

Città di Avola
PROVINCIA DI SIRACUSA



" RIQUALIFICAZIONE DI UN RIPARO PER LA PESCA
IN C.DA FALARIDE "

VISTI :

PROGETTISTA:

Capogruppo R.T.P.:

ARTEC
ARTEC Associati S.r.l

Via Francavilla, 99 - 98039 Taormina (ME)
Tel.: 0942 620071 / Fax: 0909582054
E-mail: artec.associati@gmail.com
PEC: artec@mypec.eu
P.IVA / Cod. Fiscale 02961180839



Mandante R.T.P.:

-Ing. Francesco Brocato
-Ing. Antonino Moschella
-Dott. Rosario Pignatello
-Dott. Geol. Ranieri Santarosa



COMMITTENTE:

Comune di Avola

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Bruno VENTURA

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

03			TITOLO TAVOLA: Studio idrologico - idraulico	TAVOLA N°: C17
02				
01				
NUM.	INTEGRAZIONE	DATA		
DATA:	APR. 2019	ARCHIVIO FILE: / archivio progetti / Artec / H039_Riparo pescatori Avola	SCALA RAPPRESENTAZIONE:	
		ARCHIVIO PROGETTO: Carpetta N° H039 - Avola	Proprietà riservata - L. 633 del 22/04/41	



INDICE

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO IDRAULICO – STATO DI FATTO	1
3	ANALISI IDROLOGICHE BACINO IDROGRAFICO TORRENTE CAVA L'UNICA	7
3.1	Studio idrologico nell'area di interesse	7
3.2	Piogge di progetto – ietogramma di progetto	23
3.3	Modello di formazione del deflusso di piena - Derivazione ietogramma netto di progetto	24
3.4	Modello di trasferimento del deflusso superficiale – Calcolo idrogramma di piena.....	29
4	STUDIO IDRAULICO	33
5	CONCLUSIONI.....	41



1 PREMESSA

Il presente studio idrologico – idraulico, richiesto dall'Assessorato del Territorio e dell'Ambiente – Dipartimento Regionale dell'Ambiente - Area 2 Coordinamento Uffici Territoriali dell'Ambiente – Ufficio Territoriale Ambiente – Siracusa (U.O.B. A.2.5.) con nota prot. N. 20663 del 27.03. 2019, nell'ambito del procedimento di approvazione del progetto esecutivo di riqualificazione del riparo per la pesca in c. da Falaride in Avola, è finalizzato a dimostrare l'assenza di interferenze tra il torrente Cava L'Unica ed il riparo per la pesca oggetto di riqualificazione.

2 INQUADRAMENTO IDRAULICO – STATO DI FATTO

Il riparo per la pesca esistente è limitrofo al torrente Cava L'Unica, la cui area in prossimità della foce è classificata come sito d'attenzione per fenomeni di esondazione nel PAI.

