



CONSORZIO DI BONIFICA IONIO CROTONESE

www.ioniocrotone.it

Lavori di ripristino officiosità idraulica, mitigazione dissesto idrogeologico e riqualificazione ambientale del torrente Talesi per la tutela del potenziale produttivo agricolo nel territorio del comune di Crotone

PSR Calabria 2014/2020 Misura 05 Sub misura 5.1 Intervento 5.1.1

PROGETTO ESECUTIVO

Aggiornato a seguito di richiesta integrazioni prot. n. 31853 del 02/02/2017 della Regione Calabria - U.O.T. Funzioni territoriali - Ufficio Demanio Idrico



ELABORATO

STUDIO IDROLOGICO

RELAZIONE

A.3

POSIZIONE CONSORZIO

191

DATA

marzo 2017

SCALA

-

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Geom. Salvatore Romeo

PROGETTISTI

Dott. Ing. Francesca Intrieri

Dott. Ing. Antonio Cortese

Sommario

1.	DESCRIZIONE DEL SITO	2
1.1	Inquadramento territoriale del bacino idrografico	2
1.2	Caratteristiche fisiografiche.....	4
1.3	Idrografia e morfologia.....	7
1.4	Analisi da cartografia tematica	9
2.	STIMA DELLA MASSIMA PORTATA AL COLMO	12
2.1	Applicazione del metodo VAPI.....	12
2.1.1	Modelli regionali	14
2.1.2	Analisi statistica delle piogge	17
2.2	Rapporto sulla stazione di misura di Crotone.....	19
2.3	Rapporto sull'elaborazione probabilistica	24
2.4	Rapporto sulla curva di pioggia.....	29
2.5	Curve di possibilità pluviometrica.....	31
2.6	Tempo di corrvazione.....	32
2.7	Altezze e intensità critiche di pioggia.....	34
2.8	Stima della massima portata al colmo	34

1. DESCRIZIONE DEL SITO

1.1 Inquadramento territoriale del bacino idrografico

Il Torrente Talesi è uno degli affluenti del fiume Neto, inserito nel P.A.I. dell'Autorità di Bacino della Regione Calabria all'interno dell'Area Programma 6 – Bacini Idrografici dei fiumi Neto e minori. Ha codice 279 ed è classificato come asta di V ordine secondo il sistema di ordinamento dei reticoli idrografici di Horton e Strahler.

Nel Piano Regolatore di Massima per la Calabria – a suo tempo redatto dalla Cassa per il Mezzogiorno ai sensi dell'art. 7 della legge 25.11.1955, n. 1177 ed approvato dal Consiglio dei Ministri del Mezzogiorno il 20.02.1957 – il torrente Talesi è ricompreso nel bacino idrografico del fiume Neto, identificato con il n. 16 (Fig. 1).

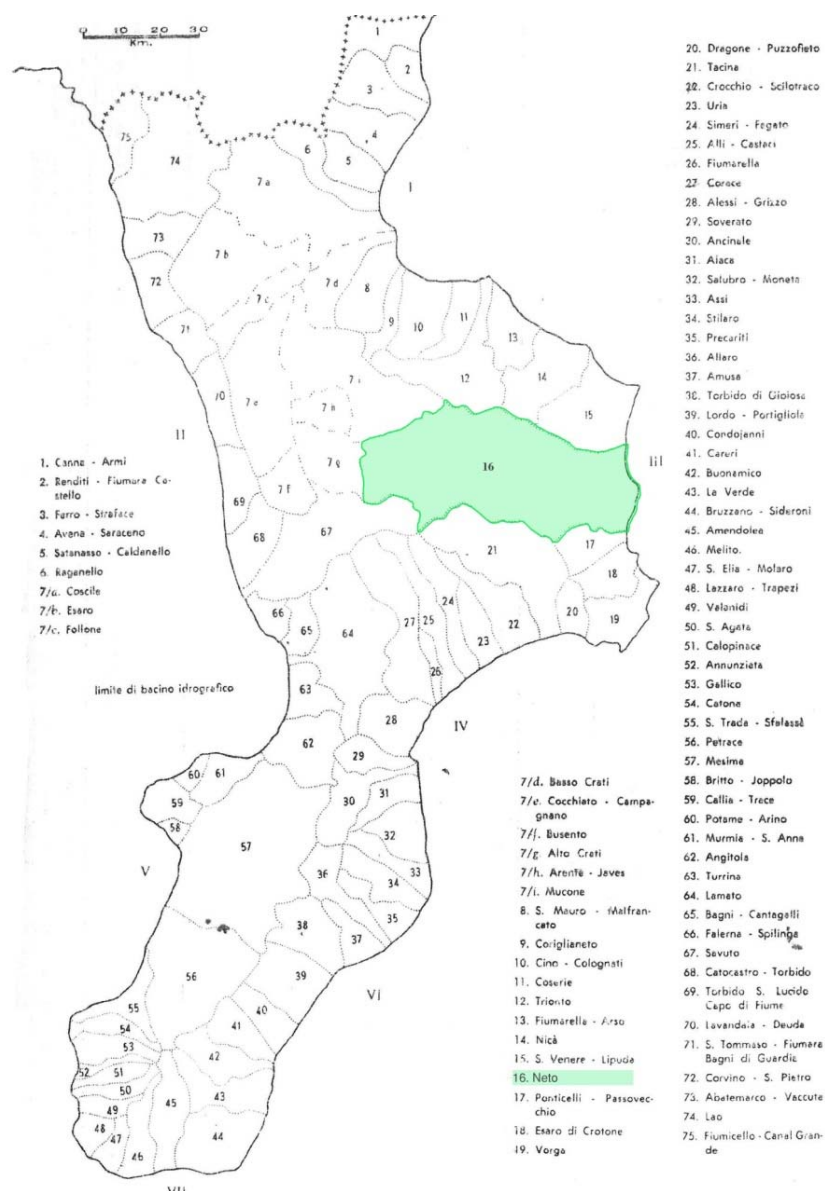


Figura 1. Bacini idrografici Regionali

Il bacino idrografico del torrente Talesi è compreso quasi interamente nel territorio del comune di Crotone, eccetto che per la porzione più occidentale che si trova nel territorio del comune di Scandale. Contiene, inoltre, i sottobacini del Vallone Sant'Anastasia, del Vallone Cipodero, del Vallone Bellino e del Vallone Suvaretto.

Bacino Torrente Talesi - cod.279

Bacino	N. tronco	Nome	Descrizione
279	1	Vallone S. Anastasia	
279	2	Vallone Cipodero	
279	3	Torrente Talesi	Dalla confluenza con Vallone Santanastasia fino alla foce
279	4	Vallone Bellino	
279	6	Vallone Suvaretto	

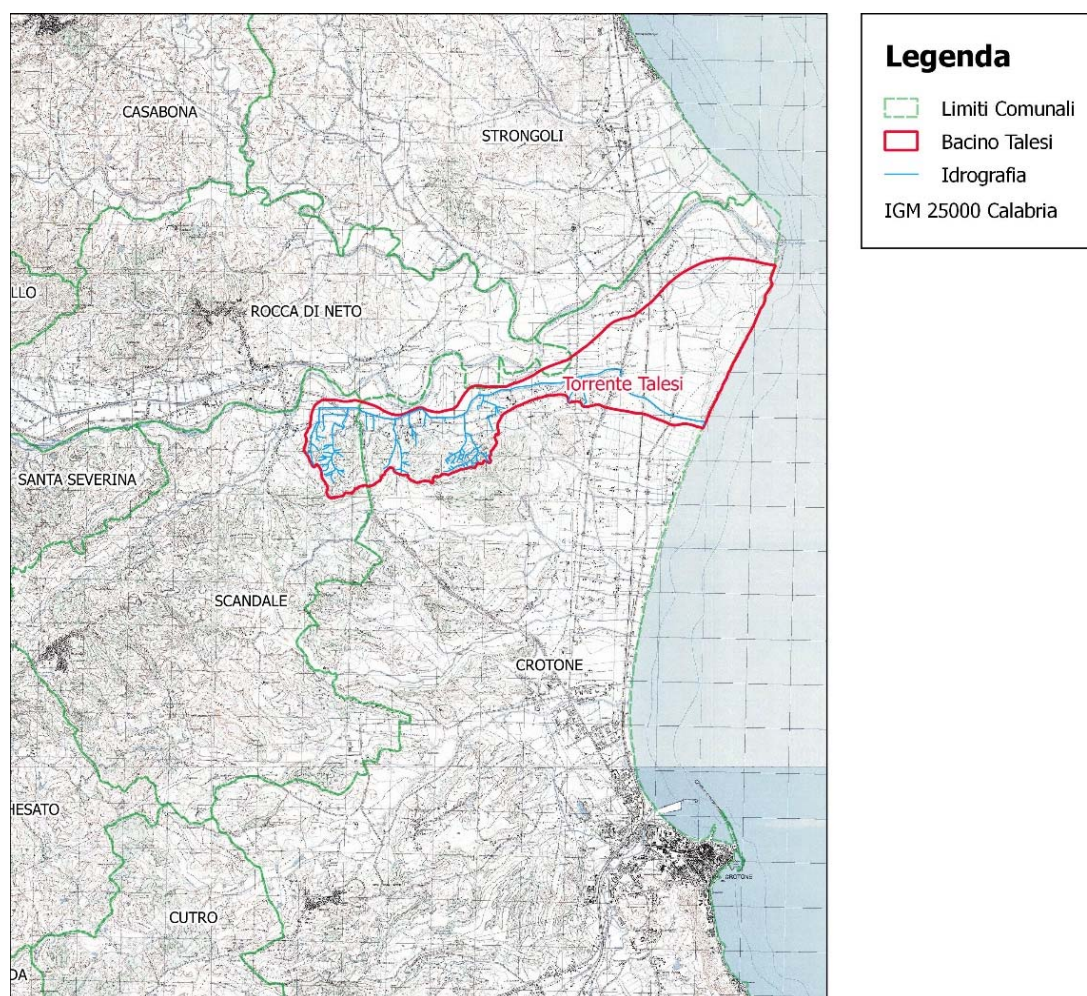


Figura 2. Inquadramento territoriale reticolo e bacino idrografico torrente Talesi

1.2 Caratteristiche fisiografiche

Il bacino del torrente Talesi (codice 279) ha una estensione planimetrica complessiva di $18,544 \text{ km}^2$, con sezione di chiusura coincidente con la foce del Mar Ionio. Il perimetro dell'intero spartiacque è pari a $29,034 \text{ km}$ e la lunghezza della sua asta principale è di circa $11,13 \text{ km}$ con una pendenza media dell' $0,67 \%$. Il valore della densità di drenaggio è $2,29 \text{ km/km}^2$.

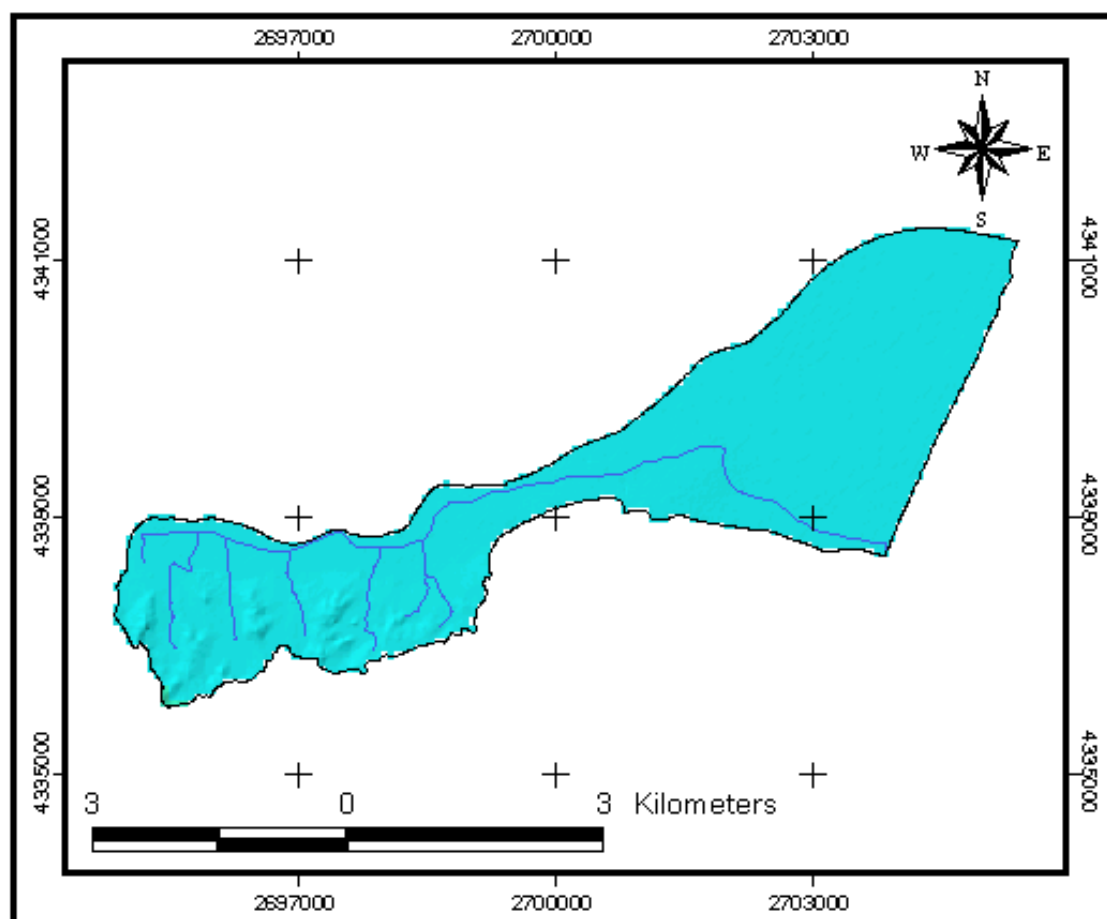


Figura 3. *Bacino del torrente Talesi*

Il bacino presenta una forma particolarmente allungata, evidenziata da un coefficiente di forma (Gravelius) pari a 1.9. A partire dal modello digitale del terreno del bacino, con risoluzione spaziale pari a 80 m, è stata realizzata una caratterizzazione altimetrica del bacino le cui quote minima, massima e media sono risultate rispettivamente pari a $H_{min}=0.0 \text{ m.s.m.}$, $H_{max}=121 \text{ m.s.m.}$, $H_{med}=22.15 \text{ m.s.m.}$ L'analisi delle quote del DTM del bacino, inoltre ha mostrato le seguenti classi altimetriche (Fig. 4):

