STUDIO PER LA PREVENZIONE DEL RISCHIO IDROLOGICO

COMUNE DI ITRI(LT) COMUNE DI FORMIA(LT) COMUNE DI GAETA (LT)

- Settore Ecologia e Ambiente -

SETTEMBRE 2013

RELAZIONE IDRAULICA FINALIZZATA AL RISANAMENTO ED EDEGUAMENTO STRUTTURALE DEL CORSO D'ACQUA DENOMINATO " RIO DI ITRI / TORRENTE PONTONE"

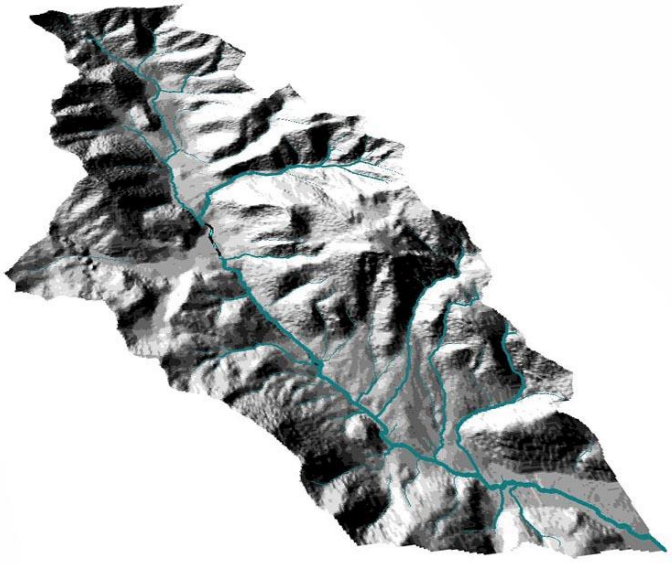
Settore LL.PP. Comune di Itri

Uff. Tecnico:Dirigente Ing. Monacelli Massimo

Indice

RELAZIONE IDRAULICA FINALIZZATA AL RISANAMENTO ED EDEGUAMENTO STRUTTURALE DEL CORSO D'ACQUA DENOMINATO *1*
" RIO DI ITRI / TORRENTE PONTONE" *1*
PREMESSA 3
METODOLOGIA DI LAVORO 5
ASSETTO GEOGRAFICO 7
GERARCHIZZAZIONE E SCHEMATIZZAZIONE RETE IDROGRAFICA 10
PARAMETRI FISICI E MORFOLOGICI DEL BACINO – VINCOLI ABR 12
Copertura del Suolo *13*
PROBLEMATICHE RISCONTRATE 14
IDROLOGIA 16
Determinazione dei parametri caratteristici dei bacini *16*
Inquadramento meteoclimatico e analisi della pluviometria *18*
Modellazione afflussi – deflussi *32*
Applicazione del metodo distribuito per la modellizzazione idraulica *50*
CRITICITÀ IDRAULICHE 54
Individuazione dei tratti a rischio *56*
METODOLOGIE DI CALCOLO 60
Impostazione del modello idraulico *60*
Metodologia di calcolo *61*
Analisi della simulazione idraulica *65*
Aree di esondazione *68*
LINEE DI PIANIFICAZIONE E DI INTERVENTO 71
Elenco delle aree di intervento di bonifica idraulica e rinaturalizzazione *73*
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE 76
APPENDICE ..... **ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.**
Tabelle pluviometriche *77*
Descrizione delle tipologie di intervento *83*

Premessa



Il presente studio nasce dall'esigenza di riqualificare idraulicamente il bacino del Rio d'Itri, attraverso una caratterizzazione che porti a definirne, attraverso la raccolta dei dati pregressi e l'elaborazione dei parametri caratteristici, le portate di piena attese (di assegnato tempo di ritorno) e le potenziali aree di esondazione.

L'unico studio effettuato in passato sul corso d'acqua in questione, coinvolgeva in realtà un'area molto vasta, comprensiva di bacini più importanti (Arrone, Marta, Mignone, Amareno, ecc.) e questo, di fatto, ne determina dei limiti. Il lavoro era inquadrato nell'ambito dello studio sulla "Sistemazione dei Bacini regionali minori" (Regione Lazio, *Studi preliminari per il Piano di Bacino ST6* – contratto del 23/05/96 approvato con delibera del 09/07/96 n° 5554) e venne effettuato nel settembre 1998 da *Hydrodata S.p.A.*; i risultati che ne scaturirono sono elaborati alla scala degli obiettivi prefissati in quel particolare contesto, con portate di piena relative a tempi di ritorno non inferiori ai 30 anni e, conseguentemente, aree sottoposte a vincolo idrogeologico sovrastimate rispetto al reale contesto, su un'area studiata di limitato interesse.

E proprio dall'analisi delle considerazioni qui effettuate che è possibile evincere l'importanza dei tempi di ritorno delle portate di piena attesi; si sottolinea infatti che dalle osservazioni in sito e dalle dichiarazioni dei residenti risulta una frequenza di fenomeni di

esondazione, nel tratto finale del corso d'acqua più a rischio, inferiore a dieci anni. Ciò è facilmente riconducibile alle caratteristiche dell'alveo che negli ultimi venti anni ha subito una serie di successivi restringimenti della sezione ad opera dei confinanti per mezzo di interventi arbitrari sviluppati sull'onda dell'emergenza, al di fuori di una pianificazione organica. Tali azioni hanno indotto una riduzione di efficienza delle opere idrauliche esistenti conducendo il corso d'acqua in una situazione di equilibrio precario. La più evidente è la presenza di sezioni utili nella parte inferiore del corso che sono marcatamente più piccole di quelle rilevabili nel corso superiore. Tale situazione ha prodotto inoltre una continua alternanza di zone di forte deposito e zone in forte erosione anche nel tratto d'alveo interessato da un intervento di regimazione realizzato con un rivestimento in cls. Si sottolinea che le tratte soggette a situazioni critiche sono correlate agli attraversamenti stradali, realizzati in maniera non idonea e spesso divenuti idraulicamente insufficienti in conseguenza delle modifiche apportate sul corso d'acqua.

Le portate di piena sono generalmente più basse di quelle che si verificano in siti con caratteristiche simili ma con un substrato costituito da rocce impermeabili. La notevole acclività dei versanti e la mancanza di una copertura vegetale continua, favorisce lo svilupparsi di piene impulsive. Si tenga presente che non sono disponibili dati ideologici sul corso d'acqua ed ogni studio sinora condotto è ricorso a stime o estrapolazioni per similitudine.

Si evince quindi, come un aggiornamento all'analisi dei dati idrologici e pluviometrici sia quanto mai necessario, per la definizione di eventi di piena alla scala temporale considerata (almeno fino a tempi di ritorno dell'ordine dei 5 - 10 anni); a questa fase seguiranno le relative considerazioni sulle eventuali linee di pianificazione che comprenderanno interventi strutturali, necessari per l'adeguamento e la riqualificazione idraulica del corso d'acqua considerato, obiettivi del presente studio.

Metodologia di lavoro

In base alle conoscenze acquisite con i dati raccolti, il bacino in oggetto è stato caratterizzato dal punto di vista geografico e geomorfologico. In tale fase si è proceduto all'integrazione del reticolo idrografico redatto e informatizzato dall'*Autorità dei Bacini Regionali della Regione Lazio* (ABR) sulla base della *Cartografia Tecnica Regionale* (CTR) in scala 1:10.000 con i rilievi in sito. L'intero procedimento ha permesso di verificare tra l'altro le modificazioni dell'attuale tracciato rispetto al reticolo relativo alla cartografia IGM (a partire dalle tavolette 1:25.000) degli anni '30 – '50.

Sono quindi state affrontate le analisi relative alla pluviometria per la caratterizzazione del modello afflussi-deflussi. Il quadro di riferimento si riferisce alle misure delle stazioni del *Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale* che presentano serie sufficientemente estese ed omogenee, anche se carenti di informazioni relative a durate inferiori alle 24 ore. Per questo motivo, allo stato di conoscenza attuale, fondamentali si sono rivelati gli studi per la *regionalizzazione* dei dati pluviometrici ed idrometrici effettuati all'ABR[1] (per decreto del Min. LL.PP. del 14/02/97) per i tempi di ritorno di 30, 50, 100, 200 e 500 anni.

Anche in questo caso mancano, per il bacino del Rio d'Itri, informazioni su tempi di ritorno di scala decennale (lo stesso studio di Hydrodata estende sul bacino gli eventi di breve durata di stazioni non afferenti ad esso), ma in questo caso i dati in possesso hanno reso possibile l'estrapolazione dei parametri richiesti, seppur per via indiretta, con un'ottima approssimazione nelle interpolazioni ottenute.

A tale proposito si è avuta l'esigenza di dotare il bacino di stazioni idrometriche ed in particolare pluviometriche per la misura degli eventi intensi di breve durata; tale operazione è stata effettuata recentemente, proprio grazie all'interesse suscitato dal presente studio; attualmente però non si ha ancora a disposizione una serie significativa di dati tale da poter essere analizzata.

Il calcolo della portata di piena attesa è stato effettuato con il modello cinematico razionale: la scelta è stata effettuata tenendo in considerazione la qualità dei dati a

[1] CALENDA (2003) - *Studi per l'aggornamento del piano stralcio per l'assetto idrogeologico* – Convenzione di ricerca tra Regione Lazio – A.B.R. e Università degli Studi di Roma Tre – D.S.I.C.

disposizione e l'attendibilità del metodo, nonché la possibilità di poter considerare in modo elastico le diverse e complesse variabili del sistema.

La modellazione afflussi-deflussi è stata applicata inizialmente alla sola sezione di chiusura rappresentata dalla foce del Rio d'Itri e quindi ad ogni nodo individuato dalla confluenza con i vari affluenti. Quest'ultimo procedimento è stato reso possibile dall'elaborazione di dati acquisiti già in forma "distribuita" per l'appunto (ad es. la massima ritenzione del terreno rappresentata dall'AWC) e ha permesso di tracciare un andamento distribuito della portata alle varie sezioni di chiusura critica su tutta l'asta principale, discriminando gli apporti dei singoli sottobacini e quindi il loro "peso" sull'idrologia di tutto il sistema

Ogni passaggio in tutto il procedimento è stato oggetto di commento critico, al seguito del quale si è operata una scelta che ha permesso di determinare una prima portata massima nominale, che può già essere impiegata come dato di partenza per le successive verifiche idrauliche sul corso d'acqua principale.

Ovviamente il risultato potrà essere affinato una volta che si avranno a disposizione i dati provenienti dalla registrazione degli eventi di breve durata (1, 3, 6 e 12 ore) che permettono di determinare la relazione intensità-durata-frequenza attraverso le curve di probabilità pluviometrica per assegnati periodi di ritorno. I risultati potranno essere così distribuiti attraverso un'opportuna spazializzazione.

L'area del bacino, così come tutte le altre grandezze ricavate (lunghezza delle aste, ecc.) è stata calcolata partendo dai dati informatizzati forniti dalla Regione Lazio; le altitudini medie, così come le pendenze, sono state ricavate dal DEM 20m x 20 m IGM. Per i riferimenti cartografici infine, è stata presa come riferimento la Cartografia Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000. Il supporto informatico maggiormente utilizzato a supporto della georeferenziazione del materiale e come base di calcolo è ArcVieW GIS 3.2.

Assetto geografico

Il bacino del Rio d'Itri è ubicato sul versante tirrenico dei monti Aurunci e sfocia a mare in corrispondenza della spiaggia di Vindicio nel comune di Formia.

Esso risulta compreso tra le coordinate geografiche 41° 14' 41" e 41° 21' 10" di latitudine Nord e 13° 29' 46" e 13° 35' 12" di longitudine Est riferita al meridiano di Greenwich.

La superficie complessiva (aree endoreiche comprese) del bacino è di circa 51 km^2 e appartiene amministrativamente ai Comuni di Itri, Gaeta e Formia.

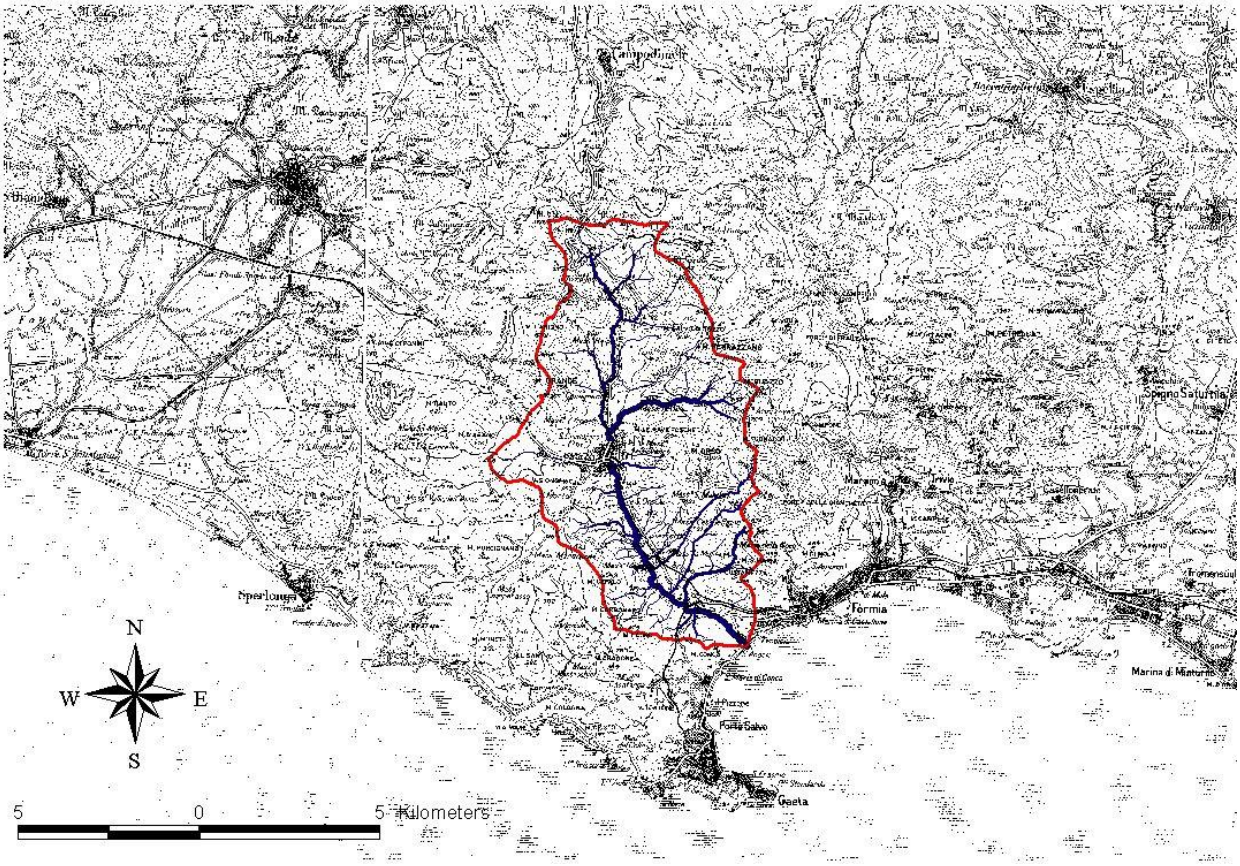


Fig. 1 – Ubicazione del bacino idrografico di Itri su CTR (100 dpi)

Partendo dalla foce e proseguendo in senso orario, lo spartiacque si sviluppa secondo una direttrice sud-ovest attraverso M. Conca, M. Lauro, M. Cefalo e Puntone di Valle Uliva per piegare verso nord-est passando per M. Grande e M. Larigno. Raggiunto il

santuario della Madonna della Civita prosegue in direzione nord fino a M. Vele raggiungendo l'estremità settentrionale del bacino. Lo spartiacque si sviluppa verso ovest attraverso M. le Pezze fino a M. Cervello. Da qui piega verso sud-est passando per M. Trina, M. Castellone e M. Ferrazzano convergendo verso la foce attraverso il M. S.Maria.

Il corso d'acqua Rio d'Itri-Rio Torto-Fosso Pontone (d'ora in poi denominato Rio d'Itri) nasce sugli Aurunci a 620 m s.l.m. e defluisce verso l'abitato del comune di Itri per circa 7 km. L'attraversamento dell'abitato avviene in alveo tombinato entrando ad una quota di 207 m ed uscendone a quota 155 m circa. Il corso a valle di Itri si sviluppa dapprima in una stretta forra, per circa 2 km, fino alla galleria della linea FS Roma-Napoli dove entra in un alveo tubato per circa 365 m. Nella parte inferiore del corso, della lunghezza di circa 5,5 km, il fosso defluisce dapprima in alveo libero poi per un tratto di circa 300 m in alveo cementato e regimentato per poi tornare libero. Infine gli ultimi 700 m circa del corso d'acqua risultano essere completamente con alveo cementato e limitato lateralmente da muraglioni.

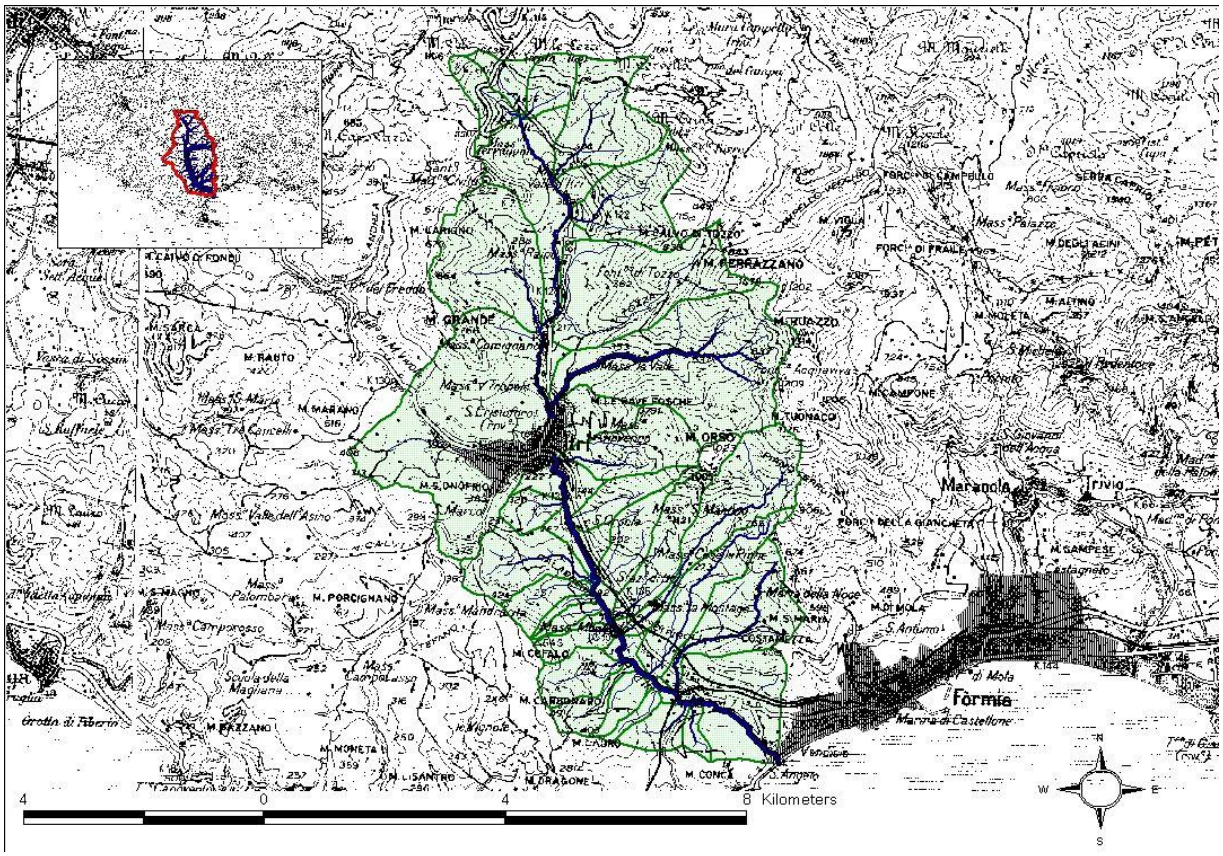


Fig. 2 – Particolare del bacino idrografico di Itri e dei suoi sottobacini su CTR (100 dpi)

Il fosso si sviluppa quasi interamente in territorio del comune di Itri per passare nel comune di Gaeta a partire da loc. Masseria Montuolo fino al ponte del raccordo tra SS 213 e SS 7. l'ultimo tratto di circa 600 metri fino alla foce è in territorio del comune di Formia. La foce insiste sul golfo di Gaeta poco a monte dell'abitato di Formia. Il tratto di interesse o studio è il basso corso del Rio d'Itri subito a valle dell'abitato del comune medesimo sino alla foce.

Tale tratto corrisponde al Rio d'Itri propriamente detto e si forma all'uscita dell'abitato del Comune di Itri dopo la confluenza del torrente della Valle Coltella con il Fossato Valle d'Itri e il Fosso Ciovareccia.

I principali affluenti in sponda sinistra sono il Fossato Termini, il Fosso della Pirla e il Fosso di Costamezza, mentre quelli in sponda destra sono il Fosso Calabretto, il Fosso S.Giacomo e il Fosso Valle Scura.

Il bacino risulta fortemente urbanizzato nell'abitato di Itri e nella parte valliva per un tratto di circa 2,5 km è interessato da una attività agricola a carattere intensivo. Dopo l'abitato di Itri l'asta del Rio d'Itri è interessata, da monte verso valle, dall'attraversamento della Strada Statale n.6 Appia, della linea ferroviaria Roma-Napoli e, in prossimità della foce, della Strada Statale n.213 Flacca.

Gerarchizzazione e schematizzazione rete idrografica

La gerarchizzazione è stata effettuata mediante il metodo di Horton-Strahler: con tale procedura il bacino del Rio d'Itri è classificabile di ordine 4.

Il numero complessivo delle aste individuate è 165, di cui 89 di ordine 1, 23 di ordine 2, 4 di ordine 3 e 1 di ordine 4.

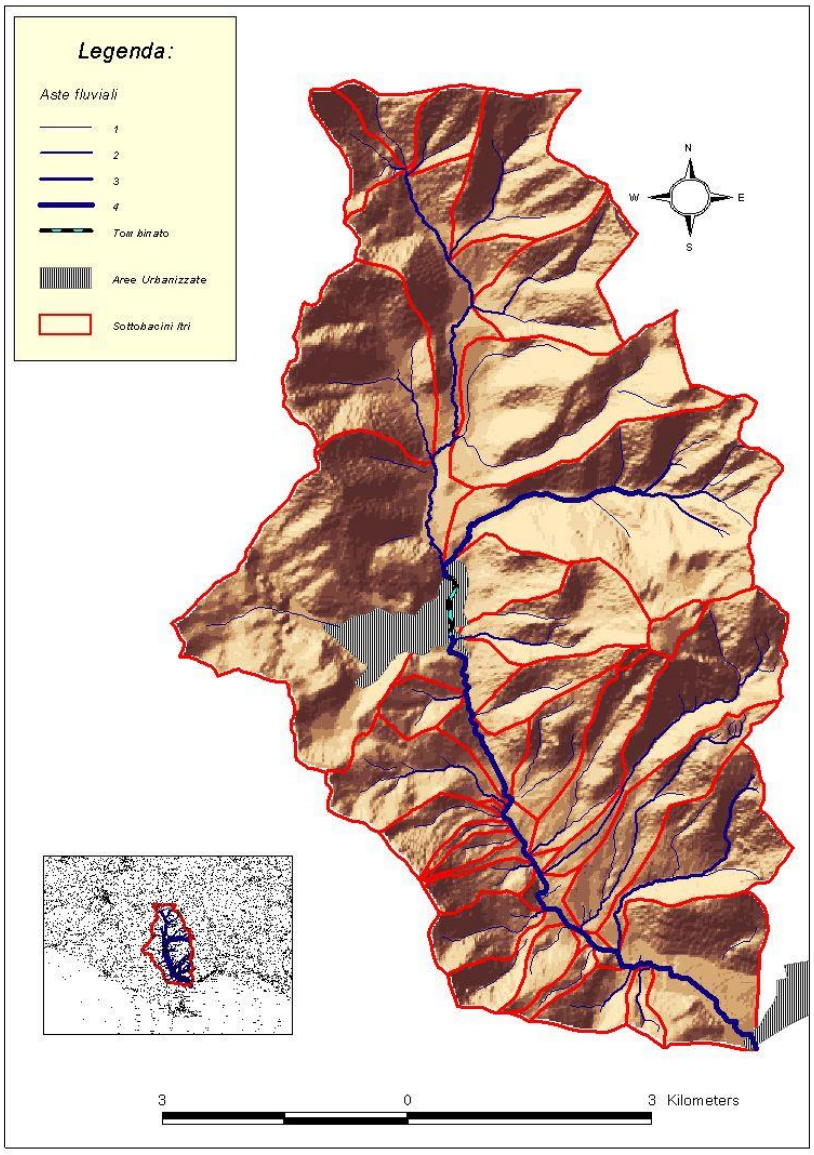


Fig. 3 – Vista tridimensionale del bacino e dei sottobacini; in particolare è evidenziato l'ordine di Strahler relativo ad ogni asta e l'area urbanizzata di Itri (nella quale ricade il tratto tombinato del Rio d'Itri)

La schematizzazione è stata condotta suddividendo l'intero bacino in unità fisiografiche elementari che formano i sottobacini principali del Rio d'Itri. Tali sottobacini sono quelli individuati dalle chiusure intermedie dell'asta principale e dai principali affluenti.

Per ciascuna delle chiusure individuate sono stati tracciati i limiti di bacino individuando i relativi spartiacque sulla Cartografia Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000.

In tal modo, nell'area di stretto interesse ai fini del presente studio (dall'uscita dell'abitato del Comune di Itri fino alla foce) sono state identificate 20 chiusure, a ciascuna delle quali è stato assegnato un numero di riferimento crescente da monte verso valle.

La distanza massima tra due sezioni consecutive non supera i 2 km; in tal modo, partendo da valle, risalendo il bacino, si può ritenere che il valore della portata al colmo calcolata nella sezione di chiusura sia costante lungo tutto il tratto a monte di questa, fino alla sezione di chiusura successiva.

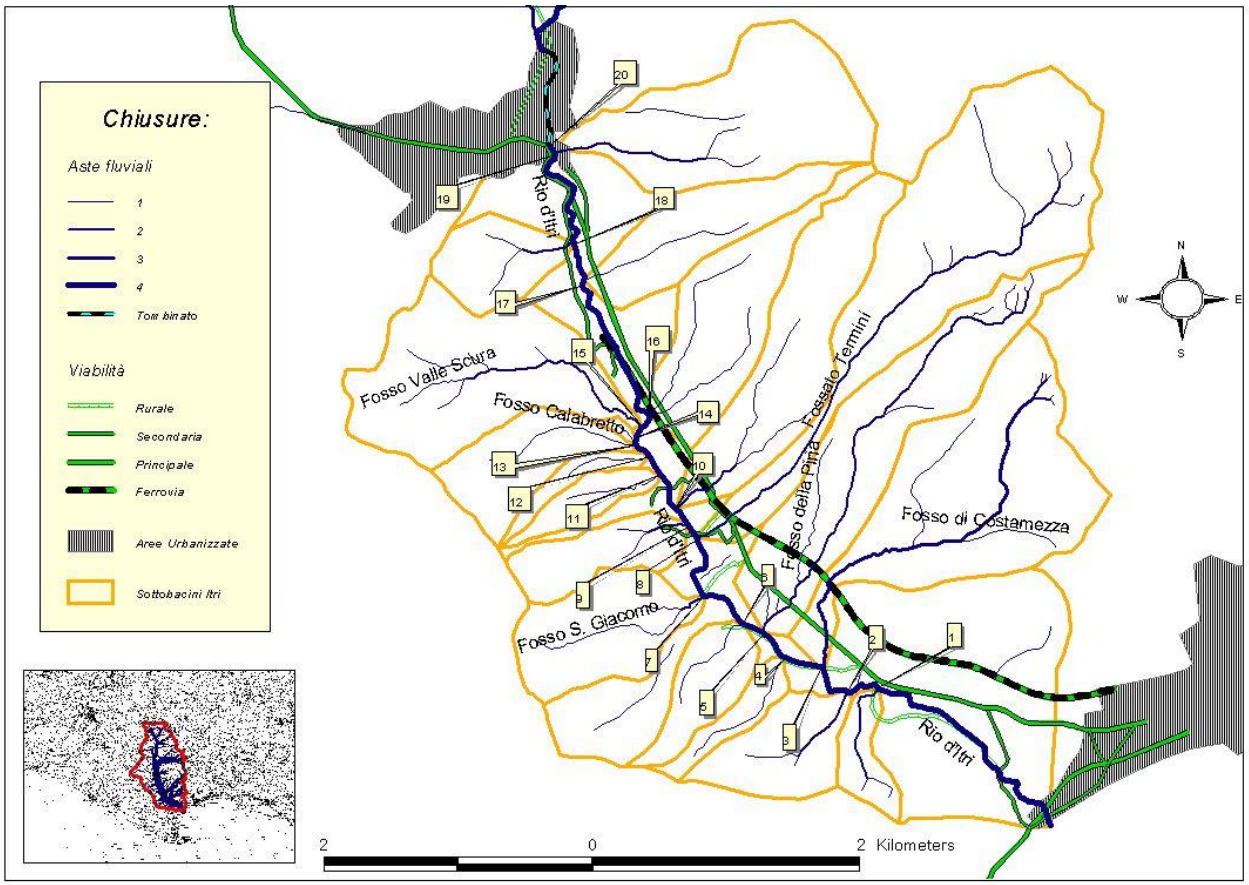


Fig. 4 – Area d'interesse del presente studio; in particolare vengono evidenziate le chiusure relative ad ogni sottobacino (nomenclatura dei fossi da CTR)

Parametri fisici e morfologici del bacino – Vincoli ABR

Dagli studi condotti dall'Autorità di Bacino della Regione Lazio, si evince che il Rio d'Itri è un breve corso d'acqua che drena il versante meridionale dei monti Aurunci, costituito in prevalenza da calcari massicci cretacei. Ciò porta ad avere un fondovalle che a tratti si allarga e a tratti è scavato all'interno di profonde forre, con versanti spesso brulli e con roccia affiorante e sub-affiorante.