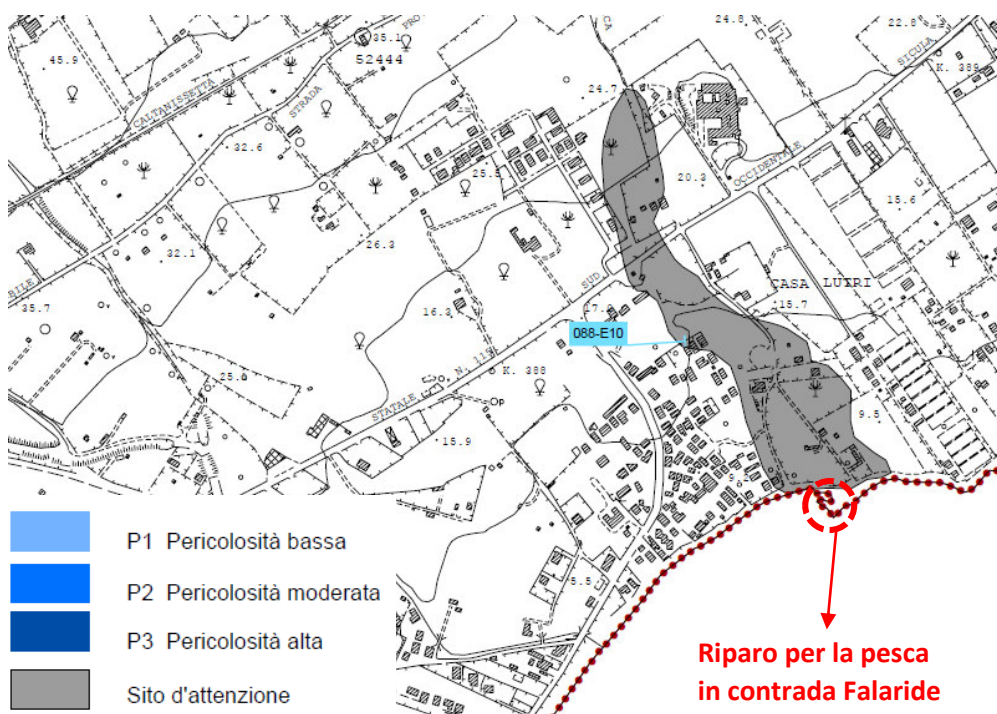


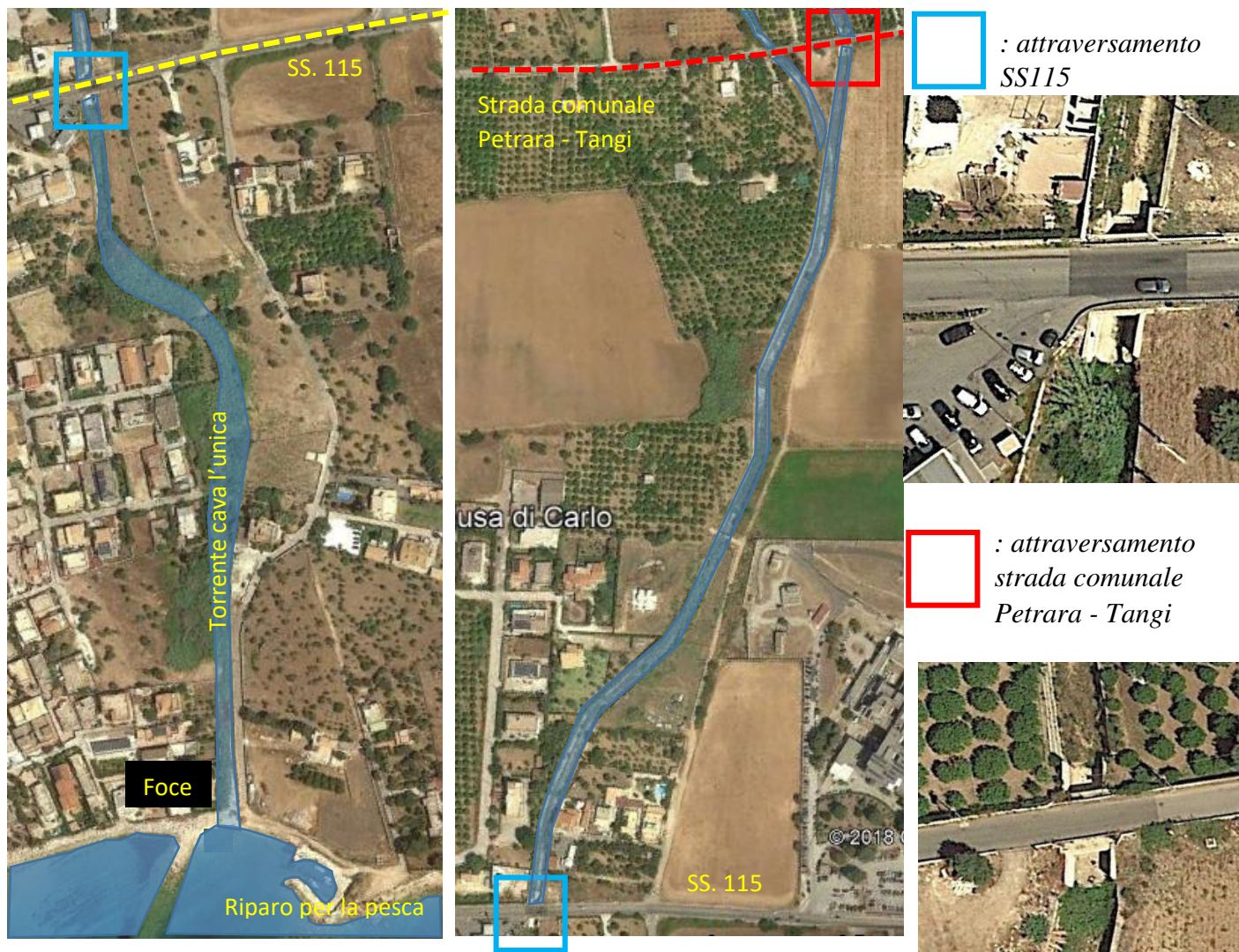
Figura 8.1: PAI frane – Area Terr.le tra bacino del F. Cassibile e il bacino del F. di Noto (Asinaro) (088). Bacino idrografico del Fiume Cassibile (089). Area Terr.le tra il bacino del F. Anapo e il bacino del F.Cassibile (090). – Stralcio TAV 15- Carta della pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione.

Si segnala che il torrente Cava L'Unica è stato già in passato oggetto dei “Lavori di inalveazione torrente Cava L'Unica a difesa ospedale e zona abitata a sud SS 115 – Avola (SR)” a cura dell'Ufficio del Genio Civile di Siracusa, per i quali è riportato a lato il cartiglio con le informazioni salienti del progetto. Il progetto succitato e i conseguenti lavori già conclusi hanno interessato la risagomatura dell'alveo del torrente Cava L'Unica per il tratto compreso tra la strada comunale Petrara - Tangi e la foce, oltre che la realizzazione degli attraversamenti della strada Comunale Petrara – Tangi e della S.S. 115 all'altezza del km 388 + 325 con scotolari in c.a.

Regione Siciliana Assessorato Lavori Pubblici Dipartimento Lavori Pubblici Ufficio del Genio Civile di Siracusa	
Ordinanza Ministero Interno n. 2621 del 01/07/97	
Lavori di inalveazione torrente Cava L'Unica a difesa ospedale e zona abitata a sud SS 115 - Avola (SR) PROGETTO ESECUTIVO	
Oggetto: CALCOLI IDRAULICI	Allegato: 2
Progetto adeguato ed aggiornato ai sensi dell'art.18 della L. n 109/94, come modificato dall'art. 1 comma 7 della L.R. 21.08.2007 n. 20	
IL PROGETTISTA (Fig. A. Messina)	Si esprime parere favorevole in linea tecnica ai sensi dell'art. 5 della L.R. 7/2002 con approvazione di progettazione esecutiva. Prot. n. _____ del _____ Il Responsabile Unico del Procedimento Ing. A. Xibilla



A pagina seguente si riportano delle ortofoto del torrente sino all'asse autostradale, oltre che uno stralcio della planimetria di progetto facente parte del già citato progetto dei "Lavori di inalveazione torrente Cava L'Unica a difesa ospedale e zona abitata a sud SS 115 – Avola (SR)".



Tratto del torrente Cava L'Unica compreso tra la foce e la strada SS 115

Tratto del torrente Cava L'Unica compreso tra la strada SS 115 e la strada comunale Petrarra - Tangi

Sezione torrente Cava L'unica in corrispondenza della foce; sponda in gabbioni realizzata con i lavori di inalveazione del Torrente Cava L'unica a difesa Ospedale e zona abitata a sud SS115 – Avola (SR).