0	÷	100	99.79%
100	÷	200	0.21%

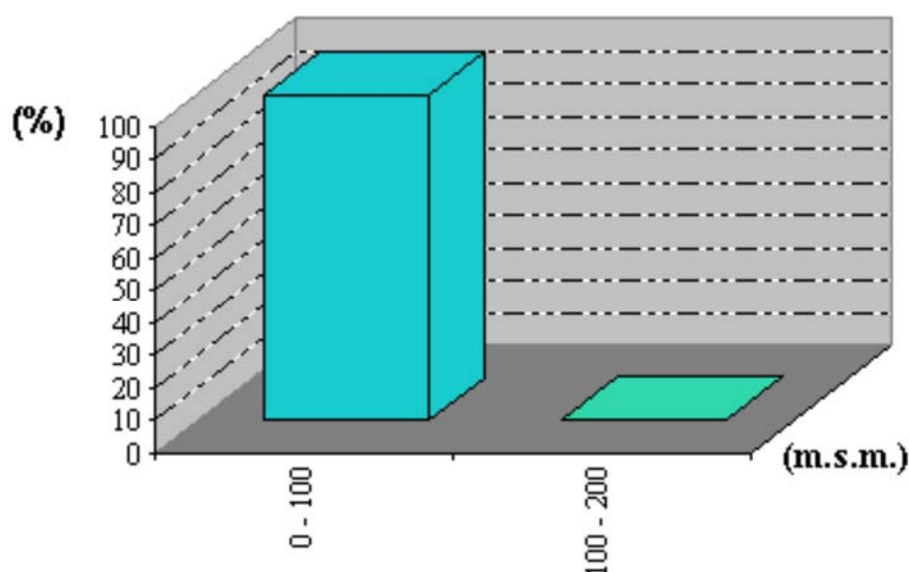


Figura 4. Distribuzione delle fasce altimetriche del bacino del torrente Talesi

La stessa distribuzione delle quote ha consentito di ricavare la curva ipsometrica riportata in figura 5.

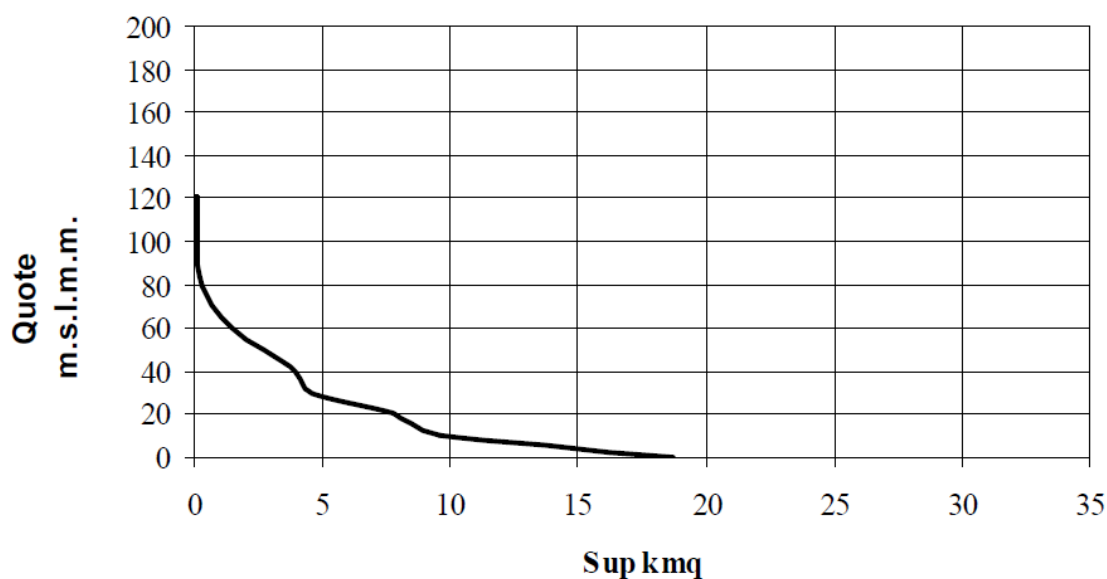


Figura 5. Curva ipsografica del bacino del torrente Talesi

Dalla matrice altimetrica, opportunamente elaborata con procedure di calcolo finalizzate all'analisi dei dati spazialmente distribuiti, sono state ricavate informazioni utili circa la pendenza (Fig. 6) e l'esposizione dei versanti (Fig. 7).

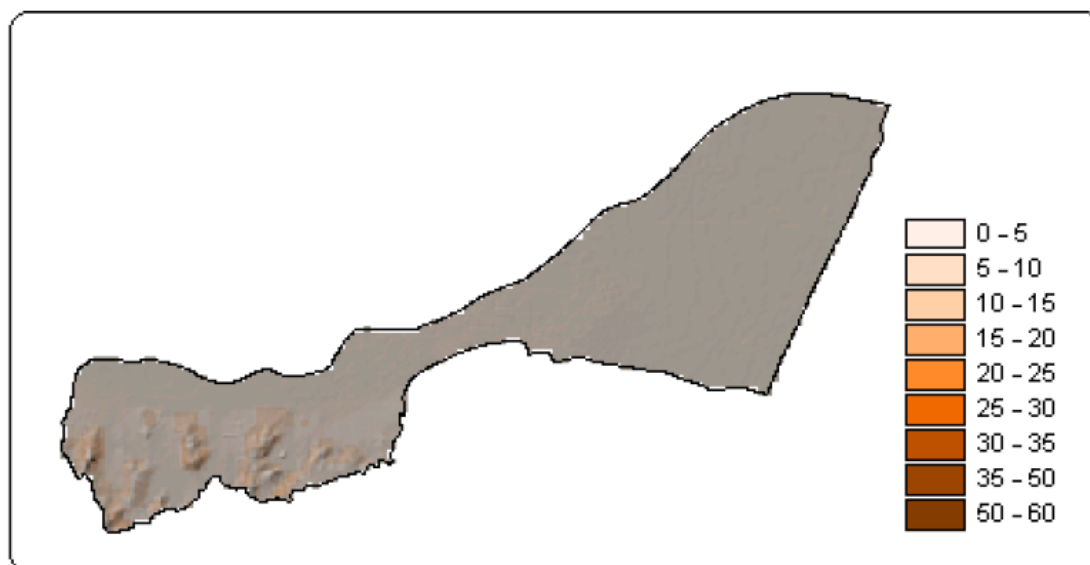


Figura 6. Distribuzione spaziale delle pendenze dei versanti del bacino del torrente Talei

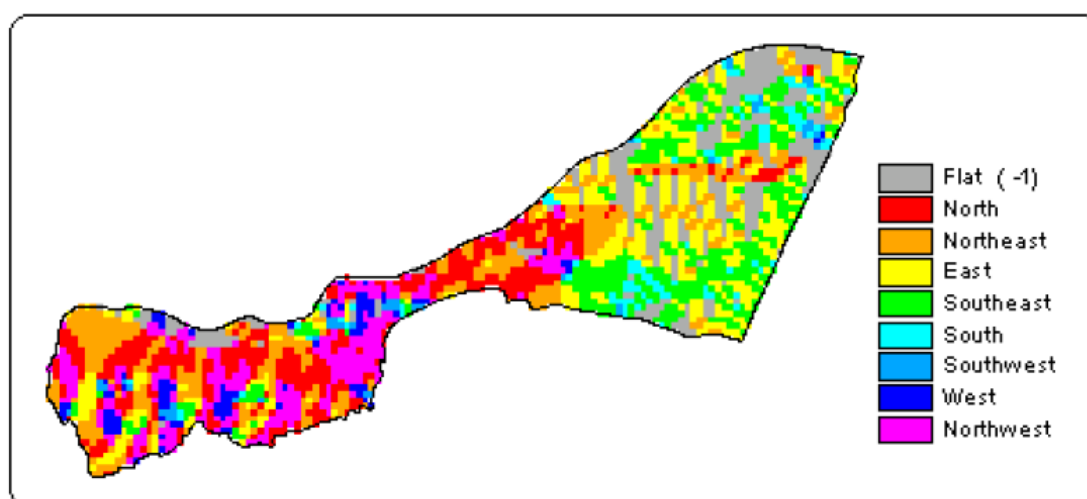


Figura 7. Distribuzione spaziale delle esposizioni dei versanti del bacino del torrente Talei

La distribuzione spaziale dei valori della pendenza dei versanti del bacino del torrente Talei ha mostrato, per le classi considerate, le seguenti percentuali (Fig.8):

0 %	÷	5 %	91.83%
5 %	÷	10 %	7%
10 %	÷	15 %	1.14%
15 %	÷	20 %	0.03%

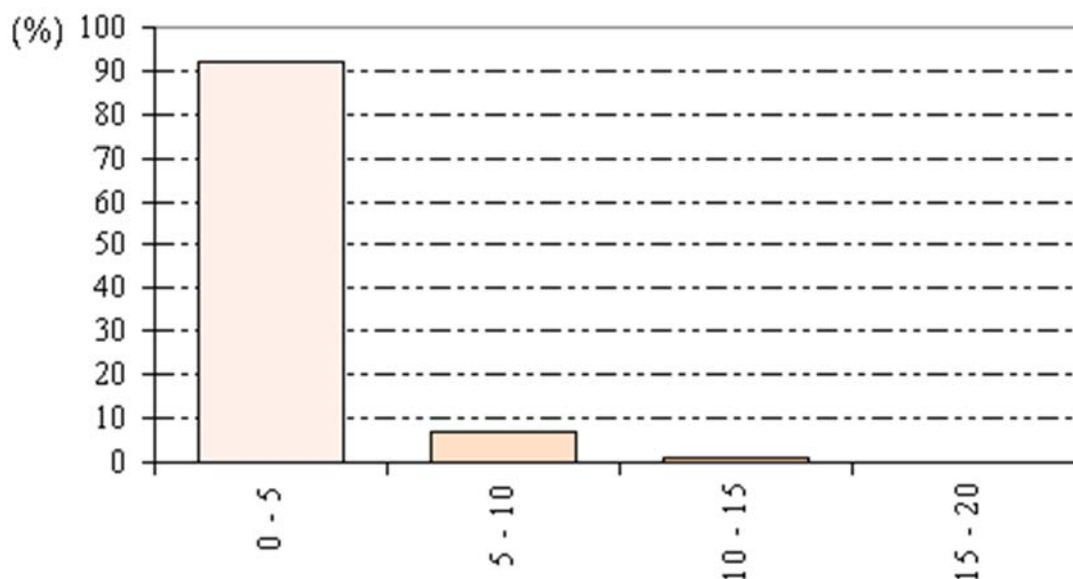


Figura 8. *Classi di pendenza*

1.3 Idrografia e morfologia

Il Torrente Talesi, affluente in destra idrografica del Fiume Neto ed orientato parallelamente ad esso, capta gli impluvi provenienti dalle colline di argillose della parte settentrionale dei territori comunali di Scandale e Crotone e sfocia a circa 4,3 km a sud dalla foce del Fiume Neto.

Il suo bacino idrografico è delimitato a Nord dall'argine in destra del Fiume Neto, a Sud dalla displuviale fra il torrente Fallao, il Canale Lagonetto ed il Talesi, ad Est dal mare Jonio. La coincidenza del limite a Nord del bacino con l'argine in sponda destra del Fiume Neto trova spiegazione nella conformazione altimetrica dei terreni costituenti la fascia compresa fra l'argine del Neto ed il Talesi la cui naturale pendenza, prevalentemente diretta verso il Torrente Talesi e non verso il Fiume Neto, è stata estesa alla totalità di dette superfici, per consentirne lo sgrondo delle acque verso il Talesi.

Il bacino del Torrente Talesi presenta una particolare morfologia che lo distingue in modo particolare dagli altri torrenti Jonici del comprensorio. Questi, infatti, sono generalmente costituiti da bacini collinari variamente estesi ed aventi forma di ventaglio che originano corsi d'acqua con orientamento Ovest-Est, i quali presentano pendenze fortemente decrescenti man mano che si approssimano alle foci. Per detti bacini il coefficiente unitario di piena segue pressappoco la stessa legge. Il Talesi, invece, con un bacino di 18.5 Km², è caratterizzato topograficamente dal fatto di essere un grosso collettore naturale, parallelo al corso del Fiume Neto e giacente nella depressione naturale esistente tra la sponda destra del Neto e la fascia collinare in destra dello stesso Talesi. Pertanto, dell'intera superficie imbriferà del bacino, soli 3 km² sono costituiti da colline ed il resto da

terreni pianeggianti compresi tra le colline stesse e l'argine destra del fiume Neto ed il mare. In dipendenza di questa particolare caratteristica, la pendenza media generale del bacino, dell'ordine del 3%, risulta inferiore a quella che si riscontrano per gli altri bacini Jonici del comprensorio.

I terreni interessati sono di origine alluvionale con prevalenza di terrazzi sabbio-ghiaiosi quaternari in uno a zone plioceniche argillo-sabbiose.

