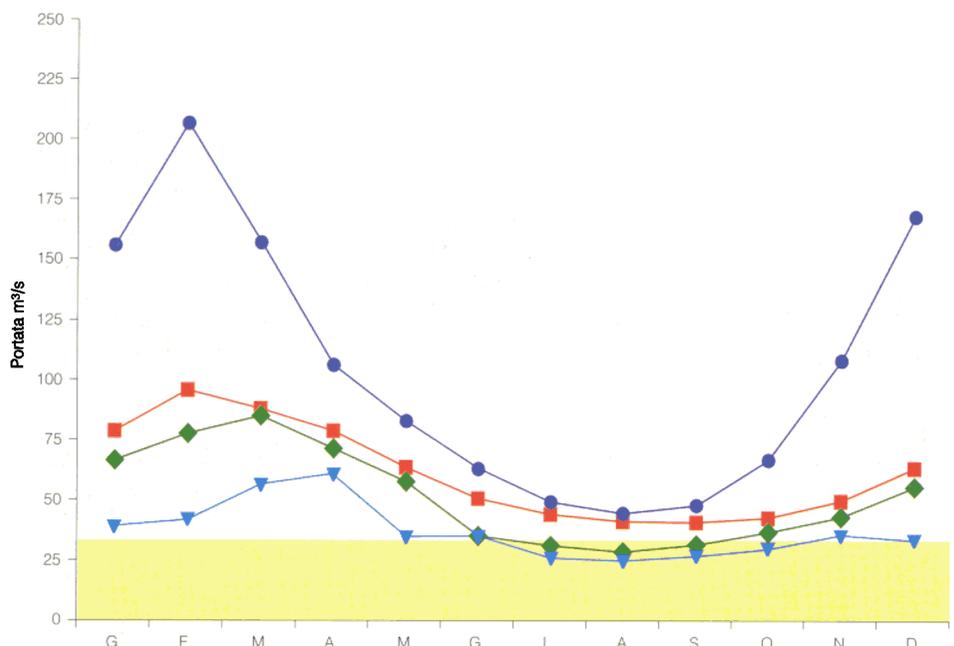
Figura 21
Scomposizione dell'idrogramma mensile. Sezione del fiume Volturno a Cancellone Arnone. Dati del periodo 1931-42 e 1950-53.

Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate:

- media delle portate mensili; A ●
- media delle portate giornaliere minime; B ■
- minima delle portate mensili; C ▼
- minima delle portate giornaliere; D ◆

Portata media delle sorgenti del bacino

La figura mette a confronto i valori ottenuti con il "metodo delle portate mensili caratteristiche" e la portata media erogata dalle sorgenti del bacino del Volturno.



Amorosi) è di 19 m³/s, con massimi di circa 26 m³/s in gennaio-febbraio e minimi di circa 10 in agosto.

Dal 1963 vengono captate per uso potabile le sorgenti di Capo Torano, situate a monte di Amorosi e, dal 1964, le sorgenti di Cassano Irpino, che si riversavano precedentemente nel Volturno tra Amorosi e Cancellone Arnone. Inoltre durante l'intero anno l'andamento dei deflussi viene alterato dall'esercizio di invasi posti a monte della sezione di misura e nel periodo estivo vengono effettuati prelievi a scopo irriguo.

L'analisi dei dati idrologici mensili è stata effettuata separatamente per i due periodi, precedente e successivo l'entrata in funzione della derivazione di

Portate in m ³ /s	A	B	C	D	(B-C)	(A-B)
Gennaio	155,87	78,40	67,40	38,20	11,00	77,47
Febbraio	205,06	96,00	77,20	41,40	18,80	109,06
Marzo	160,73	87,51	85,60	55,70	1,91	73,22
Aprile	109,23	80,23	71,90	60,80	8,33	29,00
Maggio	85,17	65,04	60,00	35,80	5,04	20,13
Giugno	65,24	52,28	36,40	34,60	15,88	12,96
Luglio	49,49	43,77	30,50	25,90	13,27	5,72
Agosto	44,50	41,65	29,00	24,60	12,65	2,85
Settembre	46,22	40,01	30,80	25,90	9,21	6,21
Ottobre	62,80	42,00	36,50	28,60	5,50	20,80
Novembre	103,50	47,56	41,00	34,60	6,56	55,94
Dicembre	163,18	61,77	54,00	32,60	7,77	101,41

Montelungo. Vengono qui riportati solo i diagrammi elaborati per il periodo precedente tale evento, rappresentativi del naturale regime di deflusso del Volturno (Fig. 21, 22 e Tab. 7).

In Figura 21 la linea A, che rappresenta il deflusso complessivo, presenta un picco in febbraio (oltre 200 m³/s) ed un marcato minimo in agosto (45 m³/s), con un regime di portata evidentemente influenzato dalle acque di ruscellamento. La portata media è pari a 104 m³/s. La linea B (media delle portate giornaliere minime) si discosta molto dalla precedente nel periodo autunno-inverno, mentre assume valori prossimi alla media delle portate mensili nella stagione arida. La linea C (minima delle portate mensili) segue con una certa regolarità la linea B. I valori della linea D (minima delle portate giornaliere) oscillano attorno ai 30 m³/s per buona parte dell'anno, raggiungendo valori pari a 60 m³/s in marzo-aprile.

Sono stati calcolati per il periodo precedente l'entrata in funzione della derivazione di Montelungo, un flusso di base pari a 40 m³/s in estate, mentre il ruscellamento calcolato è pari a 80 m³/s mediamente nel trimestre invernale e 5 m³/s nel trimestre estivo. La portata media delle sorgenti note nel bacino è pari a 35 m³/s (BONI *et al.*, 1986), di poco inferiore ai valori estivi della media delle portate giornaliere minime. In Figura 22 si osserva che, in valori percentuali, il flusso di base oscilla tra il 40% della portata in inverno e il 60% in estate, mentre il ruscellamento è pari a circa il 60% della portata in inverno e il 10% in estate.

Nel periodo successivo all'entrata in funzione della derivazione di Montelungo, il regime di flusso del Volturno risulta notevolmente alterato. La portata complessiva è diminuita. Gli ingenti prelievi idroelettrici e municipali incidono prevalentemente sul

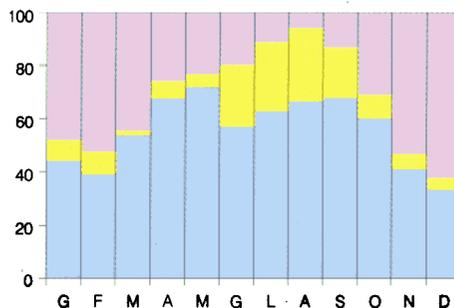


Tabella 7
Scomposizione dell'idrogramma mensile. Sezione del fiume Volturno a Cancellone Arnone. Dati del periodo 1931-42 e 1950-53. Del periodo considerato, per ogni mese, vengono indicate:

- A media delle portate mensili;
- B media delle portate giornaliere minime;
- C minima delle portate mensili = flusso di base calcolato;
- D minima delle portate giornaliere;
- (B-C) campo indeterminato;
- (A-B) ruscellamento calcolato.

Figura 22
Valori mensili del ruscellamento e del flusso di base espressi in percentuale. Sezione del fiume Volturno a Cancellone Arnone. Dati del periodo 1931-42 e 1950-53, precedente alla derivazione idroelettrica verso il Garigliano.

- Ruscellamento calcolato
- Campo indeterminato
- Flusso di base calcolato

flusso di base. Il bacino del Volturno fornisce attualmente un contributo medio annuo di 84 m³/s, pari a 15 l/s/km². Di questi nella stagione invernale il 57% è dovuto alle acque di superficie e il 28% alle acque sotterranee, corrispondenti in valori assoluti rispettivamente a 85 e 42 m³/s; nella stagione estiva le portate scendono nettamente, riducendosi a 8 m³/s (flusso di base) e 4 m³/s (ruscellamento).