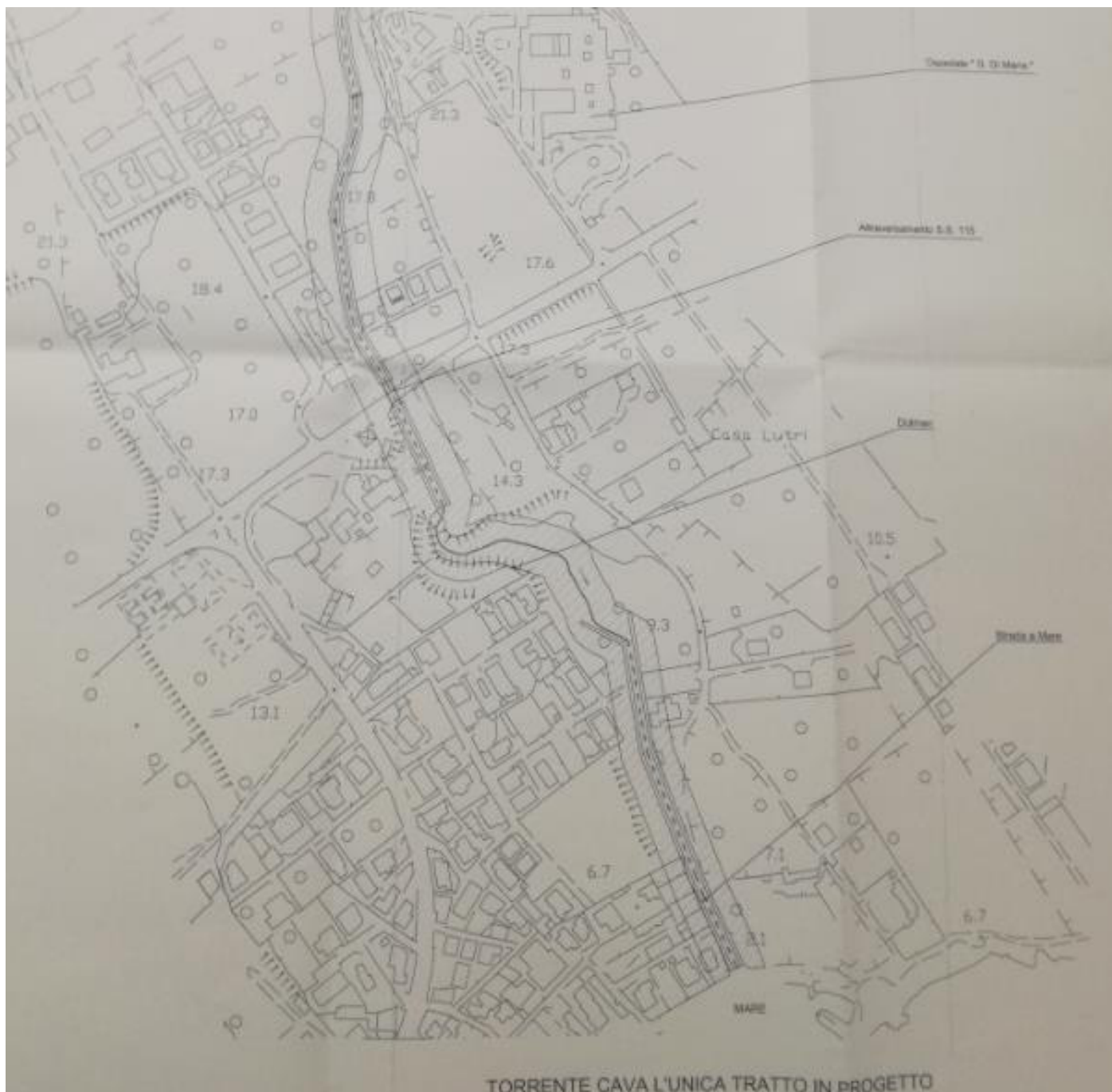
: attraversamenti ferroviari



: attraversamento autostradale



Tratto del torrente Cava L'Unica compreso tra la strada comunale Petrarra-Tangi e l'autostrada.



Stralcio della planimetria di progetto dei “Lavori di inalveazione torrente Cava L’Unica a difesa ospedale e zona abitata a sud SS 115 – Avola (SR)” a cura dell’Ufficio del Genio Civile di Siracusa

Per maggiori dettagli relativi al progetto dei “Lavori di inalveazione torrente Cava L’Unica a difesa ospedale e zona abitata a sud SS 115 – Avola (SR)” si rimanda alla documentazione progettuale depositata presso l’Ufficio del Genio Civile di Siracusa.

Da segnalare che a seguito dell’intervento di inalveazione del torrente Cava L’Unica realizzato dall’Ufficio



del Genio Civile di Siracusa, il Comune di Avola, con nota del 26.06.2018, ha richiesto all'ARTA la declassificazione del livello di pericolosità riportato nel PAI per l'area in oggetto (il PAI come già visto riporta tale area come sito di attenzione per pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione).



CITTÀ DI AVOLA
(Libero Consorzio di Siracusa)

SETTORE III PIANIFICAZIONE URBANISTICA

Avola, 20/06/2018

Prot. n. _31659_/ gen.le

Inviata solo per vie brevi

ASSESSORATO TERRITORIO E DELL'AMBIENTE
DIPARTIMENTO DELL'AMBIENTE
SERVIZIO 5 DEMANIO MARITTIMO
U.O. 55.7 "UFFICIO PERIFERICO DEL DEMANIO
MARITTIMO DI SIRACUSA"
PEC uta_sr@pec.territorioambiente.it
C.A. DOTT.F. MOSCUZZA
Viale Santa Panagia 141/A, 96100 Siracusa

E.p.c

UFFICIO GENIO CIVILE SIRACUSA
VIA BRENTA 77, 96100 SIRACUSA
PEC: geniocivile.sr@certmail.regione.sicilia.it

OGGETTO: Procedura di riclassificazione dei livelli di pericolosità geomorfologica di aree in dissesto identificate nel PAI-Applicazione dell'art. 5 del capitolo 11 delle norme di attuazione del PAI. Zona Cava Unica.
Lavori di inalveazione torrente Cava L'Unica a difesa zona abitata a sud SS 115.

In riferimento:

- ✓ al Piano stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dell'area territoriale tra il bacino del Fiume Cassibile e il Bacino del Fiume Asinaro (088) approvato con D.P.R. n. 533 del 20/09/2006., pubblicato nella G.U.R.S. n. 53 del 17/11/2006 e successivamente aggiornato con D.P. n. 514/Serv.5°/S.G. del 17/11/2015 e pubblicato nella G.U.R.S. n.53 del 18/12/2015;
- ✓ all'art. 5 del capitolo 11 delle Norme di Attuazione della Relazione Generale del (P.A.I.), con cui è possibile integrare e/o modificare su richiesta e/o segnalazione di Enti pubblici e Uffici territoriali i rischi individuati nel P.A.I. a seguito di realizzazione e completamento di interventi strutturali di messa in sicurezza delle aree interessate ed effetti prodotti dalle opere realizzate per la mitigazione del rischio;
- ✓ alla Circolare del 7 maggio 2015, della Regione Sicilia, con la quale si stabilisce la procedura di riclassificazione dei livelli di pericolosità geomorfologica di aree in dissesto identificate nel P.A.I.;

R.T.P.:

ARTEC Associati S.r.l. (Capogruppo mandataria)

Ing. Antonino Moschella, Archeol. Rosario Pignatello, Geol. Ranieri Santarosa, Ing. Francesco Brocato
(Mandanti)



Considerato che l'ufficio del Genio Civile di Siracusa, ha eseguito nella zona interessata della presente il "Progetto dei lavori di inalveazione torrente Cava L'Unica a difesa zona abitata a sud SS 115".

SI CHIEDE

di applicare, al sito di attenzione codice 088-E10 individuato nell'elaborato "CARTA DELLA PERICOLOSITA' IDRAULICA PER FENOMENI DI ESONDAZIONE N° 15" a corredo del PAI dell'Area territoriale tra il bacino del fiume Asinaro e il bacino del fiume Cassibile (088) le procedure di cui all'art. 5 del capitolo 11 delle Norme di Attuazione.

Per quanto sopra, si trasmette in copia, gli elaborati sottoelencati, al fine di adottare i provvedimenti di competenza che si riterrà opportuno.

L'Ufficio del Genio Civile la cui presente viene trasmessa per conoscenza, n.q. di esecutore degli interventi, avrà cura di trasmettere eventuale richiesta di ulteriori elaborati non in possesso dello scrivente.

Allegati:

- Copia del certificato di collaudo amministrativo;
- Copia del certificato di collaudo statico;
- Calcoli idraulici;
- Relazione geologico tecnica;
- Copia della Tavola 15 "Carta della Pericolosità idraulica per fenomeni di esondazione".