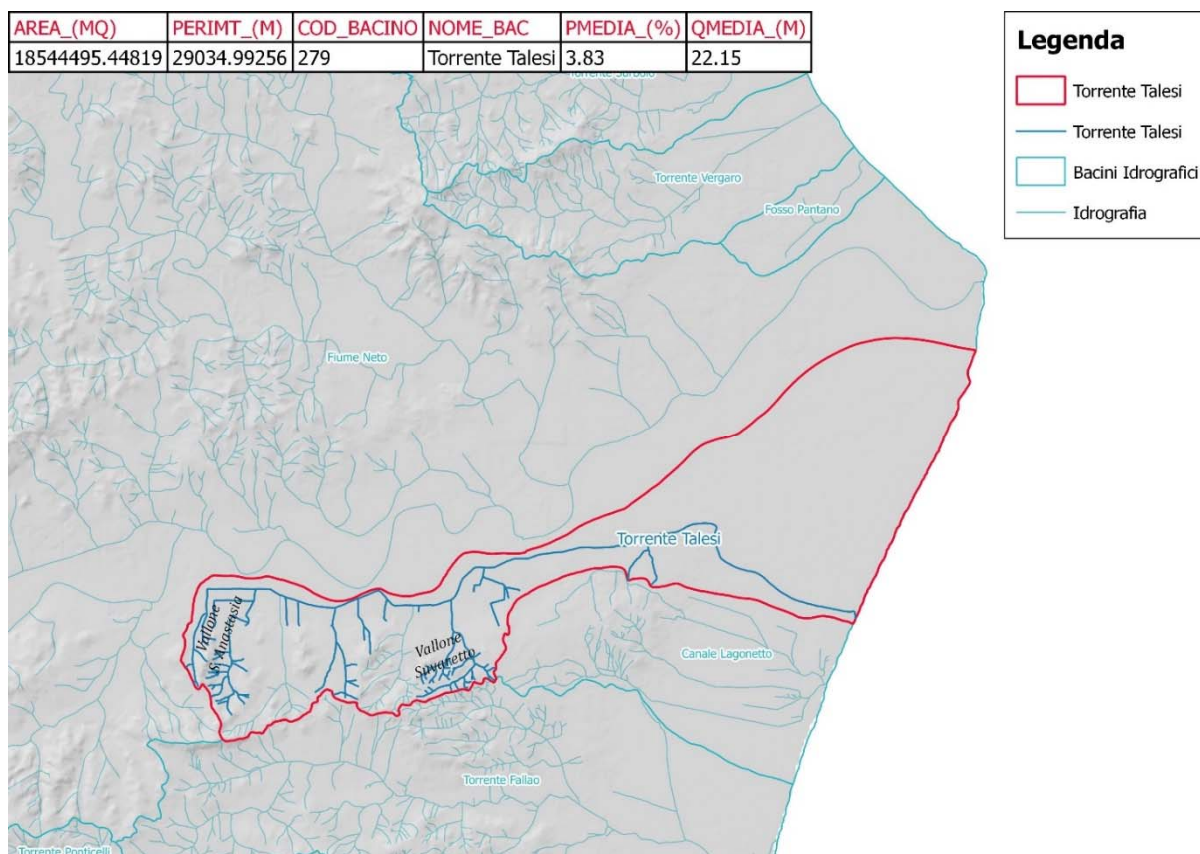


Figura 9. Inquadramento idrografico Torrente Talesi

I principali dati del bacino idrografico e dell'asta fluviale in esame possono così riassumersi:

- Superficie del bacino: 18,54 km² (intero bacino);
- Perimetro del bacino: 29,03 km
- Altitudine media del bacino: 22,15 m s.l.m.;
- Altitudine massima del bacino: 121 m s.l.m.;
- Quota sezione di chiusura: 0 m s.l.m. (Mar Jonio);
- Pendenza media del bacino: 3,83 %;
- Lunghezza asta fluviale: 11,13 km;
- Pendenza media asta fluviale: 0,67 %

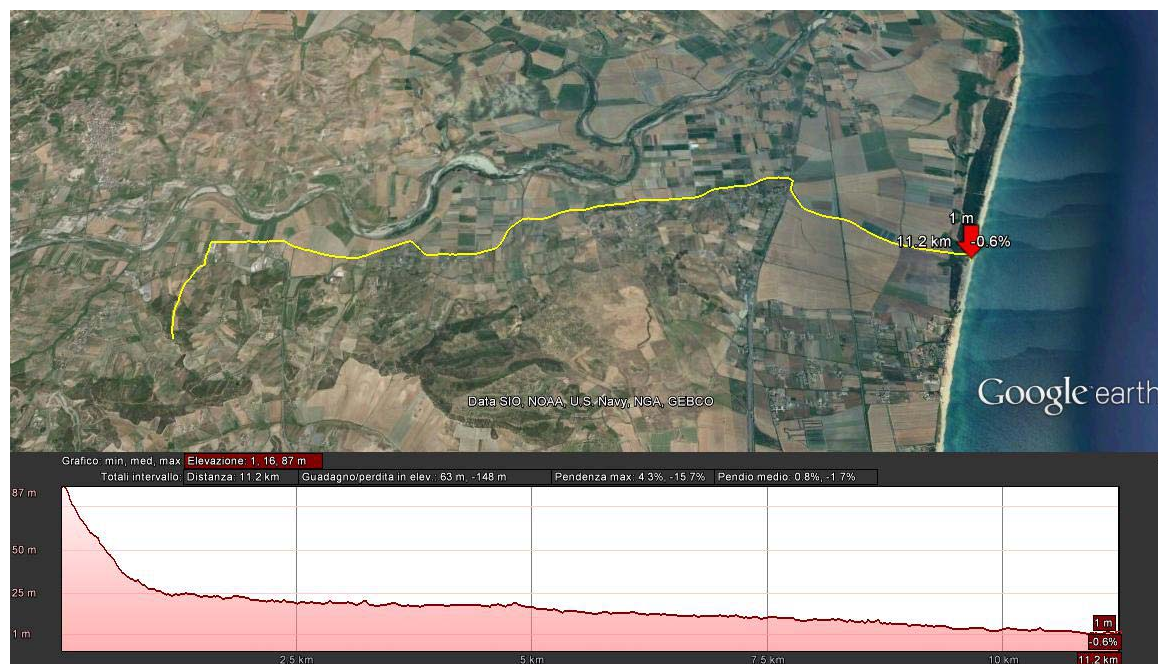


Figura 10. *Profilo altimetrico dell'asta principale (Google Earth)*

1.4 Analisi da cartografia tematica

Da un'analisi della cartografia tematica redatta dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria, nell'ambito del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, sono state estrapolate le tavole di maggiore interesse, di seguito riportate:

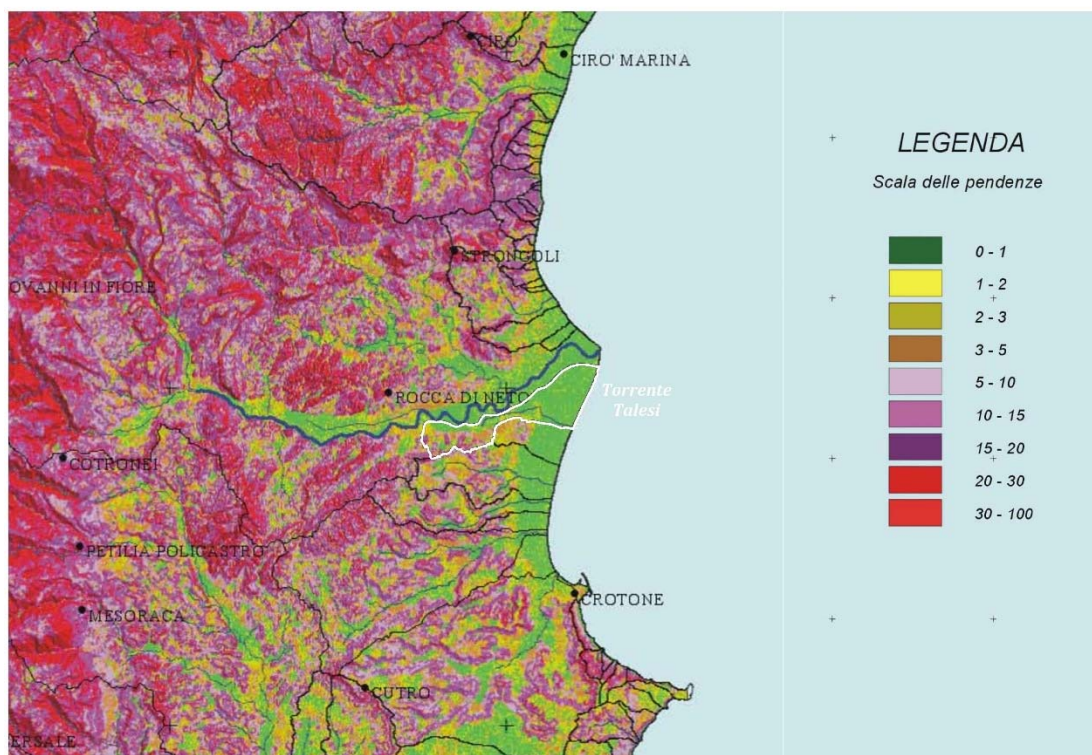


Figura 11. *Carta delle pendenze (ABR, 2001)*

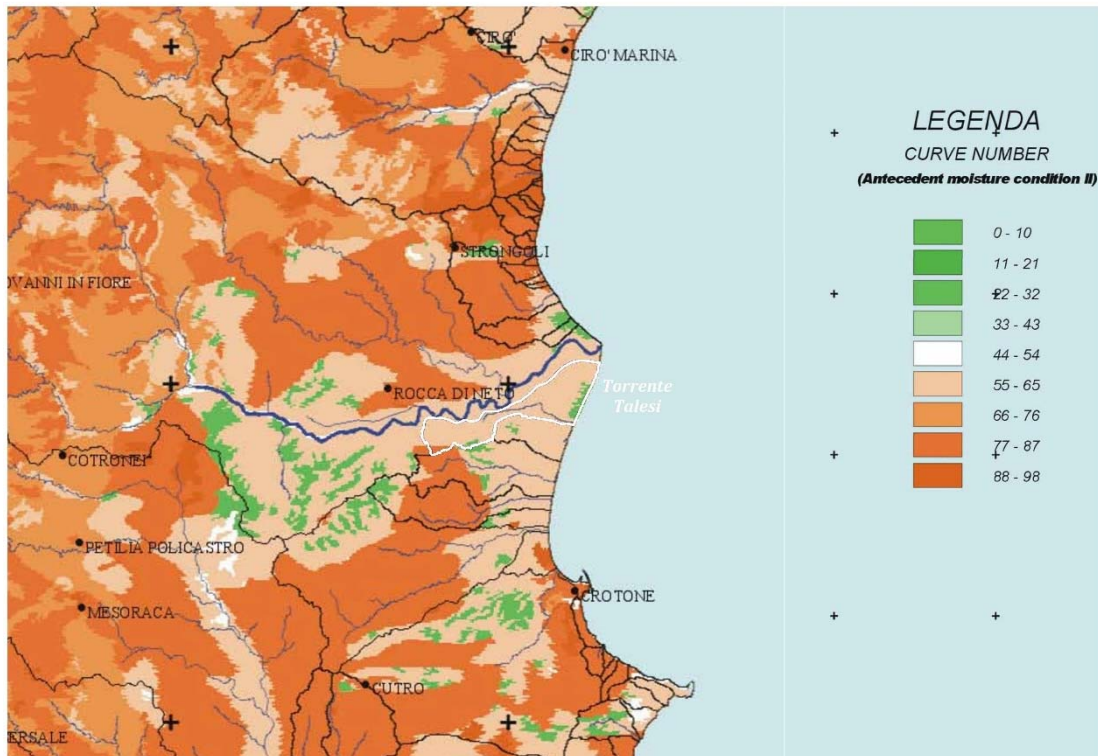


Figura 12. Carta delle caratteristiche di permeabilità (ABR, 2001)

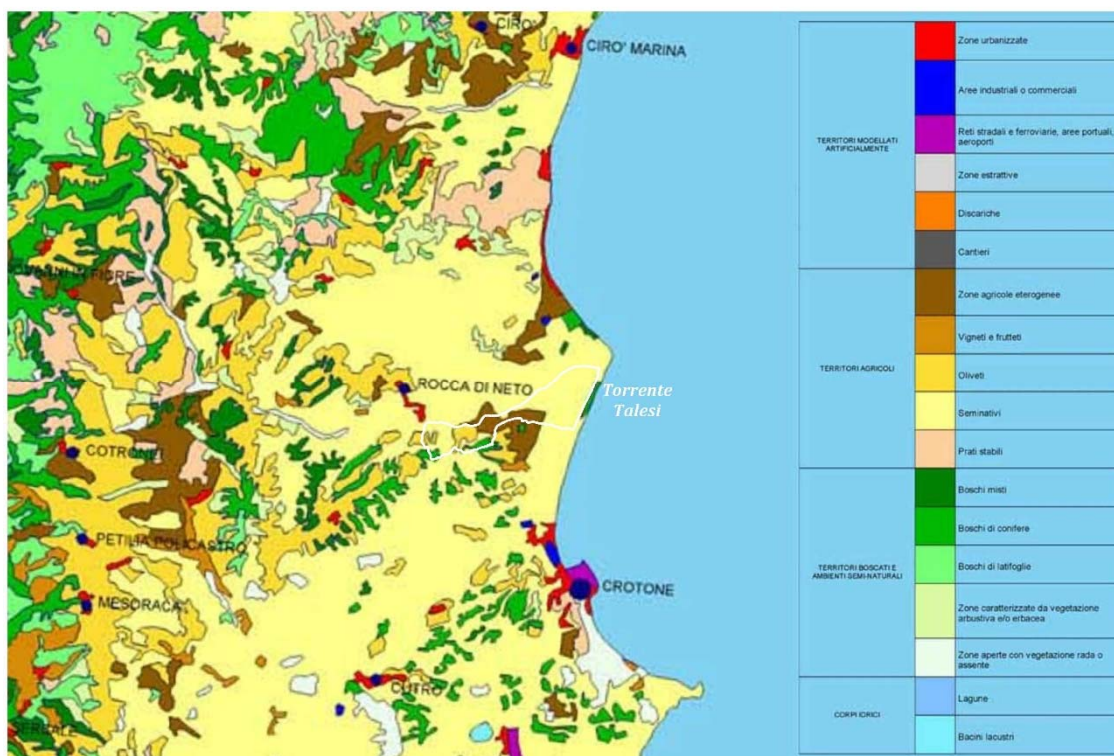


Figura 13. Carta uso del suolo (ABR, 2001)