Come già anticipato, pur essendo le portate di piena generalmente più basse di quelle che si verificano in siti con caratteristiche simili ma con un substrato costituito da rocce impermeabili, per la notevole acclività dei versanti e la mancanza di una copertura vegetale continua, il tipo di evento che contraddistingue il Rio d'Itri è rappresentato dalla piena impulsiva, indice a sua volta del carattere torrentizio del corso d'acqua.

I settori in cui sono state segnalate delle esondazioni (studio ABR), sono la zona immediatamente a monte di Itri (per una lunghezza di circa 2 km) e il settore compreso tra il viadotto ferroviario della linea Roma-Formia e il mare. L'ABR, inoltre, ha evidenziato che nel settore di monte il tratto più critico è quello in corrispondenza della confluenza con il fosso Raino, dove il ponte situato a monte viene imboccato in modo irregolare, in quanto la luce di deflusso non è in asse con il tratto di corso d'acqua.

Mentre, in prossimità della località Sant'Elmo, dove sono presenti alcune abitazioni ed un centro sportivo vi è il rischio di allagamento in occasione di eventi anche non eccezionali, da parte delle acque esondate dal Rio d'Itri.

Si riporta di seguito la descrizione del fosso riportato dal PAI dell'ABR "*alcune centinaia di metri a monte del ponte cittadino il fondovalle diventa stretto e incassato ed aumenta considerevolmente la pendenza dell'alveo. Circa 150 m a valle del ponte, il rio è tombato fino al termine dell'abitato di Itri. Sebbene nel caso specifico sembra non si siano mai verificati problemi di natura idraulica, soprattutto all'imbocco dell'opera, si ritiene opportuno sottolineare come tali soluzioni di regimazione dei corsi d'acqua siano in genere da sconsigliarsi, in quanto la copertura, restringendo la sezione di deflusso, crea ostacolo al passaggio dei corpi galleggianti (alberi od altro) e soprattutto perché, a causa dell'assenza di possibile controllo, il tratto tombato può diventare sede di discarica abusiva di materiale, riducendosi così ulteriormente la capacità di deflusso.*

A valle del centro di Itri, Il fondovalle resta incassato per alcuni chilometri per poi allargarsi a tratti fino al viadotto ferroviario dove si allarga definitivamente fino allo sbocco in mare. In questo settore la sezione di deflusso, quantunque sia stata canalizzata e rivestita in più punti, appare insufficiente a smaltire le acque di piena. Eventi alluvionali con esondazioni sul fondovalle e danni alle abitazioni si presentano a cadenza decennale, mentre gli allagamenti di terreni agricoli sono ancora più frequenti. In alcuni punti le opere di protezione spondale (muri in sasso od in cemento armato, mantellate in cls) appaiono dissestate. L'area più critica è senz'altro quella prossima alla foce dove tra l'altro oltre a una serie di villette è stato costruito in tempi recenti anche un condominio. Per altro anche in altri settori sono presenti edifici a rischio. Gli attraversamenti, piuttosto frequenti in conseguenza della modesta larghezza dell'alveo e che spesso servono fondi agricoli privati, determinano frequentemente una riduzione della sezione utile".

Il PAI, alla luce delle considerazioni sopra riportate, ha perimetrato il tratto terminale del fosso come area a rischio di esondazione a pericolosità P4, come si evince dalla cartografia allegata.

Esistono, inoltre, in prossimità del rio anche alcune zone con pericolo di rischio frana.

Copertura del Suolo

Dalla Carta della Copertura del Suolo della Provincia di Latina dell'anno 2000 (codifica Corine Land Cover), si evince che le aree attraversate dal corso d'acqua dal depuratore di Itri alla foce, sono le seguenti:

1. dal tratto dell'attraversamento con l'Appia sino ad 1,5 km circa, sono presenti aree coperte da macchia mediterranea e garighe, vegetazione ripariale arborea;
2. per i successivi 2,0 km (sino alla cava) sono presenti cespuglieti e bosco misto, oliveti;
3. infine nel tratto sino alla foce, sono presenti canneti a fragmite;
4. dalla zona di confine dei tre comuni sino alla foce, inoltre, sono presenti aree industriali, commerciali e depositi.

Problematiche riscontrate

Risalendo lungo l'alveo è possibile identificare le principali problematiche così come riportate nella carta degli interventi allegata.

Nel tratto compreso tra la foce e l'attraversamento della strada di connessione tra SS.7 e SS.213 l'alveo corre stretto tra le mura perimetrali delle proprietà prospicienti. Non è possibile un accesso diretto per quello che è stato osservato. Inoltre si è rilevato un innalzamento per tappe successive delle murature, evidente segno delle necessità di protezione da eventi di piena. Si può pertanto ritenere che l'altezza dei muri di protezione è insufficiente.

Il suddetto attraversamento nel presente stato di fatto costituisce un restringimento della sezione d'alveo e da segnalazioni di residenti risulta che in occasione di eventi di piena il livello del fosso supera il piano stradale per riversarsi sia nei terreni che nel suo alveo.

Poco più a monte un secondo attraversamento interessa il corso d'acqua. Questo è costituito da un manufatto realizzato con due luci ad arco che non è disposto con le luci in asse con il corso d'acqua. Nell'insieme l'opera, posizionata a valle di un brusco cambio di direzione, costituisce un chiaro elemento di ostruzione al flusso producendo a valle ed a monte dei vasti depositi di materiale detritico. Allo stato attuale l'alveo in corrispondenza del ponte forma un sifone con evidenti segni di rigurgito.

Nel tratto indicato con il numero 15 nella carta l'alveo presenta un frequente variazione della conformazione della sezione di flusso, che anche in questo tratto è completamente artificiale. Tale variazione comporta la presenza di tratte in forte deposizione con barre laterali che oramai mascherano completante il rivestimento riducendo la sezione di flusso.

In corrispondenza del punto 13 si è rilevato una tratto d'alveo che presenta una brusca variazione di quota che determina una accelerazione locale del flusso. In corrispondenza di tale tratto l'azione dinamica del fosso ha reso oramai inefficienti le opere di rivestimento esaltando così i fenomeni di erosione delle sponde e del fondo. In corrispondenza del ponte stradale subito a monte, l'alveo è invece sovradimensionato determinando un notevole accumulo di detriti sulla sponda destra. Il ponte stesso si

presenta con la luce quasi parallela all'asse della corrente. A monte del punto 13 il corso d'acqua non è stato più sede di interventi di rivestimento dell'alveo e si presenta quindi nella sua veste naturale. Tuttavia in molti tratti è stato soggetto alla realizzazione di muri di "contenimento" che ne hanno prodotto la riduzione della sezione utile. Il caso più frequente è quello della realizzazione del muro a filo del fondo alveo con successivo riempimento della porzione in sponda. Ciò ha comportato la variazione della sezione con conseguente riduzione della capacità di invaso dell'alveo e aumento delle velocità di flusso. Questo si evidenzia nelle frequenti zone in forte erosione delle sponde naturali nonché del fondo dell'alveo seguite da zone di deposito.

Da evidenziare nel tratto naturale del fosso due particolari situazioni: la prima (punto 4) in corrispondenza di un attraversamento in alveo vede la realizzazione di una "briglia" con evidenti segni di sottoescavazione ed inefficienza dei drenaggi posti in opera; la seconda (punto 2) è costituita da un tratto d'alveo artificiale con muri in sponda destra e sinistra dell'altezza di oltre 3 m. Lungo tutto il tratto è chiaramente visibile una forte erosione del fondo con danneggiamento del piede delle murature e scopertura dei ferri d'armatura. All'uscita del tratto artificiale si rileva, anche qui, una zona di dissesto dell'alveo naturale con alternanza di zone in erosione e zone in deposizione.

Nel complesso il corso d'acqua, fortemente alterato nel regime naturale, necessita di un sistematico intervento mirato a ristabilire la regolarità del deflusso idrico così da evitare tratti in accelerazione e in decelerazione del flusso così da garantire: una continua alimentazione del trasporto solido verso la spiaggia; una distribuzione omogenea dei detriti lungo l'alveo così da evitare pericolose concentrazioni degli stessi; una conservazione naturale dell'equilibrio delle sponde tra erosione e crescita vegetale.

Idrologia

Determinazione dei parametri caratteristici dei bacini

Sulla base della precedente schematizzazione si è proceduto alla determinazione, per ciascuna delle chiusure individuate, di una serie di parametri caratterizzanti dal punto di vista fisico e idrologico il bacino sotteso.

Parametri fisici

Il Rio d'Itri presenta un bacino idrografico di circa 51,13 km^2 sviluppato prevalentemente in aree montane. Nella tabella che segue si riportano i dati salienti come indicato dall'ABR Lazio.

Lunghezza d'asta principale (km)	14,73
Area bacino idrografico (km^2)	51,13
Quota media (slm)	436,35
Quota massima (slm)	1263,00

Per il tratto di interesse dello studio si sono rilevate le seguenti caratteristiche fisiche.

La lunghezza dell'asta principale è di 7,6 km di cui circa 5,5 km, a valle del tratto in galleria costituito dall'attraversamento della linea ferroviaria Roma-Napoli.

L'asta del Rio d'Itri si sviluppa da quota 0 m s.l.m. di sbocco a mare fino alla quota massima di 155 m s.l.m. corrispondenti all'uscita del tratto tombinato dall'abitato del comune di Itri. La pendenza media dell'asta principale è 2,7% circa. Le pendenze medie maggiori si riscontrano in particolare, da monte verso valle, tra il Monte Vivola ed il Colle Celestrino, subito a valle del centro abitato di Itri (dal 5% al 6,3%), tra la stazione ferroviaria di Itri ed il Monte Montuoso e prima della confluenza del Fosso Costamezza (5%). Il sottobacino più grande è quello del Fossato Termini di circa 2,6 km^2 mentre quello più piccolo ha una superficie di circa 150.000 m^2. La quota media di questa parte di bacino è di 257 m s.l.m; le quote maggiori si osservano proprio nel bacino sotteso dal Fossato Termini, con valori medi che si aggirano intorno ai 690 m s.l.m.; a seguire quelle

dei bacini sottesi dai primi due affluenti in sinistra orografica a valle del suddetto tombinamento (quote medie rispettivamente di 600 e 420 m s.l.m.).

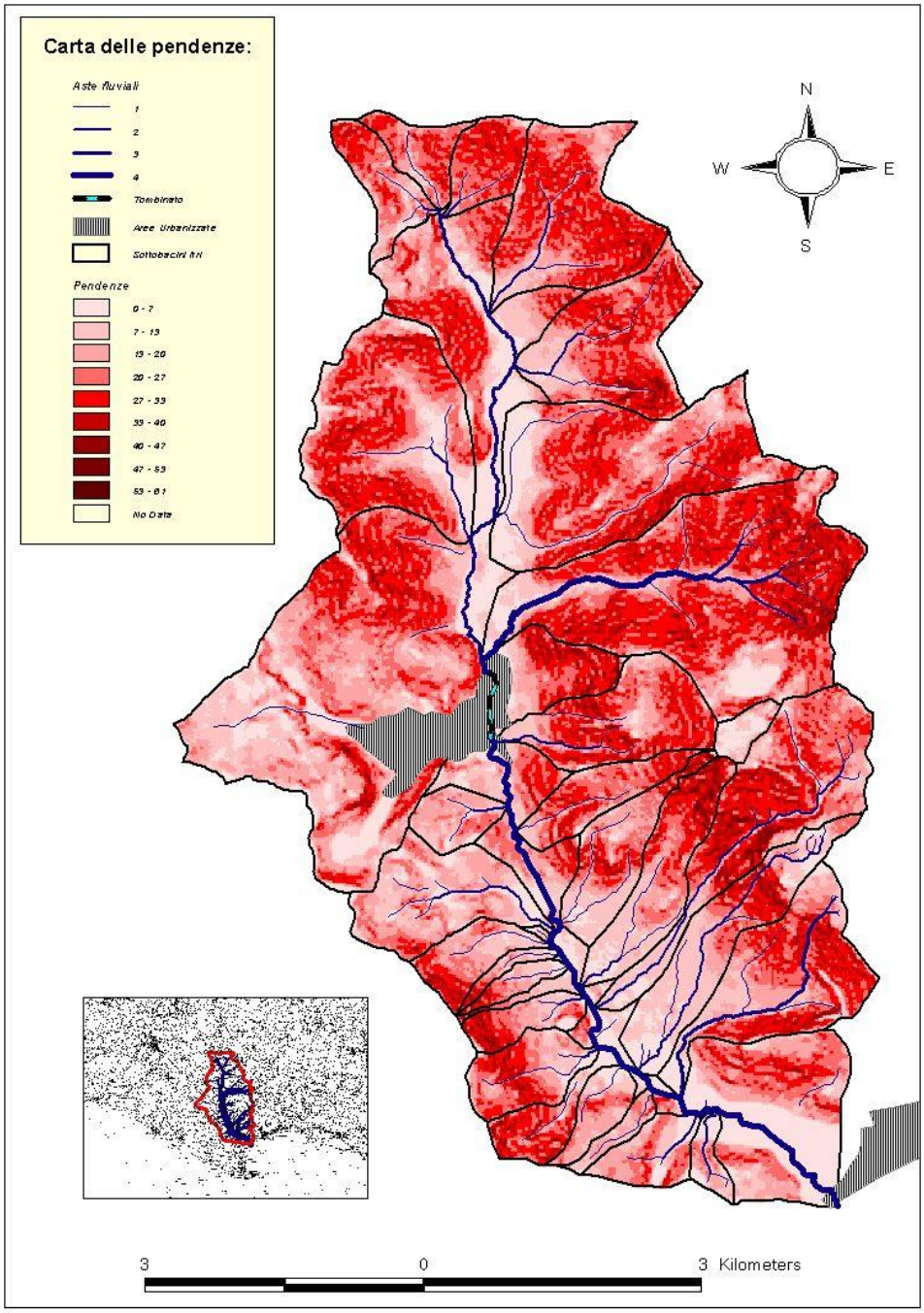


Fig. 5 – Carta delle pendenze del bacino

La pendenza media dei versanti dell'area è circa del 17,5%. La pendenza media maggiore dei sottobacini si riscontra in sponda sinistra (14-24%, contro il 7-21% di quella destra).

Parametri idrologici

Per lo svolgimento delle analisi previste, sono state prese in considerazione le stazioni del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale che presentano serie sufficientemente estese ed omogenee. Una consistente parte delle serie storiche pluviometriche, scelte in modo tale da creare una griglia di stazioni il più possibile omogenea in termini di spazio e di tempo, sono state ricavate in modo tale da creare un insieme di dati il più possibile omogenea in termini di spazio e tempo, sono state ricavate dalla banca dati creata nell'ambito del progetto VAPI (Valutazione Piene)[2], integrandole e aggiornandole con i dati degli Annali Idrologici del SIMN.

Inquadramento meteoclimatico e analisi della pluviometria

Annali idrologici

I moderni processi di elaborazione danno modo di inquadrare, nell'ambito delle approssimazioni ammesse, i fenomeni idrologici e di prevederne, per quanto possibile, l'andamento. Rientra in questa procedura l'analisi pluviometrica proposta in questo capitolo, che elabora i dati forniti dalle stazioni pluviometriche limitrofe al bacino di Itri.

La figura 6 mostra l'ubicazione delle stazioni pluviometriche prese in considerazione per le analisi pluviometriche (più esattamente: Itri, Lenola, Monte San Biagio, Esperia, Fondi e Gaeta).; si nota come la distribuzione spaziale delle stesse, dopo aver eseguito il tracciamento dei topoieti relativi, evidenzia come il bacino del Rio d'Itri (area totale A_{tot}= 55,95 Km^2) ricada nel topoieto di Gaeta e nel topoieto di Itri. Riassumendo in una tabella abbiamo:

	Bacino del Rio d'Itri	***Topoieto Itri***	***Topoieto Gaeta***
Area Totale (**km^2**)	51,13	42,93	8,20
Percentuale (**%**)	100,00	83,96	16,04

[2] Il Progetto VAPI è stato sviluppato dal Gruppo Nazionale per la Difesa delle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI) del Consiglio Nazionale delle Ricerche (CNR, 1994).

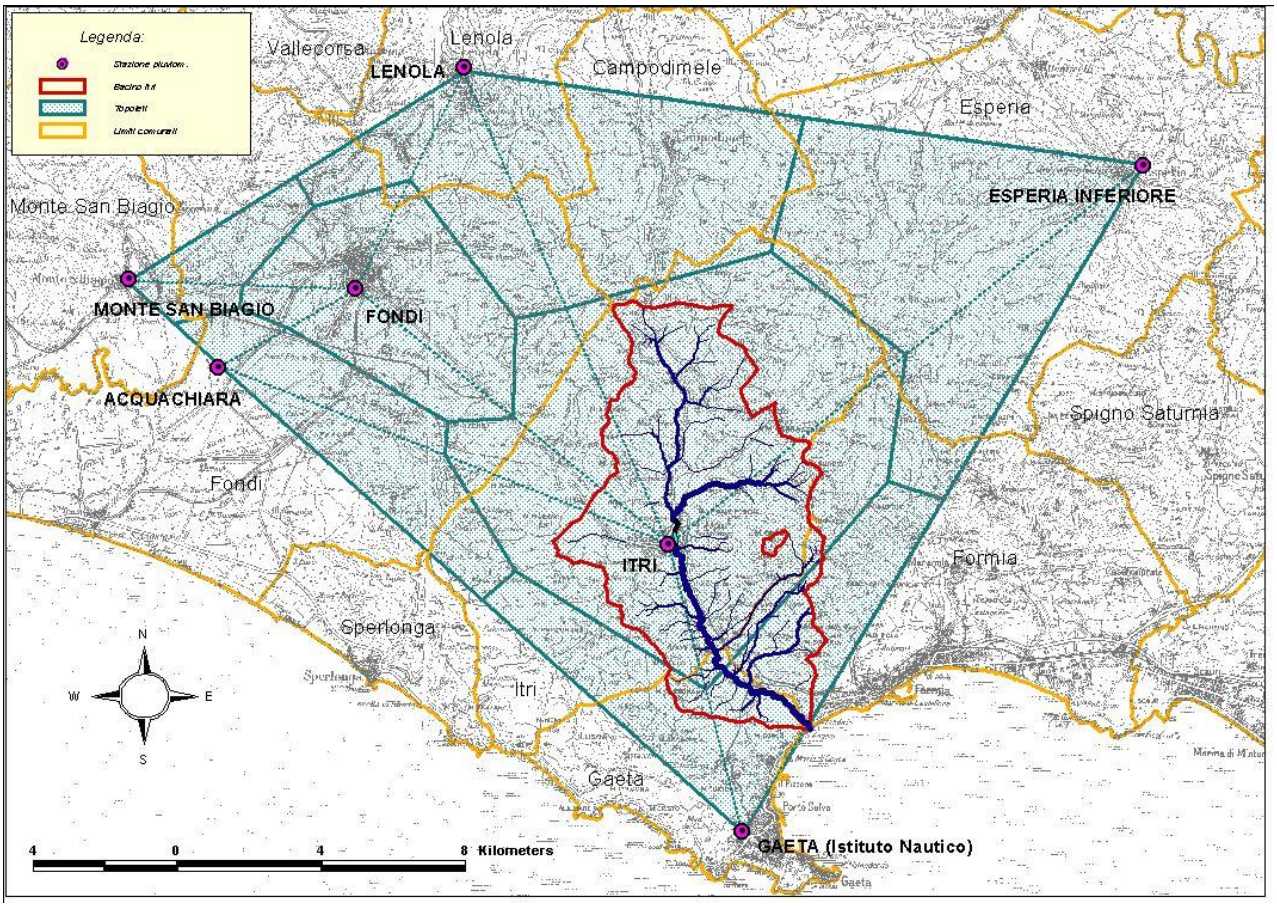


Fig. 6 – Localizzazione dei topoieti in relazione alle stazioni pluviometriche che circondano il bacino di Itri; nell'area sono inoltre evidenziati i limiti amministrativi comunali

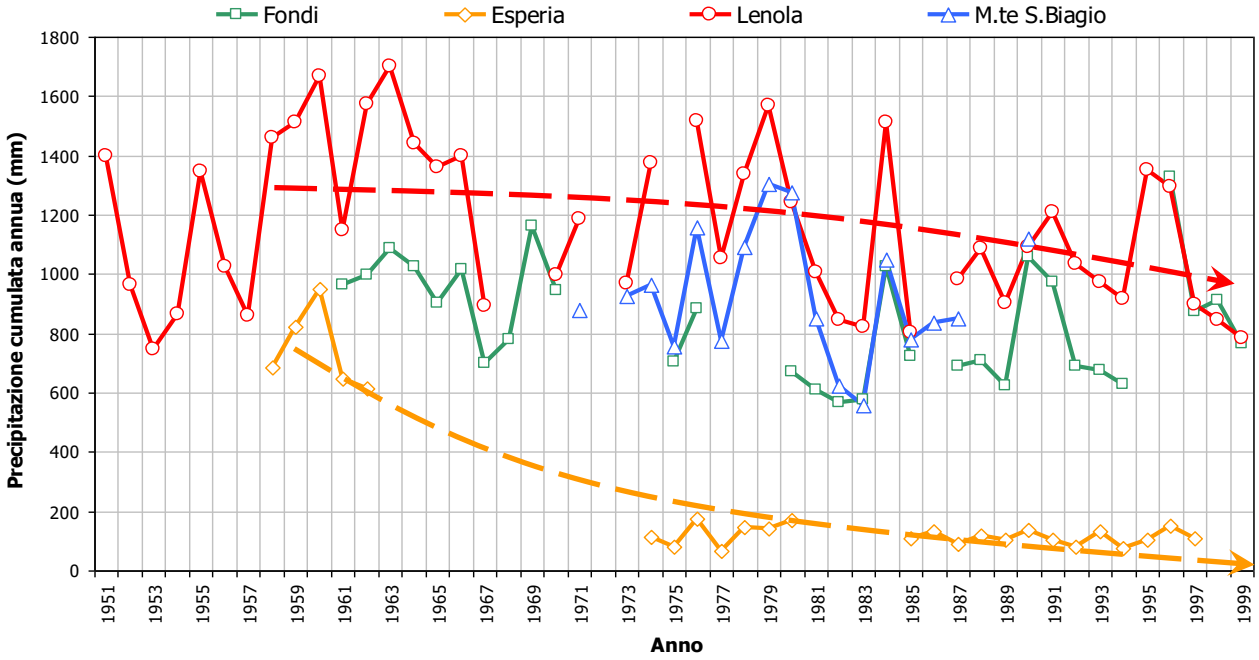
Una prima indicazione dell'andamento pluviometrico della zona possiamo già visualizzarlo dal seguente grafico riassuntivo nel quale si riporta la precipitazione media cumulata nei seguenti pluviometri:

Stazione pluviometrica	***Codice Nazionale***	***UTM 33 (x)***	***UTM 33 (y)***	***Quota (m. s.l.m.)***
Fondi	33920	368521	4579284	5
Lenola	33900	371535	4585400	470
M.te S.Biagio	33910	362238	4579540	120
Esperia Inferiore	36760	390353	4582695	272
Itri	36100	377184	4572201	165
Gaeta (Ist. Nautico)	36110	379246	4564248	45

Volontariamente non sono stati inseriti i valori pluviometrici di Itri e Gaeta – Istituto Nautico visto che saranno dettagliatamente analizzati in seguito.

Si intuisce come l'analisi dei dati di pioggia sia penalizzata del fatto che non si possiedano serie storiche tali da poter prevedere e stimare con adeguato dettaglio,

l'andamento medio delle precipitazione nella zona. Nonostante la dovuta precisazione, si può comunque constatare l'attenuazione delle piogge cumulate medie annue in questi ultimi anni; caso più eloquente risulta dai pluviometri del Comune di Lenola e del comune di Esperia Inferiore. Si vuole qui sottolineare che tali stazioni sono entrambe tra le più spinte nell'entroterra e probabilmente non risentono dell'influenza del mare.



Si può stimare una attenuazione di circa il 20% per quel che riguarda il Comune di Lenola e del 70% per quel che riguarda il comune di Esperia. Abbiamo già constatato come il bacino del Rio d'Itri ricada completamente nei topoieti di Gaeta e Itri e come questi possano essere presi come rappresentativi della situazione pluviografica dell'intera zona di studio. Nel seguito si analizzano i dati relativi alle due stazioni.

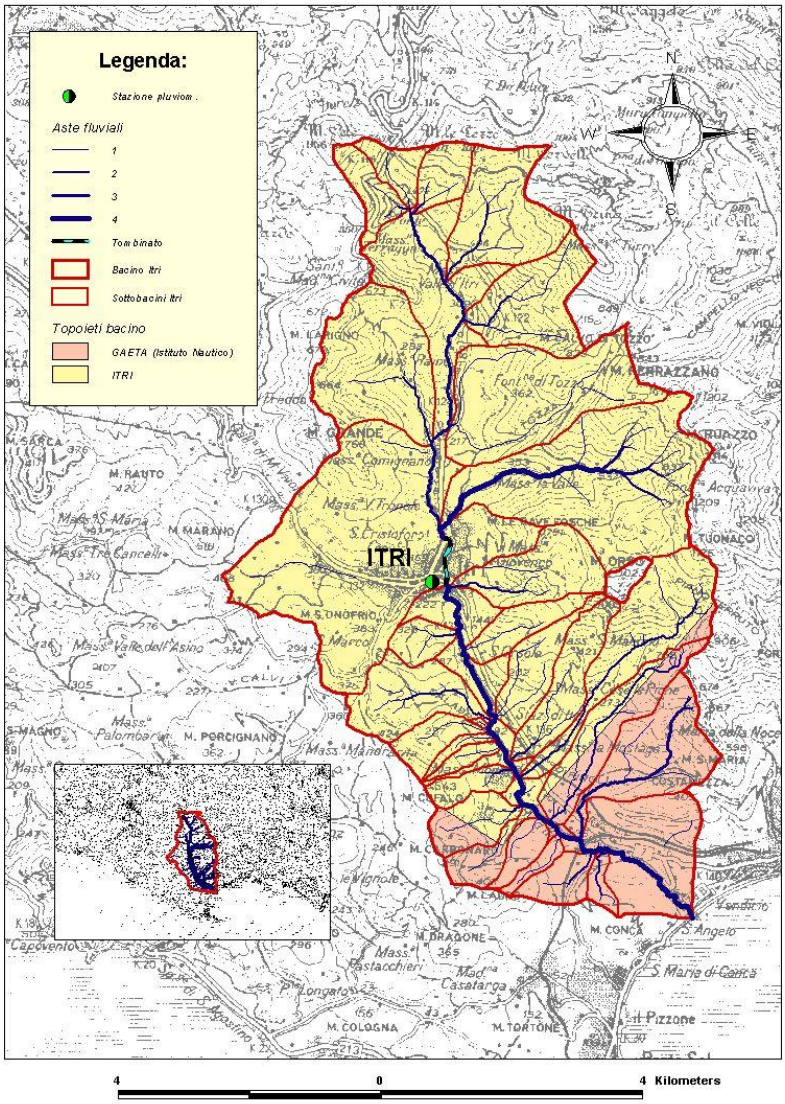
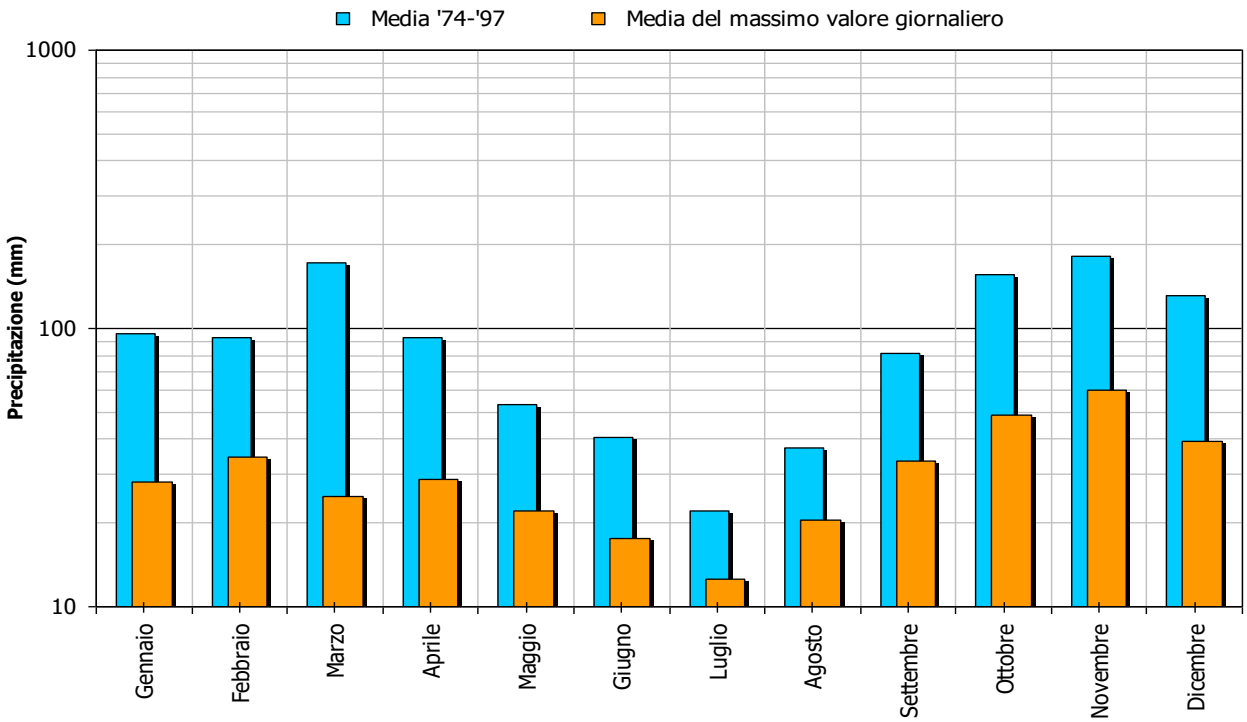


Fig. 8 – Particolare dei topoieti ricadenti internamente al bacino d'Itri

STAZIONE PLUVIOMETRICA DI ITRI

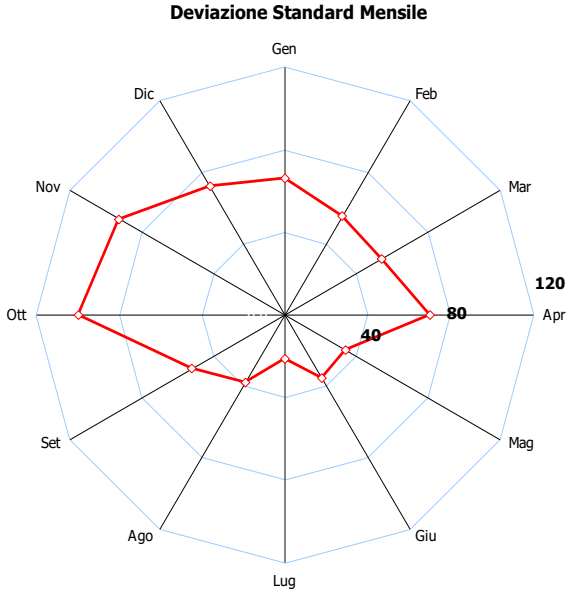
I dati provenienti dalla stazione pluviometrica di Itri consistono nella sola piovosità giornaliera e non sono disponibili le intensità di pioggia a scala oraria. Pertanto sono stati elaborati i dati a scala giornaliera nel tentativo di evidenziare le criticità.