5.6 I bacini minori del Lazio

Il Tevere, il Garigliano e il Volturno, versano a mare circa l'86% delle acque continentali. Il restante 14%, pari a circa 74 m³/s, è il contributo medio di tutti gli altri corsi d'acqua e delle sorgenti sottomarine distribuite lungo la costa. L'incidenza di questi apporti è quindi decisamente secondaria nell'ambito del bilancio idrologico della regione, come ci si può attendere considerando la limitata estensione dei bacini idrografici minori.

I dati di portata giornaliera, misurati dal Servizio Idrografico nei corsi d'acqua minori del Lazio, sono stati elaborati col metodo delle portate mensili caratteristiche. Per le cinque stazioni idrometriche disponibili (Tab.8) vengono indicati: il nome; la quota dello zero idrometrico; l'area del bacino sotteso; il periodo di funzionamento; la portata media, il flusso di base calcolato, il campo indeterminato ed il ruscellamento calcolato ricavati col "metodo delle portate mensili caratteristiche".

Procedendo da Nord verso Sud, il primo corso d'acqua di rilevante importanza che sfocia lungo la costa del Lazio è il fiume Fiora, misurato da una sta-

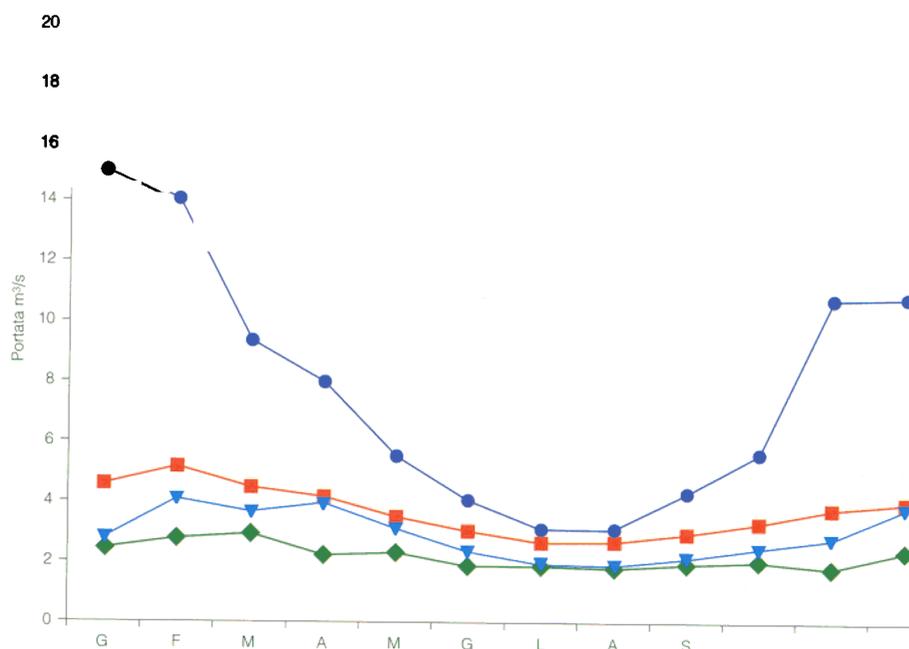
Tabella 8
Stazioni idrometriche
dei bacini minori

N	Stazione	Quota (m)	Area del bacino (km ²)	Periodo considerato	Portata media (m ³ /s)	Flusso di base calcolato (m ³ /s)	Campo indeterminato (m ³ /s)	Ruscellamento calcolato (m ³ /s)
35	Fiora a Montalto di Castro	0	818	64-66 68 70-80	7,81	2,95	0,78	4,08
36	Marta a Ponte della Cartiera	299	273	48-62 64-68 70-71 73-80	2,49	0,95	1,10	0,44
37	Marta alla Centrale di Traponzo	48	851	40-43 46-62 64-68 70-72	7,33	3,73	1,13	2,47
38	Mignone a Rota	110	220	64-68 70-75	2,19	0,60	0,15	1,45
39	Amaseno a Fossanova	4	382	51-53 64-68 70	6,85	2,68	0,84	3,32

Figura 23
Scomposizione
dell'idrogramma mensile.
Sezione del fiume
Fiora a Montalto di Castro.
Dati del periodo 1964-66,
1968, 1970-80.

Del periodo considerato, per
ogni mese, vengono indicate:

- media delle portate mensili; A ●
- media delle portate giornaliere minime; B ■
- minima delle portate mensili; C ▼
- minima delle portate giornaliere. D ◆



zione idrometrica posta nei pressi dell'abitato di Montalto di Castro, a breve distanza dalla foce; l'area sottesa è di 818 km².

L'analisi mensile riguarda un periodo di 15 anni. Il ruscellamento calcolato è più elevato nel periodo novembre-aprile, con valori medi mensili variabili da 10 a 4 m³/s (corrispondenti al 70% e 50% della portata complessiva) ed è quasi nullo in estate. Il flusso di base calcolato ha un regime di portata piuttosto regolare durante l'anno, con minimi di 2,5 m³/s circa (pari al 60%) e valori massimi intorno a 4 m³/s, registrati nel periodo più piovoso (30% circa). Il campo indeterminato assume valori tra 0,3 e 1,8 m³/s (Fig.23). La portata media del Fiora è di 7,8 m³/s.

Il regime del fiume Fiora, caratterizzato da notevole regolarità del flusso di base a cui si sovrappone ruscellamento cospicuo nei mesi autunnali-invernali, riflette pienamente la situazione idrogeologica del bacino. Questo si sviluppa prevalentemente su litologie poco permeabili (flysch e depositi argilloso-sabbiosi del ciclo marino neogenico), su cui prevale il ruscellamento, ed in minore misura su rocce vulcaniche (Monte Amiata e Monti Vulsini) che alimentano sorgenti puntuali e lineari. Questo carattere appare evidente dai grafici, dove a portate di magra sostenute e costanti durante l'anno, si sovrappone un marcato ruscellamento nella stagione umida.

Il bacino idrografico del fiume Marta, emissario del lago di Bolsena, si sviluppa prevalentemente su litologie vulcaniche; in minor misura su depositi argillosi neogenici, in prossimità della costa. Sul corso d'acqua sono ubicate due stazioni idrometriche, poste rispettivamente a Ponte della Cartiera e alla Centrale di Traponzo, ad una distanza considerevole dalla foce. Il corso d'acqua è alimentato dal lago di Bolsena, che drena buona parte delle acque sotterranee dell'apparato vulcanico vulsino. Il regime di deflusso registrato alla stazione di Ponte della Cartiera è estremamente regolare durante l'anno con portata media pari a circa 2,5 m³/s (Tab. 8).

Alla stazione della Centrale di Traponzo (Fig. 24), che sottende un bacino di 851 km², si può riconoscere sovrapposta al flusso di base, l'influenza più marcata del ruscellamento. I valori del flusso di base calcolato variano tra 2,4 e 4,8 m³/s. Il ruscellamento incide notevolmente sul regime di flusso, specie nei periodi piovosi, con contributi massimi di 4-5 m³/s, pari al 50% della portata totale. La portata media del corso d'acqua, alla sezione di Traponzo, risulta di 7,3 m³/s, dei quali il 65% è costituito da flusso di base. La stazione di

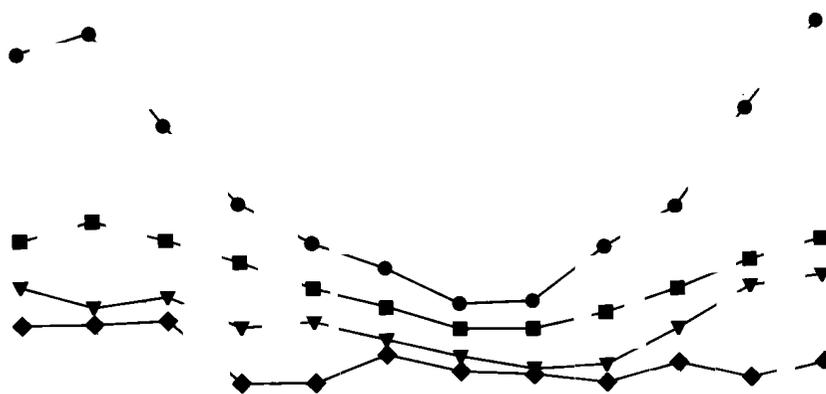


Figura 24
Scomposizione
dell'idrogramma mensile.
Sezione del fiume Marta
a Centrale di Traponzo.
Dati del periodo 1940-43,
1946-62, 1964-68, 1970-72.

