

ACQUE DI SUPERFICIE

Carlo F. Boni - Bruno Mattioli

Istituto di Geologia e Paleontologia dell'Università di Roma

Nella Carta Idrogeologica i corsi d'acqua superficiali vengono suddivisi, a seconda del loro regime, in perenni, stagionali e temporanei e indicati con simboli diversi. La suddivisione è stata fatta in base a osservazioni dirette relative al periodo in cui lo scorrimento superficiale è stato tenuto sotto controllo (1967-1969) e su indicazioni fornite da abitanti del luogo.

Si sono considerati corsi perenni tutti quelli che rimangono attivi durante l'intero arco dell'anno, anche se il loro regime può risultare molto variabile da stagione a stagione e la loro portata si riduce nei mesi estivi a pochi litri al secondo; sono tutti alimentati da sorgenti perenni.

Si sono considerati corsi stagionali quelli attivi almeno per l'intera stagione invernale; sono in genere alimentati da sorgenti a regime irregolare. I corsi temporanei hanno un regime effimero legato sostanzialmente a quello delle precipitazioni; qualunque segmento del reticolo idrografico si può considerare, a rigore, un corso d'acqua temporaneo, perché sede, almeno potenziale, di scorrimento superficiale; considerato tuttavia il loro scarso significato nell'ambito di questa trattazione specifica, sulla Carta Idrogeologica il loro numero è stato notevolmente sfolto. Per lo studio detta-

Si ringrazia vivamente il Dott. Marcello Fulchignoni che ci ha costantemente seguito negli sviluppi matematici dei problemi affrontati ed ha curato l'elaborazione, a mezzo di calcolatore elettronico, dei dati che hanno portato alla costruzione degli abachi per il calcolo degli idrogrammi teorici.

gliato e completo del reticolo idrografico si veda il capitolo di AVENA-LUPIA PALMIERI. Va ancora precisato che il reticolo riportato sulla carta idrogeologica rispecchia non già le condizioni di scorrimento naturale, ma la situazione delle acque superficiali osservabile attualmente, sostanzialmente condizionata dalle numerose opere idrauliche (derivazioni, opere di presa, condotte sotterranee ecc.) che hanno modificato notevolmente la situazione originaria, sia dei piccoli che dei grandi corsi di acqua. Si può affermare che, al di fuori di rare eccezioni (una piccola parte del Fosso della Liscia, un tratto del Vallone della Femmina Morta a monte di Zompo lo Schioppo, un breve tratto della media valle del Lacerno, e pochi altri casi simili), mancano su tutto il rilievo carbonatico corsi d'acqua perenni; questi sono invece numerosi sul complesso argilloso-arenaceo, specialmente sul versante destro, dove fanno capo a sorgenti alimentate dalla ricca falda posta nei terreni carbonatici.

Affluenti di destra

I principali affluenti perenni del versante destro nascono, senza eccezione, dalle sorgenti allineate lungo il limite di permeabilità posto fra terreni carbonatici e complesso argilloso-arenaceo, limite che affiora lungo il fianco destro della valle da Cappadocia a Sora. Altri minori sono alimentati da sorgenti legate a lenti di breccie (*br*) e calcareniti (*cr*) o nascono al piede della coltre detritica.

Il regime di questi affluenti risente notevolmente delle condizioni climatiche, tanto che gli incrementi di portata sono strettamente influenzati dal regime delle precipitazioni. Va comunque osservato che solo in corrispondenza di precipitazioni particolarmente intense tutto il reticolo diviene attivo e contribuisce ad alimentare il deflusso superficiale; al di fuori di questi eventi, che si ripetono poche volte in un anno, il contributo degli alti versanti carbonatici allo scorrimento superficiale è praticamente nullo. I torrenti che fanno capo alle sorgenti Maiura, Capo di Rio, Rio Sonno, Rianza e alle altre minori in località Carpineto e Polverelli, nei periodi di magra sono alimentati principalmente dalle sorgenti (o dove queste sono captate, dal rifiuto delle opere di presa); ricevono inoltre lungo il percorso un contributo, in alcuni casi notevole, dalle falde contenute nelle lenti di breccie e calcareniti intercalate al complesso argilloso arenaceo (non tutte riportate in carta per la loro esiguità) che i corsi d'acqua attraversano. Non manca l'apporto laterale, in genere modesto considerando le portate bassissime, dato dallo scorrimento epidermico che si sviluppa entro la fascia di alterazione superficiale del complesso argilloso arenaceo, soprattutto dove questa è più estesa e permeabile. Se si tiene presente il regime delle precipitazioni (cfr. Condizioni climatiche) si vede che anche durante i mesi estivi gli afflussi meteorici sono sufficienti a rialimentare le modestissime falde contenute nelle coltri di alterazione superficiale; questo contributo mantiene in vita lo scorrimento epidermico che durante l'intero anno sostiene la portata dei corsi d'acqua minori che scorrono sul complesso argilloso arenaceo.

La portata di questi torrenti può variare da alcune centinaia di litri al secondo in periodi di piena (al di fuori di eventi meteorologici eccezionali che fanno segnare punte molto più elevate), a pochi litri al secondo in periodi di magra.

Maggiore considerazione meritano i torrenti che fanno capo alle sorgenti della Sponga (presso Canistro) e di Mola della Meta (ad ovest di Civitella Roveto) e soprattutto il torrente dello Schioppo (ad ovest di Morino), che è il più importante di tutto il versante.

Dalla sorgente della Sponga, che non è captata, nasce un torrente che si versa nel Liri a Canistro, dopo aver ricevuto un affluente che fa capo alla sorgente S. Vito; la portata di magra stimata non scende sotto i 300 litri al secondo. Il torrente di Mola della Meta, che si versa nel Liri a Civitella

Roveto, sebbene la sorgente che lo alimenta sia captata, ha una portata di magra stimata circa 50 l/sec. che, in periodi di piena, sale a qualche centinaio; sostanziale è il contributo alla portata di magra dato dalla falda contenuta nell'ampia fascia alluvionale entro cui il corso d'acqua scorre. Il torrente dello Schioppo nasce in località Acquazolzi, le sorgenti che lo alimentano e la situazione idrogeologica della zona sono già state descritte (a pag. 443). La sua portata è molto variabile perché influenzata non tanto dalle condizioni meteorologiche e dal regime delle sorgenti, quanto dalle opere idrauliche che sottraggono l'acqua all'alveo, per uso idroelettrico. Sebbene riceva solo l'affluente di sinistra alimentato dalla sorgente Aramiccia, (poche decine di litri al secondo in periodo di magra), aumenta progressivamente la sua portata perché viene alimentato lateralmente dalla falda che si trova entro il complesso caotico calcareo dolomitico (ct). Una prima derivazione, posta poche centinaia di metri a valle delle sorgenti, quando è in funzione, sottrae la maggior parte dell'acqua al torrente (circa 1 m³/sec.) che tuttavia aumenta progressivamente la sua portata fino alla seconda derivazione; a valle di questa rimangono nell'alveo poche decine di litri al secondo che vanno aumentando fino all'abitato di La Grancia; la portata rimasuccessivamente inalterata fino a Morino.

Per le ragioni esposte nel capitolo sulle acque sotterranee, tra Morino e Sora vengono a mancare sorgenti a forte portata e con queste anche i corsi d'acqua perenni. Il fosso del Rio e gli altri minori che raggiungono il Liri tra Morino e San Vincenzo di Valle Roveto sono percorsi praticamente da modesti ruscelli. Alla sorgente Rio, presso Rocca Vecchia, fa capo un torrente che in magra non supera una decina di litri al secondo; a valle di questo, lungo tutto il versante fino alla città di Sora, non si trovano altri torrenti degni di nota. Nella conca di Sora, al reticolo idrografico è stata sovrapposta la rete irrigua artificiale che ha completamente alterato le condizioni di scorrimento naturale.

Affluenti di sinistra

Il versante sinistro della valle, dalla testata fino al lago di Posta Fibreno, è privo di grandi sorgenti; con queste vengono a mancare anche i corsi d'acqua perenni che non possono essere altrimenti alimentati. Tutti quelli segnati da una sottile linea intera sulla Carta Idrogeologica sono modesti ruscelli

che scorrono per tutto l'anno, ma nei periodi di magra hanno portate veramente esigue.

Solo in seguito a intense precipitazioni la rete idrografica diviene attiva e i corsi d'acqua spesso assumono un carattere impetuoso; a distanza di pochi giorni dalla fine della precipitazione cessa anche lo scorrimento superficiale. Numerosi sono invece i corsi stagionali alimentati soprattutto dallo scioglimento delle nevi che ricoprono l'alto versante per alcuni mesi dell'anno.

Il Lacerno è il torrente più importante del versante sinistro, il suo corso per un lungo tratto segue una linea tettonica diretta nord-ovest sud-est e devia successivamente verso sud lungo un altro piano di faglia con direzione N-S; l'alveo è molto incassato nella formazione calcareo-dolomitica poco permeabile. Gli abitanti della zona dicono che prima della costruzione delle opere di presa dell'acquedotto di Val San Pietro il Lacerno era un corso d'acqua perenne con discreta portata; oggi lo scorrimento nei mesi estivi è limitato ad un tratto di pochi chilometri a valle delle sorgenti e la portata di magra è ridotta a qualche litro al secondo. Quando il torrente lascia l'affioramento di calcari dolomitici ed entra nei calcari avana, le acque penetrano nel sottosuolo e si perdono in profondità. Il bacino di raccolta relativamente vasto, l'acclività dei versanti, la scarsa permeabilità determinano condizioni di scorrimento notevolmente pericolose in corrispondenza di precipitazioni particolarmente intense; si sono registrate negli ultimi anni piene improvvise e violentissime che hanno demolito ponti e minacciato abitazioni nella parte terminale del corso.

Il fiume Fibreno è un affluente di sinistra lungo circa 8 km, emissario del lago omonimo; ha un regime regolarissimo perché alimentato da enormi sorgenti che non superano la portata di 15 m³/sec e molto raramente scendono sotto 6-7 m³/sec; le più sensibili variazioni di portata del corso d'acqua sono dovute agli afflussi meteorici che interessano il suo piccolo bacino imbrifero senza alterare sostanzialmente il regime regolare e costante. Questo fiume rappresenta oggi la più sicura fonte di approvvigionamento idrico della industrializzata Conca di Sora, come si dirà nel capitolo sulle risorse idriche; le sue acque vengono utilizzate per la produzione di energia elettrica e servono numerosi stabilimenti industriali. Sui rilievi collinari meridionali si trovano tre corsi perenni con portate modeste; il torrente Rio si versa nel Fibreno a

Ponte Tapino (Brocco) e porta in magra un contributo stimato di 2-300 l/sec, gli altri hanno portate di magra minori.

Il fiume Liri

Il Liri nasce presso Cappadocia; poche decine di metri a valle delle sorgenti la maggior parte delle sue acque viene derivata in una condotta che serve la centrale idroelettrica di Canistro. Il rifiuto, poco più che un ruscello, scorre per un tratto di circa un chilometro verso est in un alveo incassato tra lenti di breccie mioceniche; uscito dalla stretta gola piega a SW per entrare nella valle aperta nella formazione argilloso-arenacea; l'alveo è ciottoloso e la portata in periodo di magra non raggiunge i cento litri al secondo. Il contributo di modesti affluenti dal versante destro aumenta gradualmente la sua portata; a Capistrello il fiume piega ad est per entrare nella struttura calcarea che, sotto Pescocanale, viene incisa da una profonda gola larga un centinaio di metri e lunga un chilometro. In questo tratto riceve l'antico Emissario Claudio, condotta artificiale costruita in epoca romana per drenare il vasto bacino lacustre del Fucino; la funzione di questa opera è oggi secondaria perché è stato costruito un nuovo emissario, che serve la centrale idroelettrica di Colle Prato-franco. A valle di Pescocanale le alluvioni si estendono su una fascia larga un centinaio di metri, di spessore modestissimo, tanto che alla base dei meandri più incisi affiora spesso il substrato argilloso arenaceo. A Canistro il Liri riceve da destra le acque della centrale idroelettrica, provenienti dalle sue sorgenti, e il torrente che nasce dalla sorgente della Sponga; da sinistra il rifiuto della centrale idroelettrica di Colle Prato-franco, alimentata dal bacino del Fucino. La portata cresce quindi improvvisamente, ma per brevissimo tratto: sotto colle Capranica un impianto di derivazione prosciuga nuovamente il letto del fiume, lasciando un rifiuto modestissimo che in magra si perde dentro le alluvioni. Rimane un torrentello che col contributo degli affluenti di destra e di sinistra aumenta progressivamente la sua portata. A monte di Morino si riversa nell'alveo la condotta della centrale alimentata dalla derivazione di Colle Capranica. Per poche centinaia di metri la portata torna ancora abbondante, fino alla nuova derivazione per la centrale di Balsorano, che prosciuga nuovamente l'alveo; il contributo del torrente dello Schioppo è necessariamente modesto perché anche le sue acque vengono derivate verso lo stesso impianto

Portate di piena del Fiume Liri

Fattori naturali che influenzano le piene

Partendo da osservazioni dirette di terreno e dall'analisi di fenomeni naturali che avvengono nel bacino durante le fasi preparatorie delle piene si è tentato di valutare in che misura i vari caratteri idrogeologici contribuiscono a produrre le alluvioni che colpiscono particolarmente i terreni compresi fra Sora e Isola Liri.

Causa prima di un incremento di portata è il massiccio afflusso sul bacino imbrifero di acque meteoriche che vengono smaltite in modo vario a seconda dell'influenza di altri fattori naturali modulanti l'evento. Condizione necessaria perché si verifichi una piena è dunque che intervengano intense precipitazioni. L'analisi climatica svolta da E. LUPA PALMIERI per il bacino in studio indica che su di esso, in conseguenza del particolare clima di transizione tra il *sublitoraneo appenninico* e quello *marittimo*, nel periodo autunno invernale si verificano circa i 2/3 delle precipitazioni totali annue. Nello stesso intervallo possono verificarsi degli eventi piovosi talora molto intensi; infatti le curve delle precipitazioni massime assolute con durata da 1 a 5 giorni (fig. 35) indicano, relativamente al periodo considerato dall'Autore, afflussi varianti da 200 mm in un giorno, e circa 400 mm in 5 giorni. Tale situazione fa sì che sussistano le condizioni base al verificarsi di un evento di piena; tuttavia si osserva che i massimi assoluti di precipitazione, riportati per l'ultimo trentennio, non sempre corrispondono ai massimi eventi di piena; ciò suggerisce, come d'altra parte è noto, che il fenomeno sia modulato da altri fattori naturali.