In appendice sono riportati gli andamenti medi, mese per mese, delle piogge durante gli anni d'osservazione 1977-1997. La sintesi di tali dati è contenuta nel tracciamento di un andamento medio annuo riguardante la precipitazione media nei diversi mesi dell'anno.



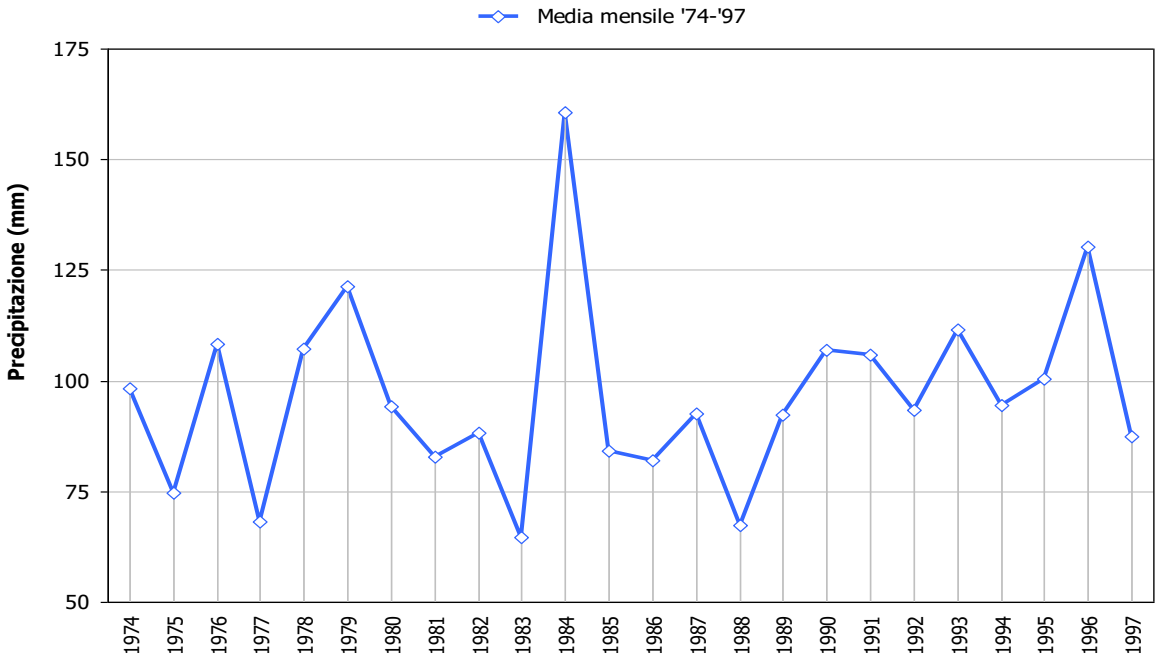
Dal calcolo della deviazione standard della media mensile si può notare la criticità per quel che riguarda l'intensità di pioggia, nei mesi autunnali (Ottobre, Novembre e Dicembre).

Questo contraddistingue un comportamento molto variabile delle piogge che può portare ad una crisi dei fenomeni di infiltrazione della zona colpita.

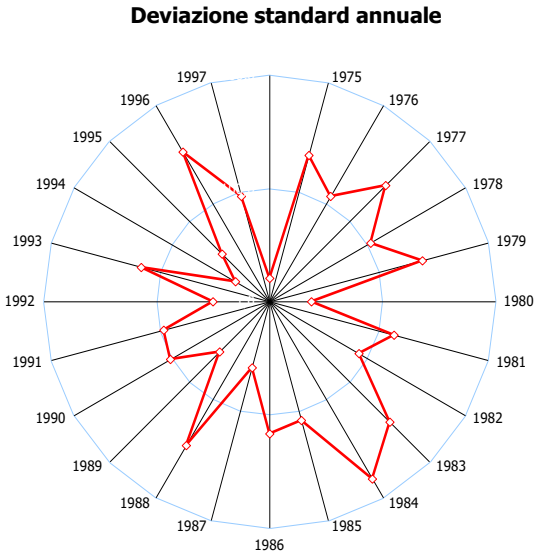


Analoga analisi statistica, sui dati pluviometrici della stazione di Itri, è stata eseguita nei diversi anni di osservazione. Si evidenzia una costanza delle piogge a livello dei valori

cumulati annuo con dei massimi nelle annate 1984 e 1996 e delle condizioni minime negli anni 1977 e 1983. In appendice sono riportati i diagrammi pluviometrici annui:

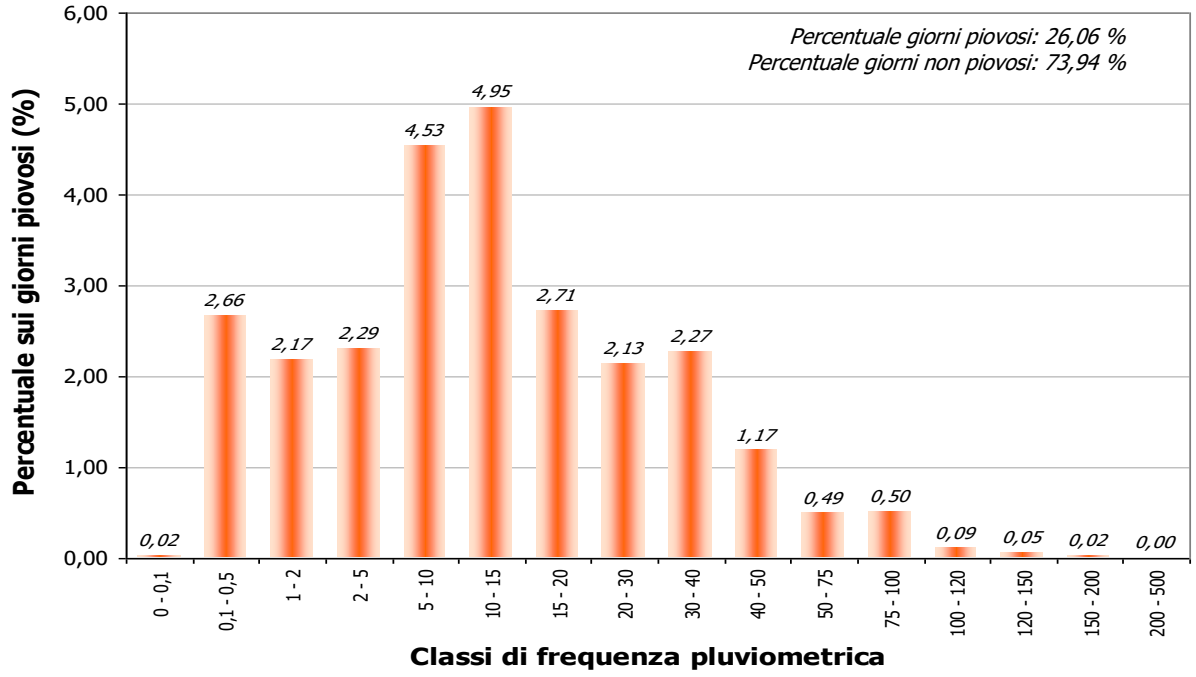


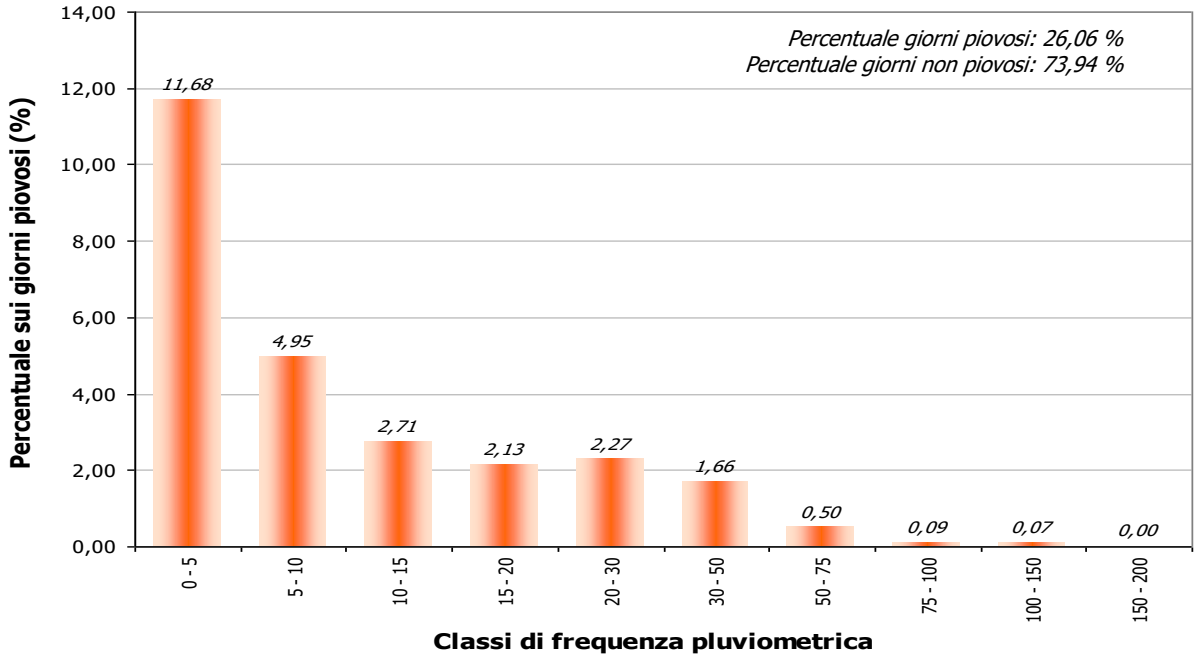
L'elaborazione statistica tramite il calcolo della deviazione standard, su base media annua, mostra un andamento pressoché costante ad eccezione del 1984, anno per il quale il dato di precipitazione cumulata media ha assunto valore poco compatibile col valor medio (stimato a 1065 mm/anno).



Si ricorda che tale anno corrisponde ad uno dei due più piovosi della serie con elevate precipitazioni da settembre a maggio e nulle nel periodo estivo.

Passando all'analisi delle frequenze delle intensità sui dati pluviometrici in possesso, si è valutata la percentuale di giorni piovosi nell'arco dell'anno (dato medio); si evince come per quasi tre quarti dell'anno (73,94 %) non si hanno fenomeni piovosi mentre per il restante (26,06 %) si è in presenza di fenomeni piovosi che a seconda delle classi di frequenza scelte, hanno i seguenti andamenti:

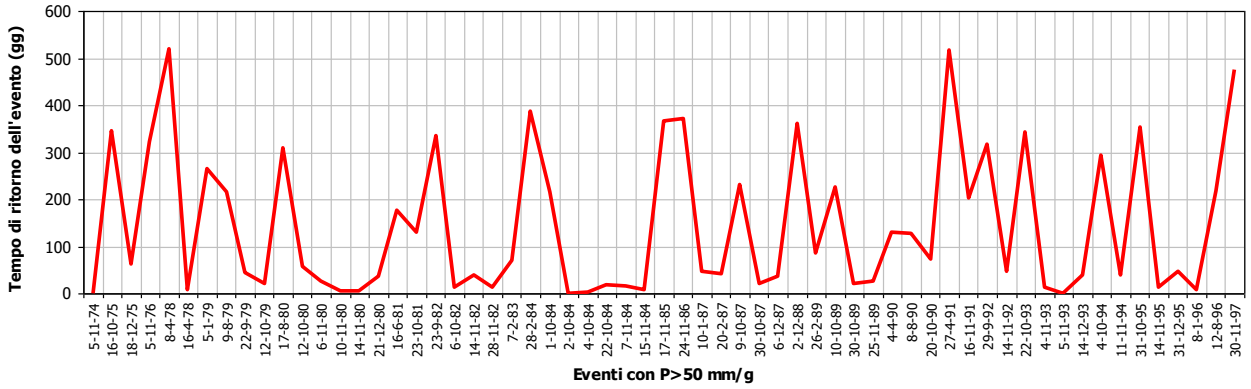




Si nota, nei grafici delle frequenze una spiccata presenza di fenomeni compresi tra 5 e 15 mm/giorno che ricoprono quasi il 50% della quota parte degli eventi piovosi. Per quanto riguarda i fenomeni di grande intensità, da sottolineare la presenza di un 3% circa di precipitazioni comprese tra 40 e 100 mm/giorno.

Per quel che riguarda i tempi di ritorno dei fenomeni piovosi (nel grafico sottostante si sono analizzati eventi con intensità maggiore ai 50 mm/giorno) nel comune di Itri si può stimare un tempo di 144 giorni che naturalmente si allunga per intensità sempre maggiori (vedere tabella).

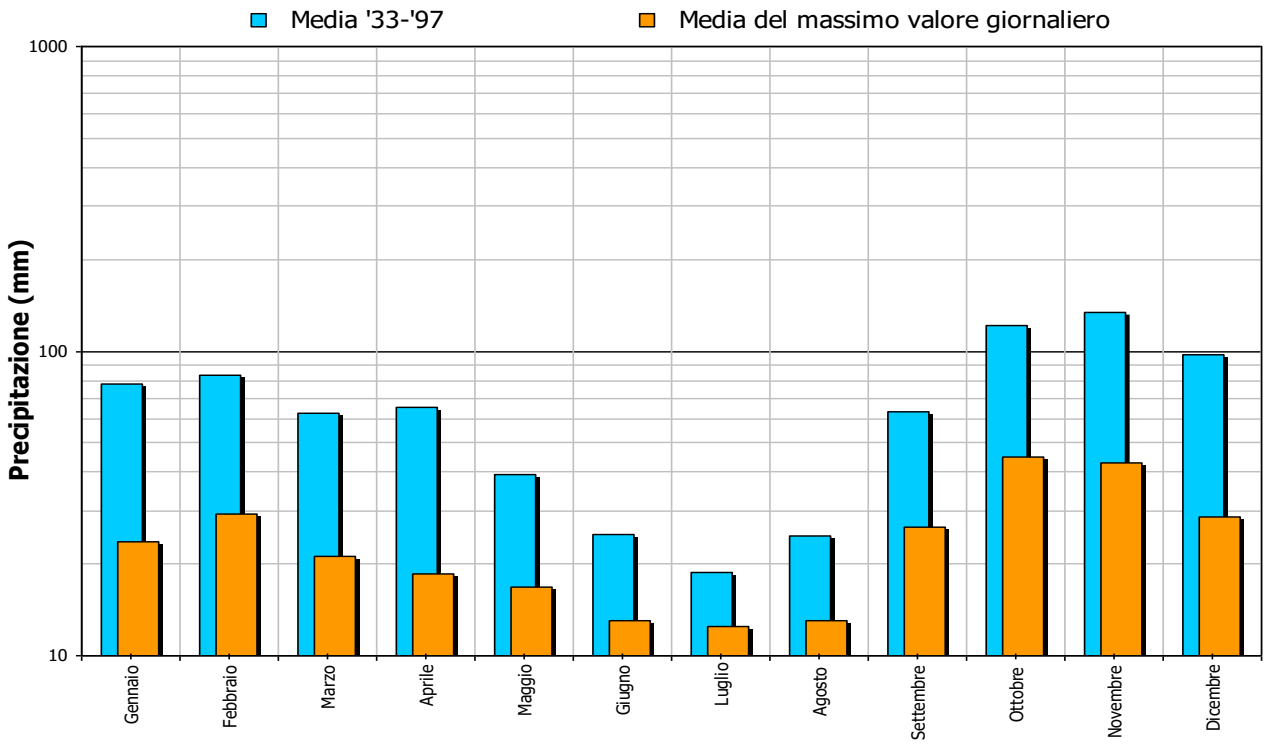
Evento (mm)	Tempo di ritorno medio (gg)
> 50	144
> 75	345
> 100	610
> 120	1881



STAZIONE PLUVIOMETRICA DI GAETA

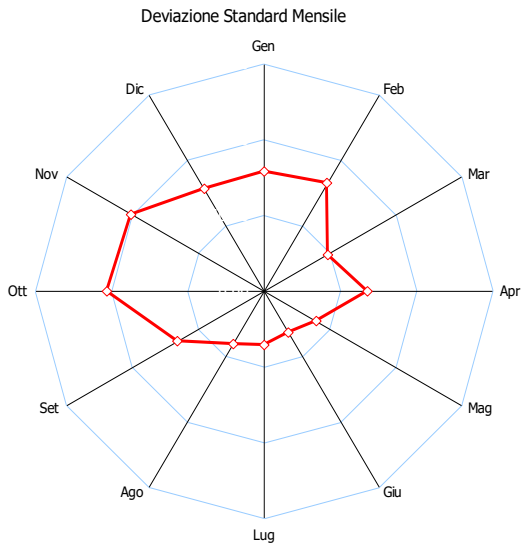
I dati provenienti dalla stazione pluviometrica di Itri consistono nella sola piovosità giornaliera e non sono disponibili le intensità di pioggia a scala oraria. Pertanto sono stati elaborati i dati a scala giornaliera nel tentativo di evidenziare le criticità. In appendice sono riportati gli andamenti medi, mese per mese, delle piogge durante gli anni d'osservazione 1933-1997.

La sintesi di tali dati è contenuta nel tracciamento di un andamento medio annuo riguardante la precipitazione media nei diversi mesi dell'anno.

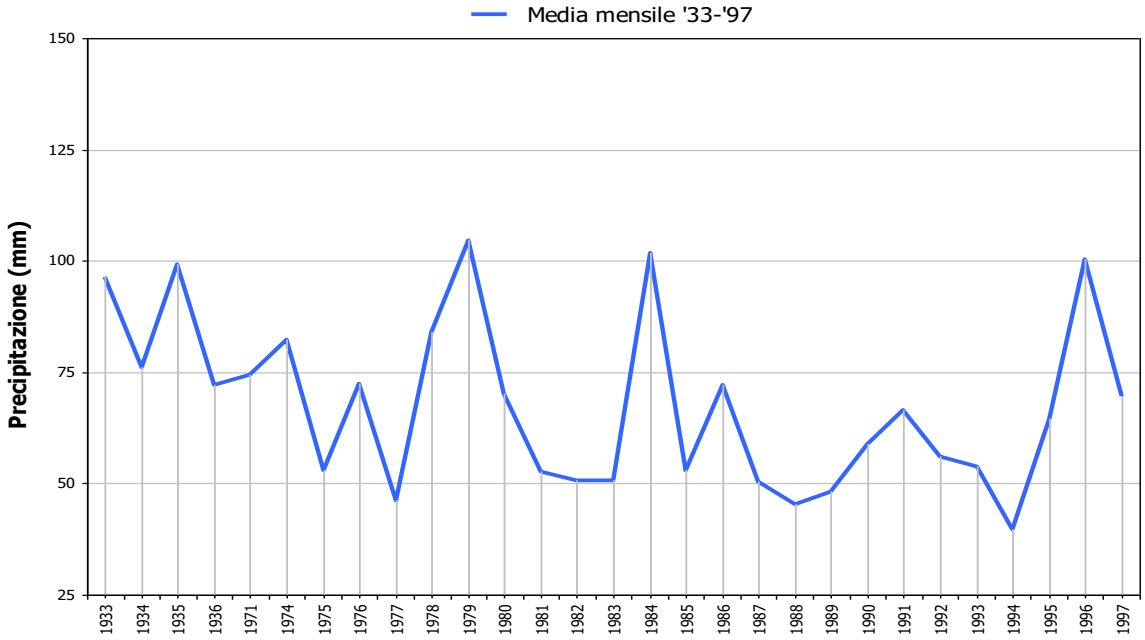


Dalla media mensile si può notare, elaborando statisticamente i dati tramite il calcolo della deviazione standard, la criticità per quel che riguarda l'intensità di pioggia, nei mesi autunnali (Ottobre e Novembre).

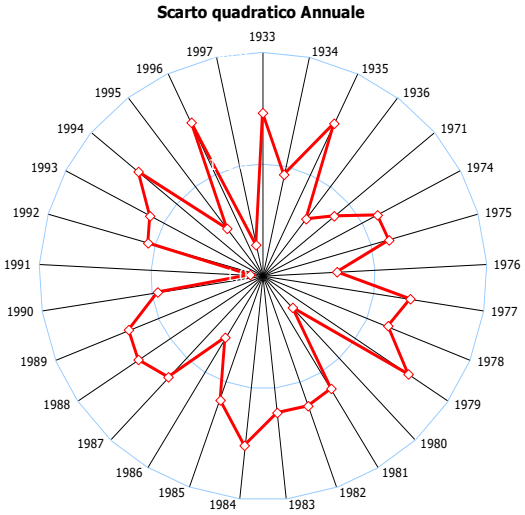
Questo contraddistingue un comportamento molto vario delle piogge che può portare ad una crisi dei fenomeni di infiltrazione della zona colpita.



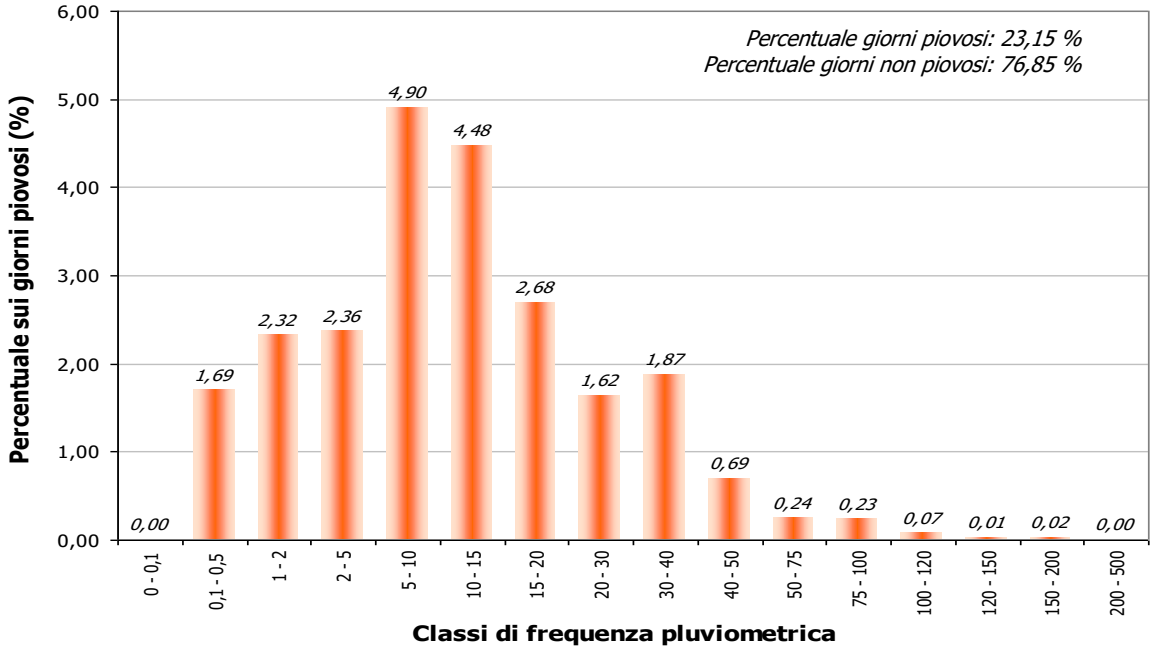
Analoga analisi statistica, sui dati pluviometrici della stazione di Gaeta, è stata eseguita nei diversi anni di osservazione. Si mette in evidenza una certa costanza delle piogge a livello cumulato annuo con dei massimi nelle annate 1979 e 1984 e delle condizioni minime negli anni 1988 e 1994. Si rimanda in appendice per i diagrammi pluviometrici annui.

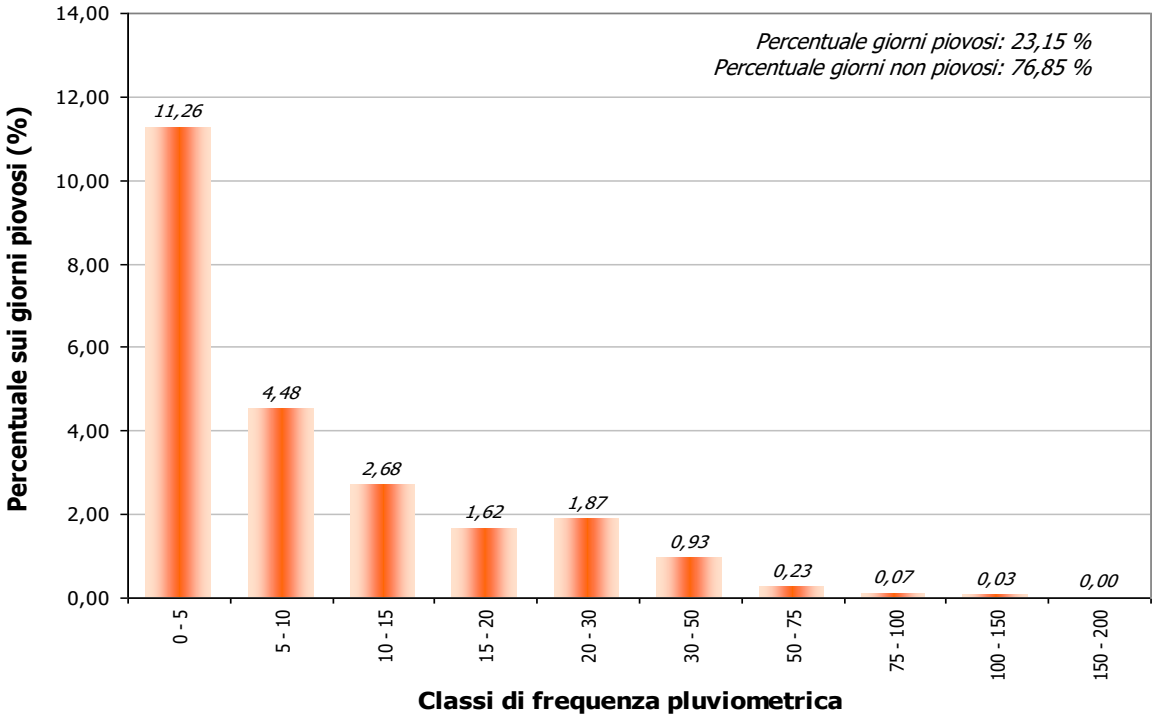


L'elaborazione statistica tramite il calcolo dello scarto quadratico annuale, su base media annua, mostra un andamento vario dello scarto con successione di valori della stessa attorno a 100.



Passando all'analisi delle frequenze delle intensità sui dati pluviometrici in possesso, una prima sommaria riguardante la frequenza, la si può fare considerando percentualmente i giorni piovosi nell'arco dell'anno (dato medio); anche in questo caso, come già visto per Itri, si evince come per tre quarti dell'anno (23,15%) non si hanno fenomeni piovosi mentre per il restante quarto si è in presenza di fenomeni piovosi che a seconda delle classi di frequenza scelte, hanno i seguenti andamenti:

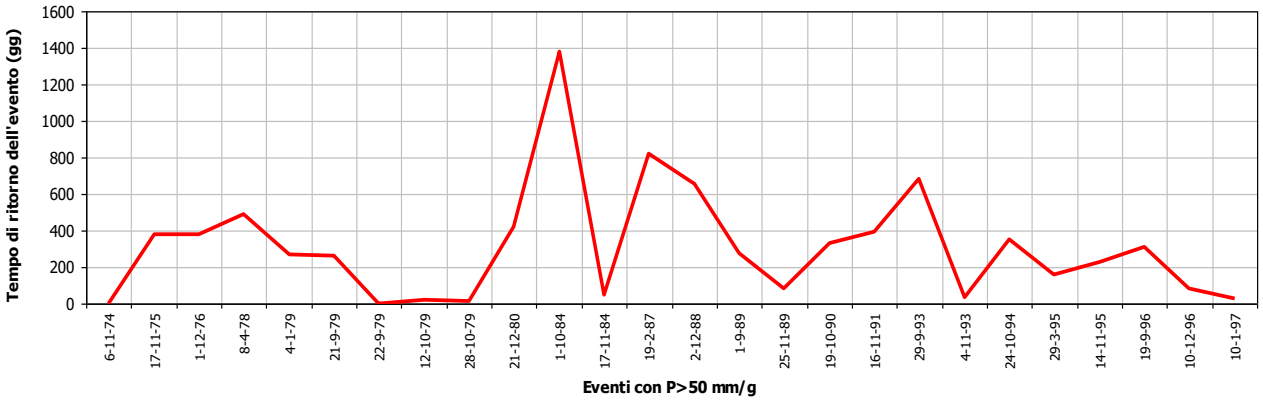




Si nota, nei grafici delle frequenze una spiccata presenza di fenomeni compresi tra 5 e 15 mm/giorno che ricoprono quasi il 50% della quota parte degli eventi piovosi. Per quanto riguarda i fenomeni di grande intensità, da sottolineare la presenza di un 3% circa di precipitazioni comprese tra 30 e 75 mm/giorno.

Per quel che riguarda i tempi di ritorno dei fenomeni piovosi (nel grafico sottostante si sono analizzati eventi con intensità maggiore ai 50 mm/giorno) nel comune di Itri si può stimare un tempo di 312 giorni che naturalmente si allunga per intensità sempre maggiori.