Del periodo considerato, per
ogni mese, vengono indicate:

- A media delle portate mensili;
- B media delle portate giornaliere minime
- ▼ C minima delle portate mensili;
- ◆ D minima delle portate giornaliere.

Traponzo è posta a 25 km di distanza dalla foce. I dati analizzati si riferiscono al settore di bacino inciso nelle vulcaniti e non sono quindi rappresentativi del deflusso totale.

Alla portata calcolata, per la valutazione degli apporti complessivi al litorale, sono stati aggiunti 400 l/s dovuti al contributo di sorgenti lineari note a valle della stazione, attribuiti al flusso di base. Il ruscellamento del tratto terminale del bacino non è stato valutato.

Il bacino del Mignone è meno esteso (circa 500 km² alla foce) rispetto ai due precedentemente presi in esame; si apre quasi completamente su litologie poco permeabili (flysch e sedimenti neogenici argilloso-sabbiosi) e solo in parte sulle vulcaniti sabatine.

L'unica stazione idrometrica del Servizio Idrografico, che ha funzionato per undici anni, è ubicata nei pressi di Rota, ad una notevole distanza dalla foce e sottende circa 220 km², pari a poco meno del 50% del bacino idrografico. I dati disponibili sono quindi rappresentativi solo del settore più elevato del bacino. Nella figura 25 risulta molto evidente il regime impulsivo del corso d'acqua. Il ruscellamento calcolato raggiunge valori di 2-3 m³/s nella stagione piovosa, pari al 70% della portata ed è praticamente nullo nei mesi estivi, mentre il flusso di base calcolato, alimentato da sorgenti nell'area di affioramento delle vulcaniti, non è mai superiore a 1,2 m³/s, con minimi di 0,3 m³/s nei mesi estivi.

La portata media (2,19 m³/s) è notevolmente influenzata da un unico evento di piena eccezionale verificatosi nel settembre 1975, durante il quale è stato registrato un massimo di portata di 370 m³/s, che si è esaurito in pochi giorni. Fenomeni di questo tipo sono caratteristici di corsi d'acqua alimentati prevalentemente da acque superficiali.

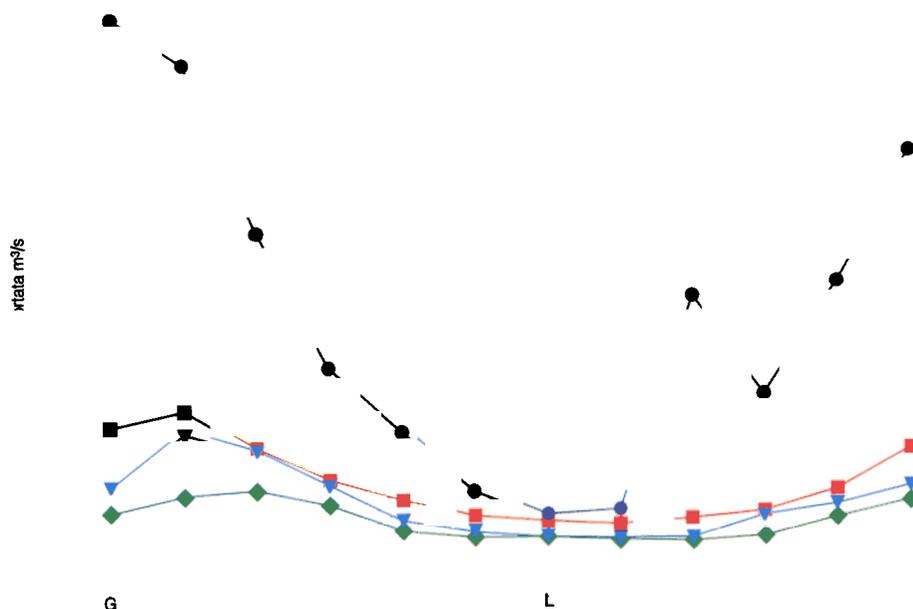
L'apporto totale del fiume Mignone è stato valutato da BONO *et al.* (1985) in 4,4 m³/s, rispetto ai 2,1 (anni 1979-82) registrati a Rota. Considerata la omogenea distribuzione delle sorgenti, ai fini della valutazione degli apporti totali a mare si è assunto, in prima approssimazione, che il ruscellamento ed il flusso di base aumentino in proporzione alla portata media. I valori ottenuti in m³/s sono pertanto i seguenti: flusso di base 1,2, campo indeterminato 0,3 e ruscellamento 2,9.

Tra le foci del Tevere e del Garigliano, il fiume Amaseno è l'unico corso d'acqua fornito di stazione idrometrica per la misura delle portate; il suo corso separa le strutture carbonatiche dei Monti Lepini e Ausoni. La stazione idrome-

Figura 25
Scomposizione
dell'idrogramma mensile.
Sezione del fiume
Mignone a Rota.
Dati del periodo 1964-68
e 1970-75.

Del periodo considerato, per
ogni mese, vengono indicate:

- media delle portate mensili; A ●
- media delle portate giornaliere minime; B ■
- minima delle portate mensili; C ▼
- minima delle portate giornaliere. D ◆



trica, situata a Fossanova, in corrispondenza dell'entrata del fiume nella Pianura Pontina, ha funzionato in modo discontinuo, per un totale di soli 9 anni.

Il regime di portata a Fossanova mostra un'evidente influenza del ruscellamento nei mesi umidi, con valori variabili da 1 a 8 m³/s, mentre nel periodo estivo il ruscellamento è sempre inferiore a 1 m³/s.

Nell'idrogramma dell'Amaseno (Fig. 26) si nota una particolarità del regime di flusso: tutte le linee costruite con valori di portata minima (linee B, C e D), nei mesi autunnali mostrano un evidente sfasamento temporale rispetto alla linea A, che rappresenta la media delle portate mensili. Mentre questa decresce da gennaio ad agosto, per poi innalzarsi rapidamente a partire da settembre, le altre tre linee continuano a decrescere fino ad ottobre (linea B), a novembre (linea C) e addirittura a dicembre (linea D). Il flusso di base calcolato raggiunge valori minimi nel periodo ottobre-novembre, sia assoluti (circa 1 m³/s) che percentuali (15%). Questo regime, così particolare rispetto alle altre stazioni considerate, è probabilmente dovuto al fatto che, nell'alta valle dell'Amaseno, si trovano numerose sorgenti carsiche con regime molto irregolare, che giungono al totale esaurimento nei mesi autunnali, mentre il flusso di base resta alimentato esclusivamente dall'apporto delle sorgenti con regime più stabile.

La stazione di Fossanova misura una portata molto limitata rispetto a quella che l'Amaseno versa a mare. Infatti l'Amaseno riceve la maggior parte della sua portata a valle di Fossanova, dal canale di bonifica Linea Pio e dal fiume Uffente, che solcano la Pianura Pontina. Questi hanno una portata

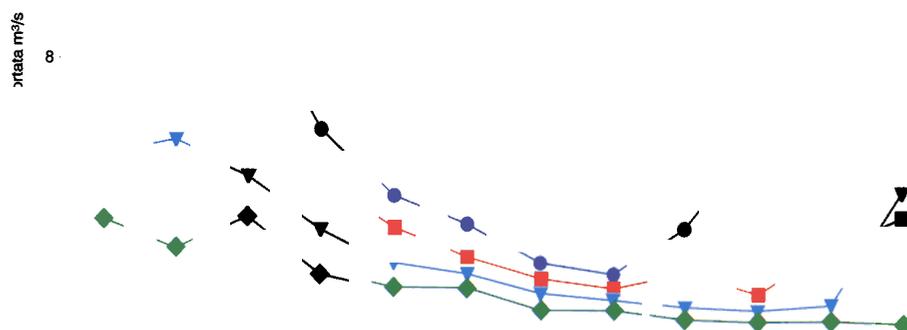


Figura 26
Scomposizione
dell'idrogramma mensile.
Sezione del fiume Amaseno
a Fossanova.
Dati del periodo 1951-53,
1964-68 e 1970.