Mentre generalmente la portata massima di piena è funzione dell'area del bacino, si osserva che il gradiente delle piene, cioè la variazione di portata nell'unità di tempo, dipende strettamente dalla morfologia del bacino, cioè dalla sua forma, dalla pendenza dei versanti e dell'asta principale (fig. 126) e dall'evoluzione della rete di drenaggio (cfr. AVENA-LUPA PALMIERI). Il bacino a monte di Sora si presenta stretto ed allungato, con versanti fortemente acclivi (cfr. GIGLIO-LA MONICA) e sensibile pendenza del fondovalle; tale situazione fa sì che in occasione di eventi meteorici le acque affluite scorrano rapidamente sui versanti, giungendo in breve tempo all'asta principale; il conseguente sensibile aumento dei raggi idraulici permette un rapido deflusso.

I caratteri morfologici del bacino rimangono però sensibilmente costanti nel tempo, quindi essi

influiscono sui diversi eventi di piena in modo costante; tuttavia, come si vedrà meglio in seguito, generalmente a parità di afflussi meteorici il bacino risponde con piene di diversa entità; questo fatto rende chiaramente ragione della influenza sul fenomeno di altri fattori, quali la vegetazione ed i caratteri idrogeologici. La prima ha un peso notevole durante le prime fasi dell'evento, permettendo un forte immagazzinamento di acqua che aderisce alle superfici vegetali bagnabili, quindi, secondo il suo sviluppo, può far variare il coefficiente di rugosità dei versanti influenzando sulle velocità di scorrimento; ma, parimenti alla morfologia, la vegetazione presenta caratteri costanti nel tempo, con variazioni solo stagionali, che si ripetono negli anni successivi. Resta infine il fattore idrogeologico, che, come vedremo, ha un ruolo fondamentale nell'evento di piena.

I caratteri geologici del bacino (cfr. carta idrogeologica) si possono così schematizzare: i due versanti sono formati da rocce calcareo-dolomitiche nelle parti più elevate; sul fondovalle e sui bassi versanti si estende il complesso argilloso-arenaceo. Al contatto fra i terreni carbonatici e terrigeni si trova una sottile fascia detritica che solo localmente assume considerevole estensione (Meta, Polverelli, Balsorano ecc.); la coltre alluvionale antica e recente è molto ridotta.

Si è visto sul terreno, e risulta dai calcoli sull'infiltrazione (cfr. pag. 445), che i versanti calcarei assorbono completamente le piogge ordinarie; si osserva scorrimento superficiale solo per intensità eccezionali. I calcari dolomitici, che hanno una minore capacità di infiltrazione, assorbono solo una parte delle precipitazioni ordinarie. Il complesso argilloso arenaceo, sebbene impermeabile, ha una considerevole capacità di assorbimento nella sua coltre di alterazioni superficiale; questa, dopo un periodo di siccità, può trattenere gran parte delle prime piogge, fino a raggiungere la completa saturazione; successivamente tutti gli afflussi scorreranno in superficie. I detriti di falda, i conoidi e le alluvioni assorbono e trattengono temporaneamente gli afflussi meteorici che raggiungono la loro area di affioramento e parte dello scorrimento superficiale che si sviluppa sugli alti versanti, esercitando una funzione regolatrice. Col perdurare delle piogge, raggiungono anch'essi la saturazione e favoriscono il ruscellamento in superficie. Le formazioni detritiche e la coltre di alterazione del complesso argilloso arenaceo contribuiscono quindi diversamente allo scorrimento superficiale a seconda del grado di saturazione rag-

giunto, che varia sostanzialmente col tempo di pioggia.

Si è inoltre visto direttamente sul terreno che la risposta del bacino ad un evento meteorico non varia solo con la durata della pioggia ma particolarmente con l'intensità delle precipitazioni: se queste sono eccezionali anche i versanti carbonatici, non essendo in grado di trattenere e assorbire in breve tempo tutte le acque meteoriche, contribuiscono ad alimentare lo scorrimento superficiale e la intera rete idrografica diviene attiva; le portate sul fondovalle crescono di conseguenza.

I versanti carbonatici contribuiscono quindi in misura nettamente diversa allo scorrimento superficiale, secondo l'intensità di precipitazione.

Fra le numerose cause che provocano la piena hanno quindi un peso determinante sia l'intensità della pioggia che i caratteri geologici del bacino; nonostante le attente indagini condotte sul terreno, per la mancanza di stazioni di osservazione e di un sufficiente numero di apparecchi di registrazione

degli afflussi e delle portate opportunamente distribuiti nel bacino, è stato possibile in questo lavoro fare considerazioni valide in via qualitativa e solo approssimativamente quantitativa (si veda oltre). Una successiva fase di studi, condotta con le necessarie attrezzature, potrebbe certamente contribuire non solo ad affinare i metodi di previsione delle piene, ma soprattutto a valutare quali interventi di sistemazione e quali misure di protezione siano più adatte nelle diverse situazioni idrogeologiche.

Va osservato infine che il Liri, uscito dalle gole di Cappadocia, scorre fino a Sora entro una fascia generalmente ristretta di alluvioni, appoggiate sul complesso argilloso arenaceo impermeabile che si estende per alcuni chilometri a destra e a sinistra dell'alveo. Solo per un brevissimo tratto a valle di Capistrello (fig. 126), il fiume attraversa la formazione dei calcari avana; al di fuori di questa eccezione il Liri non ha alcun rapporto diretto con i versanti calcarei permeabili. Ne deriva che

(Spiegazione della fig. 126)

FIG. 126 — In legenda: 1) rocce permeabili e pochissimo erodibili, 2) rocce poco permeabili e poco erodibili, 3) rocce impermeabili ed erodibili, 4) limiti litologici, 5) faglie.

All'altezza delle sorgenti del Liri lenti di breccie monogeniche intercalate al complesso argilloso arenaceo limitano l'erosione e determinano una pendenza dell'alveo molto elevata. Questa, quando scompaiono le breccie, si attenua pur rimanendo molto irregolare fino al decimo chilometro, dove si osserva un netto gradiente di pendio. Per giustificare la discontinuità morfologica, che non trova immediata spiegazione, si può riprendere una ipotesi già avanzata da BENE0 (1936): Il Liri, giunto all'altezza di Capistrello, avrebbe un tempo deviato il suo corso a sinistra e attraversato i Piani Palentini prima di versarsi nel Lago del Fucino. Erosasi successivamente la soglia carbonatica che ne sbarrava il corso, l'alto Liri sarebbe stato catturato e avrebbe cominciato a defluire nella attuale valle. La caduta del livello di base avrebbe dato inizio al processo di erosione retrograda, oggi chiaramente visibile a monte di Capistrello. A favore di queste ipotesi si può affermare, tra l'altro, che la quota del fondovalle, prima dell'inizio del forte gradiente di pendio, è di pochi metri superiore a quella dei Piani Palentini. Successivamente il Liri attraversa per breve tratto i calcari avana di Pescocanale e prosegue poi nel complesso argilloso arenaceo con pendenze regolarmente decrescenti fino alla confluenza col Fibreno. Tra la confluenza col fosso delle Mele e il fosso Gola Tesa, all'altezza di Balsorano, alluvioni antiche terrazzate (il cui spessore è stato esagerato per motivi grafici) formano una soglia che rompe il regolare andamento della curva di fondo; va osservato che le alluvioni che seguono il corso del fiume hanno spessori tanto ridotti da non essere cartografabili alla scala del disegno. Al di fuori del tratto prossimo alla confluenza col fosso di Rianza e a valle della confluenza con il torrente Lacerno, il Liri scorre sempre su terreni impermeabili e non può quindi avere né apporti né perdite al livello del suo subalveo. La pendenza della curva di fondo degli affluenti è molto elevata nel tratto di terreni carbonatici poco erodibili, variando dal 10% circa per il Lacerno ad oltre il 40% per gli altri affluenti. Il valore della pendenza cade nettamente quando il torrente passa nel complesso erodibile di fondovalle. Il Fibreno dalle sue sorgenti alla confluenza con il Liri presenta una pendenza di circa 0,03%.

— In the legend: 1) Permeable and very weakly erodible rocks; 2) weakly permeable and weakly erodible rocks; 3) unpermeable and erodible rocks; 4) lithological boundaries; 5) faults.

By the Liri springs some lenses of monogenic breccias alternating to the shaly arenaceous complex limit erosion and therefore the profile is very steep. This one, when the breccias are missing, becomes smoother, even if it is still very irregular up to km 10; here a remarkable slope gradient could be observed. To explain this fact an hypothesis made by BENE0 (1936) could be resorted: the Liri River could have deviated its course to the left, once upon a time, running through the Palentini Flats, before joining the Fucino Lake. When the carbonatic wall, which barred its course, was eroded away, the Upper Liri could have been captured, beginning to flow in the actual valley. The lowering of the base level started a retrograde erosion, clearly visible nowadays, upstream of Capistrello. In support of this hypothesis it could be noticed that the bottom valley elevation, before the stepping slope, is few meters higher than that of the Palentini Flats. Successively the Liri flows on the brown limestone and then on the shaly arenaceous complex, with regularly decreasing slopes till it reaches the Fibreno confluence. Between the confluence with the Fosso delle Mele and the Fosso Gola Tesa (Mele Creek, Gola Tesa Creek), by Balsorano, ancient alluviums (thickness has been exaggerated for drafting needs) form a threshold braking the profile regularity. The alluvial deposits, which follow the river, are not representable at the scale of the drawing. The Liri River flows almost always on unpermeable rocks and, therefore, can not have inflows or losses of water. The tributaries have a very high steepness on limestone, ranging from 10% (Lacerno creek) approximately to more than 40% for the other tributaries. Steepness values are noticeably decreasing when the stream flows through the erodible rocks of the valley. The Fibreno profile, from its springs to the confluence with the Liri River, is approximately 0.03%.

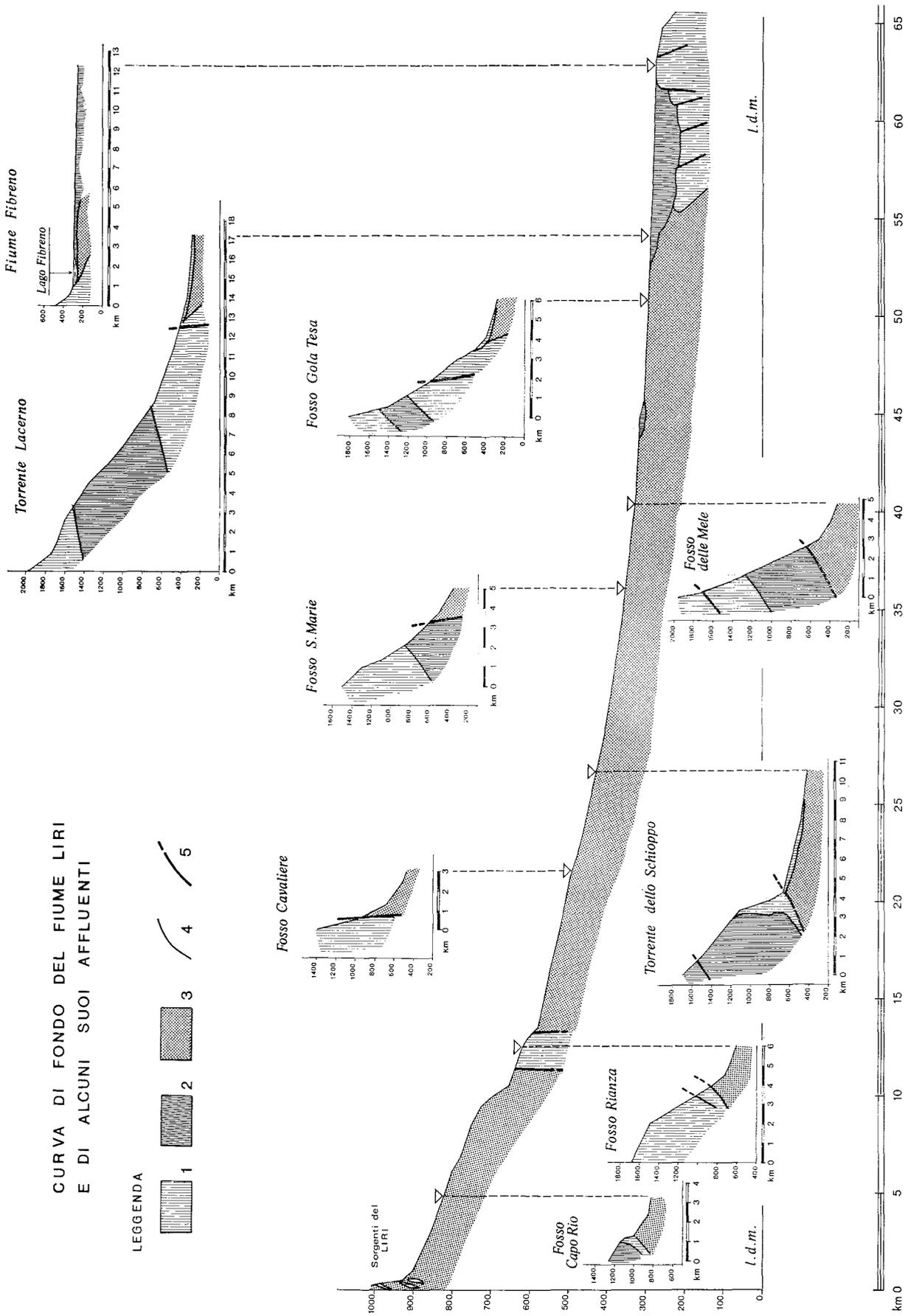


FIG. 126

non vi può essere alcuno scambio sostanziale fra acque superficiali e sotterranee e quindi che il fiume non può avere, al livello del suo subalveo, né apporti né perdite.