Con Ossequi



IL CAPO SETTORE
Dott. Ing. P. Gambuzza
P. Gambuzza

Dettaglio Email

Mittente: ufficiourbanistica@pec.comune.avola.sr.it

Destinatari: uta_sr@pec.territorioambiente.it

Destinatari: geniocivile.sr@certmail.regione.sicilia.it

Data: 20-06-2018 Ora: 8:08 Num. Protocollo: 0031659 Del: 20-06-2018

Oggetto: Prot. N.31659 del 20-06-2018 - Procedura riclassificazione livelli di pericolosità geomorfologica. - Lavori di inalveazione torre Cava L'Unica a difesa zona abitata a sud SS 115

Testo Email



3 ANALISI IDROLOGICHE BACINO IDROGRAFICO TORRENTE CAVA L'UNICA

Prescindendo dalle analisi idrologiche un po' datate già contenute nella relazione idraulica facente parte del progetto dei "Lavori di inalveazione torrente Cava L'Unica a difesa ospedale e zona abitata a sud SS 115 – Avola (SR)" si riportano nel seguito delle nuove analisi idrologiche, eseguite dallo scrivente, aggiornate con gli ultimi dati acquisiti dalla stazione pluviografica di NOTO.

Si procederà dapprima con uno studio idrologico in corrispondenza dell'area in esame, al fine di derivare la curva di probabilità pluviometrica con la quale determinare l'altezza di pioggia per fissato tempo di ritorno; si procederà poi nell'applicare i modelli di formazione del deflusso di piena per determinare lo ietogramma netto di progetto; infine, applicando i modelli di trasferimento del deflusso superficiale, sarà determinato l'idrogramma di piena.

3.1 Studio idrologico nell'area di interesse

Poichè il tasso di precipitazione varia nel tempo in modo assai marcato, l'afflusso idrico rilasciato dal nubifragio, in termini di volume specifico varia notevolmente con la lunghezza dell'intervallo temporale considerato e bisogna studiare quindi la natura di tale variabilità.

Le curve di probabilità pluviometrica forniscono una risposta a questa necessità. Infatti tramite queste è possibile determinare per ogni durata d dell'evento intenso e per ogni probabilità di accadimento l'altezza di pioggia h .

Quando viene prefissato un certo valore di tempo di ritorno, la relazione tra i quantili di fissata durata (e tempo di ritorno) e la durata d descrive la crescita dell'altezza di pioggia temibile al crescere della durata. Questa relazione viene descritta da una curva sul piano (d, h) che prende comunemente il nome di curva di probabilità pluviometrica, in quanto essa segnala il valore di altezza di pioggia rilasciabile da un nubifragio in un intervallo di tempo d , che può venire superato con tempo di ritorno T . La curva di probabilità pluviometrica costituisce il cardine della progettazione dei sistemi soggetti alla sollecitazione delle piogge intense.

Nel presente paragrafo sarà determinata la curva di probabilità pluviometrica relativa ad un tempo di ritorno $T= 300$ anni, a partire dal campione di dati di altezze massime di fissata durata 1, 3, 6, 12, 24 relativi alla stazione pluviometrica di Noto, stazione pluviometrica più vicina all'area in studio.



I parametri della Curva di probabilità pluviometrica sono stati stimati mediante tre modelli statistici:

- a) **Quantili Gumbel**
- b) **Gumbel scala invariante**
- c) **TCEV**

CPP utilizzando la distribuzione di Gumbel

Noti i dati empirici delle altezze di pioggia di fissata durata e massima intensità, si sviluppa il processo di inferenza statistica. Si considera la funzione di distribuzione di probabilità di Gumbel:

$$P(h) = \exp\left[-e^{-a(h-u)}\right]$$

invariante con la durata, dove l'insieme dei parametri a e u che la caratterizzano dipende dalla durata considerata. La distribuzione di probabilità $P(h)$ viene particolarizzata, stimando il valore dei parametri, a partire dalle osservazioni sperimentali delle altezze di pioggia. Questa operazione viene condotta separatamente per ogni durata d_k esaminata, ottenendo così una stima dell'insieme dei parametri della distribuzione per ogni k -esima durata presa in esame. Per un assegnato valore T del tempo di ritorno, invertendo la $P(h)$ si determina il quantile $h_T(d_k)$ che porge la previsione T -ennale per la durata d_k considerata, e questa procedura viene iterata per ognuna delle diverse durate prese in esame.

Tramite l'interpolazione delle previsioni $h_T(d_k)$ si ottiene quindi una relazione tra i valori di h e d_k , che corrisponde alla curva di crescita dell'afflusso meteorico di progetto con la durata (CPP). Questa procedura viene denominata metodo dei quantili regolarizzati, poiché si basa sulla regolarizzazione delle previsioni, a diversa durata, relative a uno specifico quantile. In Italia, come in altri Paesi europei, la curva di crescita a T assegnato sul piano (d, h) viene usualmente interpolata con una legge di potenza del tipo:

$$h_T(d) = a_T d^{n_T}$$

Con la procedura sopra descritta, i parametri a_T e n_T dipendono dallo specifico quantile preso in esame, ossia dal tempo di ritorno considerato.

Naturalmente la distribuzione di probabilità $P(h)$ scelta deve fornire garanzie di affidabilità che possono essere ottenute tramite l'utilizzo di quelli che vengono detti test statistici di adattamento.

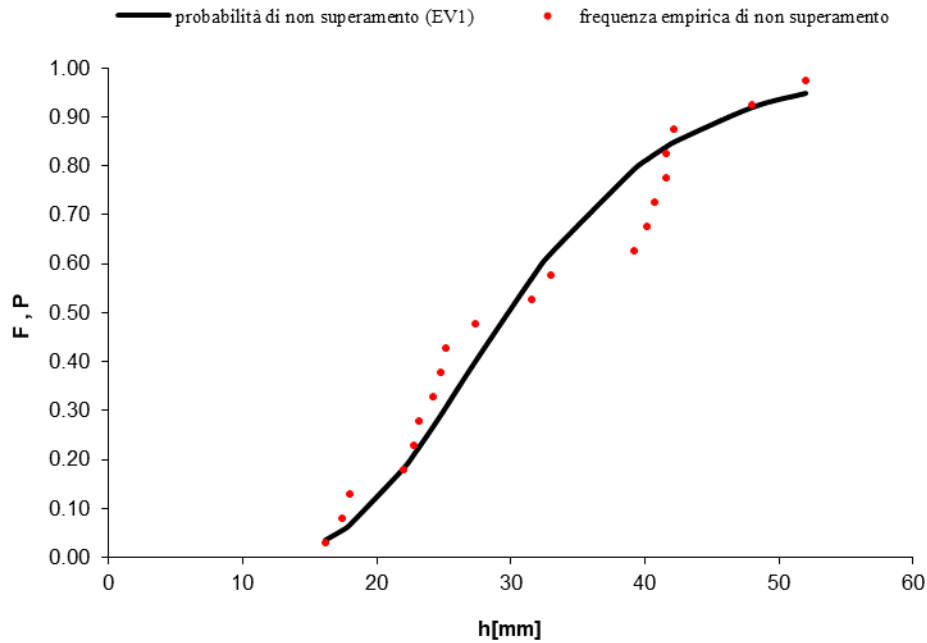
Seguendo la procedura appena enunciata, considerando un tempo di ritorno $T=300$ e i dati empirici delle altezze di massima intensità e fissate durate 1, 3, 6, 12, 24 ore, si è determinata la CPP della stazione Noto:



