

Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento
Sezione di Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia
Responsabile: Prof. Renzo Rosso

POLITECNICO DI MILANO



Contratto di Consulenza tra
Provincia di Imperia e Politecnico di Milano, DIIAR
in tema di
**Valutazione delle portate e dei volumi
idrici di piena del Torrente Nervia**

RELAZIONE FINALE

Novembre 2007

Politecnico di Milano
Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie, Rilevamento
Sezione di Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia

Piazza Leonardo da Vinci, 32
20133 Milano
Tel. 02 2399 6226/6295
Fax 02 2399 6207
renzo.rosso@polimi.it
www.diiar.polimi.it

Questo rapporto è il prodotto della consulenza conferita da parte della Provincia di Imperia al Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie e Rilevamento (DIAR), Sezione Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia (CIMI) e attuata sotto la responsabilità del Prof. Renzo Rosso.

Alla stesura di questo Rapporto ha collaborato l'ing. Daniele Bocchiola, PhD, ricercatore presso la stessa Sezione CIMI del DIAR, che ha contribuito in modo sostanziale sia alle fasi di raccolta ed elaborazione dei dati, sia alla definizione delle metodologie sviluppate in questa sede.

Un ringraziamento va infine all'Ing. Arzoni, che ha coadiuvato i ricercatori nella fase di raccolta ed elaborazione dei dati idrologici e cartografici.

Renzo Rosso

Milano, Novembre 2007

Indice

PREMESSA	5
INTRODUZIONE	6
1. ANALISI PRELIMINARE DEGLI STUDI PRECEDENTI	7
1.1. PRECIPITAZIONI INTENSE E PORTATE DI PIENA DEL PIANO DI BACINO DELL' AMBITO 2, NERVIA	7
1.1.1. <i>Regime pluviale dei nubifragi</i>	7
1.1.2. <i>Portata al colmo di piena</i>	8
1.2. OSSERVAZIONI	9
2. DEFINIZIONE DELLE METODOLOGIE DI ANALISI	12
2.1. METODO DELLA PORTATA INDICE	12
2.2. VALUTAZIONE DEL FATTORE DI CRESCITA	13
2.3. VALUTAZIONE DELLA PORTATA INDICE	19
2.3.1. <i>Metodo (diretto) AFS</i>	20
2.3.2. <i>Metodo (indiretto) della traslazione scala invariante di stime dirette</i>	21
2.3.3. <i>Metodo (indiretto) delle tracce storico-documentali</i>	21
2.3.4. <i>Metodo (indiretto) della simulazione dell'evento critico</i>	22
2.4. IDROGRAMMI DI PIENA DI RIFERIMENTO	24
2.5. DATI TERRITORIALI E IDROLOGICI PER LO SVILUPPO DELLA METODOLOGIA	25
2.5.1. <i>Dati territoriali</i>	25
2.5.2. <i>Dati idrologici</i>	25
3. DATI IDROLOGICI E TERRITORIALI	26
3.1. RACCOLTA ED ORGANIZZAZIONE DEI DATI TERRITORIALI	26
3.2. DERIVAZIONE DEL TEMATISMO RELATIVO ALLA CAPACITÀ DI ASSORBIMENTO DEL TERRENO (PARAMETRO CN) SU BASE CARTOGRAFICA	31
3.3. RACCOLTA ED ORGANIZZAZIONE DEI DATI IDROLOGICI	34
4. REGIME PLUVIALE DEI NUBIFRAGI	42
4.1. METODOLOGIA DI ANALISI STATISTICA	42
4.2. METODO SIGEV (SCALE INVARIANCE GENERALIZED EXTREME VALUE)	42
4.3. ANALISI DELLE SERIE CAMPIONARIE E PREVISIONI STATISTICHE	43
5. PORTATA AL COLMO DI PIENA	53
5.1. PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE NERVIA A ISOLABONA: STIMA CON IL METODO DIRETTO AFS	53
5.1.1. <i>Dati idrometrici disponibili e portata indice</i>	53
5.2. <i>Portata di massima piena nella stazione di Isolabona</i>	53
5.2. PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE NERVIA A ISOLABONA: ANALISI CON IL METODO DELLE TRACCE STORICHE	58
5.3. STIMA DEI COLMI DI PIENA IN SEZIONI NON STRUMENTATE TRAMITE TRASLAZIONE SCALA INVARIANTE DELLE STIME CON IL METODO DIRETTO AFS	61
5.4. PORTATA DI PIENA DEL TORRENTE NERVIA A ISOLABONA: STIMA CON IL METODO INDIRETTO DELLA SIMULAZIONE IDROLOGICA	62
5.4.1. <i>Metodo dell'evento critico</i>	62
5.4.2. <i>Calcolo della piena indice tramite simulazione dell'evento critico</i>	64
5.4.3. <i>Calcolo della portata al colmo di piena T-ennale</i>	65

5.5. STIMA DEI COLMI DI PIENA IN SEZIONI NON STRUMENTATE TRAMITE IL METODO DELLA SIMULAZIONE DELL'EVENTO CRITICO	66
5.5.1. <i>Proprietà dei sottobacini di interesse</i>	66
5.5.2. <i>Calcolo della sollecitazione pluviometrica</i>	66
5.5.3. <i>Calcolo del fattore CN e dei tempi di ritardo</i>	68
5.5.4. <i>Calcolo delle piene per assegnato periodo di ritorno</i>	69
5.6. CONFRONTO CON LE STIME DEL PIANO DI BACINO	70
6. IDROGRAMMI DI RIFERIMENTO	73
6.1. SIMULAZIONE DELL'EVENTO IDROMETEOROLOGICO CRITICO	73
6.2. SIMULAZIONE DEGLI IDROGRAMMI EQUIVALENTI	77
6.3. IDROGRAMMI DI PIENA NELLE SEZIONI NON STRUMENTATE	82
6.4. IDROGRAMMI DI PIENA CONDIZIONATI	82
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	84
BIBLIOGRAFIA	86
APPENDICE A. MODELLAZIONE DI EVENTI DI PIENA	90
A.1. IMPOSTAZIONE DEL PROBLEMA DI IDENTIFICAZIONE DEL MODELLO	90
A.2. MODELLO IDROLOGICO DI PIENA	90
A.2.1. <i>Modello Auto-affine di attenuazione</i>	90
A.2.2. <i>Metodo SCS_CN</i>	91
A.2.3. <i>Metodo IUH_GAMMA</i>	93
A.3. TARATURA E VALIDAZIONE DEL MODELLO	93
A.3.1. <i>Stima del parametro CN su base cartografica</i>	93
A.3.2. <i>Calibrazione tramite simulazione di evento</i>	96
A.3.3. <i>Validazione del modello</i>	98
APPENDICE B. CONSIDERAZIONI SULLE SCALE DI DEFLUSSO DEL TORRENTE NERVIA A ISOLABONA	100
B.1. LA STAZIONE DI ISOLABONA	100
B.2. VALUTAZIONE DELLA SCALA DI DEFLUSSO PER L'ANNO 1966	100
B.3. EVOLUZIONE DELLA SCALA DI DEFLUSSO DEL TORRENTE NERVIA A ISOLABONA	105
APPENDICE C. TABELLE DEGLI IDROGRAMMI DI RIFERIMENTO NELLE SEZIONI SALIENTI DEL BACINO DEL TORRENTE NERVIA	107

Premessa

Il presente rapporto finale viene reso quale prodotto della consulenza conferita da parte della Provincia di Imperia al Politecnico di Milano, Dipartimento di Ingegneria Idraulica, Ambientale, Infrastrutture Viarie e Rilevamento, Sezione Costruzioni Idrauliche e Marittime e Idrologia, e attuata sotto la responsabilità del Prof. Renzo Rosso, responsabile della Sezione stessa.

Il rapporto fornisce una valutazione della portata al colmo massima annuale con periodo di ritorno compreso tra 10 e 500 anni per le sezioni idrografiche di interesse del torrente Nervia e dei suoi affluenti, corrispondenti ai siti identificati lungo la rete idrografica in sede di pianificazione di bacino.

A tal fine il lavoro svolto si avvale dei dati storici e delle osservazioni idrologiche disponibili, nonché dei dati territoriali dell'area in esame, che vengono impiegati onde particolarizzare nei siti di interesse la tecnica di valutazione regionale proposta del metodo VAPI del CNR-GNDICI, riferita alla zona omogenea in cui ricade la Liguria tirrenica. In questo contesto, è stato costruito, tarato e validato anche un modello di trasformazione afflussi-deflussi per la valutazione indiretta dalla piena indice e sono state elaborate le stime statistiche per la caratterizzazione del regime pluviale dei nubifragi.

Il rapporto fornisce altresì gli idrogrammi di riferimento negli stessi siti, ai fini dello studio di dettaglio della pericolosità idraulica nelle aree potenzialmente inondabili e della progettazione di opere di sistemazione idraulica della rete idrografica.

Introduzione

La consulenza è finalizzata a fornire una valutazione della portata al colmo massima annuale con assegnato periodo di ritorno per le sezioni idrografiche di interesse della rete idrografica del torrente Nervia, corrispondenti ai siti già identificati a suo tempo lungo tale rete idrografica in sede di pianificazione di bacino.

Essa fornisce altresì gli idrogrammi di riferimento negli stessi siti, ai fini dello studio di dettaglio della pericolosità idraulica nelle aree potenzialmente inondabili e della progettazione di opere di sistemazione idraulica della rete idrografica.

A tale fine, lo studio ha integrato le informazioni e le elaborazioni a scala locale, in base ai dati storici ed alle osservazioni idrologiche disponibili per il bacino di interesse, con i risultati ottenuti tramite la regionalizzazione statistica, riferita alla zona omogenea in cui ricade la Liguria tirrenica, secondo le indicazioni del progetto VAPI del CNR-GNDCI.

Nel corso dell'attività svolta, sono stati sviluppati i seguenti prodotti.

Parametrizzazione della LSPP per ogni sito stazione dei bacini del Torrente Nervia secondo il modello probabilistico GEV (Generalized Extreme Value) scala-invariante. Il modello, necessario agli sviluppi successivi dello studio, consente la valutazione dell'altezza (o del tasso medio) di precipitazione temibile a scala locale al variare della durata temporale con qualsivoglia periodo di ritorno (compreso indicativamente tra 10 e 200 anni). Questo aspetto è trattato nel Capitolo 4.

Sviluppo del tematismo cartografico dell'indice di assorbimento CN SCS. Il prodotto, necessario agli sviluppi successivi dello studio, fornisce una valutazione di dettaglio della capacità di assorbimento locale del terreno in ragione della natura geolitologica dei suoli e dell'uso del suolo. Questo aspetto è trattato nel Capitolo 3.

Valutazione della portata al colmo per assegnato periodo di ritorno. Il prodotto, fornito in forma grafica e tabellare, consiste nei valori di portata al colmo temibile per assegnati valori del periodo di ritorno compresi tra 10 e 500 anni, per ciascuna sezione idrografica di interesse, identificata in sede di pianificazione di bacino. Questo aspetto è trattato nel Capitolo 5.

Valutazione degli idrogrammi di riferimento. Il prodotto, fornito in forma grafica e tabellare, consiste nell'idrogramma critico associato al valore di portata al colmo 50-ennale, nonché gli idrogrammi equifrequenziali associati a valori pari al 90% e al 75% di tale portata. Lo stesso prodotto viene fornito con riferimento al valore della portata al colmo 200-ennale per ciascuna sezione idrografica di interesse, identificata lungo la rete idrografica in sede di pianificazione di bacino. Questo aspetto è trattato nel Capitolo 6.

Per lo svolgimento dello studio, sono stati altresì esaminati in via preliminare i precedenti studi, che furono condotti in passato ai fini delle valutazioni di piena per il Piano di Bacino, che sono stati forniti ai consulenti dalla committente Provincia di Imperia. Questo aspetto è trattato nel Capitolo 1.

Nel Capitolo 2, infine, si richiamano le metodologie adottate in questa sede ai fini delle valutazioni condotte in materia di portata al colmo e di volume di piena, mentre nel Capitolo 3 si riferisce delle attività di raccolta e organizzazione dei dati utilizzati.

1. Analisi preliminare degli studi precedenti

In via preliminare, sono stati presi in esame gli studi idrologici sulle massime piene fatti pervenire dalla Provincia di Imperia. In particolare, è stato esaminato lo studio idrologico contenuto nel Piano di Bacino del torrente Nervia (rispettivamente contenute nel Capitolo 2, Paragrafo 2.8, del Piano di Bacino dell'Ambito 2, Nervia).

Nel seguito, si riporta una breve disamina di tali studi e dei risultati ottenuti, utile alla definizione delle metodologie da adottare ai fini della valutazione idrologica di portate e idrogrammi di piena per gli studi idrologico-idraulici di dettaglio, la pianificazione e la progettazione delle azioni di mitigazione del rischio alluvionale.

1.1. Precipitazioni intense e portate di piena del Piano di Bacino dell'Ambito 2, Nervia

1.1.1. REGIME PLUVIALE DEI NUBIFRAGI

Per le stazioni pluviometriche di Ventimiglia, Pigna, Rocchetta Nervina e Colle Belenda sono stati presi in esame le piogge massime annuali per durate comprese tra 1 e 24 ore (con l'aggiunta di un campione parziale di piogge sub-orarie per le stazioni di Pigna, Rocchetta Nervina e Colle Belenda). In base a tali dati, le serie sono state "regolarizzate" utilizzando la distribuzione di probabilità del valore estremo di I tipo (legge di Gumbel) per la valutazione delle "curve di possibilità climatica". Nella documentazione del Piano di Bacino pervenuta non sono comunque contenuti i risultati di queste analisi, in quanto non sono riportate né le stime dei parametri, né le previsioni per assegnato periodo di ritorno. Apparentemente, il Piano di Bacino non dispone quindi di previsioni statistiche dei nubifragi, così che non è possibile valutare nei siti delle stazioni né il valore atteso della precipitazione con diversa durata, né la previsione di tale grandezza per i diversi periodi di ritorno di interesse. In assenza di tali indicazioni, è quindi necessario provvedere a una valutazione statistica delle caratteristiche dei nubifragi al fine di garantire l'informazione necessaria per l'esecuzione di studi idrologico-idraulici di dettaglio.

Il Piano di Bacino non confronta criticamente tali risultati con quanto previsto dal modello DRIFT, non dettagliato nella relazione tecnica del Piano stesso, e utilizzato in seguito per le valutazioni di portata al colmo.

In proposito, si rileva come l'ipotesi di regionalizzazione adottata in ingresso al modello DRIFT, ossia l'invarianza regionale dell'esponente di scala della "curve di possibilità climatica" sia statisticamente confutabile in base alle osservazioni locali di molte stazioni pluviografiche della Liguria Tirrenica (v. Fig. 1.1.1). Inoltre, le precipitazioni in ingresso al modello DRIFT trascurano la variabilità del parametro di scala (coefficiente pluviometrico) di tali curve, assumendo un valore costante con la longitudine.

E' quindi necessario provvedere a un aggiornamento della valutazione statistica delle caratteristiche dei nubifragi al fine di garantire l'informazione necessaria per l'esecuzione di studi idrologico-idraulici di dettaglio. Questa attività viene riportata nel Capitolo 4 del presente rapporto.

Esponente di scala n al variare della longitudine in Liguria

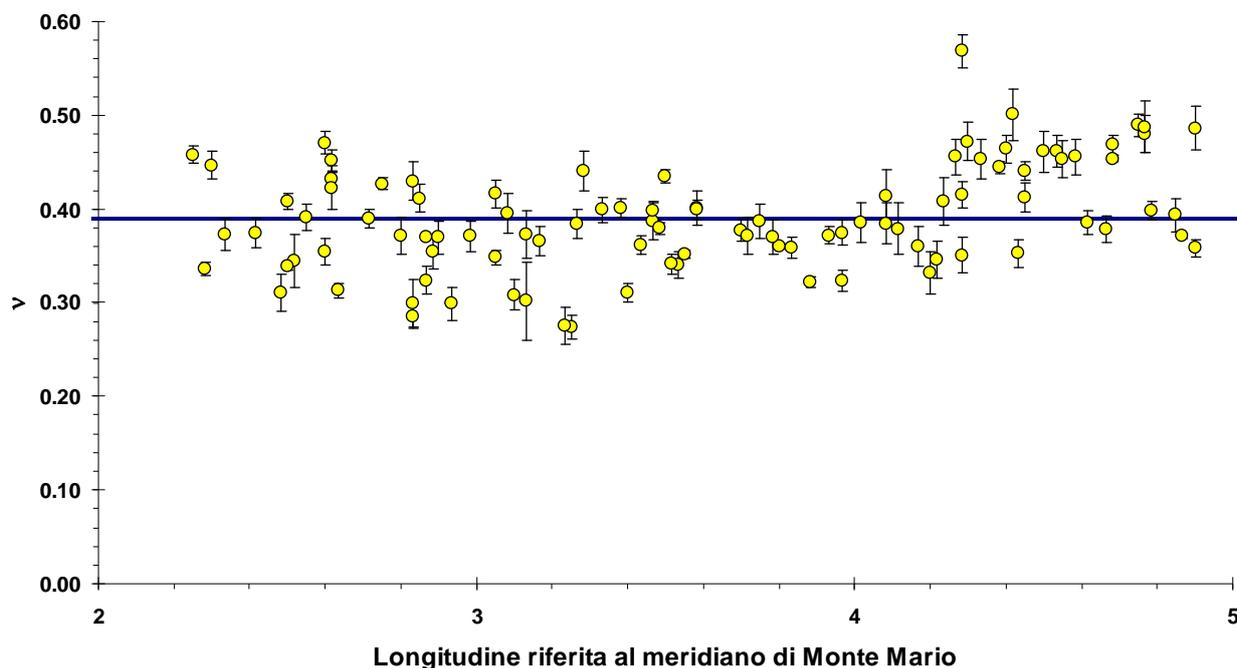


Figura 1.1.1. Variabilità campionaria dell'esponente di scala v delle curve di possibilità climatica, ricavabile dalle osservazioni locali delle stazioni pluviometriche della Liguria Tirrenica. Le barre di errore sono riferite all'errore standard di stima (limiti sigma). La linea continua mostra l'ipotesi di invarianza dell'esponente di scala che è stata adottata nel modello DRIFT.

1.1.2. PORTATA AL COLMO DI PIENA

Una valutazione preliminare è stata condotta utilizzando semplici formule empiriche di valutazione della portata al colmo, che si basano sulla formula razionale e utilizzano in ingresso i valori di precipitazione ricavati dalle curve di possibilità climatica, non riportati. Tra le assunzioni fatte nell'applicazioni di tali formule di calcolo speditivo, viene ipotizzata la totale impermeabilità dei bacini scolanti (ossia "coefficiente di deflusso assunto pari a 1", p.93). Vengono così valutate le seguenti portate al colmo alla sezione di chiusura:

- 1060 mc/s con periodo di ritorno 50-ennale,
- 1290 mc/s con periodo di ritorno 200-ennale,
- 1450 mc/s con periodo di ritorno 500-ennale.

Questa metodologia fornisce la massima portata al colmo corrispondente a una precipitazione di assegnato periodo di ritorno. In pratica, si assume l'ipotesi di isofrequenza tra precipitazioni di durata pari al tempo di corrivazione del bacino e portate al colmo. I valori di massima piena, che si ricavano tramite questa metodologia, sono quindi caratterizzabili, in termini di frequenza o periodo di ritorno, dalla frequenza o dal periodo di ritorno della precipitazione generatrice. Sebbene tale ipotesi non sia a priori verificata, a causa del comportamento non lineare del bacino idrografico, tale approccio fornisce una valutazione di prima approssimazione della effettiva distribuzione dei picchi di piena. A livello di piano, vengono però adottati i seguenti valori suggeriti da uno studio regionale condotto dalla Università di Genova (cfr. CIMA, *Caratterizzazione delle Precipitazioni Intense e*

delle Portate di Piena per i Bacini Liguri, Regione Liguria, 1999) in base la modello DRIFT, di cui non viene riportato nella documentazione del Piano di Bacino stesso alcun riferimento bibliografico, né alcuna sintesi metodologica:

- ☑ 1310 mc/s con periodo di ritorno 50-ennale,
- ☑ 1900 mc/s con periodo di ritorno 200-ennale,
- ☑ 2280 mc/s con periodo di ritorno 500-ennale.

Per quanto è a conoscenza dei consulenti, il modello DRIFT pare adottare anch'esso l'ipotesi di isofrequenza tra regime dei nubifragi e dei deflussi. Non essendo oggetto di questa consulenza un'analisi di dettaglio dello studio di cui sopra, si rileva la notevole discrepanza dei risultati, poiché le stime adottate sono di gran lunga superiori a quelle condotte con le formule speditive precedentemente citate, le quali sono a loro volta apparentemente cautelative, in quanto basate sull'assunto della totale impermeabilità delle superfici del bacino. E si osserva come tale ipotesi non sia congruente con quanto riportato nella stessa caratterizzazione delle aree scolanti che fa parte integrante del Piano di Bacino stesso.

Vale quindi la pena di approfondire l'analisi, soprattutto in ragione della mancanza di validazione dei risultati fin qui proposti, in quanto non sono riportate analisi idrologiche di dettaglio sulla base di osservazioni di pioggia e portata.

1.2. Osservazioni

Gli studi condotti considerano inaffidabile la possibilità di utilizzare le osservazioni idrologiche *in situ*, sia a scopo di previsione statistica diretta, sia a fini di validazione dei modelli idrologici da impiegare per ricavare previsioni indirette di massima piena.

Nel caso del Torrente Nervia si osserva come il Servizio Idrografico (poi Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale) abbia condotto osservazioni sistematiche di portata nella stazione di Isolabona, a partire dal 1922, validate dal Servizio stesso, anche se, come si osserva in seguito, si riscontrano alcune incongruenze, talora ascrivibili a errori materiali di trascrizione, talora a incertezze di valutazione della scala di deflusso.

In particolare, le pubblicazioni del Servizio Idrografico consentono di disporre di una serie di 34 anni di osservazioni della portata massima annuale al colmo di piena a Isolabona, dove il torrente sottende un bacino di 123 Km². Il diagramma di Figura 1.2.1 mostra tali dati (ordinati secondo la teoria statistica degli estremi) che vengono riportati sul piano di Gumbel, assieme alla loro regolarizzazione tramite la distribuzione Generalizzata del Valore Estremo (GEV, Generalized Extreme Value). Per quanto la stima locale sia affetta da notevoli incertezze per valori del periodo di ritorno superiori al doppio della numerosità degli anni di osservazione (Benson, 1961), le osservazioni sperimentali suggeriscono un approfondimento dell'analisi idrologica al fine di superare le discrepanze scaturite dai diversi studi.

Va peraltro rilevato come la serie storica torrente Nervia a Isolabona fosse stata giudicata statisticamente inconsistente nello studio preliminare per la preparazione del Progetto VAPI del CNR-GNDICI (cfr. Adom et al., 1987).

La scarsa affidabilità della serie storica è confermata anche dal confronto tra dati massimi al colmo e dati medi giornalieri, così come riportati dagli Annali Idrologici dell'ex-SIMN, illustrato sinteticamente in Figura 1.2.2. Oltre all'anomalia della piena dell'evento del 1966, dove il rapporto tra colmo e media giornaliera è pari a circa 9, e di cui si discuterà in seguito, si nota come si

riscontrino altri valori affatto anomali di tale rapporto. In vari casi (24 aprile 1951, 25 febbraio 1964) i valori coincidono, facendo presumere che, in qualche caso, trattasi di trascrizioni di osservazioni giornaliere ad ora fissa; in ben 10 casi il rapporto è inferiore 1.5, in 19 casi inferiore a 2, tutti valori anomali in relazione al regime torrentizio del corso d'acqua.

La sensibilità del campione rispetto al dato del 1966, revisionato nel seguito nell'ambito di una specifica analisi sull'evoluzione della scala di deflusso di Isolabona (v. Appendice B) evidenzia come, ristimando il dato di portata sulla base di considerazioni sull'assetto idraulico della sezione, la curva locale cambi radicalmente nel campo delle basse frequenze.

Questa ulteriore considerazione porta a suggerire anche un approfondimento sull'efficienza della stazione di misura nel corso del tempo e delle relative osservazioni sperimentali.

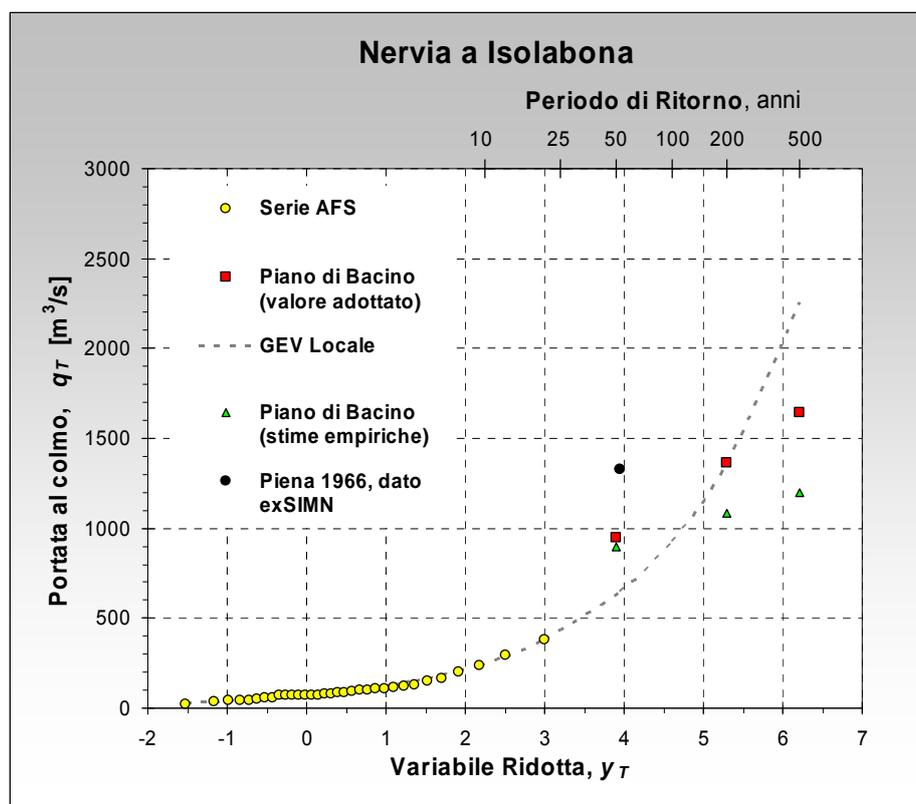


Figura 1.2.1. Variabilità campionaria delle osservazioni ordinate di portata al colmo di piena registrate nella stazione idrometrica di Isolabona (Torrente Nerva) e loro regolarizzazione tramite la distribuzione GEV. Viene adottata la plotting position APL, coerente con il modello GEV. I punti riportano le stime del Piano di Bacino (simbolo quadrato) quelle relative allo studio CIMA (riportate anch'esse nel PdB del Nerva, simbolo triangolare) riferite alla sezione Nerva 4 (con un'area contribuyente pari a 128.45 Km²) e riscalate con A^m , con $m = 0.75$ rispetto alla sezione di Isolabona, dove A indica la superficie del bacino imbrifero sotteso.

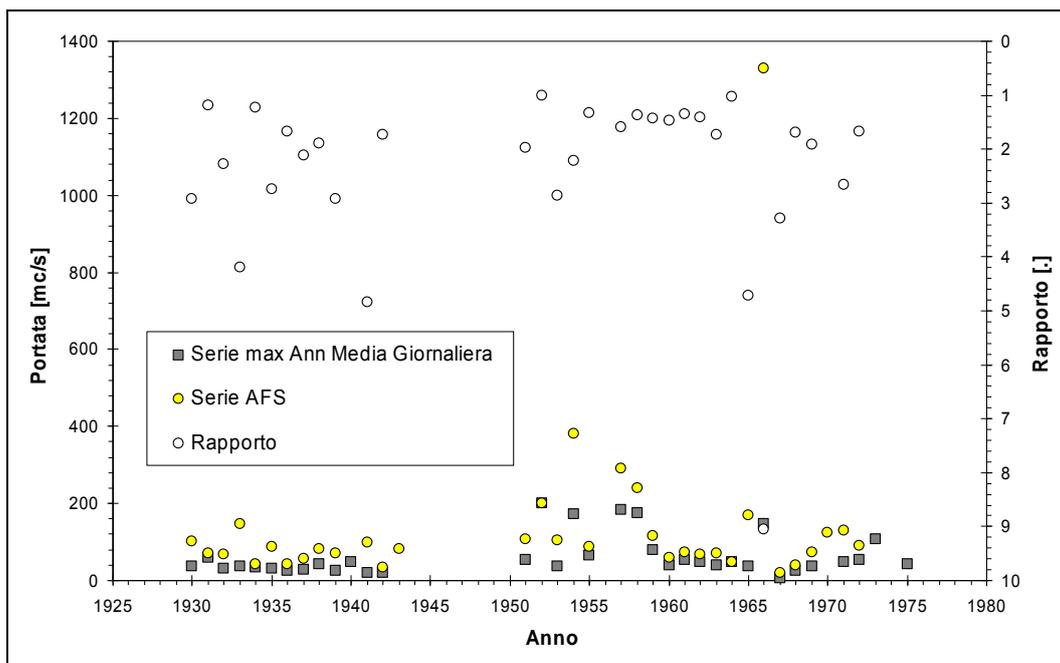


Figura 1.2.2. Confronto tra i dati di massimo annuale, in base alle osservazioni registrate dagli Annali Idrologici (Parte II e Pubblicazione n.17) e dei relativi valori di massimo medio giornaliero (Annali Idrologici, Parte II) del torrente Nerva per la stazione idrometrica di Isolabona

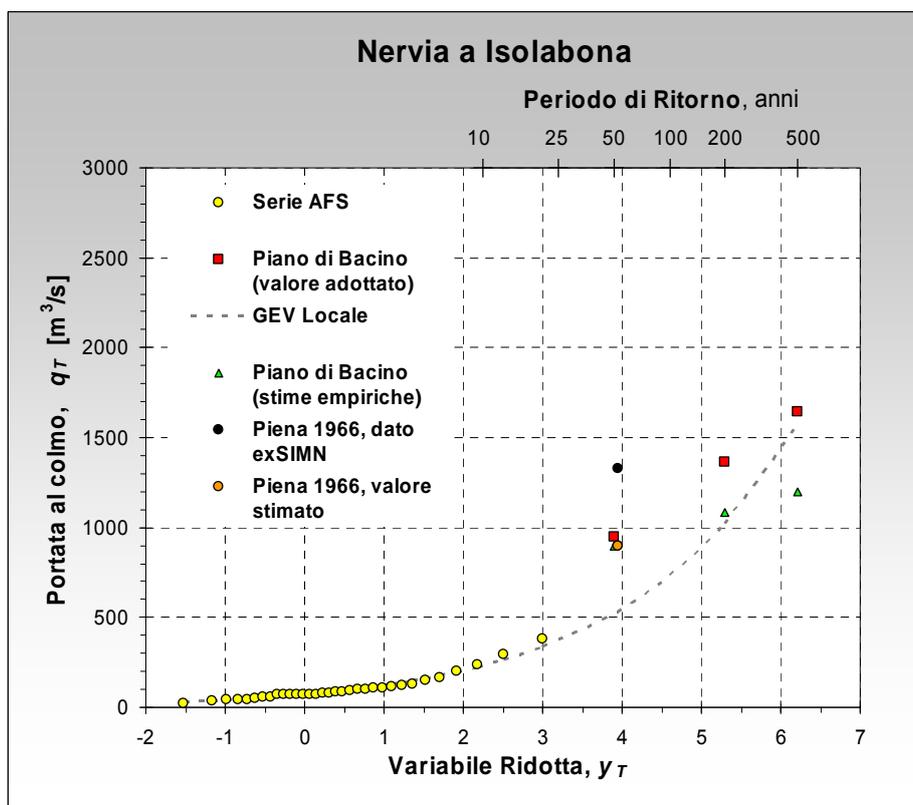


Figura 1.2.1. Variabilità campionaria delle osservazioni ordinate di portata al colmo di piena registrate nella stazione idrometrica di Isolabona (Torrente Nerva) e loro regolarizzazione tramite la distribuzione GEV (con rivalutazione del dato della piena del 1966).

2. Definizione delle metodologie di analisi

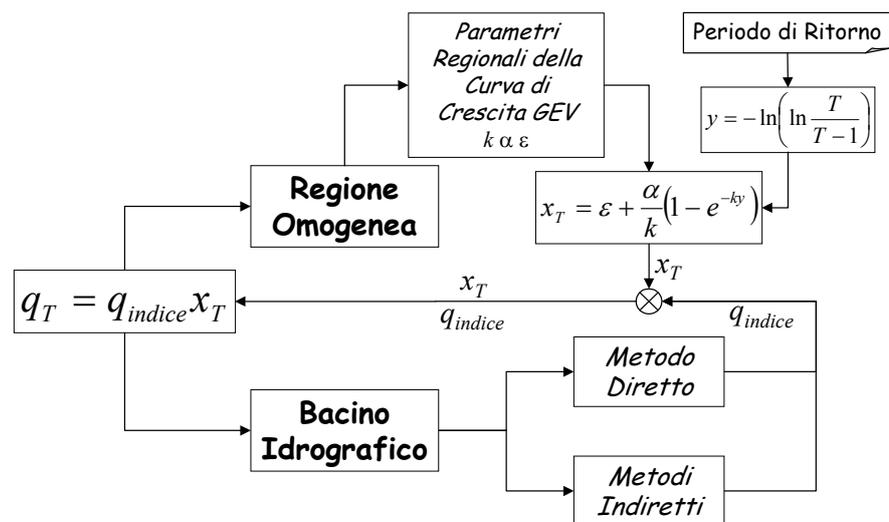
2.1. Metodo della portata indice

La procedura di valutazione della portata al colmo di piena si basa sul metodo della portata indice (Darlymple, 1960). Esso integra l'informazione idrometrica a scala regionale con l'analisi idrologica di dettaglio dell'assetto del bacino idrografico sotteso dalla sezione fluviale di interesse. In pratica, il metodo porge la portata al colmo temibile sotto forma di prodotto di due fattori: il *fattore di crescita*, x_T , valutato a scala regionale, e la *portata indice*, q_{indice} , valutata a scala di bacino per lo specifico sito fluviale preso in esame. Si ha quindi

$$q_T = q_{indice} x_T, \quad (2.1)$$

dove q_T indica il valore della portata al colmo che può venire superato con periodo di ritorno T , in anni (vedi Figura 2.1.1). Per il suo significato probabilistico, il valore di q_T viene anche denominato quantile T -ennale.

Figure 2.1.1. Schema di calcolo della massima portata temibile in un sito fluviale per un assegnato periodo di ritorno di T anni.



Il fattore di crescita misura la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze; infatti, il rapporto tra due valori di portata con diversi periodi di ritorno $q_T/q_{T''} = x_T/x_{T''}$ risulta una costante caratteristica della regione omogenea per qualsiasi coppia di valori T' e T'' del periodo di ritorno. La portata indice, invece, è una grandezza locale caratteristica del sito fluviale preso in esame, il cui valore dipende dalle caratteristiche climatiche, geologiche, geomorfologiche, idrografiche e dall'uso del suolo del bacino idrografico sotteso dal sito stesso.

Il metodo della portata indice, basato sulla regionalizzazione statistica, muove dal presupposto che, per via dell'intrinseca carenza di informazione in una singola serie di osservazioni di piena al fine di estrapolarne le previsioni a bassa frequenza, sia possibile sostituire lo *spazio* al *tempo*. Con questa impostazione, l'insieme delle osservazioni idrometriche di una regione omogenea viene impiegato per esplorare un campo di frequenze osservate di gran lunga superiore a quello coperto da una singola serie di osservazioni. A tale scopo, la metodologia prende in esame una serie indicizzata o

rinormalizzata di dati di portata al colmo, che presenta una lunghezza sufficiente a stabilire la frequenza degli eventi rari, ossia dei valori di portata indicizzata con elevato periodo di ritorno.

Per i siti fluviali dove sono localizzate stazioni idrometrografiche dotate di affidabile scala delle portate si pone, in via preliminare, il problema se convenga utilizzare il metodo della portata indice, ovvero eseguire più semplicemente una estrapolazione statistica dei dati osservati nel sito in esame. In via affatto indicativa, l'analisi di una singola serie di n' dati di portata al colmo massima annuale, non consente ragionevolmente di prevedere valori di portata temibile con periodo di ritorno superiore a $2n'$ (Benson, 1961; Committee on Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods, 1988).

2.2. Valutazione del fattore di crescita

Il fattore di crescita x_T che compare nella formula (2.1) viene determinato applicando a scala regionale il modello probabilistico generalizzato del valore estremo, ossia la distribuzione GEV della variabile aleatoria $X = Q/q_{indice}$, dove Q indica il massimo annuale della portata al colmo e la portata indice per il generico sito fluviale corrisponde al valore atteso dei massimi annuali di portata al colmo nel sito stesso.

In questo caso, la relazione tra x e T , detta anche *curva di crescita*, risulta espressa dalla relazione

$$x_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left(1 - e^{-ky_T} \right), \quad (2.2)$$

dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel, funzione del periodo di ritorno T in anni, data da

$$y_T = -\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right), \quad (2.3)$$

mentre i parametri k , α ed ε rappresentano, rispettivamente, il parametro di forma, il parametro di scala e il parametro di posizione della distribuzione¹.

I confini delle regioni omogenee di piena dell'Italia Nord Occidentale sono delineati in Figura 2.2.1 e, per l'area di interesse, che corrisponde alla Regione Omogenea C, in Tabella 2.2.1.

Per la Regione Omogenea C, che comprende l'intera Liguria Tirrenica, in Tabella 2.2.2 sono riportati i relativi valori dei parametri k , α ed ε stimati con il metodo *L-moments*; le curve di crescita sono anche tracciate nell'abaco di Figura 2.2.2, mentre la Tabella 2.2.3 riporta i valori del fattore di crescita per alcuni valori salienti del periodo di ritorno.

L'identificazione delle regioni omogenee qui presa a riferimento è quella condotta sviluppando l'impostazione multi-livello di De Michele & Rosso (2002) estesa poi a scala nazionale da

¹ La CDF della distribuzione di probabilità GEV (Jenkinson, 1955) è data dalla funzione

$$F_X(x) = \Pr[X \leq x] = \exp \left\{ - \left[1 - \frac{k(x - \varepsilon)}{\alpha} \right]^{1/k} \right\},$$

che, per $k = 0$, degenera nella CDF della distribuzione di Gumbel o EV1,

$$F_X(x) = \Pr[X \leq x] = \exp \left[- \exp \left(- \frac{x - \varepsilon}{\alpha} \right) \right].$$

Bocchiola et al. (2004). Il criterio guida è costituito dal metodo della omogeneità stagionale (Pardè, 1947; Burn, 1997) applicato alle piene massime annuali, i cui risultati sono stati poi sottoposti a verifica utilizzando un ventaglio di criteri, che comprende

- sia il controllo della proprietà di invarianza di scala in senso statistico della portata al colmo di piena (Rosso et al., 1996);
- sia il controllo di omogeneità statistica con i metodi di Wiltshire (1986) e di Hosking & Wallis (1993);
- sia il controllo di bontà dell'adattamento con metodi inferenziali specifici per la distribuzione GEV, quali il test di Anderson-Darling modificato (Ahmad et al., 1988) e il test di Kolgomorov-Smirnov modificato (Chowdhury, 1991).

Ai fini della regionalizzazione, De Michele & Rosso (2002) e Bocchiola et al. (2004) hanno preso in considerazione i dati disponibili a livello nazionale da fonte ex-SIMN. Nel caso della Liguria Tirrenica, il set di dati è stato anche aggiornato al 1993 tramite uno studio specifico. Per l'area in esame è stato condotto un preliminare controllo statistico di qualità secondo quanto indicato da Adom et al. (1988). In Tabella 2.2.4 sono inoltre riportati gli esponenti caratteristici della proprietà di invarianza di scala della portata al colmo massima annuale Q al variare della superficie A del bacino sotteso.

La stima dei parametri della legge GEV regionale è stata condotta in base ai dati di portata al colmo di piena massima annuale (serie AFS) riportati fino all'anno 1970 dalla Pubblicazione n.17 dell'ex Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN). Grazie alla collaborazione della Sezione di Genova dell'ex-SIMN De Michele & Rosso (2000) hanno altresì integrato il campione della Liguria Tirrenica con i dati relativi al periodo 1970-1993 desunti dalle registrazioni idrometrografiche disponibili. Va peraltro osservato come tale integrazione non comporti una sostanziale variazione della curva di crescita stimata (Fig. 2.2.3). Per la stima dei parametri è stato utilizzato il metodo *L-moments*, che, tra i diversi procedimenti inferenziali, fornisce le prestazioni più robuste in caso di distribuzione GEV (Hosking, 1990; Stedinger et al., 1992).

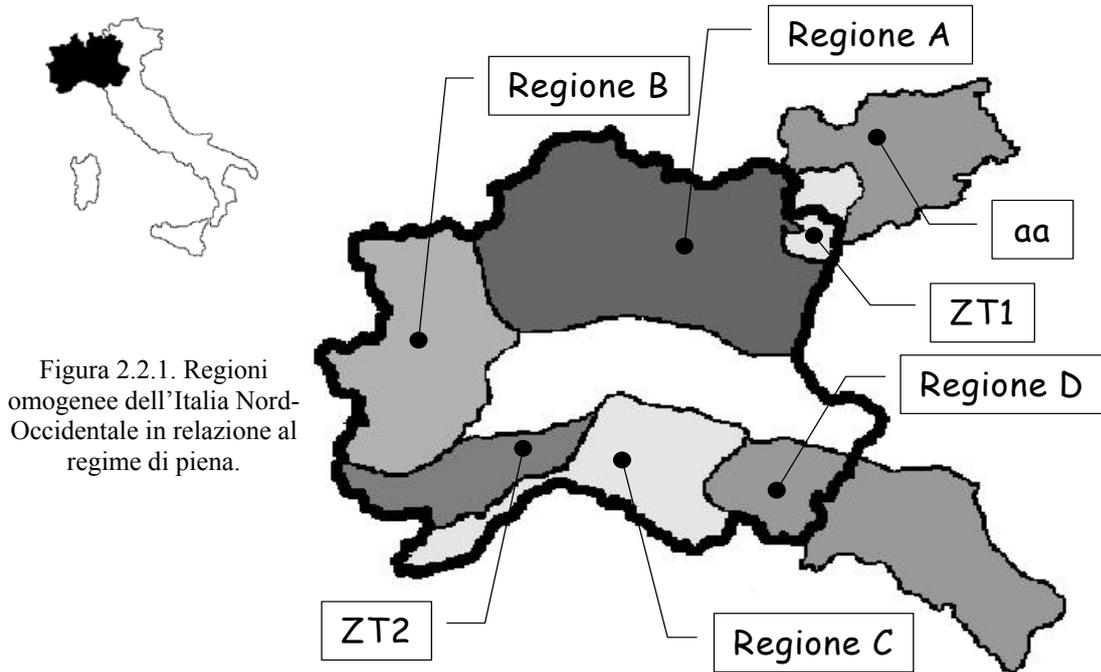


Figura 2.2.1. Regioni omogenee dell'Italia Nord-Occidentale in relazione al regime di piena.

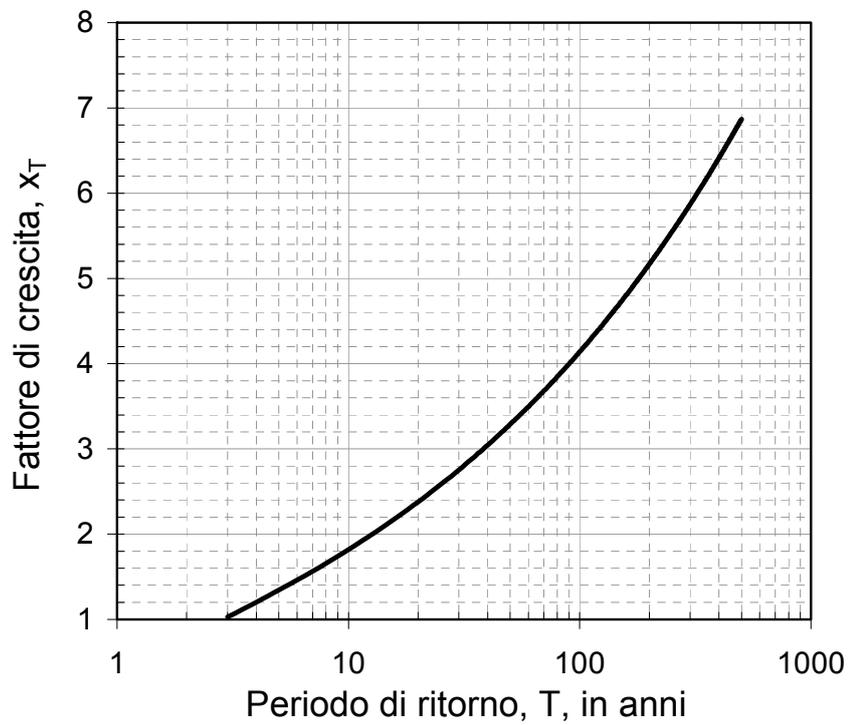


Figura 2.2.2. Curva di crescita GEV regionale dell'Italia Nord-Occidentale: Regione Omogenea C, che comprende la Liguria tirrenica.

Tabella 2.2.1. - Regioni omogenee di piena dell'Italia Nord Occidentale di interesse per il territorio della Liguria Tirrenica e loro campo di validità in funzione dell'area A del bacino idrografico sotteso.

Regione	Area idrografica	A, km ²
C Appennino Nord Occidentale e Bacini Tirrenici	Bacini liguri con foce al litorale tirrenico e bacini padani dallo Scrivia al Taro	15÷1500

Tabella 2.2.2 - Parametri della distribuzione GEV del fattore di crescita x_T per le regioni omogenee di piena dell'Italia Nord Occidentale di interesse per il territorio della Liguria Tirrenica (n indica la numerosità del campione utilizzato).

Regione	n	α	ε	k
C Appennino NO & Bacini Tirrenici	753	0.377	0.643	-0.276

Tabella 2.2.3 – Valori del fattore di crescita x_T per alcuni valori salienti del periodo di ritorno T .

Regione	Periodo di Ritorno, anni (Variabile ridotta, y_T)					
	10 (2.250)	20 (2.970)	50 (3.902)	100 (4.600)	200 (5.296)	500 (A.214)
C Appennino NO & B. Tirrenici	1.82	2.38	3.29	4.14	5.17	6.87

Tabella 2.2.4 – Esponente caratteristico m della relazione di potenza tra la media osservata del massimo annuale di portata al colmo di piena e la superficie del bacino sotteso, $\bar{q} = \bar{q}(1)A^m$, a meno dell'errore standard di stima (in parentesi). Sono anche riportati i valori del contributo unitario caratteristico e del coefficiente di determinazione R^2 relativo alla regressione logaritmica.

Regione	m	$\bar{q}(1)$ m ³ s ⁻¹ km ^{-2m}	R^2_{\ln}
C Appennino Nord Occidentale & Bacini Tirrenici	0.750 (± 0.080)	5.200	0.78

Le valutazioni di piena comportano anche una valutazione dell'incertezza con cui le previsioni statistiche vengono calcolate. In generale, l'incertezza delle previsioni statistiche viene misurata dagli intervalli di confidenza dei quantili stimati della variabile aleatoria in esame. Fissato un livello di significatività α , cui corrisponde una confidenza pari a $100(1-\alpha/2)\%$, l'intervallo di confidenza del quantile rinormalizzato con assegnato periodo di ritorno è dato dai limiti

$$\hat{x}_T^- = x_T - \zeta_{\alpha/2} \sqrt{Var[\hat{x}_T]}, \text{ e } \hat{x}_T^+ = x_T + \zeta_{\alpha/2} \sqrt{Var[\hat{x}_T]} \quad (2.4)$$

dove il simbolo $\hat{\cdot}$ indica la stima del quantile x_T , e $\zeta_{\alpha/2} = \Phi^{-1}(1-\alpha/2)$ indica l'inversa della funzione di distribuzione di probabilità della variabile normale standard, $\Phi(\zeta) = \Pr[Z \leq \zeta]$, superato con una

probabilità pari a $a/2$. Occorre quindi determinare la varianza di stima $Var[\hat{x}_T]$, che dipende sia dalla distribuzione di probabilità, sia dal metodo di stima dei parametri.

In letteratura sono disponibili diverse formule per la valutazione di $Var[\hat{x}_T]$. La formulazione approssimata della varianza asintotica di stima del quantile x_T , ottenuta da Hosking et al. (1985) per la distribuzione GEV/PWM, dove i parametri della distribuzione sono stimati attraverso i momenti pesati in probabilità, può comportare imprecisioni per campioni di dimensioni esigue e, soprattutto, risulta di difficile impiego pratico per la sua complessità. Sulla base di simulazioni Montecarlo, Lu & Stedinger (1992) hanno ricavato una formula per la misura dell'errore di stima del quantile *GEV* nel caso di campioni di numerosità limitata, $40 \leq n \leq 70$, che in virtù della sua iperparametrizzazione presenta anch'essa una limitata applicabilità. La formula approssimata proposta da De Michele & Rosso (2001a) per la valutazione della varianza di stima del quantile adimensionale della GEV/PWM,

$$Var[\hat{x}_T] = \frac{\alpha^2}{n} \exp\{y_T \exp[-1.823k - 0.165]\}, \text{ per } k \leq 0, \quad (2.5)$$

dove y_T è la variabile ridotta di Gumbel, n è la numerosità del campione regionale rinormalizzato, α e k sono i parametri della distribuzione regionale *GEV*, fornisce buoni risultati sia per lunghe serie di dati, sia per campioni di numerosità limitata e si raccomanda nelle applicazioni pratiche per la sua semplicità.

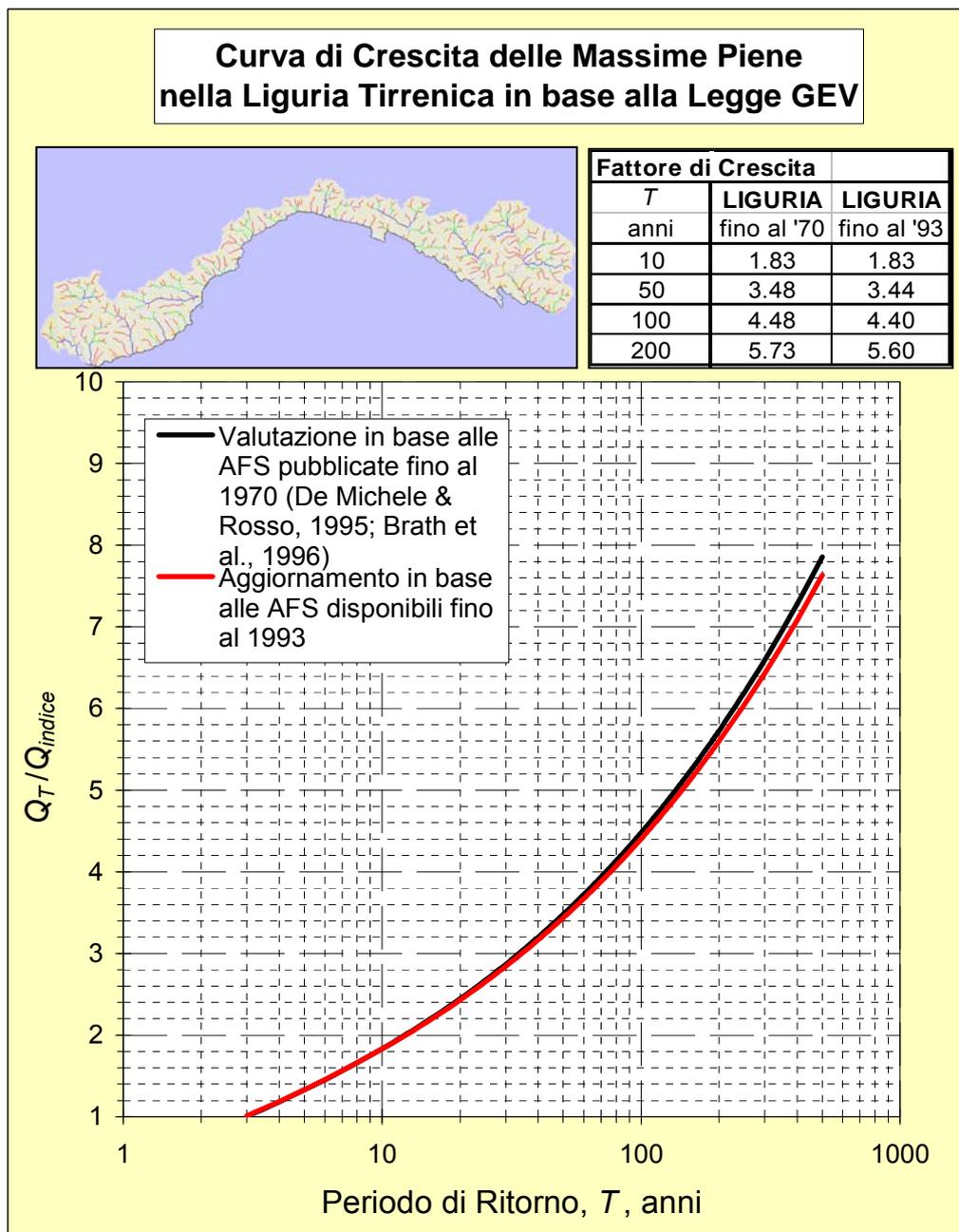


Figura 2.2.3. Curve di crescita GEV regionale della Liguria tirrenica in base al campione statistico analizzato (Pubbl. n.17 ex-SIMN e serie integrata). per coerenza di confronto, le curve stimate si riferiscono al sottocampione dei bacini liguri con foce al litorale tirrenico, oggetto dell'integrazione dei dati, e non all'intera Regione C.