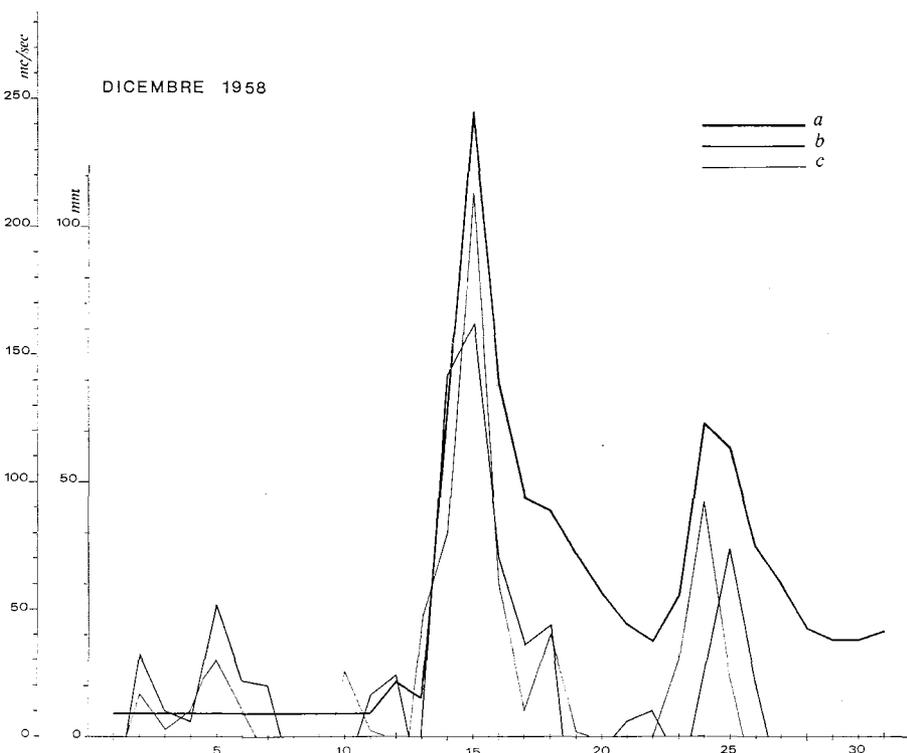
Studio degli idrogrammi

Per valutare come il bacino risponde ai singoli eventi meteorici sono stati considerati alcuni casi di piena raffrontandoli agli ietogrammi di alcune

dall'1 al 7, che, ad una stima approssimata, assommano fino a Sora ad un volume di pioggia di circa $30 \times 10^6 \text{ m}^3$. In conseguenza delle successive precipitazioni (10-12) si ha una debole risposta delle portate, con un certo sfasamento nel tempo; quindi, in conseguenza del massiccio afflusso dei giorni 13-15, si ha una repentina risalita delle portate al massimo valore registrato nell'intervallo; dopo una caratteristica fase di esaurimento, sostenuta dalle precipitazioni del 16-18, si ha un nuovo

FIG. 127 — Confronto tra l'idrogramma del fiume Liri a Sora (a) con gli ietogrammi relativi alle stazioni di Cappadocia (b) e Civita d'Antino (c) per il dicembre 1958. In ascisse sono riportati i tempi con divisione in giorni; in ordinate è riportata: per gli idrogrammi la portata in m^3/sec , per gli ietogrammi l'altezza di pioggia in mm. La portata del fiume, per i primi 11 giorni, si mantiene intorno a valori di esaurimento e non risente minimamente degli afflussi dei primi 7 giorni che vengono completamente assorbiti. Le piogge successive, trovando il bacino già imbibito, determinano forti incrementi di piena.

— The hydrograph of the Liri River at Sora (a) compared with rainfalls relative to the stations of Cappadocia (b) and Civita d'Antino (c), for December 1958. On abscissas: time in days; on ordinates: discharges in m^3/sec and rainfalls in mm. The river discharge, for the first 11 days, keeps constant around advanced recession values; it is not affected by the inflows of the first 7 days which are completely absorbed.



Subsequent rainfalls, finding the basin already saturated, strongly increase the discharge.

stazioni campione (figg. 127-130); è necessario osservare che i dati a disposizione per la compilazione dei grafici, tratti dagli Annali Idrologici, sono: le portate giornaliere per i deflussi e l'afflusso totale giornaliero per le piogge; mancano le intensità orarie di pioggia. Entro questi limiti è possibile solo fare considerazioni poco più che qualitative, ma molto utili per la conoscenza dei caratteri idrogeologici del bacino.

Nel grafico relativo all'evento del dicembre 1958 (fig. 127) si osserva che le portate del fiume tra il giorno 1 e 11, per l'andamento regolare e il loro basso valore, sono caratteristiche di una fase di esaurimento; in queste condizioni la portata non risente minimamente delle precipitazioni cadute

massimo di portata, in concomitanza ad un evento piovoso la cui entità è modesta se raffrontata al valore della portata.

Analogamente, nel novembre 1956 (fig. 128), un primo evento piovoso (circa 70 mm in 3 giorni) determina un esiguo incremento di portata, mentre i 150 mm di pioggia caduti nei tre giorni successivi determinano una portata che raggiunge valori di $130 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Nell'aprile 1958 (fig. 129) le piogge cadute dal 4 al 10 producono una portata massima di circa $70 \text{ m}^3/\text{sec}$; alle piogge del 12-18, di analoga entità, ma cadute quando il bacino si trovava ad un elevato grado di saturazione, seguono portate di circa $120 \text{ m}^3/\text{sec}$.

Nel dicembre 1959 (fig. 130) si ha un susseguirsi di eventi piovosi ben distribuiti nel tempo che mantengono le portate costantemente a livelli elevati. Da quanto esposto si vede molto chiaramente che il bacino assorbe interamente o reagisce con scarsi incrementi di portata a piogge che se-

guono periodi secchi, mentre per eventi piovosi in stretta successione si ha una risposta immediata del bacino, con portate proporzionali agli afflussi.

Una valutazione più precisa del fenomeno si può avere ponendo in grafico semilogaritmico alcuni eventi di piena e scomponendo gli idro-

FIG. 128 — Confronto tra l'idrogramma del fiume Liri a Sora (a) con gli ietogrammi relativi alla stazione di Cappadocia (b) e Civita d'Antino (c) per il novembre 1956. In ascisse sono riportati i tempi con divisione in giorni; in ordinate è riportata: per gli idrogrammi la portata in m^3/sec , per gli ietogrammi l'altezza di pioggia in mm. Gli afflussi dei primi 4 giorni determinano una debole risposta del bacino a causa delle forti perdite per infiltrazione e assorbimento. I successivi afflussi, trovando il bacino già parzialmente imbibito, causano una risposta più netta delle portate del fiume.

— The hydrograph of the Liri River at Sora (a) compared with rainfalls relative to the stations of Cappadocia (b) and Civita d'Antino (c), for November 1956. On abscissas: time (in days); on ordinates: discharges in m^3/sec and rainfalls in mm. Inflows of the first 4 days cause a weak response of the basin; subsequent rainfalls, finding the basin already partially saturated, cause a more remarkable response of the discharge.

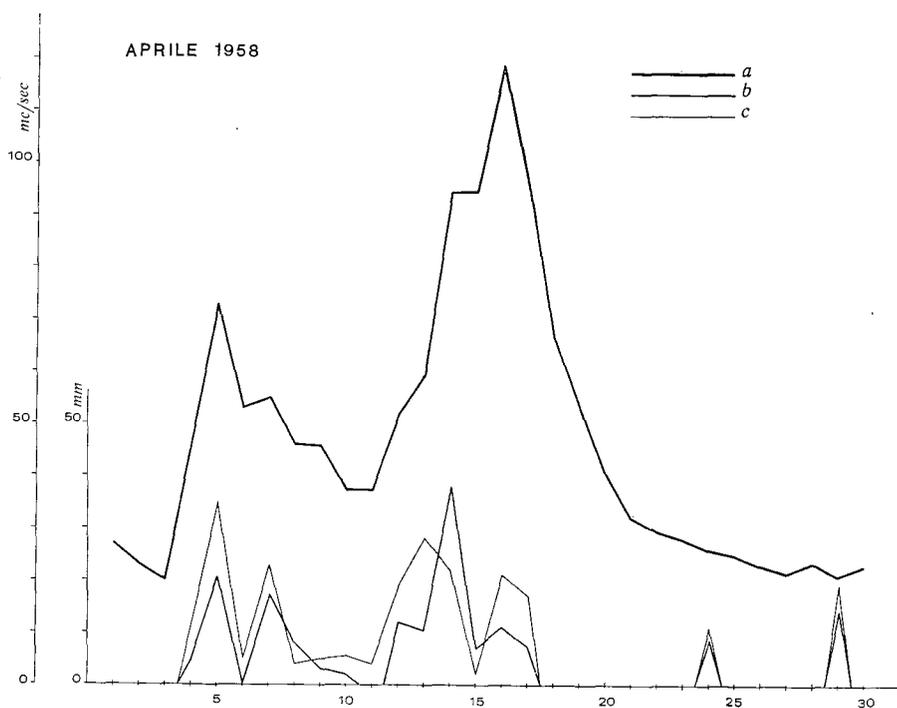
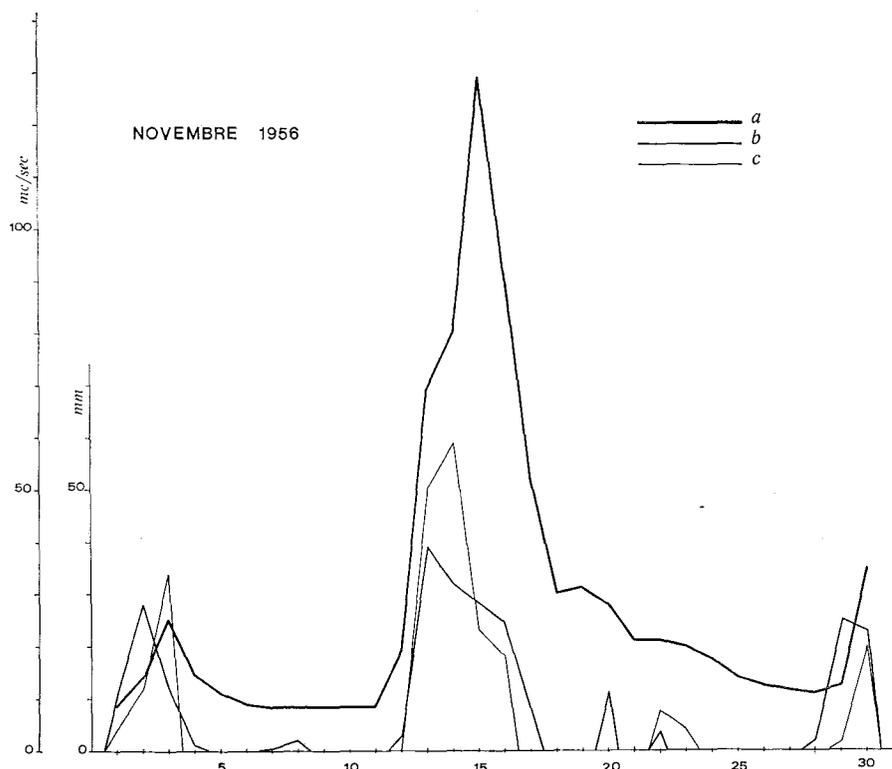


FIG. 129 — Confronto tra l'idrogramma del Fiume Liri a Sora (a) con gli ietogrammi relativi alle stazioni di Cappadocia (b) e di Civita d'Antino (c) per l'aprile 1958. In ascisse sono riportati i tempi con divisione in giorni; in ordinata è riportata: per gli idrogrammi la portata in m^3/sec , per gli ietogrammi l'altezza di pioggia in mm. Le piogge cadute dal 4 al 10 determinano una portata di circa $70 m^3/sec$, mentre le successive, di analoga entità, producono un picco che raggiunge i $120 m^3/sec$.