Evento (mm)	Tempo di ritorno medio (gg)
> 50	312
> 75	1097
> 100	2209
> 120	-



Regionalizzazione delle precipitazioni della Regione Lazio

Allo stato attuale delle conoscenze, sul bacino le intensità di pioggia a scala oraria sono state derivate dal lavoro sulla regionalizzazione delle portate e dei volumi di piena dei bacini regionali. Questo si inquadra nell'ambito della convenzione in atto tra l'Autorità dei Bacini Regionali del Lazio e il Dipartimento di Scienze dell'Ingegneria Civile dell'Università di Roma Tre, che ha per oggetto *"Rilievi, studi, e ricerche finalizzati all'aggiornamento del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico relativamente alla difesa idraulica dei Bacini Regionali minori area nord"*, con lo scopo di soddisfare gli obbiettivi prioritari definiti dall'allegato Tecnico alla Convenzione, riguardanti la difesa idraulica di alcune zone di rilievo.

Nell'ambito dei bacini regionali hanno funzionato per un certo periodo di tempo soltanto quattro stazioni idrometrografiche, per le quali, essendo state eseguite misure di portata e tracciate le scale di deflusso sono disponibili delle serie di osservazioni di portata (due sul Marta, una sul Mignone ed una sull'Amaseno).

In queste condizioni, data l'esiguità delle osservazioni disponibili, in parte anche poco generalizzabili, il trasferimento dell'informazione idrologica dalle sezioni strumentate a quelle d'interesse non può essere eseguito facendo riferimento ai soli bacini regionali, per cui la regionalizzazione è stata eseguita, estendendo la regione esaminata anche al bacino del Tevere.

La regionalizzazione è stata eseguita con due metodologie:

1. regionalizzazione dei parametri delle distribuzioni di probabilità delle serie dei massimi colmi annuali osservati;
2. regionalizzazione dei parametri di modelli afflussi-deflussi, utilizzando sia le osservazioni dei massimi colmi annuali, sia, per tener conto dell'ingresso pluviometrico, la regionalizzazione delle leggi di probabilità pluviometrica sui bacini interessati svolta nell'ambito del già citato progetto VAPI.

Ai fini del presente studio, sono stati utilizzati i risultati afferenti al secondo punto; essi sono stati estrapolati e rielaborati alla scala del campione.

Infatti, i risultati della regionalizzazione dei parametri delle distribuzioni di probabilità delle piene a partire dalle osservazioni di portata, ha mostrato che le differenze esistenti tra i bacini imbriferi delle diverse stazioni idrometeografiche comprese nell'area di pertinenza del Compartimento di Roma del SIMN sono troppo grandi per poter identificare delle regioni idrologicamente omogenee che includano un numero di stazioni idrometeografiche statisticamente significativo ai fini della stima dei parametri. Tali differenze riguardano, da un lato, le caratteristiche topografiche, geologiche e pedologiche dei bacini, che determinano la concentrazione dei deflussi e le perdite idrologiche, dall'altro le intensità delle piogge, che variano apprezzabilmente da una parte all'altra dell'area considerata.

Di conseguenza si è reso necessario effettuare la regionalizzazione utilizzando un modello che ha introdotto esplicitamente dei parametri rappresentativi delle principali caratteristiche dei bacini e dell'ingresso pluviometrico che determinano le disomogeneità.

A seguito di queste considerazioni, si è adottata la procedura del programma VAPI, che prevede l'impiego di una regionalizzazione delle piogge intense, elaborate nella forma di leggi di probabilità pluviometrica (relazioni intensità-durata-frequenza o IDF) espresse tramite la *legge asintotica del massimo valore tipo 1 a due componenti* (TCEV).

Intensità di pioggia

Per il calcolo dell'intensità di pioggia, si fa riferimento alla legge intensità-durata-frequenza (IDF) a tre parametri.

$$i(\tau_c, T) = \frac{a(T)}{(b+t)^m}$$

dove:

t è la durata della pioggia critica, assunta pari a τ_c ore

b è un parametro di deformazione della scala temporale (h)

m è un parametro adimensionale compreso tra 0 ed 1

a(T) è un parametro dipendente dal tempo di ritorno (m/h)

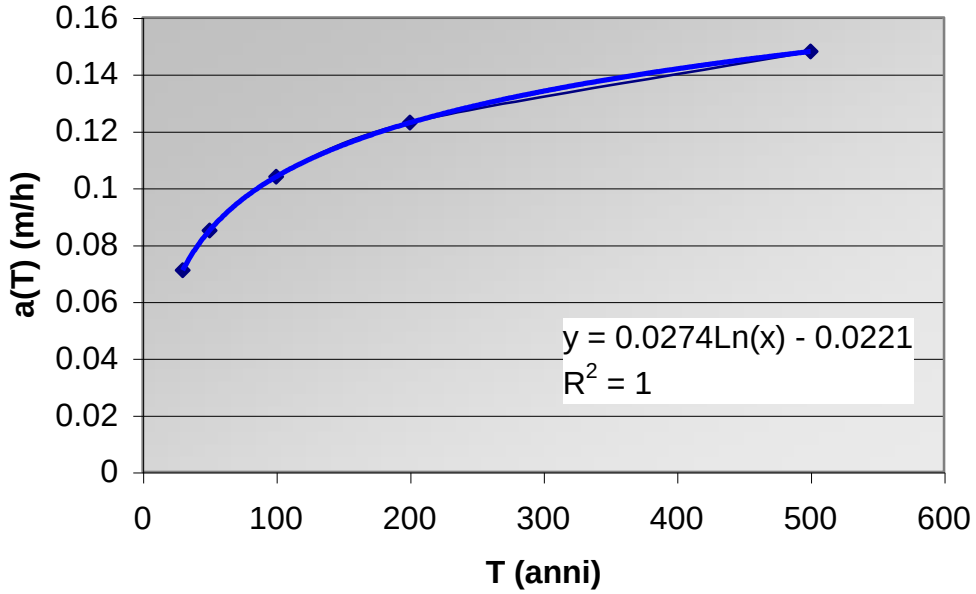
Poiché, come già accennato, non esistono dati sulle precipitazioni intense di breve durata (arco di tempo inferiore alle 24 ore), necessari per ricavare le curve segnalatrici di probabilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno, per i parametri a(T), b e m sono stati elaborati direttamente i dati provenienti dalla regionalizzazione delle piogge, che sono relativi a tempi di ritorno che non scendono sotto i 30 anni. Si ha pertanto[3]:

Nome bacino	*b (h)*	*m*	*T (anni)*	*a(T) (m/h)*
F. Itri	0,105	0,682	30	0,071
			50	0,085
			100	0,104
			200	0,123
			500	0,148

Effettuando una regressione sui valori tabellati, si verifica come la curva logaritmica che inviluppa i punti del grafico riprenda esattamente il trend della variazione di a(T) al

[3] CALENDA (2003) - *Studi per l'aggornamento del piano stralcio per l'assetto idrogeologico* – Convenzione di ricerca tra Regione Lazio – A.B.R. e Università degli Studi di Roma Tre – D.S.I.C.

variare del tempo di ritorno T (grado di correlazione $R^2 = 1$). Si sono quindi estrapolati i valori di a(T) relativi a tempi di ritorno T alla scala del campione di 5 e 10 anni: rispettivamente 0,022 e 0,041.



Conoscendo ora tutti i parametri si può calcolare al tempo $t = \tau_c$ l'intensità di pioggia per i vari tempi di ritorno:

T (anni)	*i(τ_c, T) (mm/h)*
5	11,10
10	20,69
30	35,88
50	42,94
100	52,53
200	62,12
500	74,79

Modellazione afflussi – deflussi

Il metodo utilizzato per il calcolo della portata conseguente a un'assegnata precipitazione è quello razionale[4] (cinematico).

Considerata la sezione di un corso d'acqua, è intuitivo pensare che le portate defluenti attraverso essa dipendano dalle caratteristiche del bacino tributario sotteso dalla sezione stessa (estensione, lunghezza, forma, pendenza e natura dei terreni) e da quelle dell'evento pluviometrico; e che la partecipazione alla formazione del deflusso sia in relazione alla sua durata pari al tempo τ: si assume infatti, schematizzando il fenomeno,

[4] Turazza, 1880.

che per una precipitazione di altezza h e di intensità media i = h/τ (cioè costante nella durata τ) ed estesa a tutto il bacino, si raggiunga la portata massima quando alla sezione considerata giungano insieme i contributi di tutte le parti che formano il bacino stesso.

Questo intervallo di tempo è appunto definito tempo di correlazione (o corrivazione) τ_c ed è assunto come elemento caratteristico del bacino; con tale ipotesi, anche la durata del processo di esaurimento, contata a partire dalla cessazione della pioggia, è pari a τ_c. L'espressione della formula è la seguente:

$$Q(T) = 278 \cdot \phi \cdot A_b \cdot i(\tau_c, T) \cdot r(A_b, \tau_c)$$

in cui:

T	è il *tempo di ritorno medio* (anni)
Q(T)	è la massima portata al colmo dell'anno relativa a T (m^3/s)
A_b	è l'area del bacino (km^2)
τ_c	è il *tempo di corrivazione* (h)
i(τ_c, T)	è l'*intensità di pioggia* di durata τ_c, con tempo di ritorno T (m/h)
ϕ	è il *coefficiente di deflusso* relativo a T e rappresenta le perdite idrologiche
r(A_b, τ_c)	è il *coefficiente di ragguaglio all'area* delle piogge

Tempo di corrivazione

La determinazione di tale parametro non è né agevole, né univoca, ancorché non poche formule esistano per definirlo (ognuna da adattare a casi specifici); in questa prospettiva, il metodo ritenuto più attendibile in questa sede è il seguente. In prima approssimazione il tempo di corrivazione del bacino può essere stimato tramite la formula di Giandotti, una delle più attendibili ma valida per aree molto estese.

Già nell'applicare la regionalizzazione delle portate dei bacini regionali però si era notato che i sottobacini d'interesse dei bacini regionali hanno aree molto piccole, anche di decine di km^2; in questo caso difficilmente si riesce ad utilizzare la formula di Giandotti. D'altro canto, formule tarate per bacini di piccole dimensioni come quella di Kirpich, forniscono dei tempi di corrivazione apprezzabilmente più bassi. L'uso della formula di

Giandotti potrebbe portare allora, per questi bacini, ad una sensibile sottovalutazione delle portate.

Per questo motivo si è deciso di utilizzare per i bacini di area inferiore ad 1 km^2 la formula di Kirpich, valida per bacini d'estensione limitatissima. Per assicurare un passaggio graduale dall'una all'altra formula, per i bacini con area compresa tra 1 e 75 km^2 si è impiegata una relazione per interpolare tra i valori ottenibili con le due formule; il caso del bacino del Rio d'Itri ricade proprio in quest'ultimo caso; l'espressione diviene la seguente:

$$\tau_c = \begin{cases} \tau_{cG} \ per \ A_b \geq 75 \\ \tau_{cG} \dfrac{(A_b - 1)}{74} + \tau_{cK} \dfrac{(75 - A_b)}{74} \ per \ 1 < A_b < 75 \\ \tau_{cK} \ per \ A_b \leq 1 \end{cases} \qquad \textit{(Calenda)}$$

dove:

$$\tau_{cK} = 0{,}93 \cdot \left(\frac{L_b}{\sqrt{y_{max} / L_b}} \right)^{0{,}77} \qquad \textit{(Kirpich)}$$

$$\tau_{cG} = \frac{4 \cdot \sqrt{A_b} + 1{,}5 \cdot L_b}{0{,}8 \cdot \sqrt{y_m}} \qquad \textit{(Giandotti[5])}$$

con:

A_b	area del bacino (km^2)
L_b	lunghezza dell'asta principale del bacino (km)
y_m	altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)
y_{max}	altezza del punto più elevato del bacino rispetto alla sezione di chiusura (m)

Si riportano di seguito, per confronto, i valori di τ_c relativi ad altri tipi di espressioni[6]:

[5] La formula è una variante ottimizzata dell'originale, valida per i bacini del Lazio (regionalizzazione ABR).

[6] ABR REGIONE CALABRIA (2002) – *Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con I corsi d'acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree d'attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio d'inondazione*. Piano di Stralcio per l'assetto Idrogeologico (PAI).

$$\tau_c = 6 \cdot \frac{L_b^{2/3}}{d^{1/3}} \text{ per } 43 \le A_b \le 94\,\text{km}^2$$ *(Puglisi e Zanframundo)*

$$\tau_c = \frac{L_b}{v}$$ *(Viparelli)*

con:

d dislivello dell'asta principale (m)

v velocità media di percorrenza dell'asta[7] (m/s)

I valori di τ_c ottenuti sono riportati nella seguente tabella (in h):

Giandotti	*Kirpich*	***Calenda***	*P. & Z.*	*Viparelli*
3,0	1,75	**2,62**	4,3	4,1

Si evince come, anche se molto simili, i risultati relativi alle ultime due espressioni, tendano a sovrastimare in modo evidente il tempo di corrivazione calcolati.

Depurazione delle piogge

Un modello capace di fornire una descrizione della capacità del suolo di ripartire le piogge permette di individuare l'aliquota di perdita idrologica rappresentata dal coefficiente di deflusso ϕ. A tal fine sono stati applicati due metodi: il metodo del SCS ed il metodo di Kennessey. Nel primo metodo il potere di assorbimento del suolo è rappresentato dal *Curve Number* (CN), sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS) del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti[8]. Nell'ipotesi che esista proporzionalità tra l'afflusso meteorico cumulato lordo, depurato dalle perdite iniziali per ritenzione superficiale I_a, nello stesso rapporto esistente tra il volume infiltrato ad un istante generico ed il massimo volume infiltrabile S e che sia verificata la continuità della massa, si dimostra che il volume specifico di pioggia efficace h_{eff}, conseguente alla precipitazione di un altezza di pioggia lorda h_{lorda}, risulta essere:

[7] Assunta mediamente pari a 1 m/s dall'autore. Tale valore rappresenta una media tra la celerità di percorrenza nella parte montana del bacino, dove addirittura non esiste un vero e proprio alveo e il deflusso superficiale si presenta ancora in modo disordinato (v = 0,2÷0,3 m/s) e la velocità di transito nella parte valliva, dove le sezioni appaiono più estese e minore è la scabrezza (v = 3÷4 m/s).

[8] SOIL CONSERVATION SERVICE (1972) – *National Engineering Handbook, section 4, Hydrology*. U.S. Department of Agricolture, Washington D.C., U.S.A.

$$h_{eff} = \begin{cases} \dfrac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} - I_a + S)} & \text{per } h_{lorda} > I_a \\ 0 & \text{per } h_{lorda} \le I_a \end{cases}$$

Nella quale I_a indica la perdita iniziale frutto dei fenomeni di intercettazione ed imbibimento che si attuano nella fase iniziale della precipitazione ed S rappresenta il massimo valore specifico che può essere invasato nel terreno, in funzione delle sue caratteristiche di permeabilità e dell'uso che di esso viene fatto. Si ha (S espresso in mm):

$$I_a = \text{cost} \cdot S$$

$$S = 254 \cdot (100 / CN - 1)$$

Questa metodologia di calcolo, prevede il calcolo del valore del CN, dipendente dalle caratteristiche dei terreni di ricoprimento e dal loro utilizzo, che ne determinano una permeabilità globale. La sua determinazione è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla tipologia pedologica e litologica dei suoli ed all'uso agricolo. Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi. Nell'applicazione del metodo sono previste tre classi (I, II e III) del grado di umidità del terreno, in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti all'evento esaminato (Anteceden Moisture Condition): molto asciutto (< 50 mm), standard (50÷110 mm) e molto umido (> 110 mm).

Per gli studi rivolti al calcolo delle portate di piena, usualmente si considera che in occasione di queste ultime, molto spesso il terreno del bacino in questione si presenta in condizioni di elevato imbibimento, per cui si preferisce adottare il valore di CN corrispondente alla classe AMC-tipo III, legato a quella normale dalla relazione:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0{,}43 + 0{,}0057 \cdot CN_{II}}$$

La classificazione dei tipi di suolo è funzione delle caratteristiche di permeabilità secondo la suddivisione proposta dal Soil Conservation Service che prevede quattro classi caratterizzate rispettivamente da potenzialità di deflusso scarsa (A), moderatamente bassa (B), moderatamente alta (C) e molto alte (D). La suddivisione in base al tipo di copertura o uso del suolo comprende invece diverse situazioni di aree caratterizzate da differenti morfologie (pascoli, terrazzamenti, ecc.), varie coperture vegetali (boschi, praterie, parchi), condizioni di conservazione e destinazione d'uso (coltivazioni, parcheggi, distretti industriali o altro).

Nel caso in esame il bacino scolante (ed in seguito i sottobacini) è stato analizzato suddividendo l'intera superficie in base al tipo e all'uso del suolo, in zone omogenee caratterizzate dal medesimo valore del parametro stesso: si sono così ottenute varie sub-aree isoparametriche la cui somma fornisce la superficie complessiva del bacino. È stato ricavato quindi un valore medio del parametro CN, ottenuto come "media pesata" dei valori singolari imposti alle i-esime sub-aree:

$$CN = p_1 \cdot CN_1 + p_2 \cdot CN_2 + ... + p_n \cdot CN_n$$

dove p_1, p_2,..., p_n sono rispettivamente le percentuali dell'area totale del bacino caratterizzate da un valore del parametro pari a CN_1, CN_2,..., CN_n. Nell'individuazione e caratterizzazione delle zone omogenee si è fatto riferimento alla Carta dell'uso del suolo e alla Carta geolitologica redatte dalla Regione Lazio in collaborazione con l'Università di Roma Tre.

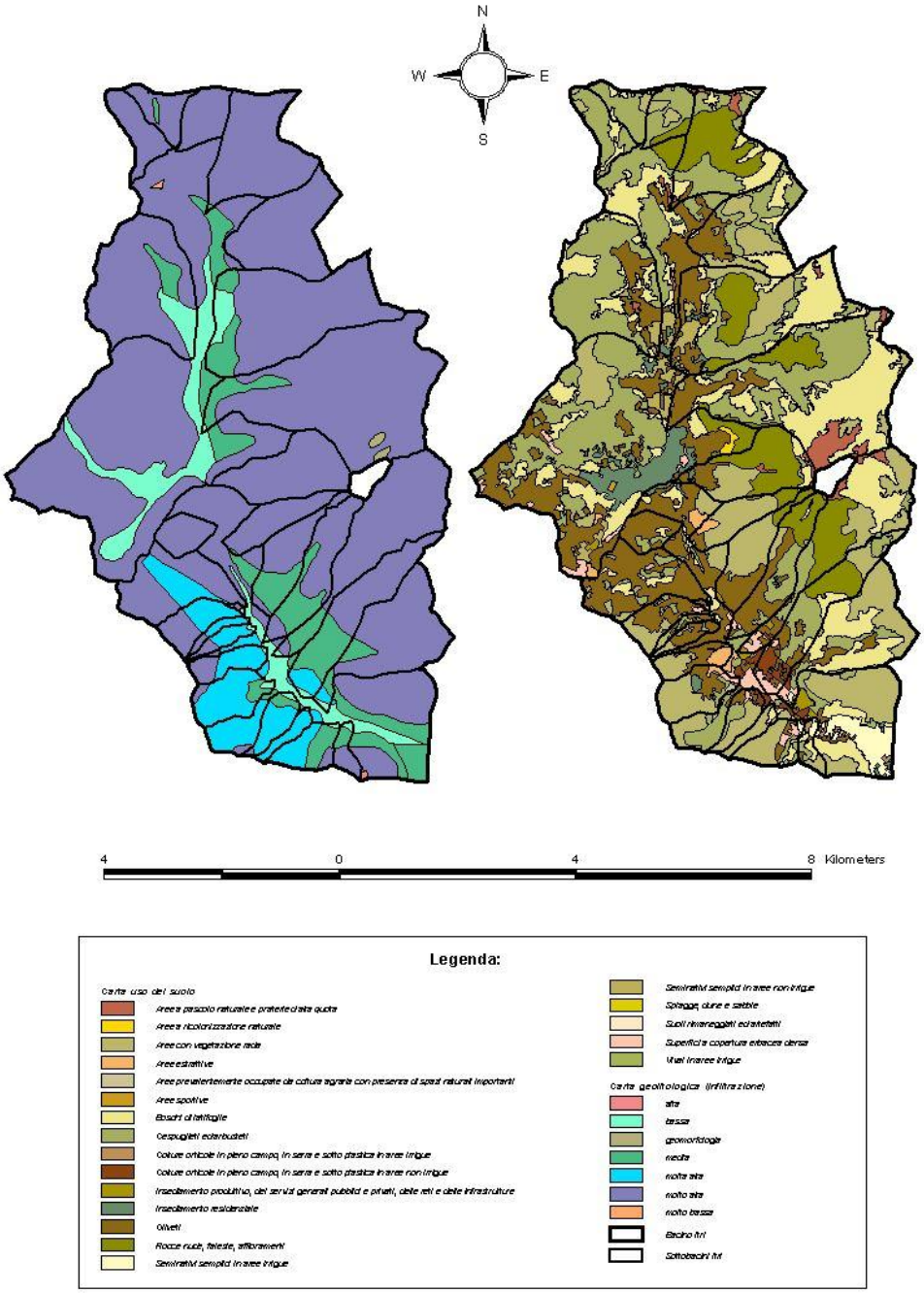


Fig. 9 – Carta geolitologica ed uso del suolo relativa al bacino di Itri.

I risultati ottenuti, riportati in dettaglio nelle seguenti tabelle, evidenziano un CN_{II} pari a 55,31:

Uso suolo			Punteggio classi A	B	C	D	CN_i
		%	84,26	0,03	9,68	6,03	
Terreno coltivato	senza interventi di sistemaz.	22,64	72	81	88	91	16.91
	con interventi di sistemaz.						0
Terreno a pascolo	in cattive condiz.	1,48	68	79	86	89	1.05
	in buone condiz.						0
Praterie	in buone condiz.	17,42	30	58	71	78	6.42
Terreni boscosi o forestati	terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	44,96	45	66	77	83	22.66
	sottobosco e copertura buoni						0
Spazi aperti, prati rasati, parchi	in condiz. normali, con copertura erbosa ≈ 50%	10,05	49	69	79	84	5.43
	in buone condiz. con almeno 75% di copertura boscosa						0
Aree commerciali	(impermeabilità 85%)	1,00	89	92	94	95	0.90
Distretti industriali	(impermeabilità 72%)						0
Aree residenziali	(impermeabilità media 65%)	2,44	77	85	90	92	1.94
	(impermeabilità media 38%)						0
	(impermeabilità media 30%)						0
	(impermeabilità media 25%)						0
	(impermeabilità media 20%)						0
Parcheggi impermeabilizzati, tetti							0
Strade	pavimentate, cordoli e fognature						0
	inghiaiate o selciate, con buche						0
	in terra battuta						0
Tot.		**100**					**55,31**

Classe A: Scarsa potenzialità di deflusso (sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili). **Classe B**: Potenzialità di deflusso moderatamente bassa (suoli sabbiosi meno profondi di A, ma mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione). **Classe C**: Potenzialità di deflusso moderatamente alta (suoli sottili e contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidi, anche se meno che in D; ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione). **Classe D**: Potenzialità di deflusso molto alta (maggior parte delle argille con alte capacità di rigonfiamento; suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza delle superfici).

Cod	*Descrizione*	*Sup (Ha)*	*tot*	*%*
2123	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree irrigue	0,577	115,746	22,64
2113	Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica in aree non irrigue	3,604		
2121	Seminativi semplici in aree irrigue	6,038		
2111	Seminativi semplici in aree non irrigue	7,674		
2122	Vivai in aree irrigue	0,179		
243	Aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti	0,330		
223	Oliveti	97,344		
321	Aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota	7,583	7,583	1,48
331	Spiagge, dune e sabbie	0,051		
333	Aree con vegetazione rada	89,001	89,052	17,42
311	Boschi di latifoglie	91,707		
322	Cespuglieti ed arbusteti	131,228		
231	Superfici a copertura erbacea densa	6,942	229,877	44,96
1332	Suoli rimaneggiati ed artefatti	0,123		
3241	Aree a ricolonizzazione naturale	0,657		
332	Rocce nude, falesie, affioramenti	50,617	51,397	10,05
12	Insediamento produttivo, dei servizi generali pubblici e privati, delle reti e delle infrastrutture	1,845		
131	Aree estrattive	3,280	5,125	1,00
11	Insediamento residenziale	12,345		
1422	Aree sportive	0,159	12,504	2,44

Descrizione	*Permeabilità*	*Sup (Ha)*	*%*
A) Calcare massiccio, detrici, ecc. - Depositi sabbiosi a luoghi cementati - Sabbie litoranee e palustri e dune recenti	molta alta	430,796	84,26
B) Conoidi e detriti di pendio anche cementati, facies moreniche - Alluvioni ghiaiose, sabbiose, argillose attuali e recenti	alta	0,172	0,03
C) Coperture colluviali ed eluviali e terre residuali quando distinte	media	49,485	9,68
D) Flysch a componente dominante arenaceo o arenaceo-pelitica	bassa - molto bassa	30,835	6,03

Si fa notare inoltre che, quale valore di I_a, al posto della relazione suggerita dal Soil Conservation Service ($I_a = 0{,}2 \cdot S$), si è adottato un valore di 2 mm, come consigliato da diversi autori nelle applicazioni pratiche, al fine di non sottostimare eccessivamente il volume di piena.

Con tale assunzione a favore della sicurezza, si è reso necessario adottare il valore del CN_{II} al posto di quello del CN_{III}, per evitare, al contrario, l'eccessiva sovrastima delle portate di piena derivanti dal calcolo; ciò appare inoltre ragionevole, se si considera il carattere torrentizio del rio, con incrementi improvvisi di portata in concomitanza di periodi non necessariamente piovosi, in cui il terreno non è del tutto saturo.

È stata impiegata anche una determinazione alternativa del calcolo del coefficiente ϕ avendo a disposizione anche i dati dell'AWC[9] (Available Water Capacity), che di fatto esprimono direttamente il valore distribuito di S; in questo caso non è necessario ricavare S attraverso il calcolo del valore di CN. Anche in questo caso si è proceduto individuando dapprima le aree isoparametriche in funzione del valore dell'infiltrazione descritto nella Carta dell'AWC. Si ha:

Codice	AWC-Valore (mm)	Area (Ha)	%	AWC·A_b
A2	180	5,725	1,12	1030,500
aree urbane	0	6,189	1,21	0,000
C4	160	9,073	1,77	1451,680
D2	165	3,647	0,71	601,755
D4	210	4,490	0,88	942,900
F2	140	5,384	1,05	753,760
F4	15	4,344	0,85	65,160
F5	45	24,521	4,79	1103,445
M1b	10	184,505	36,08	1845,050
M1c	40	184,979	36,18	7399,160
M1d	40	18,665	3,65	746,600
M1e	60	6,389	1,25	383,340
M1f	165	0,002	0,00	0,330
M1g	35	25,938	5,07	907,830
M3a	170	26,364	5,16	4481,880
M3d	95	0,000	0,00	0,000
Q2	120	1,071	0,21	128,520
Totale		511,286		21841,91

Ricavando un valore medio da attribuire al parametro S attraverso una media pesata in funzione dell'area, pari a 42,72 mm[10].

Riassumendo, per l'applicazione del metodo SCS si utilizzano i seguenti valori di S:

	CN	***AWC***
S	55,31	42,72

[9] Provincia di Latina.

[10] In realtà tale applicazione andrebbe implementata, poiché considera tutto il volume dell'AWC utile. Il valore è attendibile ai fini di un confronto degli ordini di grandezza, ma per il calcolo esatto si dovrebbe risolvere il bilancio del suolo, problema che rappresenterebbe da solo un'altro approfondimento di lavoro.

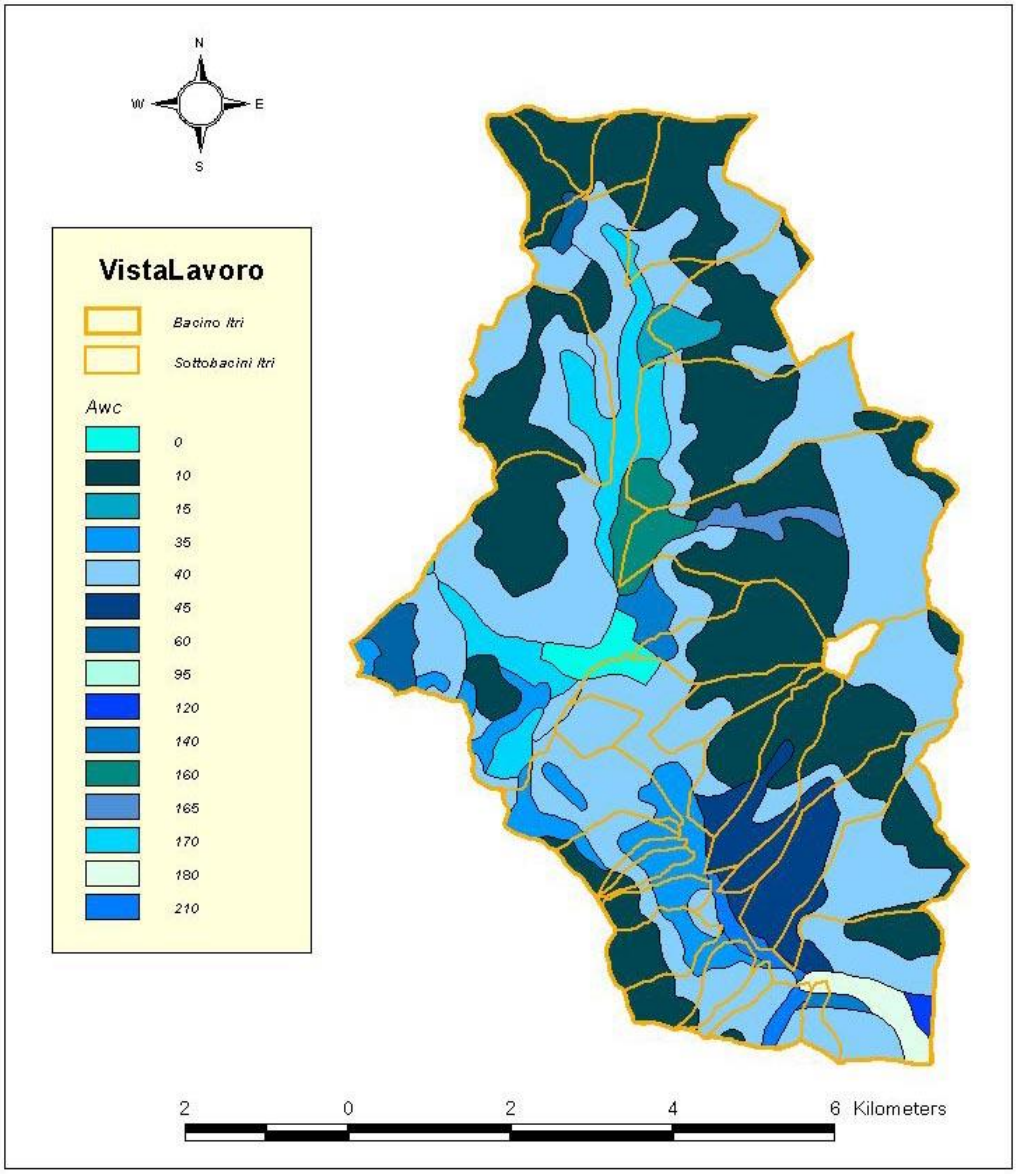


Fig. 10 – Carta dell'AWC relativa al bacino (e sottobacini) di Itri (nella legenda,i dati sono espressi in mm).