In via preliminare, si può confrontare la curva di crescita locale, quale risulta dalle osservazioni di portata al colmo massima annuale (dimensione del campione: 34 anni di osservazioni, v. Capitolo 5) rilevata dalla stazione di Isolabona sul Torrente Nervia, con la curva di crescita regionale della Regione Omogenea C, che comprende la Liguria Tirrenica (v. Figura 2.2.4). Si osserva come i dati rinormalizzati rispetto alla portata indice, che risulta dalla media campionaria dei dati osservati, non siano del tutto consistenti con la curva regionale. Al contrario, la serie dei dati di portata massima annuale, media giornaliera, ha un andamento paradossalmente più coerente con quello della curva di crescita regionale.

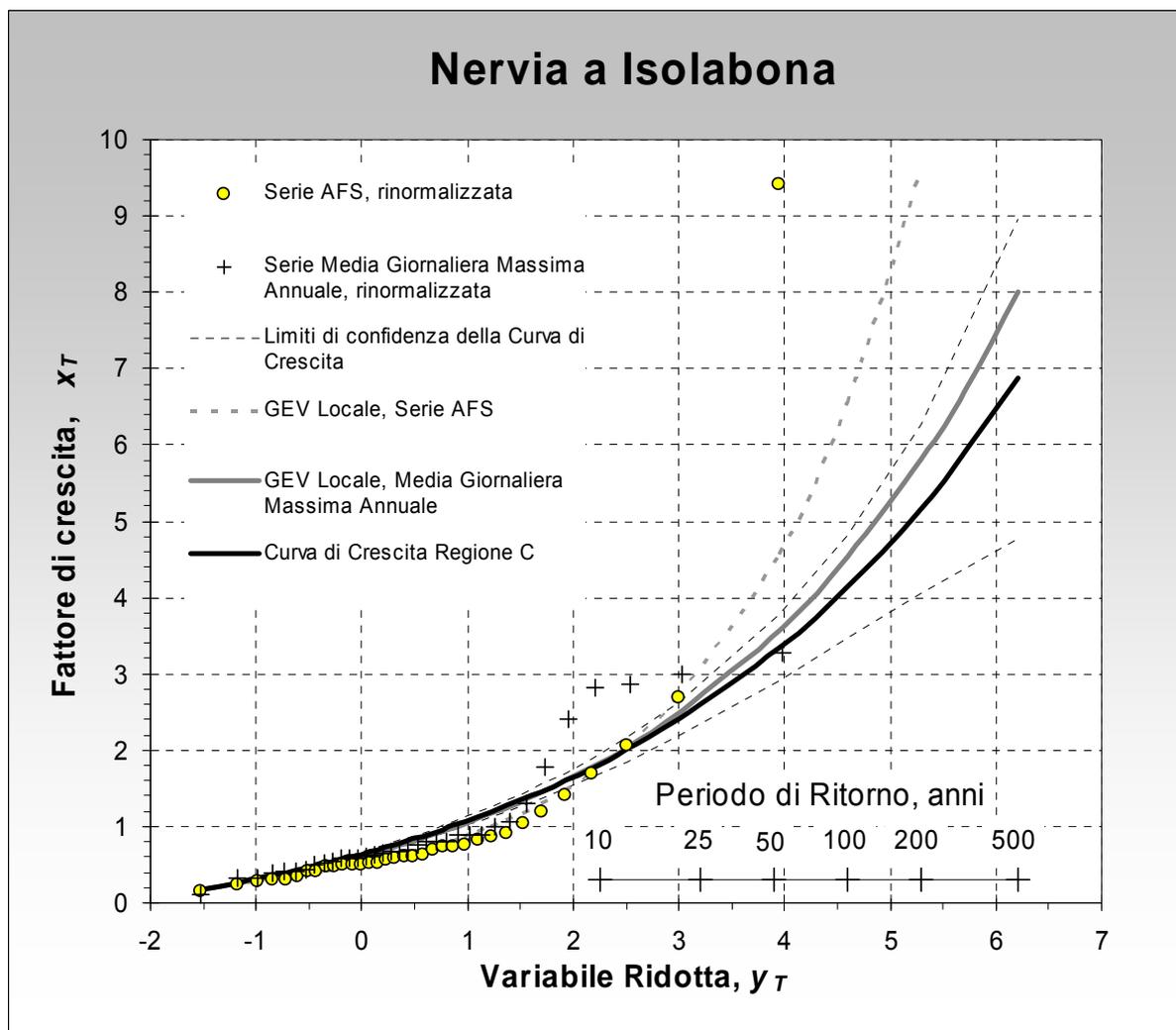


Figura 2.2.4. Curva di crescita GEV regionale della Liguria tirrenica e campione rinormalizzato della portata al colmo massima annuale del Torrente Nervia a Isolabona. La curva è tracciata sul piano di Gumbel. Sono anche riportate le stime, rinormalizzate rispetto alla media osservata, riportata dalle pubblicazioni dell'ex-SIMN. Si noti come le osservazioni siano anomale rispetto alla curva di crescita, soprattutto per le alte frequenze (ossia per i periodi di ritorno inferiori a 10 anni).

2.3. Valutazione della portata indice

In virtù del modello probabilistico adottato, la portata indice ha un periodo di ritorno pari a 2.86 anni. Questa considerazione permette di valutare, ancorché in modo affatto approssimato e qualitativo, il valore della portata indice in un sito di interesse in base a osservazioni e ricostruzioni di piena e/o tramite considerazioni sulla geomorfologia fluviale.

Per valutare in modo quantitativo la portata indice, q_{indice} , ossia il valore atteso di portata al colmo massima annuale che particolarizza la formula (2.1) per un generico sito fluviale di interesse, si possono applicare diverse metodologie.

Esse comprendono sia metodi diretti, sia metodi indiretti, caratterizzati da vario grado di complessità. Con i metodi diretti il valore di q_{indice} viene calcolato dalle statistiche osservate in situ ed è utilizzabile se e soltanto se, nel sito in esame, sono disponibili sufficienti osservazioni dirette di portata al colmo. Con i metodi indiretti il valore di q_{indice} viene derivato, per via della carenza o dell'insufficienza di osservazioni dirette, da quello di grandezze esogene. Va subito premesso come la scelta di una particolare metodologia dipenda sia dall'informazione disponibile, sia dall'affidabilità della previsione statistica che viene richiesta dalla specifica applicazione. Inoltre, ogni situazione pratica va affrontata sviluppando un appropriato ventaglio di metodologie, in ragione della possibilità o meno di applicare correttamente un certo metodo per il caso in esame.

Non va comunque dimenticato come la valutazione della portata indice presenti tuttora notevoli difficoltà. Essa costituisce infatti uno dei problemi di maggiore complessità dell'idrologia, ancora aperto a larghi margini di miglioramento.

Le metodologie sviluppate in questa sede e brevemente richiamate nei paragrafi che seguono, sono state quindi scelte con specifico riferimento ai dati disponibili e alle finalità dello studio.

Nel caso in esame, va subito sottolineata l'opportunità di ricorrere, per una più approfondita valutazione della piena indice, non solo a metodi diretti, ma anche e soprattutto a metodi indiretti, per via della relativa brevità della serie di osservazioni di dati AFS nel bacino del Torrente Nervia e delle incertezze sulla consistenza delle osservazioni.

2.3.1. METODO (DIRETTO) AFS

Quando si dispone di n' anni di osservazioni di portata al colmo di piena massima annuale (serie AFS) nel sito fluviale di interesse, la stima della portata indice è fornita dalla media aritmetica delle n' osservazioni $q'_1, \dots, q'_{n'}$, ossia

$$q_{indice} = \hat{q}_{AFS} = \frac{1}{n'} \sum_{i=1}^{n'} q'_i, \quad (2.6)$$

dove il simbolo $\hat{}$ sta per *valore stimato*. Una valutazione del relativo errore standard di stima può essere condotta con la formula

$$\sigma_{q_{indice}} = \sqrt{\frac{1}{n'(n'-1)} \sum_{i=1}^{n'} (q'_i - q_{indice})^2}, \quad (2.7)$$

che mostra una rapida diminuzione dell'errore stesso all'aumentare della numerosità del campione disponibile. Dalla verifica dell'ipotesi nulla per un livello di significatività α , si possono derivare i limiti di confidenza a un livello di confidenza di $100(1 - \alpha/2)\%$ nella forma

$$q_{indice} \pm \Phi^{-1}(1 - \alpha/2) \sigma_{q_{indice}},$$

dove $\Phi^{-1}(\cdot)$ indica l'inversa della funzione di distribuzione di probabilità della variabile normale standard. I valori di $q_{indice} \pm \sigma_{q_{indice}}$, che si ottengono per il valore di $\zeta = 1$, sono spesso denominati limiti sigma e corrispondono a un livello di confidenza 84%.

2.3.2. METODO (INDIRETTO) DELLA TRASLAZIONE SCALA INVARIANTE DI STIME DIRETTE

Per i siti fluviali prossimi a stazioni idrometriche dotate di scala di deflusso il problema è talvolta riconducibile alla stima diretta, riscalando i valori di progetto in base alla superficie del bacino idrografico sotteso nell'ipotesi di invarianza di scala. La prossimità è definita dalla circostanza che stazione idrometrica S_1 e sito fluviale in esame S_2 insistano sullo stesso tronco fluviale (definito, per esempio, in base a un criterio di classificazione quantitativa della rete idrografica) e che i bacini sottesi siano omogenei in relazione alla risposta idrologica di versante (per esempio, in termini di effetto combinato della natura e dell'uso dei suoli). Una volta condotta la stima della portata indice $q_{indice}[S_1]$ nel sito S_1 dove è ubicata la stazione idrometrica, il corrispondente valore $q_{indice}[S_2]$ nel sito S_2 in esame si può ricavare come

$$q_{indice}[S_2] = q_{indice}[S_1] \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^m, \quad (2.8)$$

dove A_1 e A_2 sono le aree dei rispettivi bacini idrografici sottesi, mentre l'esponente m caratterizza l'invarianza di scala a livello regionale (v. Tabella 2.2.4).

2.3.3. METODO (INDIRETTO) DELLE TRACCE STORICO-DOCUMENTALI

La documentazione in traccia delle alluvioni storiche è in grado di fornire un'informazione assai utile per la valutazione della portata indice. Il procedimento prevede il censimento delle esondazioni osservate e/o documentate, ossia degli eventi in cui la portata al colmo ha superato un livello di soglia q_s noto o calcolato in base alla capacità idraulica di smaltimento del tronco fluviale che comprende la sezione in esame. A tal fine, i dati del *Censimento delle aree italiane storicamente colpite da frane e da inondazioni* (CNR-GNDICI, 1998) possono costituire una utile base di partenza.

Se nel sito in esame si possono ricostruire le vicende alluvionali per un periodo abbastanza lungo, è possibile valutare la frequenza storica ricostruita della portata di soglia q_s considerata. Quando sono stati documentati h superamenti in n anni, il valore atteso del periodo di ritorno del valore q_s è dato da (v. Kottegoda & Rosso, p.425, 1997)

$$\hat{T}_{q_s} = \frac{n+1}{h+1}. \quad (2.9)$$

La portata indice si può quindi calcolare come

$$q_{indice} = \frac{q_s}{x_{\hat{T}_{q_s}}}, \quad (2.10)$$

dove il valore di soglia $x_{\hat{T}_{q_s}}$ del fattore di crescita viene determinato dalla formula (2.2) per il particolare valore del periodo di ritorno calcolato con la (2.9).

L'analisi storica richiede cura particolare, poiché vanno considerate le sole esondazioni dovute al superamento effettivo della capacità di smaltimento del tronco fluviale, e non gli eventuali sfondamenti arginali, i rigurgiti da ostruzione e altri fenomeni di esaltazione degli effetti di una piena. Per la determinazione del valore di soglia q_s bisogna ricorrere al tracciamento di profili idraulici di moto permanente e, nei casi in cui l'effetto della propagazione dell'onda di piena non sia trascurabile, a un modello idraulico di moto vario. Questo metodo si presta in modo particolare allo studio di siti fluviali che presentano zone riparie soggette a elevato carico antropico

storicamente documentato, laddove si possono individuare tronchi del corso d'acqua controllati da asservimenti idraulici, quali gli attraversamenti stradali e ferroviari, le coperture, le arginature.

I limiti sigma della stima del periodo di ritorno della portata di soglia, che sono dati da

$$\hat{T}_{q_s} \pm \sigma_{\hat{T}_{q_s}} = \frac{n'+1}{h+1 \mp \sqrt{\frac{(n'-h)(h+1)}{n'+2}}}, \quad (2.11)$$

indicano come il metodo sia soggetto a un grado di incertezza crescente con la rarità dei superamenti.

2.3.4. METODO (INDIRETTO) DELLA SIMULAZIONE DELL'EVENTO CRITICO

Con la costruzione di un modello idrologico di piena, in grado di descrivere la trasformazione afflussi-deflussi per le piene salienti, è possibile ricostruire una successione di eventi di piena nel sito fluviale di interesse.

Se si dispone di alcuni idrogrammi osservati o, almeno, di valutazioni in traccia della portata al colmo di piena per gli eventi documentati da registrazioni pluviografiche, questa informazione può essere usata per tarare il modello. In caso si disponga di un congruo numero di eventi documentati, vale la pena di controllare le prestazioni del modello per alcuni episodi di piena non impiegati in fase di taratura. Le necessità di taratura variano con la complessità del modello, con la base fisica delle rappresentazioni matematiche adottate e con il dettaglio con cui viene descritto il sistema delle superfici scolanti e della rete idrografica.

I recenti sviluppi della modellistica idrologica tendono sempre più a contenere il ruolo della fase di taratura del modello, riducendo la quantità dei parametri di calibrazione a favore di parametri valutabili in base alle caratteristiche fisiche del sistema. L'impiego delle moderne tecniche di analisi territoriale tende, nel contempo, ad aumentare il dettaglio spaziale del modello stesso, sostituendo alla descrizione globale della risposta idrologica, tipica dei modelli a parametri concentrati, una descrizione dettagliata e spazialmente distribuita dei processi di formazione e propagazione dei deflussi all'interno del bacino idrografico.

Con riferimento alla modalità di rappresentazione delle precipitazioni in ingresso al modello idrologico, la simulazione può essere condotta utilizzando direttamente i dati osservati di pioggia, ovvero descrivendo le caratteristiche del campo di precipitazione in probabilità. In quest'ultimo caso, si potrà ricorrere alla congettura dell'evento critico e, quindi, alla simulazione della piena fluviale critica. Per via della carenza di osservazioni orarie per un periodo di tempo sufficientemente lungo, la scelta metodologica ricade su quest'ultimo approccio.

Il metodo della simulazione dell'evento critico ricorre a una procedura approssimata, utilizzando, in luogo della serie storica dei dati pluviometrici, la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica attesa nel centro di scroscio localizzato in posizione baricentrica, esprimibile in forma di equazione monomia

$$E[h] = a_1 d^\nu, \quad (2.12a)$$

dove $E[h]$ indica il valore atteso della altezza di pioggia cumulata temibile in d ore consecutive sul bacino sotteso, mentre i valori dei parametri a_1 (coefficiente pluviale orario, pari al valore atteso della pioggia oraria massima annuale) e ν (esponente di scala, $0 < \nu < 1$) sono da intendersi ragguagliati sull'area del bacino sotteso dalla sezione di interesse, ovvero in posizione baricentrica rispetto all'area drenata.

Il tasso medio di precipitazione risulta quindi

$$E[p] = a_1 d^{\nu-1}, \quad (2.12b)$$

dove $E[p]$ indica il valore atteso del tasso medio di pioggia temibile in d ore consecutive sul bacino sotteso.

Applicando questa metodologia, bisogna altresì ridurre il tasso di pioggia in ragione della superficie del bacino sotteso e della durata dello scroscio secondo formulazioni adeguate; ed, eventualmente, introdurre un verosimile profilo di pioggia in grado di riprodurre gli ietogrammi osservati, ossia la variabilità temporale della pioggia durante lo scroscio stesso, tenuto conto che questo aspetto va valutato in ragione della sensibilità del modello di trasformazione afflussi-deflussi e della durata critica.

Le precipitazioni calcolate a partire dalla linea segnalatrice attesa di probabilità pluviometrica vengono quindi utilizzate in ingresso al modello di trasformazione afflussi-deflussi, determinando l'idrogramma di risposta e il relativo valore di picco.

Per via della indeterminatezza della durata dello scroscio critico, bisogna procedere a un insieme di simulazioni per diverse durate. Per ogni simulazione si ricava il valore di portata di picco, $q_p = \max_t [q(t; d)]$. Ripetendo la simulazione con precipitazioni di diversa durata d , si determina l'evento critico, ossia la piena che produce la massima q_p , la quale si realizza per una particolare durata di pioggia d , detta durata critica d_{CR} . In pratica, si risolve il problema di ottimo

$$d_{CR} : \max_d \{ \max_t [q(t; d)] \} \quad (2.13)$$

dove $\max_t [q(t; d)]$ indica la portata di picco q_p dell'idrogramma $q(t)$ prodotto da un precipitazione di durata d . La portata indice è quindi data da

$$q_{indice} = \max_t [q(t; d_{CR})], \quad (2.14)$$

essendo $E[p(d_{CR})] \rightarrow q(t; d_{CR})$ la trasformazione afflussi-deflussi operata (indicata con il simbolo \rightarrow).

Questa procedura comporta varie incertezze, legate sia all'ipotesi di trasformazione della pioggia temibile attesa in portata temibile attesa, sia alla congettura di evento critico, sia alle approssimazioni sulla configurazione spazio-temporale della pioggia stessa. Il maggiore svantaggio di questa procedura risiede comunque nella sua insensibilità alla variabilità spaziale delle precipitazioni. Tale procedura, per la sua consolidata pratica applicativa, può essere peraltro impiegata con successo nei bacini di piccola e media dimensione, dove tale variabilità ha modesta importanza, tenendo comunque presente il margine di incertezza dei risultati ottenibili.

Quando utilizzata per la stima della portata indice, questa procedura è peraltro meno distorta di quanto avvenga quando essa viene applicata, per esempio, alla stima dei quantili, per via dell'ipotesi di isofrequenza tra piogge intense e deflussi di piena, in molti casi confutata da episodi osservati.

Il metodo è indipendente dal modello idrologico adottato. L'esperienza indica che, nei bacini liguri, si ottengono risultati in accordo con le osservazioni utilizzando anche modelli concettuali di tipo semplice. Per il caso in esame si possono utilizzare,

- il fattore di riduzione auto-affine (De Michele & al., 2001 e 2002) per la valutazione della pioggia areale;
- il metodo CN-SCS (Soil Conservation Service, 1986), generalmente con CN in classe III di AMC, per la valutazione dell'assorbimento del terreno, per via della risposta mista del bacino (per effetto combinato dell'eccesso della capacità di infiltrazione e della saturazione del terreno);

- il metodo dell'idrogramma unitario istantaneo di forma gamma (GUH) anche noto come modello di Nash (1957) ovvero nella sua taratura geomorfologica (GIUH) per la modellazione del ruscellamento nella rete idrografica (Rosso, 1984).

2.4. Idrogrammi di piena di riferimento

La valutazione degli idrogrammi di piena di riferimento, in assenza di osservazioni dirette sufficienti per quantità e qualità dei dati, viene condotta con il metodo della simulazione dell'evento idrometeorologico critico. Questa scelta metodologica è anche motivata dalla necessità di fornire valutazioni non solo in una sezione strumentata ma per l'intero reticolo idrografico del torrente Nervia.

Questo metodo si presta alla valutazione approssimata degli eventi di interesse alla luce della normativa, $E_{V_T, Q_T}^* = [\{V \leq v\} \wedge \{Q \leq q\}]$, con $v \leq v_T$ e $q \leq q_T$, ossia le coppie di valori di portata e volume che si possono verificare con periodo di ritorno incondizionato T -ennale della portata al colmo q_T , che si assume nota. Per via delle difficoltà a valutare v_T , si considerano cautelativamente gli eventi

$$[\{V \leq v\} \wedge \{Q \leq q\}], \text{ con } q \leq q_T.$$

Il metodo muove dall'assunto che le piogge temibili siano rappresentate dal modello scala-invariante e che gli eventi di interesse siano comunque prodotti da un assetto meteorologico caratterizzato dalla struttura di invarianza di scala tipica dell'area in esame, rappresentata dall'esponente caratteristico ν . In pratica, si assume che l'esponente caratteristico rappresenti l'impronta climatica degli eventi pluviali estremi nell'area in esame. Questa ipotesi di lavoro implica che la portata T -ennale di progetto q_T sia prodotta da una precipitazione $h = a d^\nu$, dove ν è l'esponente caratteristico della pluviometria del bacino sotteso dalla sezione di interesse, e il parametro a è dato dal valore del coefficiente pluviale che, con il metodo dell'evento critico, produce la portata al colmo q_T .

Dato il valore T -ennale di portata al colmo q_T , calcolato con il metodo della portata indice illustrato nei precedenti Paragrafi 2.1-3, viene quindi ricercata la coppia di valori $\{a, d_{CR}\}$ che produce come risultato la portata di picco q_T quando si applichi la trasformazione afflussi-deflussi, essendo d_{CR} la durata critica.

Con questo procedimento viene determinato l'idrogramma di riferimento dell'evento $[\{V \leq v\} \wedge \{Q \leq q\}]$, con $q = q_T$ e, contestualmente, il modello idrometeorologico di riferimento in grado di descrivere in modo sintetico il complesso fenomeno che può produrre una portata al colmo q_T nella sezione fluviale di interesse.

Per la valutazione approssimata degli altri eventi di interesse alla luce della normativa, $[\{V \leq v\} \wedge \{Q \leq q\}]$, con $q < q_T$, si utilizza l'ipotesi di criticità idrometeorologica, in base alla quale gli eventi di interesse sono comunque prodotti da un assetto meteorologico caratterizzato dalla struttura di invarianza di scala, rappresentata dall'esponente caratteristico ν . Questo procedimento determina gli idrogrammi di riferimento per la valutazione della pericolosità idraulica T -ennale, in quanto prodotti da situazioni meteorologiche simili (in termini di autosomiglianza statistica o invarianza di scala) a quella che può produrre l'evento critico T -ennale in termini di portata al colmo. Si ottengono così idrogrammi equivalenti che presentano una portata al colmo inferiore a q_T , ma volumi di piena superiori.

Il metodo si presta anche alla valutazione del massimo volume esondabile nei casi pratici, in cui si vogliono valutare gli idrogrammi di riferimento per eventi che superano una certa soglia stabile di esondazione, ossia una portata di smaltimento $q_0 < q_T$ data dall'efficienza idraulica del tronco fluviale in esame.

Nei casi in cui la soglia non sia stabile, ma venga modificata dal sormonto delle acque, gli idrogrammi di riferimento andranno invece valutati sollecitando la struttura di difesa e valutando la dinamica di tale struttura in risposta all'evoluzione dell'idrogramma.

Come tutti i metodi idrologici basati su ipotesi semplificative e approssimazioni necessarie al calcolo pratico, i risultati che questo metodo è in grado di fornire presentano un certo grado di incertezza. Il primo livello di incertezza è senz'altro legato all'ipotesi di lavoro, che assume la portata al colmo quale riferimento primario, prevista dalle normative.

2.5. Dati territoriali e idrologici per lo sviluppo della metodologia

Per lo sviluppo del percorso metodologico sopra delineato, sono necessari i dati territoriali e idrologici sotto indicati.

2.5.1. DATI TERRITORIALI

Tra i diversi strati informativi sulle caratteristiche del territorio, è necessario implementare nella procedura di valutazione idrologica:

- la cartografia tematica digitale relativa alla topografia, da cui derivare il tematismo relativo all'idrografia;
- la cartografia tematica digitale di uso del suolo;
- la cartografia tematica relativa alla geolitologia.

2.5.2. DATI IDROLOGICI

I dati idrologici essenziali per lo sviluppo della procedura di valutazione sono

- le serie AFS (portata al colmo massima annuale);
- la documentazione storico-documentale sugli eventi di piena salienti;
- le serie di precipitazione massima annuale relative ai nubifragi, ossia le piogge di forte intensità e breve durata da 1 e 24 ore;
- idrogrammi e ietogrammi di eventi di piena salienti a scala temporale oraria o suboraria;
- rilievi idrografici delle sezioni oggetto di misure idrometriche e del relativo tronco fluviale di interesse;
- scale di deflusso storicamente calibrate ed adottate.

3. Dati idrologici e territoriali

3.1. Raccolta ed organizzazione dei dati territoriali

Sono stati acquisiti, analizzati ed organizzati i seguenti dati territoriali:

1. la cartografia tematica digitale relativa alla topografia (DEM, modello digitale delle quote) in base al modello digitale messo a disposizione dalla Regione Liguria, con risoluzione al suolo pari a 40 m. Sulla base del DEM è stato identificato il reticolo idrografico, creando lo strato informativo georeferenziato che rappresenta l'idrografia (v. Figg. 3.1.1);
2. la cartografia tematica digitale di uso del suolo, sulla base del tematismo georeferenziato fornito dalla Regione Liguria (v. Figg. 3.1.2);
3. la cartografia tematica relativa alla geolitologia, ottenuta sulla base del tematismo georeferenziato fornito dalla Regione Liguria (v. Figg. 3.1.3, la cui Legenda è riportata in Tavola 3.1.1).

I layers della cartografia tematica sono stati quindi organizzati e georeferenziati su un unico GIS.

Dalla mappa delle quote, o DTM, è possibile ricavare, tramite opportune elaborazioni, una descrizione del reticolo idrografico. Tale descrizione serve per la valutazione dei parametri morfometrici atti a descrivere, per ognuna delle sottosezioni fluviali di interesse, la risposta idrologica del bacino. In particolare, alcuni indici morfometrici, quali lunghezza delle aste principali, pendenze e rapporti Hortoniani per i reticoli fluviali di vario ordine sono necessari per la valutazione dei parametri da utilizzare nei modelli di tipo idrologico concentrato, in particolare per quei siti in cui si verifichi l'assenza di eventi diretti di calibrazione.

L'informazione incrociata di mappe di litologia ed uso del suolo, opportunamente convertite in formato raster alla risoluzione del DTM disponibile, risulta necessaria per la valutazione dei parametri di assorbimento del terreno, o indici di permeabilità.

In particolare, la capacità di assorbimento locale del terreno in risposta ad un evento di precipitazione può essere calcolato utilizzando il metodo del SCS-CN, che necessita una parametrizzazione da condursi tramite l'analisi delle cartografie sopra dette. La valutazione su base cartografica è riportata nel successivo Paragrafo 3.2.

Inoltre, si risulta necessaria una validazione del modello SCS-CN detto, tramite l'analisi di dati pluvio-idrometrici di evento, così da valutare l'abilità del parametro CN nel descrivere la risposta del bacino in termini di volumi di deflusso netto ad evento. Questo aspetto è trattato nel successivo Capitolo 5 e in **Appendice A**.

In Figura 3.1.1 viene rappresentato il bacini idrografico del torrente Nervia alla foce. Il reticolo idrografico viene rappresentato tramite estrazione in maniera automatica. L'area soglia, necessaria per la definizione del reticolo, viene qui posta pari a $A_s = 0.8 \text{ Km}^2$, pari a 500 celle del DTM considerato. Come noto, la scelta dell'area soglia per la rappresentazione dei reticoli idrografici presenta un certo grado di soggettività. La soluzione qui adottata sembra fornire una buona descrizione del reticolo idrografico principale.

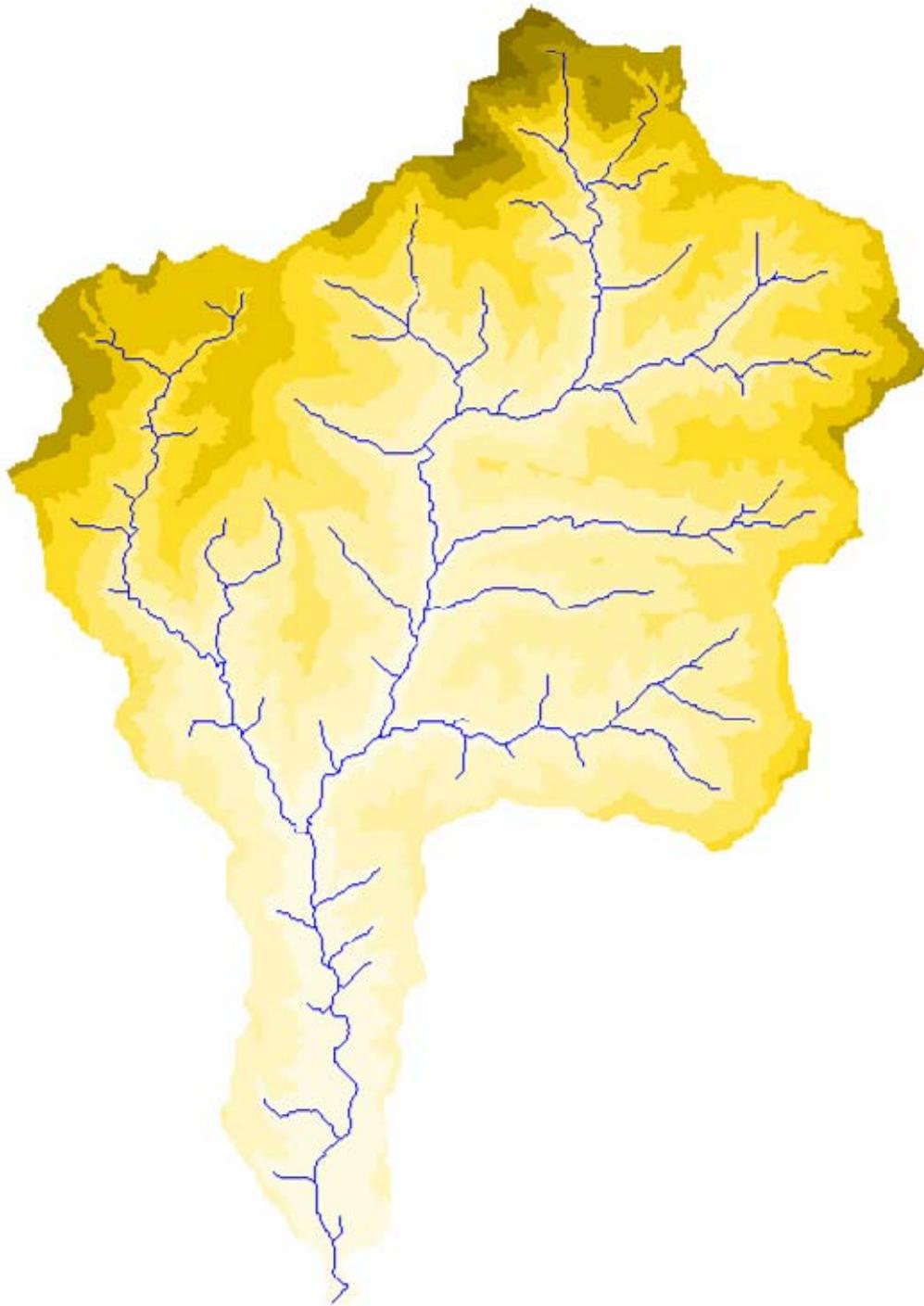


Figura 3.1.1. DTM Nervia con reticolo fluviale (Area contribuyente di soglia = 0.8 Km², 500 celle).

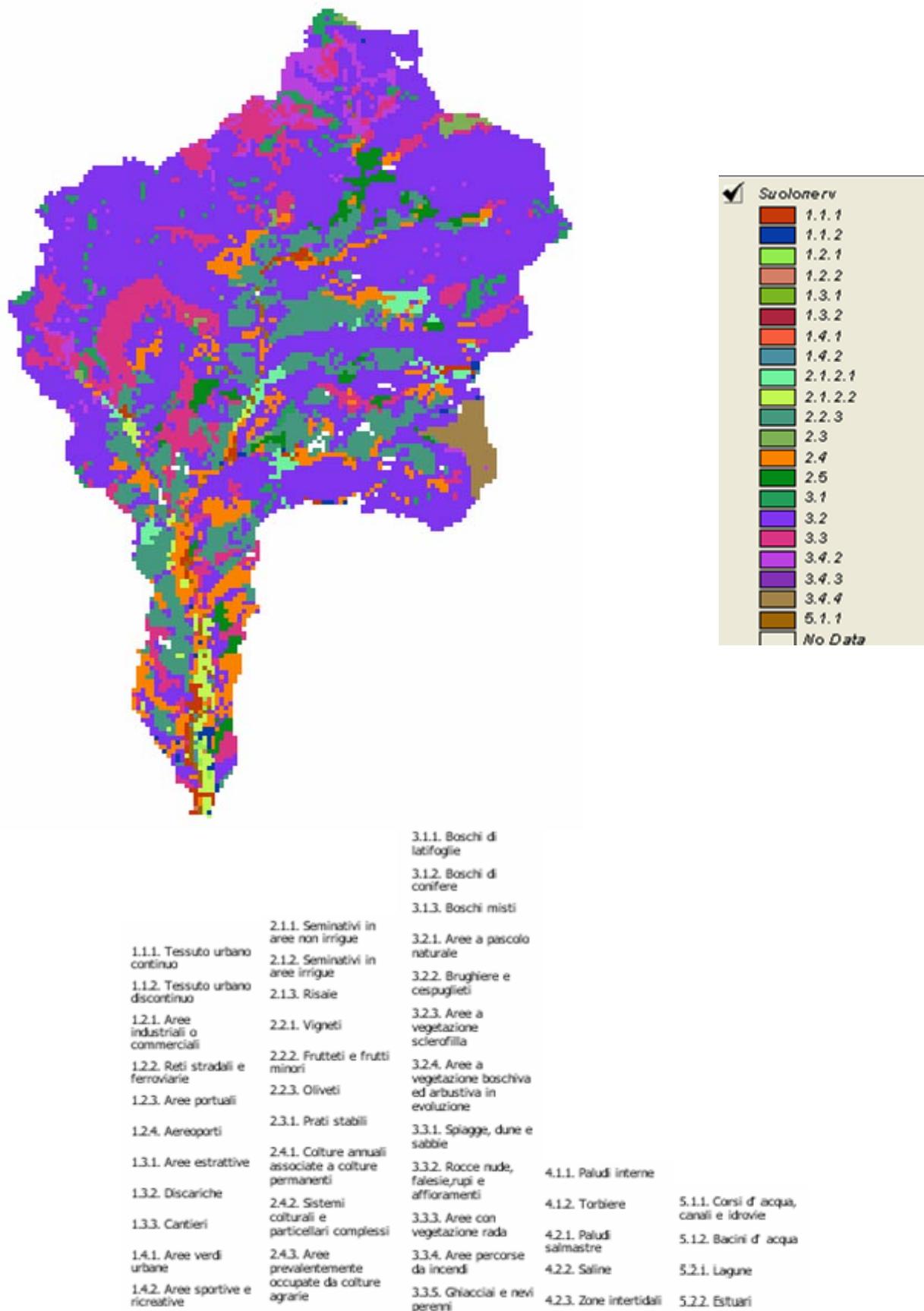


Figura 3.1.2. Uso del suolo del bacino del Torrente Nerva.

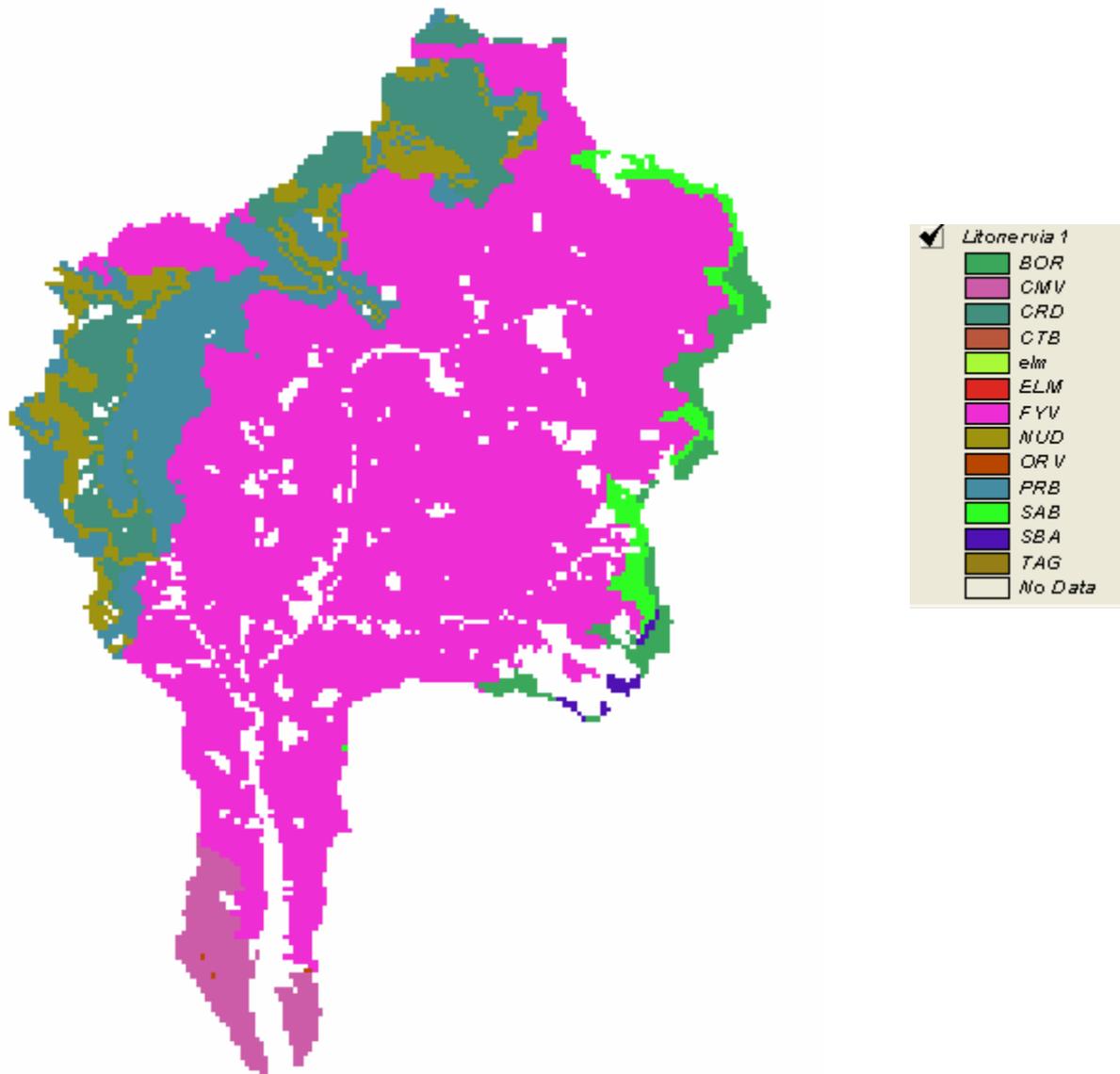


Figura 3.1.3. Mappa geo-litologica del bacino idrografico del torrente Nerva.

Tavola 3.1.1. Legenda geolitologica (Litostratigrafia)

UNITA' DI SANREMO – MONTE SACCARELLO

Argilloscisti di San Bartolomeo (asSBA)

Con questo termine è comunemente indicato il livello basale di scollamento, eminentemente plastico, dell'Unità di Sanremo, costituito da un insieme di terreni noti in letteratura col termine di "Formazione di San Bartolomeo" o "Complesso di base". Il membro inferiore è dato da una facies manganesifera in cui si alternano argilliti nerastre fittamente scistose e siltiti in banchi sottili. Al di sopra si rinvengono argilliti varicolori dalle tipiche pigmentazioni grigio-verdi o rosso-vinate, con livelli di quarzareniti.

I più estesi affioramenti del Complesso di base sono visibili nel tratto della media valle tra Badalucco e Montalto, dove le successioni sono particolarmente ben esposte ed hanno talora spessori considerevoli ed anomali a causa degli intensi ripiegamenti subiti.

L'età basale di questo complesso è riferibile al Cretaceo inferiore.

Calcari straterellati di Badalucco (scBOR)

In posizione stratigrafica sovrastante gli Argilloscisti di San Bartolomeo, è una litofacies assai caratteristica ma non sempre presente, oggetto di sfruttamento locale, data da una fitta serie di sottili strati calcarei grigio-biancastrati di spessori mediamente decimetrico alternati a torbiditi arenacei medio-fini.

La formazione viene riferita al Cretaceo.

Arenarie di Bordighera (arBOR)

Episodio sedimentario che deriva dalla deposizione di una conoide sottomarina di depositi sabbiosi grossolani all'interno della piana bacinale del Flysch di Sanremo. Nella facies più caratteristica è costituito da spesse bancate di arenarie grossolane quarzoso-feldspatiche, generalmente ben gradate. Alla base tendono a concentrarsi elementi conglomeratici di diametro anche superiore al centimetro.

La formazione è riferibile al Cretaceo.

Flysch di Sanremo in facies calcareo-marnosa (cmELM)

Al di sopra delle Arenarie di Bordighera, si rinviene la potente successione calcareo-marnosa del Flysch di Sanremo costituita dall'accumulo di fanghi calcarei con frequenti apporti terrigeni il cui aspetto tipico è quello di calcari marnosi grigio chiari in superficie, sempre piuttosto compatti, in strati di spessore anche superiore al metro. La serie, da tempo attribuita al cretaceo superiore, sembrerebbe potersi riferire nella parte sommitale all'inizio del Paleocene.

Flysch di Sanremo in facies marnoso-arenacea (maELM)

Rappresentano la parte sommitale del Flysch e sono costituite da torbiditi arenaceo marnosi in strati da sottili a spessi, torbiditi, torbiditi siltoso-arenacei o arenacei da fini a grossolani, argilliti siltose nere, e calcari micritici.

L'età della formazione è presumibilmente Paleocenica.

ZONA DEI LEMBI INTERPOSTI

Scisti a blocchi (asSAB)

Sono compresi in questa formazione litotipi anche molto differenti per composizione ma accomunati da forte scistosità ed intensa fratturazione degli strati conseguenza delle vicende tettoniche subite.

Olistostromi (olSAB)

Sono presenti in porzioni molto ridotte del territorio in posizione sommitale rispetto ai lembi di carreggiamento; ben visibili morfologicamente, sono costituiti prevalentemente da calcari e dolomie datate al Triassico.

DOMINIO DELFINESE-PROVENZALE

Calcari e calcari marnosi cretacei (cCRD)

Nell'ambito della porzione di serie affiorante nel bacino rappresenta il complesso basale, età Cretacea superiore, affiora nell'alta valle ai piedi dei rilievi di Carmo Gerbontina, di M. Grai, di M. Gerbonte e di Bric dei Corvi. Si tratta di una facies sostanzialmente omogenea di calcari chiari debolmente marnosi in banchi di medio spessore, talora intercalati da sottili strati di calcareniti glauconitiche. La stratificazione è quasi sempre obliterata da una scistosità piuttosto elevata, mentre l'assetto appare spesso complicato da complessi motivi strutturali.

Calcari nummulitici (cNUD)

Al di sopra dei sedimenti pelagici dei calcari cretacei, questa formazione segna l'inizio di una rapida trasgressione marina. Sono calcari zoogeni ad alghe e nummuliti, tenaci e compatti, grigio bluastrati, in grado di produrre falesie accentuate come al Ponte di Loreto o nella zona di Realdo, e calcareniti fortemente arenacee associate ad arenarie quarzose.

Marne Priaboniane (maPRB)

Al di sopra dei calcari nummulitici, questa formazione indica un passaggio graduale da un ambiente di sedimentazione tipico di una piattaforma interna, ad uno di piattaforma esterna, sino all'ambiente di scarpata (Marne Priaboniane) e a quello di base della scarpata (Flysch di Ventimiglia).

Flysch di Ventimiglia (carFYV)

La successione delfinese-provenzale termina nel Priaboniano medio con la deposizione della potente serie torbiditica del Flysch di Ventimiglia ("Gres d'Annot"). Si assiste ad un aumento generalmente graduale della frazione detritica ed alla comparsa delle strutture sedimentarie tipiche dei flysch; segue una serie essenzialmente arenaceo-pellica caratterizzata da associazioni di facies indicanti una posizione piuttosto distale della conoide con la prevalenza di arenarie quarzose e micacee fini alternate a spesse peliti argillose.

Alla base del flysch è talora presente un orizzonte eteropico e discontinuo di marne calcaree ardesiache che raggiungono discreti spessori nella zona di Triora, Realdo e Verdeggia.

LEMBI PLIOCENICI

Brecce di Taggia (bcTAG)

Accumuli caotici molto immaturi di pezzatura fino a quella del blocco, ricchi di matrice e frammenti a conglomerati soprattutto verso l'alto (Pliocene inferiore).

Argille di Ortovero (aORV)

Argille grigio-azzurre massicce a luoghi siltoso-sabbiose, più o meno marnose in grandi accumuli in tasche discontinue (Pliocene inferiore).

Sabbie della Costa Terre Bianche (sCTB)

Sabbie più o meno cementate e arenarie, prevalentemente quarzose, in banchi o in accumuli massicci. (Pliocene inferiore).

Conglomerati di Monte Villa (cgCMV)

Conglomerati poligenici più o meno ricchi di matrice a stratificazione grossolana con gradazione dei clasti crescente verso l'alto (Pliocene inferiore).

3.2. Derivazione del tematismo relativo alla capacità di assorbimento del terreno (parametro CN) su base cartografica

Il metodo SCS-CN (Soil Conservation Service, 1986; De Michele et al., 2000) comporta la valutazione di un indice adimensionale, detto appunto *Curve Number* o *CN*, legato alla massima ritenzione potenziale *S* del terreno in mm dalla relazione $S = S_0(100/CN - 1)$, dove $0 < CN < 100$, e S_0 è una costante di scala legata all'unità di misura adottata, che, per valori di *S* misurati in mm, è pari a 254 mm.

La valutazione del parametro CN può essere condotto in linea di principio sulla base della cartografia tematica. Dato tuttavia il grado non trascurabile di soggettività dell'assegnazione del valore di CN, si ritiene necessaria anche una validazione di tale valore tramite la modellazione di eventi idrometrici e pluviometrici osservati. Avendo a disposizione infatti alcuni eventi di piena osservati in dettaglio (ietogrammi e idrogrammi contemporanei) è possibile calibrare il fattore di umidità antecedente all'evento AMC ed il parametro *c* di assorbimento iniziale.

Il valore del CN dipende da una serie di fattori; in prima istanza dalle caratteristiche idrologiche del suolo, in relazione alla maggiore e minore permeabilità, come si può notare dalla Tabella 3.2.1.

Tabella 3.2.1 - Gruppi idrologici per il metodo CN

<i>Tipo idrologico di suolo</i>	<i>Descrizione</i>
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza delle superfici.

Inoltre, per un dato tipo idrologico di suolo, il valore di CN varia, anche notevolmente, a seconda della tipologia di uso del suolo stesso, ossia della sua copertura vegetale e del suo grado di antropizzazione, come meglio descritto nella Tabella 3.2.2.

Come da indicazione del piano di bacino del torrente Argentina, contiguo a quello del torrente Nervia, per il presente studio l'incrocio delle caratteristiche idrologiche del suolo, secondo i 4 tipi idrologici *A-B-C-D* a permeabilità decrescente, e delle caratteristiche di uso del suolo porta per i soprassuoli classificati come "zone boscate", "zone a vegetazione arbustiva", "praterie", "prati e

pascoli” alla modifica dei valori del CN in funzione delle diverse categorie litologiche riportata in Tabella 3.2.3.

Tabella 3.2.2 - Copertura del suolo per il metodo CN

Indice	Descrizione	CN	
1.1.1	tessuto urbano continuo	92	
1.1.2	tessuto urbano discontinuo		90
1.2.1	aree industriali o commerciali	90	
1.2.2	reti autostradali, ferroviarie e spazi accessori	90	
1.2.3	aree portuali		90
1.3.1	aree estrattive		90
1.3.2	discariche		75
1.4.1	aree verdi urbane		75
1.4.2	aree sportive e ricreative	82	
2.1.1	seminativi in aree non irrigue		70
2.1.1.1	seminativi, vivai, colture ortofloricole in pien'aria	73	
2.1.2.2	seminativi, vivai, colture ortofloricole in serra	90	
2.2.1	vigneti		70
2.2.2	Frutteti		70
2.2.3	oliveti		65
2.3	prati e pascoli		65
2.4	zone agricole eterogenee		70
2.5	ex coltivi		65
3.1	praterie	60	
3.2	zone boscate		56
	zone boscate (5.1 pino marittimo)	62	
3.3	zone caratterizzate da vegetazione arbustiva		60
3.4.1	spiagge, dune		//
3.4.2	rocce nude		90
3.4.3	aree con vegetazione rada (calanchi, conoidi detritici)	75	
3.4.4	aree percorse da incendi recenti	75	

Tabella 3.2.3 Variazione del CN relativa al tipo litologico

CATEGORIE LITOLOGICHE	Variazione CN
rocce calcaree	+ 0
rocce argillose	+ 10
rocce arenacee	+ 10
rocce marnose	+ 5
rocce silicee	+ 5
rocce breccioidi	+ 10
rocce ofiolotiche	+ 10
rocce cristalline	+ 15
rocce metamorfiche	+ 15
coltri detritiche	- 5
Sedimenti	- 5

I valori determinati con questa metodologia si riferiscono a condizioni di saturazione del terreno medie all'atto dell'evento di piena, ossia per AMC di tipo II, e forniscono quindi il valore di CN_{II}.

E' importante, infine, sottolineare come nei bacini idrografici, si riscontri generalmente un'elevata variabilità spaziale, sia per quanto riguarda il tipo idrologico del suolo, sia per l'uso del suolo.

Risulta, pertanto, più conveniente determinare il valore (medio) caratteristico del parametro S a scala di bacino integrando nello spazio i diversi valori di S, e non quelli di CN e a partire da S determinare in ultima istanza il CN_{II} medio del bacino.

Si riportano in Tabella 3.2.4 i tipi litologici presenti nella mappa e le variazioni corrispondenti.

Tabella 3.2.4 - Tipi litologici nel bacino del Torrente Nervia e variazione del CN relativa.

SIGLA	NOME	Variazione CN
A ORV	argille di Ortovero	+ 10
AR BOR	Arenarie di Bordighera	+ 10
AS SAB	Argilloscisti a lembi interposti (Flysch Baiardo)	+ 15
AS SBA	// (S.Bartolomeo)	+ 15
BC TAG	Breccie di Taggia	+ 10
C NUD	Calcari a Nummuliti Delfinese	+ 0
C CRD	Calcareo cretaceo delfinese	+ 0
CAR FYV	Calcari arenacei (Flysch Ventimiglia)	+ 0
CG CMV	Conglomerati di Monte Villa	+ 0
CM ELM	Calcari marnosi (Flysch San Remo)	+ 0
MA PRB	Marne Priaboniane	+ 5
MA ELM	Marne (Flysch San Remo)	+ 5
OL SAB	Conglomerato oligocenico (Flysch Baiardo)	+ 10
SCC BOR	Scisti calcarei Bordighera	+ 15
AA	Terrazzati antichi	- 5
AM	Mobili attuali	- 5
AR	Terrazzati recenti	- 5
DT	Copertura detritica > 3m	- 5
DT1	// fine	- 5
DT2	// grossa	- 5

Si è, infine, valutato a partire dalle mappe un S_{II} medio pari a circa 136 per un valor di $CN_{II} = 65$.

In Figura 3.2.1 si mostra come varia, su scala spaziale, il parametro S_{II} per il bacino del torrente Nervia.