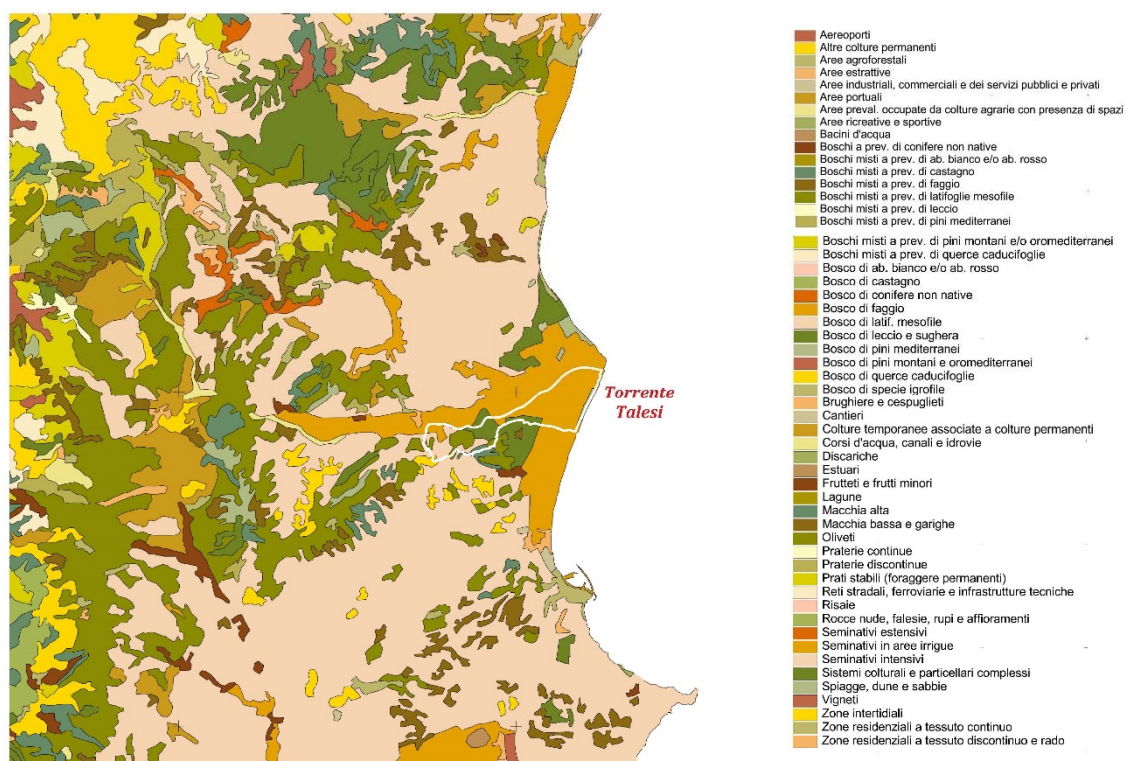


Figura 14. Corine Land Cover (2006)

2. STIMA DELLA MASSIMA PORTATA AL COLMO

La conoscenza del valore della portata di piena nella sezione di un corso d'acqua e della sua frequenza probabile rappresenta un elemento essenziale in molte situazioni: ad esempio per verificare se una esistente struttura arginale sia ben proporzionata, oppure come valore di ingresso per il dimensionamento di opere aventi lo scopo di difendere i territori dalla piena stessa. In frequenti casi la conoscenza di un singolo valore di portata $Q_{max}(T_r)$ non è sufficiente; si ha bisogno difatti della funzione $Q(t)$, cioè l'idrogramma di piena completo e della sua forma.

2.1 Applicazione del metodo VAPI

La stima x_T del valore assunto da una grandezza idrologica in corrispondenza di un assegnato periodo di ritorno si effettua sulla base della serie campionaria della variabile x nel punto di interesse, se disponibile, oppure utilizzando l'informazione fornita dalle serie storiche disponibili nella regione in cui si trova il punto di interesse. Nel primo caso si ha una stima *puntuale*, nel secondo caso una stima *regionale*. Nel caso si combinino l'informazione puntuale e quella regionale si giungerà ad una stima *mista*. L'insieme delle operazioni che conducono ad una stima di x_T si definisce stimatore e si costruisce utilizzando un modello probabilistico ad uno o più parametri. La stima di questi ultimi si effettua in base ai dati storici puntuali e/o regionali.

Secondo quanto riportato dalle “*Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree d'attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio inondazione*”, le procedure adottabili per stima della portata di piena in un corso d'acqua si differenziano in relazione alla disponibilità di serie storiche di dati idrologici rappresentativi. Il caso più favorevole si ha quando nella sezione di interesse sono disponibili valori di portata misurati per un periodo di osservazione sufficientemente lungo; in queste condizioni l'analisi statistica diretta di frequenza delle piene consente di determinare le stime richieste. In Calabria, purtroppo, tale situazione si verifica raramente, in ragione del modesto numero di stazioni di misura esistenti e del ridotto periodo di osservazione.

Le serie storiche dei massimi annuali delle portate al colmo disponibili sono spesso frammentate ed in molti casi prive dei dati corrispondenti ai principali eventi alluvionali. Considerato quanto sopra, nella maggior parte dei casi si è nelle condizioni di dover stimare i valori delle portate di piena con metodi indiretti. In questo caso le procedure utilizzabili sono le seguenti:

- impiego di modelli di regionalizzazione del dato idrometrico, costruiti tramite l'analisi statistica dei dati idrologici disponibili relativi a una porzione di territorio ("regione idrologica") omogenea rispetto ai fenomeni di piena;

- analisi statistica delle osservazioni pluviometriche relative al bacino idrografico sotteso dalla sezione di interesse e impiego di modelli afflussi/deflussi per la trasformazione in portate.

In Calabria, nel 1989 è stato pubblicato, a cura del CNR-IRPI, nell'ambito del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI), il "Rapporto sulla Valutazione delle Piene in Calabria". Nel volume sono riportati criteri e procedure per la stima delle massime portate al colmo di piena di assegnato periodo di ritorno, anche in sezioni prive di dati.

Poiché all'interno del bacino di interesse non ricade alcuna stazione di misura, l'analisi idrologica potrà essere condotta impiegando le stazioni che si trovano nelle immediate vicinanze, oppure impiegando il terzo livello di regionalizzazione della legge TCEV.

L'osservazione empirica dei campioni dei massimi annuali delle precipitazioni di breve durata ha portato a riconoscere l'esistenza di alcuni valori eccezionali, denominati *outliers*, estremamente più elevati degli altri. È stato sempre un problema controverso come trattare nelle applicazioni tecniche questi valori, se considerarli anomali e dunque escluderli, oppure se tenerli in debito conto, dato che proprio gli eventi straordinari sono responsabili dei maggiori danni. Il modello TCEV (Two Components Extreme Value) ipotizza che i valori estremi delle piogge non provengano tutti dalla stessa popolazione ma da due differenti, legate a diversi fenomeni meteorologici. La peculiarità del modello è proprio quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità di tipo Gumbel. La prima, denominata componente base, che assume valori non elevati ma frequenti; la seconda, componente straordinaria, che genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti.

Il modello a doppia componente TCEV ipotizza, quindi, che i valori estremi di una grandezza idrologica (portata, pioggia) facciano parte di due differenti popolazioni legate a differenti fenomeni meteorologici. Alla base di questa ipotesi c'è il fatto che molte serie di massimi annuali presentano uno o più valori nettamente maggiori degli altri e tali da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione degli altri dati. È chiaro che la presenza di quattro parametri conferisce al modello probabilistico una maggiore flessibilità che migliora l'adattamento alle singole serie.

La stima dei parametri della TCEV avviene con un approccio gerarchico basato su 3 livelli di regionalizzazione e la cui espressione della funzione di probabilità cumulata è:

$$F_X(x) = \exp \left\{ -\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\theta_1} \right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\theta_*} \exp \left[-\frac{x}{\theta_1 \theta_*} \right] \right\}$$

avendo indicato con il pedice 1 i parametri riguardanti la *componente base* e con il pedice 2 i parametri relativi alla *componente straordinaria*. I parametri Λ_1 e Λ_2 rappresentano il numero medio annuo di eventi indipendenti delle due componenti, mentre θ_1 e θ_2 esprimono il loro valore medio annuo. La distribuzione TCEV equivale al prodotto di due distribuzioni di Gumbel, con la quale viene a coincidere se si pone $\Lambda_2 = 0$.

Riferendosi alla variabile standardizzata:

$$y = \frac{x}{\theta_1} - \ln \Lambda_1$$

si ha che la CDF di y è data da:

$$F_y(y) = \exp \left[-\exp(-y) - \Lambda_* \exp \left(-\frac{y}{\theta_*} \right) \right]$$

avendo posto:

$$\theta_* = \frac{\theta_2}{\theta_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\theta_*}}$$

La media della distribuzione TCEV è data dall'espressione:

$$\mu = \theta_1 (\ln \Lambda_1 + \gamma_e) - \theta_1 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left(\frac{j}{\theta_*} \right)$$

con $\gamma_e=0,5772$, costante di Eulero. Con il simbolo Γ si è indicata la funzione gamma:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{t-1} e^{-t} dt$$

Il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ_1 , Λ^* e θ^* ed è quindi indipendente da θ_1 .

Il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ^* e θ^* ed è quindi indipendente da Λ_1 e θ_1 .

2.1.1 Modelli regionali

Il modello TCEV consente di costruire un modello regionale articolato secondo una struttura gerarchica. Infatti, si può assumere che esistano delle regioni in cui è costante il solo coefficiente di asimmetria e quindi siano costanti i parametri Λ^* e θ^* e delle sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante pure il coefficiente di variazione e, quindi, il parametro Λ_1 .

Più precisamente esiste un primo livello di regionalizzazione che consiste nell'individuare zone omogenee (zo) nelle quali si può assumere che il coefficiente di asimmetria teorico delle serie

dei massimi annuali sia costante. I parametri Λ^* e $\mathcal{G}^*$ possono essere stimati utilizzando tutte le serie storiche disponibili nella zona, riducendo in modo consistente l'incertezza della stima.

Al secondo livello di regionalizzazione si individuano delle sottozone omogenee (szo), con estensione minore rispetto alle precedenti, nelle quali oltre al coefficiente di asimmetria risulta costante anche il coefficiente di variazione. In una sottozona risultano quindi costanti i tre parametri Λ^* , $\mathcal{G}^*$ e Λ_1 , il quale può quindi essere stimato in base a tutte le serie storiche ricadenti nella sottozona. In ciascuna sottozona rimane costante la CDF di x/μ . Infatti dall'espressione della CDF della TCEV, introducendo i parametri Λ^* e $\mathcal{G}^*$ si ha:

$$F_x(x) = \exp \left[-\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\mathcal{G}_1} \right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*} \exp \left(-\frac{x}{\mathcal{G}_1 \mathcal{G}_*} \right) \right]$$

poiché si può scrivere:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = \frac{x}{\mu} \cdot \frac{\mu}{\mathcal{G}_1}$$

e cioè:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = x' \cdot \eta$$

avendo posto (variabile indice):

$$x' = \frac{x}{\mu}$$

e

$$\eta = \frac{\mu}{\mathcal{G}_1} = \ln \Lambda_1 + \gamma_e - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left(\frac{j}{\mathcal{G}_*} \right) = f(\Lambda_1, \Lambda_*, \mathcal{G}_*)$$

si ottiene

$$F_{x'}(x') = \exp \left[-\Lambda_1 \exp(-\eta x') - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*} \exp \left(-\frac{\eta x'}{\mathcal{G}_*} \right) \right]$$

Alla precedente espressione si dà il nome di **curva di crescita**.

In definitiva, la stima X_T di una grandezza idrologica ad un prefissato tempo di ritorno può essere effettuata, in base al modello TCEV, in quattro modi diversi:

- a) Al livello di regionalizzazione zero, in cui tutti i parametri del modello sono stimati dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1; \mathcal{G}_*; \Lambda_*)$$

- b) Al livello di regionalizzazione uno, in cui i parametri Λ^* e $\mathcal{G}^*$ sono stimati a livello regionale e Λ_1 e $\mathcal{G}_1$ dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

- c) Al livello di regionalizzazione due, in cui i parametri Λ^* , $\mathcal{G}^*$ e Λ_I sono stimati a livello regionale e $\mathcal{G}_I$ dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_I; \Lambda_I^R; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

- d) Al livello di regionalizzazione tre, in cui tutti i parametri sono stimati con tecniche di analisi regionale:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_I^R; \Lambda_I^R; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

Più precisamente, al primo livello di regionalizzazione, nell'ipotesi che la Calabria sia un'unica zona omogenea, utilizzando una procedura iterativa, il rapporto VAPI ha fornito le seguenti stime:

$$\Lambda_*^R = 0.418 \quad \theta_*^R = 2.154$$

Al secondo livello sono state individuate delle sottozone omogenee aventi minore estensione rispetto a quelle individuate con il livello 1. In esse risulta costante, oltre ai due precedenti, anche il parametro Λ_1 . La stima di θ_1 si effettua, invece, utilizzando la singola serie di dati tramite il metodo della massima verosimiglianza. I parametri Λ_*^R e θ_*^R hanno il valore visto nel livello precedente, mentre Λ_1 è funzione della sottozona.