Per definire il valore di precipitazione h_{lorda}, sono stati utilizzati i dati dell'intensità di pioggia estrapolati dalla regionalizzazione in funzione del tempo di ritorno T; tali dati risultano comparabili, per tempi di ritorno dell'ordine dei 50 – 200 anni, ai valori degli eventi di massima intensità (nell'arco delle 24 h) acquisiti dagli annali pluviometrici e riportati nella seguente tabella.

Stazione	*h (mm)*	*Data evento*
Itri	149,20	15 nov '84
Gaeta (I.N.)	127,00	1 ott '84

Considerando che l'analisi effettuata va riferita all'evento di piena, i valori delle altezze di pioggia da utilizzare per l'analisi, sono stati ricavati dalle intensità di pioggia estrapolate per la regionalizzazione e considerate protrattesi per una durata pari al tempo di corrivazione del bacino (calcolato precedentemente con la relazione di Ventura). In questo caso si è ottenuto:

T (anni)	*i(T) (mm/h)*	*h(T) (mm)*
5	11,104	29,092
10	20,690	54,209
30	35,884	94,017
50	42,949	112,527
100	52,536	137,643
200	62,122	162,760
500	74,795	195,962

L'altro procedimento utilizzato, è il *metodo Kennessey*. Si tratta di una procedura di indagine volta a caratterizzare idrogeologicamente un bacino sulla base di dati fisiografici e climatici.

Secondo le indicazioni dell'autore[11] il valore del coefficiente di deflusso medio annuo ϕ in una determinata area è funzione di tre caratteristiche fisiografiche: l'acclività dei versanti, la permeabilità dei terreni affioranti, la copertura vegetale. Ognuno di questi parametri è descritto secondo classi qualitative, le quali a loro volta intervengono con un contributo numerico (identificato rispettivamente come CA, CP, CV e mostrato nelle prossime tabelle) a definire un coefficiente di deflusso ϕ risultante in un dato punto:

$$\phi = CA + CP + CV$$

La determinazione di ogni valore parziale viene attribuita mediante la costruzione di carte tematiche. L'autore propose tre differenti serie di valori la cui applicazione era subordinata a diversi regimi climatici, ma omise ogni riferimento ad una possibile discriminante pratica che ne regolasse la scelta. In mancanza di direttive specifiche, Tardi & Vittorini[12] ritengono che una buona indicazione provenga dall' indice di aridità medio annuo (Ia):

[11] KENNESSEY B. (1930) – *Lefoyasi téniezok és retenciok*. Vizugy, Koziemènyek.
[12] TARDI A. & VITTORIANI S. (1977) – *Il calcolo del coefficiente di deflusso su basi fisiografiche*. Boll. Soc. Ing., **4**: 5-14, Firenze.

$$Ia = \frac{\left[\frac{P}{(T+10)} + 12 \cdot \frac{p}{t}\right]}{2}$$

ove:

P = precipitazione media annua in mm

T = temperatura media annua

p, t = precipitazione e temperatura del mese più arido

Il dato derivante dall'applicazione del metodo Kennessey è, nelle intenzioni dell'ideatore, un coefficiente di deflusso vero e proprio, analogo al rapporto diretto fra uscite misurate in una sezione nota e afflussi in un'area. Alcuni studiosi[13] pongono l'accento sul fatto che il ϕ così trovato deve essere meglio definito col termine *coefficiente di ruscellamento*. Infatti il ϕ diviene una misura puntuale, e come tale considera perduta ai fini del calcolo l'acqua che si infiltra in modo localizzato ma che poi riemerge prima della chiusura del bacino, ad esempio tramite sorgenti, rientrando perciò sia nei circuiti di superficie, sia nella misura del coefficiente di deflusso reale. Ne consegue che il ϕ può essere considerato come una buona stima del ruscellamento superficiale.

Permeabilità	***Ia < 25***	***25 < Ia < 40***	***Ia > 40***
1 – Molto scarsa	0,21	0,26	0,30
2 – Scarsa	0,16	0,21	0,25
3 – Mediocre	0,12	0,16	0,20
4 – Buona	0,06	0,08	0,10
5 - Elevata	0,03	0,04	0,05
Acclività	***Ia < 25***	***25 < Ia < 40***	***Ia > 40***
1 - > 35%	0,22	0,26	0,30
2 – 10%÷35%	0,12	0,16	0,20
3 – 3,5%÷10%	0,01	0,03	0,05
4 - < 3,5%	0,00	0,01	0,03
Copertura vegetale	***Ia < 25***	***25 < Ia < 40***	***Ia > 40***
1 – Roccia nuda	0,26	0,28	0,30
2 – Pascoli	0,17	0,21	0,25
3 – Colture, arbusti	0,07	0,11	0,15
4 – Bosco d'alto fusto	0,03	0,04	0,05

[13] COLOMBETTI A. & MATTIOLI M. (1991) – *Calcolo del deflusso in un bacino idrografico con metodo indiretto. Un esempio nel bacino del fiume Panaro*. Riun. Giov. Ric. Geol. App. Milano (non pubb.)

Per quanto riguarda la carta della copertura vegetale e la carta dell'acclività, si rimanda alla tabella precedente, ove sono mostrate le suddivisioni operate. La carta della permeabilità è stata costruita secondo i seguenti criteri.

Le diverse formazioni presenti nella zona sono state divise in cinque classi di permeabilità che comprendono sia rocce di tipo litoide sia terreni incoerenti:

1. *Rocce a permeabilità molto scarsa*: calcescisti, micascisti, anfiboliti, serpentiniti.
2. *Rocce a permeabilità scarsa*: gneiss, granitoidi, quarziti, micascisti quarzitici.
3. *Rocce a permeabilità mediocre*: marmi, calcefiri, calcari dolomitici e dolomìe.
4. *Rocce a permeabilità buona*: accumuli morenici, coltri eluvio colluviali con potenza superiore ai 50 cm.
5. *Rocce a permeabilità elevata*: alluvioni di fondovalle, conoidi di deiezione, accumuli dovuti a fenomeni-gravitativi.

Infine, tramite la Carta uso del suolo si è potuto suddividere il bacino in altre quattro classi, per definire la copertura del suolo:

1. *Roccia nuda*: roccia nuda.
2. *Pascoli*: aree a pascolo naturale e praterie d'alta quota.
3. *Colture, arbusti*: Colture orticole in pieno campo, in serra e sotto plastica, seminativi semplici, vivai, aree prevalentemente occupate da coltura agraria con presenza di spazi naturali importanti, ecc.
4. *Bosco d'alto fusto*: boschi di latifoglie, cespuglietti ed arbusteti, superfici a copertura erbacea densa.

Ovviamente, i vari indici sono stati pesati in funzione dell'area sottesa da ciascuna area isoparametrica all'interno del bacino (ed in seguito, dei sottobacini). I dati relativi alle temperature estrapolati sono relativi alle serie storiche che vanno dal 1988 al 1996 per Itri e dal 1974 al 1996 per Gaeta (Ist. Nautico); non è stato inoltre necessario ricavare la temperatura del mese più arido per determinare Ia[14], poiché si sono verificati mesi (giugno 1974, luglio 1978 – 1980 – 1984, agosto 1993 per Itri; marzo 1994, maggio 1979 -1986, giugno 1971 -1974 -1987, luglio 1974 – 1975 – 1980 – 1984 – 1985 – 1987 – 1988, agosto 1971 – 1986 – 1987 – 1993 – 1994, settembre 1987 per Gaeta) in cui non si

[14] Da non confondere con il coefficiente I_a del metodo SCS.

sono avute precipitazioni nei mesi più aridi, per cui tutto il termine 12 p/t si azzera. In definitiva, si è ottenuto:

Den.	***P media annua (mm)***	***T media annua (°C)***	***Ia***
Itri	1065,00	15,71	20,71
Gaeta (I.N.)	773,00	17,32	14,15
Bacino	**1018,16**	**15,97**	**19,60**

Per quanto riguarda i coefficienti parziali, ad eccezione di CA (per il quale è stata effettuata direttamente la media sul bacino), i valori sono stati ricavati con media pesata sulle aree isoparametriche sottese dal bacino stesso (così come era stato fatto precedentemente anche per il calcolo del CN).

				CN				***AWC***		
T (anni)	*i(T) (mm/h)*	*h(T) (mm)*	I_a *(mm)*	CN_{II}	*S (mm)*	h_{eff} *(mm)*	ϕ	*S (mm)*	h_{eff} *(mm)*	ϕ
5	11,104	29,092				3,04	**0,107**		10,51	**0,361**
10	20,690	54,209				10,23	**0,192**		28,71	**0,530**
30	35,884	94,017				27,53	**0,299**		62,84	**0,668**
50	42,949	112,527	2	55,31	205,23	37,44	**0,339**	42,72	79,72	**0,708**
100	52,536	137,643				52,32	**0,387**		103,16	**0,749**
200	62,122	162,760				68,52	**0,429**		127,01	**0,780**
500	74,795	195,962				91,45	**0,476**		158,95	**0,811**

Riassumendo, il coefficiente di deflusso è stato valutato con due metodi: SCS e Kennessey. Nel primo si sono valutate condizioni differenti in funzione della stima del parametro S. I risultati ottenuti sono riportati nella tabella precedente:

I valori calcolati con il metodo SCS nelle due condizioni più significative (CN e AWC, entrambe con I_a = 2 mm) sono sensibilmente diversi; la serie relativa al CN infatti, è cautelativa rispetto a quella relativa all'AWC e ciò tiene conto del fatto che, nel secondo caso, non è stata effettuata la depurazione del volume utile.

Il confronto con i valori calcolati con Kennessey evidenzia un'ulteriore variabilità dovuta al fatto che questo metodo, affidabile per procedure dell'ordine dei bilanci idrici, sottostima l'evento di piena, come si evince dalla seguente tabella e come verrà specificato in seguito.

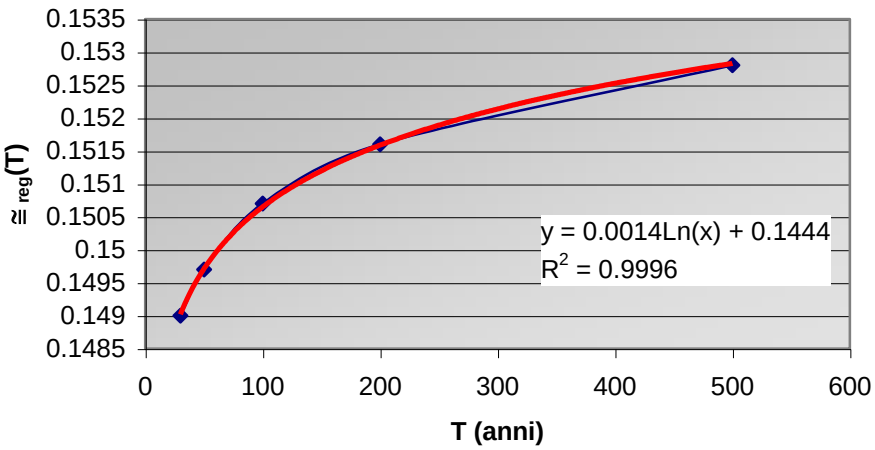
Kennessey			
CA	*CP*	*CV*	ϕ
0,120	0,047	0,079	**0,246**

Si evidenzia che i valori di ϕ in questione sono stati calcolati partendo dalle altezze di pioggia relative alla serie storica osservata e considerando che essa copre (in modo continuo, per le due stazioni) un arco di tempo che va dal '74 al '97 (15 anni).

Di seguito si riporta il raffronto con i dati relativi alla regionalizzazione dell'ABR. Anche in questo caso si avevano coefficienti ϕ regionalizzati, relativi a tempi di ritorno non inferiori ai 30 anni; il procedimento di calcolo per l'estrapolazione dei valori relativi a T inferiori è identico a quello utilizzato precedentemente per il calcolo di a(T) e presenta, anche in questo caso, un'ottima risposta in termini di affidabilità della regressione (R^2 = 0,9996). I valori relativi a T = 5, 10 anni sono rispettivamente Φ_{reg} = 0,147 e 0,148.

Si sottolinea che i valori ricavati dai dati regionalizzati sono tutt'altro che cautelativi rispetto a quelli calcolati con i metodi precedenti: essi risultano molto bassi e di conseguenza poco indicativi per lo studio dell'evento di piena, che tenderebbe ad essere sottostimato eccessivamente.

Si rammenta, a tal proposito, che tali dati regionalizzati, provengono dall'elaborazione dei parametri estesi da altri bacini rappresentativi (Amaseno, ecc.) e non direttamente da quello in oggetto.

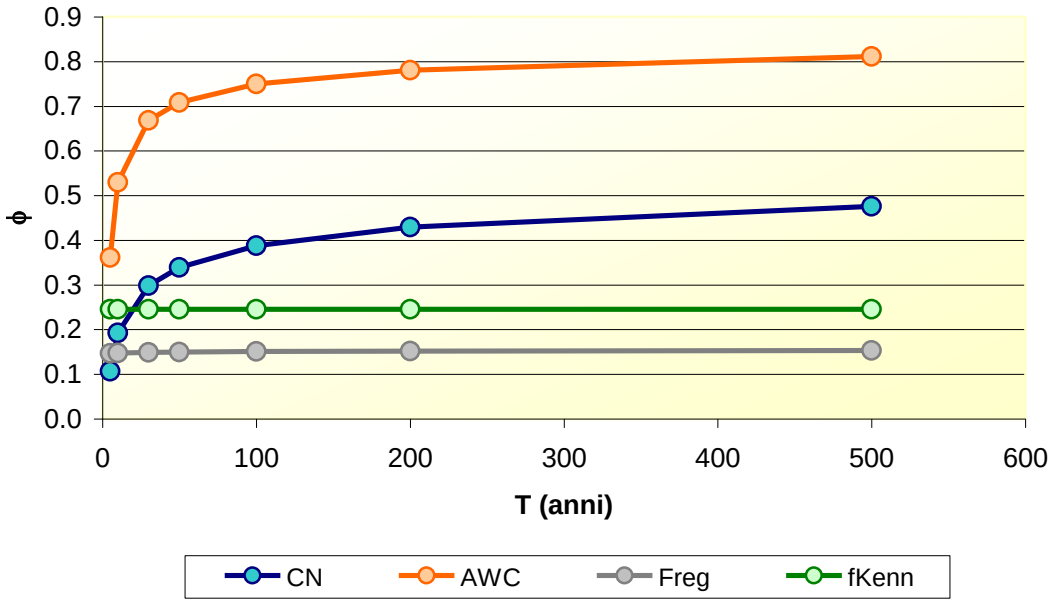


Dai risultati esposti, sembra chiaro poter affermare che tra i valori del coefficiente di deflusso calcolati, quello con il metodo di Kennessey è il più basso; ciò conferma il significato che tale termine rappresenta in questo caso. Può esistere infatti un'infiltrazione di tipo ipodermico dovuta allo scorrimento subsuperficiale che, come già accennato, rientra nei circuiti superficiali tramite sorgenti prima della chiusura[15]. Il ϕ così calcolato

[15] BAUDUCCO F., DE LUCA D.A., DEMATTEIS A. & MA SCIOCCO L. (1994) – *La valutazione delle potenzialità idriche di un bacino alpino: l'esempio della Valle Varaita*. Geologica romana, **30**: 601-606, Roma.

considera perduta tale aliquota di acqua infiltrata, portando a sottostimare l'effettivo ruscellamento e, di conseguenza, l'evento di piena.

In questa sede, il metodo che meglio sembra descrivere il comportamento del bacino, contestualmente all'analisi dell'evento di piena, appare essere l'SCS nel caso del calcolo del Curve Number.



Comunque, ciò che emerge da tali risultati, è che seppure siano validi e consolidati tutti i procedimenti qui trattati, ognuno di essi definisce tuttavia una risposta diversa del bacino in termini di deflusso superficiale. Ciò perché ognuno di essi enfatizza dei parametri rispetto ad altri, facendogli assumere un "peso" che si ripercuote in modo cruciale sul valore finale del coefficiente. La taratura dei modelli acquista quindi un significato particolare: solo la risposta delle misure idrologiche, possibili con le stazioni installate recentemente, permetterà conoscere il reale comportamento del bacino durante un evento.

Portate di piena

L'ultimo parametro necessario per l'applicazione del metodo cinematico razionale è rappresentato dal coefficiente di ragguaglio dell'area; si è fatto riferimento alla elaborazione dell'U.S. Weather Bureau (1958), rappresentata graficamente nei principali

manuali di idrologia[16] ed interpolata da Eagleson (1972) con la relazione seguente, in cui il tempo t è posto pari al tempo di correlazione τ_c calcolato precedentemente.

$$r(A_b, \tau_c) = 1 - e^{-1{,}1 \cdot t^{0{,}25}} + e^{-1{,}1 \cdot t^{0{,}25} - 0{,}00386 A_b}$$

Con i dati a disposizione relativi al bacino in esame si ottiene un valore di r di 0,956. Riassumendo, per la valutazione delle portate di piena, sono stati scelti i seguenti valori dei parametri:

A_b 51,13 km^2

τ_c = 2,62 h (*Calenda*)

$r(A_b, \tau_c)_c$ = 0,956 (*Eagleson*)

$i(\tau_c, T)$ = (dai dati della regionalizzazione)

$\phi(\tau_c, T)$ = (calcolati con il metodo SCS - CN)

Applicando quindi il metodo razionale con i valori così trovati, per le intensità di pioggia di durata τ_c con tempi di ritorno T assegnati, si ottengono le portate di piena attese:

T (anni)	*$i(\tau_c, T)$ (m/h)*	*$\phi(\tau_c, T)$*	***Q(T) (m³/s)***
5	0,0115	0,107	**16,64**
10	0,0214	0,192	**55,93**
30	0,0371	0,299	**150,45**
50	0,0444	0,339	**204,62**
100	0,0544	0,387	**285,90**
200	0,0643	0,429	**374,45**
500	0,0774	0,476	**499,77**

È interessante confrontare questi risultati con i valori provenienti dall'applicazione di alcuni procedimenti analitici[17] che permettono di calcolare la portata di piena del bacino empiricamente, a partire dalle caratteristiche geomorfologiche dello stesso (in m^3/s):

$$Q = A_b \cdot \left(1 + \frac{600}{A_b + 10}\right), \ \textbf{per } A_b < 1000 km^2 \qquad \textit{(Scimemi)}$$

[16] Chow (1964), Chow et Alii (1988).

[17] DA DEPPO L., DATEI C. & SALADIN P. (2004) – *Sistemazione dei corsi d'acqua*. Libreria Internazionale Cortina, Padova.

$$Q = A_b \cdot q_{100}\left(\frac{A_b}{100}\right)^{-2/3}$$ *(Gherardelli – Marchetti)*

con:

q_{100} dai dati regionalizzati per T = 100 anni ($m^3/s/km^2$)

I risultati sono riportati di seguito:

	Scimemi	*Gher-March*[18]
Q (m^3/s)	553,0	166,0

Dalla tabella si evince che il metodo di Scimemi riflette i valori di portate, così come calcolate con il metodo razionale, per tempi di ritorno dell'ordine dei 500 anni, mentre il metodo di Gherardelli – Marchetti sottostima il valore attestandosi su tempi di ritorno dell'ordine dei 30 anni.

Applicazione del metodo distribuito per la modellizzazione idraulica

Il metodo utilizzato per la modellizzazione afflussi-deflussi precedentemente illustrato, è stato applicato imponendo le equazioni alla sola sezione di chiusura rappresentata dalla foce del Rio d'Itri. In questo paragrafo, come già anticipato, viene estesa l'elaborazione a tutta l'asta, essendo stati considerati gli apporti di ogni singolo sottobacino.

Il calcolo è infatti stato effettuato ad ogni nodo individuato dalla confluenza con i vari affluenti. Questo procedimento ha permesso di tracciare un andamento distribuito della portata alle varie sezioni di chiusura critica su tutta l'asta principale, discriminando gli apporti dei singoli sottobacini e quindi il loro "peso" sull'idrologia di tutto il sistema.

Per il procedimento adottato sono stati utilizzati i risultati relativi all'intero bacino, rapportati secondo un coefficiente di proporzionalità legato all'estensione dell'area idrografica a scala del singolo sottobacino, che viene così caratterizzato dal suo parametro

[18] Dai dati della regionalizzazione dell'ABR risulta q_{100} = Q(T=100 anni) / A_b = 2,076 $m^3/s/km^2$.

i-esimo; ovviamente, i parametri rappresentativi di tutto il bacino si ritrovano come somma o media pesata di tutti i parametri i-esimi[19].

$$Q_i(T) = Q(T) \cdot \left(\frac{A_i}{A_b} \right)$$

I due particolari sottobacini, che di fatto non dovrebbero essere considerati propriamente tali poiché costituiscono tutta l'area scolante direttamente nell'asta principale del Rio (a monte e a valle del tombinamento del centro urbano di Itri), sono stati trattati in maniera diversa rispetto agli altri.

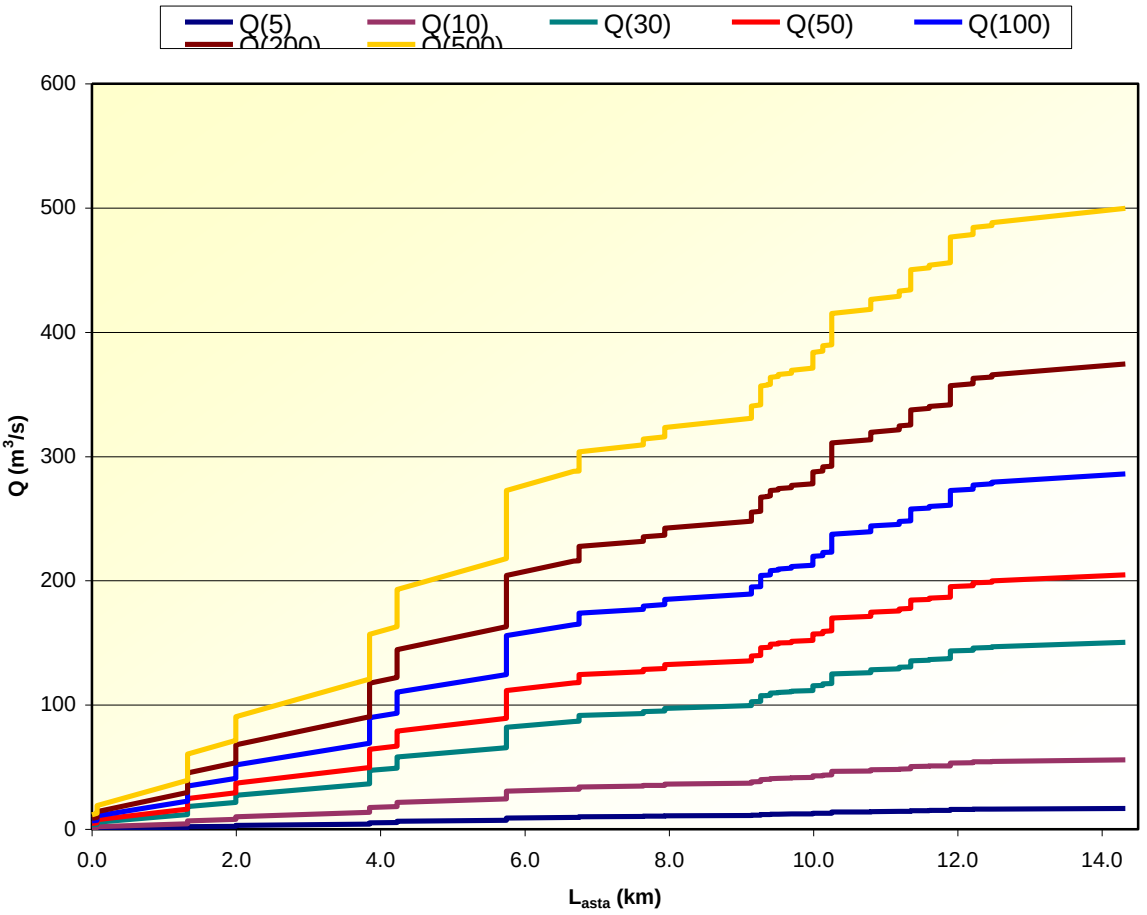
Mentre infatti, tutti gli affluenti (relativi ai vari sottobacini) afferenti all'asta principale individuano delle immissioni puntuali, localizzate nelle sezioni di chiusura (punti di confluenza degli affluenti stessi con l'asta principale), i due particolari sottobacini in questione, differentemente, caratterizzano degli apporti distribuiti lungo tutta l'asta. Per questo, mentre ad ogni sottobacino generico è stata associata una portata Q_i immessa nella sezione i-esima, per i due suddetti è stata considerata una portata "lineare" Q_i/l_i, dove con l_i si rappresenta la lunghezza del tratto di asta principale sotteso dal sottobacino i-esimo.

Dai calcoli effettuati sono state ricavate le seguenti portate di piena (per i singoli parametri si rimanda alle opportune tabelle in allegato) in funzione della lunghezza dell'asta e del tempo di ritorno, da monte (in particolare, dalla confluenza dei primi due rami) verso valle (fino alla foce, al km 14,3); nella seguente tabella è stato inoltre indicato il numero identificativo del bacino a cui è associata la portata immessa.

L (km)	Bacino afferente	Q_5 (m^3/s)	Q_{10} (m^3/s)	Q_{30} (m^3/s)	Q_{50} (m^3/s)	Q_{100} (m^3/s)	Q_{200} (m^3/s)	Q_{500} (m^3/s)
0,00	26-27	0,38	1,29	3,48	4,73	6,61	8,66	11,56
0,07	28	0,42	1,43	3,83	5,22	7,29	9,54	12,74
0,07	25	0,63	2,12	5,70	7,75	10,82	14,17	18,92
1,32	28	1,31	4,41	11,87	16,14	22,56	29,54	39,43
1,32	24	2,02	6,78	18,23	24,79	34,63	45,36	60,54
1,99	28	2,38	8,00	21,52	29,27	40,90	53,57	71,50
1,99	23	3,01	10,13	27,26	37,07	51,79	67,84	90,54
3,85	28	4,03	13,53	36,40	49,51	69,18	90,60	120,93

[19] I parametri globali rappresentativi di tutto il bacino ottenuti con sommatoria, risultano identici a quelli calcolati precedentemente nel modello non distribuito; quelli ottenuti con media pesata invece, affinano tali valori.

3,85	29	5,22	17,56	47,24	64,25	89,77	117,57	156,92
4,23	28	5,43	18,26	49,12	66,80	93,34	122,25	163,16
4,23	21	6,42	21,59	58,08	78,99	110,37	144,55	192,93
5,74	28	7,25	24,37	65,55	89,14	124,55	163,14	217,73
5,74	22	9,08	30,51	82,08	111,63	155,98	204,29	272,66
6,68	28	9,58	32,22	86,68	117,88	164,71	215,73	287,93
6,75	10	9,60	32,28	86,82	118,08	164,98	216,09	288,40
6,75	19	10,11	34,00	91,46	124,40	173,81	227,64	303,83
7,64	10	10,30	34,63	93,14	126,68	177,00	231,82	309,41
7,64	12	10,45	35,14	94,52	128,55	179,61	235,25	313,98
7,94	10	10,51	35,35	95,08	129,32	180,69	236,65	315,85
7,94	13	10,76	36,17	97,30	132,34	184,91	242,18	323,23
9,14	10	11,01	37,01	99,57	135,42	189,21	247,82	330,76
9,14	14	11,34	38,12	102,54	139,46	194,85	255,21	340,62
9,27	10	11,36	38,21	102,78	139,78	195,31	255,81	341,41
9,27	11	11,88	39,93	107,41	146,08	204,11	267,33	356,79
9,36	10	11,90	40,00	107,59	146,32	204,45	267,78	357,39
9,36	20	11,90	40,02	107,66	146,42	204,59	267,96	357,63
9,40	10	11,91	40,05	107,73	146,52	204,73	268,14	357,87
9,40	9	12,11	40,71	109,51	148,94	208,10	272,56	363,78
9,51	10	12,13	40,79	109,72	149,23	208,50	273,09	364,48
9,51	8	12,18	40,95	110,16	149,83	209,34	274,18	365,94
9,70	10	12,22	41,08	110,51	150,30	210,00	275,04	367,09
9,70	7	12,29	41,33	111,18	151,22	211,28	276,72	369,33
9,99	10	12,36	41,54	111,74	151,97	212,34	278,11	371,19
9,99	15	12,77	42,95	115,53	157,13	219,54	287,55	383,78
10,13	10	12,80	43,04	115,79	157,48	220,03	288,19	384,63
10,13	6	12,95	43,55	117,14	159,32	222,61	291,56	389,13
10,26	10	12,98	43,64	117,38	159,65	223,06	292,15	389,92
10,26	16	13,82	46,45	124,95	169,93	237,44	310,98	415,05
10,79	10	13,93	46,83	125,96	171,32	239,37	313,51	418,43
10,79	5	14,19	47,72	128,37	174,59	243,94	319,50	426,42
11,19	10	14,28	48,00	129,11	175,60	245,36	321,35	428,90
11,19	4	14,42	48,46	130,37	177,30	247,73	324,47	433,05
11,35	10	14,45	48,58	130,67	177,71	248,31	325,22	434,06
11,35	17	14,99	50,39	135,56	184,36	257,60	337,38	450,29
11,61	10	15,04	50,57	136,04	185,02	258,52	338,59	451,90
11,61	3	15,11	50,81	136,68	185,90	259,74	340,19	454,04
11,90	10	15,17	51,02	137,23	186,64	260,78	341,56	455,86
11,90	18	15,86	53,33	143,46	195,11	272,62	357,06	476,55
12,21	10	15,93	53,55	144,05	195,92	273,75	358,54	478,52
12,21	2	16,12	54,19	145,76	198,24	276,99	362,78	484,19
12,48	10	16,17	54,37	146,26	198,91	277,93	364,02	485,84
12,48	1	16,25	54,63	146,97	199,88	279,28	365,78	488,20
14,32	**10**	**16,64**	**55,93**	**150,45**	**204,62**	**285,90**	**374,45**	**499,77**


Q(5)
Q(10)
Q(30)
Q(50)
Q(100)
Q(200)
Q(500)
600
500
400
300
200
100
0
Q (m3/s)
0.0
2.0
4.0
6.0
8.0
10.0
12.0
14.0
Lasta (km)

Criticità idrauliche

L'analisi distribuita delle portate di piena per i vari tempi di ritorno, lungo l'asta del Rio d'Itri, permette di valutare puntualmente la criticità dei singoli tratti dal punto di vista idraulico e verificare (ed eventualmente dimensionare) i manufatti che insistono su di essi.