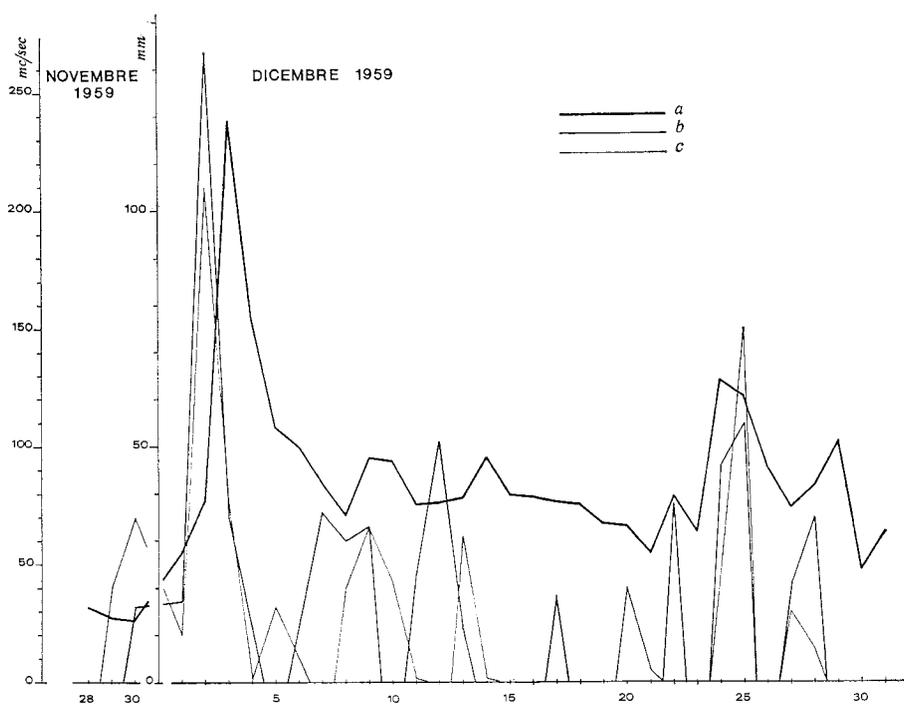
— The hydrograph of the Liri River at Sora (a) compared with rainfalls relative to the stations of Cappadocia (b) and Civita D'Antino (c), April 1958. On abscissas: time (in days); on ordinates: discharges (m^3/sec) and rainfalls (in mm). Rainfalls from 4th to 10th cause a discharge of approximately $70 m^3/sec$, while next rainfalls cause a peak which reaches $120 m^3/sec$.

grammi, così da ottenere una stima quantitativa anche se approssimata, delle componenti che contribuiscono al deflusso delle acque. Trascurando il flusso di base che nel nostro bacino presenta valori molto bassi e quindi poco incidenti sull'idrogramma, si può distinguere il ruscellamento dal flusso ipodermico; con i valori di quest'ultimo, applicando la formula di Maillet, è possibile calcolare un immagazzinamento superficiale massimo variabile da 30 a 40×10^6 m³ (relativo a due eventi del febbraio 1953 e due del dicembre 1958 riportati in fig. 131). Tale valore concorda in modo suf-

Idrologici riportano valori di portata media giornaliera superiore a 200 m³/sec negli anni: 1911 con 270 m³/sec; 1969 con 212 m³/sec; 1964 con 207 m³/sec. A portate medie giornaliere superiori a 200 m³/sec corrispondono probabilmente portate al colmo che raggiungono almeno i 250-300 m³/sec. Considerando che in corrispondenza di questo valore si verificano vasti allagamenti a valle di Sora, si può ritenere che nei periodi sopra considerati si sono verificate non meno di 8 esondazioni. Va aggiunto che nel 1968 si è avuta una portata al colmo di circa 500 m³/sec. Si può

FIG. 130 — Confronto tra l'idrogramma del Fiume Liri a Sora (a) con gli ietogrammi relativi alla stazione di Cappadocia (b) e Civita d'Antino (c), per il novembre 1959. In ascisse sono riportati i tempi con divisione in giorni; in ordinata è riportata: per gli idrogrammi la portata in m³/sec, per gli ietogrammi l'altezza di pioggia in mm. Fra il 5 e il 30, dopo un picco di piena che raggiunge 240 m³/sec, successive piogge trovano il bacino già saturo e determinano portate proporzionali ai loro valori.

— The hydrograph of the Liri River at Sora (a) compared with rainfalls relative to the stations of Cappadocia (b) and Civita d'Antino (c), for November 1959. On abscissas, time (in days); on ordinates: discharges (in m³/sec) and rainfall in mm. Between the 5th and the 30th, after a discharge peak (240 m³/sec), next rainfalls find an already saturated basin and cause discharges proportional to rainfalls values.



ficiente con quello precedentemente dedotto dall'idrogramma del dicembre 1958; negli eventi considerati il bacino del Liri fino a Sora, in fase di avanzato stato di esaurimento presenta una capacità di immagazzinamento di circa 100 mm di pioggia. Questo volume, come risulta dall'analisi delle curve di esaurimento viene gradualmente e interamente restituito in un intervallo di tempo variabile dai 10 ai 15 giorni; si rinnova così completamente la capacità assorbente del bacino.

Dallo spoglio degli Annali Idrologici risulta che, nel periodo 1936-42 e 1948-60, a Sora la portata del Liri ha superato 250 m³/sec negli anni: 1937 con 520 m³/sec; 1952 con 670 m³/sec; 1958 con 410 m³/sec; 1959 con 297 m³/sec; 1960 con 355 m³/sec. Nel periodo 1960-65 gli Annali

concludere che nei 28 anni presi in considerazione si sono verificate esondazioni con ricorrenza triennale; sette di queste sono relative al periodo 1958-68.

Le portate misurate a Sora comprendono il contributo dell'emissario del Fucino, che raggiunge un massimo di circa 60 m³/sec; non avendo informazioni precise sui tempi e le modalità di scarico di tale emissario non si potrà valutare la sua incidenza sulla portata misurata agli idrometri.

Le piene analizzate, pur nella diversità dei valori di portata massima, presentano tra loro una certa similitudine. L'andamento più frequente di tali eventi può essere schematizzato con un afflusso meteorico iniziale per cui le portate passano dal precedente valore di esaurimento ad un cul-

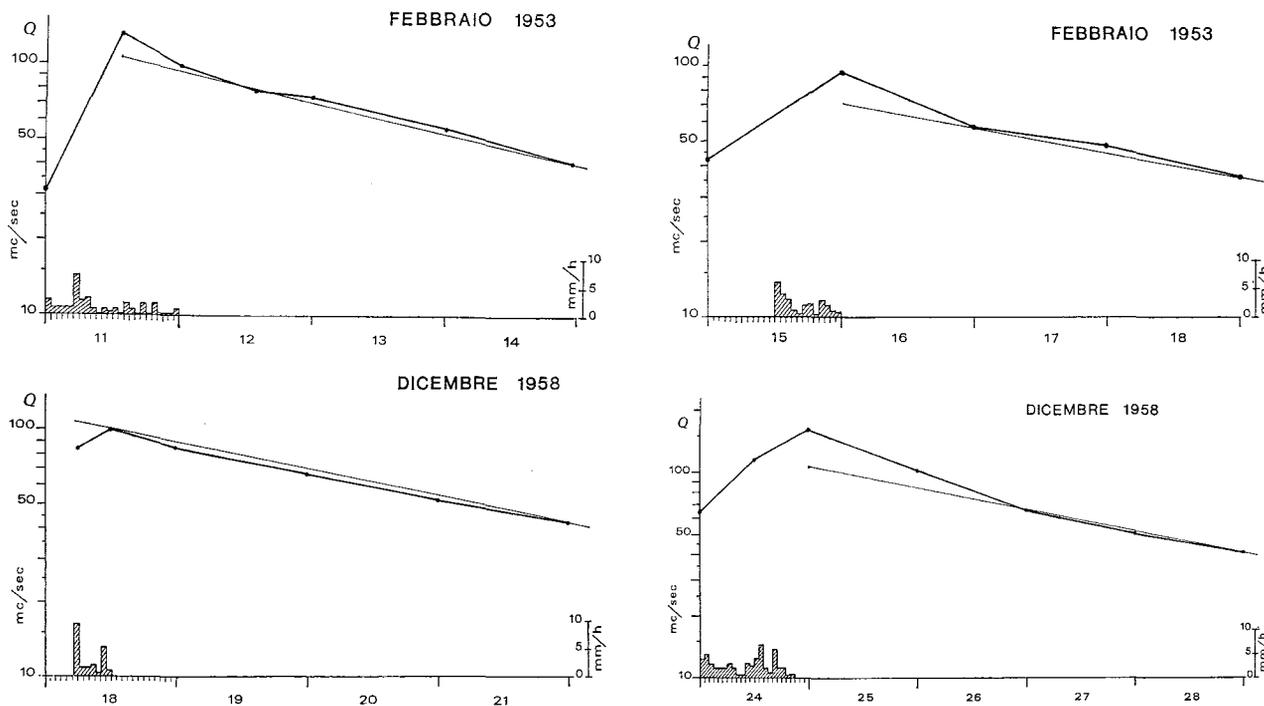


FIG. 131 — Calcolo della capacità di immagazzinamento superficiale del bacino del Liri a monte di Sora in quattro casi caratteristici. In ascisse è riportato il tempo con l'indicazione in giorni; in ordinata, in scala logaritmica, i valori delle portate in m^3/sec . Alla base di ogni figura sono riportati gli ietogrammi relativi agli eventi considerati con la scala delle intensità (mm/h) sul margine destro. Con procedimento noto si traccia la retta di esaurimento (linea sottile) relativa al flusso ipodermico. Applicando la formula di MAILLET si è calcolato il coefficiente di esaurimento (α) e il volume massimo immagazzinato nell'evento considerato (che risulta nell'ordine rispettivamente $32,7 \times 10^6 m^3$; $28,6 \times 10^6 m^3$; $36,2 \times 10^6 m^3$; $37,3 \times 10^6 m^3$).

— Surface storage capacity calculated for the Liri basin upstream of Sora, in four typical cases. On abscissas: time (in days); on ordinates, at logarithmic scale: discharges values. In the lower part of diagram rainfalls (mm/h) have been represented. The recession line has been drawn and, by MAILLET formula, the recession coefficient (α) and the maximum stored volume have been calculated. Values of 32.7; 28.6; 36.2; 37.3 millions of m^3 have been obtained.

mine poco elevato di piena. Generalmente l'inizio delle piogge precede il primo incremento di portata di un intervallo variabile dalle 6 alle 24 ore, secondo lo stato precedente del bacino e la intensità di pioggia. Dopo questa prima fase, che diminuisce la capacità di assorbimento, si ha un secondo evento meteorico, cui corrisponde un incremento di piena rapidissimo fino al valore massimo, che risulta funzione della intensità di pioggia; l'intervallo tra l'inizio di questo secondo evento meteorico e l'inizio della intumescenza è di qualche ora (3-6); tra quest'ultimo e il colmo intercorrono dalle 7 alle 24 ore; ciò è dovuto al variare, durante l'evento, dell'intensità di pioggia, con conseguenti variazioni nel gradiente di piena; se il gradiente rimane costante per tutto il periodo di concentrazione si osservano tempi relativamente brevi.

Dopo il colmo di piena segue una fase di esaurimento in genere più o meno influenzata da piogge di minore entità che determinano talora dei picchi secondari, talora soltanto sostengono la curva di

esaurimento; in assenza di nuove intense precipitazioni, le portate, nell'intervallo di una decina di giorni, scendono ad un valore prossimo a quello precedente l'evento di piena.

L'andamento ora descritto può essere esemplificato con la piena del dicembre 1952 (fig. 132) in cui un primo afflusso di $100 \times 10^6 m^3$ determinò l'aumento delle portate dai valori di esaurimento (circa $25 m^3/sec$) a valori prossimi a $100 m^3/sec$, dopo un intervallo di circa 12 ore un secondo afflusso sempre di $100 \times 10^6 m^3$ determinò un rapido incremento di portata da circa $80 m^3/sec$ ad un massimo di oltre $600 m^3/sec$.

La successiva fase di esaurimento condusse le portate in tredici giorni circa ad un valore prossimo a quello precedente l'evento (circa $25 m^3/sec$). Mentre le piogge del 16 (circa $30 \times 10^6 m^3$) sostengono il valore delle portate nella fase di decrescita, gli afflussi del 17-18 (circa $60 \times 10^6 m^3$), intervenuti oltre 48 ore dopo il colmo di piena, non sembrano influenzare la fase di esaurimento.

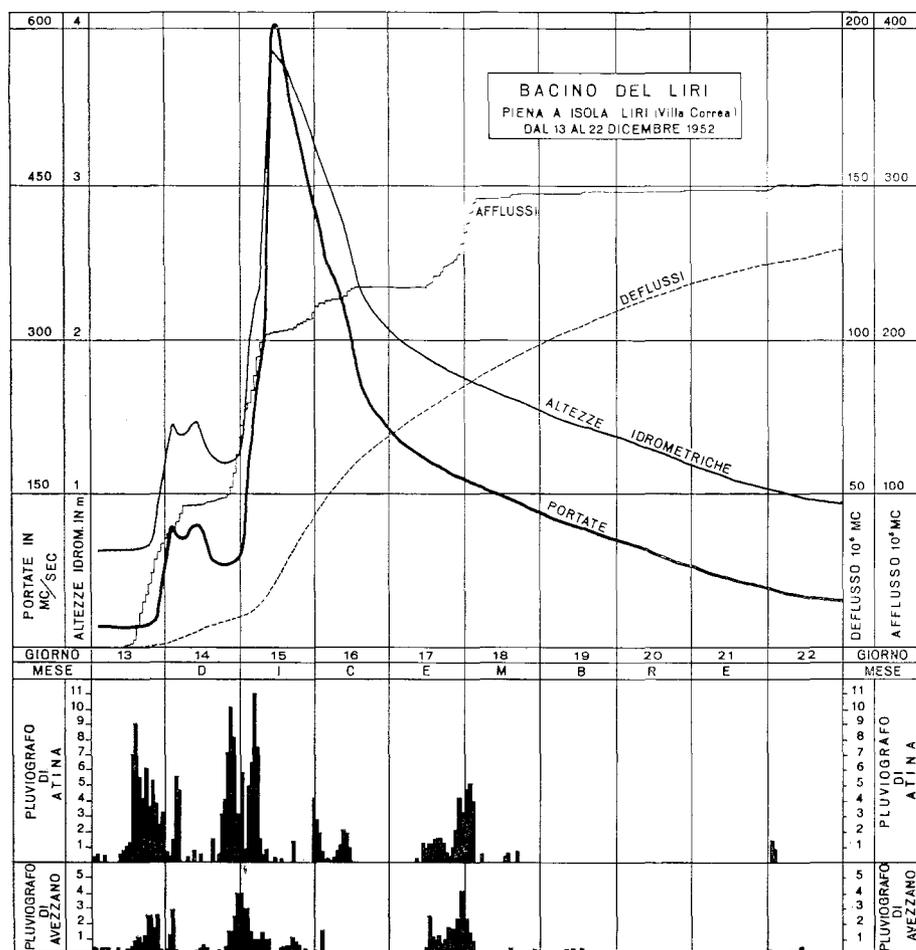


FIG. 132 — Piena ad Isola Liri dal 13 al 22 dicembre 1952. Il grafico è stato ridisegnato dagli Annali Idrologici. In esso figurano: curva delle portate, curva delle altezze idrometriche, curva degli afflussi cumulati, curva dei deflussi cumulati, ietogrammi delle stazioni di Atina e di Avezzano. Un primo afflusso di circa 100 milioni di m^3 , intervenuto a bacino secco, determina un modesto picco di piena; il successivo afflusso sempre di 100 milioni di m^3 , trovando il bacino saturo, provoca un picco di piena di oltre 600 m^3/sec ; segue una fase di esaurimento che sembra non risentire dei modesti afflussi del 17-18.