Considerando la Calabria suddivisa in tre sottozone, il rapporto VAPI fornisce i seguenti valori:

sottozona tirrenica $\Lambda_{1 \text{ Tirreno}} = 48,914$

sottozona centrale $\Lambda_{1 \text{ Centro}} = 22,878$

sottozona ionica $\Lambda_{1 \text{ Ionio}} = 10,987$

Al secondo ed al terzo livello di regionalizzazione la determinazione di X_T può essere effettuata anche attraverso il metodo del valore indice. Con tale metodo si analizza in luogo di X una variabile adimensionale X/X_I dove X_I è un valore caratteristico della distribuzione ed assume il nome di valore indice. Nelle applicazioni quasi sempre si utilizza come valore indice la media μ e si analizza la variabile $X' = X/\mu$ che viene indicata come fattore di crescita. E' opportuno sottolineare che mentre per il secondo livello di regionalizzazione il valore indice può essere considerato pari alla media aritmetica della serie campionaria della variabile idrologica considerata, al terzo livello anche questo parametro sarà stimato considerando una relazione empirica derivata su base regionale che, per la Calabria sottozona centrale C3 è:

$$\bar{X}_T = 31.02 t^{(0.517+0.00016 y)/\log 24}$$

dove y è la quota della stazione rispetto al livello del mare.

2.1.2 *Analisi statistica delle piogge*

La conoscenza del regime di un corso d'acqua rappresenta il fondamento indispensabile per le molte iniziative che traggono origine dalle sue acque: per la difesa del territorio potenzialmente minacciato dalle sue piene; per l'utilizzazione delle risorse che il corso stesso offre.

La caratterizzazione climatica e idrologica del bacino del torrente Talesi è stata realizzata analizzando i dati registrati nelle stazioni pluviometriche poste nelle sue immediate vicinanze, quella di Crotone. I dati utilizzati sono stati forniti dall'Ufficio di Catanzaro del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale avente competenza sul territorio calabrese, e rappresentano i valori massimi annuali delle piogge di assegnata durata, 1, 3, 6, 12, 24 ore. In figura 16 è riportata la carta delle stazioni di misura nel territorio di interesse, evidenziando il perimetro del bacino idrografico del torrente Talesi.

L'elaborazione dei dati pluviometrici forniti da una stazione di misura delle piogge, si svolge ricercando la relazione esistente tra l'altezza h delle precipitazioni, e la loro durata t . Si costruiscono, allo scopo, le curve di probabilità pluviometrica puntuali, che esprimono il legame, per un assegnato valore del tempo di ritorno T_r , tra le suddette grandezze.

Più precisamente indicando con $F_X(x)$ la probabilità di non superamento della variabile idrologica, si definisce Tempo o Periodo di Ritorno il numero di anni in cui la variabile è raggiunta o superata mediamente una sola volta. In questo caso, considerando precipitazioni massime orarie, l'evento è rappresentato dal superamento di un valore di progetto per cui $X > x$:

$$F_X(x) = 1 - \frac{1}{T}$$

Per descrivere la cpp si usa l'equazione, di tipo monomio a due parametri, secondo la quale:

$$h = at^n$$

in cui h rappresenta l'altezza di precipitazione espressa in mm, t è la durata della precipitazione, espressa in ore. I coefficienti a e n sono due parametri che caratterizzano la curva e dipendono dalla climatologia locale, con n sempre inferiore a 1, determinati per diversi tempi di ritorno T_r , pari a 50, 200 e 500 anni.



Figura 15. Carta delle stazioni di misura idropluviometriche (ABR, 2001)

Di seguito si allega il report relativo alla stazione di misura di Crotona, ritenuta quella maggiormente idonea a rappresentare le condizioni pluviometriche dell'area di interesse.

2.2 Rapporto sulla stazione di misura di Crotone

Dati Stazione

Codice: 1680

Bacino: Esaro

Comune: Crotone

Quota: 6.0 m s.l.m.

Dati Serie

Serie presenti: 5

Durate presenti: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Minima dimensione serie: 57

Massima dimensione serie: 59

Serie n. 1	
Nome della serie	Piogge durata 1 h
Durata	1 ora

Serie n. 2	
Nome della serie	Piogge durata 3 h
Durata	3 ore

Serie n. 3	
Nome della serie	Piogge durata 6 h
Durata	6 ore

Serie n. 4	
Nome della serie	Piogge durata 12 h
Durata	12 ore

Serie n. 5	
Nome della serie	Piogge durata 24 h
Durata	24 ore

Serie osservazioni

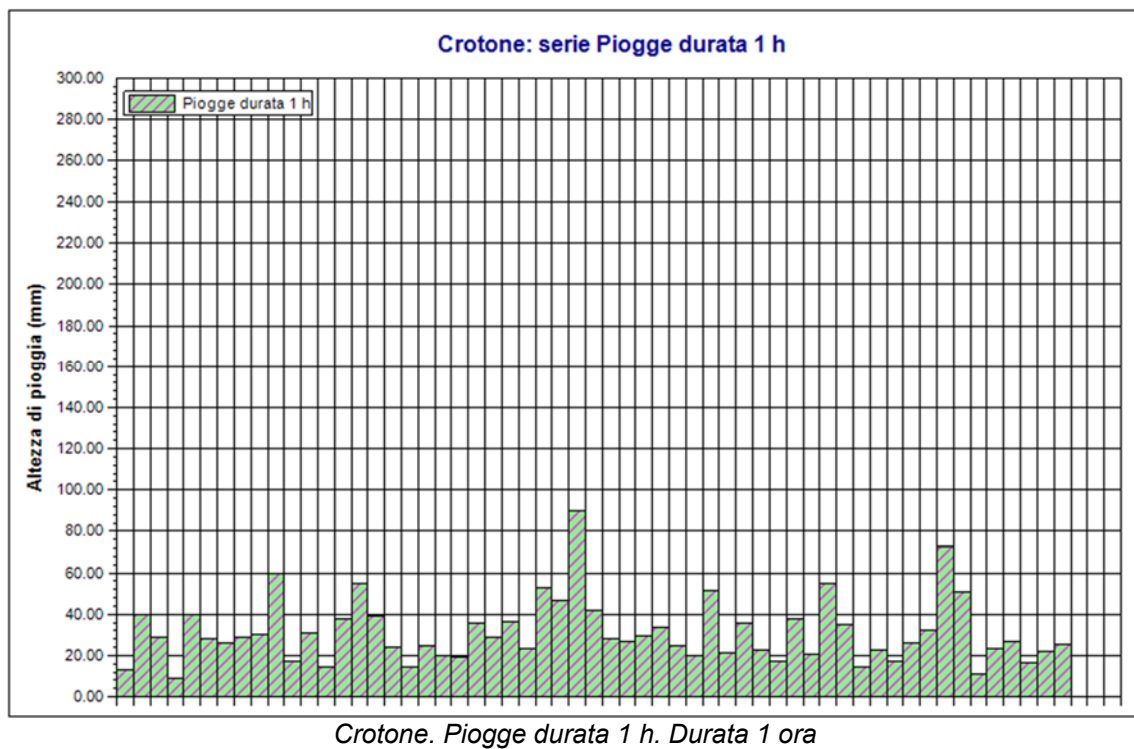
n	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1	13.0	21.2	25.0	39.4	115.1
2	40.0	56.4	59.4	62.4	59.0
3	29.0	43.4	58.0	84.0	70.5
4	9.0	18.4	32.0	49.0	113.8

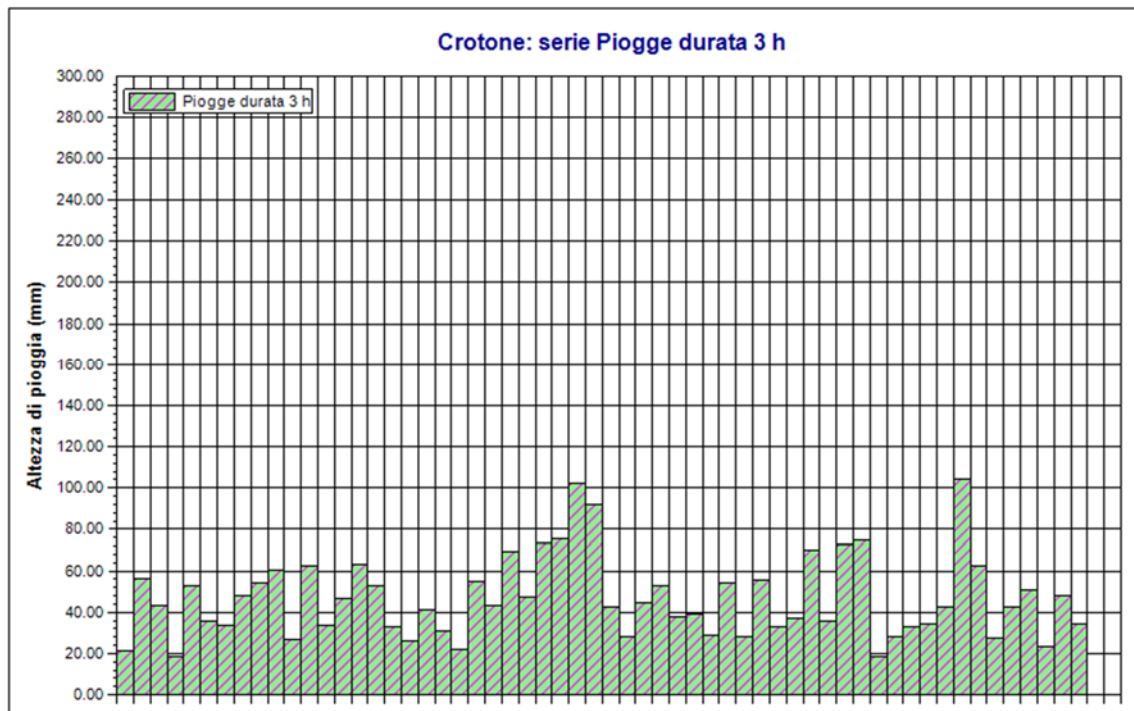
n	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
5	39.6	53.0	75.0	147.6	59.8
6	28.2	36.0	48.8	60.5	169.6
7	25.8	33.8	36.5	46.5	66.0
8	29.0	47.8	56.0	78.6	53.0
9	30.0	54.0	75.8	82.4	120.1
10	60.0	60.2	61.8	61.8	90.8
11	17.0	27.0	27.6	32.6	61.8
12	31.0	62.2	67.2	76.8	55.0
13	14.6	33.4	41.0	46.6	132.3
14	38.0	46.4	58.8	71.4	50.4
15	54.6	63.2	63.2	87.4	71.4
16	39.0	53.0	65.2	66.0	91.4
17	24.0	33.0	37.4	45.0	107.7
18	14.4	26.4	41.0	63.2	68.0
19	25.0	41.0	59.4	73.0	76.6
20	20.0	30.8	33.6	47.6	89.2
21	19.4	22.0	31.2	45.4	70.6
22	36.0	54.6	63.0	70.0	82.8
23	29.0	43.0	57.0	71.0	82.6
24	36.6	69.2	97.4	156.1	93.0
25	23.0	47.0	54.0	75.6	172.1
26	53.0	73.2	95.8	136.0	118.5
27	46.6	75.8	75.8	78.2	288.2
28	90.0	102.1	109.8	140.1	89.0
29	42.0	92.0	111.1	125.5	162.1
30	27.8	42.6	75.0	80.0	146.7
31	27.0	28.4	28.4	36.4	80.0
32	29.2	44.3	76.9	99.8	69.0
33	33.6	52.6	57.9	74.0	142.9
34	24.7	37.5	59.2	79.3	111.5
35	20.0	38.8	39.6	51.6	94.8
36	51.6	28.7	28.7	43.0	70.6
37	21.2	54.0	64.6	85.2	56.4
38	35.8	28.4	54.8	88.2	104.1
39	22.6	55.8	63.6	91.6	95.4
40	17.4	32.8	49.6	65.0	114.5
41	37.8	36.8	59.2	81.4	87.0
42	20.4	70.0	89.4	95.4	118.5
43	54.8	36.0	48.6	60.8	95.4
44	34.8	72.6	114.1	207.1	80.4
45	14.2	74.8	103.4	106.6	233.7
46	22.4	18.6	28.6	36.6	110.2
47	17.4	28.0	35.4	35.6	41.8
48	26.2	33.2	39.8	58.4	39.2

n	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
49	32.2	34.0	40.2	58.2	67.0
50	72.8	42.8	68.6	96.2	58.4
51	50.8	104.4	112.4	115.2	133.4
52	11.0	62.2	73.8	92.4	116.2
53	23.6	27.2	42.4	50.2	107.6
54	26.6	42.4	42.8	63.8	60.0
55	16.8	51.0	55.4	60.0	85.2
56	22.0	23.2	39.8	55.6	106.8
57	25.4	47.8	69.4	79.2	67.4
58	-	34.4	43.6	63.4	82.0
59	-	-	-	-	66.0