Area [km²]	**Q(5) [m³/s]**	**Q(10) [m³/s]**	**Q(30) [m³/s]**	**Q(50) [m³/s]**	**Q(100) [m³/s]**	**Q(200) [m³/s]**	**Q(500) [m³/s]**	**l [m]**	**Id-bacino**
0,025	0,01	0,03	0,07	0,10	0,14	0,18	0,24	9.363	20
0,150	0,05	0,16	0,44	0,60	0,84	1,10	1,47	9.513	8
0,218	0,07	0,24	0,64	0,87	1,22	1,60	2,13	11.606	3
0,230	0,07	0,25	0,68	0,92	1,28	1,68	2,24	9.696	7
0,242	0,08	0,26	0,71	0,97	1,35	1,77	2,36	12.475	1
0,425	0,14	0,46	1,25	1,70	2,38	3,11	4,16	11.189	4
0,460	0,15	0,50	1,35	1,84	2,57	3,37	4,50	10.128	6
0,468	0,15	0,51	1,38	1,87	2,62	3,43	4,57	7.641	12
0,526	0,17	0,58	1,55	2,10	2,94	3,85	5,14	0	26
0,580	0,19	0,63	1,71	2,32	3,24	4,24	5,66	12.212	2
0,604	0,20	0,66	1,78	2,42	3,38	4,42	5,91	9.402	9
0,632	0,21	0,69	1,86	2,53	3,54	4,63	6,18	72	25
0,657	0,21	0,72	1,93	2,63	3,67	4,81	6,42	0	27
0,755	0,25	0,83	2,22	3,02	4,22	5,53	7,38	7.940	13
0,818	0,27	0,89	2,41	3,27	4,57	5,99	7,99	10.793	5
1,009	0,33	1,10	2,97	4,04	5,64	7,39	9,86	9.141	14
1,288	0,42	1,41	3,79	5,15	7,20	9,43	12,59	9.992	15
1,574	0,51	1,72	4,63	6,30	8,80	11,52	15,38	9.268	11
1,578	0,51	1,73	4,64	6,32	8,82	11,56	15,43	6.751	19
1,661	0,54	1,82	4,89	6,65	9,29	12,17	16,24	11.349	17
1,948	0,63	2,13	5,73	7,79	10,89	14,26	19,04	1.993	23
2,117	0,69	2,32	6,23	8,47	11,84	15,50	20,69	11.897	18
2,160	0,70	2,36	6,36	8,64	12,08	15,82	21,11	1.324	24
2,571	0,84	2,81	7,56	10,29	14,38	18,83	25,13	10.255	16
3,046	0,99	3,33	8,96	12,19	17,03	22,30	29,77	4.229	21
3,682	1,20	4,03	10,84	14,74	20,59	26,97	35,99	3.848	29
4,903	**1,60**	**5,36**	**14,43**	**19,62**	**27,41**	**35,91**	**47,92**	**7.646**	**10**
5,620	1,83	6,15	16,54	22,49	31,42	41,16	54,93	5.743	22
11,188	**3,64**	**12,24**	**32,92**	**44,77**	**62,55**	**81,93**	**109,35**	**6.675**	**28**

È necessario rimarcare che i valori di portata in questione conservano una certa incertezza dovuta alla mancanza di dati pluviometrici adeguati, dando una stima di massima dell'entità degli eventi; tuttavia essi hanno la prerogativa di dettare l'ordine di grandezza degli eventi stessi e, cosa ancor più importante, l'incidenza dei "pesi" puntuali in rapporto alla globalità del sistema. Con questo tipo di approccio, sono state considerate a

rischio due classi di tratti rappresentativi del Rio: le immissioni di affluenti particolarmente importanti e le sezioni in cui lo stato dell'asta principale subisce cambiamenti sostanziali (di geometria, assetto, ecc.).

Per quanto riguarda la prima classe, le analisi effettuate nel paragrafo precedente permettono di definire una classificazione della criticità idrauliche delle sezioni di sbocco in base all'afflusso idrico di piena stimato.

Nella tabella precedente sono riportate le portate (per i rispettivi tempi di ritorno), ordinate in modo crescente secondo la Q(5), relative ad ogni sottobacino; evidenziati tra le ultime tre righe, si trovano i due particolari sottobacini che rappresentano le aree scolanti direttamente nel Rio d'Itri. Proprio riguardo queste ultime due voci, si evidenzia come tali sottobacini (in particolare il 10, che ricade nell'area di interesse del presente studio) siano tra quelli con il maggior carico idrico rispetto a tutti gli altri: ciò non può che ribadire l'importanza di affrontare uno studio diretto dell'asta principale.

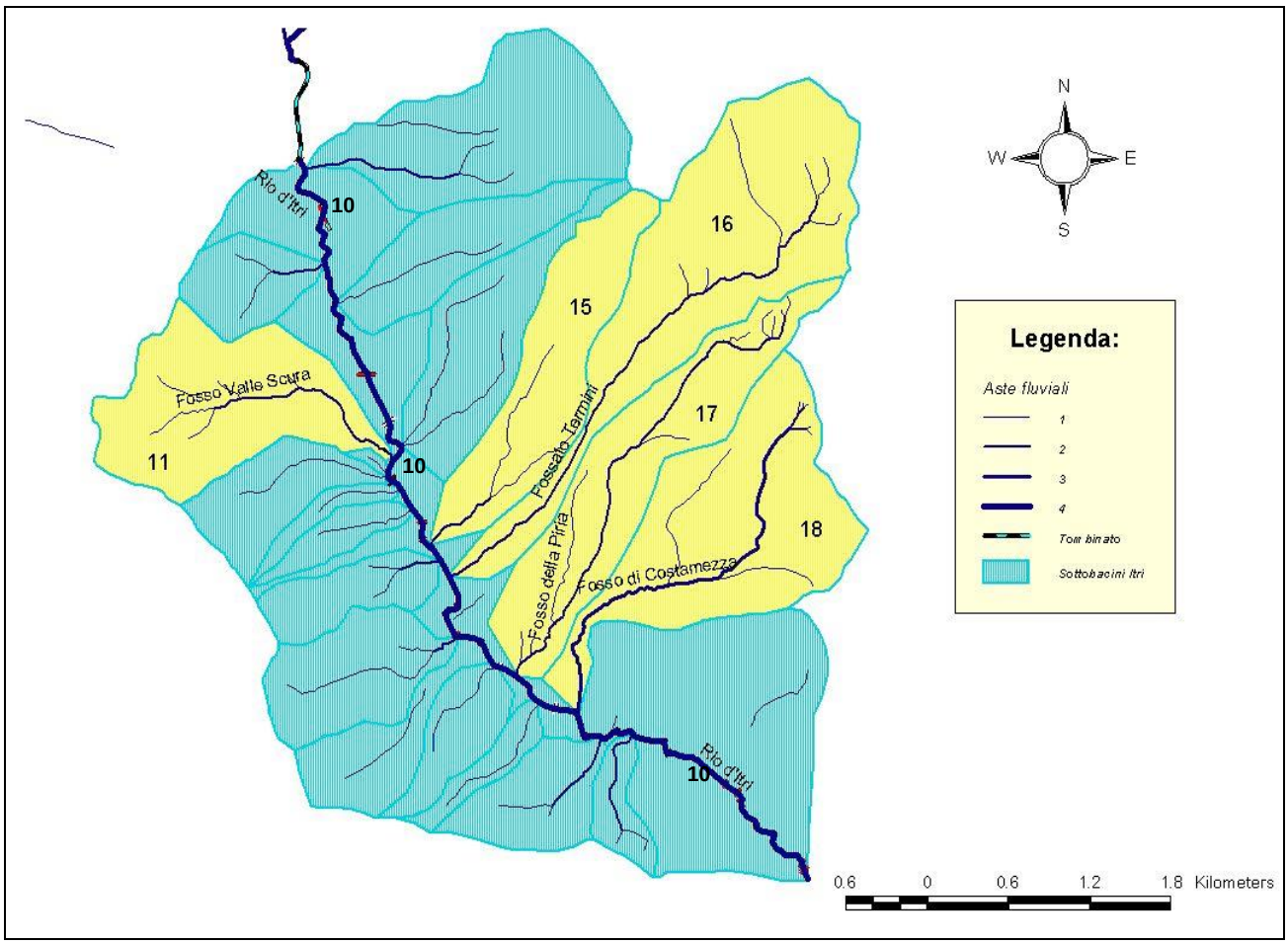


Fig. 10 – Area di studio: in giallo sono evidenziati i sottobacini con l'apporto idrico maggiore.

Per quanto riguarda gli altri sottobacini all'interno dell'area di studio, particolarmente rilevanti risultano gli apporti (Q(100) all'incirca dai 7 ai 14 m^3/s) dei n°11, 15, 16, 17 e 18. La notevole incidenza di questi sottobacini sul carico idrico totale, suggerisce che tali aree, di fatto, andrebbero esaminate, in un secondo tempo, singolarmente con lo stesso approccio utilizzato per il bacino intero.

Anche se di minor importanza infatti, per il carattere torrentizio che li denota e le portate comunque notevoli, tali affluenti possono presentare le stesse criticità dell'asta principale. Non è raro inoltre ritrovare, in corrispondenza dell'immissione nel Rio, depositi consistenti di materiale solido trasportato, o al contrario, zone di evidente erosione.

Individuazione dei tratti a rischio

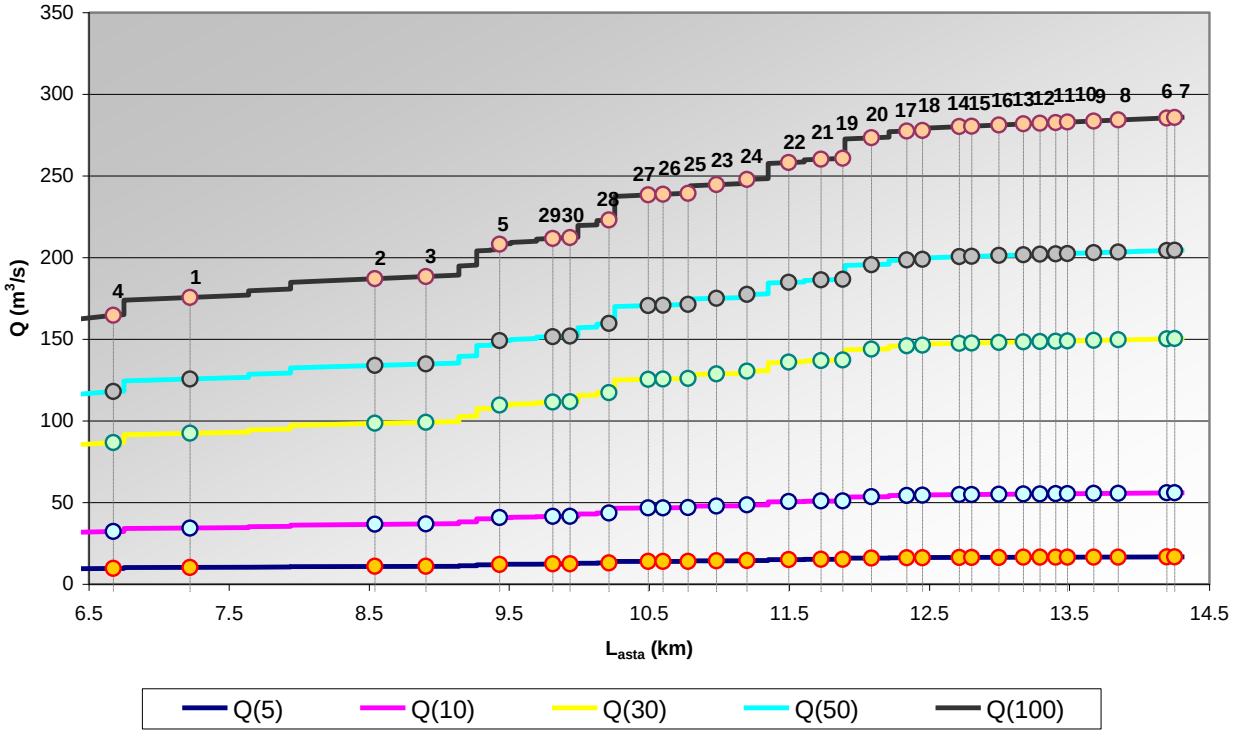
Il secondo tipo di classe a rischio merita un paragrafo a parte per la specificità della problematica ed è rappresentato dalle sezioni in cui lo stato dell'asta principale subisce cambiamenti sostanziali (di geometria, assetto, ecc.).

Tali sezioni sono state individuate con sopralluoghi in situ effettuati in più fasi di questo studio (e già definite in quello preliminare). Le tipologie riscontrate possono essere riassunte in tre categorie principali: meandri e golene, restringimenti e generiche (fig. 11).

Nella seguente tabella sono riportate, da monte verso foce, tutte le sezioni critiche nell'area di studio, con relativo codice identificativo; grazie al metodo distribuito afflussi-deflussi si è potuto inoltre attribuire ad ogni sezione critica, nota la sua posizione lungo l'asta principale, la relativa portata di piena (per assegnato tempo di ritorno).

Ciò è risultato fondamentale in questa fase, per dare una prima stima di massima dell'efficienza del tratto analizzato in relazione alla portata che lo interessa, relazione che, di fatto, rappresenta la criticità del tratto stesso.

Id	Note	Tipo	Distanza (km)	Q_5 [m^3/s]	Q_{10} [m^3/s]	Q_{30} [m^3/s]	Q_{50} [m^3/s]	Q_{100} [m^3/s]	Q_{200} [m^3/s]	Q_{500} [m^3/s]
4	uscita tombinamento Itri	Generico	6,675	9,6	32,2	86,7	117,9	164,7	215,7	287,9
1	ss 7	Restringimento	7,223	10,2	34,3	92,4	125,6	175,5	229,9	306,8
2	imbocco ferrovia	Restringimento	8,541	10,9	36,6	98,4	133,9	187,1	245,0	327,0
3	sbocco da ferrovia	Generico	8,907	11,0	36,9	99,1	134,8	188,4	246,7	329,3
5		Meandro o golena	9,433	12,1	40,7	109,6	149,0	208,2	272,7	364,0
29	attraversamento strada	Restringimento	9,813	12,3	41,4	111,4	151,5	211,7	277,3	370,1
30	meandro	Meandro o golena	9,934	12,3	41,5	111,6	151,8	212,1	277,8	370,8
28	attraversamento strada	Restringimento	10,214	13,0	43,6	117,3	159,5	222,9	292,0	389,7
27	meandro	Meandro o golena	10,494	13,9	46,6	125,4	170,5	238,3	312,1	416,6
26	meandro	Meandro o golena	10,600	13,9	46,7	125,6	170,8	238,7	312,6	417,2
25	ponte briglia	Restringimento	10,779	13,9	46,8	125,9	171,3	239,3	313,4	418,3
23	curva	Meandro o golena	10,981	14,2	47,9	128,7	175,1	244,6	320,4	427,6
24		Generico	11,199	14,4	48,5	130,4	177,3	247,8	324,5	433,1
22		Generico	11,497	15,0	50,5	135,8	184,7	258,1	338,1	451,2
21		Generico	11,727	15,1	50,9	136,9	186,2	260,2	340,8	454,8
19	strada	Restringimento	11,883	15,2	51,0	137,2	186,6	260,7	341,5	455,8
20	meandro	Meandro o golena	12,088	15,9	53,5	143,8	195,6	273,3	358,0	477,7
17		Meandro o golena	12,340	16,1	54,3	146,0	198,6	277,4	363,4	485,0
18		Meandro o golena	12,452	16,2	54,4	146,2	198,9	277,8	363,9	485,7
14		Meandro o golena	12,714	16,3	54,8	147,4	200,5	280,1	366,9	489,7
15		Meandro o golena	12,803	16,3	54,9	147,6	200,7	280,5	367,3	490,3
16		Generico	12,998	16,4	55,0	148,0	201,2	281,2	368,2	491,5
13		Generico	13,171	16,4	55,1	148,3	201,7	281,8	369,1	492,6
12	attraversamento	Restringimento	13,290	16,4	55,2	148,5	202,0	282,2	369,6	493,3
11	attraversamento	Restringimento	13,403	16,4	55,3	148,7	202,3	282,6	370,1	494,0
10	attraversamento strada	Restringimento	13,486	16,5	55,3	148,9	202,5	282,9	370,5	494,5
9	attraversamento strada	Restringimento	13,674	16,5	55,5	149,2	203,0	283,6	371,4	495,7
8		Meandro o golena	13,849	16,5	55,6	149,6	203,4	284,2	372,2	496,8
6	ss 213	Restringimento	14,196	16,6	55,8	150,2	204,3	285,4	373,9	499,0
7	attraversamento litoranea	Restringimento	14,252	16,6	55,9	150,3	204,4	285,6	374,1	499,3



I valori della portata in tabella sono stati rappresentati nel grafico precedente, in relazione alle curve che riproducono le portate di piena lungo tutta l'asta principale; è riportato l'id di ogni tratto critico e l'analisi viene effettuata nell'area di stretto interesse (dall'uscita del tombinamento dell'abitato di Itri a valle).

I tempi di ritorno considerati, in questo primo tipo di analisi, non superano i 100 anni; ciò perché, per ora, si vuole dare un ordine di grandezza dei fenomeni senza ragionare in termini di tempi di vita di opere come manufatti (ponti, ecc.) e non si vuole quindi sovrastimare l'entità degli eventi.

Per ogni tipo di opera infatti, può essere scelto, in base a criteri pratici, un ragionevole grado di rischio (da cui dipende necessariamente il periodo di ritorno da considerare), dipendente specialmente dalla natura ed entità delle possibili deficienze funzionali.

Il grado di arbitrarietà di tale scelta si potrà ridurre, in fase di progettazione definitiva, associando le valutazioni tecniche per ogni singola opera a considerazioni economiche, fermo restando il fatto che si attendono i risultati delle indagini dirette sulle distribuzioni delle piogge e sulle risposte idrologiche del Rio d'Itri, derivanti dalle registrazioni delle stazioni di recente installazione nell'area di studio.

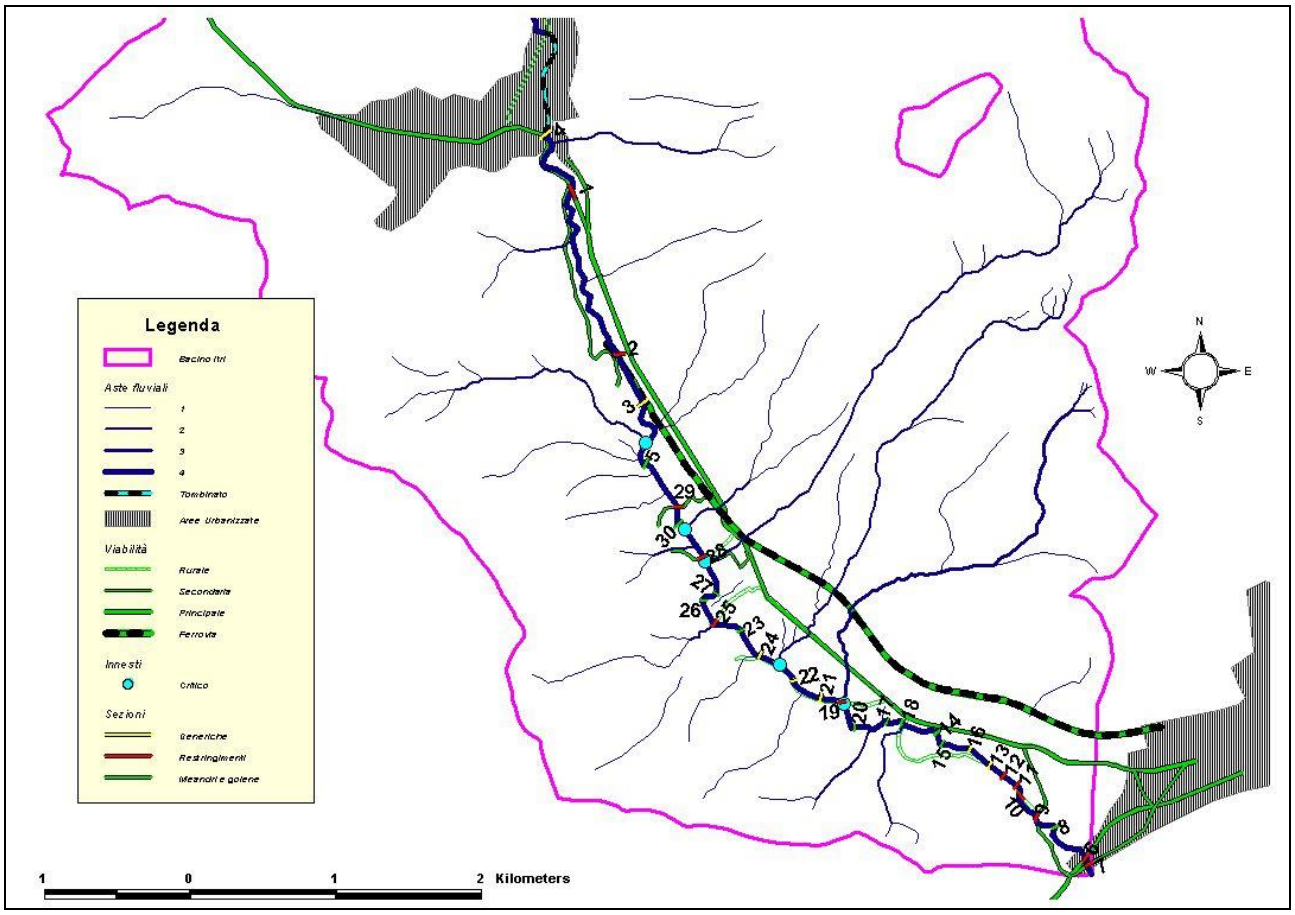


Fig. 11 – Area di studio: sono evidenziate le sezioni critiche (con relativo numero identificativo) in relazione alla viabilità (prevalentemente ponti) e gli innesti degli affluenti con l'apporto idrico maggiore.

Metodologie di calcolo

Impostazione del modello idraulico

Il modello idraulico è stato sviluppato a partire da un rilievo topografico e da un rilievo fotogrammetrico effettuato con un volo ad hoc. Sono stati integrati i dati pervenuti con una serie di sopralluoghi necessari ad ottenere, oltre ai dati di dettaglio sulle opere insistenti sull'alveo, una descrizione delle sezioni caratteristiche e delle caratteristiche idraulici.

Il regime di flusso del corso d'acqua simulato è di moto permanente in regime misto e le portate di progetto, all'ingresso del tratto in esame, considerate corrispondono a tempi di ritorno di 5, 10, 30, 200 e 500 anni.

In sintesi, il corso d'acqua è stato idealmente suddiviso in 10 tratti e descritto mediante il rilievo di 64 sezioni trasversali caratteristiche. Queste sono state integrate considerando la necessità di dettaglio in fase di modellizzazione per un totale di 187 sezioni.

Le sezioni rilevate sono così divise tra i tratti citati da monte verso valle:

Rio d'Itri 1: 9 sezioni che, tra l'altro descrivono, tra gli elementi di maggior interesse idraulico: un ponte stradale carrabile e un salto idraulico di circa 1,5 metri seguiti da una tratto con sponde in muri di cls.

Rio d'Itri 2: 16 sezioni che comprendono due cambi di direzione ed una briglia con tombinamenti.

Rio d'Itri 3: 8 sezioni.

Rio d'Itri 4: 4 sezioni.

Rio d'Itri 5: 10 sezioni che, tra l'altro descrivono, un ponte stradale carrabile.

Rio d'Itri 6: 13 sezioni che descrivono tra gli elementi di maggior interesse idraulico: due ponti stradali.

Rio d'Itri 7: 12 sezioni.

Rio d'Itri 8: 5 sezioni che si situano in un tratto molto tortuoso con frequenti muri di sponda.

Rio d'Itri 9: 12 sezioni che comprendono un ponte stradale carrabile e muri di sponda in cls.

Rio d'Itri 10: 98 sezioni che, tra l'altro descrivono, tra gli elementi di maggior interesse idraulico: 9 ponti stradali carrabili di diversa importanza, il tratto è costituito dall'alveo che risulta interessato da diversi lavori di regimazione effettuati in tempi e con modalità di intervento differenti.

Per verificare l'influenza esercitata dalle opere di attraversamento e dalle strutture trasversali sui deflussi delle acque di piena, nel modello idraulico sono stati schematizzati (sulla base delle risultanze del rilievo condotto durante lo svolgimento dei sopralluoghi) i ponti presenti nel tratto in esame ed il tombinamento.

Per i ponti oltre al deflusso attraverso le luci è stato determinato anche il flusso sfiorante in caso di tracimazione della struttura.

Il modello tridimensionale del terreno è stato definito partendo dalle quote topografiche fornite dalla committenza, relative ad una campagna di dettaglio sull'area in esame e gli ulteriori dati forniti dalle sezioni rilevate durante i sopralluoghi effettuati nell'ambito del presente studio. Tali misure hanno permesso di ricostruire con notevole dettaglio tutti i punti critici dal punto di vista idraulico ed i manufatti presenti in tutta l'area di studio.

Di seguito vengono illustrati i risultati delle simulazioni (in termini di livelli idrici e velocità della corrente, nel caso di massima piena) ottenuti per i tempi di ritorno considerati, tramite i quali è stato possibile delimitare le aree di esondazione.

Metodologia di calcolo

Le verifiche sono state condotte con una metodologia di calcolo in funzione della criticità, della complessità geometrica dell'alveo (presenza di curve, bruschi restringimenti ecc.) e della documentazione e dei rilievi disponibili.

Come già specificato, sono infatti state utilizzate le sezioni rilevate nel corso delle indagini di campo, a supporto di quelle ricavate dal rilievo di dettaglio fornito dalla committenza.

Le verifiche idrauliche sono state condotte mediante l'ausilio di un software[20] per il calcolo dei profili di rigurgito in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali che consente anche la valutazione degli effetti dovuti alle interazioni con ponti, briglie, tombinature, stramazzi, aree golenali ecc.

La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto "Standard step method" che si basa sulla semplice equazione mono-dimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f - h_e$$

dove H_1[m] ed H_2[m] sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tratto considerato, h_f[m] sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde mentre h_e[m] è un termine aggiunto per tener conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente.

In particolare h_f dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come:

$$h_f = j_f \cdot L$$

con j_f pendenza motrice nel tratto di lunghezza L[m].

Il calcolo di j_f è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto.

Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la:

$$J = \left[\frac{Q}{K}\right]^2$$

dove Q[m^3/s] è la portata di calcolo e K (denominato conveyance) è ricavabile attraverso la seguente espressione:

[20] HEC-2 e HEC-RAS, Haestad Methods Inc.

$$K = \frac{1}{n} \cdot A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove A[mq] l'area della sezione liquida, R[m] il raggio idraulico e n[$m^{-1/3}$ s] è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

Il valore del coefficiente n è stato determinato secondo la procedura sviluppata da Cowan selezionando le caratteristiche più rilevanti ai fini della quantificazione dell'indice di resistenza.

In particolare, vista la natura e le caratteristiche dei corsi d'acqua in studio, si sono considerati come parametri preminenti il materiale del fondo alveo e delle sponde, l'irregolarità del fondo alveo e le variazioni della forma e delle dimensioni delle sezioni.

Il termine he dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = \beta \cdot \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2 \cdot g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2 \cdot g} \right|$$

dove β è un coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato, V_1 e V_2 [m/s] sono i valori delle velocità medie agli estremi del tratto e α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello consente di suddividere la sezione in più tratti in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale (denominata main channel) interessata dal deflusso delle portate di magra e di piena ordinaria e due aree laterali golenali (denominate right and left overbanks), interessate dalle portate di piena eccezionali.

Il programma calcola inoltre il deflusso attraverso i ponti mediante una procedura che consente di simulare le tre condizioni di deflusso possibili: deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e combinazione di deflusso in pressione e deflusso con scavalcamento dell'impalcato (funzionamento a stramazzo).

Per il deflusso a pelo libero il modello si basa sull'equazione dei momenti nella seguente forma.

$$m_1 - m_{p1} + \frac{Q^2}{g \cdot (A_1)^2} \cdot \left(A_1 - \frac{C_p}{2} \cdot A_{p1} \right) = m_2 + \frac{Q^2}{g \cdot A_2} = m_3 - m_{p3} + \frac{Q^2}{g \cdot A_3}$$

Dove:

A_1, A_3 = sezioni di deflusso a monte e a valle del ponte;

A_2 = sezione netta di deflusso attraverso il ponte (area totale - area delle pile);

A_{p1}, A_{p3} = area delle ostruzioni (pile, spalle ecc.) a monte e a valle del restringimento;

Y_1, Y_2, Y_3 = distanza verticale tra la superficie dell'acqua ed il centro di gravità delle sezioni di deflusso;

m_1,m_2,m_3 = A_1Y_1, A_2Y_2, A_3Y_3; CD =coefficiente di "drag" variabile in funzione della forma delle pile;

Y_{p1}, Y_{p3} = distanza verticale tra la superficie dell'acqua ed il centro di gravità delle sezioni A_{p1} e A_{p3};

m_{p1}, m_{p3} = $A_{p1}Y_{p1}$ e $A_{p3}Y_{p3}$;

Q =portata;

g =accelerazione di gravità.