STAZIONE DI NOTO					
Anno	1h	3h	6h	12h	24h
1942	27.4	35	58.6	67	82.2
1950	48	80	123	159.2	173.6
1952	24.2	34	54	67.4	71.4
1958	52	64.8	84	96.8	103.8
1959	42.2	53.4	53.6	65.8	67.4
1966	40.2	64.6	68	68.8	68.8
1970	25.2	36.8	37.6	39.6	68
1971	23.2	42.4	54	62	64
1973	22.8	31.2	40.4	50.2	53
1974	17.4	20.4	26.6	27.2	35.2
1975	22	33.6	49.2	52	61.2
1976	40.8	62.4	66.6	66.6	68
1978	16.2	27.2	27.4	41.2	43.6
1981	18	22.8	24.2	38	49
1983	24.8	40.8	43.2	62.2	63.6
1985	31.6	45.6	51.6	77.2	101.2
1986	33	64.6	72.6	80.6	87.6
1989	39.2	60	73.8	136	160.6
2002	41.6	41.8	42	42	47.6
2015	41.6	43	43.4	43.4	64



Altezze di massima intensità e durata 1 h

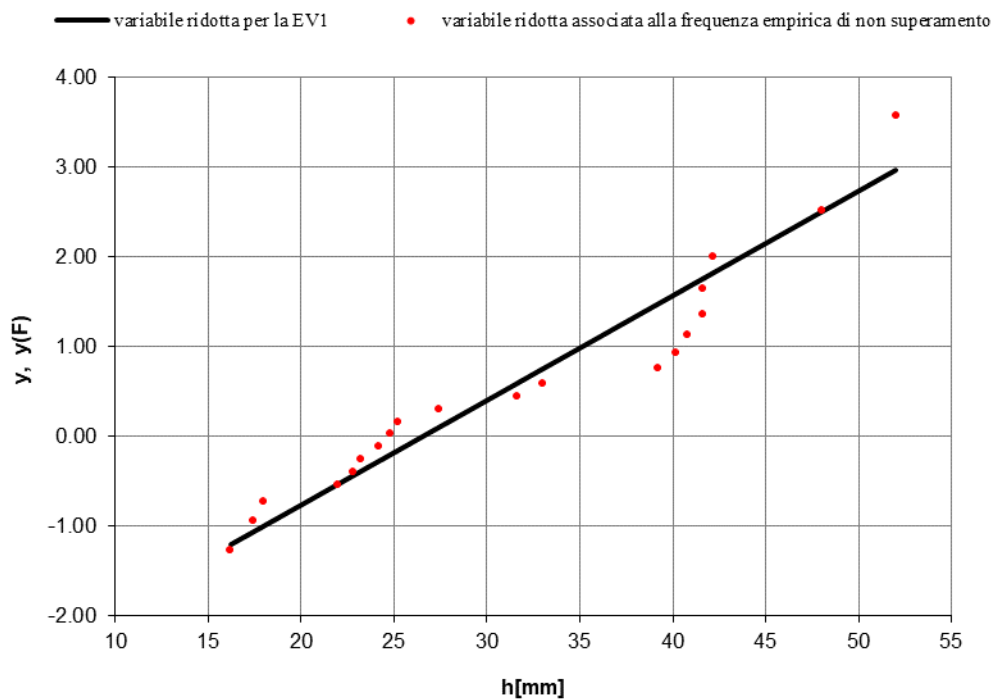


Test statistico di Kolmogorov – Smirnov

$$d \leq D_{N,a}$$