Del periodo considerato, per
ogni mese, vengono indicate:

- A media delle portate mensili;
- B media delle portate giornaliere minime
- ▼ C minima delle portate mensili;
- ◆ D minima delle portate giornaliere.

media di circa 15 m³/s, erogata in modo molto regolare dalle grandi sorgenti che bordano il limite occidentale della dorsale carbonatica dei Monti Lepini.

Per la valutazione degli apporti complessivi al Tirreno, al flusso di base calcolato sono stati aggiunti i 15 m³/s erogati dalle sorgenti dei Lepini, per cui risultano in media 17,7 m³/s di flusso di base calcolato, 3,3 di ruscellamento calcolato, 0,8 m³/s restano indeterminati.

Altri contributi al deflusso totale di acque continentali al Tirreno sono dovuti al gruppo di sorgenti della Piana di Fondi, poste nelle immediate vicinanze del litorale, e alle sorgenti sottomarine dei rilievi carbonatici dei monti Aurunci, che versano a mare complessivamente una portata media stimata circa 14 m³/s (BONI *et al.*, 1986).

Il contributo dei corsi d'acqua minori, privi di stazioni di misura, è stato valu-

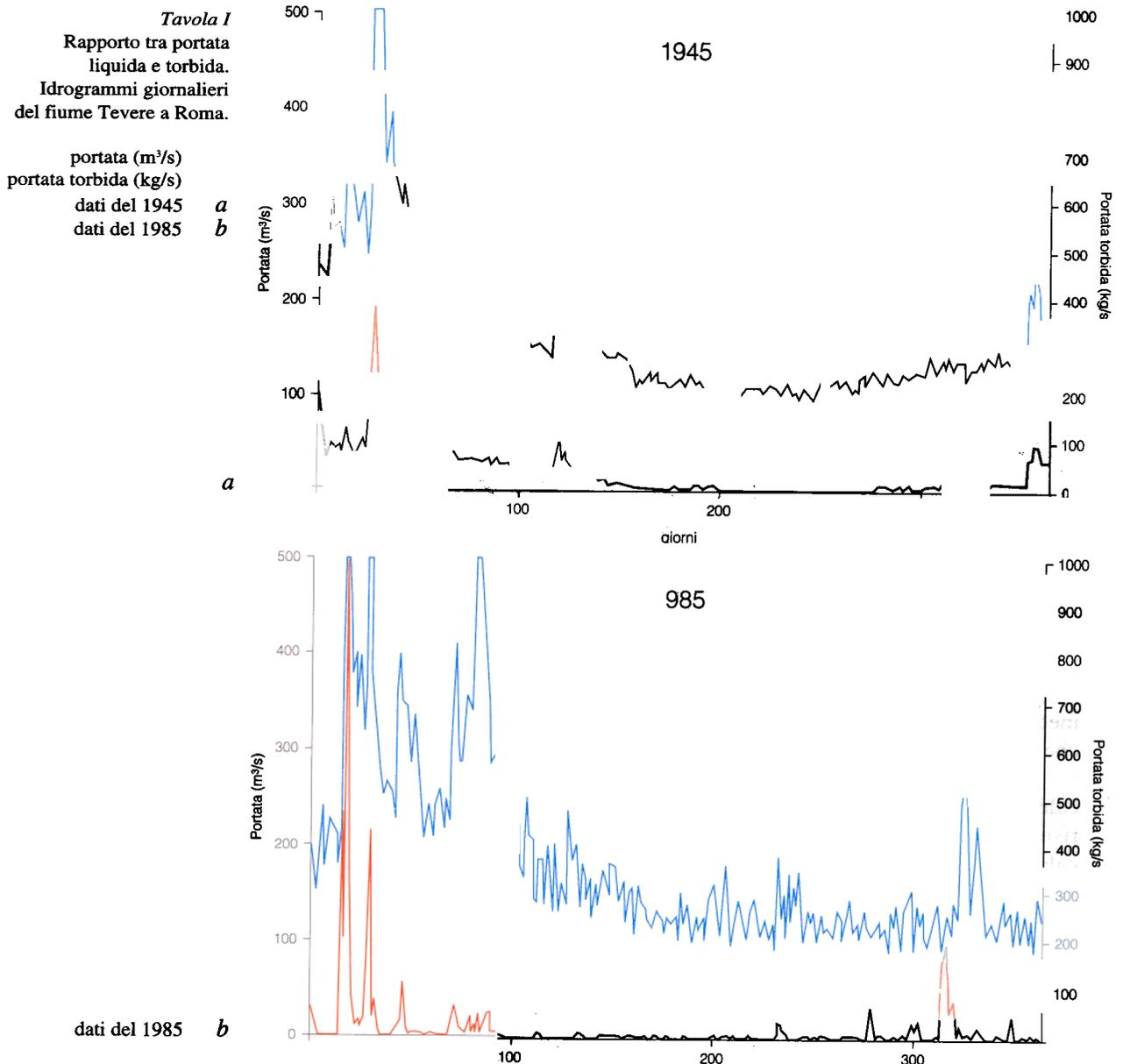
tato in modo approssimativo, considerando la superficie e la litologia dei bacini. Le stime effettuate sono riportate nel paragrafo conclusivo (Fig. 30).

5.7 Cenni sul trasporto torbido giornaliero e mensile

L'aliquota della portata totale dei corsi d'acqua definita come ruscellamento è stata identificata come principale responsabile dell'erosione dei versanti e, di conseguenza, agente che dà origine al trasporto torbido.

Per analizzare i rapporti tra portata totale, ruscellamento ed entità del trasporto torbido, sono stati elaborati alcuni dati rilevati dal Servizio Idrografico, per la sezione del Tevere a Roma (Ripetta), relativi al trasporto torbido medio giornaliero (in kg/s) per il periodo 1940-46, 1949-50 e 1985 e al trasporto torbido medio mensile per il periodo 1951-80.

In Tavola I sono riportati gli idrogrammi giornalieri del Tevere a Ripetta per gli anni 1945 e 1985, che evidenziano il diverso comportamento del fiume, prima e dopo l'entrata in funzione dello sbarramento di Corbara. Nel



1945 si osserva una chiara corrispondenza tra portata liquida e portata torbida; nel 1985 l'idrogramma è caratterizzato da continue variazioni di portata, dovute alla regolazione artificiale dei deflussi; appare meno evidente la corrispondenza tra portata liquida e torbida.

Si può identificare nell'idrogramma del 1945 una soglia minima di portata tra 100 e 130 m³/s, al di sotto della quale il trasporto torbido è praticamente nullo; oltre tali valori il trasporto torbido aumenta al crescere della portata liquida. La soglia di portata così individuata (100-130 m³/s) corrisponde approssimativamente al valore di flusso di base medio calcolato per la sezione di Roma (Par. 5.1.4.5).

Nei grafici di Tavola II viene analizzata la correlazione tra valori medi mensili di ruscellamento calcolato e portata torbida, per il periodo 1940-85. I dati sono stati rappresentati in scala semilogaritmica, su due grafici relativi rispettivamente ai periodi 1940-49 e 1950-1985, per evidenziare le modifiche del deflusso naturale causate dall'esercizio dei bacini di ritenuta.

La correlazione fra ruscellamento e portata torbida risulta evidente: più elevata per il periodo 1940-49 (0,67), più bassa per il periodo successivo (0,50).