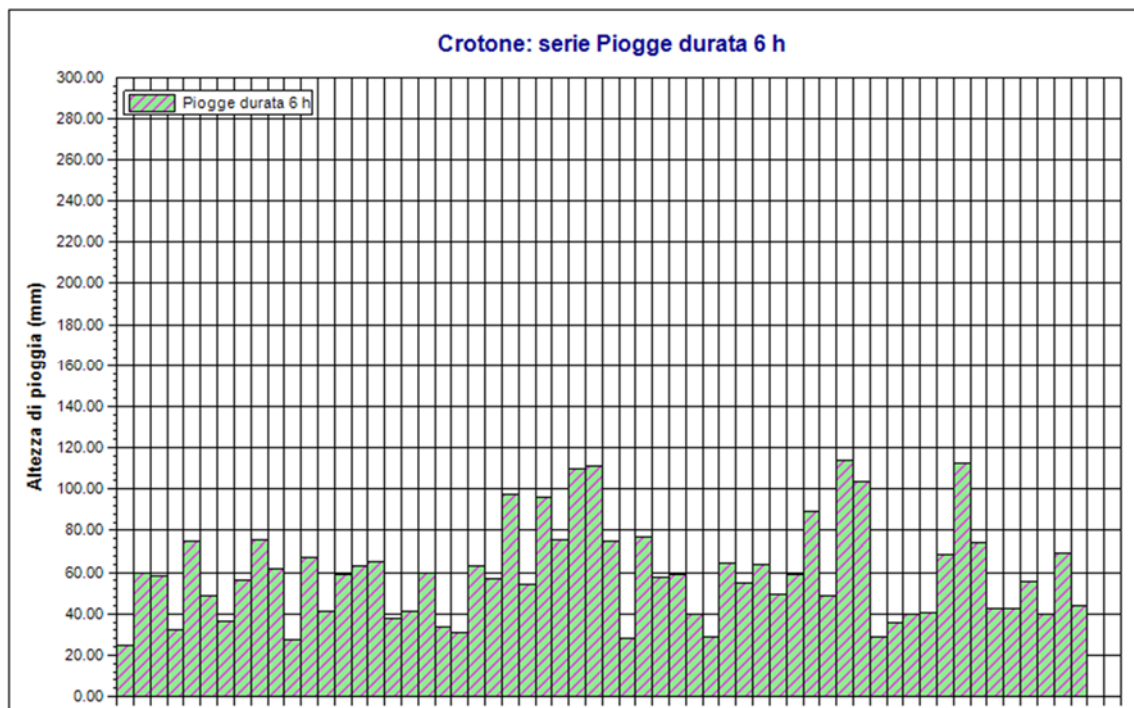
Dati Statistici

Parametro	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Dimensione campione	57	58	58	58	59
Somma dei dati	1776.9	2702.8	3423.0	4429.9	5722.5
Valore minimo	9.0	18.4	25.0	32.6	39.2
Valore massimo	90.0	104.4	114.1	207.1	288.2
Valore medio	31.17	46.60	59.02	76.38	96.99
Dev. standard	15.40	19.61	23.24	33.03	43.95
Coeff. variazione	0.494	0.421	0.394	0.433	0.453
Coeff. asimmetria	1.512	1.022	0.782	1.619	2.060

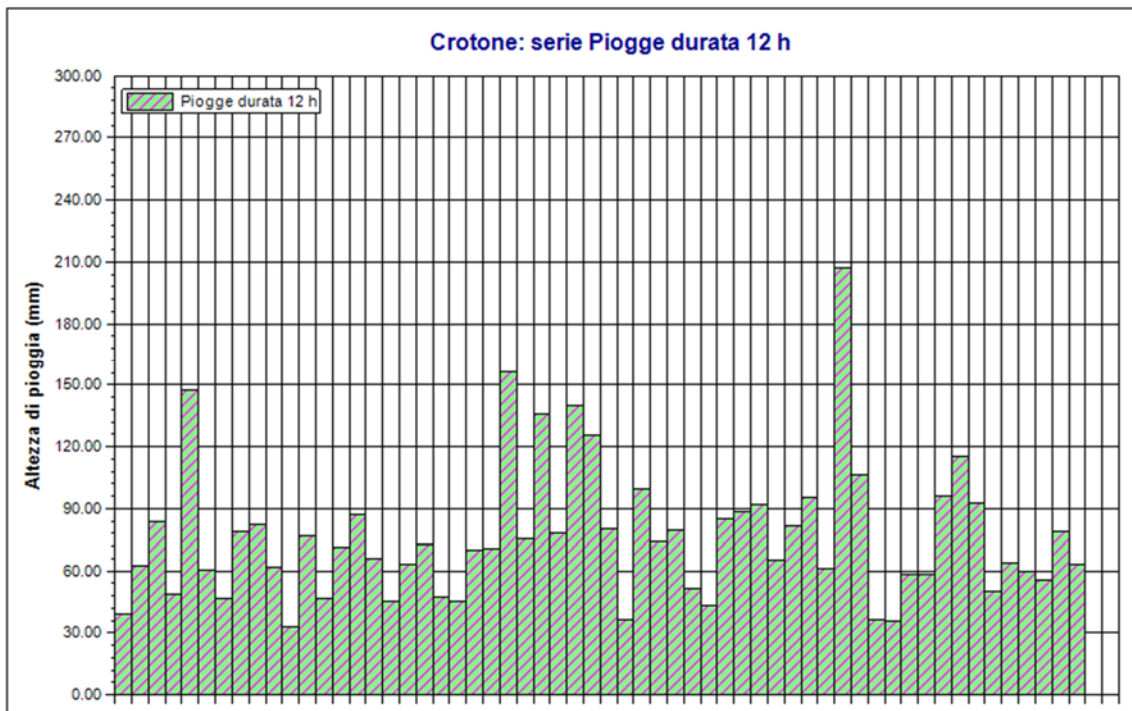




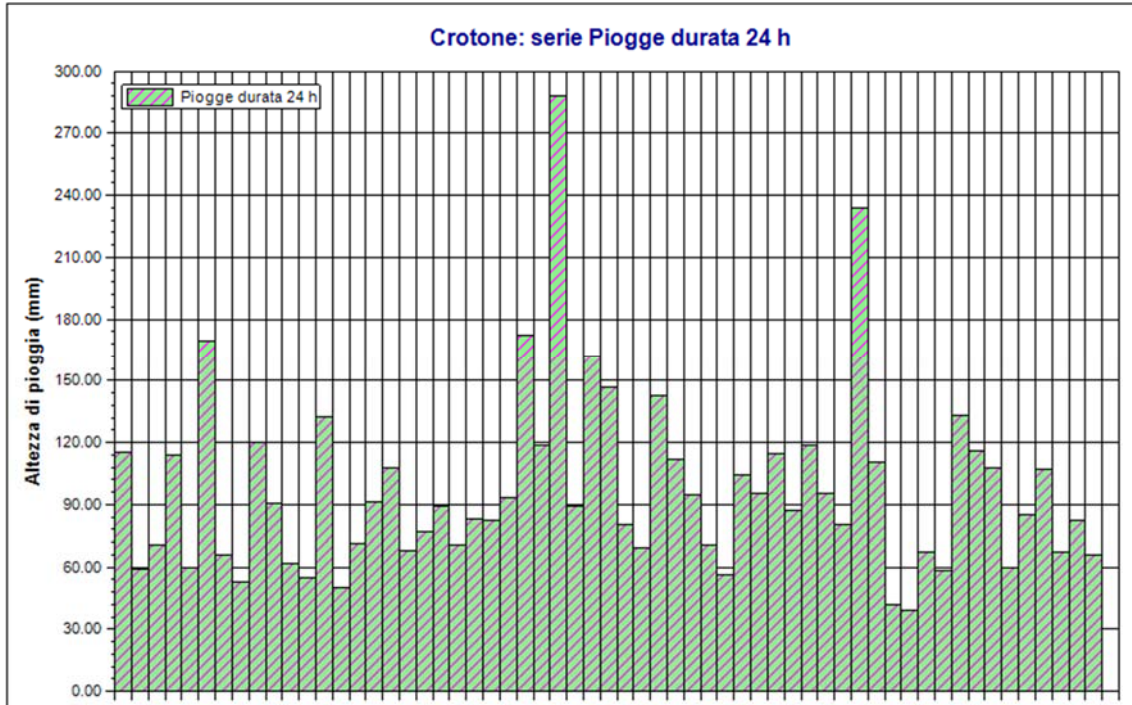
Crotone. Pioggie durata 3 h. Durata 3 ore



Crotone. Piogge durata 6 h. Durata 6 ore



Crotone. Piogge durata 12 h. Durata 12 ore



Crotone. Piogge durata 24 h. Durata 24 ore

2.3 Rapporto sull'elaborazione probabilistica

Dati Elaborazione

Stazione di misura: Crotone

Distribuzione probabilistica: TCEV primo livello

Metodo di stima dei parametri: Massima verosimiglianza

Elaborazioni presenti: 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)

Elaborazioni valide: 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)

Stima parametri

Parametro	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Dimensione campione	57	58	58	58	59
Valore medio	31.17	46.60	59.02	76.38	96.99
Dev. standard	15.40	19.61	23.24	33.03	43.95
Parametri regionali					
Descrizione	Parametri zona: Calabria - Durata: Unica	Parametri zona: Calabria - Durata: Unica	Parametri zona: Calabria - Durata: Unica	Parametri zona: Calabria - Durata: Unica	Parametri zona: Calabria - Durata: Unica
Lambda*	0.41800	0.41800	0.41800	0.41800	0.41800
Teta*	2.15400	2.15400	2.15400	2.15400	2.15400
Parametri stimati					
Lambda 1	11.94721	16.86439	18.84717	21.93790	23.59578
Teta 1	8.26178	11.40028	14.12597	17.40322	21.62257
Lambda 2	1.32221	1.55167	1.63385	1.75319	1.81350
Teta 2	17.79587	24.55621	30.42734	37.48653	46.57502

Espressioni delle CDF della distribuzione

TCEV primo livello: Piogge durata 1 h	$F_x(x) = \exp \left[-11,95 \exp \left(-\frac{x}{8,262} \right) - 1,32 \exp \left(-\frac{x}{17,796} \right) \right]$
TCEV primo livello: Piogge durata 3 h	$F_x(x) = \exp \left[-16,86 \exp \left(-\frac{x}{11,400} \right) - 1,55 \exp \left(-\frac{x}{24,556} \right) \right]$
TCEV primo livello: Piogge durata 6 h	$F_x(x) = \exp \left[-18,85 \exp \left(-\frac{x}{14,126} \right) - 1,63 \exp \left(-\frac{x}{30,427} \right) \right]$

TCEV primo livello: Piogge durata 12 h	$F_x(x) = \exp \left[-21,94 \exp \left(-\frac{x}{17,403} \right) - 1,75 \exp \left(-\frac{x}{37,487} \right) \right]$
TCEV primo livello: Piogge durata 24 h	$F_x(x) = \exp \left[-23,60 \exp \left(-\frac{x}{21,623} \right) - 1,81 \exp \left(-\frac{x}{46,575} \right) \right]$

Espressioni delle Curve di crescita

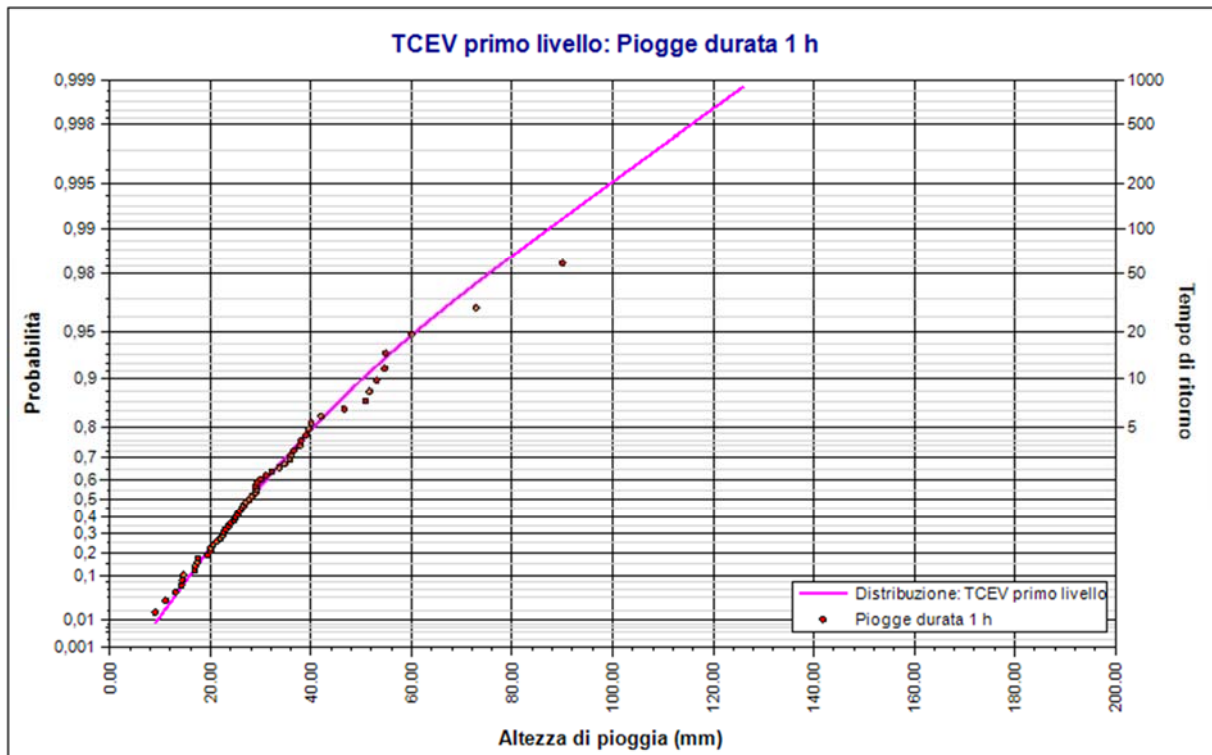
TCEV primo livello: Piogge durata 1 h	$F_x(x) = \exp \left[-11,947 (43,526)^{-x'} - 1,322 (5,765)^{-x'} \right]$
TCEV primo livello: Piogge durata 3 h	$F_x(x) = \exp \left[-16,864 (61,440)^{-x'} - 1,552 (6,765)^{-x'} \right]$
TCEV primo livello: Piogge durata 6 h	$F_x(x) = \exp \left[-18,847 (68,664)^{-x'} - 1,634 (7,124)^{-x'} \right]$
TCEV primo livello: Piogge durata 12 h	$F_x(x) = \exp \left[-21,938 (79,924)^{-x'} - 1,753 (7,644)^{-x'} \right]$
TCEV primo livello: Piogge durata 24 h	$F_x(x) = \exp \left[-23,596 (85,964)^{-x'} - 1,814 (7,907)^{-x'} \right]$