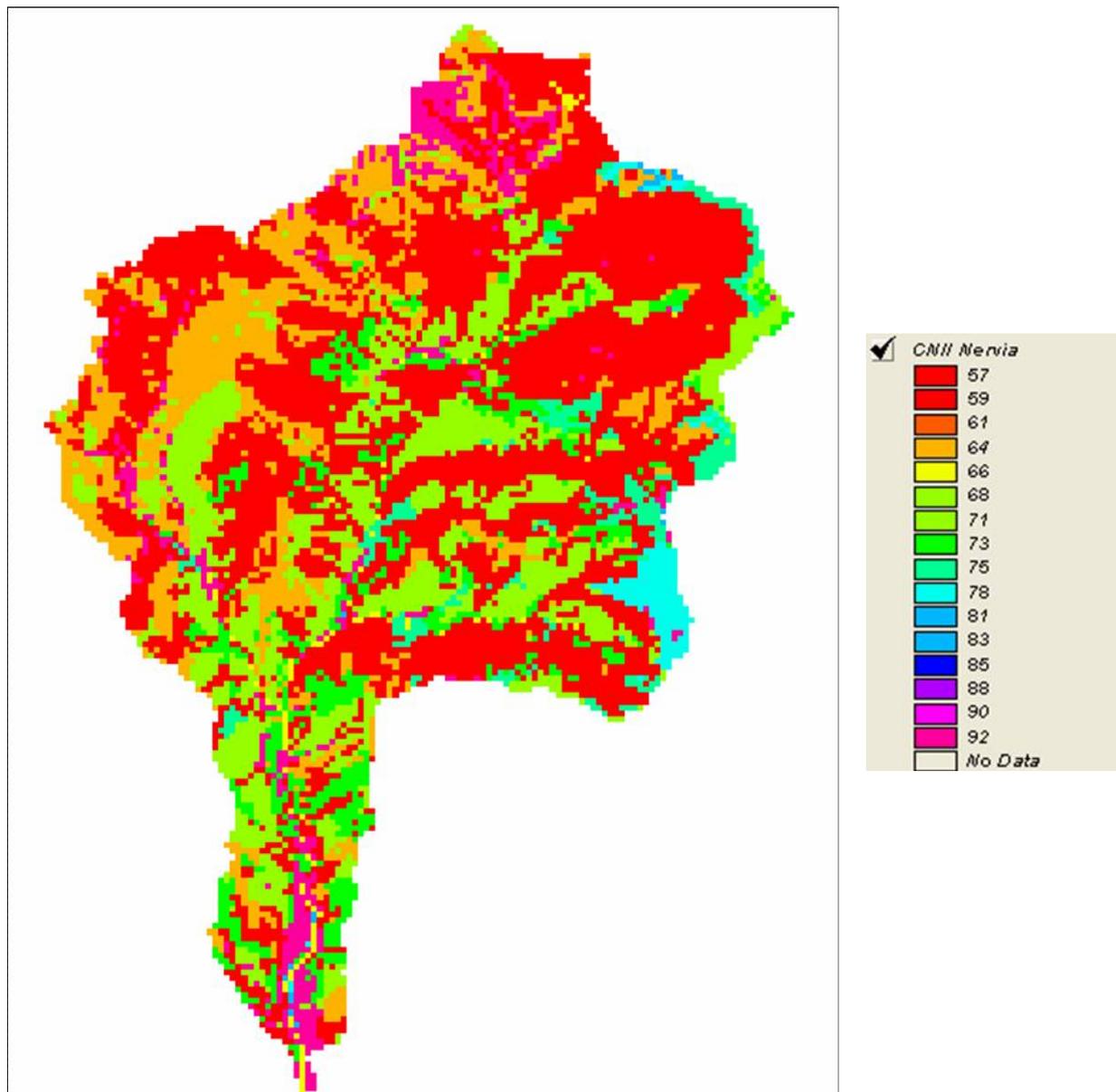


Figura 3.2.1 - Valori del parametro *CN* nel bacino del torrente Nuvia.

3.3. Raccolta ed organizzazione dei dati idrologici

Sono stati acquisiti, pre-analizzati ed organizzati i seguenti dati idrologici:

1. le serie di precipitazione massima annuale relative ai nubifragi, ossia le piogge di forte intensità e breve durata da 1 e 24 ore, pubblicate dall'ex-SIMN, che sono riportate nelle Tabelle 3.3.1;
2. le serie AFS (portata la colmo massima annuale) per la stazione di Isolabona sul Torrente nuvia, nonché le relative serie di dati medi giornalieri, disponibili dalle fonti pubblicate dall'ex-SIMN, sia in forma di Annali, sia di Pubblicazioni Speciali reperite in diversi Archivi (Pubblicazione n.17 e succ. integrazioni); tali dati sono riportati in Tabella 3.3.2;

3. le scale di deflusso storicamente calibrate ed adottate per tali stazioni, tramite un'analisi puntuale delle scale riportate sulle Pubblicazioni dell'ex-SIMN a partire dal 1924 (v. Appendice B);
4. un idrogramma e i relativi ietogrammi dell'evento di piena saliente del 1966, reperito presso l'archivio storico dell'ex-SIMN oggi disponibile presso la Regione Liguria (v. Figure 3.3.3 e Appendice A, fonte: Regione Liguria, Archivio Idrografico) che non è stata però in grado di fornire ulteriori tracciati, nonostante le reiterate richieste dei consulenti;
5. non si sono potuti utilizzare dati salienti di eventi di piena recenti 2006 in forma digitale poiché non disponibili per cessazione o sospensione dell'attività idrometrica nel bacino (fonte: ARPAL) e si è reperito un evento di riferimento, relativo all'anno 1973, e riportato in uno studio contenuto negli Annali Idrologici dell'ex-SIMN;
6. non si è potuto disporre di rilievi idrografici delle sezioni oggetto di misure idrometriche e del relativo tronco fluviale di interesse, ai fini del controllo delle scale di deflusso (v. Appendice B).
7. Per quanto riguarda invece la disponibilità di dati storico documentali, dall'archivio MAPPAVI del CNR-GNDICI non risultano eventi significativi e documentati sull'asta principale, se non un episodio alluvionale segnalato nel 1950 a Ventimiglia.

Tale base di dati è stata organizzata su supporto informatico ai fini delle successive elaborazioni.

E' stato altresì condotto un sopralluogo in situ per la verifica delle condizioni di funzionamento della stazione idrometrografica di Isolabona (v. Appendice B).

Tabella 3.3.1a. Dati di precipitazione massima annuale per durate comprese tra 1 e 24 ore. Stazione di Colle Belenda.

Stazione Colle Belenda					
Valori di h in mm					
durata=	1	3	6	12	24
anni					
1961	17.4	24.4	44.6	70	86.4
1962	28.8	32.4	41.8	68.2	100.4
1963	19	33.4	39.8	46.6	58.6
1964	25.4	29.2	29.2	35	62
1965	20.4	37	55	87	122.6
1966	20.4	33	40	45	68
1967	14	29.6	32	41.6	51.2
1968	14.4	22.6	34	52.2	83
1969	19.4	30	50	62.2	62.4
1970	19.2	32	62	88	156
1971	38	44	71.8	85	113
1972	26	56	56	56	77
1973	29	37	53	73	106.6
1974	24.4	24.4	43	79	84.4
1975	21.2	42.6	72	123	148
1976	20	39.4	70	103	128
1977	24.1	30	40	70	122.9
1978	11.8	20.4	28	42.4	62.8
1979	16.8	38.8	40.8	72.2	108
1980	19	28.2	37.8	56.2	56.4
1981	12.2	26.6	41.8	61.8	70.4
1982	21.2	34	51.4	76	120.8
1983	21.8	41.6	58.2	100.2	134.6
1984	21.6	58.2	74.6	92.6	92.6
1985	15.6	30.6	48.6	68.8	83.2
1986	19.2	35.4	42.2	62.6	86.8
1987	18.6	25.8	48	86.4	137
1988	21.8	39.2	59.4	73.8	74.8
1989	21.4	27	37	52.2	81
1991	31.4	45.6	83	152	185
1992	21	48	59	70	72
1993	24	34.8	40.8	74	93.2
1994	39.6	59.2	101.6	101.8	102.2
1995	28	30	35	35.2	35.2
1996	24.6	36	44.2	44.2	53.8

Tabella 3.3.1b. Dati di precipitazione massima annuale per durate comprese tra 1 e 24 ore. Stazione di Ventimiglia.

Stazione Ventimiglia					
Valori di h in mm					
durata=	1	3	6	12	24
anni					
1951	16	36	53	62.6	76.6
1952	30	41.2	50	51.6	90.4
1953	36	47.2	64	64	64
1954	26	32.4	50.8	53.2	53.6
1955	12	21.4	32.4	35.2	43
1956	21	50	62.2	71	102.2
1957	23	54	78	103.6	152.2
1958	30	35.4	43.6	44.6	78.2
1959	39.6	55.6	74	119	133.6
1960	32.4	36.6	39.4	50	60.4
1961	40.6	49	55	60	85.6
1962	14.6	22.6	30.2	36.8	63.2
1963	22	31	40.4	48	69.4
1964	28.6	56.4	64.4	76.2	111.2
1965	29	55	63.6	65	67.4
1966	15	22.4	29	43.6	44.2
1967	23	45	56	80	119
1968	16	39	50	67	89.4
1969	19	30	44	65	74
1970	16.4	26	43	58.4	74
1971	40	56	56.6	91	101.6
1972	11	25	34.2	51	66
1973	28	38.8	41	59.1	67.8
1974	13.4	24.1	34.5	56.9	77
1975	11.2	29.6	41	54.4	62
1976	18.4	43.6	64	82.8	86.2
1977	16.8	27.8	35	37.4	37.4
1978	21.8	38	47.2	47.2	47.2
1979	23.4	46.6	79	90.4	90.4
1980	18	36	56.8	77	125.8
1981	19.6	35.2	37.2	37.2	58.4
1982	19.6	36.6	53	89.8	99.8
1985	18	36	56.8	77	125.8
1986	19.6	35.2	37.2	37.2	58.4
1987	19.6	36.6	53	89.8	99.8

Tabella 3.3.1c. Dati di precipitazione massima annuale per durate comprese tra 1 e 24 ore. Stazione di Rocchetta Nervina.

Stazione Rocchetta Nervina					
Valori di h in mm					
durata (ore) =	1	3	6	12	24
anni					
1951	42	47.8	48	49	54.2
1952	50.2	33.8	55	74.6	109.4
1953	20.8	37.8	51.2	67.8	72
1954	30.4	32.4	43.2	61.8	84.8
1955	20.6	23.6	30	57.8	93.4
1956	18.8	51.4	61.4	60	98.6
1957	30.8	35	55.2	87.2	110.6
1958	17	70	89	61	74
1959	30.6	55.4	102.2	128.4	178
1960	37	34.8	56	116.8	116.8
1961	16.4	34	53.2	82.6	117.4
1962	20.6	43.4	50.4	81	137.6
1963	30	90	130.4	66.8	84.2
1964	55	44.6	57	134.8	193
1965	39.6	45.2	57.4	81.2	91.6
1966	35.6	102	117.6	84.2	131.2
1967	57.2	25	42.4	200	277
1968	22.2	42.2	50	55	85
1969	38.4	25	30	65.4	70.8
1970	14	19.4	32.2	41.2	51.4
1971	12.2	180	200.8	49	74
1972	105.4	36.2	45.6	201	201.4
1973	23	62.6	62.8	63.4	64.4
1974	58	43	53.8	62.8	87.2
1975	22	27	38	79.2	96.8
1976	16	37.8	38.2	52.8	63
1977	37.6	50.2	69	56	69
1978	45	41.9	56.5	109	126
1979	30	33	51.4	89.3	123.4
1980	28.9	44.4	60.4	68.6	102.9
1981	20	73	87.4	74	92.4
1982	40.6			98.8	113.2
1986	18.2	39.8	46	51.2	69

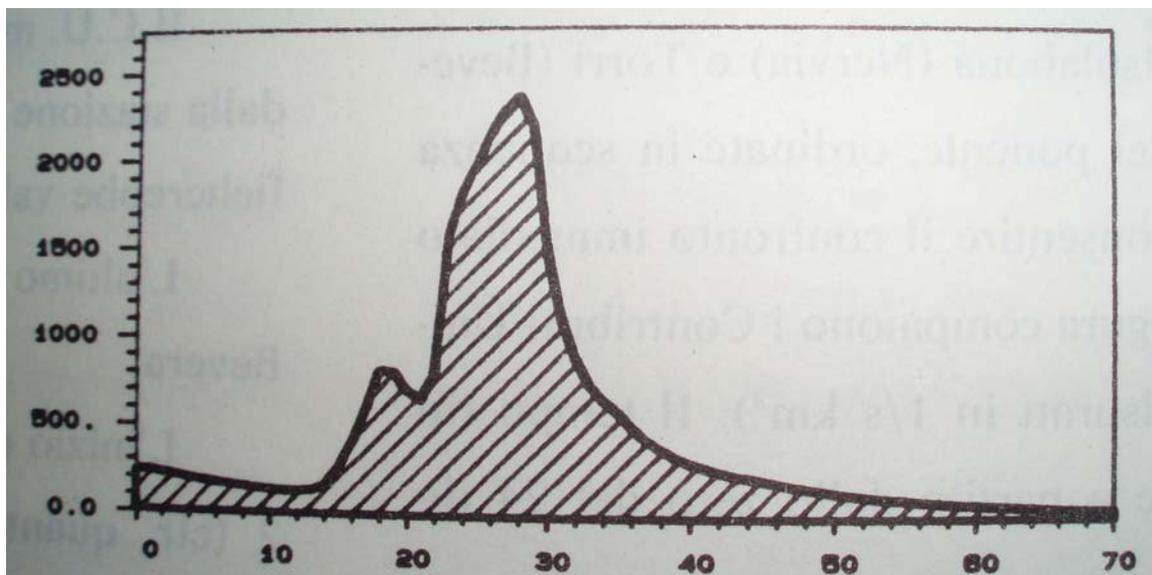
Tabella 3.3.1d. Dati di precipitazione massima annuale per durate comprese tra 1 e 24 ore. Stazione di Pigna.

Stazione di Pigna					
Valori di h in mm					
durata (ore) =	1	3	6	12	24
anni					
1949	32.8	41.2	45	81	109
1950	23.4	55	76.4	105.2	137.2
1953	30.2	38.4	42.4	48.8	66
1954	30	52.8	86.2	91.8	153.6
1957	15.2	34	57	103	163.4
1959	18.2	32	62	88.4	116
1961	38.4	50.4	55.6	66	98.2
1962	42.2	47	56	62.2	80.6
1963	31.2	31.4	38.4	47	55.8
1965	21	45.4	65.6	98	141
1966	58.4	119.4	137	138	139.6
1967	14.6	27	35.6	53.4	55
1968	17.4	31.8	34.6	47.6	80.6
1969	56	59	59	59	67
1971	17	26.4	42	56.6	83.6
1972	22.4	44.2	64	66.6	79.6
1974	30.6	32.4	32.4	32.4	64
1975	18	40	67	101	135.4
1976	22.9	40	70	106.1	143.8
1977	19.7	22.3	31	58.7	79.5
1978	20	24.8	31.2	34	45
1979	43.4	53.2	55	79.2	118.4
1980	15.6	32.6	44	52.4	52.4
1981	11.2	20.8	41	57.6	67.6
1982	15	29.8	41.8	57.8	87
1983	16.6	22.6	27	33.4	51
1985	13.6	24.2	32.4	43	52
1986	12	18.8	33	39.8	51.8
1987	32.4	52	72.8	80.4	99
1991	24.4	45	83.4	91	95.2
1992	29	40.6	57.4	64.6	78.6
1993	34	44	50	90.6	115
1994	13.6	31	46	84	143.2
1995	33	38	55	60	61
1996	13	21.2	36.2	46.8	50.4

Tabella 3.3.2. Dati di portata al colmo di piena massima annuale per la sezione di Isolabona. In grassetto il dato riportato per l'anno 1966.

Anno	Q_{max} [m ³ s ⁻¹]	Q_{mg} [m ³ s ⁻¹]	Anno	Q_{max} [m ³ s ⁻¹]	Q_{mg} [m ³ s ⁻¹]	Anno	Q_{max} [m ³ s ⁻¹]	Q_{mg} [m ³ s ⁻¹]
1930	103	35.3	1953	105	36.6	1969	72.8	38.0
1931	71.3	60.2	1954	381	172.0	1970	124	
1932	68.4	29.9	1955	87	65.4	1971	130	48.8
1933	148	35.3	1957	292	183.0	1972	90	53.8
1934	41.5	33.5	1958	240	175.0			
1935	86.1	31.3	1959	115	79.8.3			
1936	41.4	24.7	1960	59.5	40.4			
1937	56.9	27.0	1961	72.6	54.1			
1938	80.5	42.3	1962	68.6	48.9			
1939	71.5	24.5	1963	71	40.9			
1941	98.1	48.6	1964	48	46.9			
1942	35.1	20.3	1965	168	35.6			
1943	82.1	20.3	1966	1330	147.0			
1951	108	54.7	1967	20.2	6.2			
1952	199	199.0	1968	40.9	24.2			

Tavola. 3.3.3a. Tracciato dell'idrogramma 24 Dicembre 1973. Scala delle ordinate in mm equivalenti.



4. Regime pluviale dei nubifragi

4.1. Metodologia di analisi statistica

Sulla base dei campioni disponibili, è stata condotta l'analisi statistica dei dati di stazione del bacino, relativi alle piogge intense massime annuali con durata compresa tra 1 e 24 ore, sviluppando l'impostazione computazionale di Rosso et al. (1997) che si basa sul principio dell'invarianza di scala introdotto da Burlando & Rosso (1996). I dati di base, aggiornati fino alla attuale disponibilità delle osservazioni sono stati riportati nelle Tabelle 3.3.1a, b, c, d.

I dati sono stati elaborati con il metodo della rinormalizzazione statistica della curva di crescita locale (scala puntuale). Per la valutazione della distribuzione di probabilità viene utilizzata la legge GEV (Generalized Extreme Value) e, per la stima dei relativi parametri, vengono impiegate le tecniche inferenziali PWM (Probability Weighted Moments) e/o L-moments (Hosking et al., 1985; Hosking, 1990).

La procedura porge una valutazione delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) per ogni sito-stazione.

4.2. Metodo SIGEV (Scale Invariance Generalized Extreme Value)

Le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica caratterizzano il regime pluviometrico delle piogge puntuali di forte intensità e breve durata, segnalando il valore di altezza di pioggia, rilasciabile da un nubifragio in un intervallo di tempo pari a d , che può venire superato con probabilità $1-F$, ovvero caratterizzate da un periodo di ritorno $T = 1/(1 - F)$ in anni.

Per la valutazione delle LSPP è stata utilizzata la legge generalizzata del valore estremo GEV e il metodo scala invariante (Burlando & Rosso, 1996; Rosso et al., 1997). Nel suo complesso, il modello è noto in letteratura come Scale-Invariance Generalized Extreme Value (SIGEV).

In forma generalizzata, una LSPP scala-invariante si può scrivere come (Kottegoda & Rosso, 1997)

$$h(T; d) = a_1 w_T d^\nu, \quad (4.1)$$

o in modo equivalente, in termini di intensità o tasso di precipitazione, come

$$p(T; d) = a_1 w_T d^{\nu-1}, \quad (4.2)$$

dove

- $a_1 = E[H(1)]$ rappresenta il coefficiente di scala della linea segnalatrice, pari al valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale H per la durata unitaria di riferimento, per esempio, un'ora. Questo coefficiente viene anche indicato con la denominazione di *pioggia indice*;
- ν rappresenta l'esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali;
- w_T rappresenta il fattore di crescita in frequenza, in quanto esso dipende del tempo di ritorno T e dalla distribuzione di probabilità scelta per rappresentare la variabile normalizzata W a

media unitaria ($E[W] = 1$) che si ottiene dal campione dei dati di pioggia massima annuale normalizzati rispetto alla relativa media per ogni durata.

Per la distribuzione GEV, w_T assume la forma

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - [\ln(T/(T-1))]^k \right\}, \quad (4.3)$$

dove ε indica il parametro di posizione, α indica il parametro di scala, e k indica il parametro di forma della distribuzione, tutti adimensionali. Per $k=0$, la distribuzione GEV collassa nella distribuzione di Gumbel, ossia del valore estremo di primo tipo (EV1).

4.3. Analisi delle serie campionarie e previsioni statistiche

Utilizzando il metodo di stima L -moments, secondo la procedura CNR VAPI (v. De Michele & Rosso, 2000) sono stati stimati i valori dei parametri riportati nelle Tabelle 4.3.1-3 relativi alle stazioni di

- Colle Belenda
- Ventimiglia
- Rocchetta Nervina
- Pigna

Nelle Figg. 4.3.1-4 sono riportati i diagrammi relativi all'adeguamento del modello rispetto alle osservazioni. Si può osservare come il modello SIGEV, ancorché parametrizzato in modo parsimonioso e calibrato sull'insieme delle durate tramite il modello della curva di crescita della altezza di pioggia rinormalizzata, fornisca un buon adeguamento delle previsioni statistiche rispetto alle osservazioni storiche.

Nelle Tabelle 4.3.1 sono anche riportate le previsioni statistiche per alcuni valori salienti del periodo di ritorno. Nelle Figure 4.3.5-8 sono infine riportate le LSPP per le stazioni esaminate.

Tabelle 4.3.1. Parametrizzazione del modello SIGEV per la valutazione delle LSPP di stazione e previsioni statistiche per alcuni valori salienti del periodo di ritorno. Stazioni di Colle Belenda, Ventimiglia, Rocchetta Nervina, Pigna.

Stazione Colle Belenda					
	Valori di Progetto, in mm				
N	a_1	ν	α	ε	k
35	21.82	0.465	0.250	0.856	0.0
T	Durata, ore				
anni	1	3	6	12	24
5	26.8	44.6	61.6	84.9	117.2
10	30.8	51.3	70.8	97.7	134.9
25	35.9	59.8	82.5	113.8	157.1
50	39.6	66.1	91.2	125.8	173.6
100	43.4	72.3	99.8	137.7	190.0
200	47.1	78.5	108.3	149.5	206.4

Stazione Ventimiglia					
	Valori di Progetto, in mm				
N	a_1	n	a	e	k
35	23.48	0.40	0.24	0.86	0.00
T	Durata, ore				
anni					
10	33.0	51.4	67.9	89.7	118.6
50	42.4	66.0	87.3	115.3	152.4
100	46.4	72.2	95.5	126.2	166.7
200	50.4	78.4	103.6	136.9	181.0
500	55.6	86.5	114.4	151.2	199.8
1000	59.6	92.7	122.5	161.9	214.0

Stazione Rocchetta Nervina					
	Valori di Progetto, in mm				
N	a_1	ν	α	ε	k
33	32.67	0.371	0.264	0.758	-0.258
T	Durata, ore				
anni	1	3	6	12	24
5	40.6	61.0	78.8	101.9	131.8
10	51.1	76.8	99.3	128.4	166.0
25	67.7	101.8	131.6	170.1	219.9
50	82.9	124.6	161.1	208.3	269.4
100	101.1	151.8	196.3	253.8	328.2
200	122.7	184.3	238.3	308.1	398.3

Stazione di Pigna					
	Valori di Progetto, in mm				
N	a_1	ν	α	ε	k
35	25.29	0.407	0.301	0.810	-0.053
T	Durata, ore				
anni	1	3	6	12	24
5	32.4	50.6	67.1	88.9	117.9
10	38.7	60.4	80.1	106.2	140.8
25	47.0	73.5	97.4	129.1	171.2
50	53.5	83.6	110.8	146.9	194.8
100	60.1	94.0	124.6	165.2	219.0
200	67.0	104.8	138.9	184.1	244.1

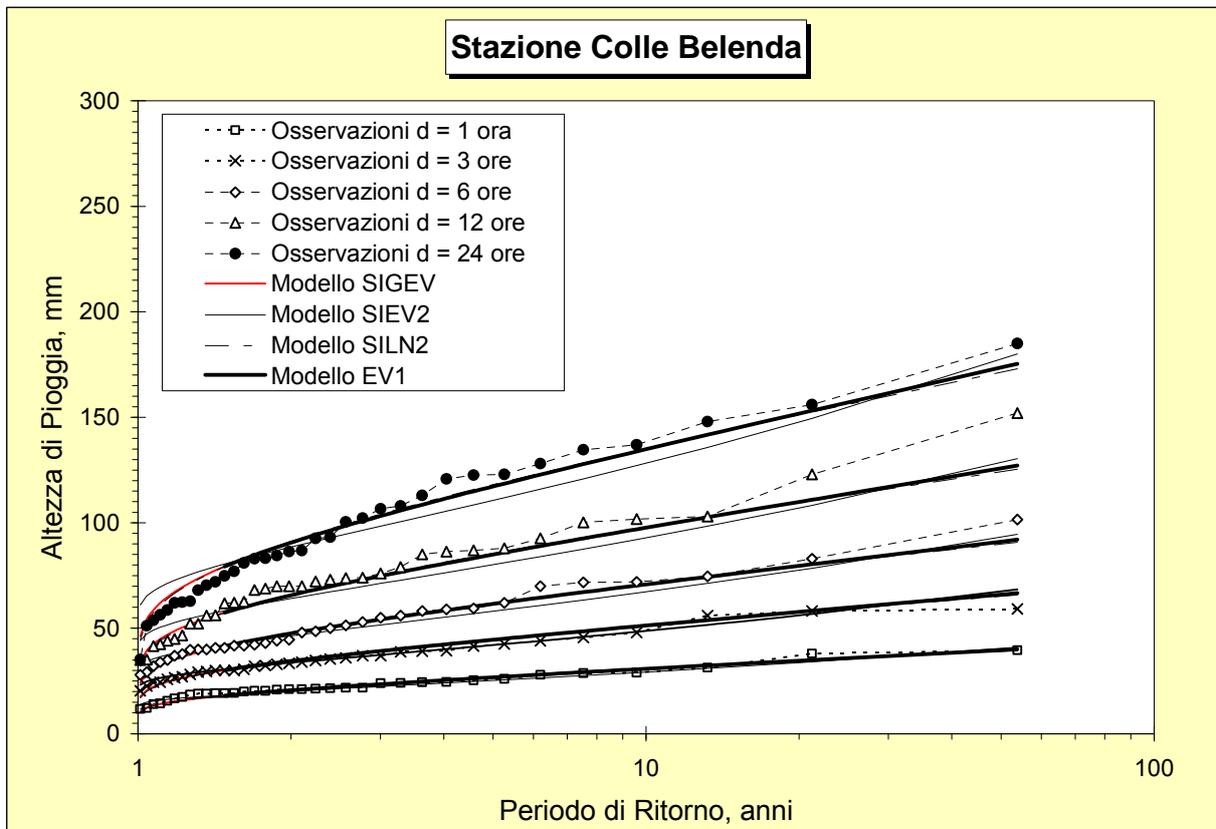
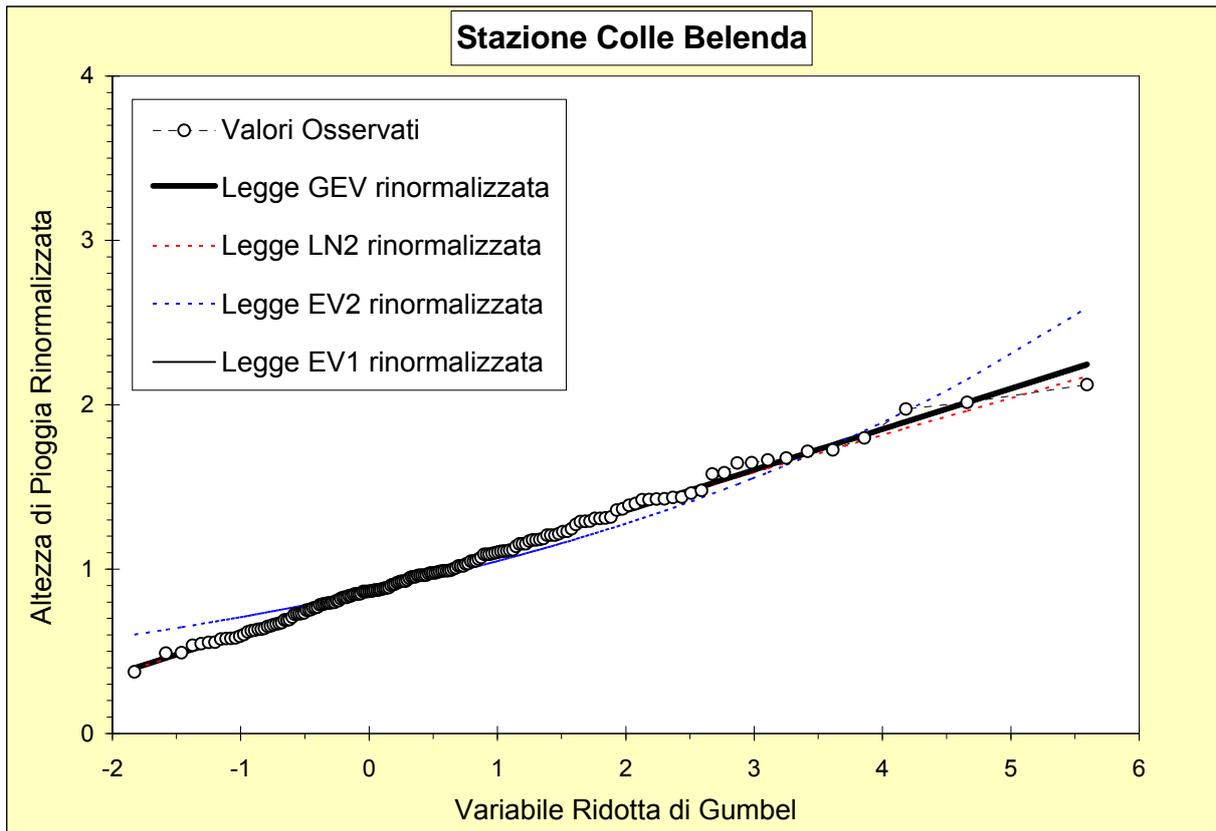


Figura 4.3.1. Stazione di Colle Belenda. Osservazioni ordinate e modello SIGEV dell'altezza di pioggia massima annuale con durata di 1,3, 6, 12 e 24 ore consecutive. Curva di crescita e distribuzioni di probabilità.

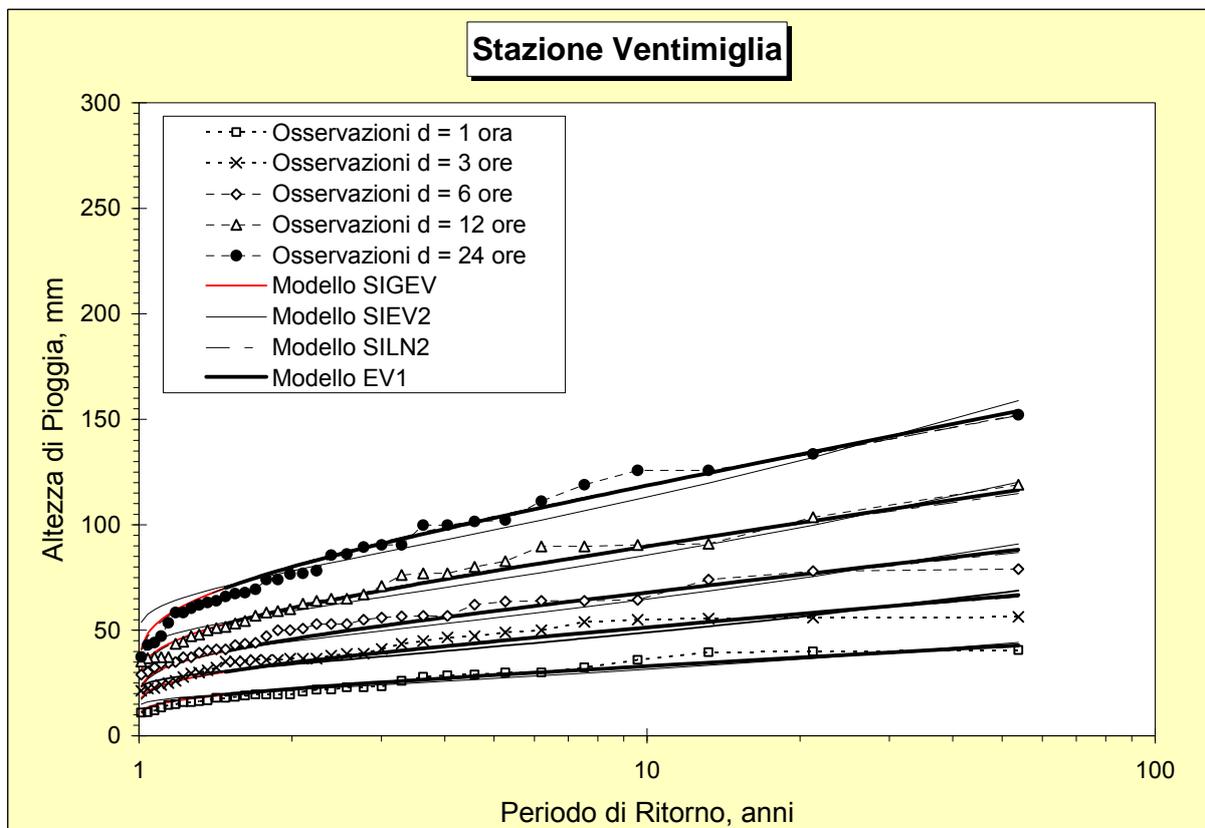
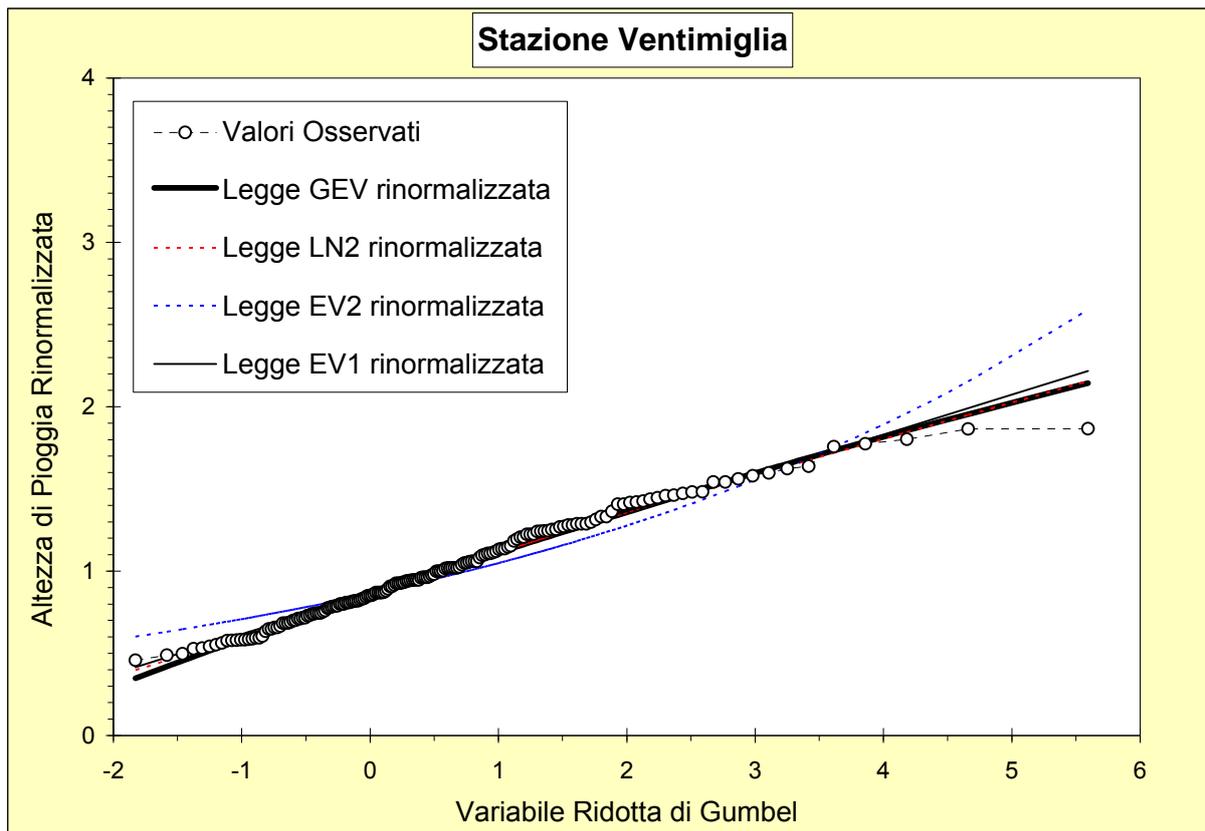


Figura 4.3.2. Stazione di Ventimiglia. Osservazioni ordinate e modello SIGEV dell'altezza di pioggia massima annuale con durata di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive. Curva di crescita e distribuzioni di probabilità.

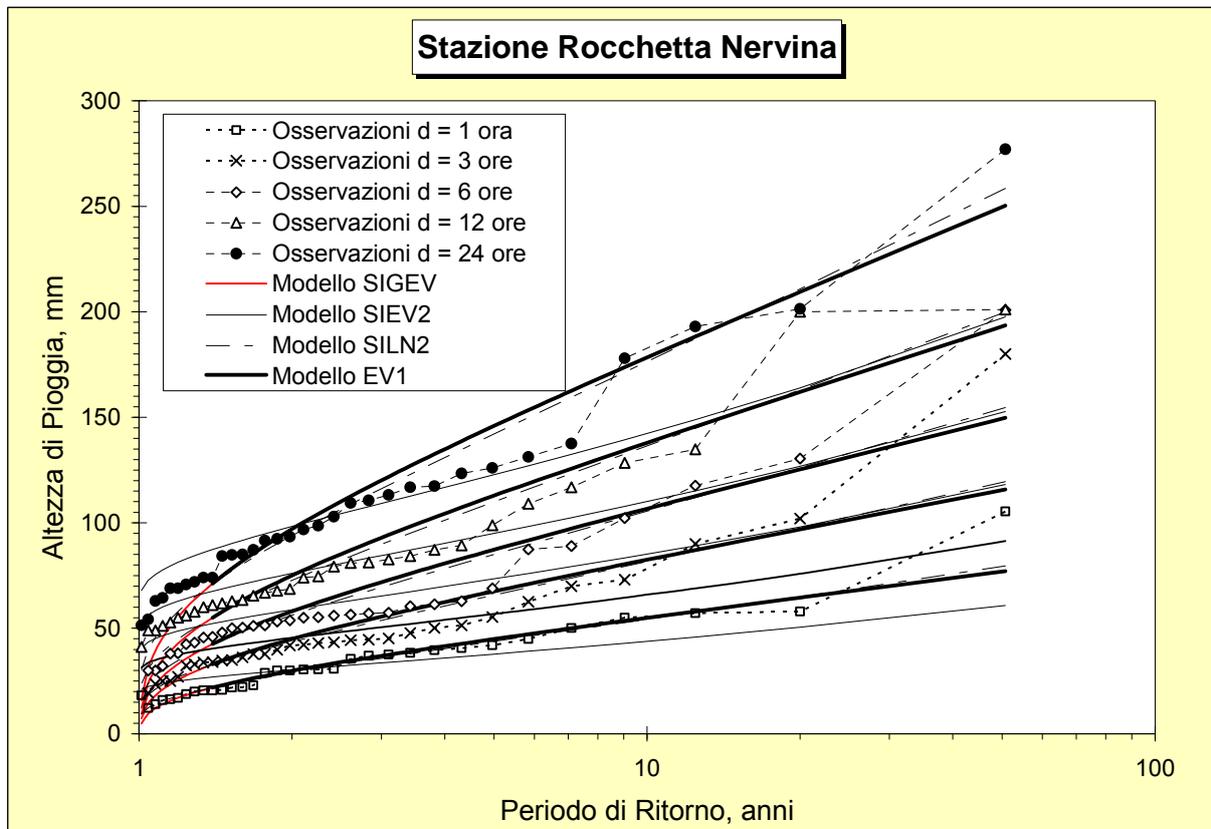
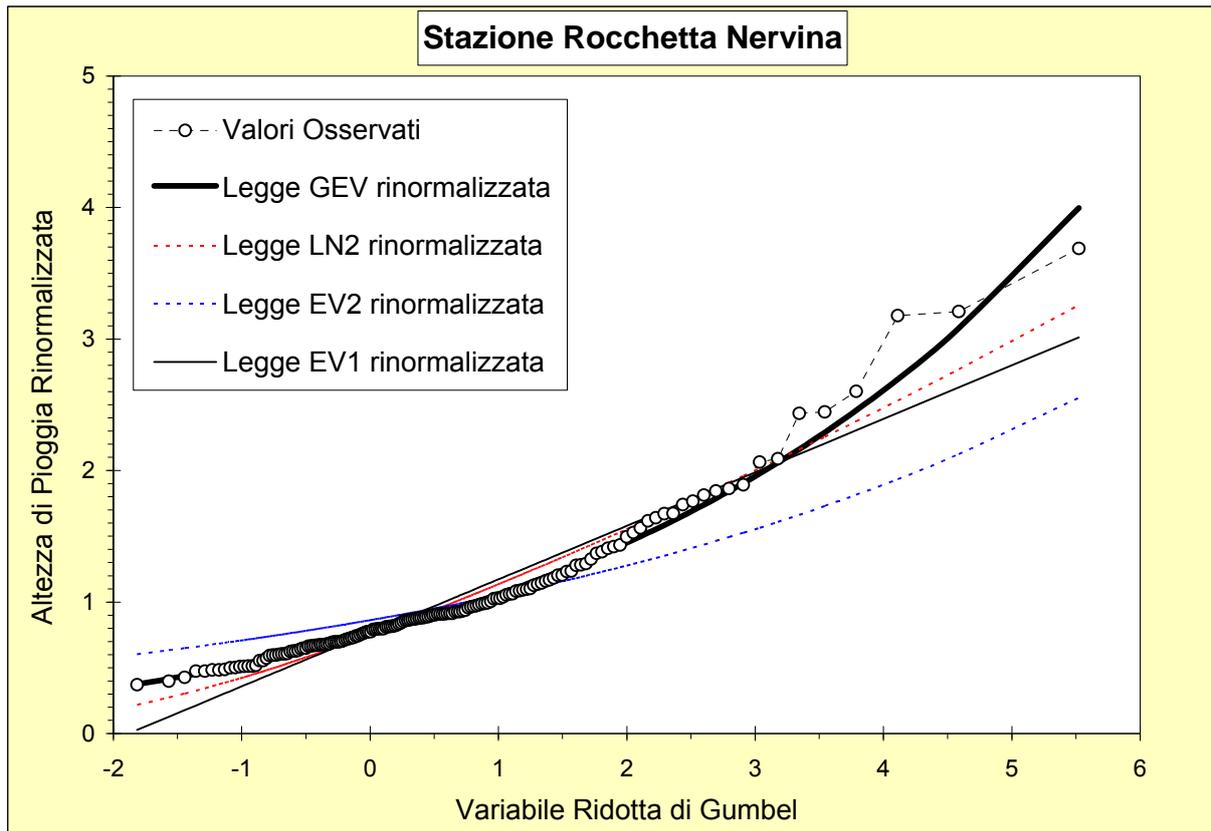


Figura 4.3.3. Stazione di Rocchetta Nervina. Osservazioni ordinate e modello SIGEV dell'altezza di pioggia massima annuale con durata di 1,3, 6, 12 e 24 ore consecutive. Curva di crescita e distribuzioni di probabilità.

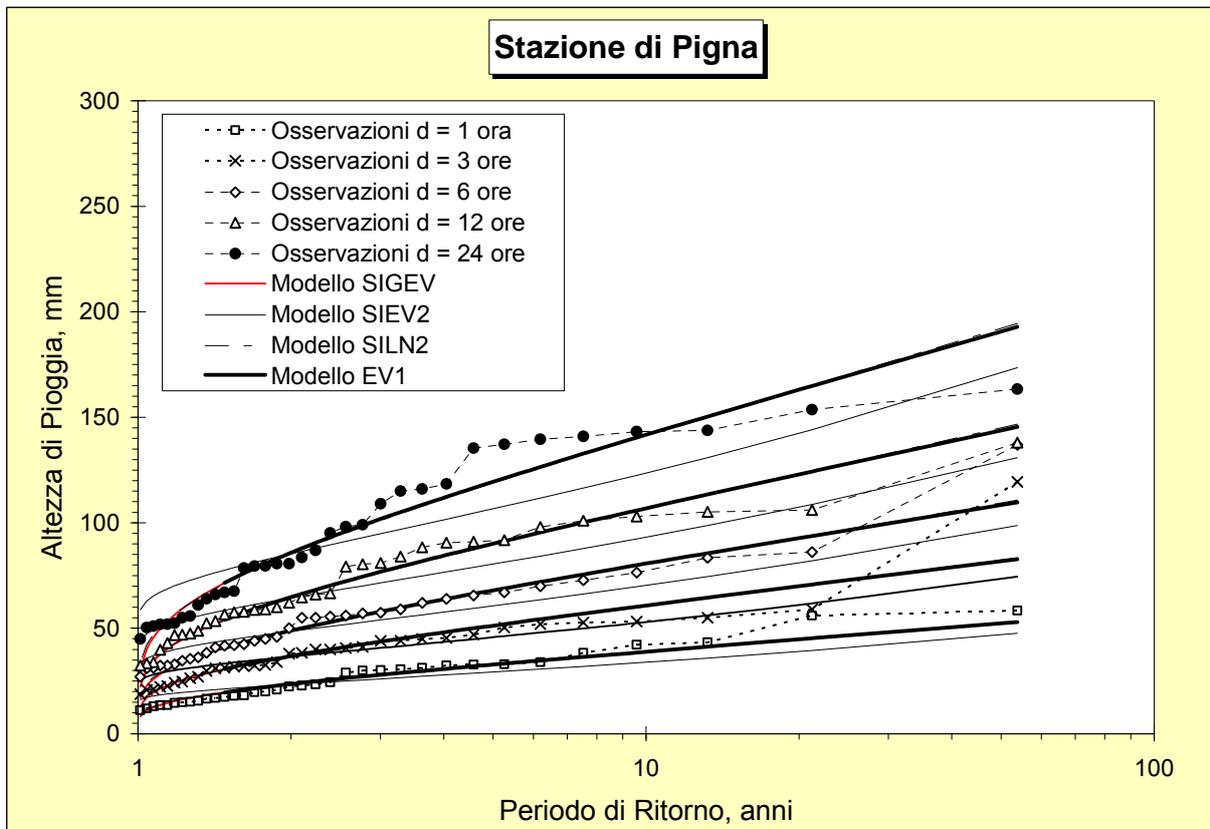
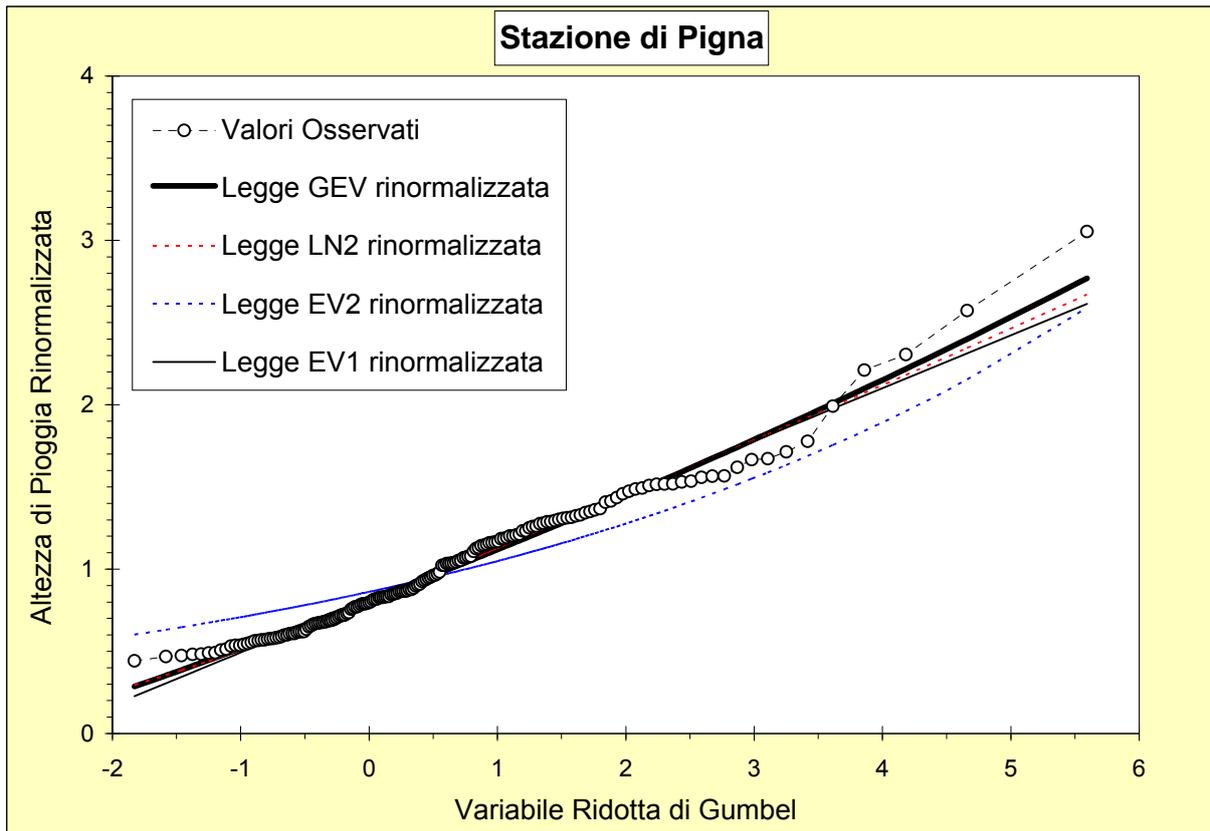


Figura 4.3.4. Stazione di Pigna. Osservazioni ordinate e modello SIGEV dell'altezza di pioggia massima annuale con durata di 1,3, 6, 12 e 24 ore consecutive. Curva di crescita e distribuzioni di probabilità.

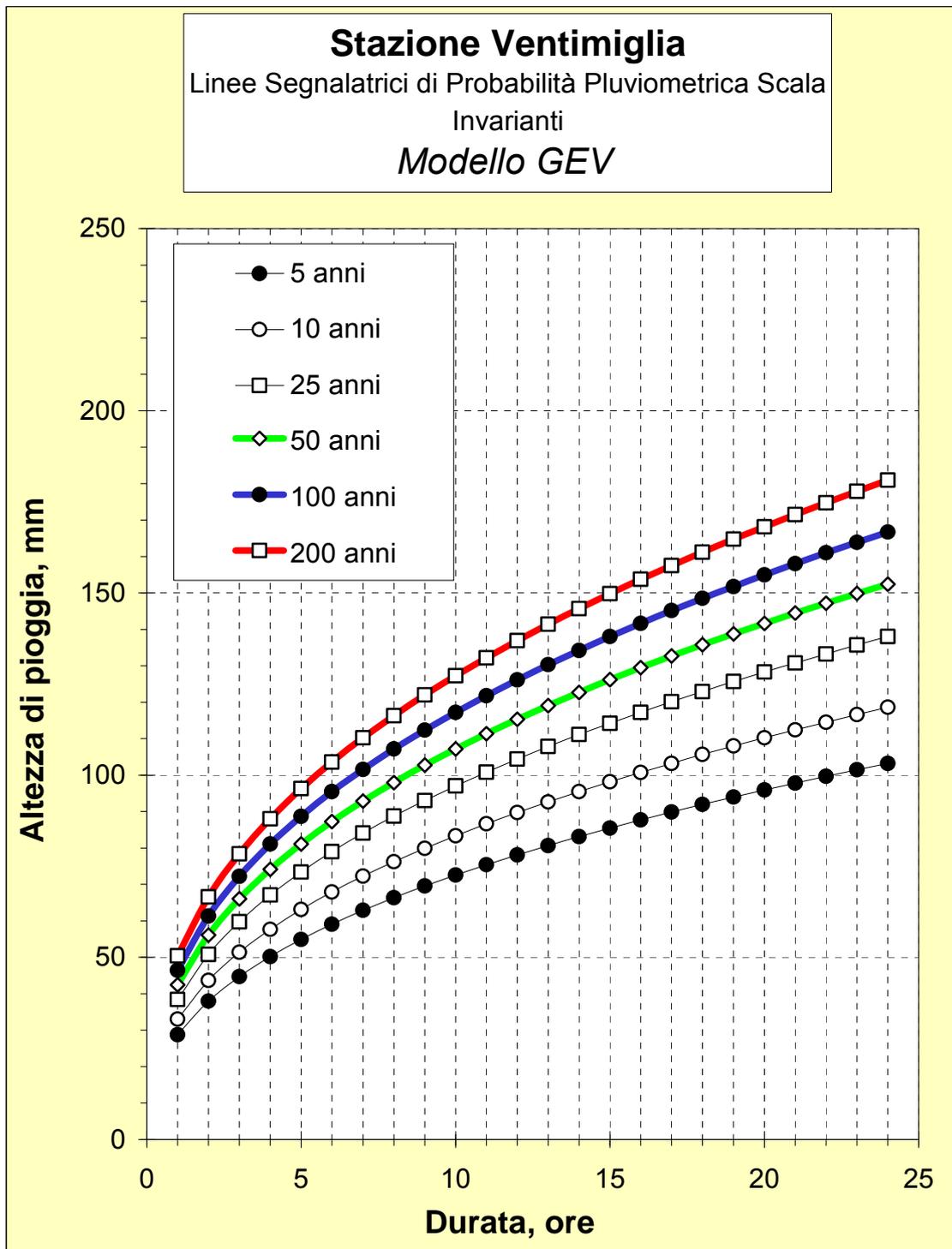


Figura 4.3.5. LSPP della stazione di Ventimiglia.