— Flood at Isola Liri occurred between the 13th and the 22nd Dec. 1952. The following curves are represented: discharges curve, hydrometric heights, cumulated inflows curve, cumulated outflows curve; Avezzano and Atina stations rainfalls. A first inflow of roughly 100 millions m^3 occurring when the basin was dry, caused a relatively low flood peak. The next inflow having the same amount, finding the basin already saturated, caused a flood peak of 600 m^3/sec . A recession stage, apparently not influenced by the weak inflows of the 17th - 18th, follows.

Tale andamento degli eventi di piena, frequenti per il bacino del fiume Liri, si può considerare come tipico e schematizzare nel seguente modo:

1) fase preparatoria: il bacino, in esaurimento, immagazzina quasi totalmente i primi afflussi, tendendo così al suo stato di saturazione superficiale. Ciò può avvenire per un lungo periodo di deboli piogge o, più frequentemente, per brevi e intense precipitazioni.

2) fase principale: ad intensi afflussi, non necessariamente superiori a quelli della fase preparatoria, corrisponde un rapido incremento di portata con elevati valori al colmo, cui segue un rapido decremento.

3) fase di esaurimento, modulata dalla restituzione dell'acqua immagazzinata nelle coltri superficiali più permeabili del bacino.

Influenza del fattore geologico sulle portate di piena

L'analisi dei fattori naturali, da quanto finora esposto, mette in chiara evidenza che il verificarsi di una piena, a parità di altre condizioni, dipende

dall'intensità e dalla durata delle piogge, dalla morfologia del bacino e dalla sua capacità di infiltrazione, che risulta variabile con i caratteri idrogeologici e con lo stato di saturazione dei versanti.

I metodi comunemente adottati per calcolare le portate di piena sono stati elaborati allo scopo di rilevare dati quantitativi, per poter su questi impostare una sicura progettazione di opere idrauliche; pur rispondendo allo scopo, per comodità di calcolo, essi non tengono sempre esplicitamente conto di molti fattori naturali, e trascurano particolarmente di considerare la situazione idrogeologica dei bacini. Se si vuole tuttavia non tanto prevedere una portata di piena, quanto analizzare le cause che la determinano è opportuno considerare il maggior numero di fattori che sicuramente la influenzano.

Si è cercato nella letteratura idraulica un metodo di calcolo delle piene che, nella sua formulazione originaria, prendesse in considerazione esplicitamente i fattori che nel nostro caso sono apparsi determinanti nella dinamica del fenomeno: inten-

sità e durata della pioggia, morfologia del bacino, condizioni idrogeologiche. Rispondeva a queste esigenze il metodo proposto da V. FORNARI (1910) (*), che è stato qui adottato non tanto come metodo di previsione quanto per mettere in evidenza l'influenza del fattore geologico in un evento di piena. Il metodo di FORNARI è applicabile nel caso di una precipitazione isolata di intensità costante ed uniforme su tutto il bacino, quando sia possibile conoscere il valore caratteristico di ρ .

Poiché le piogge che causano la piena, come si è visto nell'esame degli idrogrammi, sono di intensità variabile e irregolarmente distribuite nel tempo così da portare la sovrapposizione di fasi di concentrazione a fasi di esaurimento di eventi successivi, è emersa la necessità di rendere il metodo

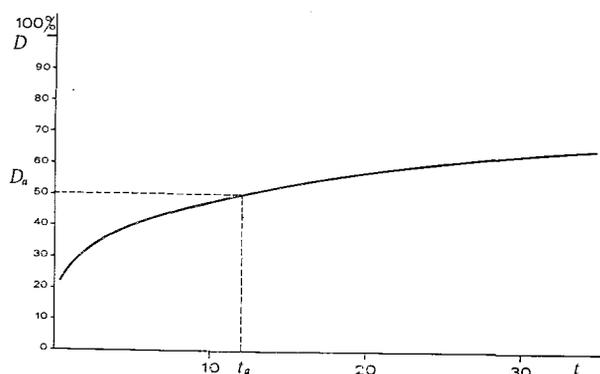


FIG. 133 — Grafico della funzione

$$D = 5/4 \rho j^{1/3} t^{1/4}$$

che mette in rapporto il valore del deflusso istantaneo con il tempo di pioggia (t) per $\rho = 1$ e $j = 10$ mm/h. Per un qualsiasi valore del tempo di pioggia (t_a) si può conoscere il rispettivo valore del deflusso (D_a).

— Diagrams of the function

$$D = 5/4 \rho j^{1/3} t^{1/4}$$

showing the relationship between instantaneous flow and rainfall time, when $\rho = 1$ and $j = 10$ mm/h. For any value of rainfall (t_a) the relative flow (D_a) could be calculated.

(*) Rimandando per la precisa conoscenza del metodo al lavoro originale (FORNARI, 1910), sembra opportuno riassumere qui i principi su cui esso si basa.

Posto V' = Volume di acqua defluito

V = Volume di acqua affluito

ψ = Coefficiente di deflusso

per cui sia $V' = \psi \cdot V$

L'Autore osserva che ψ dipende dalla natura geologica e climatologica del bacino, cioè dal tempo e intensità di pioggia, dai caratteri del suolo e del sottosuolo, dal

loro grado di umidità e dalle opere sistematorie intese in senso lato. Con opportune considerazioni egli pone

$$\psi = \rho \cdot j^{1/3} \cdot t^{1/4}$$

dove i principali fattori climatologici vengono considerati in j che è intensità di pioggia e t il tempo di pioggia mentre ρ ingloba tutti i rimanenti fattori che concorrono a sottrarre una frazione delle precipitazioni al deflusso.

FORNARI considera quindi l'afflusso meteorico pari a

$$V = j \cdot t \cdot B$$

in cui è B = area del bacino; e il deflusso pari a

$$V' = \psi \cdot j \cdot t \cdot B = \rho \cdot j^{4/3} \cdot t^{5/4} \cdot B$$

Questo rappresenta il volume d'acqua smaltito in un tempo di deflusso ϑ con una portata variabile da istante a istante. Quindi considera in ogni istante ed in ogni segmento infinitesimo dell'asta principale un deflusso con portata q_x e con velocità v_x schematizzando il moto vario effettivo come un succedersi di moti uniformi tutti differenti tra di loro. Sotto questa ipotesi in ogni punto ed in ogni istante la forza acceleratrice dovrà essere uguale a quella resistente, quindi si avrà

$$K \cdot v_x^2 = \delta \cdot q_x \cdot \sin \alpha_x$$

in cui è k = coefficiente di scabrosità, v_x = velocità; q_x = portata; δ = densità dell'acqua; α_x = inclinazione del segmento.

Considerando che l'acqua percorra nel tempuscolo $d\vartheta$ il tratto infinitesimo la cui proiezione orizzontale sia dl , si ha che

$$v_x = \frac{dl_x}{d\vartheta_x} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_x}$$

da cui, con opportune semplificazioni e sostituzioni si ottiene

$$\sqrt{q_x} = \sqrt{\frac{K}{\delta}} \cdot \frac{1}{\sqrt{p_x}} \cdot \frac{dl_x}{d\vartheta_x}$$

in cui è p_x = pendenza di l_x ; quindi sostituisce a q_x , senza sensibile errore, il suo valore medio

$$q_{xm} = \frac{V'}{\vartheta} = \frac{\rho \cdot j^{4/3} \cdot t^{5/4} \cdot b_x}{\vartheta}$$

in cui b_x = area parziale del bacino sottesa al punto x . Procedendo a separazione di variabili, l'Autore ottiene l'espressione differenziale

$$\frac{d\vartheta_x}{\sqrt{\vartheta_x}} = \sqrt{\frac{K}{\delta \cdot \rho \cdot j^{4/3} \cdot t^{5/4}}} \cdot \frac{dl_x}{\sqrt{b_x \cdot p_x}}$$

che per integrazione lungo tutta l'asta principale L (essendo $L = \int dl_x$) del bacino considerato ci dà la durata totale del deflusso ϑ :

$$\vartheta = \frac{K}{4 \cdot \delta \cdot \rho \cdot j^{4/3} \cdot t^{5/4}} \left(\int \frac{dl_x}{\sqrt{b_x \cdot p_x}} \right)^2 \quad [1]$$

Nel calcolo pratico si sostituirà all'integrale una sommatoria di termini finiti opportunamente scelti.

In fine ponendo $\tau = \vartheta - t$ [2]

si può ricavare il tempo di corrivazione (τ) che risulta dunque funzione della geometria del bacino, della intensità e durata di pioggia, e di due grandezze determinate sperimentalmente riguardanti la rugosità (K) e la somma dei caratteri fisici (ρ) riferibili sostanzialmente alla litologia e pedologia.

Per $t \geq \tau$ l'Autore calcola la portata massima secondo l'espressione

$$Q_{max} = \frac{\rho \cdot j^{4/3} \cdot t^{1/4}}{3600} \cdot B \quad [3]$$

adottato applicabile alla situazione reale. Alla base delle argomentazioni del FORNARI è posta la formula

$$\psi = \rho \cdot j^{1/3} \cdot t^{1/4}$$

che esprime la variazione del coefficiente di deflusso in funzione della intensità e del tempo di pioggia tramite il fattore ρ . In prima approssimazione, durante un evento di piena, possiamo riferire il deficit di deflusso alla ritenzione superficiale e alla infiltrazione nel terreno. Essendo ρ il fattore che rappresenta la capacità del bacino di sottrarre acque meteoriche allo scorrimento superficiale e considerando che la capacità di assorbimento varia nelle singole fasi che producono la piena, come si vede dagli idrogrammi analizzati e dalle osservazioni dirette di terreno, non si potrà adottare il medesimo valore di ρ per eventi successivi.

Infatti mettendo in grafico il valore istantaneo di deflusso, per cui FORNARI dà l'espressione

$$D = \frac{5}{4} \rho \cdot j^{1/3} \cdot t^{1/4}$$

si osserva che la percentuale di deflusso aumenta al crescere del tempo di pioggia (fig. 133). Consi-

deriamo una precipitazione di intensità costante j , che duri da t_0 a t_a , all'istante finale si avrà che la ripartizione degli afflussi tra ruscellamento e infiltrazione sarà indicata da D_a ; se al tempo $t_a + \Delta t$, con Δt sufficientemente piccolo, si avrà un secondo evento piovoso, la ripartizione della pioggia in quel momento sarà indicata in realtà ancora da D_a .

Poiché, nell'analisi di precipitazioni successive è necessario traslare l'origine dei tempi fino a farla coincidere con l'origine di ciascun evento si dovrà considerare ogni volta lo stato iniziale del bacino, tenendo conto delle sue reali condizioni di saturazione schematizzate da D_a . Il valore di ρ non potrà essere più uguale a quello relativo all'inizio dell'evento precedente, perché sarà variato durante la pioggia; questo cambiamento graduale del valore di ρ operativamente si può esprimere variando il suo valore in modo discontinuo negli intervalli successivi.

Da ciò emerge la necessità operativa, nel considerare eventi successivi, di distinguere un ρ relativo ai caratteri idrogeologici propri del bacino, ed un valore « efficace » ρ' da usare nel calcolo,

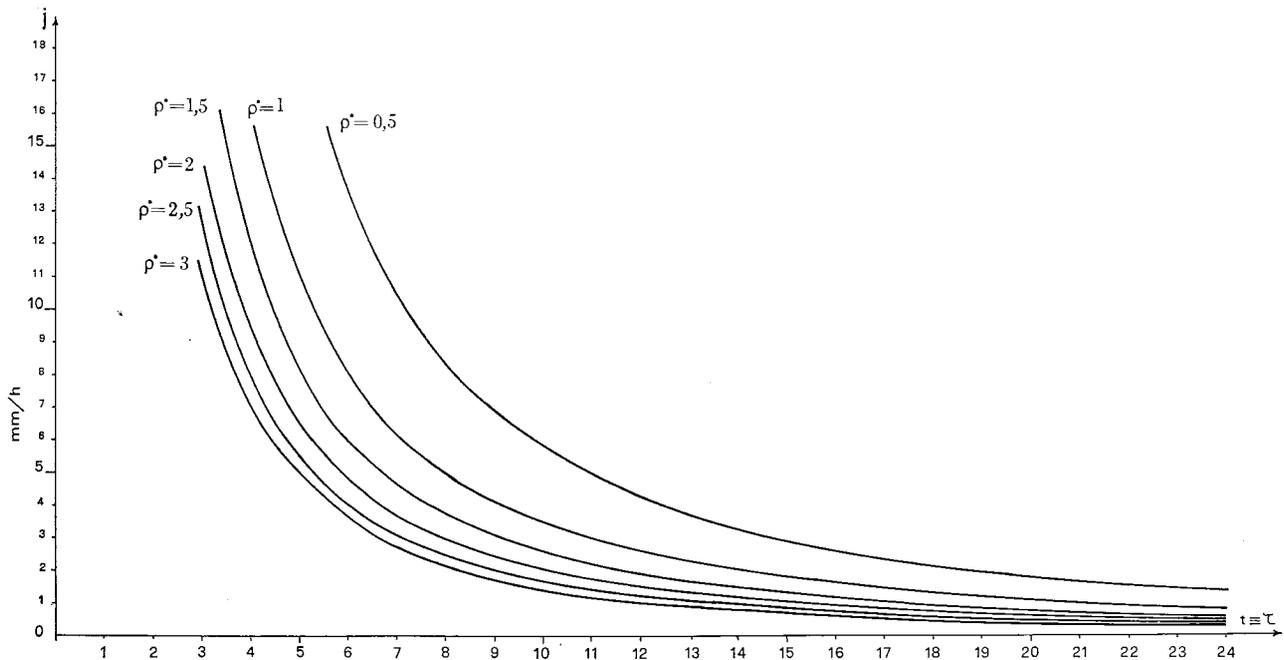


FIG. 134 — Abaco per il calcolo del tempo di corrivazione (τ) del bacino del Liri fino a Sora, in funzione della intensità di precipitazione e del coefficiente ρ . In ascisse i tempi di corrivazione in ore, in ordinate le intensità di pioggia (j) in mm/h. Nel grafico figura una famiglia di curve ottenuta risolvendo le formule di FORNARI [1] e [2], ponendo il tempo di pioggia (t) uguale al tempo di corrivazione. Ogni curva, caratteristica dello stato del bacino, mette in relazione i valori di j con i tempi di corrivazione.