Frattili distribuzioni probabilistiche

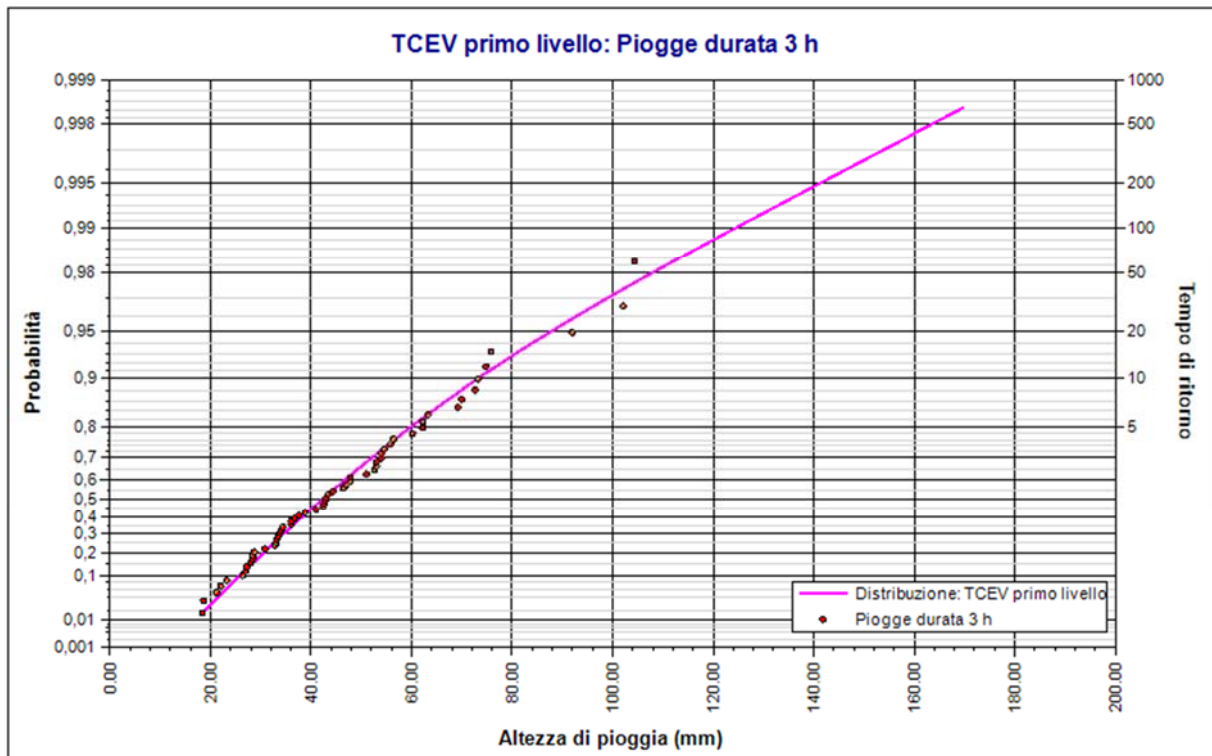
Tempi di ritorno	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2 anni	27.76	42.23	53.90	69.04	87.36
5 anni	40.58	59.92	75.82	96.05	120.92
10 anni	50.31	73.35	92.45	116.55	146.38
20 anni	60.72	87.71	110.25	138.47	173.62
50 anni	75.57	108.20	135.64	169.76	212.49
100 anni	87.38	124.51	155.85	194.64	243.41
200 anni	99.47	141.18	176.51	220.10	275.04
500 anni	115.64	163.49	204.15	254.16	317.36
1000 anni	127.93	180.46	225.18	280.06	349.53

Fattori di crescita

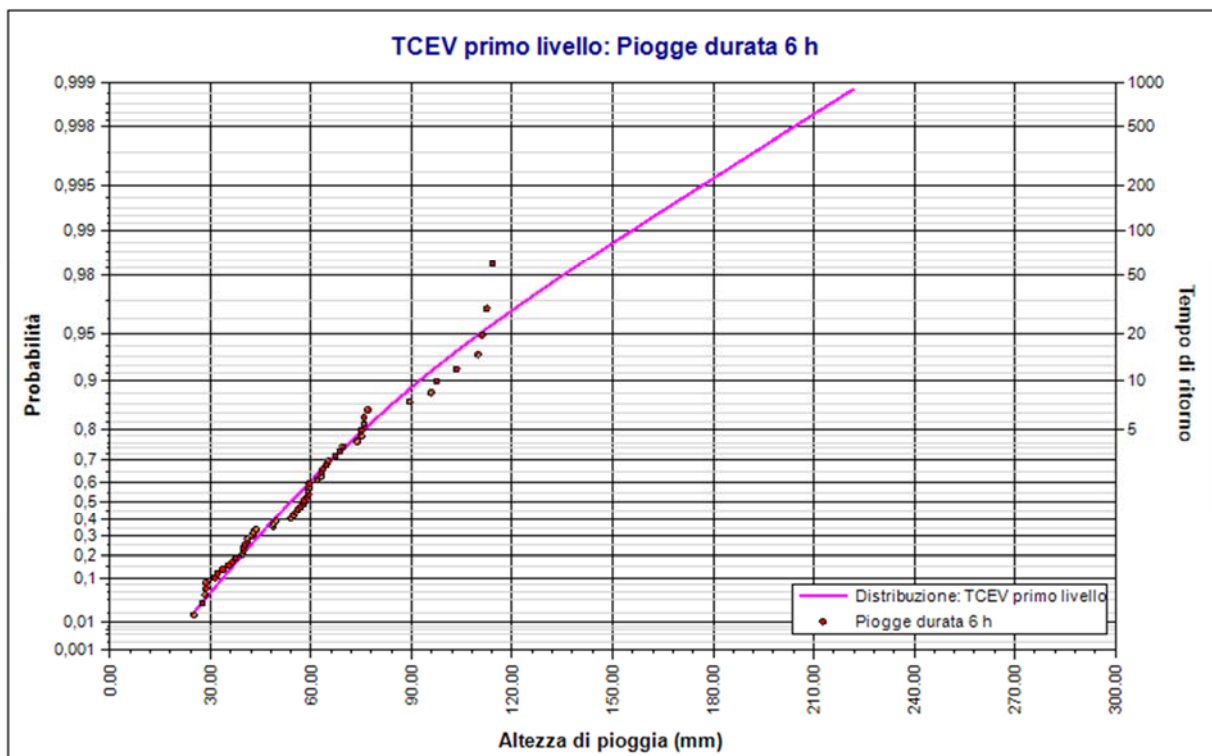
Tempi di ritorno	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2 anni	0.89	0.90	0.90	0.91	0.91
5 anni	1.30	1.28	1.27	1.26	1.26
10 anni	1.61	1.56	1.55	1.53	1.52
20 anni	1.95	1.87	1.85	1.82	1.80
50 anni	2.42	2.30	2.27	2.23	2.21
100 anni	2.80	2.65	2.61	2.55	2.53
200 anni	3.19	3.01	2.95	2.89	2.86
500 anni	3.71	3.48	3.42	3.33	3.30
1000 anni	4.10	3.84	3.77	3.67	3.63



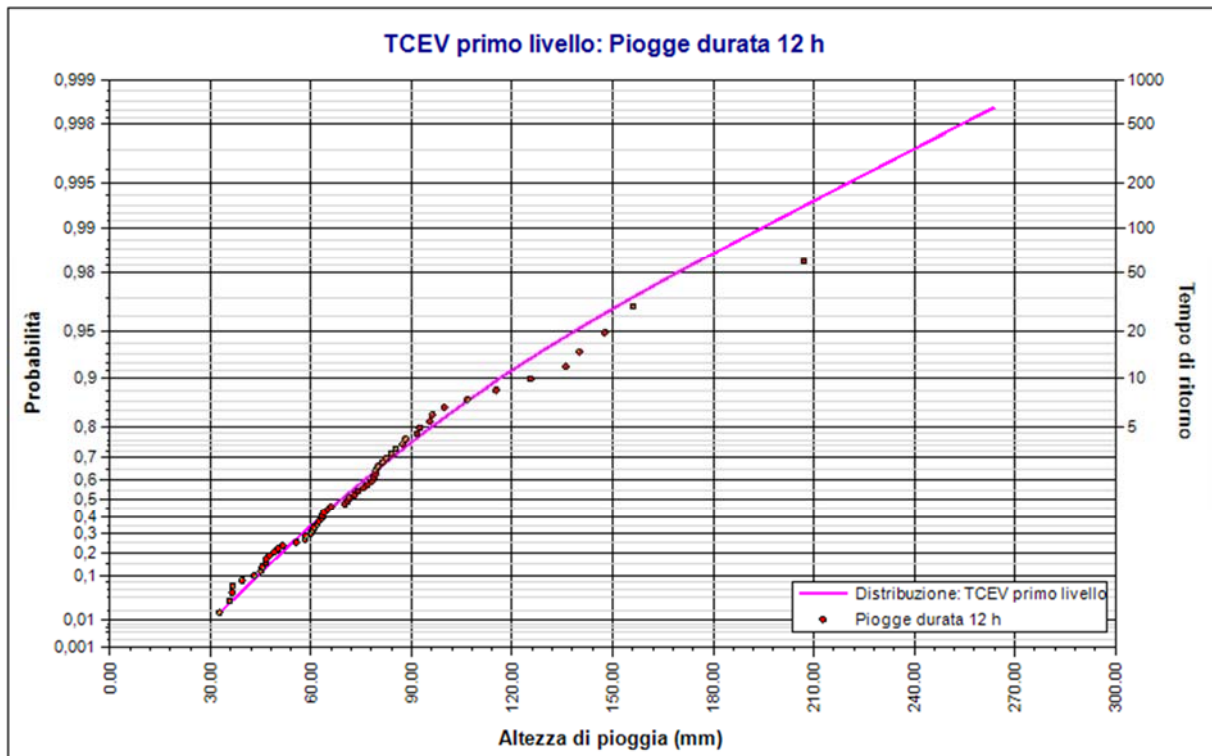
Elaborazione TCEV primo livello. TCEV primo livello: Piogge durata 1 h. Durata 1 ora



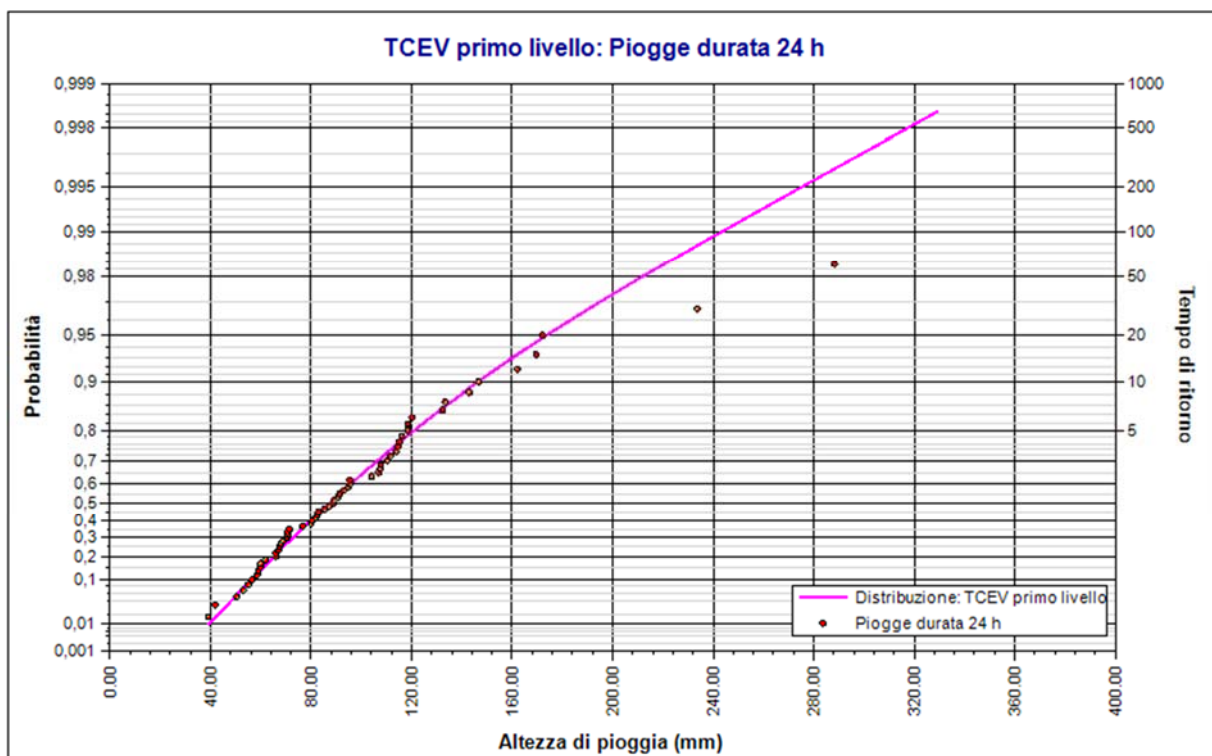
Elaborazione TCEV primo livello. TCEV primo livello: Piogge durata 3 h. Durata 3 ore



Elaborazione TCEV primo livello. TCEV primo livello: Piogge durata 6 h. Durata 6 ore



Elaborazione TCEV primo livello. TCEV primo livello: Piogge durata 12 h. Durata 12 ore



Elaborazione TCEV primo livello. TCEV primo livello: Piogge durata 24 h. Durata 24 ore

2.4 Rapporto sulla curva di pioggia

Tempo di ritorno: 50 anni

Tabella punti di calcolo

n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.000	60	75.567
2	3.000	180	108.204
3	6.000	360	135.644
4	12.000	720	169.757
5	24.000	1440	212.489

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
75.64	0.33	1.00	$h(t) = 75,6 t^{0.325}$

Tempo di ritorno: 200 anni

Tabella punti di calcolo

n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.000	60	99.466
2	3.000	180	141.182
3	6.000	360	176.507
4	12.000	720	220.100
5	24.000	1440	275.037

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
99.42	0.32	1.00	$h(t) = 99,4 t^{0.320}$

Tempo di ritorno: 500 anni

Tabella punti di calcolo

n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.000	60	115.636
2	3.000	180	163.494
3	6.000	360	204.153
4	12.000	720	254.160
5	24.000	1440	317.356

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
115.51	0.32	1.00	$h(t) = 115,5 t^{0,318}$

2.5 Curve di possibilità pluviometrica

Le curve di probabilità pluviometrica sono state calcolate secondo le disposizioni previste dal V.A.P.I. Calabria e consigliata dall'Autorità di Bacino della Regione Calabria nel P.A.I. applicando il metodo TCEV al primo ed al terzo livello di regionalizzazione.