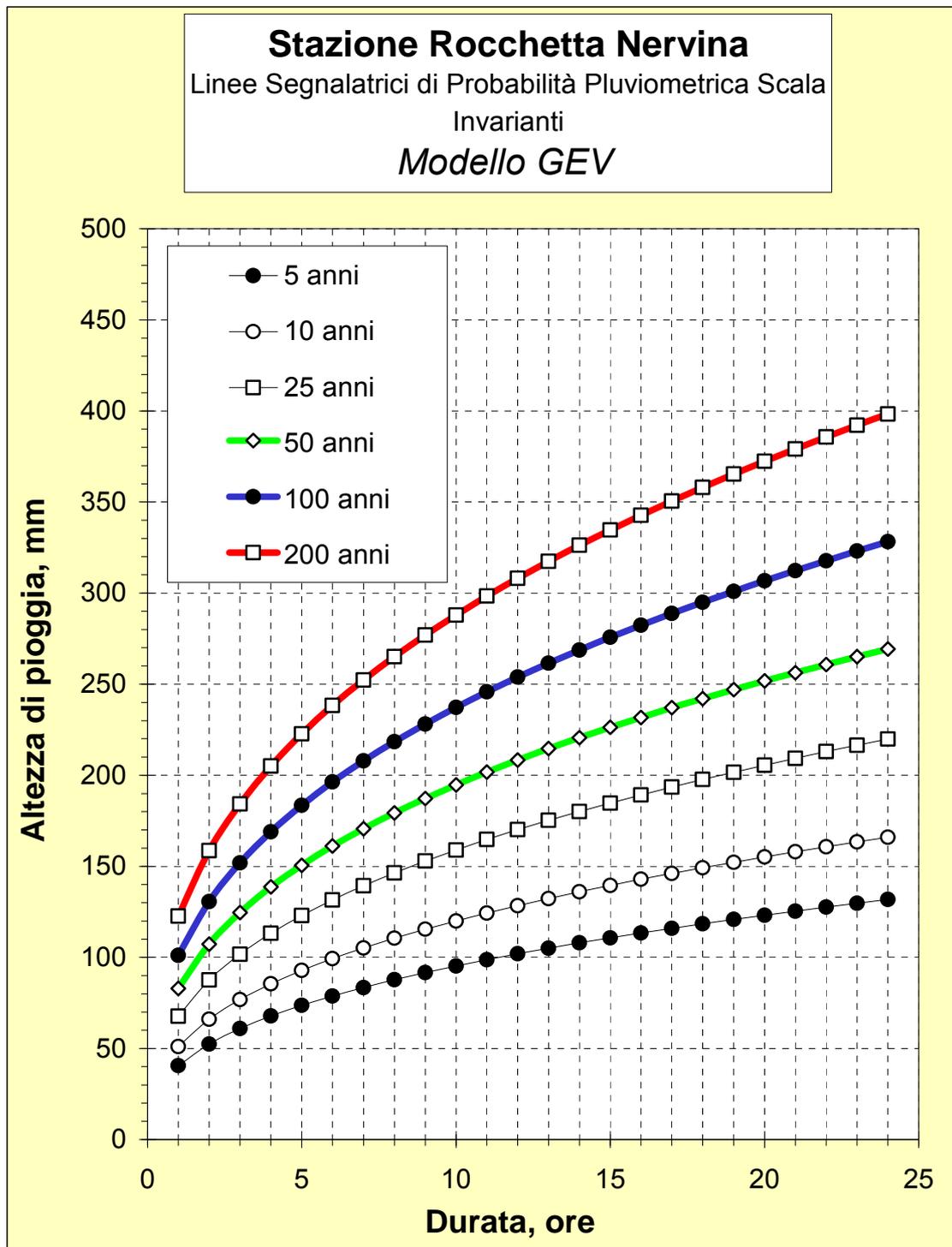


Figura 4.3.6. LSPP della stazione di Rocchetta Nervina.

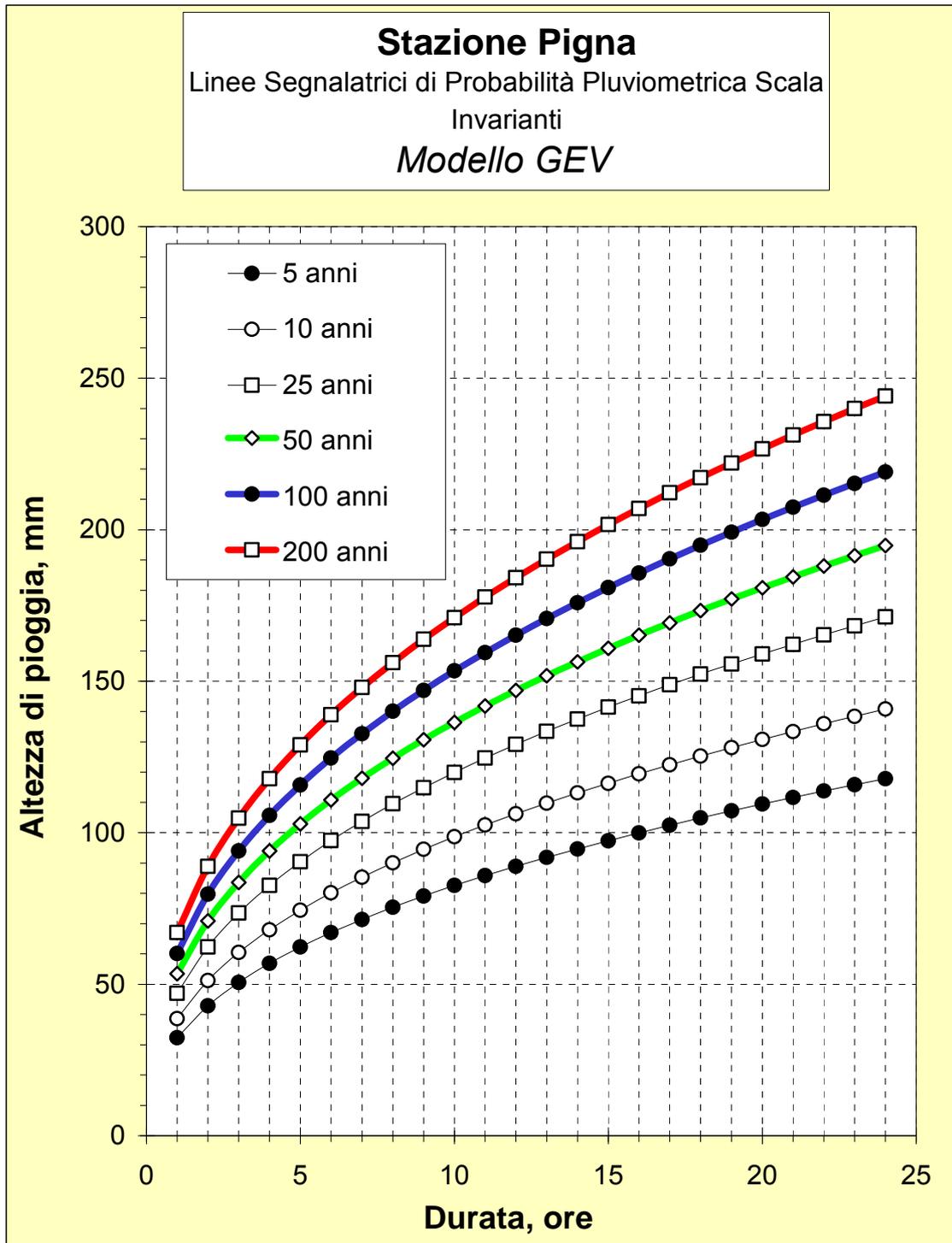


Figura 4.3.7. LSPP della stazione di Pigna.

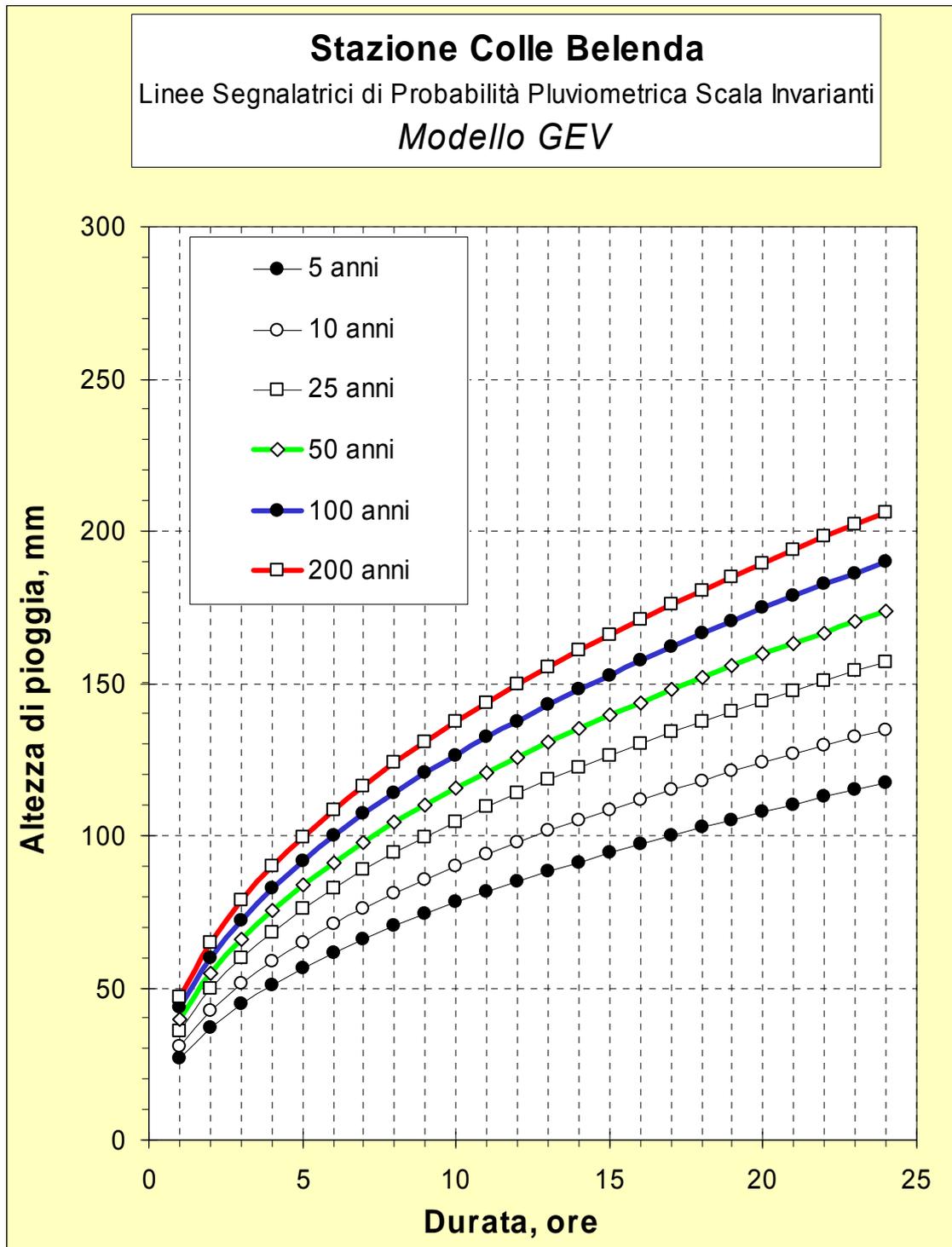


Figura 4.3.8. LSPP della stazione di Colle Belenda.

5. Portata al colmo di piena

5.1. Portata di piena del torrente Nervia a Isolabona: stima con il metodo diretto AFS

5.1.1. DATI IDROMETRICI DISPONIBILI E PORTATA INDICE

Come introdotto in precedenza, è stato possibile reperire i dati di portata istantanea al colmo di piena del torrente Nervia nella sezione di Isolabona per il periodo 1930-1972, per un totale di 34 anni di osservazioni. Tali valori, già riportati in Tabella 3.3.2, sono anche ripetuti per comodità di consultazione in Tabella 5.1.1. Questi valori possono essere utilizzati per la valutazione della portata indice tramite metodo AFS. Utilizzando l'Eq. (2.6) si stima dunque una portata indice pari a $E[Q_u] = q_{indice} = 141.4 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, con una errore standard di stima pari a $\sigma_{q_{indice}} = 38.3 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, ottenuta tramite l'Eq. (2.7).

Tabella 5.1.1. Dati di portata al colmo di piena massima annuale e massima annuale media giornaliera per la sezione di Isolabona.

Anno	Q_{max} [m^3s^{-1}]	Q_{mg} [m^3s^{-1}]	Anno	Q_{max} [m^3s^{-1}]	Q_{mg} [m^3s^{-1}]	Anno	Q_{max} [m^3s^{-1}]	Q_{mg} [m^3s^{-1}]
1930	103	35.3	1953	105	36.6	1969	72.8	38.0
1931	71.3	60.2	1954	381	172.0	1970	124	
1932	68.4	29.9	1955	87	65.4	1971	130	48.8
1933	148	35.3	1957	292	183.0	1972	90	53.8
1934	41.5	33.5	1958	240	175.0			
1935	86.1	31.3	1959	115	79.8.3			
1936	41.4	24.7	1960	59.5	40.4			
1937	56.9	27.0	1961	72.6	54.1			
1938	80.5	42.3	1962	68.6	48.9			
1939	71.5	24.5	1963	71	40.9			
1941	98.1	48.6	1964	48	46.9			
1942	35.1	20.3	1965	168	35.6			
1943	82.1	20.3	1966	1330	147.0			
1951	108	54.7	1967	20.2	6.2			
1952	199	199.0	1968	40.9	24.2			

5.2. PORTATA DI MASSIMA PIENA NELLA STAZIONE DI ISOLABONA

Utilizzando i quantili regionali stimati da Bocchiola *et al.* (2004) per la la regione omogenea C, Appennino NO e Liguria Tirrenica (v. Tabella 2.2.2), ossia $\alpha = 0.37$, $\varepsilon = 0.643$ e $k = -0.276$, si ottiene, combinando le Eq.ni (2.1) e (2.2) la seguente legge statistica di previsione della portata di piena:

$$Q_T = 141.4 \cdot \left\{ 0.643 - \frac{0.370}{0.276} \left(1 - e^{0.276 y_T} \right) \right\}, \text{ in mc/s.}$$

dove T è espresso in anni ed y_T indica, al solito, la variabile ridotta di Gumbel. L'applicazione di questa procedura comporta le stime di portata al colmo associata a valori salienti del periodo di ritorno riportate in Tabella 5.1.2. I calcoli di dettaglio sono riportati in Tavola 5.1.1.

Tabella. 5.1.2. Valori di portata al colmo corrispondenti a valori salienti del periodo di ritorno in base alla procedura VAPI applicata al sito di Isolabona, con riferimento alle curve di crescita GEV della regione C.

Periodo di ritorno, in anni	GEV Portata al colmo, in m^3s^{-1}	Estremo superiore GEV ($\alpha = 5\%$), in m^3s^{-1}	Estremo inferiore GEV ($\alpha = 5\%$), in m^3s^{-1}
10	257	119	395
50	465	211	719
100	585	259	911
200	731	311	1151
500	971	371	1571

Il diagramma di Figura 5.1.1, tracciato come di norma sul piano di Gumbel, mostra come le stime condotte con questa metodologia siano non siano del tutto congruenti con il campione osservato, su cui si nutrono peraltro notevoli perplessità (v. **Appendice B**).

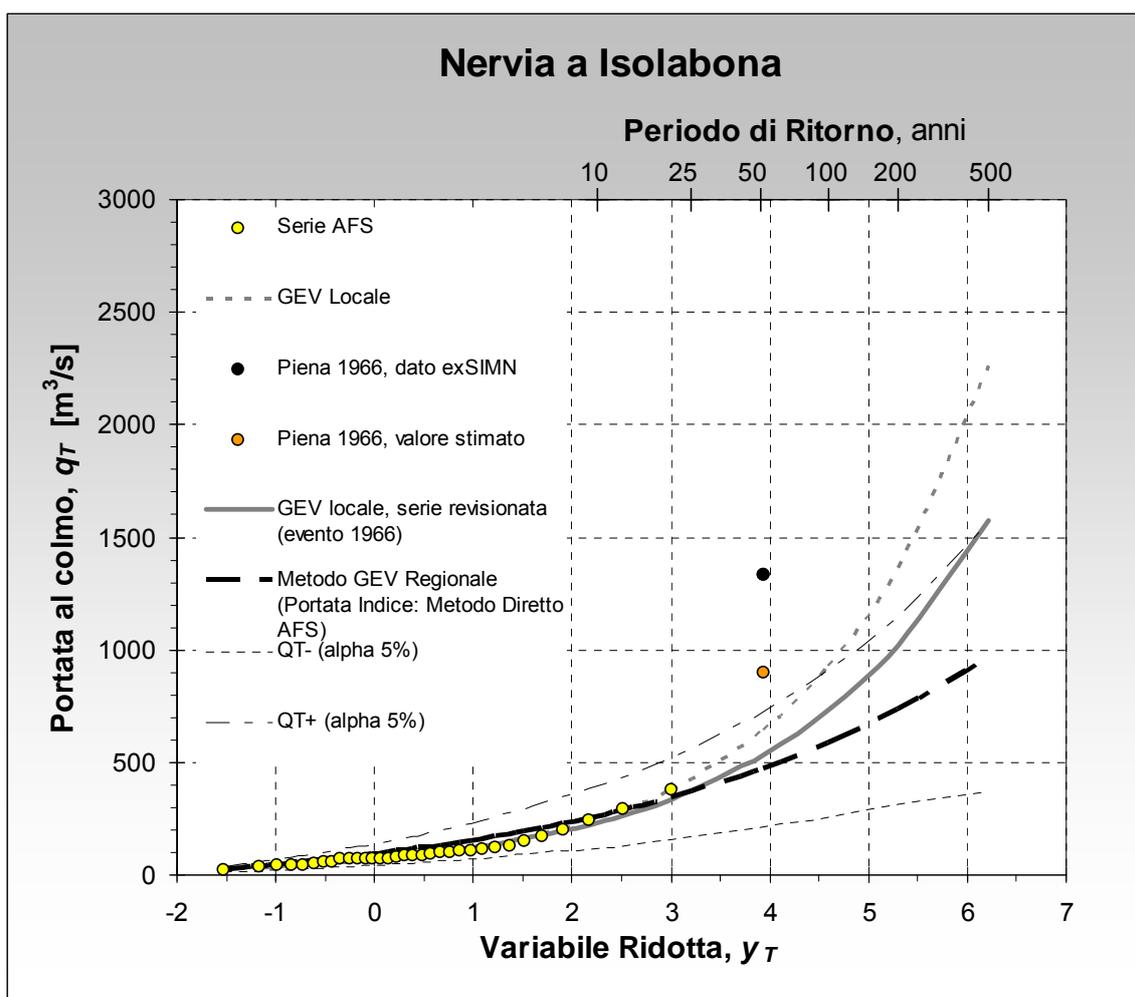


Fig.5.1.1. Portata di massima piena al variare del periodo di ritorno (rappresentato dalla variabile ridotta di Gumbel) valutata con la procedura VAPI-GEV (portata indice stima diretta AFS), per la sezione di Isolabona. Confronto con la GEV locale e limiti di confidenza.

Un test statistico standard di bontà dell'adattamento, quale il test di Kolgomorov-Smirnov, indica come l'ipotesi nulla (ossia l'ipotesi che la variabile aleatoria in oggetto sia distribuita secondo la GEV valutata con la procedura descritta) non sia rigettabile rispetto all'ipotesi alternativa (ossia l'ipotesi che la variabile aleatoria in oggetto sia altrimenti distribuita) con un livello di significatività maggiore del 10 per cento, vale a dire con una confidenza superiore al 90% (v. Tab. 5.1.3).

Tabella. 5.1.3. Risultati del test di Kolgomorov-Smirnov per la distribuzione campionaria dei valori di portata ricostruiti rispetto alla distribuzione GEV risultante dall'applicazione della procedura VAPI-GEV al sito di Isolabona.

Statistica campionaria	Statistica di riferimento			
	<i>Livello di significatività:</i>	<i>0.10</i>	<i>0.05</i>	<i>0.01</i>
0.21	0.21	0.23	0.28	

In Figura 5.1.1 si riporta, per confronto, anche la distribuzione GEV adattata localmente, i cui parametri sono riportati in Tabella 5.1.4; in particolare, l'elevato valore del parametro di forma, inferiore a -0.5, indicherebbe una forte anomalia, in quanto si verificherebbe il paradosso della non esistenza delle statistiche di secondo ordine (varianza, deviazione standard). Non si osserva quindi un buon adattamento delle distribuzioni regionale e locale, per un'ampia gamma di valori del periodo di ritorno. Tale circostanza avvalora le perplessità sull'affidabilità della serie storica, già espressa in precedenza.

Tabella. 5.1.4. Distribuzione GEV locale nel sito di Isolabona. Parametri calcolati con metodo degli L-momenti.

Sito	N	α	ε	k
Isolabona, serie AFS ufficiale	34	40.6	69.7	-0.55
Isolabona, serie AFS rivalutata	34	40.4	70.7	-0.47

In base alle considerazioni riportate in **Appendice B**, la portata la colmo dell'evento del 1966 può essere rivalutata, poiché la scala di deflusso estrapolata all'epoca non appare affidabile. In tal caso, il colmo di piena si sarebbe realizzato in 896 m³/s e non con 1330 m³/s, come riportato dalla serie dell'ex-SIMN. La sensitività della serie AFS rispetto a questo evento è assai elevata, soprattutto per quanto riguarda il fattore di forma della distribuzione e i quantili a bassa frequenza, come mostrano i valori dei parametri riportati in Tabella 5.1.4 e la curva GEV tracciata in Figura 5.1.1. In particolare, il valore assoluto del parametro di forma k risulta, in questo caso, inferiore a 0.5 e la distribuzione ammette le statistiche di secondo ordine.

Tavola. 5.1.1. Riassunto delle operazioni calcolo per la stima della portata al colmo di piena con il metodo regionale, stazione di Isolabona. Si evidenziano i valori di portata estrapolati tramite la distribuzione GEV regionale per T = 50, 200 e 500 anni.

Metodo Diretto AFS											
Nervia a Isolabona											
Dati in Ingresso											
Ordine	Dati AFS	Dati AFS	Dati AFS	F	T	y _T	x _T	q _T = x _T q _{indice}	Limite Inf	Limite Sup	
	m ³ /s	Ordinati m ³ /s	Ordinati x _T oss								m ³ /s
1	103.0	20.2	0.143	0.010	1.01	-1.521	0.17	24.7	12	38	
2	71.3	35.1	0.248	0.040	1.04	-1.171	0.27	37.6	18	58	
3	68.4	40.9	0.289	0.069	1.07	-0.983	0.32	45.0	21	69	
4	148.0	41.4	0.293	0.099	1.11	-0.840	0.36	50.9	24	78	
5	41.5	41.5	0.294	0.128	1.15	-0.721	0.40	56.1	26	86	
6	86.1	48.0	0.340	0.157	1.19	-0.615	0.43	60.8	28	93	
7	41.4	56.9	0.402	0.187	1.23	-0.518	0.46	65.2	30	100	
8	56.9	59.5	0.421	0.216	1.28	-0.426	0.49	69.5	32	106	
9	80.5	68.4	0.484	0.246	1.33	-0.339	0.52	73.6	34	113	
10	71.5	68.6	0.485	0.275	1.38	-0.255	0.55	77.8	36	119	
11	98.1	71.0	0.502	0.304	1.44	-0.173	0.58	81.9	38	125	
12	35.1	71.3	0.504	0.334	1.50	-0.093	0.61	86.0	40	132	
13	82.1	71.5	0.506	0.363	1.57	-0.013	0.64	90.2	42	138	
14	108.0	72.6	0.514	0.393	1.65	0.067	0.67	94.5	44	145	
15	199.0	72.8	0.515	0.422	1.73	0.148	0.70	98.9	46	152	
16	105.0	80.5	0.569	0.451	1.82	0.229	0.73	103.5	48	159	
17	381.0	82.1	0.581	0.481	1.93	0.312	0.77	108.3	51	166	
18	87.0	86.1	0.609	0.510	2.04	0.396	0.80	113.2	53	174	
19	292.0	87.0	0.615	0.540	2.17	0.483	0.84	118.5	55	182	
20	240.0	90.0	0.637	0.569	2.32	0.573	0.88	124.0	58	190	
21	115.0	98.1	0.694	0.599	2.49	0.667	0.92	129.9	61	199	
22	59.5	103.0	0.729	0.628	2.69	0.765	0.96	136.3	64	209	
23	72.6	105.0	0.743	0.657	2.92	0.869	1.01	143.2	67	220	
24	68.6	108.0	0.764	0.687	3.19	0.979	1.07	150.8	70	231	
25	71.0	115.0	0.813	0.716	3.52	1.097	1.13	159.2	74	244	
26	48.0	124.0	0.877	0.746	3.93	1.226	1.19	168.6	79	259	
27	168.0	130.0	0.920	0.775	4.44	1.367	1.27	179.4	84	275	
28	1330.0	148.0	1.047	0.804	5.11	1.525	1.36	191.9	89	294	
29	20.2	168.0	1.188	0.834	6.02	1.705	1.46	207.0	96	318	
30	40.9	199.0	1.408	0.863	7.31	1.917	1.60	225.6	105	346	
31	72.8	240.0	1.698	0.893	9.32	2.175	1.77	249.8	116	384	
32	124.0	292.0	2.066	0.922	12.83	2.512	2.01	284.0	132	436	
33	130.0	381.0	2.695	0.951	20.61	3.001	2.40	339.9	157	523	
34	90.0	1330.0	9.408	0.981	52.31	3.948	3.34	471.9	214	730	
				0.990	100	4.600	4.14	585	259	911	
				0.995	200	5.296	5.17	731	311	1151	
				0.998	500	6.214	6.87	971	371	1571	
				0.800	5	1.500	1.34	190	89	291	
				0.900	10	2.250	1.82	257	119	395	
				0.950	20	2.970	2.38	336	155	517	
				0.980	50	3.902	3.29	465	211	719	

Calcoli intermedi e Risultati

Portata Indice = 141.4 m³/s

ESS(q_{Indice}) = 38.3 m³/s

Tavola. 5.1.2. Riassunto delle operazioni calcolo per la stima della portata al colmo di piena con il metodo regionale, stazione di Isolabona (con rivalutazione della piena del 1966). Si evidenziano i valori di portata estrapolati tramite la distribuzione GEV regionale per T = 50, 200 e 500 anni.

Metodo Diretto AFS								
Nervia a Isolabona								
Dati in Ingresso								
Ordine	Dati AFS	Dati AFS	Dati AFS	F	T	y _T	x _T	q _T = x _T q _{indice}
	m ³ /s	Ordinati m ³ /s	Ordinati x _T OSS					
1	103.0	20.2	0.157	0.010	1.01	-1.521	0.17	22.5
2	71.3	35.1	0.273	0.040	1.04	-1.171	0.27	34.2
3	68.4	40.9	0.318	0.069	1.07	-0.983	0.32	41.0
4	148.0	41.4	0.322	0.099	1.11	-0.840	0.36	46.3
5	41.5	41.5	0.323	0.128	1.15	-0.721	0.40	51.0
6	86.1	48.0	0.373	0.157	1.19	-0.615	0.43	55.3
7	41.4	56.9	0.442	0.187	1.23	-0.518	0.46	59.3
8	56.9	59.5	0.463	0.216	1.28	-0.426	0.49	63.2
9	80.5	68.4	0.532	0.246	1.33	-0.339	0.52	67.0
10	71.5	68.6	0.533	0.275	1.38	-0.255	0.55	70.7
11	98.1	71.0	0.552	0.304	1.44	-0.173	0.58	74.5
12	35.1	71.3	0.554	0.334	1.50	-0.093	0.61	78.3
13	82.1	71.5	0.556	0.363	1.57	-0.013	0.64	82.1
14	108.0	72.6	0.565	0.393	1.65	0.067	0.67	86.0
15	199.0	72.8	0.566	0.422	1.73	0.148	0.70	90.0
16	105.0	80.5	0.626	0.451	1.82	0.229	0.73	94.2
17	381.0	82.1	0.638	0.481	1.93	0.312	0.77	98.5
18	87.0	86.1	0.670	0.510	2.04	0.396	0.80	103.0
19	292.0	87.0	0.677	0.540	2.17	0.483	0.84	107.8
20	240.0	90.0	0.700	0.569	2.32	0.573	0.88	112.8
21	115.0	98.1	0.763	0.599	2.49	0.667	0.92	118.2
22	59.5	103.0	0.801	0.628	2.69	0.765	0.96	124.0
23	72.6	105.0	0.816	0.657	2.92	0.869	1.01	130.3
24	68.6	108.0	0.840	0.687	3.19	0.979	1.07	137.2
25	71.0	115.0	0.894	0.716	3.52	1.097	1.13	144.8
26	48.0	124.0	0.964	0.746	3.93	1.226	1.19	153.4
27	168.0	130.0	1.011	0.775	4.44	1.367	1.27	163.2
28	896.0	148.0	1.151	0.804	5.11	1.525	1.36	174.6
29	20.2	168.0	1.306	0.834	6.02	1.705	1.46	188.3
30	40.9	199.0	1.547	0.863	7.31	1.917	1.60	205.2
31	72.8	240.0	1.866	0.893	9.32	2.175	1.77	227.2
32	124.0	292.0	2.271	0.922	12.83	2.512	2.01	258.4
33	130.0	381.0	2.963	0.951	20.61	3.001	2.40	309.2
34	90.0	896.0	6.967	0.981	52.31	3.948	3.34	429.2
				0.990	100	4.600	4.14	532
52.36				0.995	200	5.296	5.17	665
				0.998	500	6.214	6.87	883
				0.800	5	1.500	1.34	173
				0.900	10	2.250	1.82	234
				0.950	20	2.970	2.38	306
				0.980	50	3.902	3.29	423

Calcoli intermedi e Risultati

Portata Indice = **128.6** m³/s
 ESS(Q_{Indice}) = **26.6** m³/s

5.2. Portata di piena del torrente Nervia a Isolabona: analisi con il metodo delle tracce storiche

La documentazione in traccia delle alluvioni storiche è in grado di fornire un'informazione assai utile per la valutazione della portata indice. Il procedimento prevede il censimento delle esondazioni osservate e/o documentate, ossia degli eventi in cui la portata al colmo ha superato un livello di soglia q_s noto o calcolato in base alla capacità idraulica di smaltimento del tronco fluviale che comprende la sezione in esame.

A tal fine, i dati del *Censimento delle aree italiane storicamente colpite da frane e da inondazioni* (CNR-GNDICI, 1998) porge in pratica un solo evento significativo per il Torrente Nervia, limitato al solo Comune di Ventimiglia, senza chiarire se trattasi del corso d'acqua principale o di esondazione di rii minori. Essendo tale evento avvenuto il 18 Settembre 1950, non si dispone per tale evento del dato di portata ad Isolabona.

Il Piano di Bacino ed i relativi allegato tecnici non riportano purtroppo un catalogo di eventi.

Dagli Annali Idrologici dell'anno 1925 dell'allora Sezione di Pisa del Servizio Idrografico del Ministero dei Lavori Pubblici si ricava anche l'informazione che, nello stesso 1925, venne superato a Isolabona il livello idrometrico (dell'epoca) di 5 m. Il valore allora riportato (per estrapolazione della scala di deflusso dell'epoca) fu di $400 \text{ m}^3/\text{s}$, poi rivalutato qualche anno dopo in circa $340 \text{ m}^3/\text{s}$, e molti anni dopo in $940 \text{ m}^3/\text{s}$, con gravi incertezze di trascrizione dei dati e di estrapolazione della scala di deflusso (v. Appendice B).

Per applicare la metodologia di valutazione descritta in precedenza, si assume, in via del tutto cautelativa, che nel corso degli ultimi 82 anni (dal 1925 al 2006) sia stata superata ad Isolabona una soglia di 381 mc/s per quattro volte: due di questi eventi sono confortati da dati storici osservati, nel 1966 e nel 1954; si assume quindi che anche nel 1950 e nel 1925 questa soglia sia stata superata.

Applicando la procedura di valutazione (v. Tavola 5.2.1) si ottiene un valore della portata indice di 172 mc/s , con limiti sigma pari a 140 e 197 mc/s , e limiti di confidenza a livello di significatività del 5% pari a 109 e 222 mc/s .

Dalla Figura 5.2.1 si osserva come la curva di frequenza locale ottenuta in precedenza sia al limite inferiore della fascia fiduciaria per le alte frequenze, mentre, per le basse frequenze, esca dalla fascia fiduciaria della stima ricavata con il metodo delle tracce storiche. Soltanto se si rivaluta il valore della piena del 1966 in base a considerazioni sulla scala delle portate adottata e alle evidenze locali (v. Appendice B) la curva GEV locale è compresa nella fascia fiduciaria al 95%.

Il metodo delle tracce storiche su base storico-documentale, pur fornendo valutazioni quantitative di larga massima, per via dell'incertezza delle fonti e della modesta lunghezza del periodo storico esaminabile, indica come l'adozione della procedura indiretta sia indispensabile al fine di ottenere un valore affidabile della piena indice.

Si noti come le stime riportate in precedenza (stima della portata indice con il metodo diretto AFS) rientrano nei limiti di confidenza della valutazione tramite il metodo delle tracce storiche, posizionandosi in prossimità della curva di confidenza inferiore. Al contrario, le stime adottate in sede di Piano di Bacino escono al di fuori di tale fascia per un largo spettro di frequenze, ad esclusione di quelle molto basse (ordine di grandezza 500 anni di periodo di ritorno). La GEV locale rientra nella fascia soltanto se si considera la serie AFS rivalutata per l'anno 1966.

Tavola. 5.2.1. Riassunto delle operazioni calcolo per la stima della portata indice con il metodo delle tracce storiche.

Metodo delle Tracce Storico-Documentali**Nervia a Isolabona****Dati in ingresso**

Valore di soglia, $q_s =$	381	m^3/s
α , regionale =	0.377	
ε , regionale =	0.643	
k , regionale =	-0.276	
Numero di anni equivalenti di osservazione regionale, $n =$	753	
Numero di anni di osservazione, $n' =$	82	anni
Numero dei superi, $h (h < n') =$	4	

Calcoli intermedi

Ordine della statistica, $k =$	78	
Periodo di ritorno atteso, $E[T] =$	16.6	anni
Periodo di ritorno sigma ⁽⁺⁾ , $T^{(+)} =$	29.2	anni
Periodo di ritorno sigma ⁽⁻⁾ , $T^{(-)} =$	11.6	anni
<u>Variabile ridotta attesa</u> , $y_T =$	<u>2.778</u>	
<u>Fattore di crescita atteso</u> , $x_T =$	<u>2.218</u>	
Variabile ridotta sigma ⁽⁺⁾ , $y_T^{(+)} =$	3.356	
Variabile ridotta sigma ⁽⁻⁾ , $y_T^{(-)} =$	2.406	
Fattore di crescita sigma ⁽⁺⁾ , $x_T^{(+)} =$	2.73	
Fattore di crescita sigma ⁽⁻⁾ , $x_T^{(-)} =$	1.93	

Risultati

<u>Portata indice attesa</u> , $q_{indice} =$	172	m^3/s
Sigma Limite Inferiore, $q_{indice}^{(-)} =$	140	m^3/s
Sigma Limite Superiore, $q_{indice}^{(+)} =$	197	m^3/s
Livello di significatività, $\alpha =$	5%	
Sigma Limite Inferiore, $q_{indice}^{(-)} =$	109	m^3/s
Sigma Limite Superiore, $q_{indice}^{(+)} =$	222	m^3/s

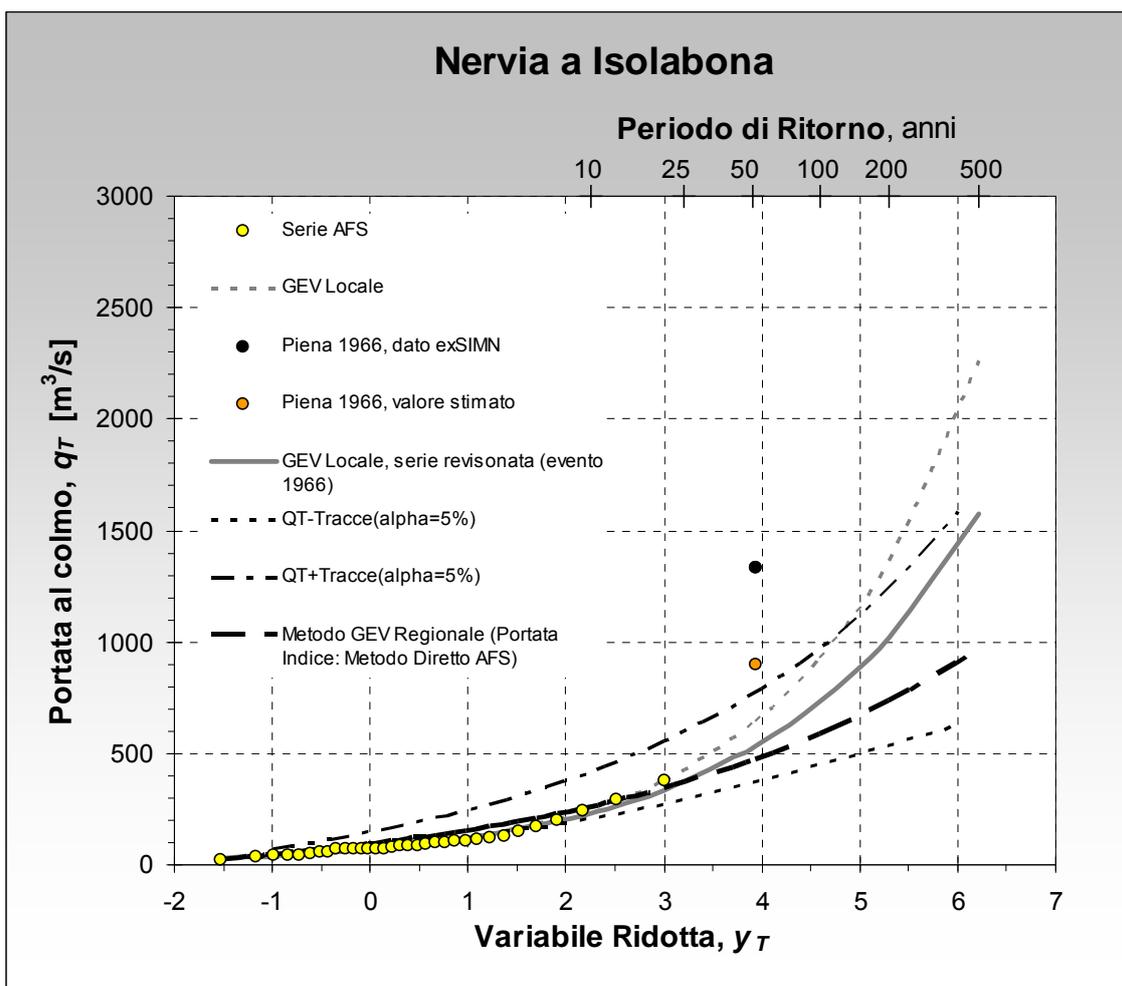


Fig.5.2.1. Portata di massima piena al variare del periodo di ritorno (rappresentato dalla variabile ridotta di Gumbel) valutata con la procedura VAPI-GEV (portata indice stima diretta AFS), per la sezione di Isolabona. Confronto con la GEV locale e con la fascia fiduciaria a livello di confidenza del 95% della stima indiretta ricavata con il metodo delle tracce storiche.

5.3. Stima dei colmi di piena in sezioni non strumentate tramite traslazione scala invariante delle stime con il metodo diretto AFS

Considerando qui le sottosezioni di interesse riportate nella relazione tecnica del Piano di Bacino del torrente Nervia, si valutano qui le portate di piena per tempi di ritorno salienti tramite il metodo della traslazione scala invariante. Applicando l'Eq. (2.8) con esponente di scala regionale $m = 0.75$, è possibile valutare per ogni sottobacino la relativa portata indice funzione dell'area drenante. Tali calcoli sono riportati in Tabella 5.3.1, dove si indicano l'area drenante, la relativa portata indice e la portate stimate tramite la GEV regionale per i tempi di ritorno salienti $T = 50, 100, 200$ e 500 anni. Utilizzando al formula di Eq. (2.1) con la x_T regionale valutata con l'Eq. (2.2) e i valori di q_{indice} riportati in Tabella 5.3.1 si può comunque ricavare la portata la colmo per qualsivoglia periodo di ritorno.

Tabella. 5.3.1. Stime dei valori di portata al colmo per i tempi di ritorno salienti nelle sezioni non strumentate del torrente Nervia. Traslazione scala invariante delle stime ottenute con il metodo diretto AFS di valutazione della portata indice.

Portata al colmo di piena - Metodo VAPI GEV Stima diretta AFS Isolabona e Traslazione Scala Invariante														
Torrente Nervia	Sezione:	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 5	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 4	Torrente Nervia a Isolabona	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 3	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 2	Torrente Nervia - Confluenza MURATONE	Rio BARBAIRA, Confluenza Nervia	Rio MERDANZO, Confluenza Nervia	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 1	Rio GORDALE, Confluenza Nervia	Rio BONDA, Confluenza Nervia	Rio MURATONE, Confluenza Nervia	
		Area drenata, kmq =	187.44	128.45	123	99.97	70.49	44	35.99	24.42	21.59	20	14.21	14
Portata Indice, mc/s =	194	146	141.4	121	93	65	56	42	38	36	28	28		
Curva di Crescita Regionale	$\alpha = 0.377$	$\epsilon = 0.643$	$k = -0.276$	T	y_T	x_T	q_T m ³ /s	q_T m ³ /s	q_T m ³ /s	q_T m ³ /s	q_T m ³ /s	q_T m ³ /s	q_T m ³ /s	q_T m ³ /s
5	1.500	1.34	261	196	190	163	125	88	76	57	52	49	38	37
10	2.250	1.82	353	266	257	220	169	119	102	77	70	66	51	50
20	2.970	2.38	461	347	336	288	221	156	134	100	91	86	67	66
50	3.902	3.29	637	480	465	398	306	215	185	138	126	119	92	91
100	4.600	4.14	803	605	585	501	386	271	233	174	159	150	116	115
200	5.296	5.17	1002	755	731	626	481	338	291	217	198	187	145	143
500	6.214	6.87	1332	1003	971	831	640	449	386	289	263	249	192	190
PIANO DI BACINO, valori adottati														
50			1310	980	949	820	650	440	280	170	240	180	110	160
200			1900	1410	1365	1190	940	640	400	250	340	250	160	230
500			2280	1700	1646	1430	1130	770	490	300	410	310	190	270
PIANO DI BACINO, Stime preliminari														
50			1060	925	895	770	615	370	230	250	220	160		
200			1290	1120	1084	940	745	445	350	295	285	220		
500			1450	1240	1200	1050	830	500	390	330	320	245		

Il confronto con i valori riportati nel Piano di Bacino evidenzia le notevoli differenze, ascrivibili sia alle incertezze di rilevamento che affliggono i dati AFS, da un lato, sia alle procedure e alle approssimazioni seguite in fase di valutazione per il Piano di Bacino stesso, dall'altro.

5.4. Portata di piena del torrente Nervia a Isolabona: stima con il metodo indiretto della simulazione idrologica

5.4.1. METODO DELL'EVENTO CRITICO

Il metodo dell'evento critico consente di determinare il valore della portata indice alla sezione di chiusura del bacino a partire da quella che, per analogia, viene definita pioggia indice. Tale trasformazione avviene attraverso l'utilizzo di un modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi. Il modello sollecitato in ingresso dalla pioggia indice, definita attraverso i parametri valutati in base alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, restituisce il massimo valore di portata indice generabile da tale precipitazione, tramite la ricerca della durata critica, che dipende dalla combinazione delle caratteristiche di risposta del bacino idrografico (rappresentato dal modello afflussi-deflussi) con le caratteristiche statistiche scala-invarianti della linea segnalatrice stessa. Il processo di formazione del deflusso può essere descritto da un modello idrologico globale dalla struttura abbastanza semplice, costituito da due componenti in serie: un modello di rifiuto del terreno basato sul descritto metodo CN-SCS e un modello lineare di formazione alveata della piena basato sull'idrogramma unitario istantaneo (IUH) di forma gamma (v. Appendice A). Il metodo CN-SCS permette di determinare un volume specifico di deflusso superficiale (altezza di pioggia netta) in un evento isolato di pioggia pari a

$$R = \frac{(P_A - I_a)^2}{P_A - I_a + S} \quad (5.1)$$

a ogni passo temporale discreto $t_m = m\Delta t$ e $m = 1, 2, \dots, N$, si può valutare in modo sequenziale il valore del volume incrementale di ruscellamento come

$$R(t_m) = \begin{cases} 0, & \text{se } P_A(t_m) < cS \\ \frac{(P_A(t_m) - cS)^2}{P_A(t_m) + (1-c)S}, & \text{se } P_A(t_m) \geq cS \end{cases} \quad (5.2)$$

dove il valore della pioggia lorda cumulata, è dato da

$$P_A(t_m) = \int_0^{t_m} p_A(t) dt \quad (5.3)$$

con $p_A(t)$ ietogramma di ingresso al sistema.

Essendo

$$\Delta R(t_m) = R(t_m) - R(t_{m-1})$$

il tasso di ruscellamento durante l'intervallo m -esimo è quindi dato da

$$R(t_m) = \frac{\Delta R(t_m)}{\Delta t} \quad (5.4)$$

Il modello di trasformazione afflussi deflussi utilizzato è il modello di Nash, già introdotto in precedenza, nella sua estensione al caso in cui n sia un numero reale. L'idrogramma unitario istantaneo si ottiene, in questo caso, a partire dalla funzione di densità di probabilità gamma incompleta a due parametri, ponendo il numero di serbatoi n pari al parametro di forma β della distribuzione stessa e sostituendo l'operatore $(n-1)!$ con la funzione gamma completa

$$\Gamma(\beta) = \int_0^{+\infty} x^{\beta-1} e^{-x} dx. \quad (5.5)$$

In definitiva l'idrogramma unitario istantaneo assume questa forma:

$$u(t) = \frac{1}{k\Gamma(\beta)} \left(\frac{t}{k}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{t}{k}\right), \quad (5.6)$$

che corrisponde appunto alla una funzione di densità della distribuzione gamma e prende il nome di GIUH. Per tale distribuzione tempo di ritardo t_L e tempo di picco t_p valgono. Per un bacino idrografico di superficie A , il modello IUH-GAMMA restituisce un deflusso

$$q(t) = A \int_0^t u(t-\tau)r(\tau)d\tau = A \int_0^t \frac{1}{\kappa\Gamma(\beta)} \left(\frac{t-\tau}{\kappa}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{t-\tau}{\kappa}\right) r(\tau)d\tau. \quad (5.7)$$

L'integrale di convoluzione viene quindi risolto per sommatorie discrete con passo temporale t_m ovvero infittendo opportunamente la discretizzazione adottata. Le Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica scala-invarianti forniscono, indipendentemente dalla distribuzione probabilistica adottata, l'altezza P_A e il tasso p_A (o intensità) di pioggia nel centro di scroscio che risulta temibile in d ore consecutive. A partire da ietogrammi uniformi di durata d si ottiene:

$$P_A = ARF a_1 d^V \quad (5.8)$$

$$p_A = ARF a_1 d^{V-1} \quad (5.9)$$

Poiché la durata dell'imbibimento iniziale, durante la quale non si manifesta ruscellamento, risulta:

$$t_{IA} = \frac{I_A}{p_A}, \quad (5.10)$$

la durata effettiva della sollecitazione idrologica che perviene alla rete idrografica risulta, quindi

$$t_R = d - t_{IA}, \quad (5.11)$$

con un tasso di ruscellamento pari a

$$r = \frac{R}{t_R}. \quad (5.12)$$

L'idrogramma di piena risulta infine:

$$q(t) = \begin{cases} 0 & , t \leq t_{IA}, \\ A r \int_0^{t^*} \frac{1}{\kappa\Gamma(\beta)} \left(\frac{s}{\kappa}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{s}{\kappa}\right) ds & , t_{IA} < t \leq d, \\ A r \int_{t^*-t_R}^{t^*} \frac{1}{\kappa\Gamma(\beta)} \left(\frac{s}{\kappa}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{s}{\kappa}\right) ds & , t > d, \end{cases} \quad (5.13)$$

con $t^* = t - t_{IA}$.

Determinato il valore di picco, $q_i(d)$, si itera il procedimento ricercando la durata d_c (ossia la durata critica già introdotta per il metodo derivato) che massimizza il deflusso, ottenendo così il valore di portata indice cercato

$$q_i(d_c) = \max_d [q_i(d)] \quad (5.14)$$

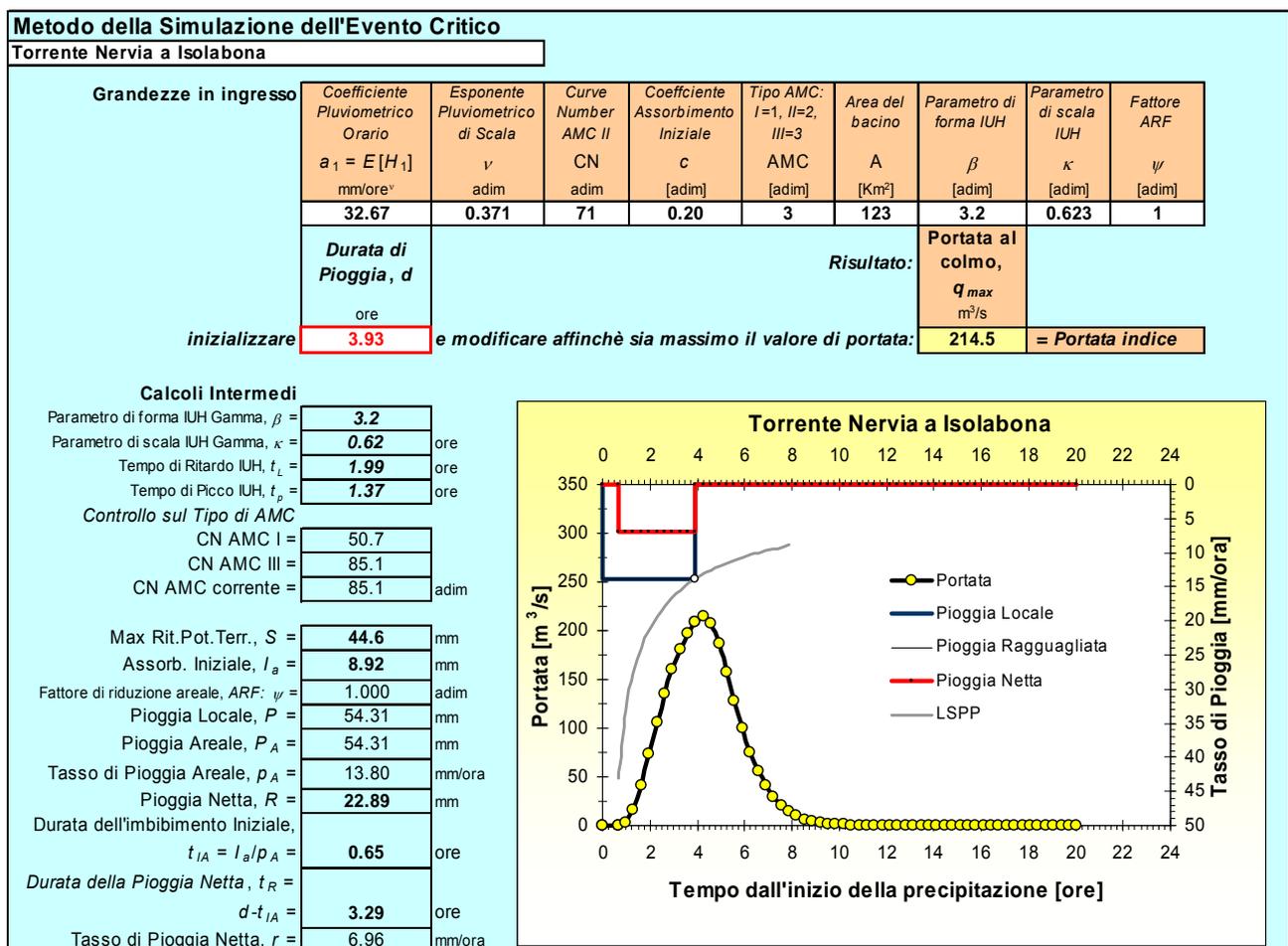
5.4.2. CALCOLO DELLA PIENA INDICE TRAMITE SIMULAZIONE DELL'EVENTO CRITICO

Si determina qui il valore della piena indice per il torrente Nervia a Isolabona, allo scopo di applicare poi la metodologia VAPI regionale per valutare la portata al colmo di piena al variare del tempo di ritorno.

I parametri della LSPP necessari alla valutazione dell'ingresso meteorico sono stati valutati adottando la LSPP baricentrica della stazione di Rocchetta Nervina, che mostra peraltro i valori più elevati di precipitazione ($v = 0.371$, $a_1 = 32.67 \text{ mm/ore}^{0.371}$). A favore di sicurezza e in assenza di studi in materia sull'area regionale ligure, si è posto inoltre il fattore di riduzione areale ARF pari all'unità.

Come parametri relativi alla trasformazione afflussi-deflussi, si sono assunti quelli determinati a partire dalla calibrazione del modello (v. **Appendice A**), ossia CN pari a circa 71, costante d'invaso k e parametro di forma n del metodo di Nash, pari rispettivamente a 0.623 ore e 3.2. Si è inoltre assunto $AMC = III$, ossia un elevato grado d'imbibimento iniziale. La valutazione della durata critica viene condotta tramite massimizzazione della portata al picco di piena, secondo l'Eq. (5.14).

Tavola. 5.3.1. Nervia a Isolabona. Calcolo della piena indice tramite metodo dell'evento critico



La procedura di massimizzazione, condotta tramite un risolutore numerico, porge il valore di $q_{indice} = 214.5 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Questo valore rientra nei limiti di confidenza della valutazione tramite il metodo delle tracce storiche. Si riportano in Tavola 5.3.1 i calcoli necessari alla stima della portata indice ottenuto e i valori intermedi del procedimento appena descritto per il bacino del torrente Nervia chiuso alla stazione di Isolabona.