$$D_{N,a} = \frac{1.3581}{\sqrt{N}}$$

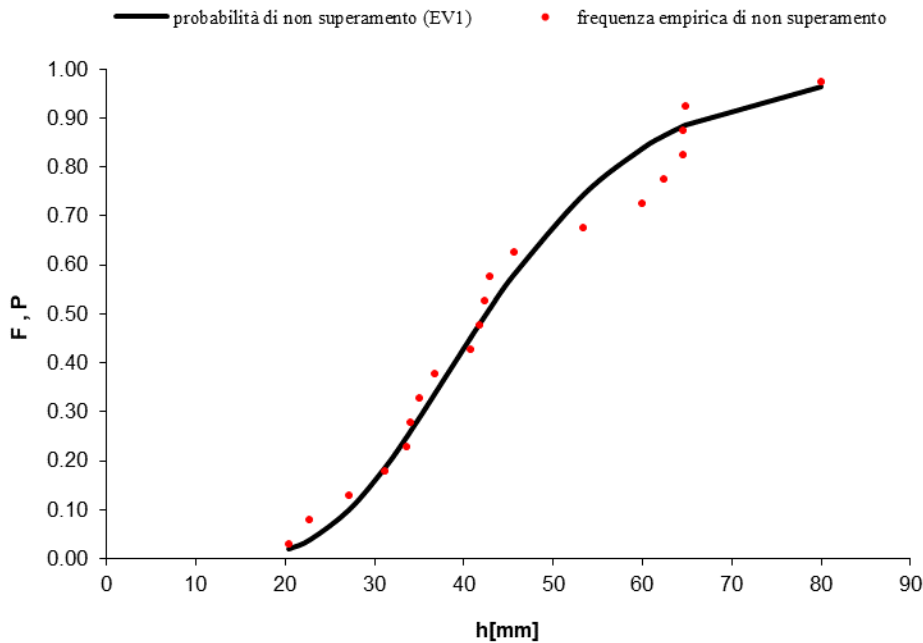
$$d = 0.169 < D_{N,a} = 0.30$$





Altezze di massima intensità e durata 3 h

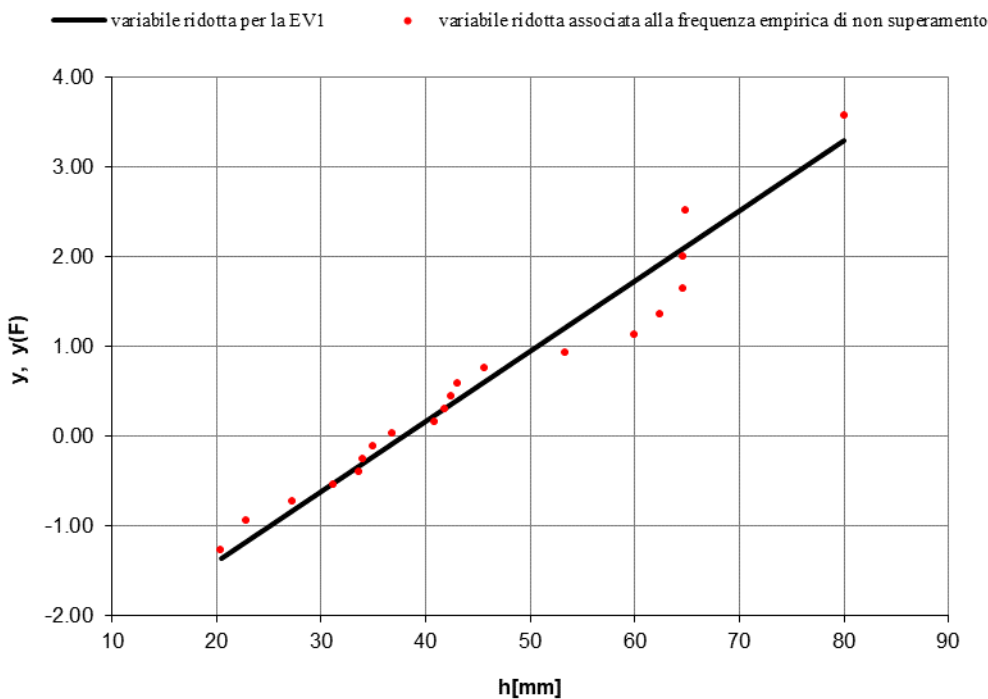
Test statistico di Kolmogorov – Smirnov



$$d \leq D_{N,a}$$

$$D_{N,a} = \frac{1.3581}{\sqrt{N}}$$

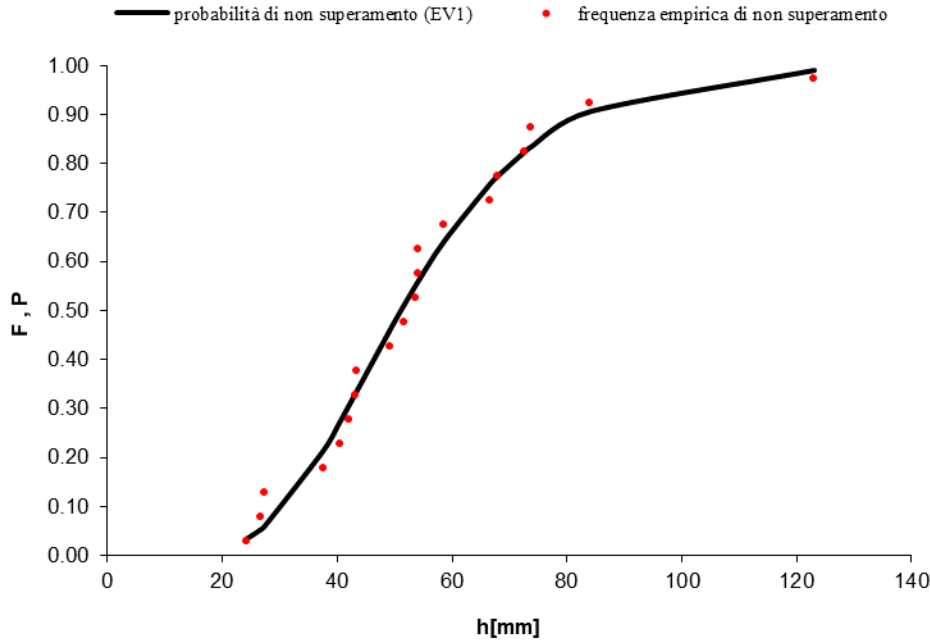
$$d = 0.114 < D_{N,a} = 0.30$$





Altezze di massima intensità e durata 6 h

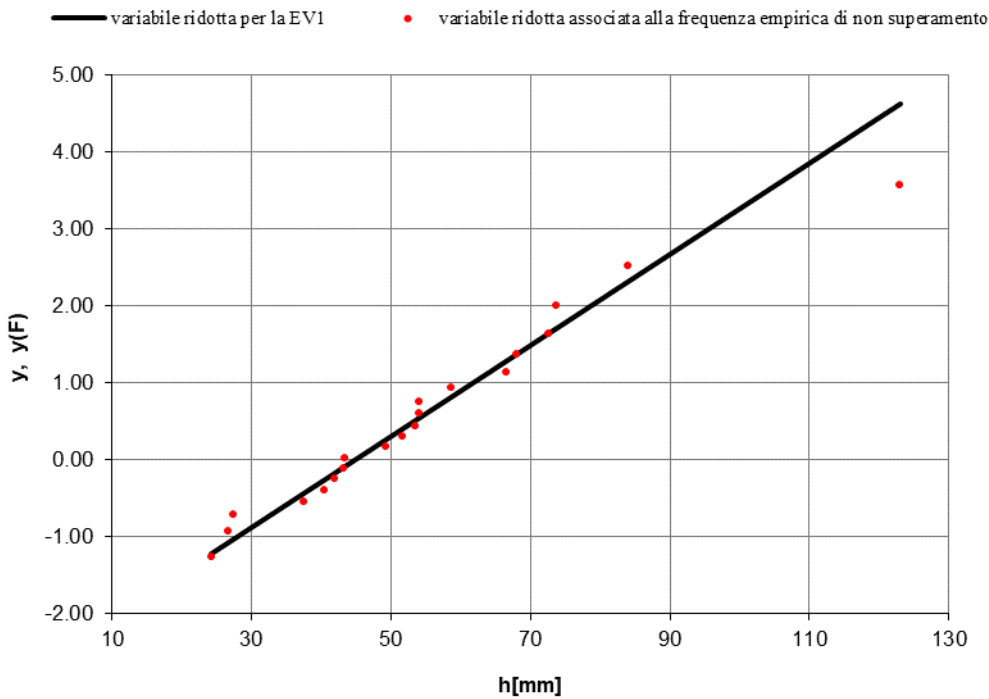
Test statistico di Kolmogorov – Smirnov



$$d \leq D_{N,a}$$

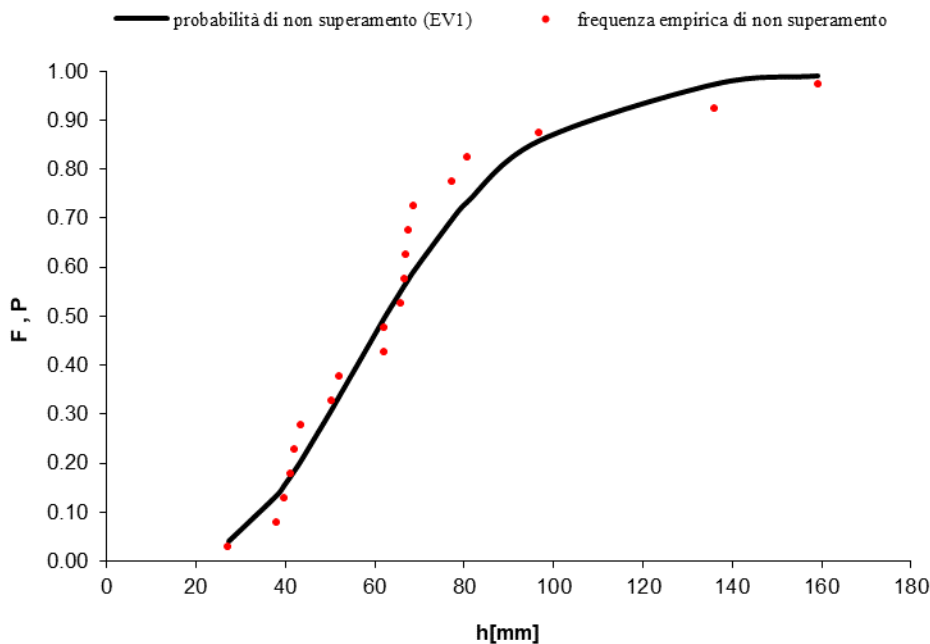
$$D_{N,a} = \frac{1.3581}{\sqrt{N}}$$

$$d = 0.068 < D_{N,a} = 0.30$$





Altezze di massima intensità e durata 12 h

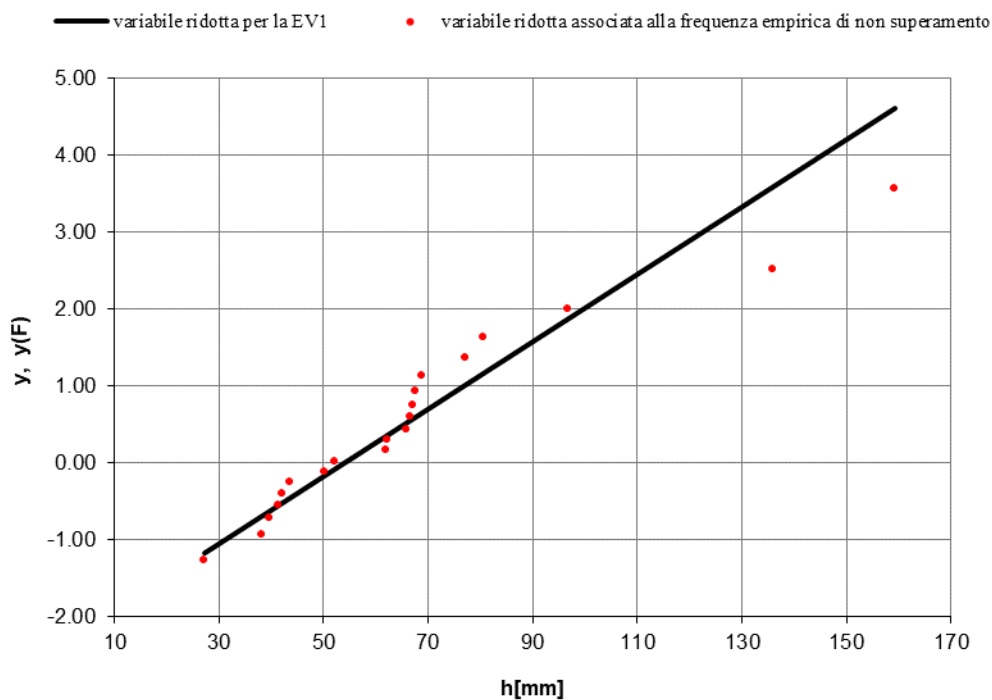


Test statistico di Kolmogorov – Smirnov