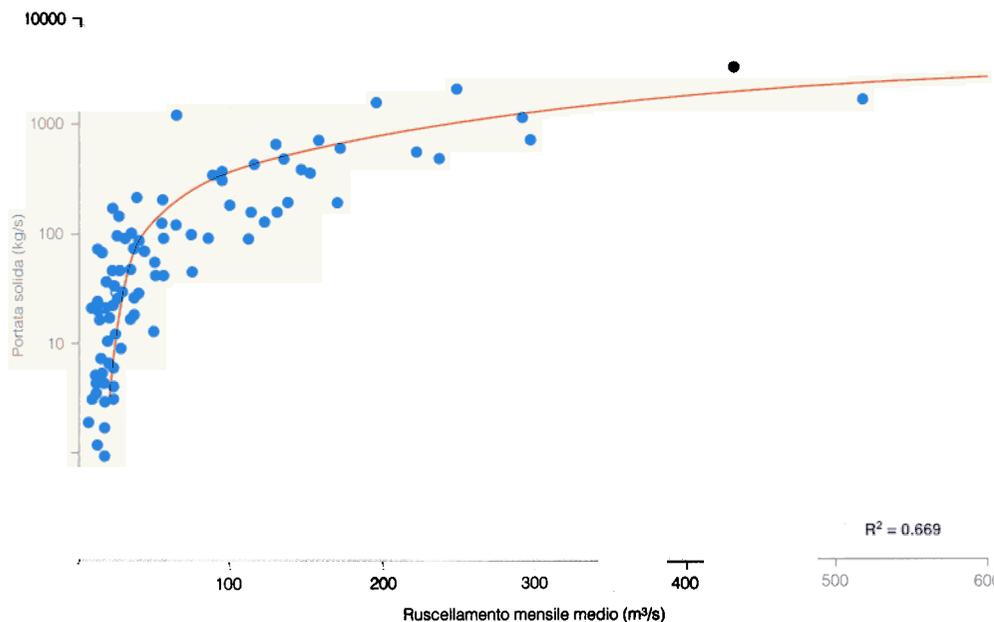
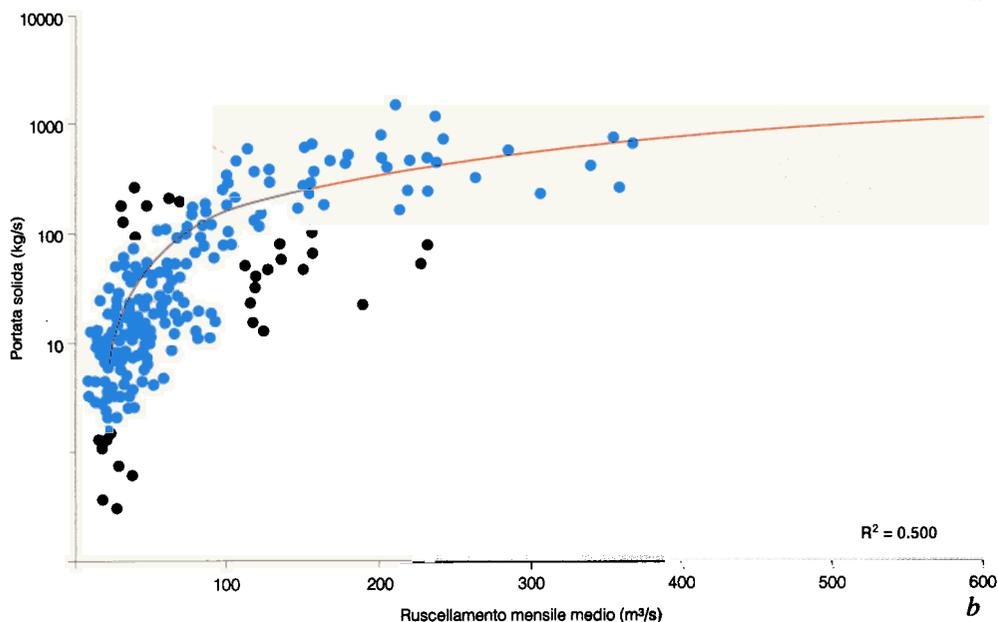


Tavola II
Stazione del
fiume Tevere a Roma.
Correlazione tra ruscellamento
e portata torbida.

a dati mensili relativi
al periodo 1940-49

b dati mensili relativi
al periodo 1950-80 e 1985

R^2 = grado di correlazione della
curva



Altrettanto significativa risulta la correlazione dei valori giornalieri di portata liquida e torbida: alcuni esempi in scala semilogaritmica sono riportati in Tavola III.

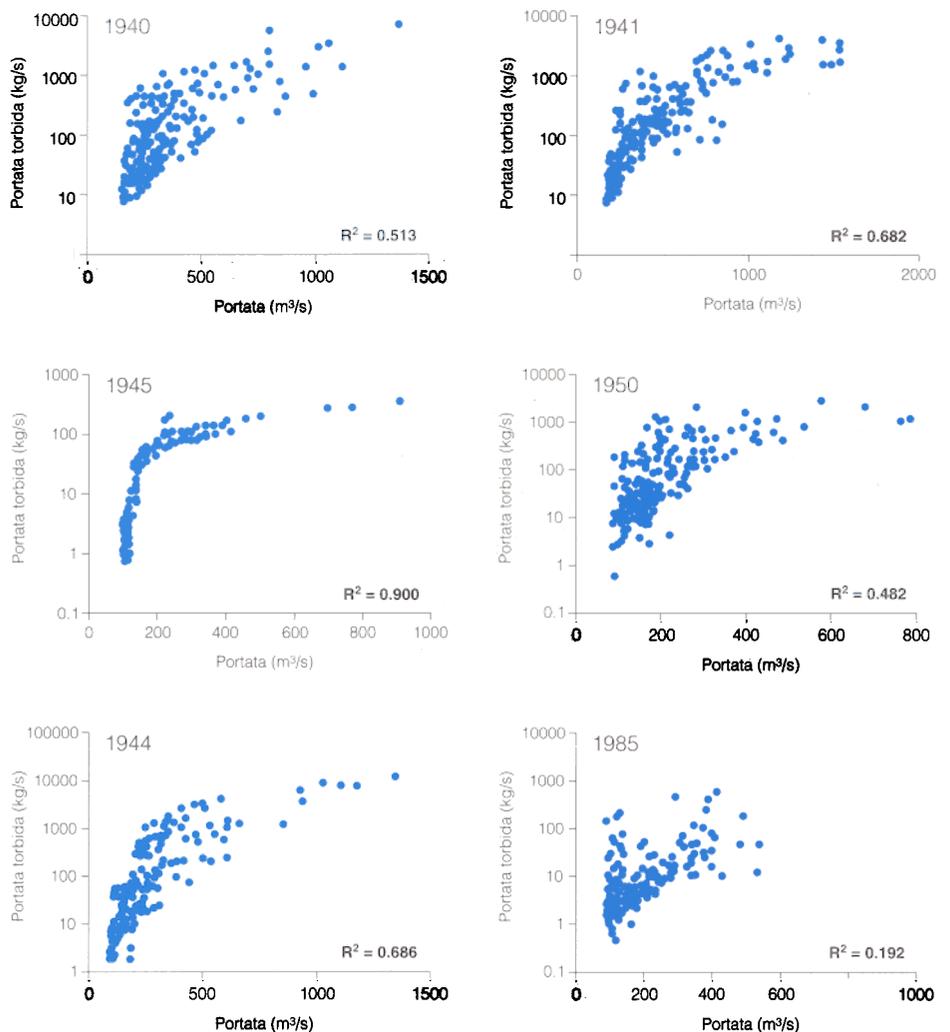
Quando nel periodo estivo il ruscellamento è estremamente ridotto e la portata è sostenuta prevalentemente da acque sotterranee, il trasporto torbido scende a valori inferiori ai 10 kg/s, e talvolta sotto 1 kg/s.

Dalle elaborazioni relative ai dati giornalieri (Tav. III) si ricava un andamento pressoché identico a quello osservato per i dati mensili (Tav. II). Il grado di correlazione risultante per i singoli anni è in media prossimo a 0,50, con massimi di 0,65-0,70; fanno eccezione il grafico relativo al 1985, con un grado di correlazione estremamente basso (0,19) ed il 1945 con un valore di 0,90, estremamente elevato.