5.4.3. CALCOLO DELLA PORTATA AL COLMO DI PIENA T-ENNALE

Una volta determinata la portata indice si ripete quanto fatto per il metodo regionale, già descritto in precedenza. Si utilizzano i valori dei parametri della GEV stimati per la la regione omogenea C, ossia $\alpha = 0.377$, $\varepsilon = 0.643$ e $k = -0.276$, si ottiene la legge statistica di previsione della portata di piena:

$$Q_T = 214.5 \cdot \left\{ 0.643 - \frac{0.377}{0.276} \left(1 - e^{0.276 y_T} \right) \right\}, \quad (5.15)$$

in m^3s^{-1} , dove y_T è la variabile ridotta di Gumbel e varia come indicato di seguito al variare del periodo di ritorno T (anni). Si riporta in Figura 5.4.1 l'andamento della portata al colmo di piena al variare del tempo di ritorno a confronto con la stima regionale proposta in precedenza. Si osservi come le stime condotte per via indiretta, tramite simulazione dell'evento critico, siano assai superiori a quelle relative alla stima della portata indice con il metodo AFS.

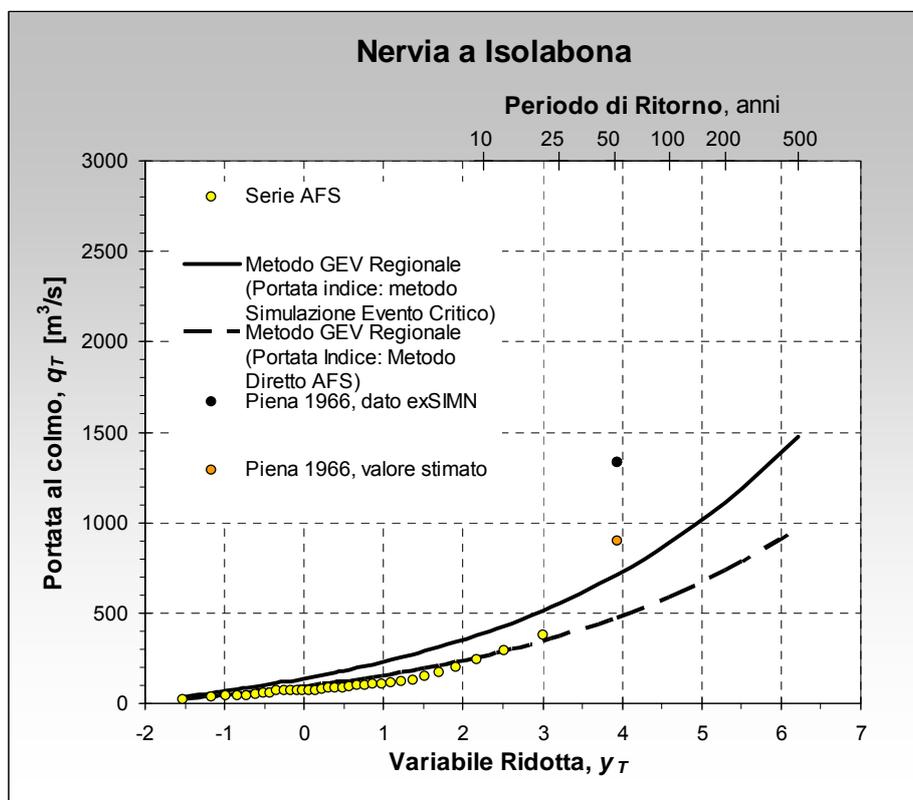


Fig. 5.4.1. Nerva a Isolabona. Portate al colmo di piena per assegnati periodi di ritorno. Metodo della piena indice GNDCI-VAPI: stima con il metodo della simulazione dell'evento critico vs stima diretta AFS.

5.5. Stima dei colmi di piena in sezioni non strumentate tramite il metodo della simulazione dell'evento critico

5.5.1. PROPRIETÀ DEI SOTTOBACINI DI INTERESSE

L'insieme dei processi con i quali i volumi d'acqua affluenti ai bacini fluviali, sotto forma di precipitazioni, si trasformano in deflussi avviene attraverso il complesso sviluppo della loro rete idrografica.

Il modello concettuale adottato tiene conto di questa dinamica tramite alcuni parametri morfologici, la cui valutazione è necessaria per l'applicazione del modello stesso. Un primo passo per un accurato studio della risposta del bacino consiste quindi nel calcolo di alcuni indici morfologici di interesse. Si riportano in Tabella 5.5.1 le caratteristiche di interesse per i bacini afferenti alle sezioni di interesse definite nel piano di bacino, già indicati in Tabella 5.3.1. Tali informazioni sono state ottenute tramite l'utilizzo della cartografia su base GIS.

Tabella 5.5.1. Parametri morfologici di interesse per i sottobacini non strumentati.

Corso d'acqua	Sezione	Superficie (km ²)	Lunghezza asta principale (Km)	Pendenza media bacino (%)
Nervia	Nervia 5	187.4	30.3	26
Nervia	Nervia 4	128.5	20.4	27
Nervia	Nervia 3	100.0	17.8	28
Nervia	Nervia 2	70.5	14.2	29
Nervia	Nervia 1	21.6	8.3	32
Nervia	Conf. Muratone	44.0	13.2	25
Nervia	Barbaira	36.0	15.8	26
Nervia	Merdanzo	24.4	9.7	25
Nervia	Bonda	14.2	9.3	26
Nervia	Gordale	20.0	7.7	29
Nervia	Muratone	14.0	7.4	30

5.5.2. CALCOLO DELLA SOLLECITAZIONE PLUVIOMETRICA

Il processo di precipitazione è stato schematizzato a partire dai risultati dell'analisi pluviometrica fatta nella prima parte di questo studio. Lo studio è, come noto partito, dall'elaborazione delle curve di durata nelle stazioni Ventimiglia, Rocchetta Nervina, Pigna e Colle Belenda. Si riportano in Tabella 5.5.2 per ogni sottobacino i pesi di Thiessen, insieme alle relative aree d'influenza, per i diversi pluviometri.

Tabella 5.5.2. Pesi di Thiessen per i sottobacini non strumentati.

Torrente	Sezione	Stazione	Area d'influenza	Peso
Nervia	Nervia 5	Ventimiglia	14.0	0.07
		Rocchetta	57.1	0.31
		Pigna	86.1	0.46
		Belenda	29.9	0.16
Nervia	Nervia 4	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	18.0	0.14
		Pigna	79.9	0.62
		Belenda	30.1	0.24
Nervia	Nervia 3	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	6.7	0.07
		Pigna	63.1	0.63
		Belenda	30.2	0.30
Nervia	Nervia 2	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	0.0	0.00
		Pigna	39.9	0.57
		Belenda	30.1	0.43
Nervia	Nervia 1	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	0.0	0.00
		Pigna	4.7	0.21
		Belenda	17.3	0.79
Nervia	Barbaira	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	29.5	0.82
		Pigna	6.5	0.18
		Belenda	0.0	0.00
Nervia	Merdanzo	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	7.3	0.30
		Pigna	16.7	0.70
		Belenda	0.0	0.00
Nervia	Bonda	Ventimiglia	0.0	
		Rocchetta	0.0	
		Pigna	14.0	1.00
		Belenda	0.0	
Nervia	Gordale	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	0.0	0.00
		Pigna	6.8	0.34
		Belenda	13.2	0.66
Nervia	Muratone	Ventimiglia	13.0	0.00
		Rocchetta	0.0	0.00
		Pigna	0.0	1.00
		Belenda	0.0	0.00
Nervia	Conf. Muratone	Ventimiglia	0.0	0.00
		Rocchetta	0.0	0.00
		Pigna	8.8	0.20
		Belenda	35.2	0.8

5.5.3. CALCOLO DEL FATTORE CN E DEI TEMPI DI RITARDO

Il valore del CN per i sottobacini non strumentati è stato qui valutato tramite incrocio dell'informazione cartografica e dei dati di calibrazione ad evento. In pratica si è definito un coefficiente di proporzionalità, invariante alla scala del bacino per riscalarne i valori ottenuti dall'analisi cartografica con rispetto a quelli ottenuti dalla calibrazione del modello. Tale operazione è stata condotta sui valori del parametro di assorbimento S , dotato di un maggiore significato fisico.

Il rapporto tra i coefficienti di assorbimento S_{II} valutati con le due differenti metodologie si è determinato in 0.76. Per tutti i sottobacini di interesse si è quindi rivalutato il valore di S_{II} in base a tale coefficiente, per poi ottenere il CN_{II} corrispondente. L'elaborazione relativa a tutti i sottobacini è riportata in Tabella 5.5.3.

Tabella 6.7. Valori stimati di CN_{II} per i sottobacini non strumentati.

Torrente	Sezioni	Isolabona		
			S_{IIIGIS}	S_{II}/S_{IIIGIS}
			136	0.76
			S_{II}	CN_{II}
			104	71.0
Nervia	Nervia 5		136	“
Nervia	Nervia 4		140	“
Nervia	Nervia 3		141	“
Nervia	Nervia 2		142	“
Nervia	Nervia 1		133	“
Nervia	Conf. Muratone		142	“
Nervia	Barbaira		139	“
Nervia	Merdanzo		135	“
Nervia	Bonda		139	“
Nervia	Gordale		151	“
Nervia	Muratone		143	“

Lo stesso procedimento è stato ripetuto per determinare il tempo di ritardo per ogni singolo sottobacino, utilizzando i valori ottenuti dalla relazione (Bocchiola *et al.*, 2003a):

$$T_l = 0,26 \cdot L^{0,82} \cdot g^{-0,2} \cdot (1 + S)^{0,13}, \quad (5.16)$$

insieme alla

$$T_l = \beta k \quad (5.17)$$

Per stimare i parametri del modello di Nash per i bacini non strumentati, si è mantenuto costante il parametro di forma β , mentre a partire dal rapporto tra il tempo di ritardo T_L ottenuto dalla calibrazione del modello nella sezione di Isolabona e quello ivi calcolato tramite la (5.16) si è rivalutata la costante d'invaso k , per adattare il modello ai siti investigati. Si riportano in Tabella 5.5.4 i risultati così ottenuti.

Tabella 5.5.4. Valori stimati dei parametri di Nash β e k per i sottobacini non strumentati.

Torrente	Sezioni	Isolabona		
	β	T_I	T_L	k
	3.2	2.92	2.01	0.63
Nervia	Nervia 5	4.07	2.80	0.87
Nervia	Nervia 4	2.93	2.02	0.63
Nervia	Nervia 3	2.60	1.79	0.56
Nervia	Nervia 2	2.15	1.48	0.46
Nervia	Nervia 1	1.35	0.93	0.29
Nervia	Conf. Muratone	2.08	1.43	0.45
Nervia	Barbaira	2.39	1.65	0.51
Nervia	Merdanzo	1.61	1.11	0.35
Nervia	Bonda	1.55	1.07	0.33
Nervia	Gordale	1.31	0.90	0.28
Nervia	Muratone	1.26	0.87	0.27

5.5.4. CALCOLO DELLE PIENE PER ASSEGNATO PERIODO DI RITORNO

Sulla base delle valutazioni riportate in precedenza, è possibile calcolare per ogni sottobacino la portata indice, tramite calcolo della durata critica. Anche in questo caso, dopo un'analisi preliminare ed a favore di sicurezza, si sono utilizzati per la valutazione tramite evento critico i parametri di pioggia relativi alla stazione di Rocchetta Nervina, ossia coefficiente pluviiale orario a_1 pari a 32.67 ed esponente di scala v pari a 0.371. Si è posto inoltre il fattore di riduzione areale ARF pari all'unità, in assenza di studi specifici per la regione idrologica omogenea C. Si riportano in tabella i valori di q_{indice} per ogni sottobacino. Si riportano di seguito in tabella 5.5.5 i valori della portata stimata per i tempi di ritorno salienti $T = 5, 10, 20, 50, 100, 200$ e 500 anni.

Tabella. 5.5.5. Stime dei valori di portata indice e per tempi di ritorno salienti nelle sezioni non strumentate del torrente Nervia. Metodo GEV regionale con portata indice stimata con il metodo della Simulazione dell'Evento Critico.

Portata al colmo di piena - Metodo VAPI GEV (portata indice stimata via Simulazione dell'Evento Critico)																
Torrente Nervia	Sezione:	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 5	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 4	Torrente Nervia a Isolabona	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 3	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 2	Torrente Nervia - Confluenza MURATONE	Rio BARBAIRA Confluenza Nervia	Rio MERDANZO, Confluenza Nervia	Torrente Nervia - Sezione NERVIA 1	Rio GORDALE, Confluenza Nervia	Rio BONDA, Confluenza Nervia	Rio MURATONE, Confluenza Nervia			
		Area drenata, kmq =	187.44	128.45	123	99.97	70.49	44.0	35.99	24.42	21.59	20.0	14.21	14.00		
Portata indice, mc/s =	286.4	218.8	213.9	176.7	133.0	84.2	66.3	52.8	50.2	42.2	30.6	31.7				
Curva di Crescita Regionale	T	y_T	x_T	q_T	q_T	q_T	q_T	q_T	q_T	q_T	q_T	q_T	q_T	q_T		
$\alpha =$	0.377	5	1.500	1.34	385	294	287	237	179	113	89	71	67	57	41	43
$\epsilon =$	0.643	10	2.250	1.82	521	398	389	321	242	153	121	96	91	77	56	58
$k =$	-0.276	20	2.970	2.38	681	520	509	420	316	200	158	126	119	100	73	75
		50	3.902	3.29	941	719	703	581	437	277	218	174	165	139	100	104
		100	4.600	4.14	1185	905	886	731	550	349	274	219	208	175	126	131
		200	5.296	5.17	1480	1131	1106	913	687	435	343	273	259	218	158	164
		500	6.214	6.87	1967	1502	1469	1213	913	578	455	363	344	290	210	217

PIANO DI BACINO, valori adottati														
50			1310	980	949	820	650	440	280	170	240	180	110	160
200			1900	1410	1365	1190	940	640	400	250	340	250	160	230
500			2280	1700	1646	1430	1130	770	490	300	410	310	190	270
PIANO DI BACINO, Stime preliminari														
50			1060	925	895	770	615		370	230	250	220	160	
200			1290	1120	1084	940	745		445	350	295	285	220	
500			1450	1240	1200	1050	830		500	390	330	320	245	

5.6. Confronto con le stime del Piano di Bacino

Un primo confronto delle diverse stime è riportato in Tabella 5.6.1, dove sono confrontate le diverse valutazioni dei quantili di interesse (50, 200 e 500-ennale) ottenute con le diverse metodologie per la sezione strumentata di Isolabona.

Tabella. 5.6.1. Confronto tra le stime della di portata al colmo in mc/s nel sito di Isolabona.

Periodo di ritorno, in anni	Metodo GEV regionale con portata indice stimata tramite		Piano di Bacino	
	Metodo diretto AFS	Simulazione idrologica (metodo dell'evento critico)	Stime preliminari empiriche	Stime adottate
50	465	703	895	949
200	731	1106	1084	1365
500	971	1469	1200	1646

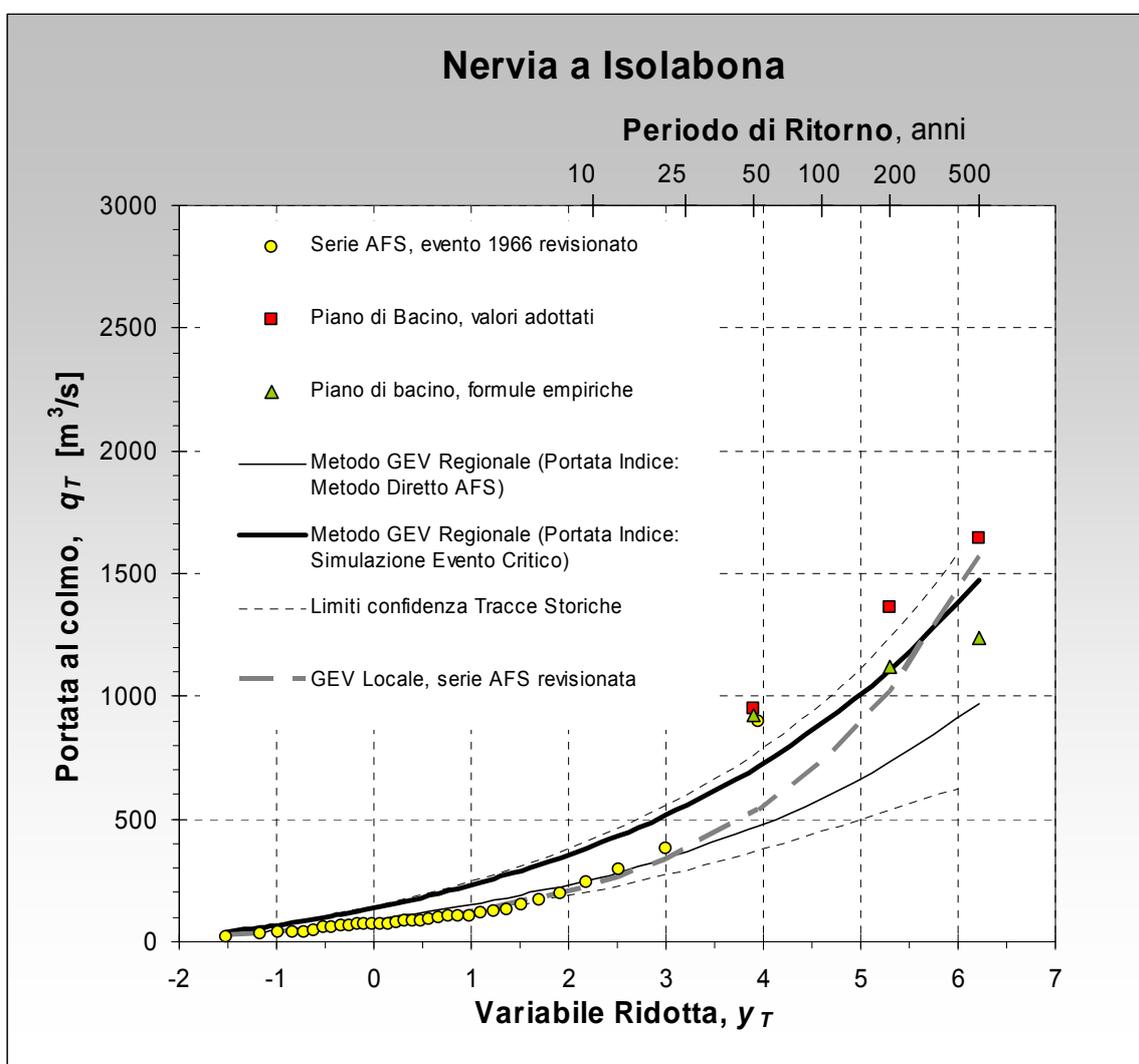


Figura 5.6.1. Nerva a Isolabona. Portate al colmo di piena per assegnati periodi di ritorno. Confronto delle stime.

Una prima osservazione riguarda le differenze di valutazione che emergono applicando le due diverse metodologie di stima della piena indice adottate in questa sede per l'applicazione della procedura CNR-GNDCI-VAPI. Tale discordanza è ancor più evidenziata dal diagramma di Figura 5.6.1, dove sono anche riportate i limiti di confidenza associati alla valutazione tramite le tracce storiche, condotta in questa sede. Essi evidenziano anche la discrepanza, sia delle stime di massima piena 50-ennale e 200-ennale adottate in sede di piano di bacino, sia della stima empirica preliminare della massima piena 50-ennale riportate in sede di relazione tecnica del Piano di Bacino stesso.

Un secondo confronto verte sull'andamento delle stime di massima piena lungo la rete idrografica, evidenziato nelle Figure 5.6.2 e 5.6.3 con riferimento ai quantili 50-ennale e 200-ennale, di particolare interesse ai fini della pianificazione e della progettazione. Si osserva innanzi tutto come la divergenza tra le stime di piano e quelle condotte in questa sede sia percentualmente più marcata per il periodo di ritorno 50-ennale che per quello 200-ennale. Tale differenza si riscontra anche, seppur in misura minore, per le stime relative ai piccoli bacini.

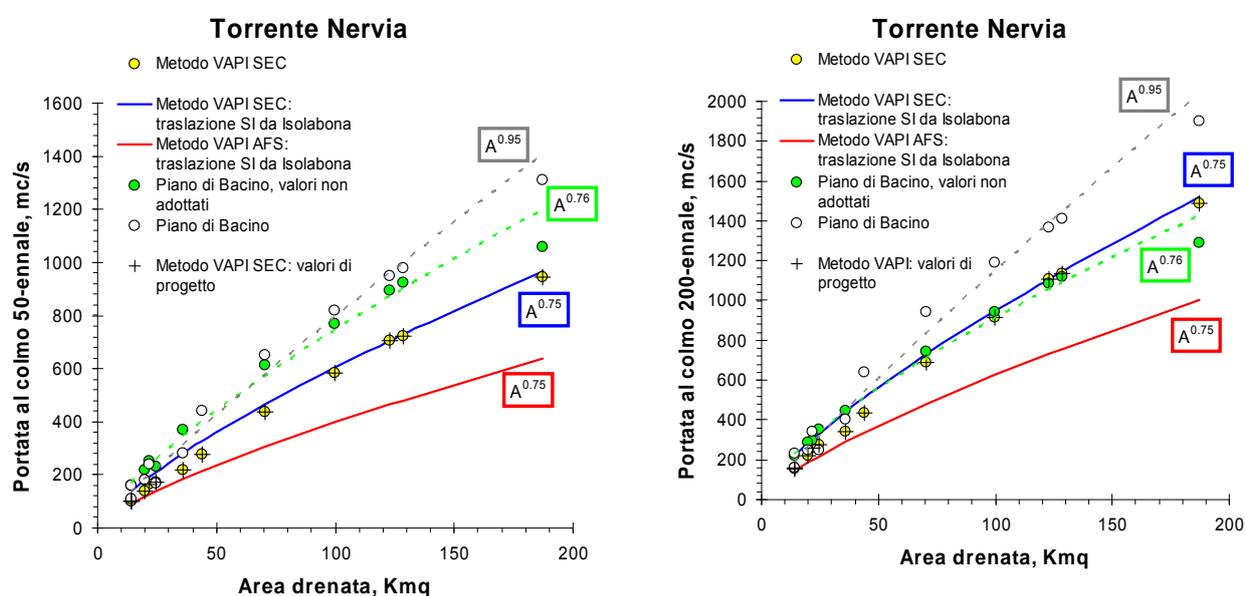


Fig. 5.6.2. Bacino idrografico del Torrente Nerva. Confronto tra le stime della portata al colmo di piena condotte con diversi metodi: valori 50-ennale (sx) e 200-ennale (dx).

In particolare, la Figura 5.6.2 mostra come le stime condotte con la procedura VAPI-SEC in questa sede forniscano solo in alcuni casi risultati prossimi a quelli adottati dal Piano di Bacino per i rii minori, che sottendono aree inferiori a 50 Km², e si discostano in modo sensibile con l'aumentare dell'area sottesa dal corso d'acqua.

Osservando l'andamento dei diagrammi di Figura 5.6.2, si rileva anche come il metodo di stima adottato, che discende dall'applicazione del metodo della simulazione dell'evento critico, sia in grado di cogliere sia l'andamento scala-invariante, sia il noto fenomeno del "break" di scala che si osserva nei rii minori, con area sottesa indicativamente inferiore a 10-20 Km², ampiamente documentato dalla letteratura scientifica (p.es. Gupta *et al.*, 1994).

Il metodo che utilizza la distribuzione GEV regionale della curva di crescita e la portata indice stimata tramite la simulazione idrologica (VAPI-SEC) presenta quindi la caratteristica di cogliere la variabilità di scala delle portate al colmo lungo le rete idrografica. Anche tale considerazione porta a consigliarne l'adozione in sede di applicazione.

Inoltre, tale metodo presenta una base fisico-concettuale più robusta rispetto alle altre metodologie adottate e ha la caratteristica di essere facilmente aggiornabile,

- sia quando si disporrà di più lunghe serie temporali di dati della precipitazione di breve durata e forte intensità,
- sia qualora intervenissero significativi cambiamenti di uso del suolo nel bacino preso in esame.

Si sconsiglia invece l'adozione delle stime condotte in base alla valutazione diretta della piena indice tramite la serie AFS di Isolabona, in quanto le notevoli incongruenze dei dati di base non consentono purtroppo di stabilire con certezza l'affidabilità e la consistenza dei dati storici rilevati in quella sezione strumentata.

6. Idrogrammi di riferimento

Al fine di valutare gli idrogrammi di riferimento, è stata applicata la metodologia della simulazione dell'evento idrometeorologico critico, illustrata nel precedente Capitolo 2.

6.1. Simulazione dell'evento idrometeorologico critico

Nel Capitolo 5 è stata illustrata, ai fini della valutazione della portata indice, la procedura della simulazione idrologica che utilizza (in ingresso a un modello di trasformazione afflussi-deflussi) la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica nel centro di scroscio localizzato in posizione baricentrica. Quando questa procedura viene utilizzata per la stima della portata T -ennale, utilizzando a tal scopo la linea segnalatrice di probabilità pluviometrica T -ennale, questa procedura fornisce in generale risultati distorti, per via della non linearità della risposta idrologica dei bacini imbriferi. In pratica, l'ipotesi di isofrequenza tra piogge intense e deflussi di piena non è confortata sotto il profilo teorico e, in molti casi, è confutata dall'analisi degli episodi osservati.

Secondo il modello scala-invariante, la linea segnalatrice nel centro di scroscio è rappresentata da un'equazione monomia del tipo

$$h = ad^{\nu}, \quad (6.1)$$

in una forma nota già dagli studi idrometeorologici della fine del secolo XIX, dove h indica il valore atteso della altezza di pioggia cumulata temibile in d ore consecutive sul bacino sotteso, il parametro a indica il coefficiente pluviometrico orario, generalmente in mm/h^{ν} (pari al valore della pioggia oraria in mm) e ν l'esponente caratteristico di scala ($0 < \nu < 1$). In termini di tasso medio di pioggia, p , la (6.1.1) si può anche scrivere come

$$p = at^{\nu-1}. \quad (6.2)$$

Nel Capitolo 4 sono state valutate le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per le stazioni di interesse, ottenute tramite l'applicazione del modello GEV scala invariante (SIGEV), poi impiegate nel Capitolo 5 per la valutazione della piena indice.

Per procedere alla valutazione approssimata degli eventi di interesse alla luce della normativa,

$$E_{V_T, Q_T}^* = [\{V \leq v\} \wedge \{Q \leq q\}, \text{ con } v \leq v_T \text{ e } q \leq q_T],$$

tenuto conto della difficoltà a valutare v_T , si considerano cautelativamente gli eventi

$$[\{V \leq v\} \wedge \{Q \leq q\}, \text{ con } q \leq q_T],$$

ossia le coppie di valori di portata e volume che si possono verificare con periodo di ritorno incondizionato T -ennale della portata al colmo q_T .

Si assume che gli eventi di interesse siano comunque prodotti da un assetto meteorologico caratterizzato dalla struttura di invarianza di scala tipica dell'area in esame, rappresentata dall'esponente caratteristico ν . In pratica, si assume che l'esponente caratteristico ν rappresenti l'impronta climatica degli eventi pluviali estremi nell'area in esame.

Questa ipotesi di lavoro implica che la portata T -ennale di progetto q_T sia prodotta da una precipitazione

$$h = a_T^* d^{\nu}, \quad (6.3)$$

dove ν è l'esponente caratteristico della pluviometria del bacino sotteso dalla sezione di interesse, e il parametro a_{T^*} è dato dal valore di a che, con il metodo dell'evento critico, produce una portata al colmo pari a q_T .

In generale, il valore di a_{T^*} è differente dal valore di a_T proprio della linea segnalatrice T -ennale, poiché l'ipotesi di isofrequenza non è in generale verificata, sia sotto il profilo teorico, sia, nella maggioranza dei casi, sotto l'aspetto pratico (v., p.e., Reed, *Flood Estimation Handbook*, 1999).

La procedura da applicare è quindi la seguente: dato il valore T -ennale di portata al colmo q_T , va ricercata la coppia di valori $\{a_{T^*}, d_{CR}\}$ che produce come risultato la portata di picco $q_p = q_T$ quando si applichi la trasformazione afflussi-deflussi. Il problema risulta indeterminato se non si tiene conto del secondo assioma di criticità, ossia che il campo di pioggia critico sia anche quello che corrisponde alla minima altezza di pioggia cumulata in grado di provocare una piena con portata di picco pari a q_T . Quindi, la coppia di valori $\{a_{T^*}, d_{CR}\}$ dovrà anche soddisfare la condizione $a_{T^*} = \min\{a\}$. In pratica, la criticità idrometeorologica dell'evento comporta anche che, tra tutte le possibili situazioni rappresentate dalla curva $h = a_{T^*} d^\nu$, quella che produce la portata di picco q_T sia anche quella più frequente, ossia quella che presenta il minimo coefficiente pluviale a .

Dato il valore T -ennale di portata al colmo q_T , tramite il modello di trasformazione afflussi-deflussi adottato nel Capitolo 5 e illustrato in Appendice A e indicata tale trasformazione con il simbolo \rightarrow ,

$$[p(d) = ad^{\nu-1}] \rightarrow q(t, a, d)$$

va ricercata la coppia di valori $\{a_{T^*}, d_{CR}\}$ che produce la portata di picco q_T , sotto la condizione che $a_{T^*} = \min\{a\}$.

Viene così caratterizzato l'evento $[\{V \leq \nu\} \wedge \{Q \leq q\}]$, con $q = q_T$, ottenendo il volume critico $V(q_T)$ e ricavandone contestualmente l'idrogramma caratteristico.

La ricerca dei valori della durata dello scroscio critico e del coefficiente pluviometrico critico va condotta tramite un procedimento di soluzione numerica. Si è quindi proceduto a un insieme di simulazioni per diverse durate e diversi valori del coefficiente pluviale critico, in base alle quali ricavare il valore di portata di picco con il metodo dell'evento critico. In pratica, utilizzando il modello di trasformazione afflussi-deflussi in modo iterativo, si è risolto il problema di ottimo, determinando la coppia di valori $a = a_{T^*}$ e $d = d_{CR}$ per cui si ha

$$\{ \max_t [q(t; a_{T^*}, d_{CR})] = q_T \} \cap \{ a_{T^*} = \min a \} \quad (6.4)$$

dove:

- $\max_t [q(t; a, d)]$ indica la portata di picco q_p dell'idrogramma $q(t)$ prodotto da una precipitazione di altezza $h = ad^\nu$ e generica durata d , e
- q_T il valore T -ennale di portata al colmo valutato precedentemente con il metodo della portata indice.

Il problema è stato risolto ricercando tra tutte le possibili coppie $\{a, d\}$ di valori di a e d , l'insieme $\Omega = \{a', d'\}$ delle coppie che producono una portata di picco q_p pari a q_T . Tra queste, la coppia $\{a_{T^*}, d_{CR}\}$ è quella che, nell'insieme delle coppie $\Omega = \{a', d'\}$, ha il minimo valore di a' .

A tal fine si è implementata una procedura speditiva di calcolo, operando la ricerca diretta di $\{ \min a \}$ sotto il vincolo di $\{ q_p = q_T \}$, esplorando direttamente tutte le possibili coppie $\{a, d\}$ dei valori di a e di d che producono, tramite il modello di trasformazione afflussi-deflussi, la portata di picco $q_p = q_p(a, d)$. Tale procedura è stata sviluppata iniziando correttamente il procedimento di ricerca con valori di durata prossimi al tempo di ritardo del bacino e valori del coefficiente pluviometrici prossimi al valore T -ennale della linea segnalatrice di probabilità pluviometrica.

Con questo procedimento è stato determinato il modello idrometeorologico di riferimento in grado di descrivere in modo sintetico il complesso fenomeno che può produrre una portata al colmo q_T nella sezione fluviale di interesse. Nelle Tavole 6.1.1-2 si riportano gli idrogrammi critici con periodo di ritorno 50 e 200-ennale per la sezione di Isolabona.

Tavola. 6.1.1. Nervia a Isolabona. Idrogramma critico 50-ennale.

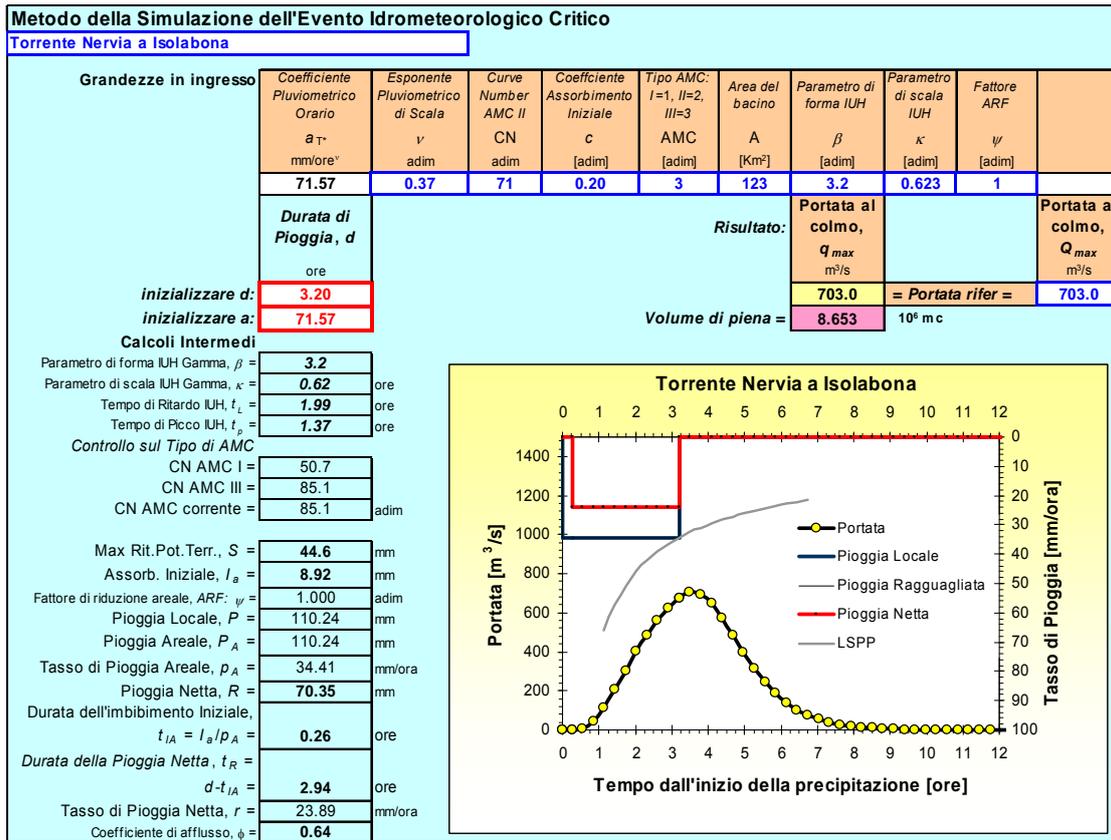
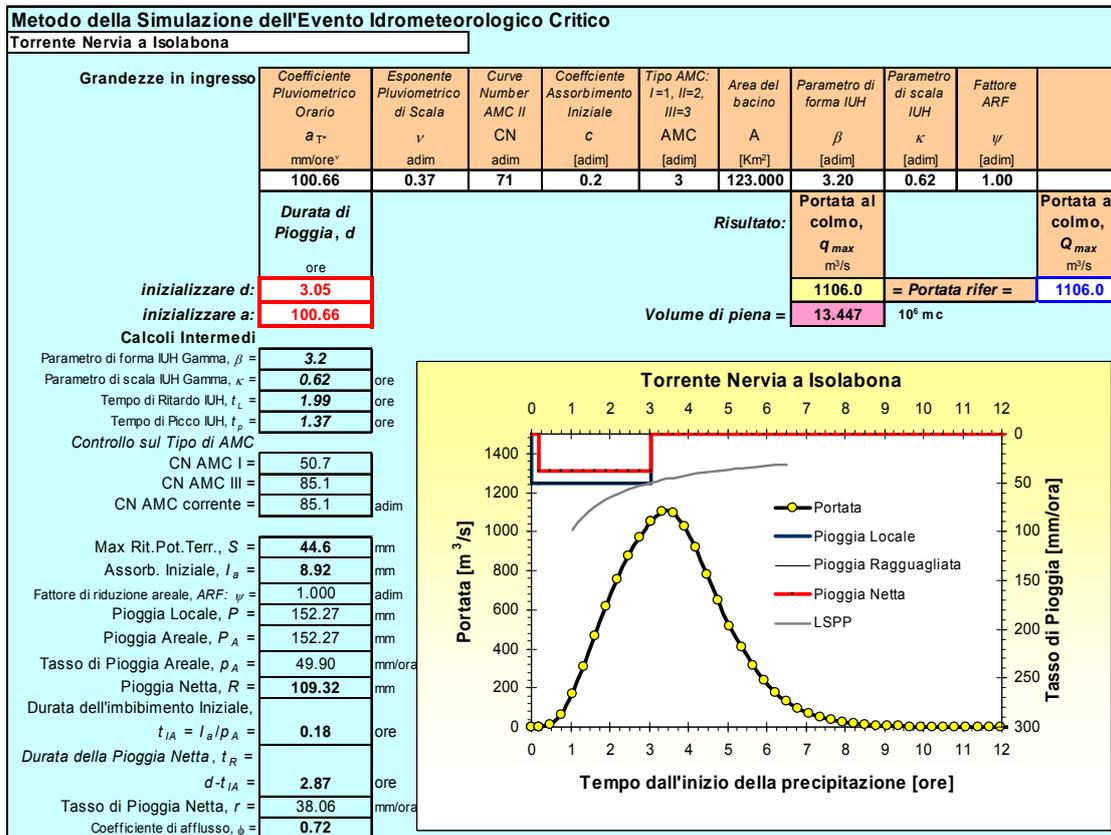


Tavola. 6.1.2. Nervia a Isolabona Idrogramma critico 200-ennale.



6.2. Simulazione degli idrogrammi equivalenti

Per la valutazione approssimata degli altri eventi di interesse alla luce della normativa, $[\{V \leq v\} \wedge \{Q \leq q\}]$, con $q < q_T$, si utilizza l'ipotesi di criticità idrometeorologica, in base alla quale gli eventi di interesse sono comunque prodotti da un assetto meteorologico caratterizzato dalla struttura di invarianza di scala, rappresentata dall'esponente caratteristico ν . Il procedimento è illustrato dal diagramma di flusso di Figura 6.2.1.

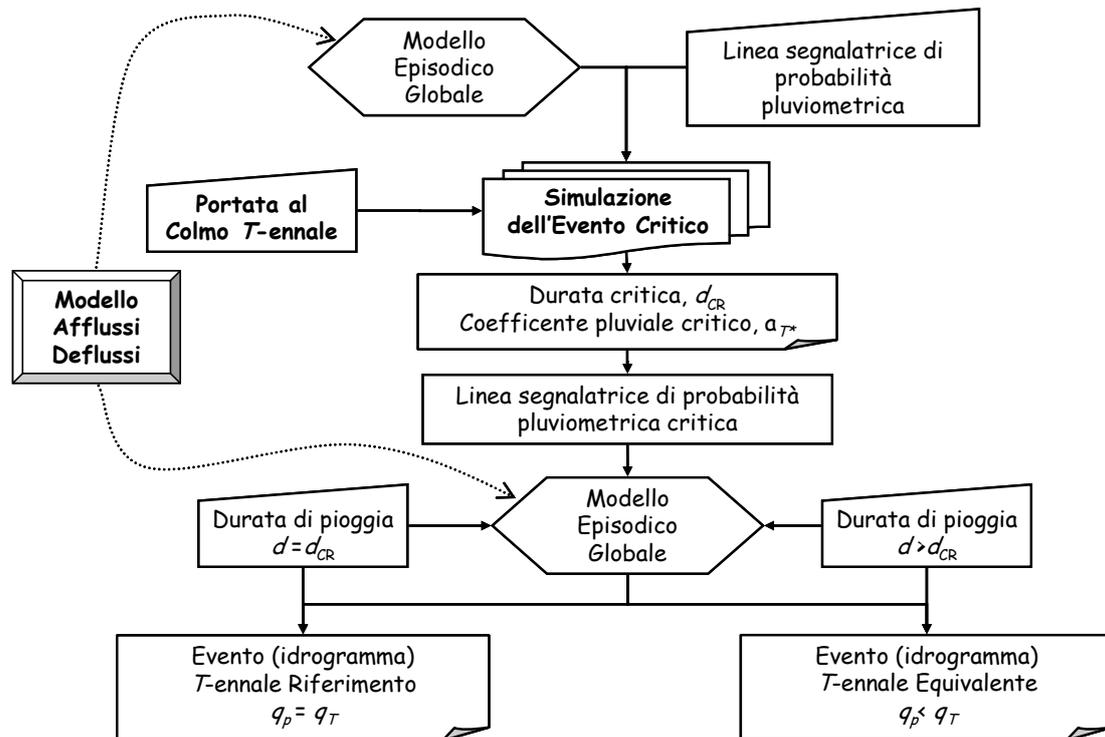


Figura 6.2.1. Procedura di simulazione idrologica con il metodo dell'evento meteorologico critico.

Una volta noto il valore del coefficiente pluviometrico critico a_{T^*} e determinata quindi la linea segnalatrice critica (6.3), tale relazione può essere quindi impiegata in ingresso al modello di trasformazione afflussi-deflussi, assumendo una generica durata di pioggia d_p diversa da d_{CR} , ossia

$$[p(d_p) = a_{T^*} d_p^{\nu-1}] \rightarrow q(t; a_{T^*}, d_p)$$

e calcolando il valore di picco $q_p(a_{T^*}, d_p) = \max_t [q(t; a_{T^*}, d_p)]$. Il valore della portata al colmo risulterà sempre inferiore a q_T , in virtù del concetto di evento critico, ma per valori di durata della precipitazione d_p maggiori di d_{CR} si otterranno volumi di piena maggiori di $V(q_T)$ e idrogrammi con durata di base maggiore dell'idrogramma caratteristico determinato in precedenza.

Tali idrogrammi possono quindi essere considerati di riferimento per la valutazione della pericolosità idraulica T -ennale, in quanto prodotti da situazioni meteorologiche simili (in termini di autosomiglianza statistica o invarianza di scala) a quella che può produrre l'evento critico T -ennale in termini di portata al colmo.

Poiché in fase contrattuale sono stati richiesti gli idrogrammi 50-ennali e 200-ennali equivalenti riferiti a portate al colmo pari rispettivamente al 90% e la 75% della portata al colmo rispettivamente 50-ennale e 200-ennale, si è proceduto con un ulteriore algoritmo di ottimizzazione per risolvere il problema. La soluzione viene mostrata nelle Tavole 6.2.1-2 per gli idrogrammi di

riferimento con periodo di ritorno 50-ennale rispettivamente per una portata a colmo del 90% e del 75% rispetto alla portata 50-ennale stimata nel Capitolo 5; e nelle Tavole 6.2.3-4 per gli idrogrammi di riferimento con periodo di ritorno 200-ennale rispettivamente per una portata a colmo del 90% e del 75% rispetto alla portata 200-ennale stimata nel Capitolo 5. Per comodità d'uso i risultati sono anche riportati in forma Tabellare (v. Tavola 6.2.5).

Tavola. 6.2.1. Nervia a Isolabona. Idrogramma equivalente di riferimento 50-ennale, $q_p = 0.9q_{50}$.

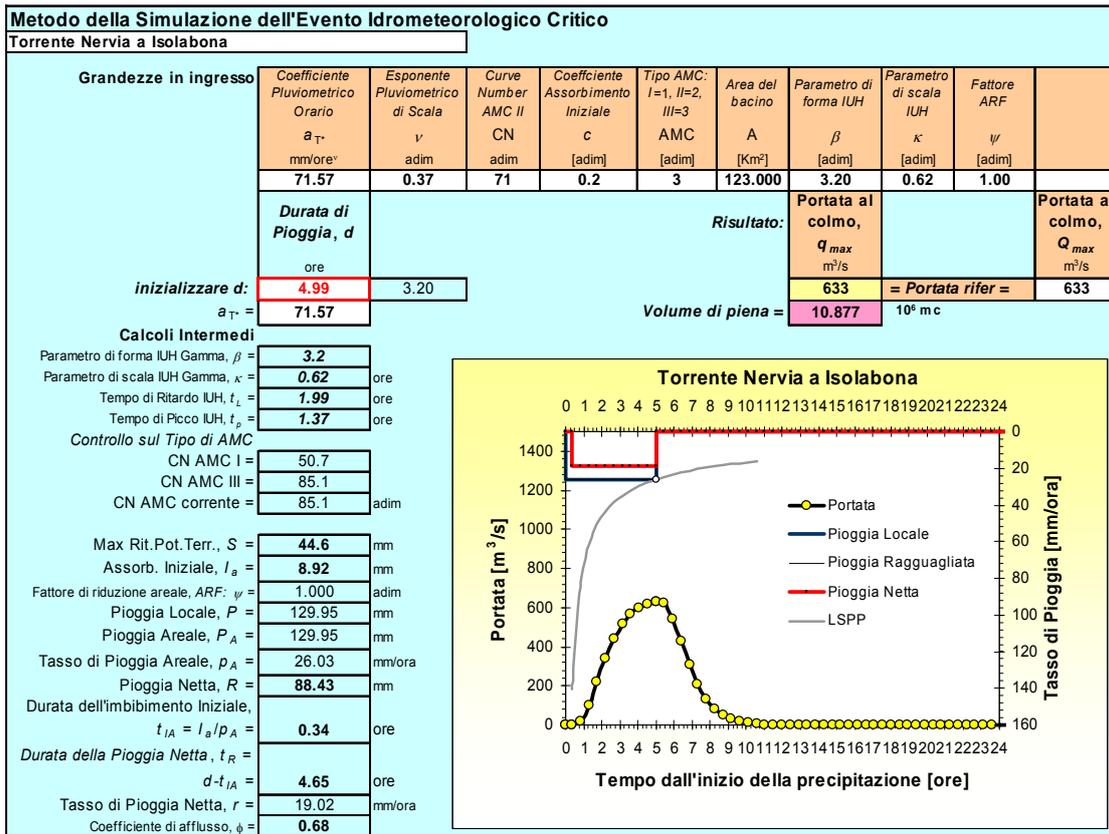


Tavola. 6.2.2. Nervia a Isolabona. Idrogramma equivalente di riferimento 50-ennale, $q_p = 0.75q_{50}$.

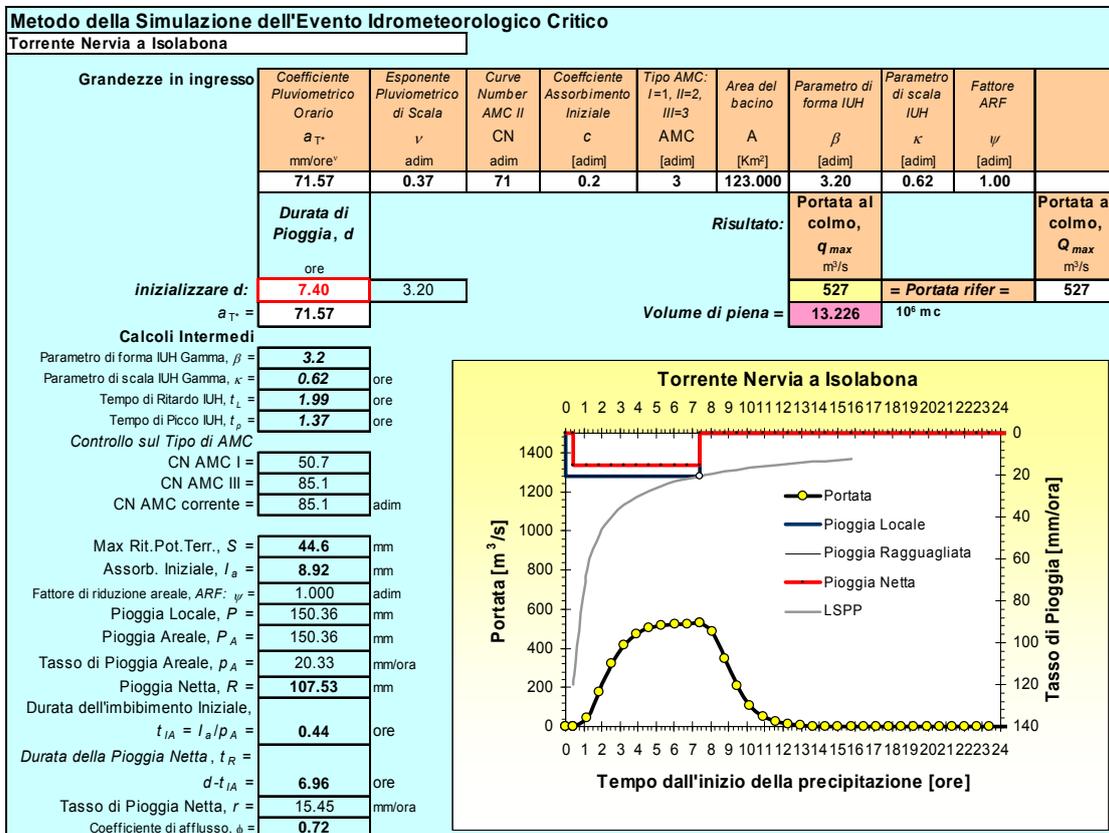


Tavola. 6.2.3. Nerva a Isolabona. Idrogramma equivalente di riferimento 200-ennale, $q_p = 0.9q_{200}$.

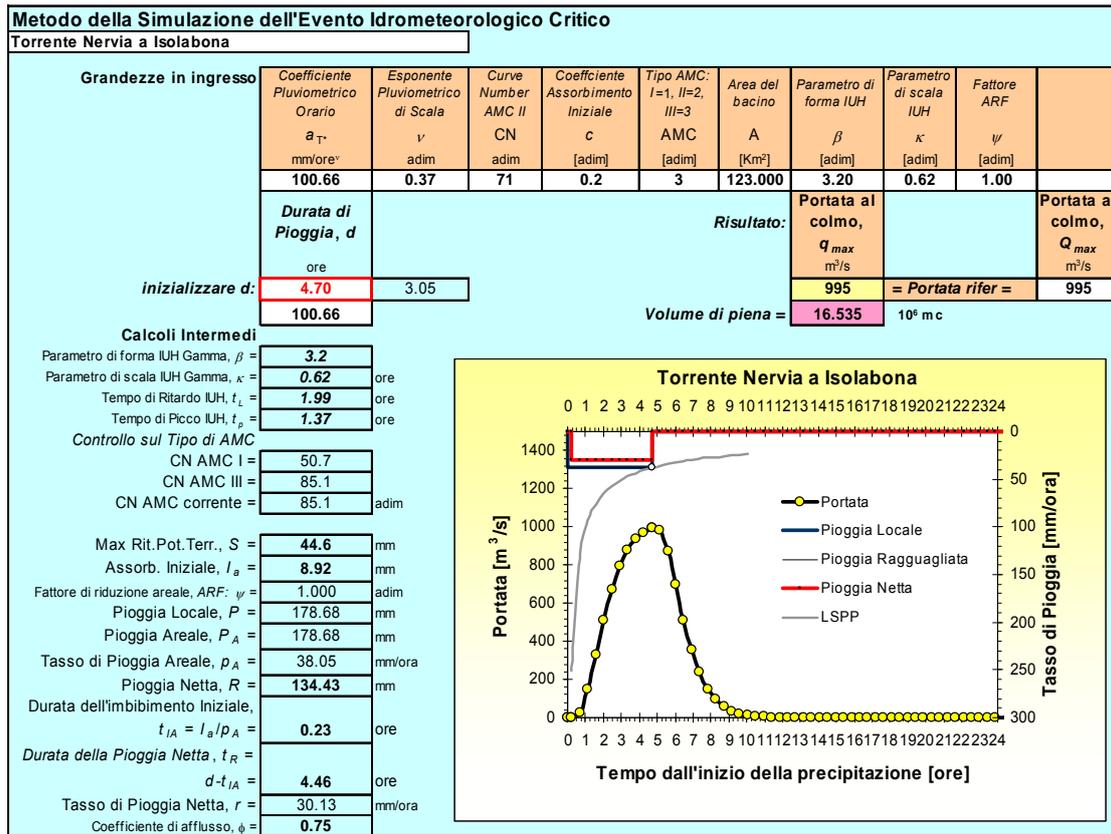


Tavola. 6.2.4. Nerva a Isolabona. Idrogramma equivalente di riferimento 200-ennale, $q_p = 0.75q_{200}$.