Se dall'applicazione del metodo dei momenti il moto risulta subcritico viene successivamente utilizzata l'equazione di Yarnell, se invece il moto risulta supercritico o avviene con transizione attraverso lo stato critico viene utilizzata la sola equazione dei momenti.

Il funzionamento in pressione è simulato mediante la formulazione propria dell'efflusso da luce:

$$Q = C \cdot A \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot H}$$

dove Q[m^3/s] è la portata defluita attraverso la luce di area A[mq], H[m] è il dislivello tra il carico totale di monte ed il pelo libero a valle e C è il cosiddetto coefficiente di efflusso.

Il funzionamento a stramazzo è simulato attraverso la formulazione standard

$$Q = C \cdot L \cdot H^{\frac{3}{2}}$$

dove Q[m^3/s] è la portata defluita sulla soglia di larghezza L[m] e H[m] è il dislivello tra il carico totale di monte e la quota della soglia e C è il coefficiente di efflusso, variabile in funzione del tipo di stramazzo e del carico sopra la soglia.

Nel caso di funzionamento combinato di moto in pressione con scavalcamento del ponte (stramazzo) l'entità delle portate stramazzanti e defluenti al di sotto dell'impalcato viene determinata attraverso una procedura iterativa combinando le equazioni che regolano i due fenomeni.

Nella verifica di sezioni particolari quali ad esempio le zone di confluenza, dove non sono applicabili le relazioni precedenti, è stato applicato il teorema della quantità di moto.

In particolare è stato individuato un volume di controllo definito dalla superficie di contorno del tratto in esame in cui è applicabile la relazione:

$$F_e + G = M_u - M_e$$

dove F_e è la risultante delle forze di superficie (spinta idrostatica e attrito del fondo e delle pareti) agenti dall'esterno sul volume di controllo, G è la risultante delle forze di massa (in genere la forza peso), M_u ed M_e le quantità di moto delle masse che nell'unità di tempo entrano ed escono dal volume di controllo.

Analisi della simulazione idraulica

Le verifiche sono state condotte sui tratti, identificati in precedenza, dove si è riscontrata la necessità di interventi. È comunque necessario un breve commento allo studio idraulico condotto. Si è potuto riscontrare come il carattere fortemente alterato dell'alveo del Rio d'Itri sia la causa principale delle situazioni di criticità riscontrate. Se si correla l'ampiezza di esondazione con la qualità ambientale rilevata ci si accorge che dove il carattere naturale è stato conservato anche l'area di esondazione è contenuta. Al contrario, dove ci si muove in aree fortemente antropizzate i livelli esondativi sono molto estesi.

Il corso del Rio d'Itri si può dividere in due grandi tratti: dalla cava di Monte Montuolo a monte dei 25 archi, dove la qualità ambientale risulta da buona a media, e a valle dei 25 archi fino alla foce, dove la qualità ambientale varia da bassa a pessima.

Nel primo tratto la presenza di interventi antropici non produce particolari effetti. Situazioni particolari, ma non decisamente critiche, si verificano per le singole opere.

Area di intervento 2 e 3 – Area cava di M. Montuolo

In prossimità della cava si ha una modifica del corso del rio che viene stretto all'interno di alti muri di contenimento. Elemento di criticità è il ponte della cava che presenta le spalle all'interno dell'alveo. Questo produce una forte accelerazione della corrente e la formazione di un risalto idraulico importante. Per eventi con tempi di ritorno superiori o uguali a 30 anni il ponte viene sommerso, provocando l'esondazione a monte nelle aree circostanti. A valle del ponte si ha una briglia con un salto di circa 1,5 m. in corrispondenza di essa il flusso accelera bruscamente e le velocità rilevate confermano la situazione di forte erosione del fondo alveo.

All'uscita dal tratto canalizzato si presenta una curva verso destra che viene attraversata dalla corrente con velocità elevate in corrispondenza del centro alveo. Tali velocità producono erosione del fondo alveo. Questo è confermato dai sopralluoghi dove si sono rilevate zone in erosione in particolare al piede dei muraglioni d'argine. La presenza degli accumuli di materiale di trasporto produce una sensibile riduzione di sezione incrementando così le velocità di deflusso. Il tratto seguente si presenta con alveo naturale ma con elevate velocità di flusso nella curva a sinistra seguita da un allargamento e conseguente rallentamento della corrente. Ciò produce erosione in curva e deposizione nel tratto seguente.

Area di Intervento 4 – Briglia in loc. Sant'Angelo

La briglia appare idraulicamente efficace, con un elevato abbattimento della velocità di flusso, per eventi di piena con tempi di ritorno inferiori a 30 anni. Per tempi superiori è insufficiente e viene superata dal livello di piena. Dai rilievi invece appare una forte erosione a valle della briglia e l'ostruzione delle luci da parte di ghiaie grossolane. Si ritiene pertanto che l'attuale situazione della briglia sia più che critica e conduca ad un suo stato di inefficienza e di potenziale instabilità.

Area di intervento 5 –

In tale area il modello conferma la presenza di zone in erosione a causa delle elevate velocità di deflusso.

Area di intervento 6 – Confluenza affluente in sponda dx

Il tratto ristretto dal muro di contenimento induce una accelerazione della corrente che, all'allargamento della sezione in corrispondenze dell'affluente, va ad erodere la sponda dx.

Nel tratto di valle l'alveo si presenta tutto o in parte rimaneggiato dall'uomo. Quest'alterazione si evidenzia con una sezione di flusso ristretta con frequenti muri d'argine.

Area di intervento 8 – Zona 25 Archi

In tale area è presente un ponte stradale che costituisce l'inizio del tratto canalizzato del corso d'acqua. Per eventi con tempi di ritorno inferiori a 10 anni il ponte risulta sufficiente. Negli altri casi viene sommerso con velocità di flusso basse. Questo è testimoniato dai rilievi che evidenziano l'assenza di erosione ed invece una marcata sedimentazione con barre laterali particolarmente sviluppate. Nel tratto subito a valle, dopo aver superato il viadotto dei 25 archi, l'alveo si stringe a causa dei materiali deposti con aumento delle velocità di flusso.

Area di intervento 9, 10, 11 e 12 -

In tali aree le criticità sono poste dai manufatti eretti lungo l'alveo che restingono la sezione ed inducono esondazione e nel tratto di intervento 11 e 12 velocità di flusso elevate con erosione del fondo alveo marcata. Il nuovo ponte stradale risulta sufficiente per lo smaltimento di piene con tempi di ritorno inferiori a 30 anni.

Area di intervento 13 –

Le velocità d'uscita della corrente dal ponte sono elevate e producono sulle pareti della curva forte erosione. Da considerare la presenza dell'allargamento della sezione che consente di attenuare la velocità della corrente a valle della curva.

Area di intervento 15 –

L'area di intervento è compresa in una zona fortemente canalizzata dell'alveo dove la presenza di muraglioni produce velocità elevate di flusso e zone di esondazione sui fianchi non protetti o con minore elevazione.

Stazione idrometrica ST2

La stazione idrometrica è montata all'altezza della sezione 1074 in corrispondenza di un ponte per l'attraversamento. Si può vedere come tale stazione sia in grado di misurare eventi fino a tempi di ritorno pari a 30 anni.

Area di intervento 16 –

In corrispondenza di un attraversamento stradale il ponte posto non in asse con il corso d'acqua risulta del tutto insufficiente. Anche nel caso di eventi con tempi di ritorno di 5 anni è al limite della capacità di flusso. A valle del ponte l'allargamento produce un rallentamento della corrente con conseguente area di deposizione del materiale trasportato. La passerella pedonale a valle del ponte risulta sufficiente per eventi di piena fino a 200 anni.

Area di intervento 17 –

Nel tratto di interesse insiste il ponte per l'attraversamento della variante. Non si rilevano velocità elevate di deflusso ma il ponte risulta insufficiente per eventi di piena con tempi di ritorno superiori a 30 anni. Di interesse la sezione subito a valle che mostra la tendenza all'esondazione in sinistra confermata dai rilievi che hanno evidenziato la presenza di interventi di innalzamento in tempi successivi del muro di sponda.

Area di intervento 18 –

Il tratto è completamente cementato e canalizzato. Il deflusso avviene a velocità non elevate ma con esondazione su entrambe le sponde con tiranti d'acqua non importanti. Il ponte sulla via Flacca è sufficiente per smaltire la piena con tempi di ritorno inferiori a 30 anni, mentre il ponte sulla litoranea è insufficiente anche a per eventi con tempi di ritorno di 10 anni.

Dall'esame delle simulazioni di calcolo emerge come le linee definite per gli interventi di bonifica e ripristino siano sostanzialmente confermate ed abbiano l'obiettivo di correggere ciò che l'uomo ha alterato riportando l'alveo a sezioni più ampie e con aree golenali al fine di mitigare gli eventi di piena. Sono necessari inoltre interventi per mitigare le correnti veloci che si instaurano in alcuni tratti del corso.

Aree di esondazione

La mappatura delle aree di esondazione qui presentata, mira a simulare la propagazione dei volumi d'acqua esondati sulle aree prossime al corso d'acqua interessato. L'attività di mappatura, sviluppata attraverso il modello descritto di propagazione dei volumi esondati, deve prefigurare scenari di evento in grado di definire le possibili dinamiche di inondazione.

Alla luce dei risultati ottenuti e graficati in allegato, è possibile formulare una serie di constatazioni: le procedure di mappatura sono da intendersi come strumento

conoscitivo di base proprio per il rischio di inondazione, finalizzato alla salvaguardia delle aree sensibili, intese come alta vulnerabilità per danni a cose e/o persone.

Essa è la chiave fondamentale per l'avvio delle azioni proprie della programmazione territoriale finalizzate alla mitigazione degli squilibri connessi al rischio idrogeologico ed idraulico in particolare.

Nell'ambito del presente lavoro, le analisi conoscitive effettuate ed il livello informativo raggiunto hanno consentito di giungere alla predisposizione della mappatura delle aree a rischio di inondazione per tutti i tratti idraulici dell'area di studio.

Questa analisi idraulica, ha consentito di individuare anche il livello di criticità dei diversi tratti di alveo in relazione, come si vedrà, all'entità dell'immersione del terreno.

In particolare è stato possibile caratterizzare la dinamica del deflusso attraverso il calcolo dei profili di rigurgito in moto permanente.

Le verifiche hanno portato ad individuare i tratti di alveo insufficienti lungo i quali si verifica esondazione.

Di fatto, sulla base del rilievo topografico di dettaglio, noti i livelli massimi raggiunti nelle sezioni dalle piene di assegnato tempo di ritorno, sono state tracciate le aree di possibile esondazione tramite l'estensione del software di calcolo ArcView21, Hec GeoRas. Tale estensione permette di sottrarre la superficie generata dagli inviluppi dei livelli di massima piena delle sezioni analizzate, a quella del terreno già ricostruita.

In tal modo, dall'intersezione delle due superfici, può essere estrapolato il limite di esondazione generata dalla piena e persino l'entità della "sommergenza" (differenza tra quota della superficie dell'acqua e del terreno).

Come visto in precedenza, il corso del Rio d'Itri si può suddividere il due tratte: a monte dei 25 Archi e a valle.

Il settore a monte dei 25 Archi è caratterizzato da sezioni talvolta inadeguate al deflusso della portata di piena. Per l'evento di piena si verifica infatti il superamento delle abituali sponde del torrente, contenuto comunque dalla morfologia del letto del Rio, che mantiene naturalmente il livello dell'acqua entro limiti di sicurezza. Unico settore sensibile è il piazzale della cava di M. Montuolo e le prime costruzioni sulle sponde del Rio in corrispondenza della confluenza con il fosso di Costamezza.

Il settore a valle dei 25 Archi risulta decisamente critico per gli eventi di piena con tempi ritorno di 30 e 200 anni. Ragione prima è l'inadeguatezza delle sezioni di deflusso

[21] ArcView 3.2 - ESRI

che condiziona l'esondazione. Nelle sezioni sono generalmente assenti le aree golenali che possono attenuare gli stessi eventi di piena. Da considerare che in alcuni tratti i tiranti d'acqua sono minimi, e quindi la presenza delle aree golenali possono contenere efficacemente la piena.

Il confronto con le aree di esondazione contenute nel Piano di Assetto Idrogeologico dell'Autorità dei Bacini Regionali è riportato in figura. Si è constatata la conformità almeno per il tratto d'alveo che era stato oggetto di studio precedentemente.

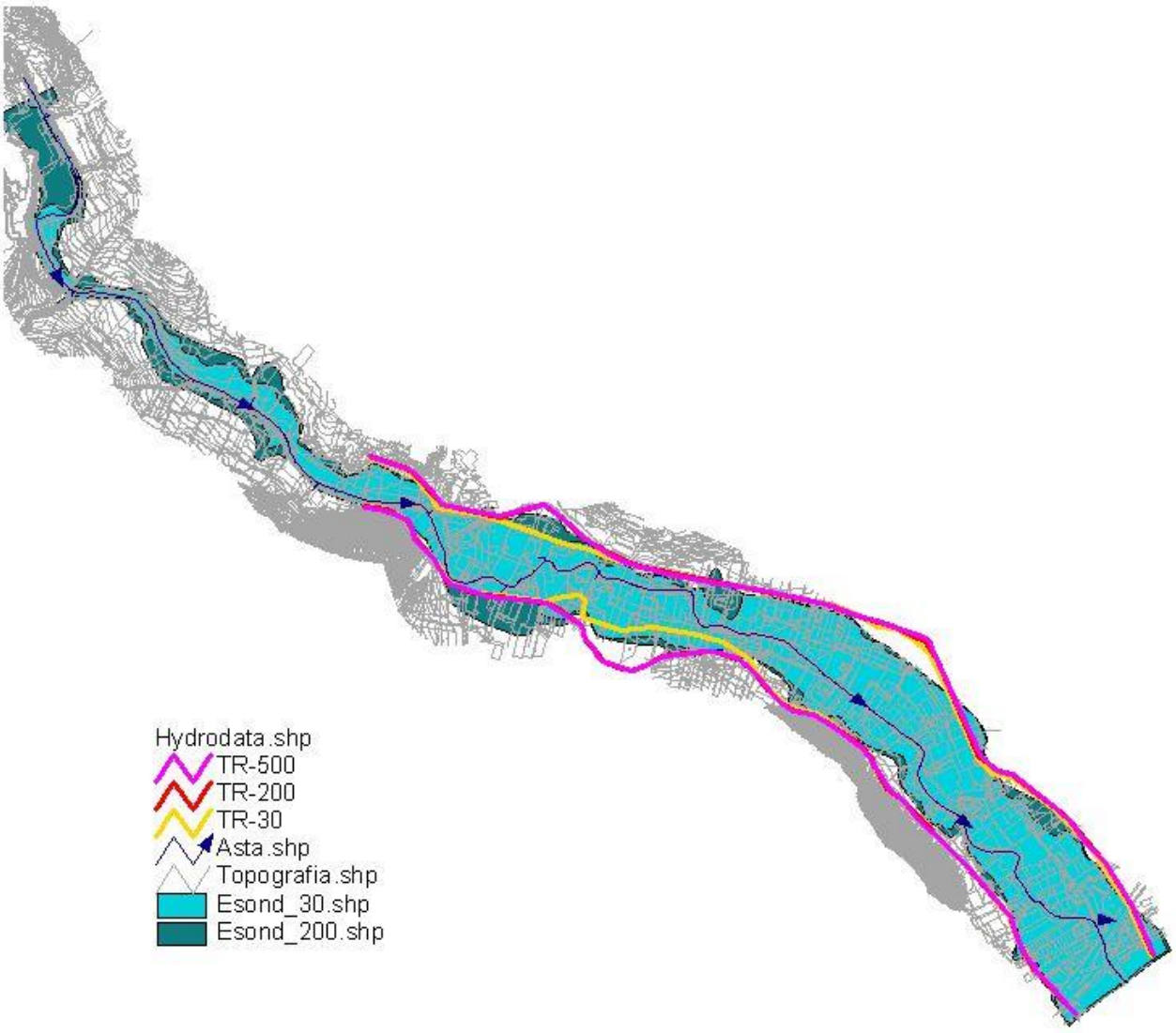


Fig. 12 – Aree di esondazione: confronto tra le aree individuate e quelle presenti nel PAI.

Linee di pianificazione e di intervento

Dalle analisi effettuate nel presente lavoro, si evince come gli interventi prioritari da effettuare, sostanzialmente, riguardano l'aspetto idraulico del Rio d'Itri. Fermo restando che a valle del completamento degli studi di dettaglio sarà possibile dimensionare in maniera dettagliata le azioni da intraprendere, già nella fase attuale è stato possibile delineare il quadro delle attività necessarie ed urgenti per il risanamento del fosso.

Per quanto riguarda gli aspetti del dissesto idraulico bisogna tener presente le osservazioni provenienti dai sopralluoghi effettuati nonché le indicazioni dei residenti raccolte in tali occasioni. Il corso d'acqua appare avere un carattere torrentizio fortemente dipendente dalla precipitazioni e soprattutto dalla loro intensità. Nel tratto rilevato si è osservato:

1. una differenza di quota di 150 m su una sviluppo di circa 6 km per una pendenza media del 2,5%;
2. il corso presenta un andamento pressoché rettilineo con poche curve marcate ed un tratto finale leggermente serpeggiante;
3. un trasporto solido che evidenzia la presenza di deflussi importanti con elevate velocità di flusso che danno luogo a zone in forte erosione alternate a zone di deposizione;
4. la presenza di locali e brusche variazioni di quota con salti variabili tra 1,5 e 3 metri regimentate in modo "artigianale";
5. la variazione della sezione d'alveo e delle sue caratteristiche idrauliche che risultano in un peggioramento andando verso la foce;
6. i residenti ricordano che ogni 5-7 anni si ha un evento che produce l'esondazione del corso d'acqua.

Quindi gli interventi prioritari sono da inquadrasi nel ripristino di condizioni idrauliche ottimali per consentire il deflusso regolare verso la foce delle portate.

Date le caratteristiche del corso d'acqua e le velocità di deflusso stimate, condizioni ai punti 1 e 2, si delinea la necessità di procedere con interventi di consolidamento dell'alveo da distribuirsi secondo le indicazioni riportate in appendice al presente lavoro. Si

tratta di due tipologie principali: la scogliera a blocchi rinverdita, da porsi a protezione longitudinale delle sponde, e le rampe a blocchi, per regolarizzare le variazioni di quota rilevate. Con tali interventi si ottempera alla bonifica idraulica delle situazioni indicate ai punti 3 e 4.

Inoltre è necessario procedere alla riprofilatura di alcune sezioni dell'alveo per adeguarle alle caratteristiche richieste localmente dal corso d'acqua (punto 5). Sempre al tale proposito si sottolinea la necessità di intervenire nella rimozione di muri edificati in alveo che ne comportano un restringimento. La movimentazione di terra e materiali detritici prevista è dell'ordine di circa 5.500 m^3.

Gli eventi di esondazione citati dai residenti dovrebbero essere rintracciati al fine di poter avere una indicazione sulle precipitazioni intense che porta aduna condizioni di emergenza.

Al fine di prevenire tali situazioni e di migliorare in generale le caratteristiche idrauliche dell'alveo, è necessario procedere ad una pulizia delle sponde dalla vegetazione in eccesso e, nei tratti indicati nella tavola degli interventi allegata, ad una rimozione dei detriti in eccesso procedendo ad una selezione dimensionale al fine di limitare la rimozione di materiale sabbioso. Quest'ultimo è fondamentale per l'alimentazione della spiaggia posta presso la foce del fosso. La quantità di materiale da rimuove è stimata essere dell'ordine di circa 1.500 m^3.

Altri interventi per migliorare l'idraulica del corso d'acqua sono la rimozione e ricostruzione di due attraversamenti stradali che costituiscono un restringimento della sezione d'alveo.

Elenco delle aree di intervento di bonifica idraulica e rinaturalizzazione

Area di intervento	***Descrizione stato opera***	***Interventi***	***Lung. (m)***	***Larg. (m)***	***Dislivello***
1	Depuratore del comune di Itri	• adeguamento dell'impianto • separazione delle acque bianche da quelle nere nella rete fognaria	-	-	-
2	Alveo stretto da muri con fondo in forte erosione e salto idraulico (h = 1,5 m)	• Tipo n.1 • Risanamento e consolidamento piede muri	350	7 circa	circa 10 m salto 1.5 m
3	Alveo naturale con forte deposizione di detriti di varia origine con evidenti segni di dissesto idraulico	• Puilizia alveo • Riprofilatura (50 m)	250	7 circa	-
4	Presenza di un attraversamento realizzato con una briglia in cls sottodimensionata dal punto di vista idraulico	• Rimuovere opera esistente • Tipo n.1	50	15	circa 2 m
5	Sponde in erosione	• Riprofilare la sezione d'alveo • Tipo n.2	60	7 max	-
6	Confluenza di un affluente in sponda destra con forte erosione della sponda con abbattimento del relativo muro per metri 10 circa	• Riprofilare la sezione d'alveo • Tipo n.2	70	10 max	-
7	Presenza di accumuli di materiali di scarto di origine antropica	• Pulizia sponde • Riprofilare la sezione d'alveo • Tipo n.2	100	10 max	-
8	Tratto compreso tra un attraversamento stradale e il viadotto ferroviario (25 archi). In corrispondenza dell'attraversamento è presente un deposito detritico che riduce la sezione d'alveo utile. Nel tratto a valle che si estende al di sotto del viadotto dei 25 archi si è rilevata la presenza di un alveo con sponde in scogliera parzialmente ostruito da vegetazione e sedimenti	• Sgombrare le luci del ponte dal materiale in eccesso nonché ripristinare la sezione d'alveo con area di esondazione. • Asportare sedimenti e vegetazione presente nel tratto d'alveo rivestito	200	10 max	-
9	Presenza di muro in sponda destra che restringe la sezione	• Rimuovere il muro. • Riprofilare la sezione d'alveo prevedendo un'area di esondazione golenale • Tipo n.2	60	5 circa	-

10	Presenza di muro in sponda sinistra che restringe la sezione	• Rimuovere il muro. • Riprofilare la sezione d'alveo prevedendo un'area di esondazione golenale • Tipo n.2	50	4 circa	-
11	Presenza di muro in sponda destra che restringe la sezione in corrispondenza di un affluente	• Rimuovere il muro. • Riprofilare la sezione d'alveo prevedendo un'area di esondazione golenale • Tipo n.2	30	4 circa	-
12	Tratto d'alveo delimitato da muri su entrambe le sponde con sezione marcatamente insufficiente	• Rimuovere il muro. • Riprofilare la sezione d'alveo prevedendo un'area di esondazione golenale • Tipo n.2	180	3-4 max	-
13	Tratto d'alveo con forte variazione di pendenza a valle di un attraversamento stradale di recente costruzione (h 2,0 m). La sezione sotto all'attraversamento risulta eccessiva e determina una forte deposizione di sedimenti. Il tratto interessato dalle rapide è stato oggetto di precedente intervento di rivestimento con materiali prefabbricati in cls ed è attualmente in forte dissesto	• Stabilizzare la sezione d'alveo al disotto del ponte con scogliera a blocchi • Rimozione del rivestimento in cls • Realizzare scogliera a blocchi rinverdita • Realizzare il fondo con una serie rampe a blocchi	60	7 max	2.5 m
14	Presenza di pannelli in cls in alveo provenienti dallo smantellamento del rivestimento del punto 13	• Rimozione materiale	20	4	-
15	Tratto d'alveo artificiale con frequenti cambiamenti di profilo di sezione. Sono presenti depositi di sedimenti e vegetazione che ostruiscono parzialmente la sezione	• Rimuovere i sedimenti che ingombrano la sezione. • Riprofilare alcuni tratti per regolarizzare la sezione omogeneizzando i profili	270	3-5	-
16	Attraversamento stradale costituito da un ponte con due luci ad arco a valle di un brusco cambio di direzione dell'alveo. L'area è interessata si a monte che a valle del ponte da forte	• Demolire il ponte • Riedificare un nuovo attraversamento ad unica luce • Rimuovere i detriti in eccesso	50	5 max	-

	deposizione di detriti che producono una riduzione della luce utile del ponte. Si ritiene che le luci del ponte siano insufficienti a garantire il regolare deflusso	prevedendo un'eventuale area di esondazione			
17	Attraversamento stradale della strada di connessione tra SS7 e SS213. La luce del ponte risulta ridotta dall'altezza delle travi in cls precompresso	• Aumentare la sezione di passaggio al di sotto dell'attraversamento	10	6 max	-
18	Tratto d'alveo artificiale delimitato da terreni di proprietà privata	• Verificare il dimensionamento delle sezioni utili • Realizzare eventuali sopraelevazioni dei muri di sponda esistenti	500 circa	5-6	-

Si fa presente che in appendice è prevista una sezione in cui vengono descritte le specifiche tecniche degli interventi indicati in tabella.

Considerazioni conclusive

Allo stato attuale dello studio si possono trarre solamente alcune conclusioni in merito alle necessità emerse di un approfondimento di indagine. Infatti, un primo elemento che richiede un supplemento di indagine, prima di poter formulare ogni conclusione in merito, è la valutazione del deflusso superficiale che costituisce l'elemento chiave per una corretta stima delle portate di piena evitando sovradimensionamenti a volte troppo cautelativi. Questo potrà essere superato solo dopo aver raccolto una volume di dati sufficiente con le stazioni idrometriche e meteo-climatiche installate recentemente in tre località del bacino. Ci attendiamo di poter avere una risposta sufficientemente coerente per la fine dell'anno dopo aver rilevato le precipitazioni autunnali che costituiscono un elemento di criticità come evidenziato nell'analisi dei dati idrologici disponibili.

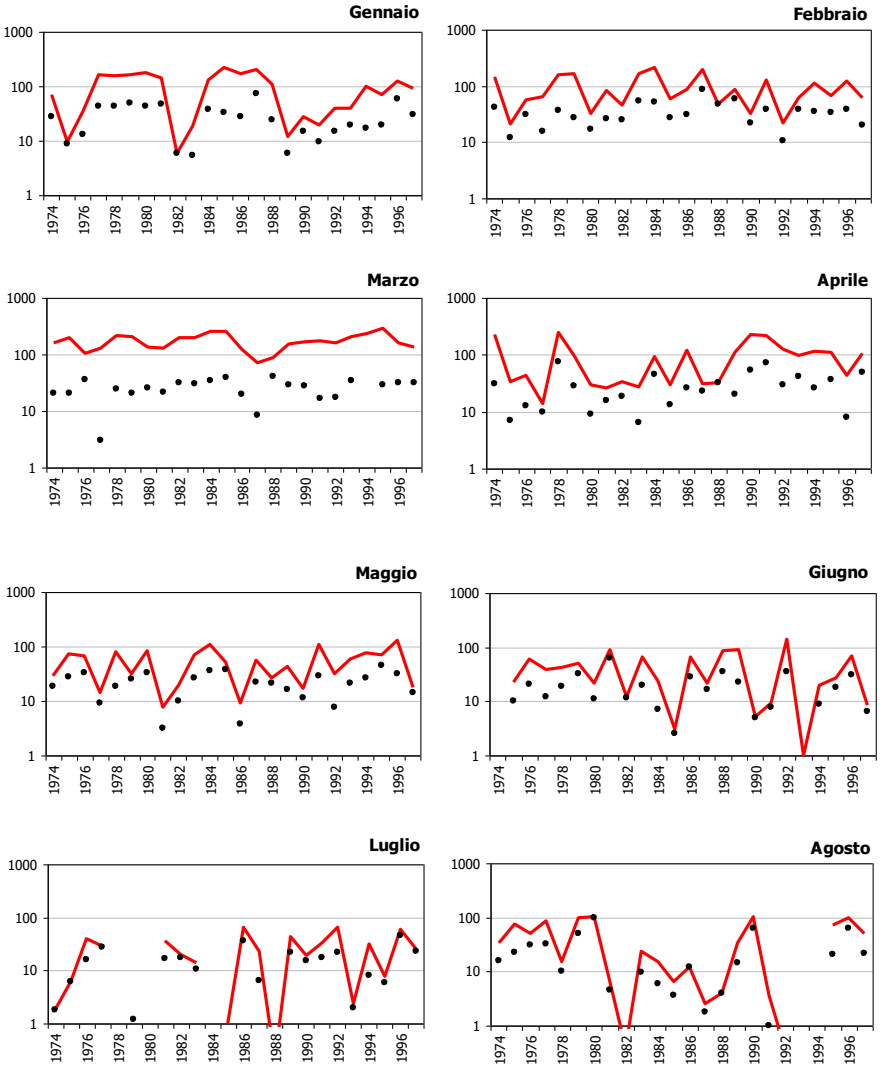
Relativamente ai dati delle precipitazioni sono mancanti i dati relativi alle intensità di precipitazione. Questo limita la nostra analisi ed è stata pertanto intrapresa la ricerca di dati disponibili nell'area in attesa di avere, come detto in precedenza, i dati rilevati direttamente sul bacino.

Lo studio si è quindi focalizzato nel rilevare sin da ora eventuali criticità idrauliche presenti nel bacino in esame. Si sono valutati due elementi di rischio: la presenza di affluenti con portate particolarmente importanti e la presenza di sezioni di deflusso che possono costituire un ostacolo al corretto deflusso.

L'analisi distribuita degli apporti mette in evidenza la presenza di affluenti importanti con portate fino a 2 m^3/s (tempo di ritorno 5 anni) che richiedono uno studio degli stessi per valutare l'eventuale intervento di regolazione dei deflussi per regolare, in modo naturale, la piena. Da tener presente il carattere torrentizio che caratterizza questi corsi d'acqua che condiziona ulteriormente ogni considerazione idraulica in merito.

La verifica idraulica delle sezioni individuate come potenzialmente pericolose non è stato condotto per la mancanza dei dati relativi alle sezioni medesime. Si è pianificata una campagna di rilevamenti per avere le informazioni necessarie per condurre tali verifiche, sebbene le portate attualmente stimate possano essere ritoccate sulla base delle informazioni provenienti dai rilevamenti in campagna.