— Master curves to calculate the time of concentration (τ) of the Liri basin up to Sora, related to the rainfall intensity and ρ coefficient. On abscissas: times of concentration, in hours; on ordinates: rainfall intensities (j) in mm/h. In the diagram a family of curves obtained, by FORNARI formulas [1] and [2], considering rainfall time (t) equal to concentration time; each curve, characteristic of the condition of the basin, gives the relationship between j values and concentration times.

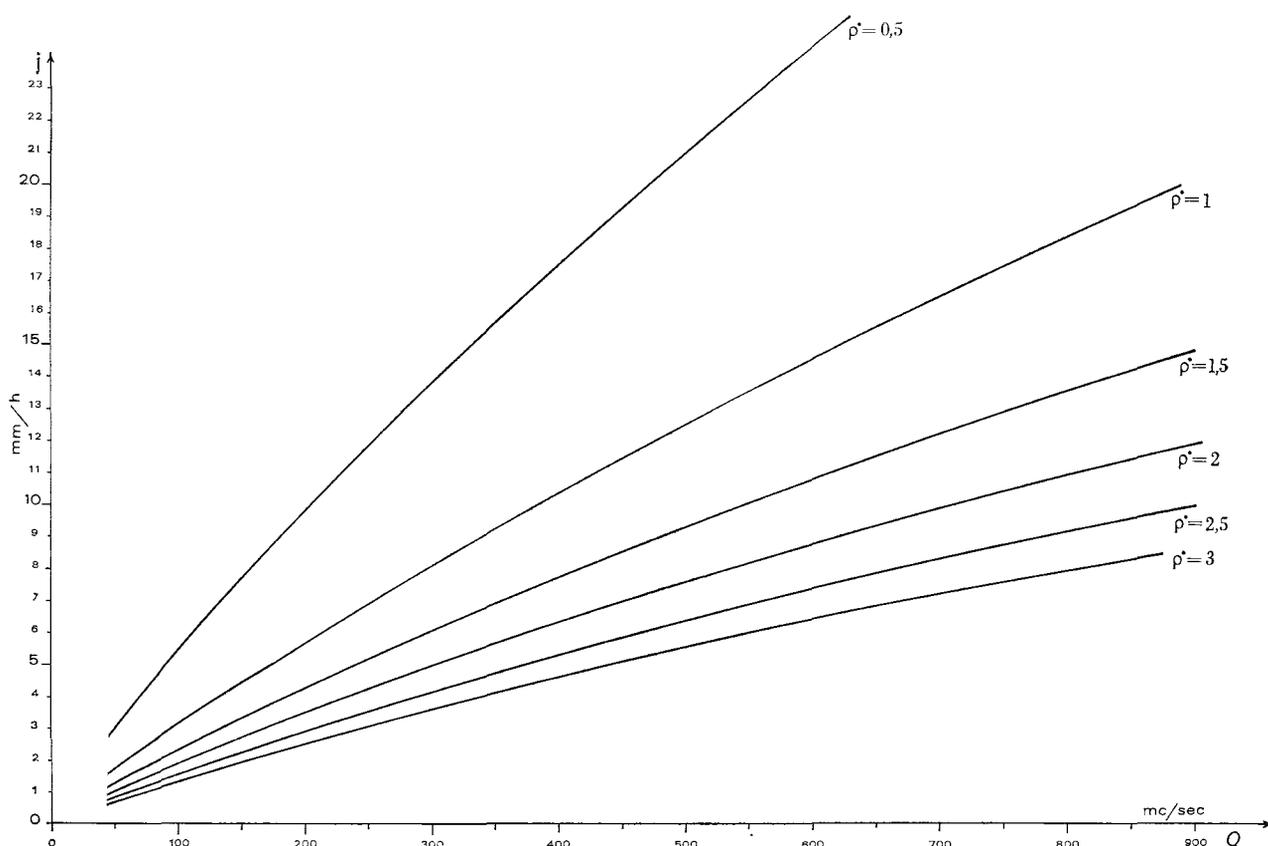


FIG. 135 — Abaco per il calcolo delle portate del Liri a Sora, secondo la formula di FORNARI (3), in funzione dell'intensità di pioggia j e del valore di ρ (posto $t = \tau$). In ascissa i valori di portata in m³/sec; in ordinata le intensità di pioggia (j) in mm/h. Nel grafico figura una famiglia di curve, per diversi ρ , che mette in relazione l'intensità di pioggia con i valori massimi di portata relativi ad un evento con durata uguale o superiore al tempo di corrvazione.

— Master curves to calculate, by FORNARI formula (3), the discharges of the Liri River at Sora, in relation to rainfall intensity (j) and the value of ρ coefficient, (given $t = \tau$). On abscissas: discharges in m³/sec; on ordinates; rainfall intensity (j) in mm/h.

che tenga conto a mezzo di un fattore « C » dello stato del bacino in funzione di eventi precedenti

$$\rho' = C \cdot \rho$$

Si rende quindi necessario distinguere diversi valori di ρ' , se si vuole tener conto della diversa capacità di immagazzinamento idrico durante lo svolgersi di un evento di piena; questa capacità non dipende solo dalla intensità delle piogge (j) o da fattori naturali quali permeabilità, morfologia, e grado di sistemazione del bacino, ma sostanzialmente dallo stato di saturazione che è funzione della entità e della distribuzione temporale degli eventi precedenti, come è illustrato negli esempi relativi agli idrogrammi del 1956, 1958, 1959 e dalla caratteristica piena del 1952 (figg. 128; 129; 130; 132).

La necessità operativa di considerare più eventi concomitanti ha condotto ad adottare nel calcolo degli idrogrammi teorici relativi al bacino del Liri

più valori di ρ' varianti da 0,5 a 3. La struttura matematica delle formule ci indica che bassi valori di ρ' sono relativi a bassi coefficienti di deflusso, cioè ad elevate capacità di immagazzinamento al contrario alti valori di ρ' saranno relativi a maggiori coefficienti di deflusso.

Per l'applicazione del metodo di FORNARI a casi reali si è costruito un grafico partendo dalle formule [1] e [2] dove posto $t = \tau$ e $k = 0,3$ (*) si sono introdotti diversi valori di j , per diversi valori di ρ' , ottenendo la famiglia di curve che è riportata in fig. 134. In modo analogo si è costruito a partire dalla formula [3] una famiglia di curve che mette in relazione la portata massima Q (per $t = \tau$) con j , per diversi valori di ρ' (fig. 135). Con questi grafici si è cercato di ricostruire in base ai valori delle precipitazioni alcuni idrogrammi

(*) La rugosità idraulica si è, in prima approssimazione, considerata costante durante l'evento.

teorici (figg. 136-139) relativi ad eventi reali comparandoli poi con gli idrogrammi registrati (*).

(*) Si descrive come esempio la costruzione dell'idrogramma di fig. 138. Suddividendo gli ietogrammi in intervalli temporali che raggruppano le principali fasi della precipitazione (h 0-10; 10-15; 15-22) si mediano su di essi i valori delle precipitazioni; una diversa scelta degli intervalli non comporterebbe comunque sensibili differenze nel calcolo dell'idrogramma teorico. In corrispondenza delle intensità medie ottenute (2,5; 8; 3, 3) si sono letti sugli abachi (figg. 134 e 135) in funzione di ρ' opportunamente scelti (0,5; 0,8; 3) i corrispondenti tempi di corrivazione e portate massime che figurano sul grafico; con i valori ottenuti si sono costruite le « curve di concentrazione » da cui, tenendo conto del tempo di pioggia dell'intervallo considerato, con il noto metodo delle curve ad S₂ si sono ricavati gli idrogrammi teorici elementari, che figurano in grafico a tratteggio. La somma di tali idrogrammi elementari fornisce l'idrogramma teorico, a tratto marcato, che si pone a confronto con quello registrato.

La scelta dei valori ρ' nella costruzione degli idrogrammi elementari è fatta in modo da ottenere l'idrogramma teorico più simile a quello reale. I valori di ρ' per eventi contigui sono via via crescenti, mentre, qualora tra l'uno e l'altro intercorra un intervallo di tempo senza pioggia, il valore di ρ' relativo al secondo idrogramma potrà essere minore di quello precedente, a causa della riacquisita capacità di assorbimento del bacino, dovuta allo smaltimento delle acque immagazzinate durante l'intervallo di non alimentazione. Questo fatto conferma pienamente le osservazioni di terreno che indicano come il bacino sia in grado di assorbire una diversa quantità di afflusso meteorico secondo il suo stato di saturazione.

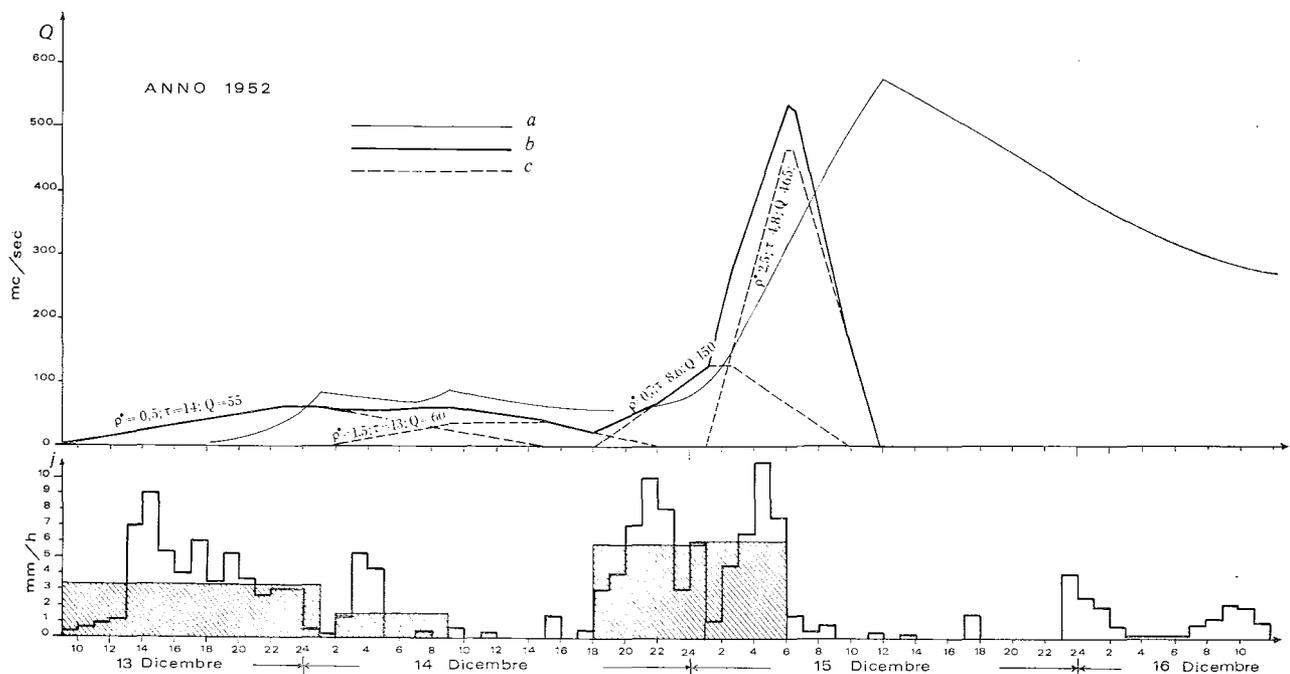


Fig. 136 — Confronto tra l'idrogramma calcolato per Sora e l'idrogramma reale misurato a Isola Liri nel dicembre 1952. Nella parte inferiore del grafico è riportato lo ietogramma relativo all'evento e i valori medi di intensità di precipitazione per opportuni intervalli. In ascisse figura il tempo in ore e giorni, in ordinate le intensità di pioggia in mm/h. Nella parte superiore sono riportati in ascisse i tempi in ore e giorni, in ordinate le portate in m³/sec. Nel grafico figurano: a - idrogramma reale sottratto del flusso di base; c - idrogrammi elementari teorici elaborati dai valori medi di precipitazione in base agli abachi di figg. 134-135; b - idrogramma teorico somma dei precedenti; ρ' = coefficiente di saturazione; τ = tempo di corrivazione; Q = portata massima teorica per $t = \tau$. Nei primi due idrogrammi elementari i valori di ρ' sono crescenti per la progressiva imbibizione del bacino; nel terzo idrogramma il valore risulta minore del precedente a causa dell'intervallo in cui non si sono avute piogge, quindi passa al massimo valore in corrispondenza del picco di piena. Lo sfasamento tra l'idrogramma calcolato e quello reale è giustificato dal fatto che il primo è relativo a Sora, il secondo è registrato a Isola Liri; inoltre nel corso dell'evento si sono avute ampie esondazioni che presumibilmente hanno ritardato e laminato la piena ad Isola Liri.

— Calculated hydrograph and real one recorded at Isola Liri in December 1952. In the lower part of the diagram: the rainfalls and their average values for some intervals of time. On abscissas: time (in hours and days); on ordinates: rainfall intensities in mm/h. In the upper part: on abscissas: time (in hours and days); on ordinates: discharges (in m³/sec); in the diagram are represented: a- real hydrograph; c- elementary hydrographs calculated by master curves of figs. 134-135; b- calculated hydrograph obtained by adding the former ones; ρ' = saturation coefficient; τ = time of concentration; Q = maximum calculated discharge, for $t = \tau$. In the first two elementary hydrographs, ρ' values are increasing because of a progressive saturation of the basin. In the third hydrograph the saturation coefficient is lower because of a period during which it did not rain; ρ' reaches the maximum value in coincidence with a flood peak. The calculated and the real hydrographs do not coincide probably because the former has been calculated at Sora and the latter has been recorded at Isola Liri; moreover, during the flood, large inundations that presumably delayed considerably the flood at Isola Liri, took place.

I grafici costruiti sono relativi al bacino del Liri fino a Sora, mentre gli eventi reali di piena sono stati registrati sia a Sora che a Isola Liri; nel confrontare gli idrogrammi teorici con quelli reali si dovrà tener conto di tale fatto per stimare la loro corrispondenza. Sono state esaminate le piene del dicembre 1952 a Isola Liri (fig. 136), del febbraio 1953 a Isola Liri (fig. 137), del dicembre 1958 a Sora (fig. 138), del dicembre 1960 a Sora (fig. 139) delle quali si conoscevano i dati orari di precipitazione e di portata.