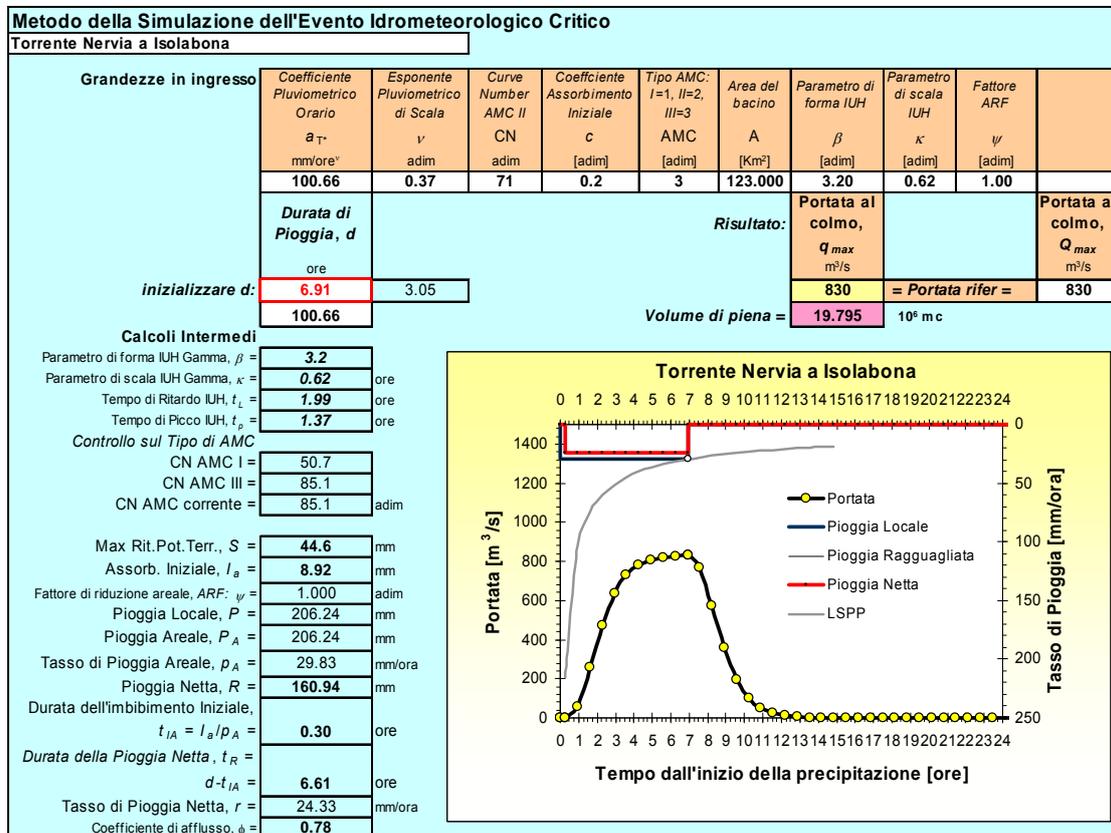


Tavola. 6.2.5. Nervia a Isolabona. Idrogramma critico 50 e 200-ennale e relativi idrogrammi di riferimento.

Torrente Nervia a Isolabona											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
q_p , mc/s =	703	q_p , mc/s =	633	q_p , mc/s =	527	q_p , mc/s =	1106	q_p , mc/s =	995	q_p , mc/s =	830
V_p , Mmc =	8.653	V_p , Mmc =	10.877	V_p , Mmc =	13.226	V_p , Mmc =	13.447	V_p , Mmc =	16.535	V_p , Mmc =	19.795
Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.26	0	0.44	0	0.44	0	0.18	0	0.30	0	0.30	0
0.26	0	0.44	0	0.44	0	0.18	0	0.30	0	0.30	0
0.55	7	1.13	19	1.13	42	0.47	10	0.96	27	0.96	59
0.85	43	1.83	101	1.83	179	0.75	65	1.62	146	1.62	258
1.14	113	2.53	221	2.53	320	1.04	171	2.28	327	2.28	475
1.44	205	3.22	342	3.22	418	1.33	311	2.94	513	2.94	634
1.73	304	3.92	442	3.92	475	1.62	465	3.61	671	3.61	730
2.03	401	4.61	516	4.61	504	1.90	617	4.27	792	4.27	783
2.32	488	5.31	566	5.31	517	2.19	755	4.93	878	4.93	809
2.62	562	6.01	599	6.01	523	2.48	874	5.59	935	5.59	821
2.91	623	6.70	620	6.70	526	2.76	973	6.25	972	6.25	827
3.20	672	7.40	633	7.40	527	3.05	1053	6.91	995	6.91	830
3.20	672	7.40	633	7.40	527	3.05	1053	6.91	995	6.91	830
3.50	703	8.09	621	8.09	485	3.34	1106	7.57	983	7.57	772
3.79	695	8.79	543	8.79	349	3.63	1099	8.24	872	8.24	573
4.09	647	9.48	425	9.48	208	3.91	1030	8.90	696	8.90	356
4.38	571	10.18	306	10.18	110	4.20	917	9.56	513	9.56	197
4.68	483	10.88	207	10.88	53	4.49	783	10.22	356	10.22	101
4.97	395	11.57	134	11.57	24	4.77	647	10.88	236	10.88	49
5.27	314	12.27	83	12.27	11	5.06	520	11.54	151	11.54	23
5.56	244	12.96	50	12.96	5	5.35	408	12.20	94	12.20	10
5.85	186	13.66	30	13.66	2	5.64	314	12.87	57	12.87	4
6.15	140	14.35	17	14.35	1	5.92	238	13.53	34	13.53	2
6.44	103	15.05	10	15.05	0	6.21	178	14.19	20	14.19	1
6.74	75	15.75	5	15.75	0	6.50	132	14.85	12	14.85	0
7.03	55	16.44	3	16.44	0	6.79	96	15.51	7	15.51	0
7.33	39	17.14	2	17.14	0	7.07	70	16.17	4	16.17	0
7.62	28	17.83	1	17.83	0	7.36	50	16.83	2	16.83	0
7.92	20	18.53	0	18.53	0	7.65	36	17.50	1	17.50	0
8.21	14	19.23	0	19.23	0	7.93	25	18.16	1	18.16	0
8.50	10	19.92	0	19.92	0	8.22	18	18.82	0	18.82	0
8.80	7	20.62	0	20.62	0	8.51	13	19.48	0	19.48	0
9.09	5	21.31	0	21.31	0	8.80	9	20.14	0	20.14	0
9.39	3	22.01	0	22.01	0	9.08	6	20.80	0	20.80	0
9.68	2	22.70	0	22.70	0	9.37	4	21.46	0	21.46	0
9.98	1	23.40	0	23.40	0	9.66	3	22.13	0	22.13	0
10.27	1	24.10	0	24.10	0	9.95	2	22.79	0	22.79	0
10.57	1	24.79	0	24.79	0	10.23	1	23.45	0	23.45	0
10.86	0	25.49	0	25.49	0	10.52	1	24.11	0	24.11	0
11.16	0	26.18	0	26.18	0	10.81	1	24.77	0	24.77	0
11.45	0	26.88	0	26.88	0	11.09	0	25.43	0	25.43	0
11.74	0	27.58	0	27.58	0	11.38	0	26.09	0	26.09	0
12.04	0	28.27	0	28.27	0	11.67	0	26.76	0	26.76	0
12.33	0	28.97	0	28.97	0	11.96	0	27.42	0	27.42	0
12.63	0	29.66	0	29.66	0	12.24	0	28.08	0	28.08	0
12.92	0	30.36	0	30.36	0	12.53	0	28.74	0	28.74	0
13.22	0	31.05	0	31.05	0	12.82	0	29.40	0	29.40	0
13.51	0	31.75	0	31.75	0	13.11	0	30.06	0	30.06	0
13.81	0	32.45	0	32.45	0	13.39	0	30.72	0	30.72	0
14.10	0	33.14	0	33.14	0	13.68	0	31.38	0	31.38	0
14.39	0	33.84	0	33.84	0	13.97	0	32.05	0	32.05	0
14.69	0	34.53	0	34.53	0	14.25	0	32.71	0	32.71	0
14.98	0	35.23	0	35.23	0	14.54	0	33.37	0	33.37	0
15.28	0	35.92	0	35.92	0	14.83	0	34.03	0	34.03	0

6.3. Idrogrammi di piena nelle sezioni non strumentate

La procedura illustrata nei precedenti paragrafi 6.1 e 6.2 è stata applicata in tutte le sezioni non strumentate, utilizzando la parametrizzazione del modello di trasformazione afflussi-deflussi illustrata nel precedente Capitolo 5. I risultati sono riportati in forma tabellare in Appendice C.

6.4. Idrogrammi di piena condizionati

La procedura delineata si presta anche alla valutazione del massimo volume esondabile nei casi pratici, in cui si vogliono valutare gli idrogrammi di riferimento per eventi che superano una certa soglia stabile di esondazione, ossia una portata di smaltimento $q_0 < q_T$ data dall'efficienza idraulica del tronco fluviale in esame.

In questo caso, andrà ricercata la durata di precipitazione d_0 che produce l'idrogramma di riferimento con il massimo volume al di sopra della soglia q_0 . Matematicamente, si risolve il problema di ottimo incondizionato:

$$d_0 : \max_d \left\{ \int_{t_1}^{t_2} [q(t; a_{T^*}, d) - q_0] dt \right\}$$

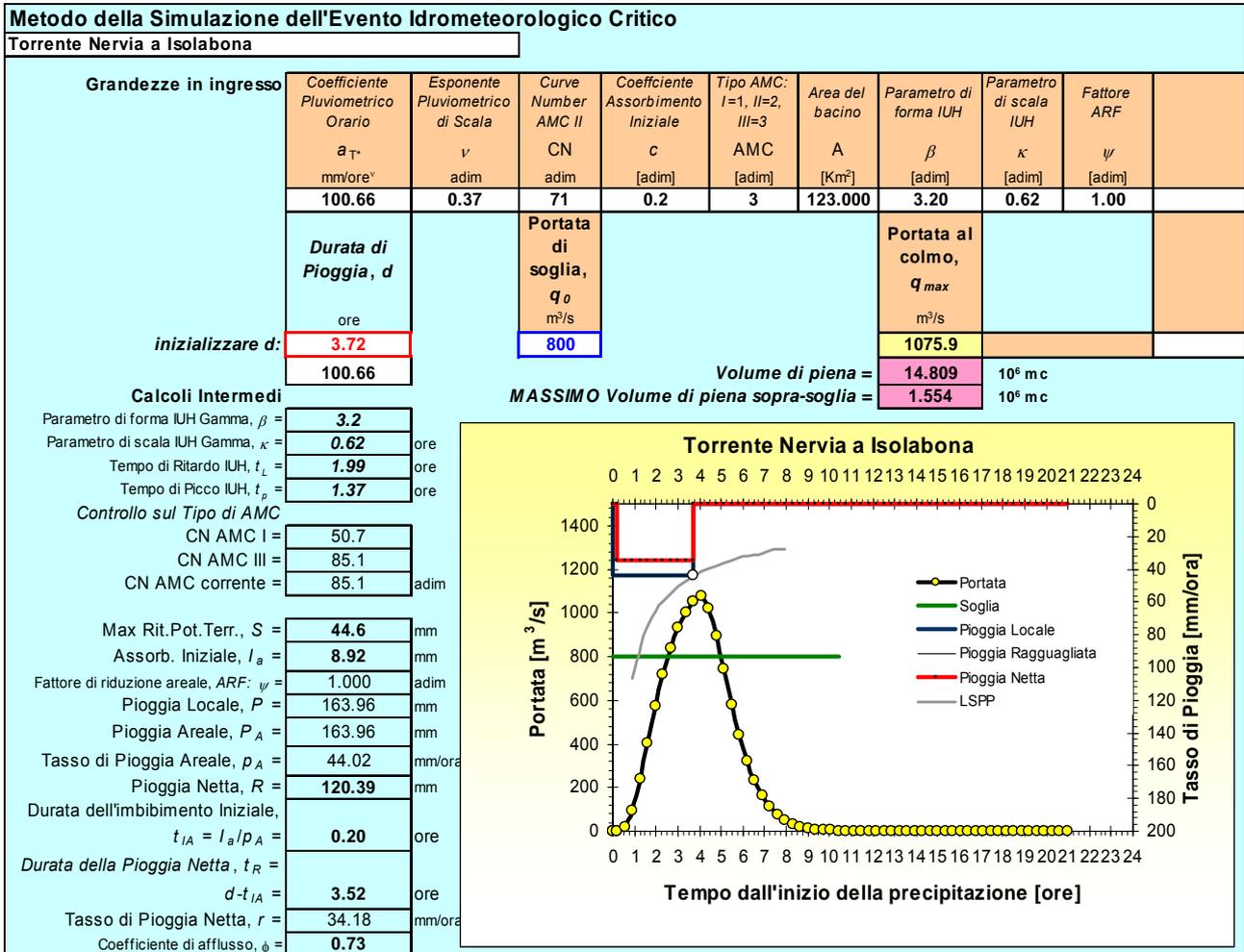
dove:

- $q(t; a_{T^*}, d)$ indica l'idrogramma $q(t)$ prodotto da una precipitazione di altezza $h = a_{T^*}d^v$ e durata d ,
- q_0 il valore della portata di soglia, e
- $t_2 - t_1$ l'intervallo temporale in cui $q(t; a_{T^*}, d) > q_0$.

Dal punto di vista pratico, la soluzione del problema si può ottenere rapidamente per via iterativa tramite una serie di simulazioni successive.

Un esempio viene riportato in Tavola 6.4.1 per la sezione di Isolabona, con riferimento all'evento 200-ennale e assumendo, a puro titolo di esemplificazione, un'ipotetica soglia fissa di esondazione pari a 800 mc/s.

Tavola. 6.4.1. Nerva a Isolabona. Idrogramma equivalente di riferimento 200-ennale, condizionale a una soglia fissa di esondazione di 800 mc/s, che fornisce il massimo volume esondabile.



7. Considerazioni conclusive

E' stato identificato il percorso metodologico, costruita la "scatola degli attrezzi" e sviluppata la procedura di valutazione con cui rispondere al problema di valutazione oggetto della presente consulenza, evidenziando il ruolo imprescindibile della osservazione idrometrica al fine di ricavare risultati sensati e corroborati dell'esperienza. Per via delle notevoli indeterminazioni connesse agli studi precedenti, alle scarse coperture spaziali delle osservazioni pluviometriche, alle notevoli incertezze sulle registrazioni idrometriche nel sito di Isolabona, alla scarsa possibilità di reperire dati utili dai tracciati pluvio e idrometrografici disponibili presso l'archivio storico dell'ex Servizio Idrografico, presso la Regione Liguria, la valutazione di piena più affidabile risulta quella condotta per via indiretta, applicando il metodo della simulazione dell'evento critico per la stima della piena indice e la procedura regionale VAPI con la curva di crescita GEV per la stima dei quantili salienti.

L'attività svolta ha quindi portato alle

- valutazioni della portata temibile nelle sezioni salienti identificate dal vigente Piano di Bacino, riportate in Tabella 7.1, ottenuta tramite l'applicazione della curva di crescita GEV regionale e la stima della portata indice con il metodo della simulazione dell'evento critico, nonché alle
- valutazioni degli idrogrammi di riferimento per le stesse sezioni idrografiche, eseguita con il metodo della simulazione dell'evento idrometeorologico critico, i cui risultati sono riportati in forma tabellare in Appendice C.

Tabella. 7.1. Stime dei valori di portata la colmo in m^3/s con assegnato periodo di ritorno 50, 200 e 500-ennale nelle sezioni strumentate e non del torrente Nervia. Metodo GEV regionale con portata indice stimata con il metodo della Simulazione dell'Evento Critico.

Corso d'acqua - Sezione	Area	Q, T = 50 anni	Q, T = 200 anni	Q, T = 500 anni
	Km^2	m^3s^{-1}	m^3s^{-1}	m^3s^{-1}
Torrente Nervia - Sezione NERVIA 5	187.4	941	1480	1967
Torrente Nervia - Sezione NERVIA 4	128.5	719	1131	1502
Torrente Nervia - Isolabona Stazione	123.0	703	1106	1469
Torrente Nervia - Sezione NERVIA 3	100.0	581	913	1213
Torrente Nervia - Sezione NERVIA 2	70.5	437	687	913
Torrente Nervia - Confluenza MURATONE	44.0	277	435	578
Rio BARBAIRA - Confluenza Nervia	36.0	218	343	455
Rio MERDANZO - Confluenza Nervia	24.4	174	273	363
Torrente Nervia - Sezione NERVIA 1	21.6	165	259	344
Rio GORDALE - Confluenza Nervia	20.0	139	218	290
Rio BONDA - Confluenza Nervia	14.2	100	158	210
Rio MURATONE - Confluenza Nervia	14.0	104	164	217

L'analisi condotta ha messo peraltro in rilievo la situazione di notevole carenza strumentale nel bacino preso in esame, tenendo conto che il torrente Nervia drena una superficie di quasi 200 kmq.

Sotto l'aspetto delle misure idrometriche, la presenza della sola stazione di Isolabona comporta enormi incertezze nelle valutazioni di piena e, più in generale, dei deflussi fluviali. Le vicende storiche che hanno accompagnato la gestione di tale stazione, inoltre, rendono poco consistenti le misure ivi condotte.

Sarebbe quindi opportuno procedere all'installazione di almeno due stazioni in siti fluviali di chiusura dei sottobacini principali, nonché il ripristino della stazione di Isolabona, il cui sito bene si presta a questa funzione.

Sotto il profilo delle misure pluviometrico-pluviografiche, la rete è fortemente carente. Essa non è quindi in grado di catturare in modo soddisfacente la variabilità delle precipitazioni con fattori importanti quali la quota, l'esposizione, la distanza dal mare e dallo spartiacque settentrionale.

All'Amministrazione committente si consiglia quindi di prestare particolare attenzione a questa situazione, facendone presente l'importanza e l'urgenza di migliorare la rete idrometeorologica agli enti pubblici preposti alla installazione e alla gestione della rete di misura idrometeorologica, che, a quanto risulta ai consulenti, già stanno cercando di ovviare tramite nuove installazioni, al fine di ridurre la maggiore fonte di incertezza delle valutazioni idrologiche nel bacino del torrente Nervia, ossia la carenza strumentale.

Bibliografia

- Adom, D.N., Caroni, E. & R. Rosso, Impiego di statistiche non-parametriche nell'analisi regionale dei dati di portata al colmo di piena, Atti XXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, L'Aquila, 5-8 settembre, Vol.2, 317-328, 1988.
- Adom, D.N., Bacchi, B., Brath, A., & R. Rosso, On the geomorphoclimatic derivation of flood frequency (peak and volume) at the basin and regional scale, in: *New Directions for Surface Water Modelling*, edited by M.L. Kavvas, IAHS Publ. no.181, 165-176, 1989.
- Ahmad, M.I., Sinclair, C.D. & B.D. Spurr, Assessment of flood frequency models using empirical distribution function statistics, *Water Resour. Res.*, 24(8), 1323-1328, 1988.
- Agnese, C., D'Asaro, F., Grossi, G. & R. Rosso, Scaling properties of topologically random channel networks, *J. Hydrol.*, 187, 183-193, 1996.
- Bacchi, B., Rosso, R. & P. La Barbera, Storm characterization by Poisson models of temporal rainfall, Proc. XXII Congr. Int. Assoc. Hydraul. Res., Lausanne, August 31-September 4, Vol.4, pp.35-40, 1987.
- Bacchi, B. & R. Rosso, Analisi geomorfoclimatica dei modelli di regionalizzazione della frequenza delle piene, Atti XXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, L'Aquila, 5-8 settembre, Vol.1, 15-28, 1988.
- Bathurst, J.C., Wicks, J.M. & P.E. O'Connell, The SHE-SHESED basin scale water flow and sediment transport modelling system, in: *Computer Models of Watershed Hydrology*, edited by V.P. Singh, Water Resources Publications, Highlands Ranch, CO, Usa, 563-594, 1995.
- Benson, M.A., Factors influencing the occurrence of floods in a humid region of diverse terrain, *U.S. Geological Survey Water Supply Pap.*, 1580B, 1962.
- Beven, K., Calver, A. & E. Morris, *The Institute of Hydrology Distributed Model*, Natural Environmental Research Council, Institute of Hydrology, Report n.98, Wallingford, UK, 1987.
- Beven, K.J. & M.J. Kyrkby, A physically-based variable contributing area model of basin hydrology, *Hydrol. Sci. Bull.*, 24, 43-69, 1979.
- Bocchiola, D., De Michele, C., Pecora, S. & R. Rosso, Sul tempo di risposta dei bacini idrografici italiani, *L'Acqua*, no.1/2003, p.45-55, 2003a.
- Bocchiola, D., De Michele, C. & R. Rosso, Review of recent advances in index flood estimation, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.7, no.3, p.283-296, 2003b.
- Bocchiola, D., De Michele, C., & R. Rosso, L'applicazione della legge generalizzata del valore estremo GEV all'analisi regionale delle piene in Italia, *L'Acqua*, no.1/2004, p.35-52, 2004.
- Brath, A., Bacchi, B. & R. Rosso, La derivazione geomorfoclimatica della distribuzione di probabilità delle portate di piena, *Idrotecnica*, 4, 183-200, 1992.
- Brath, A., Castellarin, A., Franchini, M. & G. Galeati, La stima della portata indice mediante metodi indiretti, *L'Acqua*, 6, 17-26, 1999.
- Brath, A., De Michele, C. & R. Rosso, Una metodologia indiretta a base concettuale per la valutazione della portata indice, Atti XXV Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Torino, 18-20 settembre, Vol.1, 52-63, 1996.
- Brath, A., De Michele, C., Galeati, G. & R. Rosso, Una metodologia per l'identificazione di regioni omogenee nel regime di piena, *L'Acqua*, 1, 17-26, 1997.
- Brath, A. & R. Rosso, Valutazione delle piene nel bacino padano e nella Liguria tirrenica, in: *La Valutazione delle Piene in Italia*, a cura di S. Gabriele & P. Versace, Pubbl. CNR- GNDICI, Roma, 1994.
- Burlando, P. & R. Rosso, Scaling and multiscaling models of depth-duration-frequency curves of storm precipitation, *J. Hydrol.*, 187, 45-64, 1996.
- Burlando, P., Mancini, M. & R. Rosso, Impact of climate change on hydrological modeling and flood risk assessment, in: *River basin Modelling, Management and Flood Mitigation -RIBAMOD Concerted Action*, edited by R. Casale, K. Havno & P. Samuels, European Commission, Publication EUR 17456 EN, Luxemburg, 7-26, 1997.
- Burlando, P., Oliva, G. & R. Rosso, *RAP: Rainfall Analyser Package. 1. Linee segnalatrici di probabilità climatica, Bacino del fiume Po* (software tecnico-scientifico), HARPACEAS, Milano, 1997.
- Burn, D.H., Catchment similarity for regional flood frequency analysis using seasonality measures. *J. Hydrol.* 202, 212-230, 1997.
- Chowdhury, J.U., Stedinger, J.R. & L.H. Lu, Goodness of fit tests for regional generalized extreme value flood distributions, *Water Resour. Res.*, 27(7), 1765-1776, 1991.
- Cipolla, F., Conti, M., Russo, D. & C. Sebastiani, Rapporto di evento (22.09.1992 Savona, 27.09.1992 Genova), Parte III: Mappatura aree inondate; Sintesi danni; Sintesi dati storici, Pubblicazione CNR-GNDICI, Roma, 1993.

- Claps, P., Fiorentino, M. & G. Oliveto, The most probable hydrologic response of fractal river networks, in: Proc. Int. Conf. Hydrology and Water Resources, edited by V.P. Singh and B. Kumar, Vol.I, 191-204, Kluwer, Norwell, Mass., 1996.
- CNR-GNDCI, *MAPPAVI: Censimento delle aree italiane storicamente colpite da frane e da inondazioni*, Versione 1.2, mappavi@gndci.pg.cnr.it, CNR-GNDCI, Dicembre, 1998.
- Committee on Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods, *Techniques for Estimating Probabilities of Extreme Floods: Methods and Recommended Research*, National Academy Press, Washington, D.C., 1988.
- Conti, M., La Barbera, P. & L. Lanza, Rapporto di evento (22.09.1992 Savona; 27.09.1992 Genova), Parte II: Analisi idrologica, Pubblicazione CNR-GNDCI, Roma, 1993.
- Cowpertwait, P.S.P., A generalized point process model of rainfall based on a clustered point process, *Proc. R. Soc. Lond A*, 447, 23-37, 1994.
- Cowpertwait, P.S.P., A Poisson-cluster model of rainfall: high-order moments and extreme values, *Proc. Royal Soc. London*, Vol.454, pp.885-898, 1998.
- Cowpertwait P.S.P., P.E.O'Connell P.E., Metcalfe A.V. & Mawdsley J.A, Stochastic point process modelling of rainfall. I. Single site fitting and validation, *J. Hydrol.*, 175, 17-46., 1996a.
- Cowpertwait P.S.P., P.E.O'Connell P.E., Metcalfe A.V. & Mawdsley J.A, Stochastic point process modelling of rainfall. II. Regionalisation and disaggregation, *J. Hydrol.*, 175, 47-65, 1996b.
- Cunanne, C., Unbiased plotting positions –A review, *J. Hydrol.*, 37(3/4), 205-222, 1978.
- Cunanne, C., A note on the Poisson assumption in partial duration series models, *Water Resour. Res.*, 15(2), 489-494, 1979.
- Cunge, J.A., On the subject of a flood propagation computation method (Muskingum Method). *J. Hydraulic Res.*, 7, 205-230, 1969.
- Danish Hydraulic Institute, *MIKE SHE WM, A short description*, Danish Hydraulic Institute, Hosholm, Danmark, 1993.
- Darlymple, T., Flood frequency analysis, U.S. Geological Survey, *Water Supply Paper* 1543-A, 1960.
- De Michele, C. Kottegoda, N.T. & R. Rosso, The derivation of areal reduction factor of storm rainfall from its scaling properties, *Water Resources Research*, Vol.37, no.12, p.3247-3252, 2001.
- De Michele, C., Kottegoda, N. T. & R., Rosso, IDAF curves of extreme storm rainfall: A scaling approach, *Water Science and Technology*, Vol.45, no.2, p.83-90, 2002.
- De Michele, C. & R. Rosso, La valutazione delle piene nell'Italia Nord-Occidentale: bacino padano e Liguria tirrenica, in: *La valutazione delle piene*, a cura di S. Gabriele & F. Rossi, Pubbl. CNR-GNDCI, Roma, 2000.
- De Michele, C., & R. Rosso, Formulazione scala-invariante del fattore di riduzione areale delle piogge, Atti XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 settembre, 2000, Vol.2, pp.205-212, 2000b.
- De Michele, C. & R. Rosso, Uncertainty assessment of regionalized flood frequency estimates, *Journal of Hydrologic Engineering ASCE*, Vol.6, no.6, p.453-459, 2001a.
- De Michele, C. & R. Rosso, A multi-level approach to flood frequency regionalization, in: *Hydrology Days*, edited by J. Ramirez, Colorado State University, Fort Collins, Colorado, p.264-277, 2001b.
- De Michele, C. & R., Rosso, A multi-level approach to flood frequency regionalization, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.6, no.2, p.185-194, 2002.
- De Michele, C., Guidi, G. & R. Rosso, La valutazione della risposta idrologica del terreno nel bacino padano: caratterizzazione spaziale e mappatura del massimo potenziale di ritenzione idrica, *L'Acqua*, n.6/2000, 17-24, 2000.
- De Michele, C., Petaccia, A. & R. Rosso, La validazione dei modelli regionali di previsione statistica delle piene tramite le osservazioni sulle dighe, Atti XXVI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Catania, 9-12 settembre, Vol.2, 173-184, 1998.
- Eagleson, P.S., *Dynamic Hydrology*, McGraw-Hill, New York, 1970.
- Fantoli, G., Inglese, I. & R. Canepa, *Sulla portata massima del torrente Bisagno e sulla condotta urbana dello stesso*, Relazione all'Illustrissimo Sindaco di Genova, Coi tipi della S.A.I.C.C. di Bacigalupi, Genova, 1909.
- Grayson, R.B., Bloschl, G. & I.D. Moore, Distributed parameter hydrologic modelling using vector elevation data: THALES and TAPES-C, in: *Computer Models of Watershed Hydrology*, edited by V.P. Singh, Water Resources Publications, 669-696, Highlands Ranch, CO, Usa, 1995.
- Gupta, V.K., Mesa, O.J., and D.R. Dawdy Multiscaling theory of flood peaks: regional quantile analysis, *Water Resour. Res.*, 30(12), 3405-3421, 1994.
- Haested Methods, *Visual HEC-1*, Haested Methods, Waterbury, CT, Usa, 1996.
- Hydrologic Research Center, *HEC-1 Flood Hydrograph Package User Manual*, Computer program Document no.1A, U.S. Army Corps of Engineers, Davis, CA, Usa, 1990.

- Hosking, J.R.M., L-moments: analysis and estimation of distributions using linear combinations of order statistics, *J. Royal Stat. Soc.*, 52(1), 105-124, 1990.
- Hosking, J.R.M. & J.R. Wallis, Some statistics useful in regional frequency analysis, *Water Resour. Res.*, 29(2), 217-281, 1993.
- Hosking, J.R.M., Wallis, J.R. & E.F. Wood, Estimation of the generalized extreme-value distribution by the method of probability-weighted moments, *Technometrics*, 27(3), 251-261, 1985.
- Institute of Hydrology, *HYRRROM-HYdrological Rainfall Runoff Model*, Natural Environmental Research Council, Institute of Hydrology, Wallingford, UK, 1996.
- Jenkinson, A.F., The frequency distribution of the annual maximum (or minimum) value of meteorological elements, *Q. J. Royal Meteorol. Soc.*, 81, 158-171, 1955.
- Kottogoda, N.T. & R. Rosso, *Statistics, Probability and Reliability for Civil and Environmental Engineers*, Mc-Graw-Hill Publishing Company, New York, 1997.
- La Barbera, P. & R. Rosso, On the fractal dimension of stream networks, *Water Resour. Res.*, 25(4), 735-741, 1989.
- Laurenson, E.M. & R.G. Mein, *RORB, Version 4, Runoff Routing Program, User Manual*, Dept. Civil Engineering, Monash University, Clayton, Victoria, Australia, 1990.
- Leavesley, G.H., Lichty, R.W., Troutman, B.M. & L.G. Saindon, *Precipitation-runoff modeling system-User's manual*, U.S. Geological Survey, Water Resources Investigation Report, no.83-4238.
- Lu, L.H. & J.R. Stedinger, Variance of two- and three parameter GEV/PWM quantile estimators: formulae, confidence intervals and a comparison, *J. Hydrol.*, 138, 247-267, 1992.
- Mancini, M., Montaldo, N. & R. Rosso, Effetti di laminazione di un sistema d'invasi artificiali nel bacino del fiume Toce, *L'Acqua*, 4, 31-42, 2000.
- Mancini, M., Orlandini, S., & R. Rosso, Su un modello idrologico distribuito dei fenomeni di piena con aggiornamento continuo dello stato di imbibimento della copertura vegetale e del suolo, *Idrotecnica*, 1, 3-17, 1995.
- Mancini, M. & R. Rosso, Using GIS to assess spatial variability of SCS Curve Number at the basin scale, in: *New Directions for Surface Water Modelling*, edited by M.L. Kavvas, IAHS Publ. no.181, pp.435-444, 1989.
- Moisello, U., Studio delle piene del Tidone alla diga di Molato, Università di Pavia, Dipartimento di Ingegneria Idraulica e Ambientale, Novembre, 1990.
- Natural Environmental Research Council, *Flood Studies Report*, NERC Publication, London, 1975.
- Institute of Hydrology, *Flood Estimation Handbook*, 5 Voll., Institute of Hydrology, Wallingford, U.K., 1999.
- Orlandini, S., Mancini, M., Paniconi, C. & R. Rosso, Local contribution to infiltration excess runoff for a conceptual catchment scale model, *Water Resour. Res.*, 32(7), 2003-2012, 1996.
- Orlandini, S. & R. Rosso, Parametrization of stream geometry in distributed modeling of catchment dynamics, *Water Resour. Res.*, 34(8), 1971-1985, 1998.
- Pardé, M., *Fleuves et rivières*. 11ed. rev. et corr. Colin, Paris, 1947.
- Ponce, V.M., Diffusion wave modelling of catchment dynamics. *J. Hydr. Engrg. Am. Soc. Civ. Eng.*, 112(8), 716-727, 1986.
- Pirozzi, T., Supino, G., Marchi, E., Berardi, G., Gazzolo, T. & F. Rocchi, *Commissione Ministeriale di Studio per la Sistemazione dei Corsi d'Acqua del Territorio Genovese interessati dall'Alluvione del 7-8 Ottobre 1970*, Ministero dei Lavori Pubblici, Roma, 1971.
- Ranzi, R. & R. Rosso, *FLEA: Flood Event Analyser*, Versione in italiano, HARPACEAS, Milano, 1997.
- Reed, D., *Flood Estimation Handbook*, 1. *Overview*, Institute of Hydrology, Wallingford, U.K., 1999.
- Robinson, J.S., and M., Sivapalan, An investigation into the physical causes of scaling and heterogeneity of regional flood frequency, *Water Resour. Res.*, 33(5), 1045-1059, 1997.
- Rosso, R., Analisi di frequenza delle piene, in: *Modelli Idrologici e Idrogeologici*, a cura di L. Ubertini, Perugia, Pubbl. CNR-IRPI no.60, 83-134, 1981.
- Rosso, R., Nash model relation to Horton order ratios, *Water Resour. Res.*, 20(7), 914-920, 1984.
- Rosso, R., Bacchi, B. & P. La Barbera, Fractal relation of mainstream length to catchment area in river networks, *Water Resour. Res.*, 27(3), 381-388, 1991.
- Rosso, R., Brath, A., Burlando, P., De Michele, C. & M. Mancini, Invarianza di scala del regime di piena, *L'Acqua*, 5, 15-23, 1996.
- Rosso, R. & E. Caroni, Analysis, estimation and prediction of the hydrological response from catchment geomorphology, *Excerpta*, Vol.1, 93-108, 1986.

- Rosso, R., De Michele, C. & A. Montanari, La previsione statistica delle piogge di forte intensità e breve durata. Applicazione alla Liguria tirrenica e al bacino del Po, in: *La difesa idraulica del territorio*, a cura di U. Maione e A. Brath, Editoriale Bios, 1-30, Cosenza, 1997.
- Rosso, R., Peano, A., Becchi, I. & G. Bemporad, eds., *Advances in Distributed Hydrology*, Water Resources Publications, Highlands Ranch, Colorado, 416p., 1994.
- Rosso, R. & M.C. Rulli, Evoluzione storica dell'uso del suolo e portate di piena del torrente Bisagno, Atti XXVII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Genova, 12-15 settembre, 2000, Vol.2, 267-275, 2000.
- Rosso, R. & M.C. Rulli, An integrated simulation approach for flash-flood risk assessment: 2. Effects of changes in land use under a historical perspective, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.6, no.2, p.285-294, 2002.
- Rulli, M.C. & R. Rosso, An integrated simulation approach for flash-flood risk assessment: 1. Frequency predictions in the Bisagno River by combining stochastic and deterministic methods, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol.6, no.2, p.267-284, 2002.
- Soil Conservation Service, *National Engineering Handbook*, section 4, Hydrology, Rev. ed., U.S. Department of Agriculture, Washington D.C., U.S.A., 1986.
- Stedinger, J.R., Vogel, R.M. & E. Foufula-Georgiu, Frequency analysis of extreme events, in: *Handbook of Hydrology*, Chapter 18, edited by D.R. Maidment, McGraw-Hill, New York, 1992.
- Troch, P., Mancini, M., Paniconi, C. & E. F. Wood, Evaluation of a distributed catchment scale water balance model, *Water Resour. Res.*, 29(6), 1805-1817, 1993.
- Tropeano, D., Chiarle, M., Deganutti, A., Mortara, G., Moscariello, A. & L. Mercalli, Gli eventi alluvionali del 22 e 27 Settembre 1992 in Liguria. Studio idrologico e geomorfologico, Associazione Mineraria Subalpina, Quaderno n.13, Supplemento a *GEAM*, Anno XXX, n.4, 3-37, 1993.
- Troutman, B.M., & M.R. Karlinger, Unit hydrograph approximations assuming linear flow through topologically random channel networks. *Water Resour. Res.*, 21(5), 743-754, 1985.
- U.S. Weather Bureau, Rainfall intensity-frequency regime, *Technical Report 29*, Washington, D.C., 1958.
- Wiltshire, S.E., (1986) Regional flood frequency analysis. I: Homogeneity statistics, *Hydrol. Sci. J.*, 31(3), 321-333, 1986.
- WMO, Manual for estimation of probable maximum precipitation, *Operational Hydrology Report 1*, World Meteorological Organization Paper n. 332, 1986.

Appendice A. Modellazione di eventi di piena

A.1. Impostazione del problema di identificazione del modello

Avendo raccolto ed organizzato i dati di base (v. Capitolo 3) per la costruzione dei modelli di trasformazione afflussi-deflussi del torrente Nervia, si è proceduto alla definizione del modello idrologico identificabile in base a tali dati. Per via della

- densità molto scarsa della rete pluviometrica, e della
- carenza assoluta di osservazioni di portata in sezioni dell'idrografia minore,

i vantaggi acquisibili tramite l'impiego di una formulazione idrologica distribuita non compensano gli svantaggi derivanti dalla mancanza di osservazioni pluviometriche distribuite in grado di delineare l'effettiva struttura dei campi di precipitazione. Di conseguenza, viene adottato un modello concettuale a parametri concentrati, i cui parametri, per la loro natura fisico-concettuale, siano peraltro valutabili in base all'elevato dettaglio spaziale dell'informazione territoriale disponibile.

Va qui ricordato che lo scopo del modello, che viene impiegato per la valutazione della portata indice è soprattutto quello di poter distribuire la valutazione di tale grandezza lungo tutti i rami di interesse dei reticoli idrografici.

A.2. Modello idrologico di piena

Se si trascura la portata di base, di entità ridotta rispetto alla portata di piena nel caso in esame, il processo di formazione del deflusso di piena può essere descritto da un modello idrologico globale dalla struttura abbastanza semplice, costituito da tre componenti seriali: un modello di attenuazione spaziale del campo di precipitazione, un modello di rifiuto del terreno basato sul metodo CN-SCS (Soil Conservation Service, 1986) e un modello lineare di formazione alveata della piena basato sull'idrogramma unitario istantaneo geomorfologico (GIUH) di forma gamma (p.e. Rosso, 1984). Il modello utilizza in ingresso la pioggia nel centro di scroscio del bacino scolante, assunto baricentrico rispetto alla superficie del bacino stesso, laddove le precipitazioni locali di stazione sono ragguagliate all'area con il metodo di Thiessen (1911). La scarsa densità della rete pluviometrica non rende praticabile l'adozione di tecniche geostatistiche (kriging o co-kriging) in quanto il rumore addizionale prodotto da tali tecniche potrebbe, in questi casi, produrre distorsioni non valutabili.

A.2.1. MODELLO AUTO-AFFINE DI ATTENUAZIONE

La sollecitazione meteorica pioggia a scala di bacino può essere determinata riducendo quella locale (centro di scroscio) per tenere conto dell'effetto dell'attenuazione spaziale, tramite la valutazione del fattore di riduzione areale ARF , variabile con la durata dello scroscio.

Il metodo empirico del National Weather Service (WMO, 1986) secondo la parametrizzazione di Eagleson (1978) porge

$$\psi = 1 - \exp(-1.1d^{0.25}) + \exp(-1.1d^{0.25} - 0.00386A) \quad (\text{A.2.1})$$

dove A indica l'area del bacino, in Km^2 , d la durata del nubifragio, in ore, e ψ l'ARF, ossia il rapporto tra altezza di pioggia areale equivalente e altezza di pioggia nel centro di scroscio. Tale metodo è stato tarato empiricamente per la Costa Orientale degli Stati Uniti e l'estrapolazione a climi e geografie molto diverse è soggetta a elevata incertezza.

In alternativa, è applicabile il modello fisico-concettuale di De Michele et al. (2002), che porge il valore atteso del fattore di riduzione areale delle precipitazioni può essere calcolato impiegando il concetto di auto-affinità, ossia

$$\psi \equiv m[ARF(d, A)] = m \left[\frac{h(d, A)}{h(d)} \right] = \left[1 + \varpi \left(\frac{A^z}{d} \right)^b \right]^{-(1-\nu)/b} \quad (\text{A.2.2})$$

dove A indica l'area del bacino di interesse, in Km^2 , e d la durata, in ore. Nella formula (2) ν indica l'esponente di scala delle linee segnalatrici nel centro di scroscio, mentre con ϖ , b e z sono parametri empirici, che, *p.es.*, per l'area metropolitana milanese sono dati da $\varpi = 0.01 \text{ ore}^b/\text{Km}^{bz}$, $b = 0.54$ e $z = 1$ (v. Fig. A.2.1).

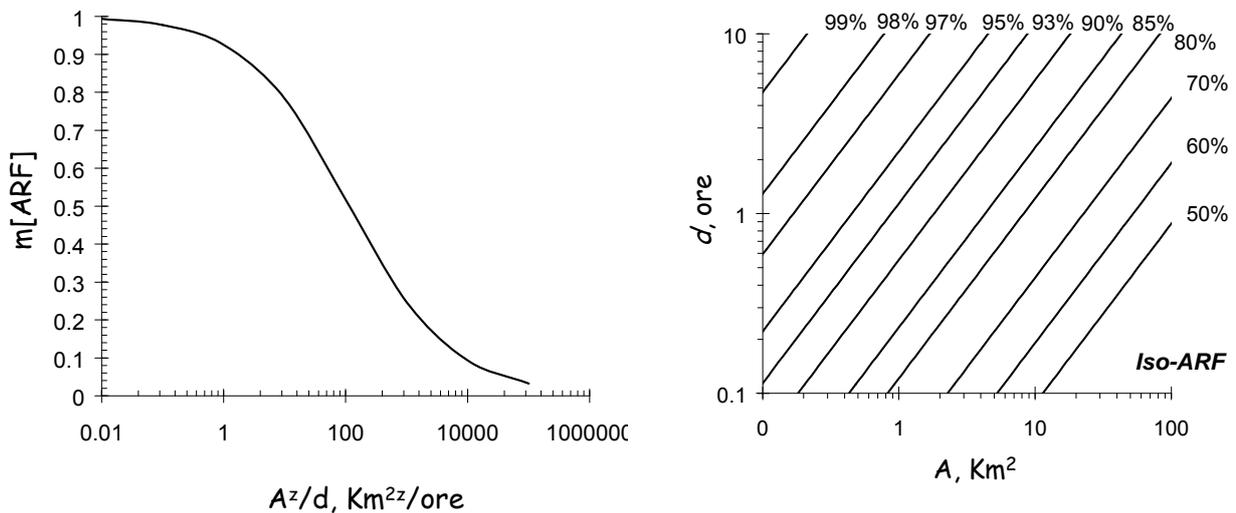


Fig. A.2.1 La legge di attenuazione spaziale della pioggia mediante il modello auto-affine e le linee iso-ARF, che, sul piano $\text{Log}A - \text{Log}d$, sono rappresentate da rette di coefficiente angolare z .

Purtroppo non sono disponibili tarature di questo modello per l'ambiente ligure, mentre sono disponibili per l'ambiente alpino e continentale dell'Italia settentrionale.

A.2.2. METODO SCS_CN

Secondo questo metodo, il volume specifico di deflusso superficiale (altezza di pioggia netta) in un evento isolato di pioggia è dato da

$$R = \frac{(P_A - I_a)^2}{P_A - I_a + S}, \quad (\text{A.2.3})$$

dove P_A indica il volume specifico precipitato sul bacino di superficie A , S il volume specifico di massima ritenzione potenziale del terreno, e $I_a = cS$ il volume specifico di assorbimento iniziale, con $0 \leq c < 1$. Per un dato stato iniziale AMC di imbibimento del bacino al verificarsi del nubifragio, la massima ritenzione potenziale S dipende da due fattori, la natura del terreno e l'uso del suolo, il cui

effetto combinato è descritto globalmente dal parametro adimensionale CN , legato a S dalla relazione $S = S_0(100/CN - 1)$, dove $0 < CN < 100$, e S_0 è una costante di scala legata all'unità di misura adottata, che, per valori di S , P_A , I_a e R misurati in mm, è pari a 254 mm. Il valore di CN dipende sia dalla natura idrologica e dall'uso del suolo, sia dallo stato iniziale di imbibimento, di cui si tiene conto secondo tre tipologie: AMC Tipo I, in caso di bacino asciutto; AMC Tipo III, in caso di bacino fortemente imbibito; e AMC Tipo II, in condizioni intermedie. Il Tipo AMC viene valutato in base alla precipitazione totale nei cinque giorni antecedenti all'evento di piena (cfr. Soil Conservation Service, 1986).

A ogni passo temporale discreto t_m (ossia per $t_m = m\Delta t$, con $m = 1, 2, \dots, N$) si può valutare in modo sequenziale il valore del volume incrementale di ruscellamento $R_m = R(t_m)$ come

$$R_m = \begin{cases} 0, & \text{se } P_{Am} < cS \\ \frac{(P_{Am} - cS)^2}{P_{Am} + (1-c)S}, & \text{se } P_{Am} \geq cS \end{cases} \quad (A.2.4)$$

dove il valore della pioggia lorda cumulata, $P_{Am} = P_A(t_m)$, è dato da

$$P_{Am} = \int_0^{t_m} p_A(t) dt, \quad (A.2.5)$$

essendo $p_A(t)$ lo ietogramma di ingresso al sistema. In base al valore di R_m , si ricava quindi $\Delta R_m = R_m - R_{m-1}$. Il tasso di ruscellamento $r(t_m)$ durante l'intervallo m -esimo è quindi dato da $r_m = \Delta R_m / \Delta t$.

Deve inoltre essere considerato che il rifiuto del terreno è un fenomeno dinamico, che dipende dallo stato del sistema, ovvero dallo stato iniziale di saturazione del terreno. Si assume, perciò, che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali all'atto della piena. Lo stato di saturazione viene espresso in base ad un indice di pioggia, ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena. Al variare di questo valore vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

Tabella A.2.1. Valutazione della condizione AMC per il metodo CN

Classe AMC	Pioggia totale nei 5 giorni antecedenti l'evento	
	Stagione di riposo vegetativo	Stagione di crescita
I	< 13 mm	< 36 mm
II	13 ÷ 28 mm	36 ÷ 53 mm
III	> 28 mm	> 53 mm

Una volta noto il valore di CN per le condizioni medie di imbibimento, ossia CN_{II} , i valori relativi alle classi AMC I e III si possono valutare rispettivamente tramite le relazioni:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.38 - 0.0138 CN_{II}}, \quad (A.2.6)$$

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057 CN_{II}}. \quad (A.2.7)$$

Si sottolineano, infine, i due comportamenti estremi legati al CN : per un valore di CN pari a 100 il deflusso superficiale coincide con l'altezza di pioggia, per cui l'infiltrazione risulta nulla (superficie

completamente impermeabile), viceversa per CN pari a 0 non si ha deflusso e la superficie è completamente permeabile.

A.2.3. METODO IUH_GAMMA

Per un bacino idrografico di superficie A , il modello IUH-GAMMA rappresenta l'andamento dell'idrogramma di piena tramite l'integrale di convoluzione

$$q(t) = A \int_0^t u(t-\tau)r(\tau)d\tau = A \int_0^t \frac{1}{\kappa\Gamma(\beta)} \left(\frac{t-\tau}{\kappa}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{t-\tau}{\kappa}\right) r(\tau)d\tau, \quad (\text{A.2.8})$$

dove l'idrogramma unitario istantaneo $u(t)$ è dato dalla funzione gamma incompleta con parametri β e κ , e $\Gamma(\cdot)$ indica la funzione gamma. La forma del GIUH, determinata dal valore di β , dipende prevalentemente dalla geomorfologia fluviale. L'integrale di convoluzione viene quindi risolto per sommatorie discrete con passo temporale t_m ovvero infittendo opportunamente la discretizzazione adottata.

A.3. Taratura e validazione del modello

A.3.1. STIMA DEL PARAMETRO CN SU BASE CARTOGRAFICA

Nel suo complesso, il modello prevede la stima dei seguenti parametri: l'area del bacino A , la massima ritenzione potenziale S , il coefficiente di assorbimento iniziale c , lo stato di imbibimento iniziale AMC, il tempo caratteristico κ e il parametro di forma β dell'IUH. Il calcolo del parametro CN può essere condotto in linea di principio sulla base della cartografia tematica. Dato tuttavia il grado non trascurabile di soggettività dell'assegnazione del valore di CN, si ritiene necessaria anche una validazione di tale valore tramite la modellazione di eventi idrometrici e pluviometrici osservati. Avendo a disposizione infatti alcuni eventi di piena osservati in dettaglio (ietogrammi e idrogrammi contemporanei) è possibile calibrare il fattore di umidità antecedente all'evento AMC ed il parametro c di assorbimento iniziale.

Il valore del CN dipende da una serie di fattori. In prima istanza dalle caratteristiche idrologiche del suolo, in relazione alla maggiore e minore permeabilità, come si può notare dalla Tabella A.3.1.

Inoltre, per un dato tipo idrologico di suolo, il valore di CN varia, anche notevolmente, a seconda della tipologia di uso del suolo stesso, ossia della sua copertura vegetale e del suo grado di antropizzazione, come meglio descritto nella Tabella A.3.2.

Tabella A.3.1. Gruppi idrologici per il metodo CN

<i>Tipo idrologico di suolo</i>	<i>Descrizione</i>
A	Scarsa potenzialità di deflusso. Comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili.
B	Potenzialità di deflusso moderatamente bassa. Comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione.
C	Potenzialità di deflusso moderatamente alta. Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.
D	Potenzialità di deflusso molto alta. Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressochè impermeabili in vicinanza delle superfici.

Tabella A.3.2. Copertura del suolo per il metodo CN

Indice	Descrizione	CN	
1.1.1	tessuto urbano continuo	92	
1.1.2	tessuto urbano discontinuo		90
1.2.1	aree industriali o commerciali	90	
1.2.2	reti autostradali, ferroviarie e spazi accessori	90	
1.2.3	aree portuali		90
1.3.1	aree estrattive		90
1.3.2	discariche		75
1.4.1	aree verdi urbane		75
1.4.2	aree sportive e ricreative	82	
2.1.1	seminativi in aree non irrigue		70
2.1.1.1	seminativi, vivai, colture ortofloricole in pien'aria	73	
2.1.2.2	seminativi, vivai, colture ortofloricole in serra	90	
2.2.1	vigneti		70
2.2.2	Frutteti		70
2.2.3	oliveti		65
2.3	prati e pascoli		65
2.4	zone agricole eterogenee		70
2.5	ex coltivi		65
3.1	praterie	60	
3.2	zone boscate		56
	zone boscate (5.1 pino marittimo)	62	
3.3	zone caratterizzate da vegetazione arbustiva		60
3.4.1	spiagge, dune		//
3.4.2	rocce nude		90
3.4.3	aree con vegetazione rada (calanchi, conoidi detritici)	75	
3.4.4	aree percorse da incendi recenti	75	

Tabella A.3.3. Variazione del CN relativa al tipo litologico

CATEGORIE LITOLOGICHE	Variazione CN
rocce calcaree	+ 0
rocce argillose	+ 10
rocce arenacee	+ 10
rocce marnose	+ 5
rocce silicee	+ 5
rocce breccioidi	+ 10
rocce ofiolotiche	+ 10
rocce cristalline	+ 15
rocce metamorfiche	+ 15
coltri detritiche	- 5
sedimenti	- 5

Sulla scorta di quanto riportato nel Piano di Bacino relativo al torrente Argentina, che presenta una affinità geolitologica e pedologica con torrente Nervia, per il presente studio l'incrocio delle caratteristiche idrologiche del suolo, secondo i 4 tipi idrologici *A-B-C-D* a permeabilità decrescente, e delle caratteristiche di uso del suolo porta per i soprassuoli classificati come "zone boscate", "zone a vegetazione arbustiva", "praterie", "prati e pascoli" alla modifica dei valori del CN in funzione delle diverse categorie litologiche riportata in Tabella A.3.3.

I valori determinati con questa metodologia si riferiscono a condizioni di saturazione del terreno medie all'atto dell'evento di piena, ossia per AMC di tipo II, e forniscono quindi il valore di CN_{II} .

E' importante, infine, sottolineare come nei bacini idrografici, si riscontri generalmente un'elevata variabilità spaziale, sia per quanto riguarda il tipo idrologico del suolo, sia per l'uso del suolo. Risulta, pertanto, più conveniente determinare il valore (medio) caratteristico del parametro S a scala di bacino integrando nello spazio i diversi valori di S , e non quelli di CN e a partire da S determinare in ultima istanza il CN_{II} medio del bacino.

Si riportano nella Tabella A.3.4 sottostante i tipi litologici presenti nella mappa e le variazioni corrispondenti.

Tabella A.3.4. Tipi litologici nel bacino del Torrente Nervia e variazione del CN relativa.

SIGLA	NOME	Variazione CN
A ORV	argille di Ortovero	+ 10
AR BOR	Arenarie di Bordighera	+ 10
AS SAB	Argilloscisti a lembi interposti (Flysch Baiardo)	+ 15
AS SBA	// (S.Bartolomeo)	+ 15
BC TAG	Breccie di Taggia	+ 10
C NUD	Calcari a Nummuliti Delfinese	+ 0
C CRD	Calcareo cretaceo delfinese	+ 0
CAR FYV	Calcari arenacei (Flysch Ventimiglia)	+ 0
CG CMV	Conglomerati di Monte Villa	+ 0
CM ELM	Calcari marnosi (Flysch San Remo)	+ 0
MA PRB	Marne Priaboniane	+ 5
MA ELM	Marne (Flysch San Remo)	+ 5
OL SAB	Conglomerato oligocenico (Flysch Baiardo)	+ 10
SCC BOR	Scisti calcarei Bordighera	+ 15
AA	Terrazzati antichi	- 5
AM	Mobili attuali	- 5
AR	Terrazzati recenti	- 5
DT	Copertura detritica > 3m	- 5
DT1	// fine	- 5
DT2	// grossa	- 5

Si è, infine, valutato a partire dalle mappe un S_{II} medio pari a circa 136 per un valore di $CN_{II} = 65$.