In conclusione, i risultati del tentativo di analisi del rapporto tra portata torbida, portata liquida e solo ruscellamento, basato sui dati medi mensili di un quarantennio e sui dati medi giornalieri di un decennio, per la sezione del Tevere a Roma (Ripetta), permettono le seguenti considerazioni:

- 1) si osserva una diretta correlazione tra portata liquida e portata torbida giornaliera;
- 2) si osserva una diretta correlazione tra ruscellamento e portata torbida mensile;
- 3) risulta chiara la quasi esclusiva dipendenza del trasporto torbido dal ruscellamento; si identifica infatti una soglia di portata minima (100-130 m³/s), corrispondente al flusso di base, sotto la quale il trasporto torbido non

Tavola III
Correlazione tra i dati giornalieri di portata e di portata torbida. Sezione del fiume Tevere a Roma.
 R^2 = grado di correlazione della curva.



risulta significativo. Portate inferiori a questa soglia si registrano mediamente per circa 90 giorni l'anno, concentrati generalmente nel periodo estivo.

5. 8 Conclusioni

Lo studio delle acque continentali che si versano a mare lungo il litorale del Lazio, si è basato sulla considerazione che le due principali componenti della portata di un fiume, ruscellamento di superficie e flusso di base sotterraneo, svolgono un ruolo diverso nel processo di trasporto a mare dei sedimenti e delle sostanze inquinanti. Si è quindi cercato di valutare il regime di portata delle due componenti del flusso, utilizzando un nuovo metodo di scomposizione degli idrogrammi che ha dato i risultati attesi, perché coerenti con la situazione idrogeologica regionale e in particolare con la valutazione del flusso di base, desumibile da studi precedenti condotti con criteri completamente differenti.

Sono stati utilizzati i dati del Servizio Idrografico dello Stato relativi a 38 stazioni di misura della portata, che hanno funzionato in modo molto discontinuo su un arco di tempo compreso tra il 1923 e il 1980. Dall'analisi effettuata risulta sempre molto evidente la stretta relazione tra il regime delle acque di ruscellamento e del flusso di base con la geologia del bacino che le alimenta. Tutti i bacini prevalentemente costituiti da rocce con elevati valori di infiltrazione efficace e quindi ricchi di risorse idriche sotterranee e di grandi sorgenti danno origine a corsi d'acqua con regimi di flusso molto stabili. I bacini prevalentemente costituiti da rocce con valori di infiltrazione efficace bassi o trascurabili sono sempre caratterizzati da elevati valori di ruscellamento e bassi valori di flusso di base.

I risultati delle elaborazioni vengono illustrati a mezzo di grafici e schemi dove appare evidente da quali settori dei bacini provengano le acque sotterranee e di superficie e come si costruisca gradualmente la portata che si versa a mare.

Il bacino del Tevere si può dividere in tre settori con caratteri distinti.

Il settore settentrionale, privo di consistenti risorse idriche sotterranee, è caratterizzato da alti valori di ruscellamento di superficie, soprattutto durante i mesi invernali.

Il settore sud-orientale, dove dominano le grandi dorsali carbonatiche, si può considerare un enorme serbatoio di acque sotterranee che alimentano il flusso di base del Nera-Velino e dell'Aniene.

Nel settore sud-occidentale il ruscellamento è limitato e il flusso di base consistente, per la presenza di importanti acquiferi negli apparati vulcanici.

Il bacino del Tevere versa a mare una portata specifica di $12,6 \text{ l/s/km}^2$. La scomposizione degli idrogrammi indica che, nel trimestre invernale, la portata del fiume è costituita da $122 \text{ m}^3/\text{s}$ di ruscellamento, 120 di flusso di base e 78 non determinati; nel trimestre estivo da $28 \text{ m}^3/\text{s}$ di ruscellamento, 84 di flusso di base e 24 non determinati.

Il bacino del Liri-Garigliano ha caratteri mediamente più omogenei, condizionato da valori molto elevati di flusso di base specifico che è carente solo nella valle del Sacco, dove si osserva un ruscellamento specifico invernale molto elevato.

Il bacino del Liri-Garigliano versa a mare una portata media specifica di circa 26 l/s/km^2 , doppia rispetto a quella del Tevere. La scomposizione degli idrogrammi indica che, nel trimestre invernale, la portata del fiume è costituita da $58 \text{ m}^3/\text{s}$ di ruscellamento, 94 di flusso di base e 5 non determinati; nel trimestre estivo da $10 \text{ m}^3/\text{s}$ di ruscellamento, 62 di flusso di base e 4 non determinati.

Il bacino del Volturno non è stato studiato in dettaglio perché fuori dai limiti regionali; vengono tuttavia considerati i risultati desumibili dall'analisi dei dati di portata relativi alla sola sezione terminale. Risulta che la portata media specifica calcolata per il periodo precedente il 1954, è di circa 19 l/s/km^2 , quindi intermedia tra quella del Liri-Garigliano e del Tevere. Attualmente il Volturno versa a mare $84 \text{ m}^3/\text{s}$, dei quali almeno 50 sono rife-

Figura 27
Apporti al litorale tirrenico:
distribuzione del contributo dei
singoli corsi d'acqua rispetto
agli apporti totali (526 m³/s)

- Ruscigliamento calcolato
- Campo indeterminato
- Flusso di base calcolato
- Derivazioni da altri bacini
- Sorgenti sottomarine

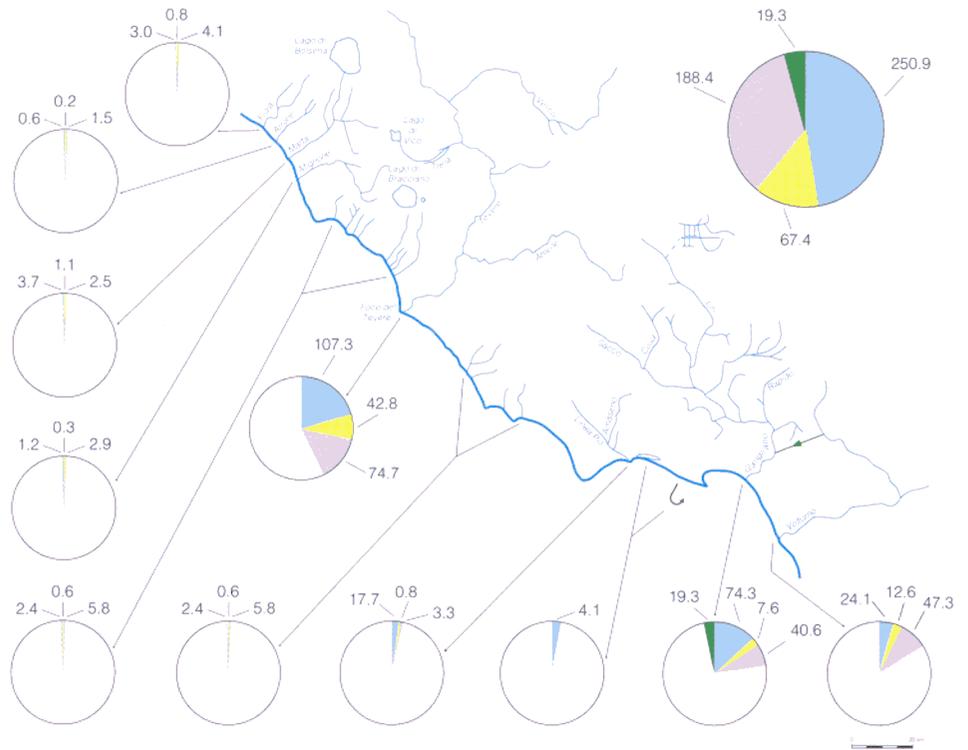


Figura 28
Apporti al litorale tirrenico:
ruscellamento e flusso di
base espressi in percentuale

- Portata media (m³/s) registrata alla stazione idrometrica 2.2
- Ruscigliamento calcolato
- Campo indeterminato
- Flusso di base calcolato
- Stazione idrometrica