Nel primo caso, come dal precedente rapporto, si sono impiegati i dati registrati nella stazione pluviometrica di Crotona; nel secondo, invece, le leggi fornite dal VAPI per bacini non strumentati. In particolare, le aree d'intervento ricadono, nella sottozona pluviometrica C3.



Figura 16. Sottozona VAPI ed area di intervento

Qui di seguito si riportano le leggi di pioggia per il bacino, e per tempi di ritorno pari a 50, 200 e 500 anni, nella forma:

$$h_{T,t} = a t^n \quad [mm]$$

	T=50 anni		T=200 anni		T=500 anni	
	a	n	a	n	a	n
Primo livello TCEV	75,64	0,33	99,42	0,32	115,51	0,32
Terzo livello TCEV	68,55	0,377	89,03	0,377	102,68	0,377

Tabella 1. Curve di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno

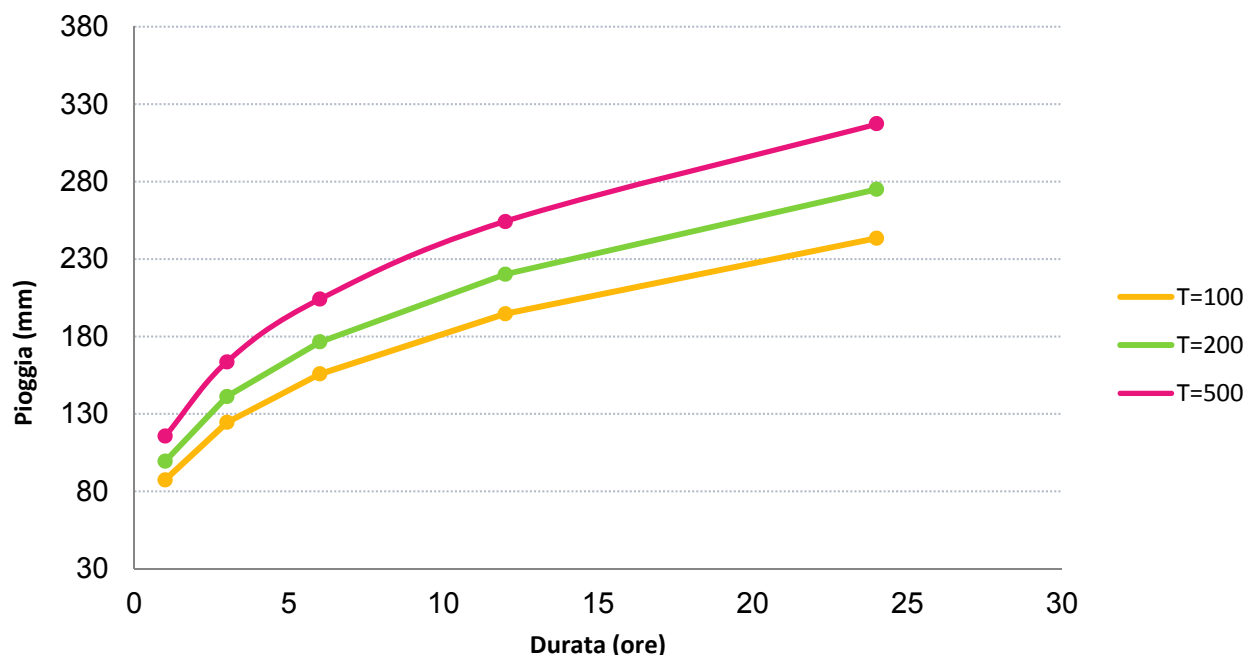


Figura 17. Curve di possibilità pluviometrica (1° livello TCEV) per la stazione di Crotone

2.6 Tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione è un tempo caratteristico di un bacino idrografico, ed è stato introdotto per definire le sue modalità di risposta. Più in particolare esso rappresenta il tempo necessario perché una goccia d'acqua caduta in quel punto possa raggiungere la sezione di chiusura del bacino considerato. Tra tutti i tempi di corrivazione possibili, nelle applicazioni riveste particolare interesse il valore massimo, denominato tempo di corrivazione t_c del bacino. Questo in particolare viene definito come quello necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Nell'individuazione del punto più remoto del bacino deve essere considerata non solo la distanza planimetrica che ne è la proiezione sul piano orizzontale, ma ovviamente, anche la quota del punto stesso. In altri termini, a parità di distanza planimetrica deve essere considerato il punto di massima quota.

Esistono diverse relazioni per la stima del tempo di corrivazione; nelle *“Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree d'attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio inondazione”* relative al PAI della Regione Calabria si fa riferimento alle seguenti:

- Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L_p}{0.8\sqrt{h_m - h_0}}$$

- Ventura:

$$t_c = 0.127 \sqrt{\frac{S}{j_m}}$$

- Pasini:

$$t_c = \frac{0.108}{\sqrt{j_m}} \sqrt[3]{S \times L_p}$$

- Viparelli:

$$t_c = \frac{L_p}{v}$$

- Pezzoli:

$$t_c = 0.055 \times \frac{L_p}{\sqrt{j_m}}$$

- Puglisi:

$$t_c = \frac{6 \times \sqrt[3]{L_p^2}}{\sqrt[3]{(h_1 - h_0)}}$$

- Tournon:

$$t_c = \frac{0.396L_p}{\sqrt{j_m}} \left(\frac{S}{L_p^2} \sqrt{\frac{j_m}{j_v}} \right)^{0.72}$$

- Kirpich

$$t_c = 0.066 \times L_p^{0.77} \times \left(\frac{1000 \times L_p}{h_1 - h_0} \right)^{0.385}$$

- SCS:

$$t_c = 0.00227 \times (1000 \times L_p)^{0.8} \times \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7} \times j_v^{-0.5}$$

dove:

- **tc** = tempo di corrivazione [ore];
- **S** = superficie bacino idrografico [km²];
- **Lp** = lunghezza dell'asta fluviale principale [km];
- **hm** = altezza media del bacino idrografico [m];
- **h1** = quota maggiore del bacino idrografico [m];
- **h0** = quota sezione di chiusura del bacino idrografico [m];
- **jm** = pendenza media dell'asta fluviale [];
- **jv** = pendenza media del bacino idrografico [];
- **v** = velocità di scorrimento [km/h];
- **CN** = curve number [0 – 100];

Nel caso specifico è stato utilizzato per Viparelli un valore della velocità di scorrimento (v) pari a 1,50 m/s, ovvero pari a 5,40 km/h, mentre per l'SCS è stato utilizzato un valore del curve number (CN) pari a 60, in funzione delle caratteristiche geologiche e di uso del suolo del bacino in esame.

I risultati sono di seguito riportati:

Tempi di corrivazione (ore)								
Giandotti	Ventura	Pasini	Viparelli	Pezzoli	Puglisi	Tournon	Kirpich	SCS
9.01	6.68	7.80	2.06	7.48	6.05	7.32	2.41	8.33

Tabella 2. Tempi di corrivazione per il bacino del torrente Talesi

2.7 Altezze e intensità critiche di pioggia

Individuata la legge di pioggia, si è proceduto al calcolo delle altezze di pioggia critiche per il bacino, in funzione di ciascun tempo di corrivazione individuato. Successivamente, i valori ottenuti sono stati riportati in termini di intensità di pioggia critica secondo la seguente relazione:

$$i_c = \frac{h_c}{t_c} \left[\frac{mm}{h} \right]$$

dove:

- h_c = altezza di pioggia critica;
- t_c = tempo di corrivazione.

2.8 Stima della massima portata al colmo

In accordo con le indicazioni contenute in “PAI - Linee guida sulle verifiche di compatibilità idraulica delle infrastrutture interferenti con i corsi d'acqua, sugli interventi di manutenzione, sulle procedure per la classificazione delle aree d'attenzione e l'aggiornamento delle aree a rischio inondazione” - par. 2.5 ‘Portate di progetto’ (BUR Calabria 31/10/2002), quale portata di progetto per la caratterizzazione idraulica degli impluvi in esame è stata stimata la massima portata al colmo di piena QT con tempo di ritorno T pari a 50, 200, 500 anni alla sezione di chiusura dei bacini, posta alla foce degli stessi.

Metodo Razionale

Le formule analitiche forniscono la massima portata al colmo di piena in funzione di parametri morfometrici del bacino e della pioggia che genera la piena. Esse costituiscono una semplice forma di bilancio idrologico. Una delle formule maggiormente impiegata è la formula razionale.

Secondo tale metodo analitico, è possibile stimare la massima portata al colmo con determinato tempo di ritorno mediante l'applicazione della formula:

$$Q_T = \frac{C_{ic} S}{3,6} \left[\frac{m^3}{s} \right]$$

dove:

- **C** = coefficiente di riduzione degli afflussi;
- **i_c** (mm/ora) = intensità della pioggia critica (corrispondente al tempo di corrivazione del bacino);
- **S** (km²) = area del bacino;
- **1/3,6 = 0,278** = fattore di conversione delle unità di misura.

Per quanto attiene il coefficiente di riduzione degli afflussi, è stato assunto un valore pari a **0,6**, in funzione dell'uso del suolo a scala di bacino.

Altezza di pioggia critica (T=50 anni)		
Autore	t _c (ore)	h _c (mm)
Giandotti	9.01	157.00
Ventura	6.68	140.27
Pasini	7.80	148.68
Viparelli	2.06	90.04
Pezzoli	7.48	146.37
Puglisi	6.05	135.10
Tournon	7.32	145.21
Kirpich	2.41	95.45
SCS	8.33	152.46
Medio	7.52	134.51

Intensità di pioggia critica (T=50 anni)		
Autore	t _c (ore)	i _c (mm/ora)
Giandotti	9.01	17.43
Ventura	6.68	21.00
Pasini	7.80	19.07
Viparelli	2.06	43.68
Pezzoli	7.48	19.57
Puglisi	6.05	22.34
Tournon	7.32	19.83
Kirpich	2.41	39.67
SCS	8.33	18.29
Medio	7.52	19.65

Altezza di pioggia critica (T=200 anni)		
Autore	t _c (ore)	h _c (mm)
Giandotti	9.01	203.91
Ventura	6.68	182.18
Pasini	7.80	193.10
Viparelli	2.06	116.94
Pezzoli	7.48	190.09
Puglisi	6.05	175.46
Tournon	7.32	188.59
Kirpich	2.41	123.97
SCS	8.33	198.01
Medio	7.52	174.70

Intensità di pioggia critica (T=200 anni)		
Autore	t _c (ore)	i _c (mm/ora)
Giandotti	9.01	22.64
Ventura	6.68	27.27
Pasini	7.80	24.77
Viparelli	2.06	56.74
Pezzoli	7.48	25.42
Puglisi	6.05	29.02
Tournon	7.32	25.75
Kirpich	2.41	51.52
SCS	8.33	23.76
Medio	7.52	25.52

Altezza di pioggia critica (T=500 anni)		
Autore	t _c (ore)	h _c (mm)
Giandotti	9.01	779.69
Ventura	6.68	696.58
Pasini	7.80	738.36
Viparelli	2.06	447.13
Pezzoli	7.48	726.85
Puglisi	6.05	670.90
Tournon	7.32	721.10
Kirpich	2.41	474.02
SCS	8.33	757.14
Medio	7.52	667.97

Intensità di pioggia critica (T=500 anni)		
Autore	t _c (ore)	i _c (mm/ora)
Giandotti	9.01	86.55
Ventura	6.68	104.27
Pasini	7.80	94.70
Viparelli	2.06	216.94
Pezzoli	7.48	97.19
Puglisi	6.05	110.94
Tournon	7.32	98.47
Kirpich	2.41	196.98
SCS	8.33	90.85
Medio	7.52	97.57

Tabella 3. Tempi di corrivazione ed intensità di pioggia critica per i diversi tempi di ritorno

Escludendo i valori di t_c ricavati mediante le relazioni di Viparelli e Kirpich, poiché forniscono risultati molto differenti dagli altri, la portata al colmo è stata stimata in funzione di un tempo di corrivazione medio:

	t_c medio (ore)	Q_c (m^3/s)
T = 50 anni	7.52	61.00
T = 200 anni	7.52	78.00
T = 500 anni	7.52	91.00

Tabella 4. Massima portata al colmo al 1° livello TCEV

	t_c medio (ore)	Q_c (m^3/s)
T = 50 anni	7.52	61.00
T = 200 anni	7.52	79.00
T = 500 anni	7.52	91.00

Tabella 5. Massima portata al colmo al 3° livello TCEV

Dalle tabelle 4 e 5 risulta abbastanza chiaro che i risultati che si ottengono al 1° ed al 3° livello risultano praticamente coincidenti. Pertanto, si ritiene di assumere per i successivi calcoli idraulici, una Q_{200} cautelativamente pari a **80 (m^3/s)**.