In Figura A.3.1 si mostra come varia, su scala spaziale, il parametro S_{II} per il bacino del torrente Nervia.

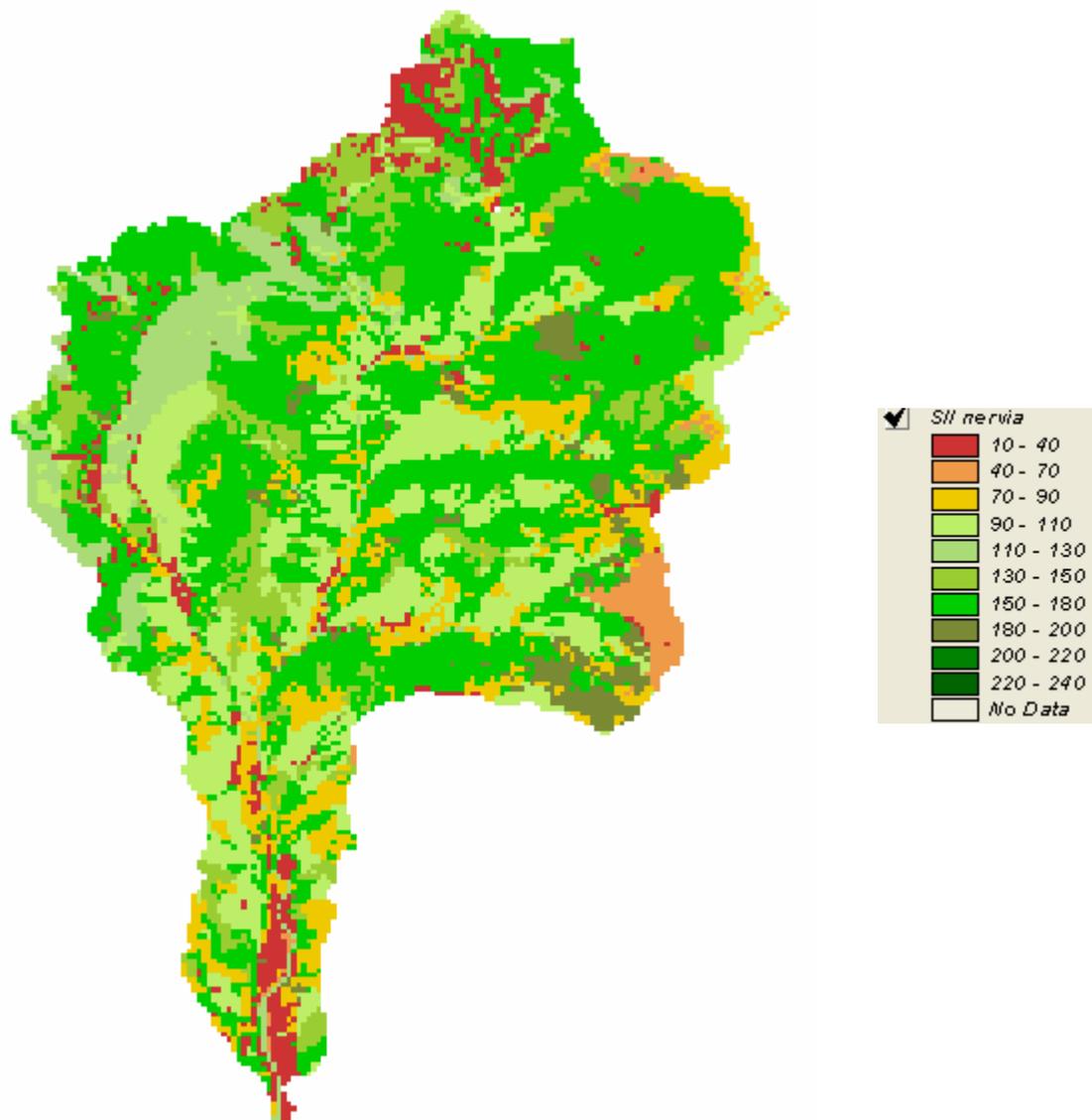


Figura A.3.1 - Valori del parametro S nel bacino del torrente Neria.

A.3.2. CALIBRAZIONE TRAMITE SIMULAZIONE DI EVENTO

Per il presente studio è stato possibile reperire i dati idro-pluviometrici relativi all'evento di piena, relativo all'anno 1966, il massimo mai registrato per la stazione di Isolabona. Sono invece disponibili le registrazioni di livello idrometrico a scala oraria insieme alle registrazioni pluviometriche alla stessa scala per i pluviometri di Ventimiglia, Rocchetta Nervina e Pigna, per l'evento avvenuto in data 24-25/10/1966. I dati salienti dell'evento sono riportati in Tabella 6.6. La valutazione delle portate al colmo richiede la preliminare valutazione di una scala di deflusso atta a convertire i livelli idrometrici in portate volumetriche. Allo scopo di definire una scala delle portate opportuna, si è condotto uno studio mirato, riportato nel seguito.

Tabella A.3.5. Nervia a Isolabona. Dati salienti dell'evento di piena del 24-25/10/1966. Si riportano le piogge cumulate P (mm) ragguagliate a scala di bacino (metodo di Thiessen), il massimo livello idrometrico h_P , la portata corrispondente Q_P , i volumi relativi V_P (m^3), i volumi di deflusso di piena stimati (V_Q), il valore del coefficiente di afflusso Φ , lo stato di imbibizione AMC il valore di c e CN_{II} calcolati, ed i parametri β e k del modello stimati, con il relativo tempo di ritardo, t_L , in ore.

Inizio	Fine	P	h_P	Q_P	V_P	V_Q	Φ	AMC	c	CN_{II}	β	k	t_L	v
[gg-ora]	[gg-ora]	[mm]	[m]	[m^3/s]	[m^3]	[m^3]	[%]	[.]	[.]	[.]	[.]	[ore]	[ore]	[m/s]
24/10 7.00	25/10 14.00	155	5.55	896	1.9E+07	1.3E+07	0.49	II	0.2	71	3.2	0.62	2.01	2.45

Il valore di CN utilizzato è appena superiore di quello riportato in precedenza, ed è pari $CN_{II} = 71$. Tale valore infatti consente di raggiungere una portata al picco assai vicina a quella al picco. Tale discrepanza è tuttavia ragionevole, data l'incertezza insita nella valutazione dei parametri pedologici a partire dalla cartografia tematica. Il valore del parametro β è stato posto pari a 3.2, mentre il valore di k è stato valutato a partire dalla formulazione $T_l = \beta k$, dove il tempo di ritardo T_l è stato valutato imponendo $T_l = L_{ap}/v$, con L_{ap} lunghezza dell'asta principale e v velocità media di deflusso di piena (Bocchiola *et al.*, 2003a), posta qui pari a $v = 2.45 \text{ ms}^{-1}$. Tale scelta dei parametri consente di riprodurre tramite modello l'esatto tempo di picco dell'idrogramma, mentre valori di β e k (*i.e.* v) differenti portano a errori nella valutazione di tale tempo di picco. Poiché come detto i valori di portata al picco sono incerti, l'idrogramma ottenuto tramite il modello qui calibrato viene utilizzato nel paragrafo 6.3.4, insieme ad due differenti approcci idraulici basati sulla scala delle portate osservata per l'anno 1966, per proporre una valutazione del valore del colmo di piena stesso. L'idrogramma dell'evento è riportato nel seguito, in Figura A.3.2.

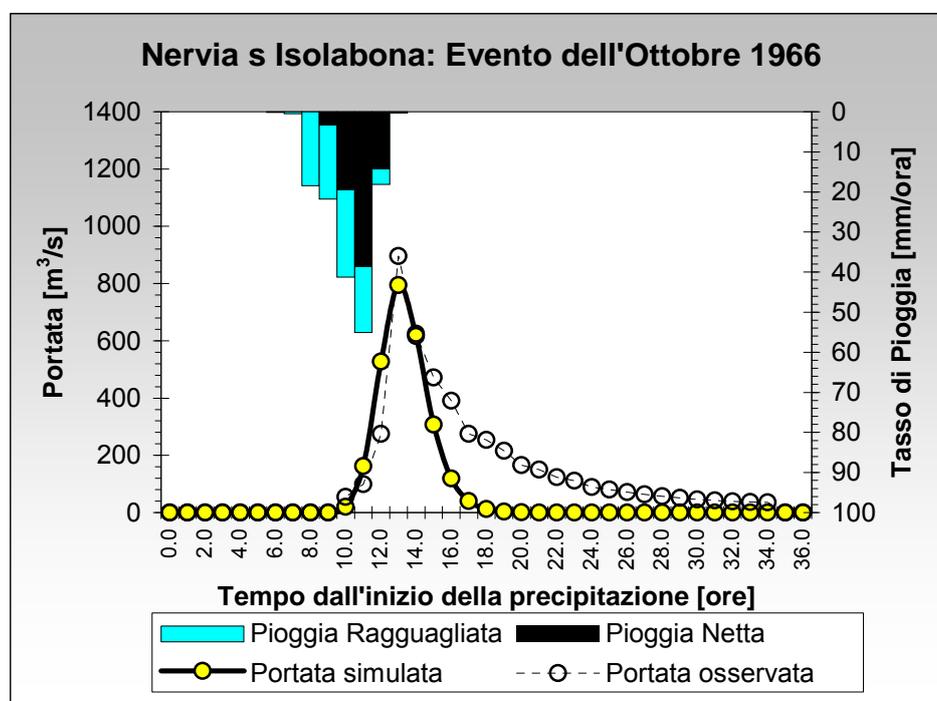


Figura A.3.2. Nervia a Isolabona. Evento ottobre 1966. Calibrazione modello idrologico.

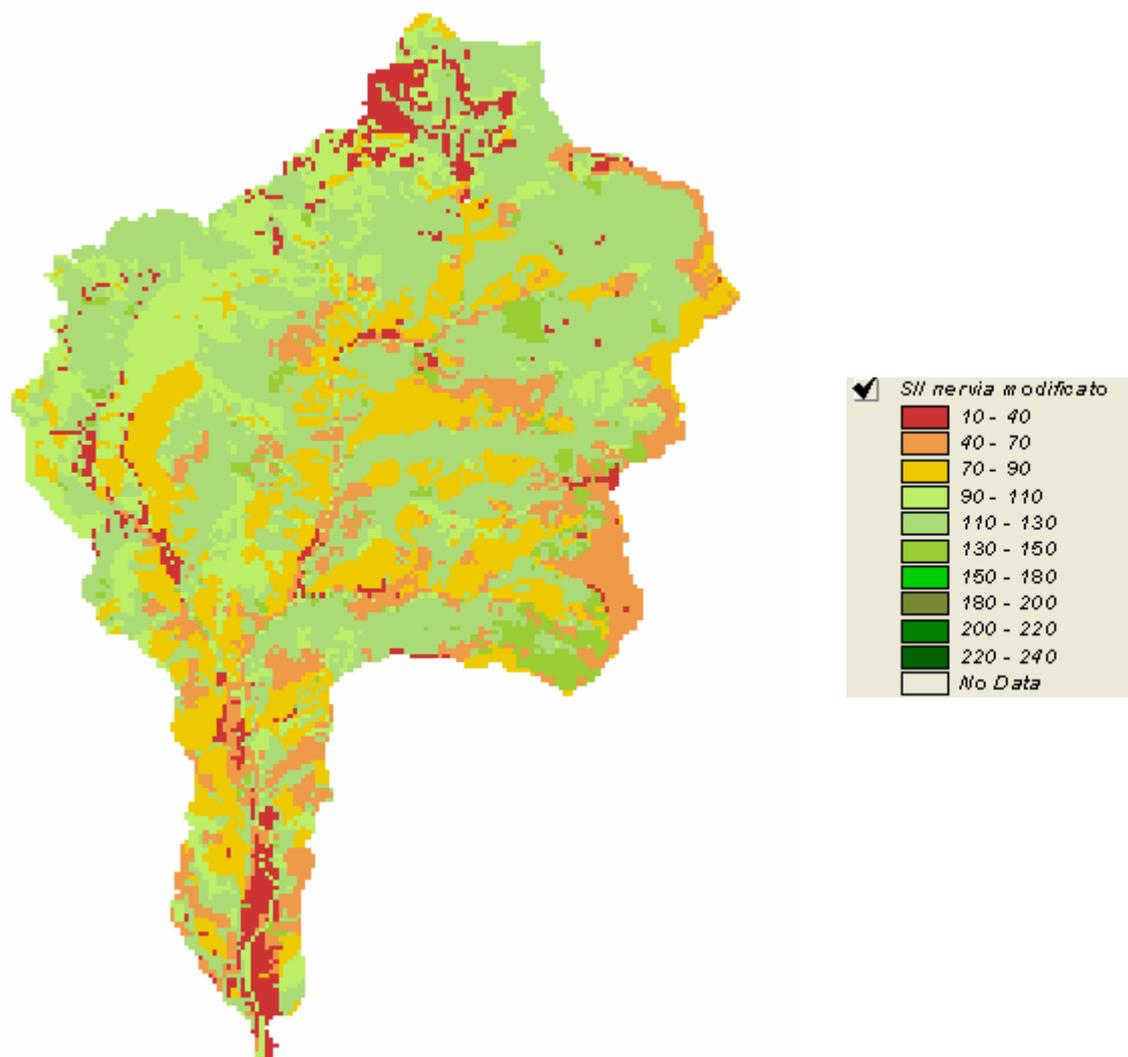


Figura A.3.3 - Valori del parametro S_{II} nel bacino del torrente Nerva modificati sulla base della simulazione idrologica a Isolabona.

In Figura A.3.3 si riporta il tematismo del valore di S per il torrente Nerva rivalutato in base alla calibrazione ad evento, che viene utilizzato nella relazione per il calcolo della portata indice con evento critico.

A.3.3. VALIDAZIONE DEL MODELLO

Sulla base dei dati idro-pluviometrici forniti dal committente, si è potuto anche condurre un'analisi preliminare relativa ad un evento occorso in data 24-25/12/1973. Per tale evento, oltre alle strisciate idrometriche, è disponibile la strisciata pluviometrica relativa allo strumento di Colle Melosa. Utilizzando i parametri in precedenza valutati, è stato possibile condurre una validazione dell'evento, che ha prodotto risultati soddisfacenti, mostrati in figura A.3.4. In definitiva, il modello idrologico così calibrato sembra ragionevolmente affidabile e può essere utilizzato nel seguito per la valutazione della piena indice tramite metodo dell'evento critico.

Tabella A.3.6. Nerva a Isolabona. Dati salienti dell'evento di piena del 24-25/12/1973. Si riportano le piogge cumulate P (mm) ragguagliate a scala di bacino (metodo di Thiessen), il massimo livello idrometrico h_P , la portata corrispondente Q_P , i volumi relativi V_P (m^3), i volumi di deflusso di piena stimati (V_Q), il valore del coefficiente di afflusso Φ , lo stato di imbibizione AMC. I valori di c e CN_{II} , dei parametri β e k del modello ed il relativo tempo di ritardo, t_L , in ore, sono quelli calcolati in fase di calibrazione, e sono riportati in grassetto.

Inizio	Fine	P	h_P	Q_P	V_P	V_Q	Φ	AMC	c	CN_{II}	β	k	t_L	v
[gg-ora]	[gg-ora]	[mm]	[m]	[$m^3 s^{-1}$]	[m^3]	[m^3]	[%]	[.]	[.]	[.]	[.]	[ore]	[ore]	[ms^{-1}]
24/12 12.00	25/12 11.00	143.2	3.5	283	1.9E+07	1.3E+07	0.46	II	0.2	71	3.2	0.62	2.01	2.45

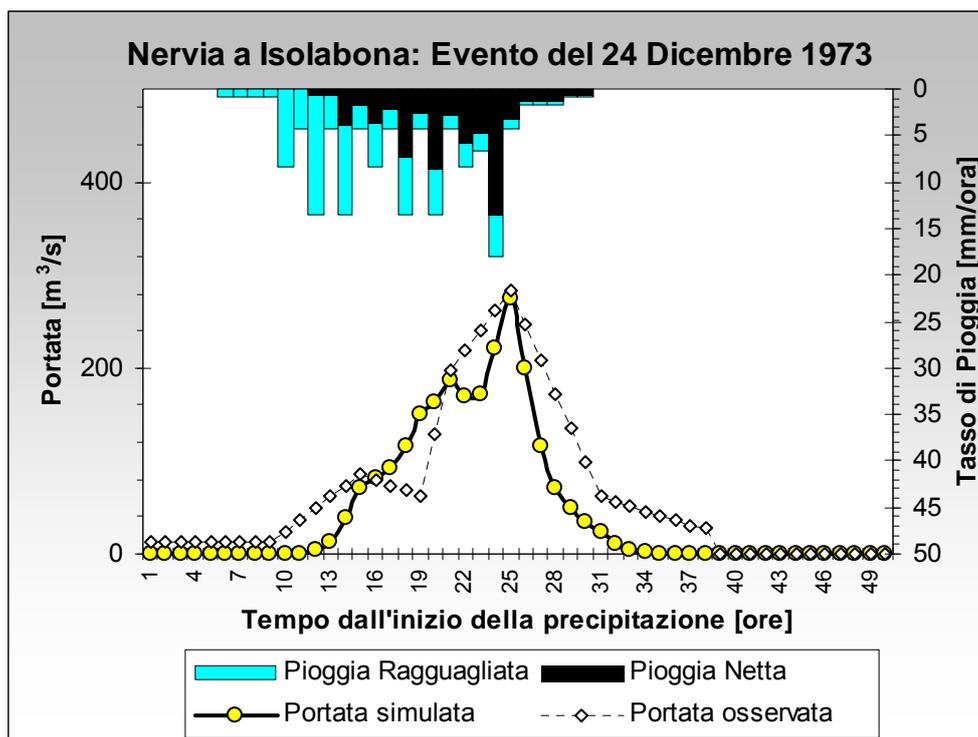


Figura A.3.4. Nerva a Isolabona. Evento dicembre 1973. Validazione modello idrologico

Appendice B. Considerazioni sulle scale di deflusso del torrente Nervia a Isolabona

B.1. La stazione di Isolabona

La stazione di misura idrometrica sita in località Isolabona iniziò la propria attività di osservazione dei livelli idrometrici il giorno 24 giugno 1922. Le Figure B.1.1 mostrano l'attuale configurazione della stazione.



Figura B.1.1. Stazione idrometrica di Isolabona: vista da valle (sx) e da monte (dx) - foto Agosto 2007.

La sezione di misura è attualmente stabilizzata dalla presenza di una briglia a valle, la cui distanza non comporta effetti di richiamo; la sponda sinistra del tronco fluviale è costituita dal muro d'argine a difesa della strada provinciale, mentre la sponda destra è naturale.

B.2. Valutazione della scala di deflusso per l'anno 1966

Una prima ipotesi per la determinazione delle portate di piena a partire dai livelli è quella di utilizzare le scale di deflusso storica registrate sugli annali idrologici del Servizio Idrografico e Mareografico. Tali scale di deflusso derivano da registrazioni contemporanee di altezze idrometriche, di solito per valori dell'ordine di uno o due metri, nonché delle portate corrispondenti. Tali scale vengono poi estrapolate per valori di portata elevati. La relazione altezza-portata è data quasi sempre per punti in forma di tabella per basse portate, mentre spesso viene riportata un'equazione opportuna per portate elevate. Per l'anno 1966 considerato, tale scala non è disponibile per tiranti elevati ($h > 3$ m) tramite gli Annali del Servizio idrografico. L'ultima scala

delle portate disponibile per il Nervia ad Isolabona per elevate portate di cui sia a conoscenza prima dell'evento in questione data all'anno 1963 ed è disponibile sugli Annali Idrologici, Parte II per quell'anno. Come detto in precedenza, gli annali per l'anno 1966 (v. Tabella B.2.1) riportano un livello massimo di $h = 5.55$ metri, per una $Q_{max}(1966) = 1330 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, senza ulteriore spiegazione. La valutazione delle strisciate idrometriche per l'evento in questione, fornisce in realtà un'altezza idrometrica massima leggermente inferiore, pari a $h = 5.30$ m. Viene qui considerata comunque come riferimento la lettura di altezza maggiore a favore di sicurezza.

Tabella B.2.2. Nervia a Isolabona. Ingrandimento della scala delle portate per l'anno 1966.

SCALA NUMERICA DELLE PORTATE							
Altezza idrometrica <i>m</i>	Portata <i>m³/s</i>						
0.20	0.06	1.00	9.63	1.90	55.00	2.60	123.00
0.30	0.22	1.20	16.00	2.00	63.00	2.70	136.00
0.40	0.50	1.40	24.20	2.10	71.00	2.80	150.00
0.50	1.23	1.50	29.70	2.30	90.00	2.90	165.00
0.70	3.45	1.70	41.50	2.50	111.00	3.00	182.00
0.90	7.07						

Per l'anno 1963, per $h \geq 1.45$ m, viene suggerita la relazione

$$Q = 29.1 \cdot (h - 0.25)^{1.5} \quad (\text{B.2.1})$$

Tale scala risulta affidabile per i valori di portata più bassi, mentre l'estrapolazione condotta per valori elevati può comportare maggiore incertezza. Inoltre, l'evento considerato è avvenuto 3 anni dopo le misure qui riportate, circostanza che introduce ulteriore incertezza. L'utilizzo della (B.2.1) fornisce comunque, per $h = 5.55$ m, una portata pari a $Q_{max} = 354 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, notevolmente inferiore al valore di 1330 riportato dagli annali! Per $h = 5.30$ m si otterrebbe $Q_{max} = 330 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. Sorgerebbe quasi il dubbio che un errore di trascrizione dell'epoca abbia di fatto aggiunto una cifra a sinistra del valore all'epoca valutato.

E' quindi sembrato opportuno condurre ulteriori indagini. Si è pensato di utilizzare un modello idraulico atto a fornire scale di deflusso più affidabili per le alte portate. Tuttavia, non è stato possibile reperire cartografie relative alle sezioni fluviali sull'asta del fiume interessata per il periodo relativo. Si è quindi pensato di condurre un'analisi indiretta, basata tuttavia su un approccio idraulico.

Basandosi sulla geometria della sezione e sui dati relativi alle caratteristiche idrauliche locali, ossia ai valori di portata e livello idrometrico ($h \leq 3$ m) disponibili sugli annali per l'anno 1966, si è analizzato il comportamento idraulico della sezione valutandone i coefficienti di scabrezza.

Nell'ipotesi di moto uniforme, valida in prima approssimazione per bassi tiranti, si è valutata la scala di deflusso in moto uniforme nell'alveo. Si sono utilizzati i dati relativi alla morfologia della sezione idrometriche riportate negli annali idrologici dell'anno 1942, l'ultimo disponibile (Parte II, riportate in Figura B.2.5), nell'ipotesi ragionevole che la forma della sezione possa essere variata in sostanza soltanto nella parte più depressa, ossia per basi deflussi, ma che sia rimasta sostanzialmente inalterata per deflussi superiori al metro circa.

Tabella B.2.1. Nervia a Isolabona: scheda riassuntiva e scala delle portate per l'anno 1966 (Min. LL.PP., Servizio Idrografico, Annali Idrologici, Sezione di Genova, Parte II)

III — NERVIA a ISOLABONA (Mr)

CARATTERISTICHE DELLA STAZIONE: Bacino di dominio 123 km² (parte permeabile 2%); altitudine max 2040 m s. m.; media 732 m s. m.; zero idrometrico 83 m s. m.; distanza dalla foce km 11.6; inizio delle osservazioni: 24 giu. 1922; inizio delle misure: 24 giu. 1922. Altezza idrometrica max m 5.55 (24 ott. 1966); minima m 0.02 (2 set. 1958). Portata max m³/s 1330.00 (24 ott. 1966); minima m³/s 0.04 (vari gen. 1937 e apr. 1942).

PORTATE MEDIE GIORNALIERE in m ³ /s												
GIORNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
1	1.80	1.80	8.09	1.16	1.80	0.94	0.35	0.28	0.22	0.51	0.71	1.52
2	1.71	1.71	5.66	1.09	1.61	0.87	0.32	0.28	0.20	0.47	0.76	34.70
3	1.52	1.61	4.57	1.01	1.52	0.82	0.32	0.28	0.20	0.42	2.31	7.58
4	1.52	1.52	3.94	1.09	1.52	0.76	0.35	0.28	0.20	0.28	11.20	3.46
5	1.42	1.33	3.46	1.09	1.52	0.76	0.38	0.28	0.18	0.25	15.00	1.90
6	1.33	1.33	3.08	1.09	1.61	0.76	0.47	0.25	0.18	0.22	12.80	1.61
7	1.23	1.16	2.69	1.16	1.90	0.60	0.42	0.25	0.16	0.22	2.56	1.52
8	1.23	1.33	2.56	1.71	1.71	0.56	0.42	0.25	0.16	0.22	2.44	1.42
9	1.16	1.33	2.44	2.98	1.52	0.51	0.42	0.25	0.18	0.32	2.31	1.33
10	1.16	1.33	2.31	9.93	1.61	0.60	0.38	0.25	0.18	0.36	2.09	1.23
11	1.33	4.15	2.18	4.10	1.52	0.55	0.38	0.22	0.18	0.51	1.99	1.16
12	1.23	5.25	2.09	2.69	1.42	0.51	0.42	0.22	0.18	3.08	1.99	1.16
13	1.16	15.10	1.99	2.69	1.33	0.51	0.42	0.22	0.18	1.33	1.99	1.09
14	1.09	9.93	1.90	2.95	1.23	0.47	0.38	0.22	0.18	0.65	1.90	1.01
15	1.01	5.45	1.71	2.69	1.23	0.47	0.38	0.22	0.18	10.10	1.90	1.01
16	1.01	4.80	1.61	2.44	1.16	0.51	0.38	0.22	0.18	22.80	1.90	1.01
17	0.94	11.40	1.52	2.09	1.16	0.47	0.38	0.22	0.18	5.25	1.90	0.94
18	0.94	7.84	1.52	1.90	1.16	0.47	0.42	0.28	0.22	2.95	1.90	0.87
19	0.87	6.26	3.08	1.71	1.23	0.42	0.47	0.32	0.22	5.05	1.90	0.82
20	0.87	5.86	1.99	5.69	1.23	0.56	0.51	0.32	0.20	5.05	1.80	1.09
21	1.01	11.20	1.90	14.00	1.16	0.60	0.60	0.28	0.18	2.95	1.80	1.23
22	1.61	21.60	1.71	5.66	1.09	0.51	0.51	0.28	0.18	1.99	1.80	1.23
23	3.94	21.90	1.71	3.94	1.01	0.51	0.42	0.25	0.16	1.71	1.71	1.16
24	2.18	10.20	1.71	3.33	0.94	0.51	0.38	0.22	0.16	147.00	1.71	1.16
25	1.90	6.87	1.71	2.95	1.01	0.47	0.35	0.22	0.18	78.90	1.61	1.16
26	4.57	5.66	1.52	2.69	1.01	0.42	0.35	0.25	0.16	37.20	1.71	1.09
27	3.62	4.73	1.42	2.31	1.01	0.42	0.35	0.25	0.16	5.25	1.61	1.01
28	2.95	5.59	1.33	2.09	1.01	0.38	0.35	0.25	0.18	2.18	1.52	1.99
29	2.44		1.33	1.90	0.94	0.35	0.35	0.22	1.27	1.52	1.61	1.61
30	2.18		1.23	1.80	0.94	0.35	0.32	0.22	2.05	1.09	1.52	1.42
31	1.90		1.16		0.94		0.28	0.25		0.87		1.42

ELEMENTI CARATTERISTICI PER L'ANNO 1966													
	ANNO	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Ottobre	Novembre	Dicembre
Q max (m ³ /s)	147.00	4.57	21.90	8.09	14.00	1.90	0.94	0.60	0.32	2.05	147.00	15.00	34.70
Q media (m ³ /s)	2.72	1.70	6.37	2.42	3.06	1.29	0.56	0.39	0.25	0.28	11.00	2.93	2.61
Q minima (m ³ /s)	0.16	0.87	1.16	1.16	1.01	0.94	0.35	0.28	0.22	0.16	0.22	0.71	0.82
Q media (l/s, km ²)	22.1	13.8	51.8	19.7	24.9	10.5	4.6	3.2	2.0	2.3	89.4	23.8	21.2
Deflusso (mm)	697.4	37.1	125.2	52.8	64.6	28.1	11.7	8.6	5.5	5.9	239.3	61.8	56.8
Afflus. meteor. (mm)	1322.0	37.7	150.0	35.8	147.8	48.8	32.0	64.4	50.4	78.9	330.8	214.8	120.6
Coeff. di deflusso	0.53	0.98	0.78	1.47	0.44	0.58	0.37	0.13	0.11	0.07	0.72	0.29	0.47

ELEMENTI CARATTERISTICI PER IL PERIODO 1929÷1939, 1941÷1943, 1951÷1955, 1957÷1965													
	1929-39	1941-43	1951-55	1957-65	1929-39	1941-43	1951-55	1957-65	1929-39	1941-43	1951-55	1957-65	1929-39
Q max (m ³ /s)	199.00	49.40	65.40	42.20	199.00	60.20	54.10	12.90	35.60	91.40	74.00	137.00	183.00
Q media (m ³ /s)	2.50	2.86	2.68	3.73	3.38	2.53	1.47	0.53	0.50	0.84	1.57	4.95	5.02
Q minima (m ³ /s)	0.04	0.04	0.10	0.09	0.06	0.08	0.09	0.07	0.04	0.05	0.09	0.10	0.06
Q media (l/s, km ²)	20.3	23.3	21.8	30.3	27.5	20.6	12.0	4.3	4.1	6.8	12.8	40.2	40.8
Deflusso (mm)	641.9	62.3	53.1	81.3	71.3	55.2	31.1	11.4	10.8	17.7	34.2	104.2	109.3
Afflus. meteor. (mm)	1084.0	66.6	74.2	106.4	90.2	87.1	66.9	30.3	49.7	83.4	118.9	171.9	138.4
Coeff. di deflusso	0.59	0.94	0.72	0.76	0.79	0.63	0.46	0.38	0.22	0.21	0.29	0.61	0.79

DURATA DELLE PORTATE			
Giorni	1966		
	1929-1939	1946-1943	1951-1955
	1957-1965		
	m ³ /s		
10	14.00	16.70	
30	5.45	6.80	
60	2.69	3.40	
91	1.90	2.18	
135	1.52	1.29	
182	1.16	0.84	
274	0.42	0.39	
355	0.18	0.12	

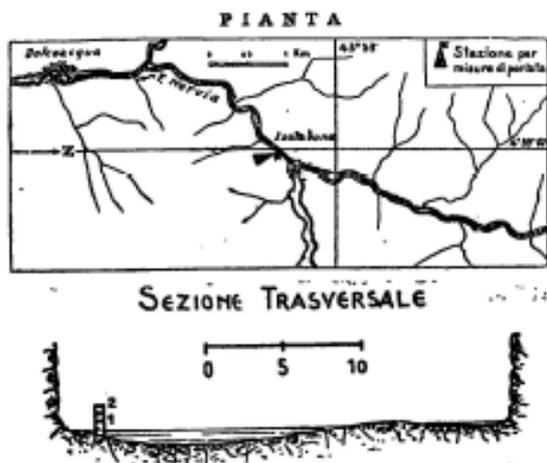
SCALA NUMERICA DELLE PORTATE							
Altezza idrometrica		Portata		Altezza idrometrica		Portata	
m	m ³ /s	m	m ³ /s	m	m ³ /s	m	m ³ /s
0.20	0.06	1.00	9.63	1.90	55.09	2.60	123.00
0.30	0.22	1.20	16.00	2.00	63.00	2.70	136.00
0.40	0.60	1.40	24.20	2.10	71.00	2.80	150.00
0.50	1.23	1.50	29.70	2.30	90.00	2.90	165.00
0.70	3.45	1.70	41.50	2.50	111.00	3.00	182.00
0.90	7.07						

Si è ipotizzata quindi la validità della formula per il calcolo della portata liquida

$$Q = U A = k_s \sqrt{i_f} R^{2/3} A, \quad (\text{B.2.2})$$

Con U velocità media sulla sezione, A area della sezione bagnata, k_s parametro di conduttività idraulica di Strickler, i_f pendenza del fondo e R raggio idraulico. In tale relazione, il termine $k_s \sqrt{i_f}$ risulta incognito, ma si può assumere sostanzialmente costante al variare del livello idrico e, di conseguenza, della portata. Tramite le misure di velocità media in alveo e di portata si è valutato il valore del gruppo detto. A parte la variabilità dovuta alla incertezza di misura, tale termine risulta in sostanza stabile e si attesta su un valore medio pari a $k_s \sqrt{i_f} = 0.86$, valido per altezze superiori a 1 m. Utilizzando tale valore si è ricostruita la scala delle portate di moto uniforme per altezze superiori al valore di livello massimo misurato pari ad $h = 3$ metri. Tale scala è riportata in Figura B.2.6, assieme alla scala estrapolata per altezze superiori.

IV. - Nervia a Isolabona



Caratteristiche della Stazione:

- a) — Bacino di dominio: kmq 123 (parte permeabile 2%); altitudine media: m 732 s. l. m.; distanza dalla confluenza col torrente Merdanzo: m 100 (a valle); inizio misure: 24 giugno 1922.
- b) — Idrometro di riferimento (registratore) «Isolabona» (sp. s.); quota zero m 83 s. l. m; inizio osservazioni: 24 giugno 1922; massima altezza idrometrica: m 5.00 (23 ottobre 1925); minima altezza idrometrica: m 0.08 (19 settembre 1931.)
- c) — Portate (1929-1939 e 1941-1942): annua media: mc/sec 2.27 ($l/sec.$ kmq 18.5); massima piena: mc/sec 340.00 ($l/sec.$ kmq 2764.0) (23 ottobre 1925); massima magra: mc/sec 0.04 ($l/sec.$ kmq 0.3) (vari gennaio 1937 e 30 agosto 1942).

Figura B.2.5. Sezione del torrente Nervia a Isolabona. Anno 1942. Si osservi al punto a la data di inizio delle osservazioni, 24 giugno 1922.

Si osservi come in effetti la scala delle portate ricavate tramite l'Eq.B.2.2 sembri ben rappresentare i dati osservati per l'anno 1966, almeno fino all'altezza idrometrica massima osservata, pari a 3. Si noti che data la forma della sezione relativa all'anno 1942 (in Figura B.2.5), che rimane in sostanza rettangolare larga per altezze idrometriche fino a 6 metri circa, non sembra esserci ragione per brusche variazioni di portata. Si osservi che l'altezza idrometrica di 5.55 metri corrisponde secondo l'Eq.(B.2.2) opportunamente valutata per l'anno 1966 ad una portata $Q = 626 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

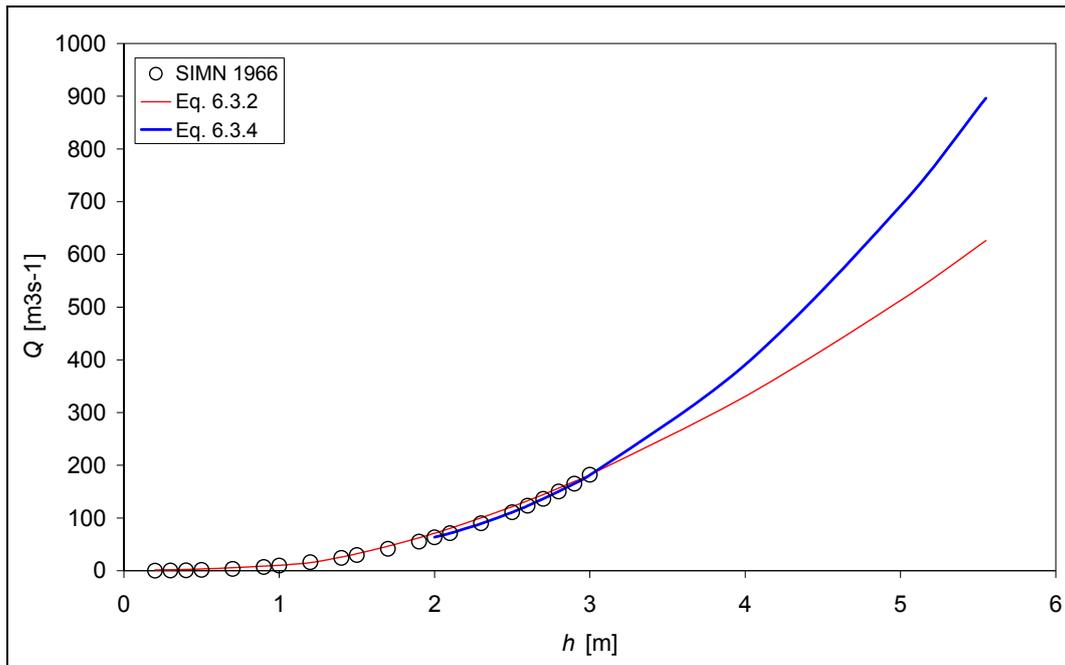


Figura B.2.6. Scala delle portate per il torrente Nerva a Isolabona. 1966.

Per tenere tuttavia conto dell'alterazione del profilo di situazione di moto vario durante un evento di piena considerevole quale sicuramente è l'evento analizzato, si è proceduto alla valutazione delle portate relative all'idrogramma in fase di piena. Utilizzando l'idrogramma ricavato dalle strisciate idrometriche, è stato possibile tenere conto del fenomeno di moto vario tramite la nota formula di Jones (v., *p.es.* Maione, 1995).

$$Q = K_s A_m R_m^{2/3} \sqrt{i} \sqrt{1 + \frac{1}{ic} \frac{h_2 - h_1}{t_2 - t_1}} \quad (\text{B.2.3})$$

Tale formula consente di ricostruire l'idrogramma di piena durante un evento tramite la misurazione di livello h in tempi t successivi. I suffissi m indicano i valori medi nei due istanti ed il termine c è la celerità di propagazione di un dato colmo di piena. Il termine sotto radice viene detto "coppio di piena". Applicando tale formula al caso in esame, il valore valutato al colmo di piena è pari a $Q_{max} = 678 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$.

Allo scopo di proporre una ulteriore valutazione del possibile valore delle portate di piena per l'evento in esame, si è tentato di utilizzare una estrapolazione del valore di portata per valori di altezza idrologica $h > 3 \text{ m}$, partendo dai valori in Tabella B.2.7. Utilizzando una equazione del tipo già fornito dal servizio SIMN, ossia $Q = Q_0(h - h_0)^{3/2}$, si ottengono valori di portata sensibilmente inferiori ai valori qui valutati tramite la formula di Jones, oltre che del tutto incoerenti con il valore fornito dal SIMN di $1330 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$. Tuttavia, è possibile pensare di utilizzare equazioni interpolanti di differente tipo. Dopo una analisi preliminare, si è potuto utilizzare una equazione interpolante di tipo parabolico, ossia

$$Q = 45.73 h^2 - 110.67 h + 101.79 \quad (\text{B.2.4})$$

$$h > 2 \text{ m}$$

Tale equazione fornisce una elevata varianza spiegata ($R^2 \cong 1$, in pratica). La scelta di interpolare i dati per $h > 2 \text{ m}$ è dettata dall'esigenza di considerare altezze rilevanti, per le quali si senta in

maniera inferiore l'effetto dell'irregolarità della sezione per altezze basse profondità, avendo allo stesso tempo un numero di punti misurati (9 valori) sufficiente ad una buona interpolazione. L'analisi preliminare ha mostrato inoltre come l'utilizzo dell'intero set di dati porti a risultati meno affidabili se interpolati tramite una curva parabolica.

Inoltre, l'utilizzo di un esponente 2 non è del tutto incongruente con le leggi idrauliche del moto. Come noto infatti, l'Eq. (B.2.2), quando applicata ad alvei con sezione larga ed approssimativamente rettangolare, come nel caso presente, indica una dipendenza della portata dall'altezza elevata ad un esponente pari e $5/3$, non troppo distante dal valore 2 qui utilizzato. La curva così ottenuta è riportata in Figura B.2.6. Tale curva giace in pratica sopra quella ottenuta tramite l'ipotesi di moto uniforme per valori di altezza considerevoli ($h > 3\text{m}$). Tuttavia, il valore di portata relativo all'altezza $h = 5.55$ metri risulta pari a $Q = 896 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

Sebbene tale valore sia del 30% superiore rispetto a quello fornito dall'ipotesi di Jones in moto vario (v. Eq. B.2.4, $678 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$), esso risulta comunque assai inferiore al valore proposto dall'ex-SIMN (pari a 1330, superiore del 50%). Nella Figura A.3.2., al capitolo precedente, si osserva in sostanza una buona coincidenza tra l'Eq. B.2.4 ed il modello idrologico ($Q_p = 794 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$).

Il valore massimo fornito dagli annali, pari a $Q_{max} = 1330 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$ sembra elevato ed in sostanza inconsistente con l'andamento generale dell'idrogramma. Poiché quest'ultimo non ha di fatto una spiegazione nota a chi scrive, ed a favore di sicurezza, è sembrato ragionevole assumere per i fini dello studio presente il valore ottenuto tramite la (B.2.4), pari a $Q_{max} = 896 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$.

B.3. Evoluzione della scala di deflusso del torrente Nervia a Isolabona

L'inizio delle misure nella stazione del Nervia a Isolabona inizia, secondo gli annali dell'ex-SIMN, Sezione di Pisa, nel 1922. Tuttavia è solo nel 1931 che la stazione di Isolabona compare per la prima volta nelle schede dell'idrografico relative a forma delle sezioni, zeri idrometrici e soprattutto, scala delle portate. Nelle note riepilogative, si indica ivi la massima piena osservata il giorno 23-ottobre-1925, cioè sei anni prima, con un'altezza pari a cinque metri. Si indica la portata relativa in $Q_{max} = 399.6 \text{ m}^3\text{s}^{-1} \cong 400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, che si dichiara essere "estrapolata" ma non si riporta il criterio con cui tale estrapolazione fu condotta. Come già detto, non vi sono a questa data scale delle portate per la sezione riportate negli annali.

La scala delle portate estrapolata dalle misure per l'anno 1931, la prima disponibile negli annali, indica $Q = 38.8(h-0.26)^{3/2}$. Il calcolo per $h = 5$ metri fornisce $Q = 400 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$, congruente con quello indicato in precedenza.

A partire dall'anno 1932, l'ex-SIMN inizia le attività della Sezione di Genova e, nello stesso anno, si riporta ancora il valore di $Q_{max} = 399.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Fino all'anno 1933, tale stima rimane invariata. Nell'anno successivo, il 1934, la portata stimata diminuisce senza apparente motivo, e passa a $Q_{max} = 339.6 \text{ m}^3/\text{s}$. Parrebbe che la seconda cifra "9" si trasformi in "3" per un errore di trascrizione! E tutto ciò non si spiegherebbe con la scala dello stesso anno 1934, che fornisce $Q = 15.37(h-0.16)^{3/2}$, che, per $h = 5$ m, fornisce $Q = 164 \text{ m}^3/\text{s}$.

Fino all'anno 1942 tutto rimane invariato, tranne piccoli aggiustamenti della scala delle portate. Dal 1943 al 1952 l'ex-SIMN non produce la seconda parte degli annali o, almeno, non sono più reperibili negli archivi consultati.

Improvvisamente, nell'anno 1953, la scheda del torrente Nervia a Isolabona riporta, per la data 23 ottobre 1925, la massima altezza mai raggiunta di 5 metri, a cui si associa però una portata $Q_{max} = 940 \text{ m}^3\text{s}^{-1}$. La scala delle portate per l'anno 1953 riporta (per $h > 2.54$ m) $Q = 88.8(h-0.18)^{3/2}$.

Con questa nuova scala, per $h = 5$ m si ottiene effettivamente $Q = 939.7 \text{ m}^3/\text{s}$, che arrotondato, fa esattamente 940. Si presume quindi che, nel 1953, sia stata usata una scala delle portate di 28 anni dopo per rivalutare l'evento del 1925.

Il valore ottenuto così sopravvive nella tabella di riepilogo fino al 1965; cambierà solo nel 1966, quando i 5.55 m porteranno alla stima di $1330 \text{ m}^3/\text{s}$, quale viene subito riportata nell'Annale Idrologico dell'anno 1966.

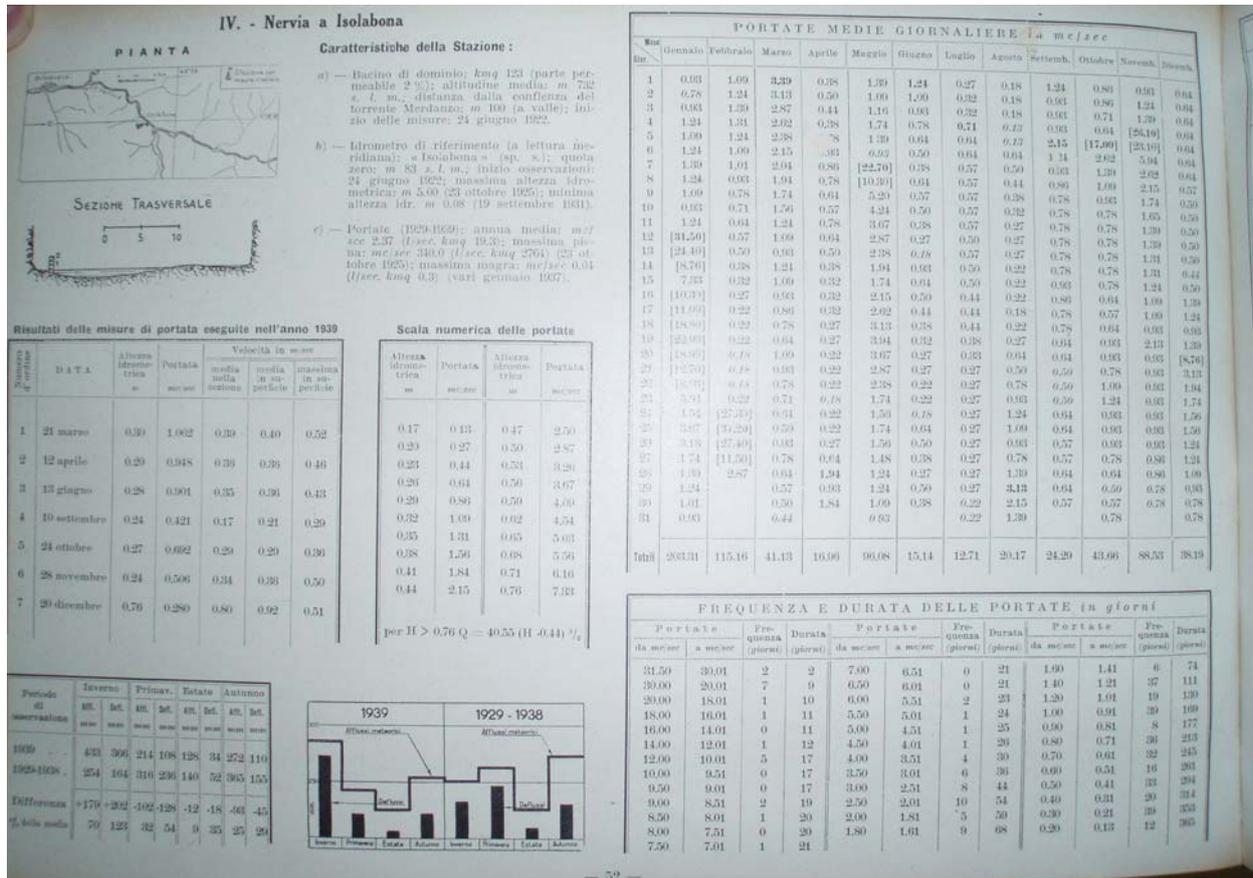


Figura B.3.1. Scala delle portate per il torrente Nerva a Isolabona; Annali Idrologici, parte II, 1939.

Dal 1964 al 1966 gli Annali non riportano scale delle portate estrapolate. Come riportato in precedenza, la scala precedente più vicina, valida del 1959 al 1963, riporta $Q = 29 (h - 0.25)^{3/2}$ che, per $h = 5.55$ m fornirebbe $Q = 354 \text{ m}^3/\text{s}$. Usando la scala del 1953, $Q = 88.8 (h - 0.18)^{3/2}$, si avrebbe $Q = 1105 \text{ m}^3/\text{s}$. Nel 1958, la scala riportata è $Q = 98.4 (h - 0.45)^{3/2}$, che fornirebbe $Q = 1133 \text{ m}^3/\text{s}$. Interpolando i dati di portata fino ad un livello di 3 metri per l'anno 1966 (v. Tabella B.2.2) si ottiene un'estrapolante del tipo $Q = 36.73 (h - 0.25)^{3/2}$, che per $h = 5.55$ m darebbe $Q = 448 \text{ m}^3/\text{s}$.

L'estrema variabilità della scala delle portate nel corso del tempo trova spiegazione nel sistema di briglie che è stato costruito, del quale non si ha però una datazione precisa dalla documentazione reperibile. Questa circostanza conferma però quanto emerge dall'analisi statistica di affidabilità della serie, condotta a suo tempo da Adom et al. (1988), ossia la non affidabilità in termini di consistenza. Per questa ragione, la serie non fu considerata in sede di regionalizzazione nell'ambito del Progetto VAPI del CNR-GNDICI.

Appendice C. Tabelle degli Idrogrammi di riferimento nelle Sezioni salienti del Bacino del Torrente Nervia

Nelle tabelle che seguono sono riportati gli andamenti dell'idrogramma, ossia le due colonne del tempo, a partire dall'inizio dell'evento sintetico, e della relativa portata (media nell'intervallo di integrazione). Le sezioni sono ordinate per area decrescente. Inoltre sono riportati il volume totale e la relativa portata al colmo.