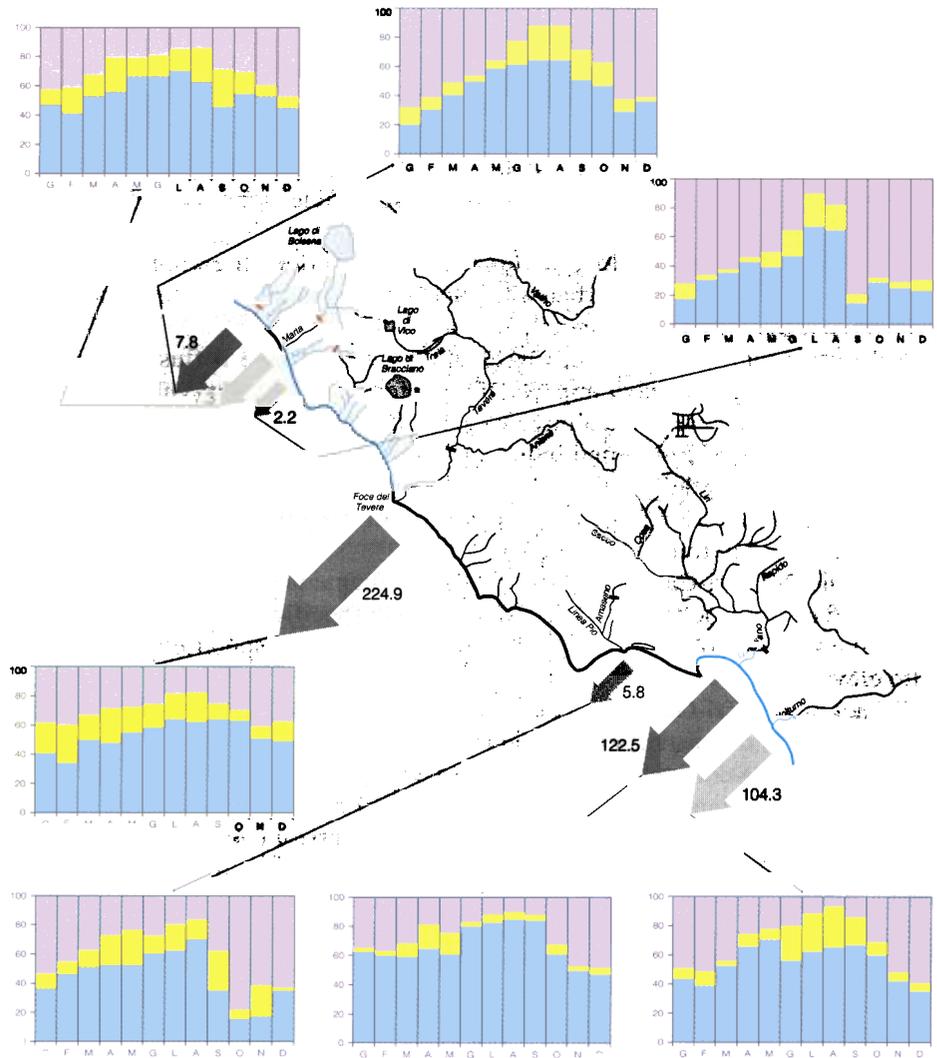
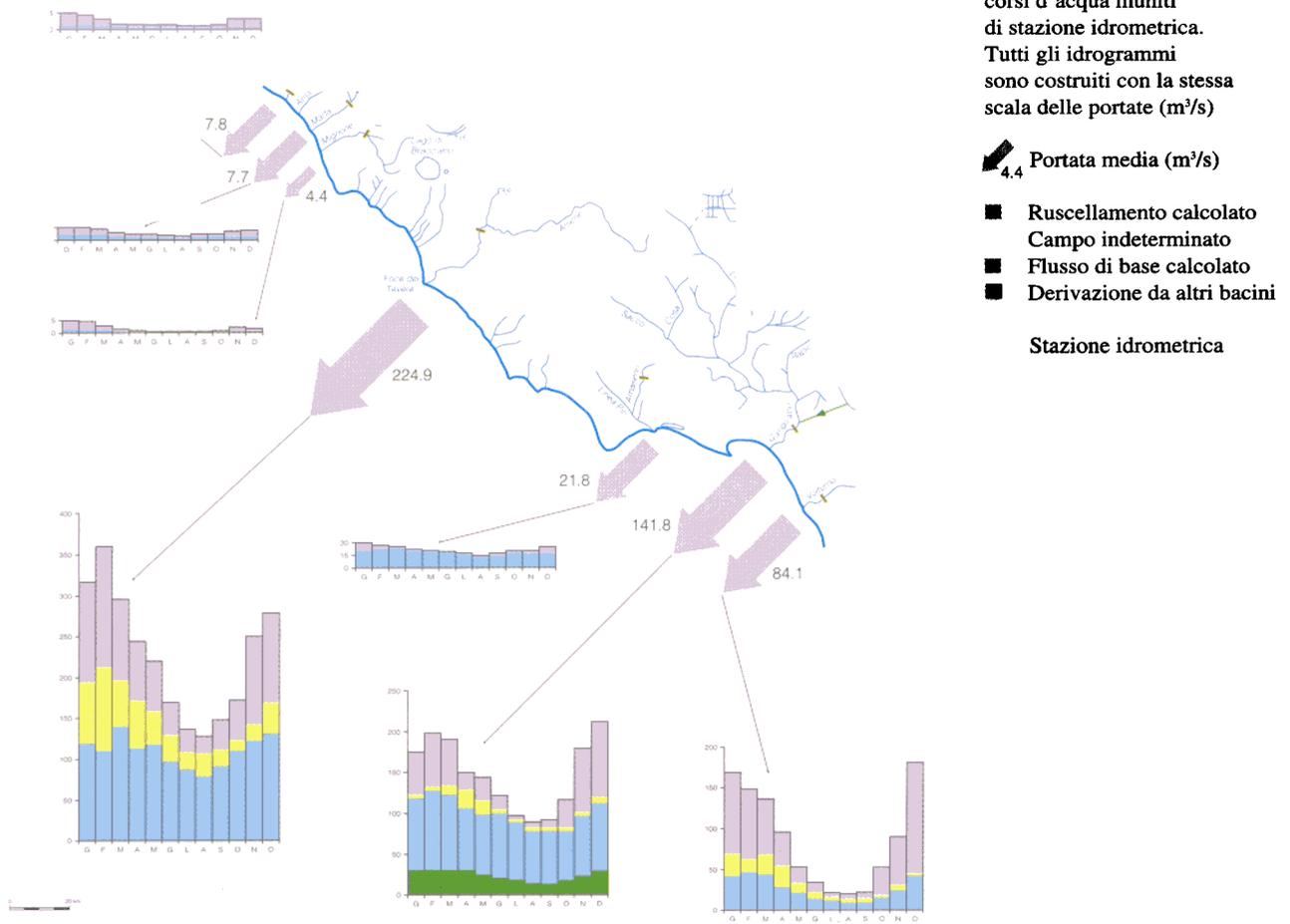


Figura 29
Scomposizione dell'idrogramma dei corsi d'acqua muniti di stazione idrometrica. Tutti gli idrogrammi sono costruiti con la stessa scala delle portate (m³/s)



ribili al ruscellamento e 25 al flusso di base. Occorre considerare che mancano almeno 19 m³/s prevalentemente di flusso base, derivati artificialmente dal bacino, per cui la portata specifica è oggi ridotta a circa 15 l/s/km².

I risultati complessivi della ricerca sono sintetizzati nelle Figure 27, 28 e 29. Nella prima viene visualizzato, con diagrammi circolari, l'apporto totale di acque continentali al litorale laziale ed il contributo di ciascun corso d'acqua. Si vede chiaramente che il Tevere copre oltre il 40% del deflusso, il Garigliano circa il 27% e il Volturno il 16%, mentre i corsi d'acqua minori forniscono portate nettamente più limitate. Nella stessa figura, vengono indicati i valori medi della portata attribuita al ruscellamento, al flusso di base e al campo indeterminato. Il 48% degli apporti totali è attribuito al flusso di base, il 36% al ruscellamento, il 16% resta indeterminato.

In termini assoluti si versano in mare in media 526 m³/s di acque continentali costituite da 251 m³/s di acque sotterranee, 188 di acque di ruscellamento, mentre 67 m³/s si collocano nel campo indeterminato; circa 19 m³/s vengono derivati dal bacino del Volturno a quello del Garigliano.