Nell'evento del 1952 si è distinta la fase preparatoria da quella principale, ricostruendo la prima con valori di ρ successivi di 0,5 e 1,5; all'inizio della fase principale si ha $\rho = 0,7$, a causa dell'intervallo in cui è stata assente la pioggia, quindi $\rho = 2,5$; l'idrogramma teorico segue quello reale con buona approssimazione; solo nel picco di piena si ha un anticipo di quasi 6 ore, ma ciò è da attribuirsi con ogni probabilità al fatto che l'idrogramma teorico è relativo a Sora, mentre quello reale a Isola Liri; inoltre in tale evento si ebbero ampie esondazioni nella pianura, le quali evidentemente hanno attenuato e ritardato il picco di piena a Isola Liri.

L'evento del 1953, registrato ad Isola Liri, è stato ricostruito con valori successivi di $\rho = 0,5$ e $\rho = 2$; la corrispondenza tra valori calcolati e registrati è sufficientemente buona. Nell'evento del dicembre 1958 si sono distinti tre periodi di pioggia contigui; i valori medi delle precipitazioni sono stati utilizzati per la costruzione degli idrogrammi elementari teorici in base ai valori successivi $\rho = 0,5$, $\rho = 0,8$, $\rho = 3$, ottenendo una buona corrispondenza tra l'idrogramma teorico somma e quello effettivo. Il confronto tra i valori attribuiti a ρ e l'intensità di pioggia suggerisce che il valore del fattore ρ è strettamente legato ai volumi affluiti nell'intervallo precedente. L'ultimo evento considerato, registrato a Sora nel 1960, è stato ricostruito con due idrogrammi teorici in base ai valori $\rho = 1$ e $\rho = 2,7$; la corrispondenza è molto buona risultando superiore al 90%.

La necessità di attribuire al fattore ρ dei valori teorici a posteriori, così da ottenere una corrispondenza tra portate calcolate e misurate è dovuta al fatto che non si hanno ancora dati sperimentali che mettano in relazione ρ con la litologia ed il grado di saturazione, poiché manca un adeguato numero di idrogrammi di piena, completi delle informazioni sufficienti, così da poter trarre una relazione statistica tra i valori di ρ e lo stato fisico del bacino.

Comunque si osserva che i valori che si è dovuto adottare per ρ negli eventi successivi variano logicamente secondo il significato fisico che si è attribuito a questo fattore. Il confronto tra bacini caratterizzati da diverse situazioni idrogeologiche e stati di sistemazione potrà meglio definire il significato che si è attribuito a ρ ; sarebbe a tal fine necessario disporre di bacini sperimentali

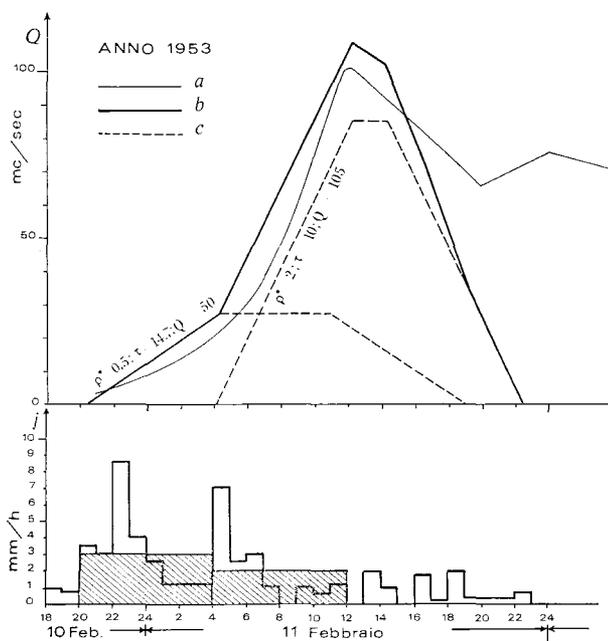


FIG. 137 — Confronto tra l'idrogramma calcolato per Sora e l'idrogramma reale misurato a Isola Liri nel febbraio 1953. Nella parte inferiore del grafico è riportato lo ietogramma relativo all'evento e i valori medi di intensità di precipitazione per opportuni intervalli. In ascisse figura il tempo in ore e giorni, in ordinate le intensità di pioggia in mm/h. Nella parte superiore sono riportati in ascisse i tempi in ore e giorni, in ordinate le portate in m³/sec. Nel grafico figurano: a - idrogramma reale sottratto dal flusso di base; b - idrogrammi elementari teorici elaborati dai valori medi di precipitazione in base agli abacchi di figg. 134 e 135; c - idrogramma teorico somma dei precedenti; ρ = coefficiente di saturazione; τ = tempo di corrivazione; Q = portata massima teorica per $t = \tau$. L'idrogramma calcolato è relativo a Sora, mentre quello reale è registrato ad Isola Liri. I valori di ρ passano da 0,5 a 2 per la progressiva imbibizione del bacino.

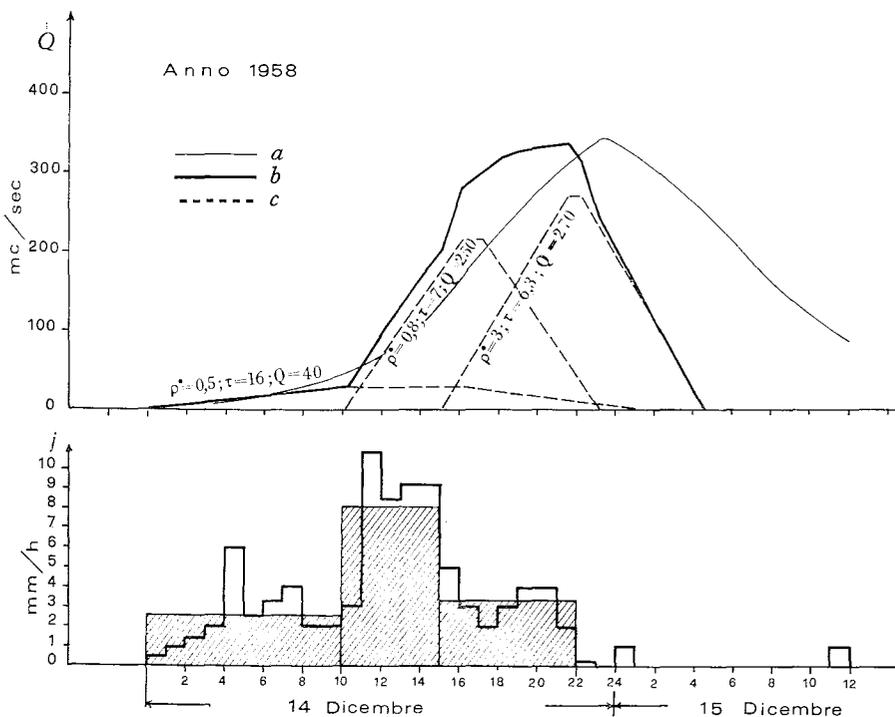
— Calculated hydrograph and real one recorded at Isola Liri in February 1953. In the lower part of the diagram: the rainfalls and their average values for some intervals of time. On abscissas: time, in hours and days; on ordinates: rainfall intensities, in mm/h. In the upper part: on abscissas: time, in hours and days; on ordinates: discharges, in m³/sec. In the diagram are represented: a - real hydrograph; b - elementary hydrographs calculated by master curves of figs. 134-135; c - calculated hydrograph obtained by adding the former ones; ρ = saturation coefficient; τ = time of concentration; Q = maximum calculated discharge, for $t = \tau$. The theoretical hydrograph has been calculated at Sora, while the real one has been recorded at Isola Liri. The ρ values vary from 0,5 to 2 for the progressive saturation of the basin.

adeguatamente attrezzati per la registrazione oraria degli afflussi e delle portate.

Ricerche sperimentali di terreno su opportuni bacini campione, volte a definire quantitativamente i rapporti tra i fattori naturali e il valore numerico da attribuire a ρ' permetterebbero di conoscere a priori il valore più adatto da impiegarsi nei calcoli di previsione.

Altrettanto interessante sarebbe, operando su bacini sperimentali, conoscere in quale misura i diversi tipi di intervento sistematorio tendano ad abbassare il valore del coefficiente ρ' . Ciò permetterebbe di stabilire quali interventi sono più adatti nelle diverse situazioni geologiche; problema che è ancora ben lontano da una razionale soluzione.

FIG. 138 — Confronto tra l'idrogramma calcolato e l'idrogramma reale misurato a Sora nel dicembre 1958. Nella parte inferiore del grafico è riportato lo ietogramma relativo all'evento e i valori medi di intensità di precipitazione per opportuni intervalli; in ascisse figura il tempo in ore e giorni, in ordinate le intensità di pioggia in mm/h. Nella parte superiore sono riportati in ascisse i tempi in ore e giorni, in ordinate le portate in m^3/sec ; nel grafico figurano: *a* - idrogramma reale sottratto del flusso di base; *c* - idrogrammi elementari teorici elaborati dai valori medi di precipitazione in base agli abachi di figg. 134 e 135; *b* - idrogramma teorico somma dei precedenti; ρ' = coefficiente di saturazione; τ = tempo di corrivazione; Q = portata massima teorica per $t = \tau$. Gli idrogrammi sono entrambi riferiti a Sora. Il primo afflusso trova il bacino secco e quindi si è usato $\rho' = 0,5$; per il secondo si è adottato $\rho' = 0,8$; le intense precipitazioni tra le h 10 e le 15 aumentano il grado di saturazione del bacino; nel terzo intervallo infatti, in corrispondenza del picco di piena, figura $\rho' = 3$.



— Calculated hydrograph and real one recorded at Sora, in December 1958. In the lower part of the diagram: the rainfalls and their average values for some intervals of time. On abscissas: time in hours and days; on ordinates: rainfall intensities in mm/h. In the upper part: on abscissas: time in hours and days; on ordinates: discharges in m^3/sec . In the diagram are represented: *a*- real hydrograph; *c*- elementary hydrographs calculated by master curves of figs. 134-135; *b*- calculated hydrograph obtained by adding the former ones; ρ' = saturation coefficient; τ = time of concentration; Q = maximum calculated discharge, for $b = \tau$. Hydrographs are both referred to Sora. The first inflow occurred when the basin was dry and therefore a coefficient $\rho' = 0.5$ has been used. For the second one a value of $\rho' = 0.8$ has been used. Intense rainfalls between the 10th and the 15th hour increased the saturation of the basin; in the third interval a value of $\rho' = 3$ appears in coincidence with the flood peak.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Lo scorrimento superficiale registrato a Sora nei mesi estivi è in media di $9 m^3/sec$ con punte minime di $3 m^3/sec$; quest'ultimo valore corrisponde sostanzialmente al contributo delle sorgenti che, soprattutto nell'alto versante destro, alimentano il reticolo superficiale. A monte di Balsorano tuttavia in estate l'alveo del Liri e dei suoi affluenti è praticamente asciutto perché, tranne rare eccezioni, le sorgenti sono captate e le acque del fiume

vengono derivate in condotte sotterranee e utilizzate per la produzione di energia idroelettrica. Diversa è la situazione del fiume Fibreno, che ha un regime più regolare, e sebbene venga utilizzato dalle industrie locali conserva anche in estate per tutta l'asta una portata che solo eccezionalmente scende sotto i $7 m^3/sec$.

Le ridotte portate di magra del Liri a Sora, tipiche del periodo estivo, e le piene eccessive, frequenti nel periodo autunnale e invernale, sono riferibili al medesimo fattore naturale: la capa-

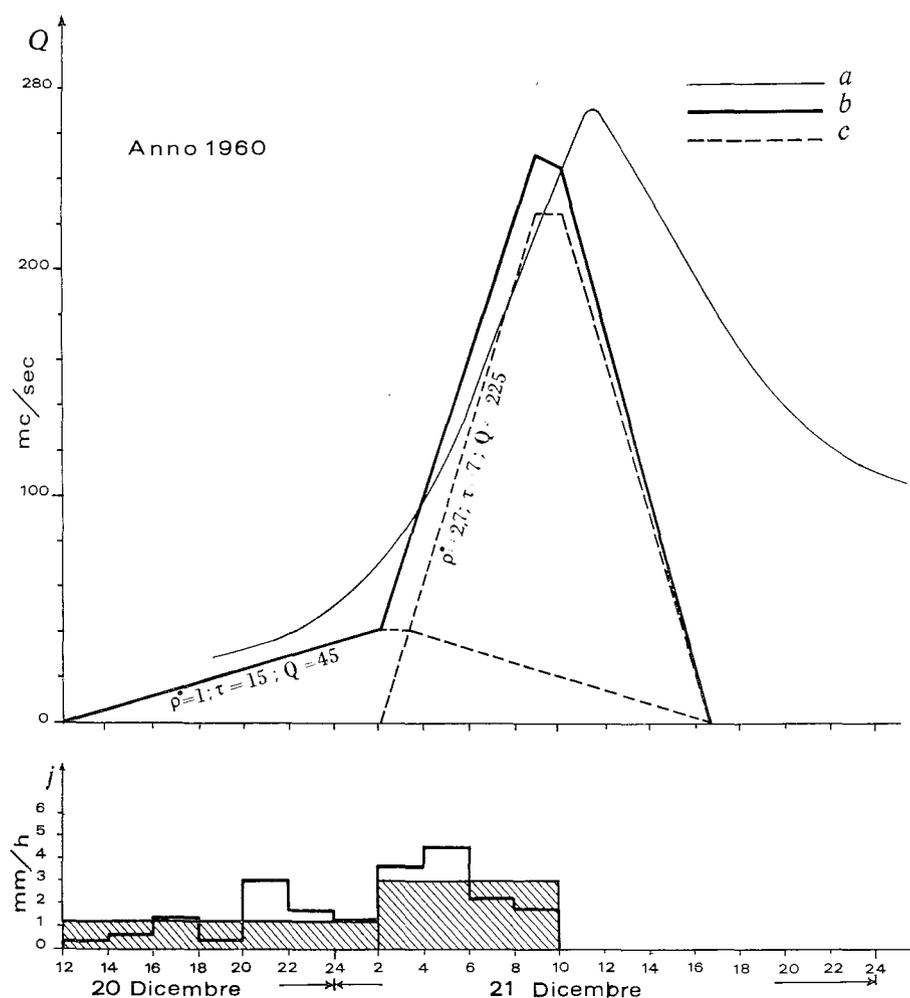


FIG. 139 — Confronto tra l'idrogramma calcolato e l'idrogramma reale misurato a Sora nel dicembre 1960. Nella parte inferiore del grafico è riportato lo ietogramma relativo all'evento e i valori medi di intensità di precipitazione per opportuni intervalli temporali; in ascissa figura il tempo in ore e giorni, in ordinata l'intensità di pioggia in mm/h . Nella parte superiore sono riportati in ascissa i tempi in ore e giorni, in ordinata le portate in m^3/sec . Nel grafico figurano: *a* - idrogramma reale sottratto del flusso di base; *c* - idrogrammi elementari elaborati dai valori medi di precipitazione in base agli abacchi di figg. 134 e 135; *b* - idrogramma teorico somma dei precedenti; ρ' = coefficiente di saturazione; τ = tempo di corrivazione; Q = portata massima teorica per $t = \tau$. Entrambi gli idrogrammi sono relativi a Sora. I primi afflussi trovano il bacino solo parzialmente saturato da precedenti piogge (che non risultano nel grafico), per cui si è adottato il valore $\rho' = 1$; nel secondo intervallo, essendo il bacino prossimo alla saturazione, il valore di ρ' sale a 2,7.