01

Torrente Nervia 5											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	941	$q_p, mc/s =$	847	$q_p, mc/s =$	706	$q_p, mc/s =$	1480	$q_p, mc/s =$	1332	$q_p, mc/s =$	1110
$V_p, Mmc =$	16.079	$V_p, Mmc =$	19.999	$V_p, Mmc =$	24.136	$V_p, Mmc =$	25.013	$V_p, Mmc =$	30.504	$V_p, Mmc =$	36.308
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.31	0	0.52	0	0.52	0	0.21	0	0.35	0	0.35	0
0.31	0	0.52	0	0.52	0	0.21	0	0.35	0	0.35	0
0.71	9	1.46	24	1.46	54	0.61	13	1.26	34	1.26	75
1.12	57	2.41	130	2.41	230	1.00	85	2.16	190	2.16	334
1.53	149	3.36	287	3.36	417	1.40	225	3.07	426	3.07	621
1.93	270	4.31	447	4.31	550	1.80	411	3.97	673	3.97	836
2.34	402	5.26	582	5.26	629	2.20	616	4.88	886	4.88	969
2.75	531	6.21	683	6.21	670	2.59	818	5.79	1050	5.79	1042
3.15	648	7.15	753	7.15	690	2.99	1003	6.69	1168	6.69	1079
3.56	748	8.10	799	8.10	700	3.39	1164	7.60	1247	7.60	1098
3.96	831	9.05	829	9.05	704	3.79	1298	8.51	1299	8.51	1106
4.37	898	10.00	847	10.00	706	4.18	1407	9.41	1332	9.41	1110
4.37	898	10.00	847	10.00	706	4.18	1407	9.41	1332	9.41	1110
4.78	941	10.95	834	10.95	653	4.58	1480	10.32	1318	10.32	1036
5.18	933	11.90	734	11.90	477	4.98	1474	11.22	1175	11.22	778
5.59	871	12.84	580	12.84	290	5.37	1385	12.13	945	12.13	492
6.00	772	13.79	423	13.79	157	5.77	1237	13.04	703	13.04	277
6.40	656	14.74	289	14.74	78	6.17	1060	13.94	493	13.94	144
6.81	539	15.69	189	15.69	37	6.57	879	14.85	330	14.85	71
7.22	431	16.64	119	16.64	17	6.96	709	15.76	213	15.76	33
7.62	336	17.59	73	17.59	7	7.36	559	16.66	134	16.66	15
8.03	258	18.53	44	18.53	3	7.76	432	17.57	82	17.57	7
8.44	194	19.48	26	19.48	1	8.16	329	18.47	49	18.47	3
8.84	144	20.43	15	20.43	1	8.55	247	19.38	29	19.38	1
9.25	106	21.38	8	21.38	0	8.95	183	20.29	17	20.29	1
9.66	77	22.33	5	22.33	0	9.35	135	21.19	10	21.19	0
10.06	56	23.28	3	23.28	0	9.74	98	22.10	6	22.10	0
10.47	40	24.22	1	24.22	0	10.14	71	23.00	3	23.00	0
10.87	28	25.17	1	25.17	0	10.54	51	23.91	2	23.91	0
11.28	20	26.12	0	26.12	0	10.94	36	24.82	1	24.82	0
11.69	14	27.07	0	27.07	0	11.33	26	25.72	1	25.72	0
12.09	10	28.02	0	28.02	0	11.73	18	26.63	0	26.63	0
12.50	7	28.97	0	28.97	0	12.13	13	27.54	0	27.54	0
12.91	5	29.91	0	29.91	0	12.53	9	28.44	0	28.44	0
13.31	3	30.86	0	30.86	0	12.92	6	29.35	0	29.35	0
13.72	2	31.81	0	31.81	0	13.32	4	30.25	0	30.25	0
14.13	1	32.76	0	32.76	0	13.72	3	31.16	0	31.16	0
14.53	1	33.71	0	33.71	0	14.11	2	32.07	0	32.07	0
14.94	1	34.65	0	34.65	0	14.51	1	32.97	0	32.97	0
15.35	0	35.60	0	35.60	0	14.91	1	33.88	0	33.88	0
15.75	0	36.55	0	36.55	0	15.31	1	34.79	0	34.79	0
16.16	0	37.50	0	37.50	0	15.70	0	35.69	0	35.69	0
16.57	0	38.45	0	38.45	0	16.10	0	36.60	0	36.60	0
16.97	0	39.40	0	39.40	0	16.50	0	37.50	0	37.50	0
17.38	0	40.34	0	40.34	0	16.89	0	38.41	0	38.41	0
17.78	0	41.29	0	41.29	0	17.29	0	39.32	0	39.32	0
18.19	0	42.24	0	42.24	0	17.69	0	40.22	0	40.22	0
18.60	0	43.19	0	43.19	0	18.09	0	41.13	0	41.13	0
19.00	0	44.14	0	44.14	0	18.48	0	42.04	0	42.04	0
19.41	0	45.09	0	45.09	0	18.88	0	42.94	0	42.94	0
19.82	0	46.03	0	46.03	0	19.28	0	43.85	0	43.85	0
20.22	0	46.98	0	46.98	0	19.68	0	44.75	0	44.75	0
20.63	0	47.93	0	47.93	0	20.07	0	45.66	0	45.66	0
21.04	0	48.88	0	48.88	0	20.47	0	46.57	0	46.57	0

Torrente Nervia 4											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
q_p , mc/s =	719	q_p , mc/s =	647	q_p , mc/s =	539	q_p , mc/s =	1131	q_p , mc/s =	1018	q_p , mc/s =	848
V_p , Mmc =	8.960	V_p , Mmc =	11.287	V_p , Mmc =	13.746	V_p , Mmc =	13.920	V_p , Mmc =	17.144	V_p , Mmc =	20.549
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.27	0	0.46	0	0.46	0	0.19	0	0.31	0	0.31	0
0.27	0	0.46	0	0.46	0	0.19	0	0.31	0	0.31	0
0.57	7	1.17	19	1.17	44	0.48	10	0.98	27	0.98	61
0.87	45	1.87	104	1.87	185	0.77	67	1.66	151	1.66	266
1.17	117	2.58	228	2.58	329	1.06	176	2.33	336	2.33	488
1.46	210	3.29	351	3.29	429	1.35	319	3.00	526	3.00	650
1.76	312	3.99	453	3.99	486	1.64	477	3.67	688	3.67	748
2.06	411	4.70	529	4.70	516	1.93	632	4.34	812	4.34	801
2.36	500	5.41	580	5.41	529	2.22	773	5.01	899	5.01	828
2.66	576	6.12	614	6.12	536	2.52	895	5.68	957	5.68	840
2.96	638	6.82	634	6.82	538	2.81	996	6.36	995	6.36	846
3.26	687	7.53	647	7.53	539	3.10	1077	7.03	1018	7.03	848
3.26	687	7.53	647	7.53	539	3.10	1077	7.03	1018	7.03	848
3.55	719	8.24	635	8.24	496	3.39	1131	7.70	1005	7.70	788
3.85	710	8.94	555	8.94	355	3.68	1124	8.37	890	8.37	584
4.15	661	9.65	433	9.65	211	3.97	1052	9.04	710	9.04	362
4.45	583	10.36	311	10.36	111	4.26	936	9.71	522	9.71	200
4.75	493	11.07	210	11.07	54	4.55	799	10.38	362	10.38	102
5.05	403	11.77	135	11.77	24	4.84	659	11.06	239	11.06	49
5.35	320	12.48	84	12.48	11	5.14	529	11.73	153	11.73	23
5.64	248	13.19	51	13.19	4	5.43	415	12.40	95	12.40	10
5.94	189	13.89	30	13.89	2	5.72	320	13.07	57	13.07	4
6.24	142	14.60	17	14.60	1	6.01	242	13.74	34	13.74	2
6.54	105	15.31	10	15.31	0	6.30	181	14.41	20	14.41	1
6.84	76	16.01	5	16.01	0	6.59	133	15.08	12	15.08	0
7.14	55	16.72	3	16.72	0	6.88	97	15.76	7	15.76	0
7.44	39	17.43	2	17.43	0	7.17	71	16.43	4	16.43	0
7.73	28	18.14	1	18.14	0	7.46	51	17.10	2	17.10	0
8.03	20	18.84	0	18.84	0	7.76	36	17.77	1	17.77	0
8.33	14	19.55	0	19.55	0	8.05	26	18.44	1	18.44	0
8.63	10	20.26	0	20.26	0	8.34	18	19.11	0	19.11	0
8.93	7	20.96	0	20.96	0	8.63	13	19.79	0	19.79	0
9.23	5	21.67	0	21.67	0	8.92	9	20.46	0	20.46	0
9.53	3	22.38	0	22.38	0	9.21	6	21.13	0	21.13	0
9.82	2	23.09	0	23.09	0	9.50	4	21.80	0	21.80	0
10.12	1	23.79	0	23.79	0	9.79	3	22.47	0	22.47	0
10.42	1	24.50	0	24.50	0	10.08	2	23.14	0	23.14	0
10.72	1	25.21	0	25.21	0	10.38	1	23.81	0	23.81	0
11.02	0	25.91	0	25.91	0	10.67	1	24.49	0	24.49	0
11.32	0	26.62	0	26.62	0	10.96	1	25.16	0	25.16	0
11.61	0	27.33	0	27.33	0	11.25	0	25.83	0	25.83	0
11.91	0	28.04	0	28.04	0	11.54	0	26.50	0	26.50	0
12.21	0	28.74	0	28.74	0	11.83	0	27.17	0	27.17	0
12.51	0	29.45	0	29.45	0	12.12	0	27.84	0	27.84	0
12.81	0	30.16	0	30.16	0	12.41	0	28.51	0	28.51	0
13.11	0	30.86	0	30.86	0	12.70	0	29.19	0	29.19	0
13.41	0	31.57	0	31.57	0	13.00	0	29.86	0	29.86	0
13.70	0	32.28	0	32.28	0	13.29	0	30.53	0	30.53	0
14.00	0	32.99	0	32.99	0	13.58	0	31.20	0	31.20	0
14.30	0	33.69	0	33.69	0	13.87	0	31.87	0	31.87	0
14.60	0	34.40	0	34.40	0	14.16	0	32.54	0	32.54	0
14.90	0	35.11	0	35.11	0	14.45	0	33.21	0	33.21	0
15.20	0	35.81	0	35.81	0	14.74	0	33.89	0	33.89	0
15.50	0	36.52	0	36.52	0	15.03	0	34.56	0	34.56	0

Torrente Nervia 3											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	581	$q_p, mc/s =$	523	$q_p, mc/s =$	436	$q_p, mc/s =$	913	$q_p, mc/s =$	822	$q_p, mc/s =$	685
$V_p, Mmc =$	6.454	$V_p, Mmc =$	8.172	$V_p, Mmc =$	9.988	$V_p, Mmc =$	10.010	$V_p, Mmc =$	12.380	$V_p, Mmc =$	14.881
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.26	0	0.44	0	0.44	0	0.18	0	0.30	0	0.30	0
0.26	0	0.44	0	0.44	0	0.18	0	0.30	0	0.30	0
0.53	6	1.07	16	1.07	36	0.44	8	0.90	23	0.90	50
0.79	37	1.71	86	1.71	152	0.70	54	1.51	123	1.51	218
1.06	95	2.35	187	2.35	270	0.96	143	2.11	274	2.11	398
1.33	171	2.98	287	2.98	350	1.22	259	2.71	429	2.71	529
1.59	254	3.62	369	3.62	395	1.48	387	3.31	559	3.31	607
1.86	334	4.25	429	4.25	418	1.74	512	3.92	658	3.92	648
2.13	405	4.89	470	4.89	428	2.00	626	4.52	728	4.52	669
2.39	466	5.53	497	5.53	433	2.26	724	5.12	774	5.12	679
2.66	516	6.16	513	6.16	435	2.52	805	5.72	803	5.72	683
2.93	556	6.80	523	6.80	436	2.78	870	6.33	822	6.33	685
2.93	556	6.80	523	6.80	436	2.78	870	6.33	822	6.33	685
3.19	581	7.43	513	7.43	400	3.04	913	6.93	810	6.93	635
3.46	573	8.07	446	8.07	284	3.30	906	7.53	716	7.53	468
3.73	532	8.71	347	8.71	167	3.56	847	8.13	569	8.13	288
3.99	469	9.34	248	9.34	87	3.82	753	8.73	417	8.73	157
4.26	396	9.98	166	9.98	41	4.08	642	9.34	287	9.34	79
4.53	323	10.61	106	10.61	19	4.34	528	9.94	189	9.94	38
4.79	256	11.25	66	11.25	8	4.60	423	10.54	120	10.54	17
5.06	198	11.89	39	11.89	3	4.86	332	11.14	74	11.14	8
5.33	150	12.52	23	12.52	1	5.12	255	11.75	45	11.75	3
5.59	112	13.16	13	13.16	1	5.38	192	12.35	26	12.35	1
5.86	83	13.79	7	13.79	0	5.64	143	12.95	15	12.95	1
6.13	60	14.43	4	14.43	0	5.90	106	13.55	9	13.55	0
6.40	43	15.07	2	15.07	0	6.16	77	14.16	5	14.16	0
6.66	31	15.70	1	15.70	0	6.42	56	14.76	3	14.76	0
6.93	22	16.34	1	16.34	0	6.68	40	15.36	2	15.36	0
7.20	15	16.97	0	16.97	0	6.94	28	15.96	1	15.96	0
7.46	11	17.61	0	17.61	0	7.20	20	16.57	0	16.57	0
7.73	7	18.25	0	18.25	0	7.46	14	17.17	0	17.17	0
8.00	5	18.88	0	18.88	0	7.72	10	17.77	0	17.77	0
8.26	4	19.52	0	19.52	0	7.98	7	18.37	0	18.37	0
8.53	2	20.15	0	20.15	0	8.24	5	18.98	0	18.98	0
8.80	2	20.79	0	20.79	0	8.50	3	19.58	0	19.58	0
9.06	1	21.42	0	21.42	0	8.76	2	20.18	0	20.18	0
9.33	1	22.06	0	22.06	0	9.02	2	20.78	0	20.78	0
9.60	1	22.70	0	22.70	0	9.28	1	21.39	0	21.39	0
9.86	0	23.33	0	23.33	0	9.54	1	21.99	0	21.99	0
10.13	0	23.97	0	23.97	0	9.80	0	22.59	0	22.59	0
10.40	0	24.60	0	24.60	0	10.06	0	23.19	0	23.19	0
10.66	0	25.24	0	25.24	0	10.32	0	23.80	0	23.80	0
10.93	0	25.88	0	25.88	0	10.58	0	24.40	0	24.40	0
11.20	0	26.51	0	26.51	0	10.84	0	25.00	0	25.00	0
11.46	0	27.15	0	27.15	0	11.10	0	25.60	0	25.60	0
11.73	0	27.78	0	27.78	0	11.36	0	26.21	0	26.21	0
12.00	0	28.42	0	28.42	0	11.62	0	26.81	0	26.81	0
12.27	0	29.06	0	29.06	0	11.88	0	27.41	0	27.41	0
12.53	0	29.69	0	29.69	0	12.14	0	28.01	0	28.01	0
12.80	0	30.33	0	30.33	0	12.40	0	28.62	0	28.62	0
13.07	0	30.96	0	30.96	0	12.66	0	29.22	0	29.22	0
13.33	0	31.60	0	31.60	0	12.92	0	29.82	0	29.82	0
13.60	0	32.24	0	32.24	0	13.18	0	30.42	0	30.42	0
13.87	0	32.87	0	32.87	0	13.44	0	31.03	0	31.03	0

Torrente Nervia 2											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
q_p , mc/s =	437	q_p , mc/s =	393	q_p , mc/s =	328	q_p , mc/s =	687	q_p , mc/s =	618	q_p , mc/s =	515
V_p , Mmc =	4.006	V_p , Mmc =	5.114	V_p , Mmc =	6.288	V_p , Mmc =	6.210	V_p , Mmc =	7.730	V_p , Mmc =	9.335
Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.24	0	0.40	0	0.40	0	0.16	0	0.28	0	0.28	0
0.24	0	0.40	0	0.40	0	0.16	0	0.28	0	0.28	0
0.46	4	0.94	13	0.94	29	0.38	6	0.78	18	0.78	39
0.68	28	1.47	66	1.47	118	0.59	42	1.28	95	1.28	169
0.90	73	2.00	144	2.00	207	0.81	109	1.78	210	1.78	305
1.12	130	2.53	220	2.53	266	1.03	197	2.29	327	2.29	402
1.34	193	3.07	281	3.07	299	1.24	294	2.79	425	2.79	460
1.56	253	3.60	326	3.60	315	1.46	388	3.29	499	3.29	490
1.78	307	4.13	356	4.13	323	1.67	473	3.79	550	3.79	504
2.00	352	4.66	375	4.66	326	1.89	547	4.30	584	4.30	511
2.23	389	5.19	386	5.19	327	2.10	607	4.80	605	4.80	514
2.45	419	5.73	393	5.73	328	2.32	656	5.30	618	5.30	515
2.45	419	5.73	393	5.73	328	2.32	656	5.30	618	5.30	515
2.67	437	6.26	385	6.26	299	2.53	687	5.80	609	5.80	477
2.89	430	6.79	333	6.79	210	2.75	681	6.31	536	6.31	347
3.11	399	7.32	257	7.32	121	2.96	635	6.81	423	6.81	211
3.33	350	7.86	182	7.86	62	3.18	563	7.31	308	7.31	114
3.55	294	8.39	121	8.39	29	3.39	478	7.81	211	7.81	57
3.77	239	8.92	77	8.92	13	3.61	393	8.32	138	8.32	27
3.99	189	9.45	47	9.45	5	3.82	314	8.82	87	8.82	12
4.22	146	9.99	28	9.99	2	4.04	245	9.32	53	9.32	5
4.44	110	10.52	16	10.52	1	4.25	188	9.82	32	9.82	2
4.66	82	11.05	9	11.05	0	4.47	141	10.32	19	10.32	1
4.88	60	11.58	5	11.58	0	4.68	105	10.83	11	10.83	0
5.10	44	12.12	3	12.12	0	4.90	77	11.33	6	11.33	0
5.32	31	12.65	2	12.65	0	5.11	56	11.83	3	11.83	0
5.54	22	13.18	1	13.18	0	5.33	40	12.33	2	12.33	0
5.76	16	13.71	0	13.71	0	5.54	29	12.84	1	12.84	0
5.98	11	14.24	0	14.24	0	5.76	20	13.34	1	13.34	0
6.21	8	14.78	0	14.78	0	5.97	14	13.84	0	13.84	0
6.43	5	15.31	0	15.31	0	6.19	10	14.34	0	14.34	0
6.65	4	15.84	0	15.84	0	6.40	7	14.85	0	14.85	0
6.87	2	16.37	0	16.37	0	6.62	5	15.35	0	15.35	0
7.09	2	16.91	0	16.91	0	6.83	3	15.85	0	15.85	0
7.31	1	17.44	0	17.44	0	7.05	2	16.35	0	16.35	0
7.53	1	17.97	0	17.97	0	7.26	2	16.86	0	16.86	0
7.75	1	18.50	0	18.50	0	7.48	1	17.36	0	17.36	0
7.97	0	19.04	0	19.04	0	7.69	1	17.86	0	17.86	0
8.19	0	19.57	0	19.57	0	7.91	0	18.36	0	18.36	0
8.42	0	20.10	0	20.10	0	8.12	0	18.87	0	18.87	0
8.64	0	20.63	0	20.63	0	8.34	0	19.37	0	19.37	0
8.86	0	21.17	0	21.17	0	8.56	0	19.87	0	19.87	0
9.08	0	21.70	0	21.70	0	8.77	0	20.37	0	20.37	0
9.30	0	22.23	0	22.23	0	8.99	0	20.87	0	20.87	0
9.52	0	22.76	0	22.76	0	9.20	0	21.38	0	21.38	0
9.74	0	23.30	0	23.30	0	9.42	0	21.88	0	21.88	0
9.96	0	23.83	0	23.83	0	9.63	0	22.38	0	22.38	0
10.18	0	24.36	0	24.36	0	9.85	0	22.88	0	22.88	0
10.41	0	24.89	0	24.89	0	10.06	0	23.39	0	23.39	0
10.63	0	25.42	0	25.42	0	10.28	0	23.89	0	23.89	0
10.85	0	25.96	0	25.96	0	10.49	0	24.39	0	24.39	0
11.07	0	26.49	0	26.49	0	10.71	0	24.89	0	24.89	0
11.29	0	27.02	0	27.02	0	10.92	0	25.40	0	25.40	0
11.51	0	27.55	0	27.55	0	11.14	0	25.90	0	25.90	0

Torrente Nervia, conf. Muratone											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
q_p , mc/s =	277	q_p , mc/s =	249	q_p , mc/s =	208	q_p , mc/s =	435	q_p , mc/s =	392	q_p , mc/s =	326
V_p , Mmc =	2.484	V_p , Mmc =	3.172	V_p , Mmc =	3.900	V_p , Mmc =	3.575	V_p , Mmc =	4.729	V_p , Mmc =	5.727
Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>	Tempo, t	<i>qmed</i>
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.23	0	0.40	0	0.40	0	0.15	0	0.27	0	0.27	0
0.23	0	0.40	0	0.40	0	0.15	0	0.27	0	0.27	0
0.45	3	0.92	8	0.92	18	0.33	3	0.76	11	0.76	24
0.66	18	1.44	42	1.44	75	0.52	20	1.24	58	1.24	105
0.88	46	1.96	91	1.96	131	0.70	54	1.73	130	1.73	191
1.10	83	2.48	139	2.48	169	0.88	102	2.22	204	2.22	253
1.31	122	3.00	178	3.00	190	1.07	157	2.70	266	2.70	290
1.53	160	3.52	206	3.52	200	1.25	214	3.19	313	3.19	309
1.75	194	4.04	225	4.04	205	1.44	268	3.68	346	3.68	319
1.96	223	4.56	237	4.56	207	1.62	318	4.16	368	4.16	323
2.18	247	5.08	245	5.08	207	1.80	362	4.65	383	4.65	325
2.39	265	5.60	249	5.60	208	1.99	399	5.14	392	5.14	326
2.39	265	5.60	249	5.60	208	1.99	399	5.14	392	5.14	326
2.61	277	6.13	244	6.13	190	2.17	427	5.62	386	5.62	302
2.83	273	6.65	211	6.65	133	2.35	435	6.11	342	6.11	222
3.04	253	7.17	163	7.17	77	2.54	421	6.60	272	6.60	136
3.26	222	7.69	115	7.69	39	2.72	389	7.08	199	7.08	74
3.48	187	8.21	77	8.21	18	2.91	346	7.57	138	7.57	37
3.69	152	8.73	49	8.73	8	3.09	299	8.06	91	8.06	18
3.91	120	9.25	30	9.25	3	3.27	251	8.54	58	8.54	8
4.12	92	9.77	18	9.77	1	3.46	207	9.03	36	9.03	4
4.34	70	10.29	10	10.29	1	3.64	167	9.52	22	9.52	1
4.56	52	10.81	6	10.81	0	3.83	133	10.00	13	10.00	1
4.77	38	11.33	3	11.33	0	4.01	104	10.49	7	10.49	0
4.99	28	11.86	2	11.86	0	4.19	81	10.98	4	10.98	0
5.21	20	12.38	1	12.38	0	4.38	62	11.46	2	11.46	0
5.42	14	12.90	1	12.90	0	4.56	47	11.95	1	11.95	0
5.64	10	13.42	0	13.42	0	4.74	36	12.44	1	12.44	0
5.85	7	13.94	0	13.94	0	4.93	27	12.92	0	12.92	0
6.07	5	14.46	0	14.46	0	5.11	20	13.41	0	13.41	0
6.29	3	14.98	0	14.98	0	5.30	15	13.90	0	13.90	0
6.50	2	15.50	0	15.50	0	5.48	11	14.38	0	14.38	0
6.72	2	16.02	0	16.02	0	5.66	8	14.87	0	14.87	0
6.94	1	16.54	0	16.54	0	5.85	6	15.36	0	15.36	0
7.15	1	17.06	0	17.06	0	6.03	4	15.84	0	15.84	0
7.37	0	17.59	0	17.59	0	6.21	3	16.33	0	16.33	0
7.59	0	18.11	0	18.11	0	6.40	2	16.82	0	16.82	0
7.80	0	18.63	0	18.63	0	6.58	2	17.30	0	17.30	0
8.02	0	19.15	0	19.15	0	6.77	1	17.79	0	17.79	0
8.23	0	19.67	0	19.67	0	6.95	1	18.28	0	18.28	0
8.45	0	20.19	0	20.19	0	7.13	1	18.76	0	18.76	0
8.67	0	20.71	0	20.71	0	7.32	0	19.25	0	19.25	0
8.88	0	21.23	0	21.23	0	7.50	0	19.74	0	19.74	0
9.10	0	21.75	0	21.75	0	7.68	0	20.22	0	20.22	0
9.32	0	22.27	0	22.27	0	7.87	0	20.71	0	20.71	0
9.53	0	22.79	0	22.79	0	8.05	0	21.20	0	21.20	0
9.75	0	23.32	0	23.32	0	8.24	0	21.68	0	21.68	0
9.96	0	23.84	0	23.84	0	8.42	0	22.17	0	22.17	0
10.18	0	24.36	0	24.36	0	8.60	0	22.66	0	22.66	0
10.40	0	24.88	0	24.88	0	8.79	0	23.14	0	23.14	0
10.61	0	25.40	0	25.40	0	8.97	0	23.63	0	23.63	0
10.83	0	25.92	0	25.92	0	9.16	0	24.12	0	24.12	0
11.05	0	26.44	0	26.44	0	9.34	0	24.60	0	24.60	0
11.26	0	26.96	0	26.96	0	9.52	0	25.09	0	25.09	0

Rio Barbaira											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	218	$q_p, mc/s =$	196	$q_p, mc/s =$	164	$q_p, mc/s =$	343	$q_p, mc/s =$	309	$q_p, mc/s =$	257
$V_p, Mmc =$	2.050	$V_p, Mmc =$	2.792	$V_p, Mmc =$	3.420	$V_p, Mmc =$	3.187	$V_p, Mmc =$	4.183	$V_p, Mmc =$	5.051
Tempo, t	qmed	Tempo, t	qmed	Tempo, t	qmed	Tempo, t	qmed	Tempo, t	qmed	Tempo, t	qmed
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.22	0	0.41	0	0.41	0	0.16	0	0.28	0	0.28	0
0.22	0	0.41	0	0.41	0	0.16	0	0.28	0	0.28	0
0.44	2	0.99	6	0.99	14	0.36	2	0.83	8	0.83	19
0.65	10	1.57	32	1.57	57	0.57	15	1.37	45	1.37	81
0.86	28	2.15	70	2.15	101	0.78	42	1.91	101	1.91	148
1.07	52	2.73	108	2.73	131	0.98	79	2.46	158	2.46	197
1.28	80	3.31	138	3.31	148	1.19	123	3.00	207	3.00	227
1.50	109	3.89	161	3.89	157	1.40	167	3.55	245	3.55	243
1.71	137	4.47	176	4.47	161	1.61	211	4.09	272	4.09	251
1.92	161	5.06	186	5.06	162	1.81	250	4.64	290	4.64	255
2.13	183	5.64	193	5.64	163	2.02	285	5.18	301	5.18	256
2.34	201	6.22	196	6.22	164	2.23	314	5.72	309	5.72	257
2.34	201	6.22	196	6.22	164	2.23	314	5.72	309	5.72	257
2.56	215	6.80	192	6.80	150	2.44	336	6.27	305	6.27	239
2.77	218	7.38	167	7.38	106	2.64	343	6.81	271	6.81	177
2.98	210	7.96	130	7.96	62	2.85	332	7.36	217	7.36	110
3.19	193	8.54	93	8.54	32	3.06	308	7.90	160	7.90	60
3.41	171	9.12	62	9.12	15	3.26	274	8.45	111	8.45	31
3.62	146	9.70	40	9.70	7	3.47	237	8.99	74	8.99	15
3.83	122	10.28	25	10.28	3	3.68	199	9.53	48	9.53	7
4.04	100	10.86	15	10.86	1	3.89	164	10.08	30	10.08	3
4.25	80	11.44	9	11.44	0	4.09	133	10.62	18	10.62	1
4.47	63	12.02	5	12.02	0	4.30	106	11.17	11	11.17	1
4.68	49	12.60	3	12.60	0	4.51	84	11.71	6	11.71	0
4.89	38	13.18	2	13.18	0	4.72	65	12.25	4	12.25	0
5.10	29	13.76	1	13.76	0	4.92	50	12.80	2	12.80	0
5.31	22	14.34	0	14.34	0	5.13	38	13.34	1	13.34	0
5.53	17	14.92	0	14.92	0	5.34	29	13.89	1	13.89	0
5.74	12	15.50	0	15.50	0	5.54	22	14.43	0	14.43	0
5.95	9	16.08	0	16.08	0	5.75	16	14.98	0	14.98	0
6.16	7	16.66	0	16.66	0	5.96	12	15.52	0	15.52	0
6.38	5	17.24	0	17.24	0	6.17	9	16.06	0	16.06	0
6.59	4	17.82	0	17.82	0	6.37	7	16.61	0	16.61	0
6.80	3	18.40	0	18.40	0	6.58	5	17.15	0	17.15	0
7.01	2	18.99	0	18.99	0	6.79	4	17.70	0	17.70	0
7.22	1	19.57	0	19.57	0	7.00	3	18.24	0	18.24	0
7.44	1	20.15	0	20.15	0	7.20	2	18.79	0	18.79	0
7.65	1	20.73	0	20.73	0	7.41	1	19.33	0	19.33	0
7.86	0	21.31	0	21.31	0	7.62	1	19.87	0	19.87	0
8.07	0	21.89	0	21.89	0	7.82	1	20.42	0	20.42	0
8.28	0	22.47	0	22.47	0	8.03	0	20.96	0	20.96	0
8.50	0	23.05	0	23.05	0	8.24	0	21.51	0	21.51	0
8.71	0	23.63	0	23.63	0	8.45	0	22.05	0	22.05	0
8.92	0	24.21	0	24.21	0	8.65	0	22.60	0	22.60	0
9.13	0	24.79	0	24.79	0	8.86	0	23.14	0	23.14	0
9.34	0	25.37	0	25.37	0	9.07	0	23.68	0	23.68	0
9.56	0	25.95	0	25.95	0	9.27	0	24.23	0	24.23	0
9.77	0	26.53	0	26.53	0	9.48	0	24.77	0	24.77	0
9.98	0	27.11	0	27.11	0	9.69	0	25.32	0	25.32	0
10.19	0	27.69	0	27.69	0	9.90	0	25.86	0	25.86	0
10.41	0	28.27	0	28.27	0	10.10	0	26.41	0	26.41	0
10.62	0	28.85	0	28.85	0	10.31	0	26.95	0	26.95	0
10.83	0	29.43	0	29.43	0	10.52	0	27.49	0	27.49	0
11.04	0	30.01	0	30.01	0	10.73	0	28.04	0	28.04	0

Rio Merdanzo											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	174	$q_p, mc/s =$	157	$q_p, mc/s =$	131	$q_p, mc/s =$	273	$q_p, mc/s =$	246	$q_p, mc/s =$	205
$V_p, Mmc =$	1.217	$V_p, Mmc =$	1.562	$V_p, Mmc =$	1.928	$V_p, Mmc =$	1.882	$V_p, Mmc =$	2.353	$V_p, Mmc =$	2.851
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.19	0	0.33	0	0.33	0	0.13	0	0.23	0	0.23	0
0.19	0	0.33	0	0.33	0	0.13	0	0.23	0	0.23	0
0.36	2	0.74	5	0.74	12	0.30	3	0.61	7	0.61	16
0.53	11	1.15	27	1.15	48	0.46	17	1.00	38	1.00	68
0.70	29	1.56	58	1.56	84	0.63	44	1.39	85	1.39	123
0.87	52	1.97	88	1.97	107	0.79	79	1.77	131	1.77	161
1.04	77	2.38	113	2.38	120	0.96	117	2.16	170	2.16	183
1.21	101	2.79	130	2.79	126	1.12	155	2.54	199	2.54	195
1.38	123	3.20	142	3.20	129	1.29	189	2.93	219	2.93	201
1.55	141	3.61	149	3.61	130	1.45	218	3.32	232	3.32	203
1.71	155	4.02	154	4.02	130	1.61	242	3.70	241	3.70	204
1.88	167	4.43	157	4.43	131	1.78	261	4.09	246	4.09	205
1.88	167	4.43	157	4.43	131	1.78	261	4.09	246	4.09	205
2.05	174	4.84	153	4.84	119	1.94	273	4.47	242	4.47	189
2.22	171	5.25	132	5.25	83	2.11	270	4.86	212	4.86	137
2.39	158	5.66	101	5.66	47	2.27	252	5.25	167	5.25	82
2.56	139	6.07	71	6.07	24	2.44	223	5.63	121	5.63	44
2.73	116	6.48	47	6.48	11	2.60	189	6.02	82	6.02	22
2.90	94	6.89	30	6.89	5	2.77	155	6.41	53	6.41	10
3.07	74	7.30	18	7.30	2	2.93	124	6.79	33	6.79	4
3.24	57	7.71	11	7.71	1	3.09	96	7.18	20	7.18	2
3.41	43	8.12	6	8.12	0	3.26	74	7.56	12	7.56	1
3.58	32	8.53	3	8.53	0	3.42	55	7.95	7	7.95	0
3.74	23	8.94	2	8.94	0	3.59	41	8.34	4	8.34	0
3.91	17	9.35	1	9.35	0	3.75	30	8.72	2	8.72	0
4.08	12	9.76	1	9.76	0	3.92	22	9.11	1	9.11	0
4.25	9	10.17	0	10.17	0	4.08	16	9.49	1	9.49	0
4.42	6	10.58	0	10.58	0	4.25	11	9.88	0	9.88	0
4.59	4	10.99	0	10.99	0	4.41	8	10.27	0	10.27	0
4.76	3	11.40	0	11.40	0	4.58	6	10.65	0	10.65	0
4.93	2	11.81	0	11.81	0	4.74	4	11.04	0	11.04	0
5.10	1	12.22	0	12.22	0	4.90	3	11.43	0	11.43	0
5.27	1	12.63	0	12.63	0	5.07	2	11.81	0	11.81	0
5.44	1	13.04	0	13.04	0	5.23	1	12.20	0	12.20	0
5.60	0	13.45	0	13.45	0	5.40	1	12.58	0	12.58	0
5.77	0	13.86	0	13.86	0	5.56	1	12.97	0	12.97	0
5.94	0	14.27	0	14.27	0	5.73	0	13.36	0	13.36	0
6.11	0	14.68	0	14.68	0	5.89	0	13.74	0	13.74	0
6.28	0	15.09	0	15.09	0	6.06	0	14.13	0	14.13	0
6.45	0	15.50	0	15.50	0	6.22	0	14.51	0	14.51	0
6.62	0	15.91	0	15.91	0	6.38	0	14.90	0	14.90	0
6.79	0	16.32	0	16.32	0	6.55	0	15.29	0	15.29	0
6.96	0	16.73	0	16.73	0	6.71	0	15.67	0	15.67	0
7.13	0	17.14	0	17.14	0	6.88	0	16.06	0	16.06	0
7.30	0	17.55	0	17.55	0	7.04	0	16.44	0	16.44	0
7.47	0	17.96	0	17.96	0	7.21	0	16.83	0	16.83	0
7.63	0	18.37	0	18.37	0	7.37	0	17.22	0	17.22	0
7.80	0	18.78	0	18.78	0	7.54	0	17.60	0	17.60	0
7.97	0	19.19	0	19.19	0	7.70	0	17.99	0	17.99	0
8.14	0	19.60	0	19.60	0	7.86	0	18.38	0	18.38	0
8.31	0	20.01	0	20.01	0	8.03	0	18.76	0	18.76	0
8.48	0	20.42	0	20.42	0	8.19	0	19.15	0	19.15	0
8.65	0	20.83	0	20.83	0	8.36	0	19.53	0	19.53	0
8.82	0	21.24	0	21.24	0	8.52	0	19.92	0	19.92	0

Torrente Nervia 1											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	165	$q_p, mc/s =$	149	$q_p, mc/s =$	124	$q_p, mc/s =$	259	$q_p, mc/s =$	233	$q_p, mc/s =$	194
$V_p, Mmc =$	0.960	$V_p, Mmc =$	1.241	$V_p, Mmc =$	1.539	$V_p, Mmc =$	1.378	$V_p, Mmc =$	1.851	$V_p, Mmc =$	2.255
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]	[ore]	[m^3/s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.17	0	0.30	0	0.30	0	0.11	0	0.20	0	0.20	0
0.31	2	0.64	5	0.64	12	0.23	2	0.53	7	0.53	15
0.45	11	0.99	26	0.99	47	0.35	12	0.85	37	0.85	65
0.60	28	1.33	56	1.33	81	0.47	33	1.17	80	1.17	117
0.74	50	1.68	85	1.68	102	0.59	61	1.49	125	1.49	153
0.88	74	2.02	108	2.02	114	0.71	94	1.81	162	1.81	174
1.02	97	2.37	124	2.37	120	0.83	128	2.14	189	2.14	185
1.16	117	2.71	135	2.71	122	0.95	161	2.46	208	2.46	190
1.30	134	3.06	142	3.06	123	1.07	191	2.78	220	2.78	193
1.44	148	3.40	146	3.40	124	1.19	217	3.10	228	3.10	194
1.58	158	3.75	149	3.75	124	1.31	238	3.42	233	3.42	194
1.72	165	4.09	145	4.09	112	1.43	255	3.75	229	3.75	179
1.87	162	4.44	124	4.44	77	1.55	259	4.07	201	4.07	129
2.01	150	4.78	95	4.78	43	1.67	250	4.39	158	4.39	77
2.15	131	5.13	66	5.13	21	1.79	230	4.71	114	4.71	41
2.29	109	5.48	43	5.48	10	1.91	204	5.03	78	5.03	20
2.43	88	5.82	27	5.82	4	2.02	176	5.36	51	5.36	9
2.57	69	6.17	16	6.17	2	2.14	147	5.68	32	5.68	4
2.71	53	6.51	9	6.51	1	2.26	121	6.00	19	6.00	2
2.85	40	6.86	5	6.86	0	2.38	97	6.32	11	6.32	1
3.00	30	7.20	3	7.20	0	2.50	77	6.64	7	6.64	0
3.14	22	7.55	2	7.55	0	2.62	60	6.97	4	6.97	0
3.28	16	7.89	1	7.89	0	2.74	47	7.29	2	7.29	0
3.42	11	8.24	0	8.24	0	2.86	36	7.61	1	7.61	0
3.56	8	8.58	0	8.58	0	2.98	27	7.93	1	7.93	0
3.70	6	8.93	0	8.93	0	3.10	20	8.25	0	8.25	0
3.84	4	9.27	0	9.27	0	3.22	15	8.58	0	8.58	0
3.98	3	9.62	0	9.62	0	3.34	11	8.90	0	8.90	0
4.12	2	9.96	0	9.96	0	3.46	8	9.22	0	9.22	0
4.27	1	10.31	0	10.31	0	3.58	6	9.54	0	9.54	0
4.41	1	10.65	0	10.65	0	3.70	5	9.86	0	9.86	0
4.55	1	11.00	0	11.00	0	3.82	3	10.19	0	10.19	0
4.69	0	11.34	0	11.34	0	3.94	2	10.51	0	10.51	0
4.83	0	11.69	0	11.69	0	4.06	2	10.83	0	10.83	0
4.97	0	12.03	0	12.03	0	4.18	1	11.15	0	11.15	0
5.11	0	12.38	0	12.38	0	4.30	1	11.47	0	11.47	0
5.25	0	12.73	0	12.73	0	4.42	1	11.80	0	11.80	0
5.39	0	13.07	0	13.07	0	4.54	0	12.12	0	12.12	0
5.54	0	13.42	0	13.42	0	4.66	0	12.44	0	12.44	0
5.68	0	13.76	0	13.76	0	4.78	0	12.76	0	12.76	0
5.82	0	14.11	0	14.11	0	4.89	0	13.08	0	13.08	0
5.96	0	14.45	0	14.45	0	5.01	0	13.41	0	13.41	0
6.10	0	14.80	0	14.80	0	5.13	0	13.73	0	13.73	0
6.24	0	15.14	0	15.14	0	5.25	0	14.05	0	14.05	0
6.38	0	15.49	0	15.49	0	5.37	0	14.37	0	14.37	0
6.52	0	15.83	0	15.83	0	5.49	0	14.69	0	14.69	0
6.66	0	16.18	0	16.18	0	5.61	0	15.02	0	15.02	0
6.81	0	16.52	0	16.52	0	5.73	0	15.34	0	15.34	0
6.95	0	16.87	0	16.87	0	5.85	0	15.66	0	15.66	0
7.09	0	17.21	0	17.21	0	5.97	0	15.98	0	15.98	0
7.23	0	17.56	0	17.56	0	6.09	0	16.30	0	16.30	0
7.37	0	17.90	0	17.90	0	6.21	0	16.63	0	16.63	0

Rio Gordale											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	139	$q_p, mc/s =$	125	$q_p, mc/s =$	104	$q_p, mc/s =$	218	$q_p, mc/s =$	196	$q_p, mc/s =$	163
$V_p, Mmc =$	0.821	$V_p, Mmc =$	1.161	$V_p, Mmc =$	1.543	$V_p, Mmc =$	1.257	$V_p, Mmc =$	1.701	$V_p, Mmc =$	2.183
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.36	0	0.65	0	0.65	0	0.26	0	0.46	0	0.46	0
0.36	0	0.65	0	0.65	0	0.26	0	0.46	0	0.46	0
0.50	2	1.06	6	1.06	16	0.40	2	0.83	8	0.83	20
0.65	11	1.47	30	1.47	54	0.54	16	1.20	40	1.20	73
0.80	27	1.88	59	1.88	82	0.69	40	1.57	83	1.57	118
0.95	48	2.29	84	2.29	96	0.83	71	1.94	122	1.94	144
1.10	68	2.70	101	2.70	101	0.97	103	2.31	151	2.31	156
1.24	88	3.12	112	3.12	103	1.11	133	2.68	171	2.68	161
1.39	104	3.53	119	3.53	104	1.26	159	3.05	183	3.05	162
1.54	117	3.94	122	3.94	104	1.40	180	3.42	190	3.42	163
1.69	127	4.35	124	4.35	104	1.54	198	3.80	194	3.80	163
1.84	135	4.76	125	4.76	104	1.68	211	4.17	196	4.17	163
1.84	135	4.76	125	4.76	104	1.68	211	4.17	196	4.17	163
1.98	139	5.17	119	5.17	89	1.83	218	4.54	189	4.54	144
2.13	134	5.58	96	5.58	51	1.97	212	4.91	158	4.91	91
2.28	121	5.99	67	5.99	23	2.11	193	5.28	115	5.28	46
2.43	102	6.40	42	6.40	9	2.26	166	5.65	76	5.65	20
2.58	83	6.81	25	6.81	3	2.40	136	6.02	47	6.02	8
2.72	65	7.23	14	7.23	1	2.54	108	6.39	28	6.39	3
2.87	49	7.64	7	7.64	0	2.68	83	6.76	16	6.76	1
3.02	36	8.05	4	8.05	0	2.83	63	7.13	9	7.13	0
3.17	26	8.46	2	8.46	0	2.97	46	7.50	5	7.50	0
3.32	19	8.87	1	8.87	0	3.11	33	7.87	2	7.87	0
3.46	13	9.28	0	9.28	0	3.25	24	8.25	1	8.25	0
3.61	9	9.69	0	9.69	0	3.40	17	8.62	1	8.62	0
3.76	6	10.10	0	10.10	0	3.54	12	8.99	0	8.99	0
3.91	4	10.51	0	10.51	0	3.68	8	9.36	0	9.36	0
4.06	3	10.92	0	10.92	0	3.82	6	9.73	0	9.73	0
4.20	2	11.34	0	11.34	0	3.97	4	10.10	0	10.10	0
4.35	1	11.75	0	11.75	0	4.11	3	10.47	0	10.47	0
4.50	1	12.16	0	12.16	0	4.25	2	10.84	0	10.84	0
4.65	1	12.57	0	12.57	0	4.39	1	11.21	0	11.21	0
4.80	0	12.98	0	12.98	0	4.54	1	11.58	0	11.58	0
4.94	0	13.39	0	13.39	0	4.68	1	11.95	0	11.95	0
5.09	0	13.80	0	13.80	0	4.82	0	12.32	0	12.32	0
5.24	0	14.21	0	14.21	0	4.96	0	12.70	0	12.70	0
5.39	0	14.62	0	14.62	0	5.11	0	13.07	0	13.07	0
5.54	0	15.03	0	15.03	0	5.25	0	13.44	0	13.44	0
5.68	0	15.45	0	15.45	0	5.39	0	13.81	0	13.81	0
5.83	0	15.86	0	15.86	0	5.53	0	14.18	0	14.18	0
5.98	0	16.27	0	16.27	0	5.68	0	14.55	0	14.55	0
6.13	0	16.68	0	16.68	0	5.82	0	14.92	0	14.92	0
6.28	0	17.09	0	17.09	0	5.96	0	15.29	0	15.29	0
6.42	0	17.50	0	17.50	0	6.10	0	15.66	0	15.66	0
6.57	0	17.91	0	17.91	0	6.25	0	16.03	0	16.03	0
6.72	0	18.32	0	18.32	0	6.39	0	16.40	0	16.40	0
6.87	0	18.73	0	18.73	0	6.53	0	16.77	0	16.77	0
7.02	0	19.14	0	19.14	0	6.68	0	17.15	0	17.15	0
7.16	0	19.56	0	19.56	0	6.82	0	17.52	0	17.52	0
7.31	0	19.97	0	19.97	0	6.96	0	17.89	0	17.89	0
7.46	0	20.38	0	20.38	0	7.10	0	18.26	0	18.26	0
7.61	0	20.79	0	20.79	0	7.25	0	18.63	0	18.63	0
7.76	0	21.20	0	21.20	0	7.39	0	19.00	0	19.00	0
7.90	0	21.61	0	21.61	0	7.53	0	19.37	0	19.37	0

10

Rio Bonda											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	100	$q_p, mc/s =$	90	$q_p, mc/s =$	75	$q_p, mc/s =$	158	$q_p, mc/s =$	142	$q_p, mc/s =$	119
$V_p, Mmc =$	0.662	$V_p, Mmc =$	0.855	$V_p, Mmc =$	1.060	$V_p, Mmc =$	1.030	$V_p, Mmc =$	1.294	$V_p, Mmc =$	1.572
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.20	0	0.34	0	0.34	0	0.14	0	0.23	0	0.23	0
0.20	0	0.34	0	0.34	0	0.14	0	0.23	0	0.23	0
0.36	1	0.73	3	0.73	7	0.29	2	0.60	4	0.60	9
0.52	7	1.12	16	1.12	28	0.45	10	0.97	23	0.97	40
0.68	17	1.51	34	1.51	49	0.60	25	1.33	50	1.33	72
0.84	30	1.90	51	1.90	62	0.76	46	1.70	77	1.70	94
1.00	45	2.30	65	2.30	69	0.92	68	2.07	99	2.07	107
1.16	58	2.69	75	2.69	73	1.07	90	2.44	116	2.44	113
1.32	71	3.08	82	3.08	74	1.23	110	2.81	127	2.81	116
1.48	81	3.47	86	3.47	75	1.38	126	3.17	135	3.17	118
1.64	89	3.87	89	3.87	75	1.54	140	3.54	139	3.54	118
1.80	96	4.26	90	4.26	75	1.70	151	3.91	142	3.91	119
1.80	96	4.26	90	4.26	75	1.70	151	3.91	142	3.91	119
1.96	100	4.65	88	4.65	68	1.85	158	4.28	140	4.28	109
2.12	98	5.04	75	5.04	47	2.01	156	4.65	122	4.65	78
2.28	91	5.44	58	5.44	26	2.16	145	5.02	96	5.02	47
2.44	79	5.83	40	5.83	13	2.32	128	5.38	69	5.38	25
2.60	66	6.22	26	6.22	6	2.47	109	5.75	47	5.75	12
2.76	54	6.61	16	6.61	3	2.63	89	6.12	30	6.12	6
2.92	42	7.01	10	7.01	1	2.79	71	6.49	19	6.49	2
3.08	32	7.40	6	7.40	0	2.94	55	6.86	11	6.86	1
3.24	24	7.79	3	7.79	0	3.10	42	7.22	7	7.22	0
3.41	18	8.18	2	8.18	0	3.25	31	7.59	4	7.59	0
3.57	13	8.58	1	8.58	0	3.41	23	7.96	2	7.96	0
3.73	9	8.97	1	8.97	0	3.57	17	8.33	1	8.33	0
3.89	7	9.36	0	9.36	0	3.72	12	8.70	1	8.70	0
4.05	5	9.75	0	9.75	0	3.88	9	9.06	0	9.06	0
4.21	3	10.14	0	10.14	0	4.03	6	9.43	0	9.43	0
4.37	2	10.54	0	10.54	0	4.19	4	9.80	0	9.80	0
4.53	2	10.93	0	10.93	0	4.35	3	10.17	0	10.17	0
4.69	1	11.32	0	11.32	0	4.50	2	10.54	0	10.54	0
4.85	1	11.71	0	11.71	0	4.66	1	10.90	0	10.90	0
5.01	1	12.11	0	12.11	0	4.81	1	11.27	0	11.27	0
5.17	0	12.50	0	12.50	0	4.97	1	11.64	0	11.64	0
5.33	0	12.89	0	12.89	0	5.12	0	12.01	0	12.01	0
5.49	0	13.28	0	13.28	0	5.28	0	12.38	0	12.38	0
5.65	0	13.68	0	13.68	0	5.44	0	12.74	0	12.74	0
5.81	0	14.07	0	14.07	0	5.59	0	13.11	0	13.11	0
5.97	0	14.46	0	14.46	0	5.75	0	13.48	0	13.48	0
6.13	0	14.85	0	14.85	0	5.90	0	13.85	0	13.85	0
6.29	0	15.25	0	15.25	0	6.06	0	14.22	0	14.22	0
6.46	0	15.64	0	15.64	0	6.22	0	14.59	0	14.59	0
6.62	0	16.03	0	16.03	0	6.37	0	14.95	0	14.95	0
6.78	0	16.42	0	16.42	0	6.53	0	15.32	0	15.32	0
6.94	0	16.82	0	16.82	0	6.68	0	15.69	0	15.69	0
7.10	0	17.21	0	17.21	0	6.84	0	16.06	0	16.06	0
7.26	0	17.60	0	17.60	0	7.00	0	16.43	0	16.43	0
7.42	0	17.99	0	17.99	0	7.15	0	16.79	0	16.79	0
7.58	0	18.39	0	18.39	0	7.31	0	17.16	0	17.16	0
7.74	0	18.78	0	18.78	0	7.46	0	17.53	0	17.53	0
7.90	0	19.17	0	19.17	0	7.62	0	17.90	0	17.90	0
8.06	0	19.56	0	19.56	0	7.77	0	18.27	0	18.27	0
8.22	0	19.95	0	19.95	0	7.93	0	18.63	0	18.63	0
8.38	0	20.35	0	20.35	0	8.09	0	19.00	0	19.00	0

Rio Muratone											
T = 50 anni						T = 200 anni					
CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%		CRITICO		EQUIVALENTE Q90%		EQUIVALENTE Q75%	
$q_p, mc/s =$	104	$q_p, mc/s =$	94	$q_p, mc/s =$	78	$q_p, mc/s =$	164	$q_p, mc/s =$	148	$q_p, mc/s =$	123
$V_p, Mmc =$	0.567	$V_p, Mmc =$	0.742	$V_p, Mmc =$	0.928	$V_p, Mmc =$	0.879	$V_p, Mmc =$	1.116	$V_p, Mmc =$	1.366
Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}	Tempo, t	q_{med}
[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]	[ore]	[m ³ /s]
0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0
0.18	0	0.32	0	0.32	0	0.13	0	0.22	0	0.22	0
0.18	0	0.32	0	0.32	0	0.13	0	0.22	0	0.22	0
0.32	1	0.65	3	0.65	8	0.26	2	0.53	5	0.53	10
0.45	7	0.98	17	0.98	31	0.39	10	0.83	24	0.83	43
0.58	18	1.31	36	1.31	52	0.52	27	1.14	53	1.14	77
0.71	32	1.64	55	1.64	66	0.64	49	1.45	81	1.45	99
0.85	47	1.97	69	1.97	73	0.77	72	1.76	105	1.76	112
0.98	62	2.30	79	2.30	76	0.90	94	2.07	121	2.07	118
1.11	74	2.63	86	2.63	77	1.03	115	2.38	133	2.38	121
1.25	85	2.96	90	2.96	78	1.16	132	2.68	140	2.68	122
1.38	93	3.29	92	3.29	78	1.29	146	2.99	145	2.99	123
1.51	100	3.62	94	3.62	78	1.42	157	3.30	148	3.30	123
1.51	100	3.62	94	3.62	78	1.42	157	3.30	148	3.30	123
1.65	104	3.95	91	3.95	70	1.55	164	3.61	145	3.61	113
1.78	102	4.28	78	4.28	47	1.68	162	3.92	126	3.92	80
1.91	94	4.61	59	4.61	26	1.80	150	4.22	98	4.22	47
2.04	82	4.94	40	4.94	12	1.93	132	4.53	70	4.53	24
2.18	68	5.27	26	5.27	5	2.06	111	4.84	47	4.84	11
2.31	55	5.60	16	5.60	2	2.19	91	5.15	30	5.15	5
2.44	43	5.93	9	5.93	1	2.32	72	5.46	18	5.46	2
2.58	33	6.26	5	6.26	0	2.45	56	5.77	11	5.77	1
2.71	24	6.59	3	6.59	0	2.58	42	6.07	6	6.07	0
2.84	18	6.92	2	6.92	0	2.71	31	6.38	4	6.38	0
2.97	13	7.25	1	7.25	0	2.84	23	6.69	2	6.69	0
3.11	9	7.58	0	7.58	0	2.96	17	7.00	1	7.00	0
3.24	7	7.91	0	7.91	0	3.09	12	7.31	1	7.31	0
3.37	5	8.24	0	8.24	0	3.22	9	7.61	0	7.61	0
3.51	3	8.57	0	8.57	0	3.35	6	7.92	0	7.92	0
3.64	2	8.90	0	8.90	0	3.48	4	8.23	0	8.23	0
3.77	2	9.23	0	9.23	0	3.61	3	8.54	0	8.54	0
3.91	1	9.56	0	9.56	0	3.74	2	8.85	0	8.85	0
4.04	1	9.89	0	9.89	0	3.87	1	9.16	0	9.16	0
4.17	0	10.22	0	10.22	0	4.00	1	9.46	0	9.46	0
4.30	0	10.56	0	10.56	0	4.13	1	9.77	0	9.77	0
4.44	0	10.89	0	10.89	0	4.25	0	10.08	0	10.08	0
4.57	0	11.22	0	11.22	0	4.38	0	10.39	0	10.39	0
4.70	0	11.55	0	11.55	0	4.51	0	10.70	0	10.70	0
4.84	0	11.88	0	11.88	0	4.64	0	11.01	0	11.01	0
4.97	0	12.21	0	12.21	0	4.77	0	11.31	0	11.31	0
5.10	0	12.54	0	12.54	0	4.90	0	11.62	0	11.62	0
5.24	0	12.87	0	12.87	0	5.03	0	11.93	0	11.93	0
5.37	0	13.20	0	13.20	0	5.16	0	12.24	0	12.24	0
5.50	0	13.53	0	13.53	0	5.29	0	12.55	0	12.55	0
5.63	0	13.86	0	13.86	0	5.41	0	12.85	0	12.85	0
5.77	0	14.19	0	14.19	0	5.54	0	13.16	0	13.16	0
5.90	0	14.52	0	14.52	0	5.67	0	13.47	0	13.47	0
6.03	0	14.85	0	14.85	0	5.80	0	13.78	0	13.78	0
6.17	0	15.18	0	15.18	0	5.93	0	14.09	0	14.09	0
6.30	0	15.51	0	15.51	0	6.06	0	14.40	0	14.40	0
6.43	0	15.84	0	15.84	0	6.19	0	14.70	0	14.70	0
6.57	0	16.17	0	16.17	0	6.32	0	15.01	0	15.01	0
6.70	0	16.50	0	16.50	0	6.45	0	15.32	0	15.32	0
6.83	0	16.83	0	16.83	0	6.58	0	15.63	0	15.63	0
6.96	0	17.16	0	17.16	0	6.70	0	15.94	0	15.94	0