Nelle Figure 28 e 29 è messo in evidenza il regime di portata dei singoli corsi d'acqua e in particolare il regime delle acque di ruscellamento e del flusso di base. Si osserva una notevole stabilità del regime del flusso di base e una sensibile variabilità del regime delle acque di ruscellamento che si riducono a valori minimi nel trimestre estivo. I valori della Figura 29 si riferiscono agli attuali apporti a mare complessivi dei corsi d'acqua, incluse le derivazioni e gli apporti dei settori non sottesi da stazioni idrometriche.

Bibliografia

- AA.VV., 1983, *Carta neotettonica d'Italia*. Fogli 3, 4, Quaderni de "La ricerca scientifica", n. 114, vol. 4, Roma, CNR, P.F. Geodinamica.
- AA.VV., 1988, *Carta delle litofacies del Lazio-Abruzzo e aree limitrofe*. Note illustrative. Quaderni de "La ricerca scientifica", n. 114, vol. 5, Roma, CNR, P.F. Geodinamica.
- AA.VV., 1992, *Modello strutturale d'Italia (scala 1:500.000)*. Fogli 3, 4, Quaderni de "La ricerca scientifica", n. 114, vol. 3, Roma, CNR, P.F. Geodinamica.
- ACCORDI B., 1964, *Lineamenti strutturali del Lazio e dell'Abruzzo meridionali*. Mem. Soc. Geol. It., 4, 595-633.
- ACCORDI B., 1966, *La componente traslativa nella tettonica dell'Appennino laziale-abruzzese*. Geol.Rom., 5, 355-406.
- ACCORDI B., ANGELUCCI A., AVENA G.C., BERNARDINI F., BONI C., BRUNO F., CERCATO M., COPPOLA B., FIORE G., FUNICIELLO R., GIGLIO F., LA MONICA G.B., LUPIA PALMIERI E., MATTIOLI B. e PAROTTO M., 1969, *Idrogeologia dell'alto bacino del Liri (Appennino Centrale)*. Geol. Rom., 8, 177-559.
- AMBROSETTI P., CARBONI M.G., CONTI M.A., ESU D., GIROTTI O., LA MONICA G.B., LANDINI B. e PARISI G., 1987, *Il Pliocene e il Pleistocene inferiore del bacino del fiume Tevere nell'Umbria meridionale*. Geogr. Fis. Dinam. Quat., 10, 10-33.
- BONI C., 1973, *Lineamenti idrogeologici dell'Appennino carbonatico laziale-abruzzese (primi risultati della campagna 1970-72)*. Atti del 2° Convegno Internazionale sulle Acque Sotterranee, Palermo, p. 84-92.
- BONI C., 1975, *The relationships between the geology and hydrogeology of the Latium-Abruzzi Apennines. Structural Model of Italy*. Quad. de "La Ricerca Scientifica", 90, Roma, CNR.
- BONI C. e BONO P., 1982, *Carta idrogeologica del Lazio sud-occidentale*. Relazione finale del sottoprogramma "Energia geotermica" del CNR, n. 15, Roma, CNR.
- BONI C., BONO P. e CAPELLI G., 1986, *Schema idrogeologico dell'Italia centrale*. Mem. Soc. Geol. It., 35.
- BONI C., BONO P. e CAPELLI G., 1988, *Carta idrogeologica del territorio della Regione Lazio*. Regione Lazio - Università degli studi di Roma "La Sapienza".
- BONI C., BONO P., CAPELLI G., LOMBARDI S., PAROTTO M., e VENTURA G., 1979, *Indagine idrogeologica e geochimica nell'Appennino carbonatico laziale-abruzzese. Primi risultati della campagna 1976-78*. Atti del 1° Seminario Informativo del sottoprogramma "Energia geotermica". Roma, CNR.
- BONI C., PETITTA M., PREZIOSI E. e SERENI M., 1993, *Genesi e regime di portata delle acque continentali del Lazio*. Roma, Consiglio Nazionale delle Ricerche.
- BONO P., CAPELLI G. e CATTENA C., 1985, *Caratteristiche idrogeologiche*. In: Valutazione dello stato dell'ambiente nel bacino idrografico del Fiume Mignone. Provincia di Roma - Università di Roma "La Sapienza" - Ist. Naz. di Urbanistica - Provincia di Viterbo.
- CASTANY G., 1967, *Traité pratique des eaux souterraines*. Paris, Dunod.
- CASTANY G., MARGAT J., ALBINET M., e DELLAROZIERE-BOUILLIN O. 1970, *Evaluation rapide des ressources en eaux d'une région*. Atti Conv.Int. sulle Acque Sotterranee, Palermo, 462-482.
- CASTELLARIN A., COLACICCHI R. e PRATURLON A., 1978, *Fasi distensive, trascorrenze e sovrascorrimenti lungo la "Ancona-Anzio" dal Lias al Pliocene* - Geol.Rom., 17, 161-189.
- CENCETTI C., DRAGONI W. e NEJAD MASSOUM M., 1989, *Contributo alle conoscenze delle caratteristiche idrogeologiche del Fiume Nera (Appennino centro-settentrionale)*, Geol. Appl. e Idrogeol., 34.
- CIABATTI M., 1982, *Elementi di idrologia superficiale*. Bologna, Cooperativa Libreria Universitaria.

- FUNICIELLO R. e PAROTTO M., 1978, *Il substrato sedimentario nell'area dei Colli Albani: considerazioni geodinamiche e paleogeografiche sul margine tirrenico dell'Appennino centrale*. Geol. Rom., 17, 233-287.
- GIANDOTTI M., 1937, *Idrogeologia della bonifica integrale. Parte I: idrologia generale*, Firenze 268 p., 74 figg., S.A.G. Barbera.
- GIULIANO G. e SCIOTTI M., 1981, *Schema idrogeologico del bacino del Tevere*. Quaderni, n. 48, Roma, CNR, Istituto di Ricerca Sulle Acque.
- MAILLET E., 1905, *Essais d'Hydraulique souterraine et fluviale*. Paris, Hermann.
- MINISTERO DEI LAVORI PUBBLICI, 1923-80, *Annali Idrologici (parte I e II)*. Pubbl. Serv. Idrografico, Sez. di Roma e Napoli.
- OGNIBEN L., PAROTTO M. e PRATURLON A., 1975, *Structural model of Italy*. Quaderni de "La Ricerca Scientifica", n. 90, Roma, CNR.
- PAROTTO M., 1980, *Appennin Central, Introduction à la Géologie Générale d'Italie et Guide à l'excursion 122 A*, in 26ème Congrès International de Géologie, Paris.
- PASINI P., 1910, *Coefficienti udometrici desunti dal lavoro delle macchine nelle bonifiche meccaniche*. Giorn. Genio Civile 48, 385-413, 2 tavv., Roma.
- PERRONE E., 1901, *Fiume Marta e Lago di Bolsena; torrente Mignone ed altri minori fra il Marta ed il Tevere*. Mem. Illustr. della Carta Idrografica d'Italia, n. 26, Roma, Min. Ind. Comm.
- PERRONE E. e ZOPPI G., 1899, *Tevere*, Mem. Illustr. della Carta idrografica d'Italia, n. 28, Roma, Min. Agr. Ind. Comm.
- ZOPPI G., 1891, *L'Aniene*. Mem. Illustr. della Carta Idrografica d'Italia, n. 4, Roma, Min. Agr. Ind. Comm.
- ZOPPI G., 1892, *Lazio*. Mem. Illustr. della Carta Idrografica d'Italia, n. 12, Roma, Min. Agr. Ind. Comm.
- ZOPPI G., 1892, *Nera e Velino*. Mem. Illustr. della Carta Idrografica d'Italia, n. 14, Roma, Min. Agr. Ind. Comm.
- ZOPPI G., 1895, *Liri-Garigliano, Paludi Pontine e Fucino*. Mem. Illustr. della Carta Idrografica d'Italia, n. 20, Roma, Min. Agr. Ind. Comm.