Tabelle pluviometriche



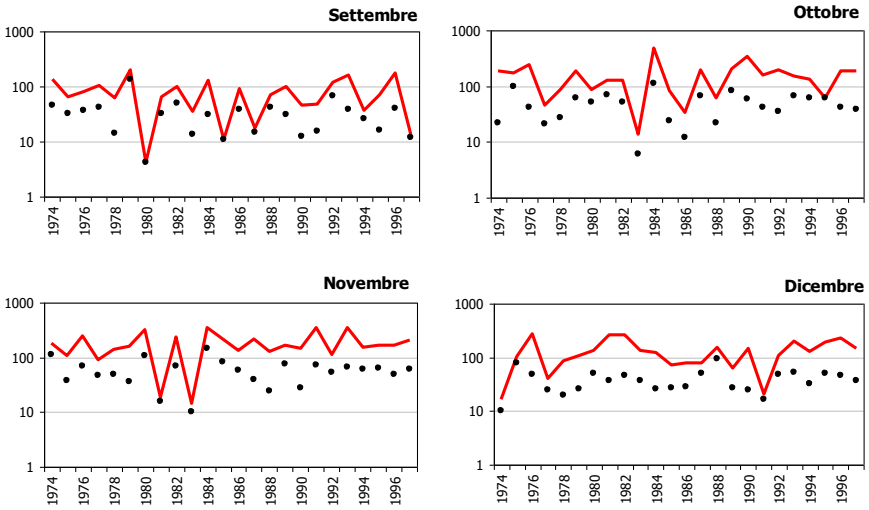
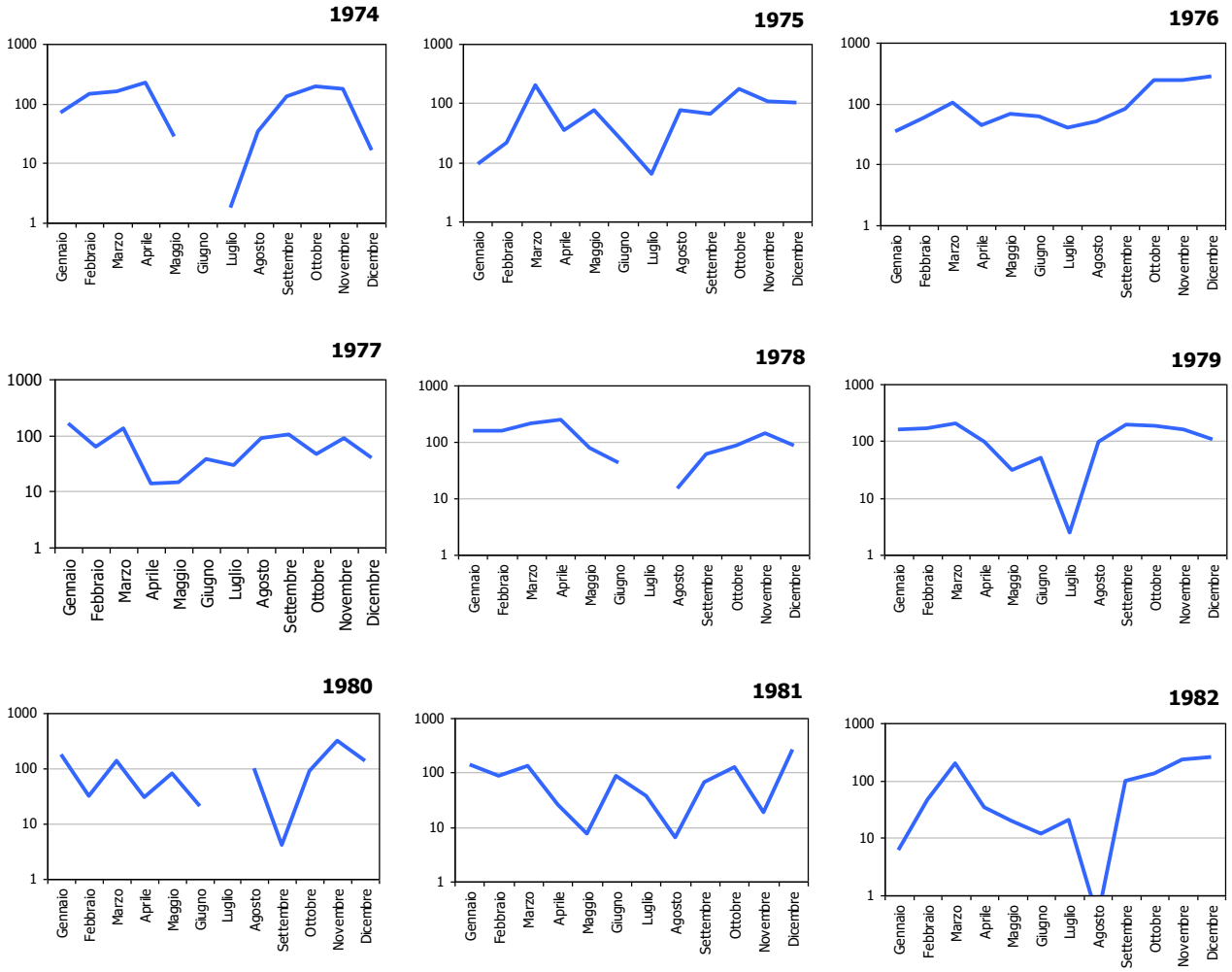


Fig. 12 – Piogge mensili per gli anni di osservazione per la stazione di Itri; con la linea continua è rappresentato l'andamento del valore cumulato, mentre i punti evidenziano il valore massimo mensile



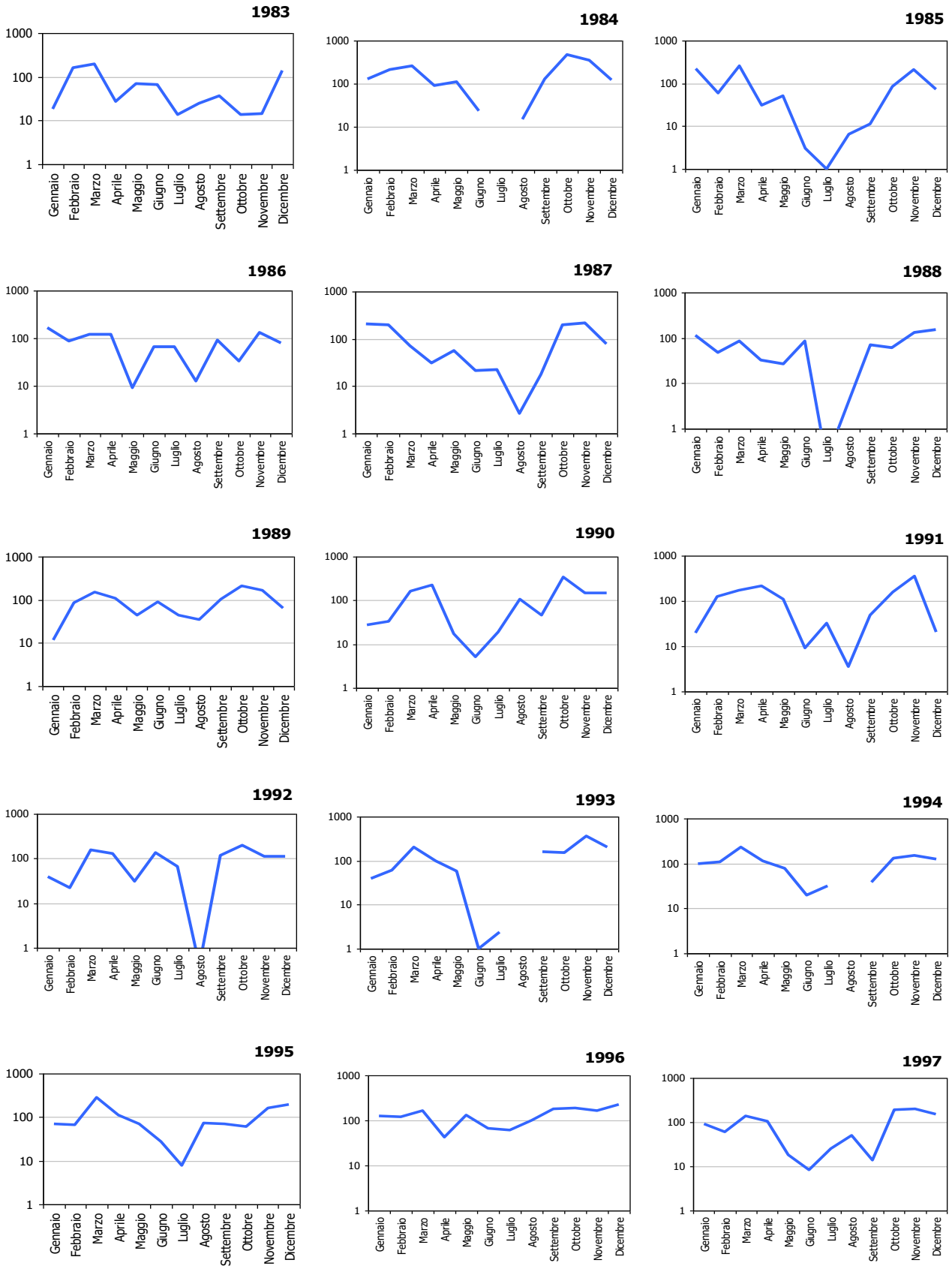


Fig. 13 – Piogge Diagrammi pluviometrici annui della la stazione di Itri

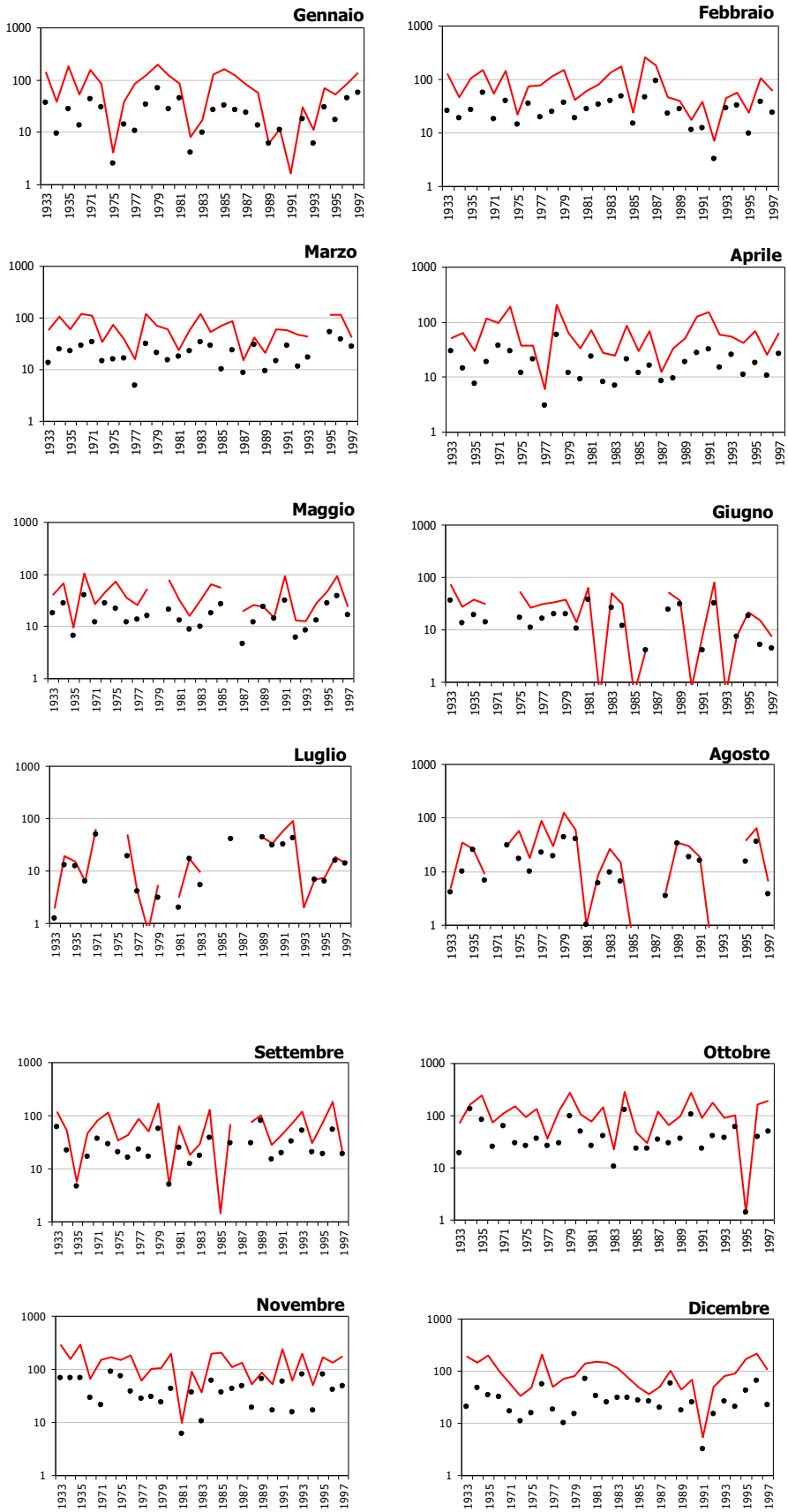
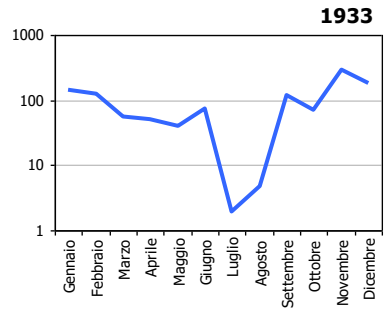
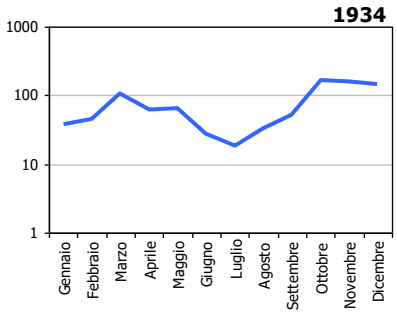
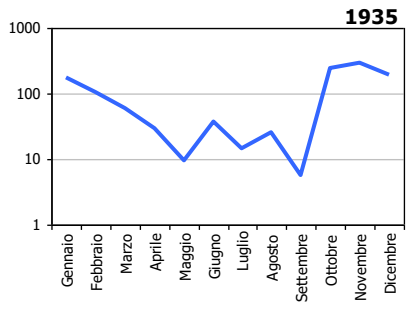
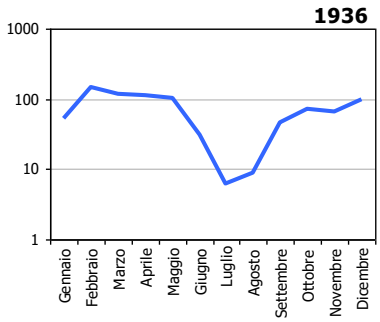


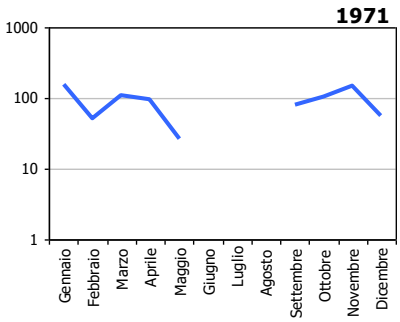
Fig. 14 – Piogge mensili per gli anni di osservazione per la stazione di Gaeta; con la linea continua è rappresentato l'andamento del valore cumulato, mentre i punti evidenziano il valore massimo mensile

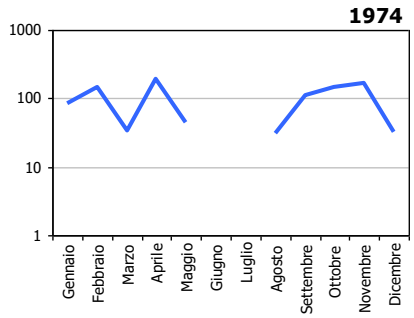

1933
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

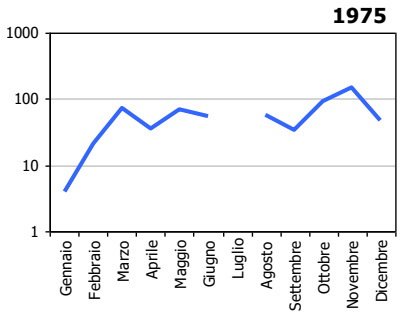

1934
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

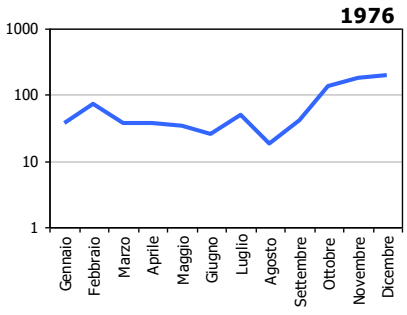

1935
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

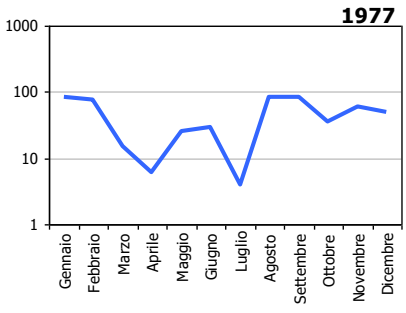

1936
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

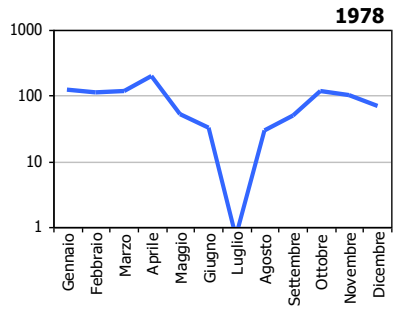

1971
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

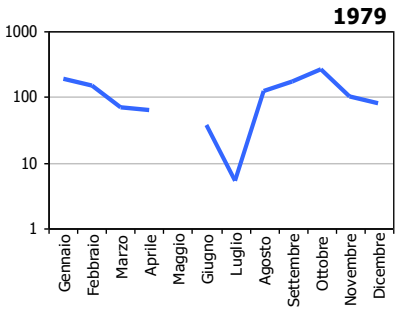

1974
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

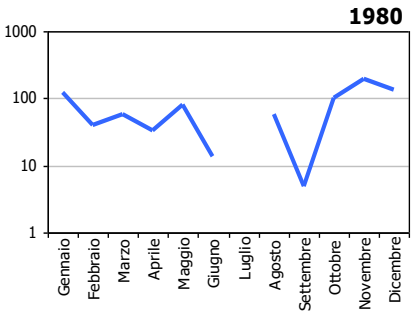

1975
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

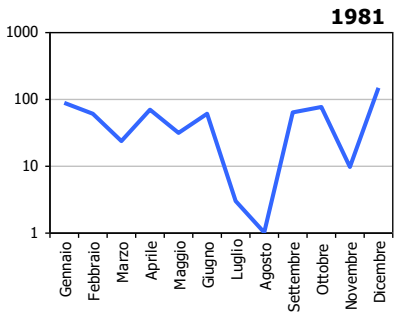

1976
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

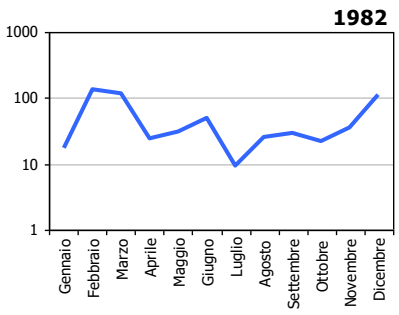

1977
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

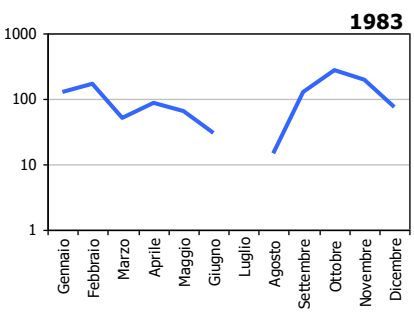

1978
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre


1979
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre


1980
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre


1981
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre


1982
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre


1983
1000
100
10
1
Gennaio
Febbraio
Marzo
Aprile
Maggio
Giugno
Luglio
Agosto
Settembre
Ottobre
Novembre
Dicembre

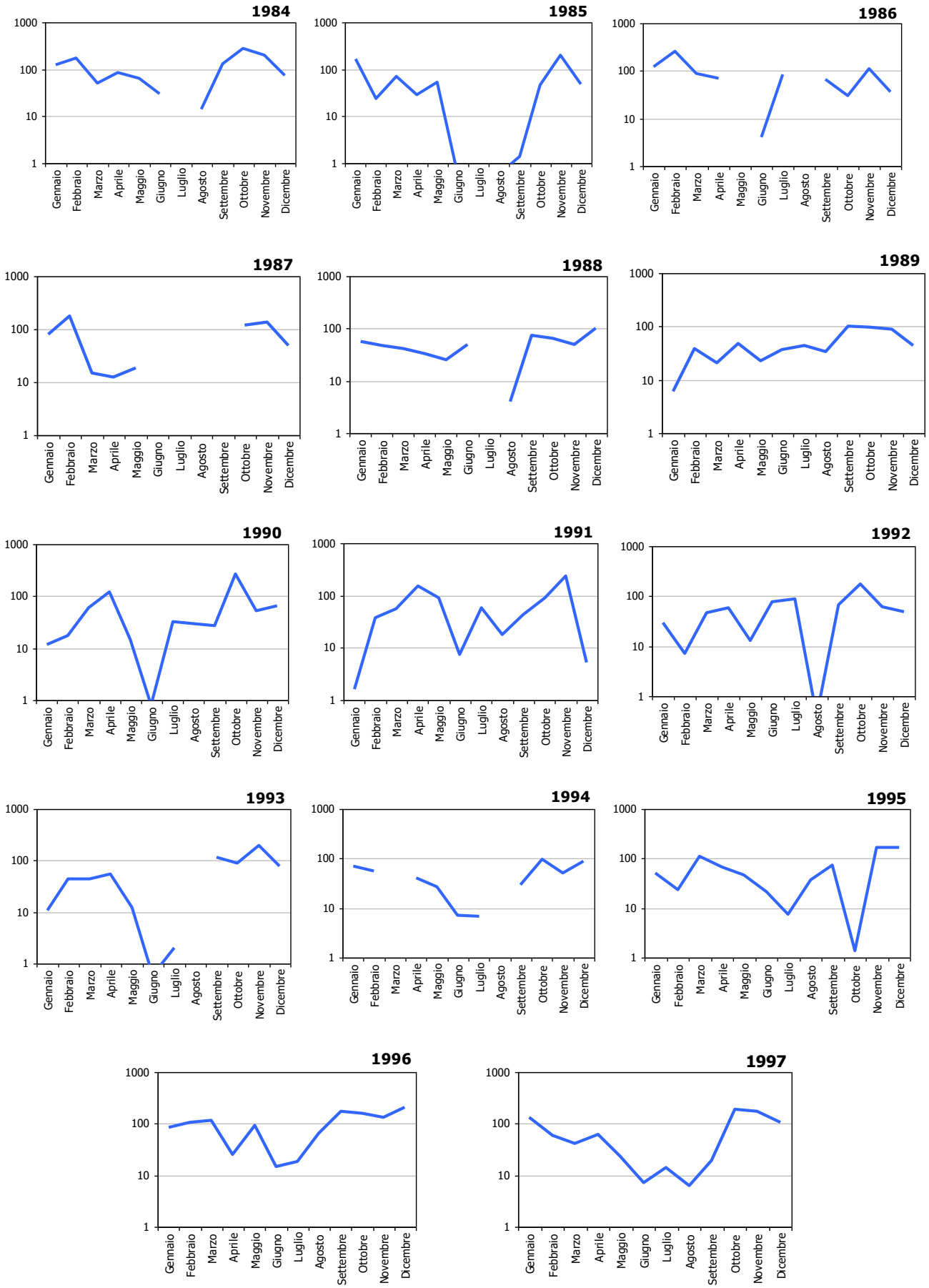


Fig. 15 – Piogge Diagrammi pluviometrici annui della la stazione di Gaeta

Descrizione delle tipologie di intervento

Tipologia n.1 – Rampa a blocchi

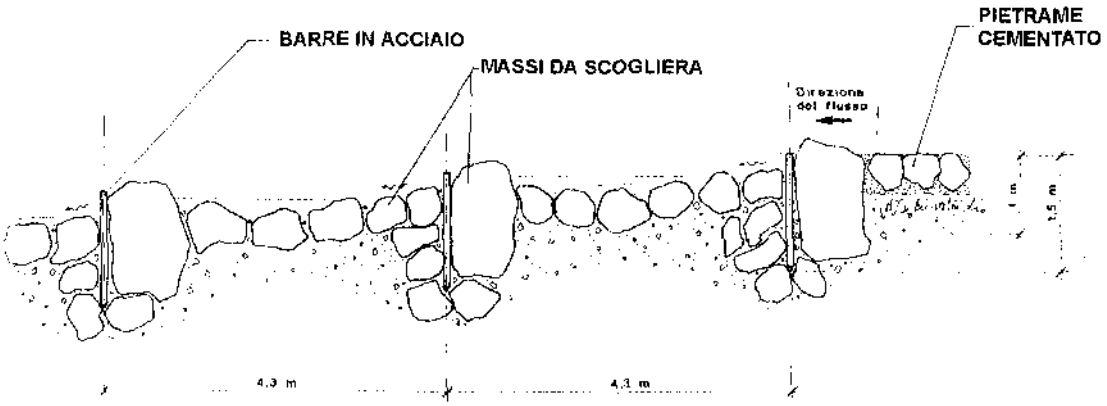
Descrizione sintetica

Consente la consolidazione dell'alveo di un fiume in pietrame di grsse dimensioni in sostituzione delle griglie in tratti di salto. Può essere realizzata sia come by-pass laterale a una briglia, sia come fondazione alla base di una briglia, sia lungo l'alveo del corso d'acqua in alternativa ad una briglia.

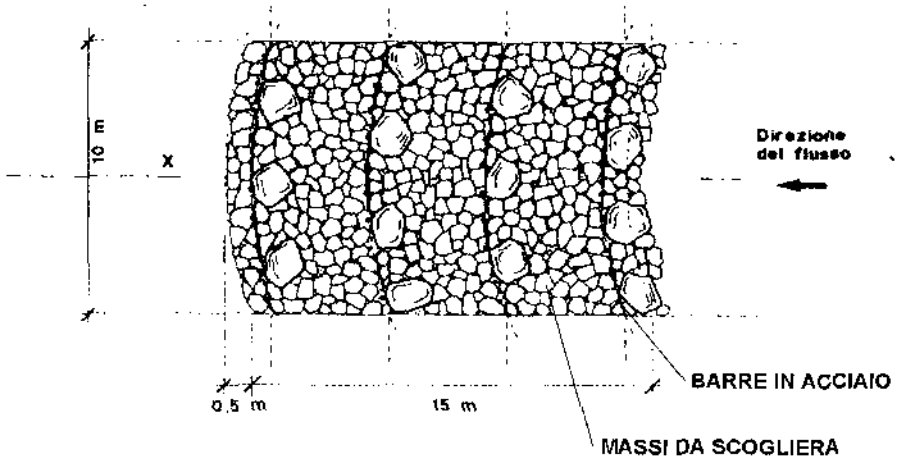
Modalità di esecuzione

1. Posizionamento dei massi nell'alveo del corso d'acqua, profondamente interrati nel fondo. La collocazione dei massi dovrà avvenire a vali livelli. Nel posizionamento dei massi si dovrà seguire la pendenza naturale dell'alveo e il dislivello tra la base e l'apice non dovrà essere superiore a 20-25 cm. Nel caso di dislivelli eccessivi si provvederà alla realizzazione di una serie di rampe poste a una distanza di 1,5-2,5 m l'una dall'altra.
2. se necessario il pietrame viene consolidato con barre o putrelle in acciaio infissi nel fondo e posto su un letto di ghiaia per favorirne l'assestamento.

Sezione tipo



Vista planimetrica



Tipologia n.2 – Scogliera a blocchi rinverdita

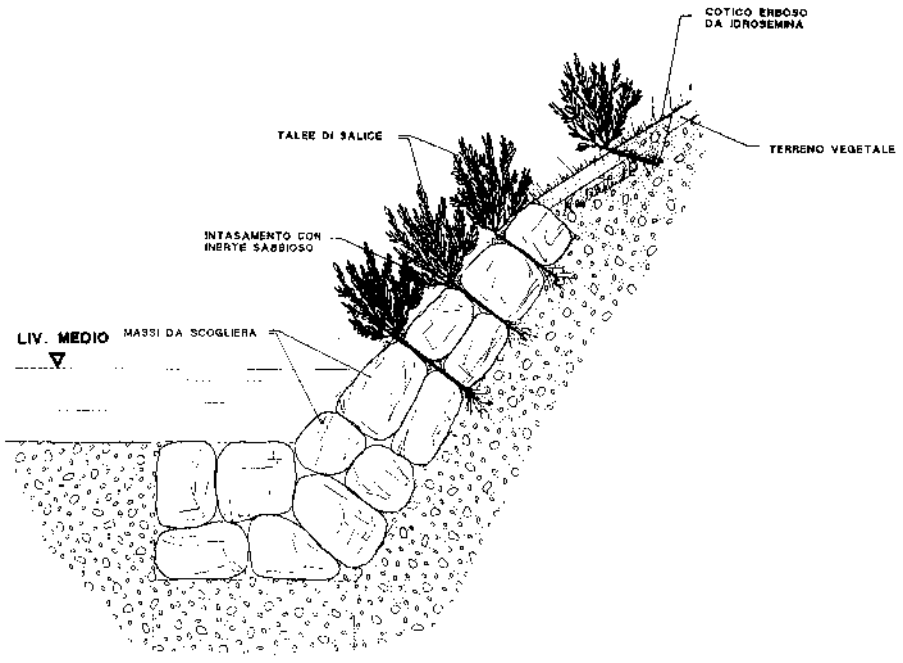
Descrizione sintetica

Difesa longitudinale per il consolidamento e contro l'erosione delle sponde, realizzata con l'impiego di grossi massi e di talee di salice inserite nelle fessure tra i massi stessi.

Modalità di esecuzione

1. Disposizione irregolare dei massi lungo la scarpata, procedendo dal basso verso l'alto
2. superato il livello medio dell'acqua si procede alla contemporanea messa a dimora delle talee di salice di lunghezza tale da raggiungere il terreno retrostante i massi.
3. intasamento delle fessure tra i massi con materiale terroso fine
4. nel caso di inserimento a posteriori delle talee di salice, sarà necessario provvedere alla realizzazione tra i massi di un foro, nel quale inserire una talea. In tal modo però si rischia di non far arrivare la talea sul terreno retrostante la scogliera

Sezione tipo



Ing. Monacelli Massimo

…….