— Calculated hydrograph and real one recorded at Sora in December 1960. In the lower part of the diagram: the rainfalls and their average values for some intervals of time. On abscissas: time, in hours and days; on ordinates: rainfall in-

tensities, in mm/h . In the upper part: on abscissas: time, in hours and days; on ordinates: discharges, in m^3/sec . In the diagram are represented: *a* - real hydrograph; *c* - elementary hydrographs calculated by master curves of figs. 134-135; *b* - calculated hydrograph obtained by adding the former ones; ρ' = saturation coefficient; τ = time of concentration; Q = maximum calculated discharge, for $t = \tau$. Both hydrographs are referred to Sora. First inflows found the basin partially saturated by former rainfalls, which have not been represented in the diagram; therefore a value $\rho' = 1$ has been used. In the second interval, being the basin close to saturation, the ρ' value increases to 2,7.

cità del bacino di immagazzinare le acque meteoriche. Mentre i versanti calcarei permettono un notevole immagazzinamento delle acque, che restituiscono gradualmente durante l'arco dell'anno tenendo in vita lo scorrimento superficiale nel periodo estivo, il complesso argilloso arenaceo, per la sua impermeabilità, e le coltri detritiche, per la scarsa estensione e il ridotto spessore, saturandosi rapidamente, non sono in grado di svolgere una sufficiente funzione regolatrice; ne consegue un eccessivo scorrimento superficiale che provoca la piena.

Le osservazioni di terreno hanno messo in evidenza quali fattori naturali concorrano a provocare le piene, mentre lo studio degli idrogrammi ha confermato la validità delle osservazioni dirette: da questi studi si ricava che oltre alla morfologia

del bacino e alla durata delle precipitazioni risultano determinanti, nell'evento di piena, l'intensità di precipitazione, i caratteri litologici dei versanti e il loro stato di saturazione.

In base al metodo di FORNARI è stato possibile illustrare come il bacino risponda diversamente ad un evento meteorico a seconda della intensità di precipitazione e dello stato di saturazione dei suoi versanti, condizione che viene raggiunta in tempi diversi nei vari tipi litologici. Il metodo adoperato nell'analisi degli idrogrammi sembra rispondere in modo soddisfacente alle esigenze della ricerca perché permette la costruzione di idrogrammi teorici molto simili a quelli reali; comunque, indipendentemente dalla validità del metodo nel suo insieme, che non interessa direttamente questo lavoro, dallo studio risulta chiara-

mente che il fattore ρ_r , rappresentativo dei caratteri idrogeologici, ha un peso determinante nella dinamica degli eventi che concorrono a produrre una piena. Una migliore conoscenza di questo fattore, che si può ricavare da studi su bacini sperimentali di cui si conoscano bene i caratteri idrogeologici e che siano adeguatamente equipaggiati di stazioni di misura, non solo potrà contribuire a rendere più precisi i calcoli di previsione delle piene, ma servirà soprattutto a valutare l'efficienza dei criteri di intervento sistematorio nelle diverse situazioni geologiche.

Da quanto si è visto nel bacino del Liri risulta chiaramente che quanto più alta sarà la capacità di assorbimento del bacino tanto meno frequenti e pericolose saranno le piene critiche. I criteri sistematori non potranno quindi essere generalizzati, ma in ciascun bacino e su ogni versante si dovrà scegliere il tipo di intervento che risponde meglio alla situazione idrogeologica.

Sui versanti carbonatici del bacino del Liri qualunque opera sistematoria capace di rallentare la velocità di scorrimento delle acque superficiali, prolungandone il tempo di permanenza al suolo, avrà la duplice funzione di aumentare i tempi di corrivazione e di favorire l'infiltrazione, con vantaggio non solo per la protezione dalle alluvioni, ma anche per la ricarica degli acquiferi profondi. Non vi è, al contrario, la possibilità di favorire l'infiltrazione nel complesso argilloso-arenaceo, dove gli interventi più opportuni si possono operare con l'intento di migliorare la capacità di assorbimento e di ritenzione dei suoli permeabili o della coltre vegetale; se questi non saranno sufficienti o risulteranno troppo difficoltosi si dovrà ricorrere alla costruzione di bacini di ritenuta, dimensionati per una efficiente laminazione delle piene (vedi capitolo « Opere sistematorie »).

Manoscritto presentato nell'Ottobre 1969

BIBLIOGRAFIA

- ACCORDI B. (1969) — I moderni studi di geologia applicati alla difesa del suolo. *Conv. Int. « Piene: loro previsione e difesa del suolo »*, Acc. Naz. Lincei, in corso di stampa, Roma.
- ACCORDI B., BONI C. F. (1967) — L'aggressività delle acque dei fiumi appenninici. *Conv.: « Il problema delle acque in Italia »*, F.A.S.T., pp. 793-797, Milano.
- APOLLOV B. A., KALININ G. P., KOMAROV V. D. (1964) — Hydrological forecasting. Trad. dal russo a cura di *Israel Program for Scientific Translation*, 338 pp., 156 figg., Jerusalem.
- BENEDETTI E. (1936) — La formazione miocenica e la tettonica della Valle Roveto (Alta Valle del Liri). *Boll. R. Uff. Geol. It.*, **61** (7): 1-15, 2 tavv., Roma.
- CASTANY G. (1967) — *Traité pratique des eaux souterraines*. 34+661 pp., 409 figg., 84 tabb., Dunod, Paris.
- CAVAZZA S. (1964) — Contributo allo studio degli eventi di piena nei piccoli bacini imbriferi. *Min. Lav. Pubbl., Serv. Idrogr., Mem. e Studi idrogr.*, **2** (2): 277-304, 6 figg., 4 tabb., Ist. Poligr. Stato, Roma.
- COOK H. L. (1946) — The Infiltration Approach to the Calculation of Surface Runoff. *Trans. Am. Geophys. Union*, **27** (5): 726-743, 8 figg., Washington.
- COUTAGNE A. (1939) — L'indice d'évaporation et le déficit d'écoulement aux Etats Unis. *Revue Générale de l'Hydraulique*, **29**: 263-274, Paris.
- COUTAGNE A. (1948) — Quelques considérations générales sur la nature, les possibilités et les modalités en hydrologie fluviale. *Annuaire Hydrologique de la France*, **1948**: 13-36, 11 figg., Paris.
- COUTAGNE A. (1949) — Etude générale des variations de débit en fonction des facteurs qui les conditionnent. *La Houille Blanche*, **4**: 134-146, 11 figg., Paris.
- EVANGELISTI G. (1960) — Sguardo panoramico sui problemi delle alluvioni dei fiumi appenninici. *Giorn. Genio Civile*, **98**: 933-936, Roma.
- FORNARI V. (1910) — Previsione delle portate massime, dovute alle piogge nei corsi d'acqua. *Giorn. Genio Civile*, **48**: 157-178, 1 tav., Roma.
- FUNICIELLO R., PAROTTO M. (1968) — Studio idrogeologico del versante meridionale del Monte Artemisio. *Geologica Romana*, **7**: 107-140, 22 figg., 5 tabb., 2 carte f.t., Roma.
- GHERI F. (1969) — Influenza delle condizioni sistematorie di un bacino idrografico sulla portata di massima piena. *Seminario: « Sistemazione a fini multipli di un bacino idrografico »*, Ass. It. di Ing. agraria, in corso di stampa, Catania.
- GHERARDELLI L. (1963) — Caratteristiche della variabilità degli afflussi meteorici e dei deflussi annuali nei bacini idrografici italiani. *Min. Lav. Pubbl., Serv. Idrogr., Mem. e Studi idrogr.*, **2** (1): 65-70, 2 tabb., Ist. Poligr. Stato, Roma.
- GIANDOTTI M. (1934) — Previsione delle piene e delle magre dei corsi d'acqua. *Consiglio Nazionale delle Ricerche, Comm. Idrol. Sc.*, **21**, 13 pp., Roma.
- GIANDOTTI M. (1937) — Idrologia della bonifica integrale. Parte prima: Idrologia generale, 268 pp., 74 figg., S.A.G. Barbera, Firenze.
- LAMBOR J. (1956) — Prevision de la hauteur des crues. *Ass. Int. Hydr. Sc.*, **42** (Symposia Darcy, III): 28-36, 6 figg., Louvain.
- LAMBOR J. (1957) — Evaluation du coefficient d'écoulement pour les prévisions hydrologiques. *Ass. Int. Hydr. Sc.*, **45** (Assemblée Gén. Toronto, III): 18-25, 5 figg., Gentbrugge.
- LARRIERU J. (1957) — Evaluation des crues catastrophiques par la méthode des hydrogrammes synthétiques. *Ass. Int. Hydr. Sc.*, **45** (Assemblée Gén. Toronto, III): 160-173, 10 figg., Gentbrugge.
- LINSLEY R. K., KOHLER M. A., PAULHUS J. L. H. (1949) — Applied hydrology. 689 pp., 328 figg., 78 tabb., McGraw-Hill, New York.

- LOTTI C. (1969) — L'applicazione del metodo cinematico per la determinazione del diagramma delle portate nei « Piccoli Bacini ». *Conv.: « L'idrologia e la sistemazione dei piccoli bacini »*, Ass. Idrotecnica italiana, in corso di stampa, Roma.
- MARCHETTI G. (1963) — Sulle massime portate di piena osservate nei corsi d'acqua italiani a tutto il 1953. *Min. Lav. Pubbl., Serv. Idrogr., Mem. e Studi idrografici*, 2 (1): 95-129, 2 figg., Ist. Poligr. Stato, Roma.
- MIN. AGRIC., IND. E COMM. (1895) — Carta idrografica d'Italia: Liri-Garigliano, Paludi Pontine e Fucino. *Min. Agric., Ind. e Commerc.*, 139 pp., 17 tabb., 1 atlante, Roma.
- MIN. LAV. PUBBL. (1939) — Piene dei corsi d'acqua italiani. *Pubbl. Serv. Idrogr.*, 20, 153 pp., Ist. Poligr. Stato, Roma.
- MIN. LAV. PUBBL. (1921-1965) — Annali Idrologici. Bacini con foce al litorale tirrenico dal Garigliano al Bussento. *Serv. Idrogr., Annali 1921-1965*, Ist. Poligr. Stato, Roma.
- NASH J. E. (1958) — Determining Runoff from Rainfall. *Proc. Inst. Civ. Eng.*, 3 (10), 163 pp., London.
- PASINI P. (1910) — Coefficienti udometrici desunti dal lavoro delle macchine nelle bonifiche meccaniche. *Giorn. Genio Civile*, 48: 385-413, 2 tavv., Roma.
- REMIERAS G. (1965) — L'hydrologie de l'ingénieur. 456 pp. 188 figg., 41 tabb., *Eyrolles*, Paris.
- ROCHE M. (1963) — Hydrologie de surface. 430 pp., 204 figg., 57 tabb., 2 annessi, *Gauthier-Villars*, Paris.
- RODIER M. J. (1957) — Emploi systematique des bassin versant élémentaires pour les études hydrologiques dans les territoires sous-développés. *Ass. Int. Hydr. Sc.*, 45 (Assemblée Gén. Toronto, III): 133-143, 2 figg., 2 tabb., Gentbrugge.
- SERRA L. (1954) — Etude des facteurs geologiques conditionnant l'écoulement. *Ass. Int. Hydr. Sc.*, 38 (Assemblée Gén., Roma, III): 446-455, 5 figg., 4 tabb., Louvain.
- SUPINO G. (1965) — Le reti idrauliche. 806 pp., 332 figg., *Patron*, Bologna.
- TONINI D. (1959) — Elementi di idrografia ed idrologia. Vol. I, 603 pp., *Libreria Universitaria*, Venezia.
- TONINI D. (1966) — Elementi di idrografia ed idrologia. Vol. II, 606 pp., *Libreria Universitaria*, Venezia.
- TURC L. (1954) — Le bilan d'eau des sols; relations entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *La Houille blanche 1954* (3 journées de l'hydraulique de la Société Hydrotechnique de France): 36-44, Paris.
- VENTURA G. (1905) — Bonificazione della Bassa pianura bolognese. Studio dei coefficienti udometrici. *Giorn. Genio Civile*, 43: 3-36, 3 tavv., 3 prosp., Roma.
- WILSON E. M. (1969) — Engineering hydrology. 182 pp., 99 figg., 15 tabb., *Macmillan*, London.
- WISLER C. O., BRATER E. F. (1959) — Hydrology. 408 pp., 136 figg., 34 tavv., *John Wiley & S.*, New York.