$$d \leq D_{N,a}$$

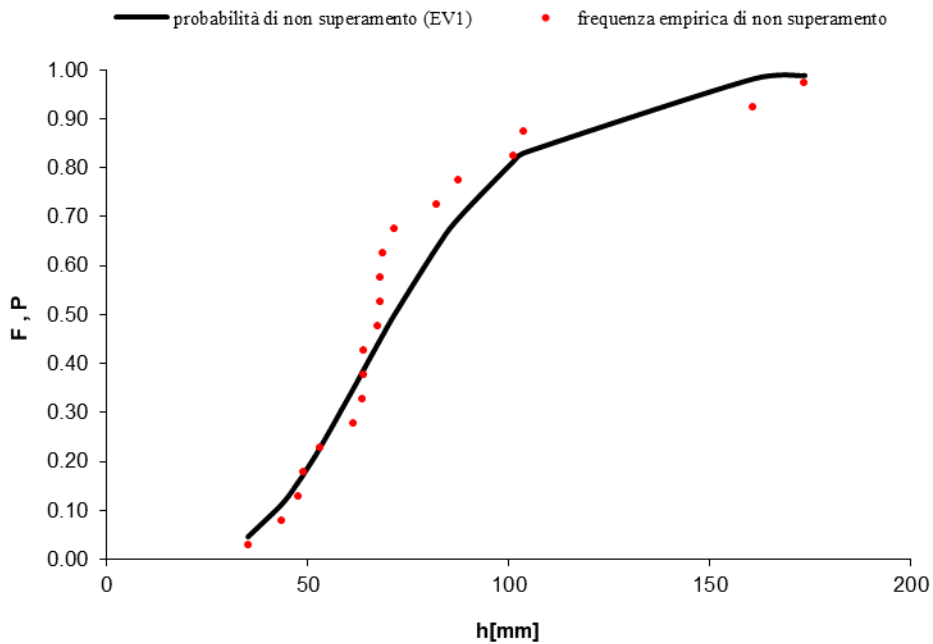
$$D_{N,a} = \frac{1.3581}{\sqrt{N}}$$

$$d = 0.130 < D_{N,a} = 0.30$$





Altezze di massima intensità e durata 24 h

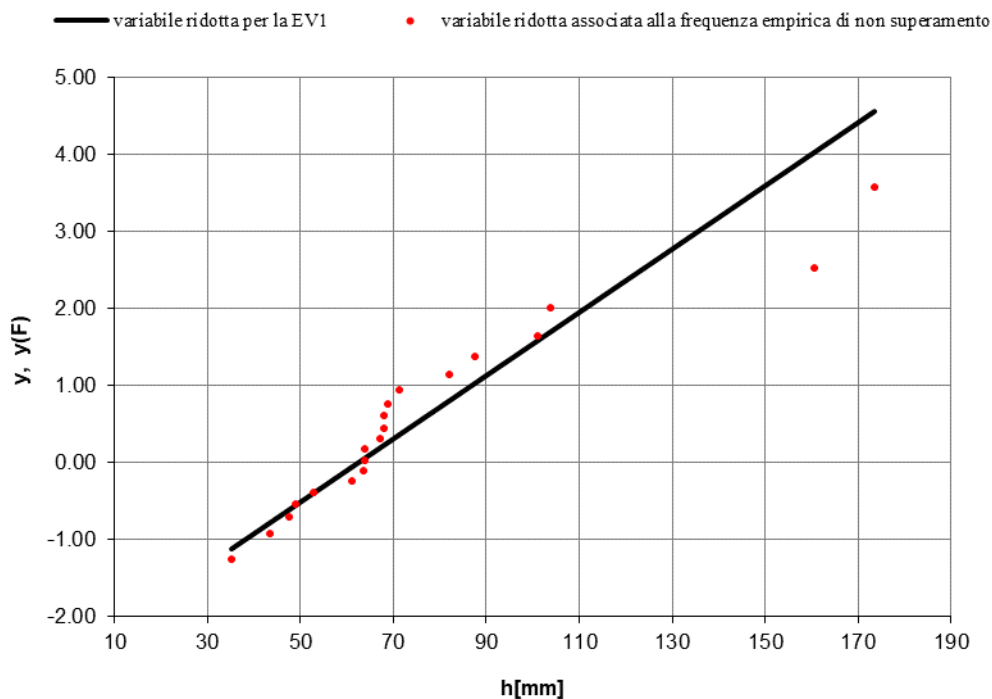


Test statistico di Kolmogorov – Smirnov

$$d \leq D_{N,a}$$

$$D_{N,a} = \frac{1.3581}{\sqrt{N}}$$

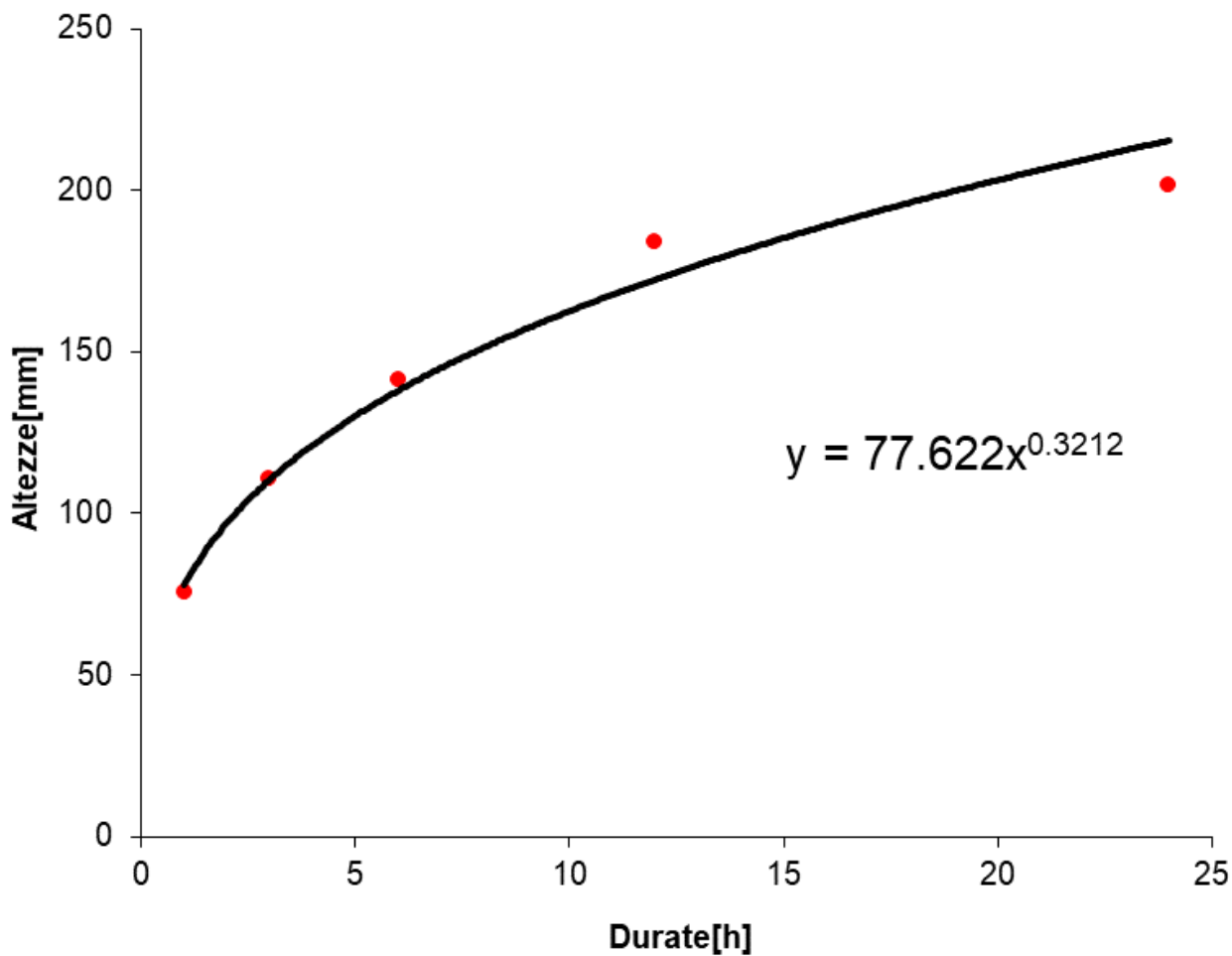
$$d = 0.176 < D_{N,a} = 0.30$$





Curva di probabilità pluviometrica

	Quantili	Durata
h1, 300 =	75.57567	1
h3, 300 =	110.8592	3
h6, 300 =	141.1616	6
h12, 300 =	184.2537	12
h24, 300 =	201.6514	24





Costruzione della CPP utilizzando la Gumbel scala invariante

La legge di potenza $h_T(d) = a_T d^{n_T}$ era già stata introdotta dalle prime analisi quantitative dei nubifragi, che erano state condotte, seguendo un'impostazione puramente deterministica, a cavallo tra il diciannovesimo e il ventesimo secolo. In virtù di questi studi si era potuto stabilire come, in linea di massima, i nubifragi fossero caratterizzati dalla proprietà fisica:

$$\frac{Z(t, \lambda d)}{Z(t, d)} = \lambda^n \quad Z(t, \lambda d): \text{altezza di pioggia al tempo } t \text{ e di durata } d$$

nota come invarianza di scala, dove λ rappresenta un fattore di scala temporale e n un esponente caratteristico del sito esaminato. In termini probabilistici la proprietà di invarianza di scala assume la forma:

$$Z(t, \lambda d) \approx \lambda^n Z(t, d)$$

λ : fattore di scala temporale;

n : esponente caratteristico del processo $i(t)$ [intensità di pioggia];

\approx : uguaglianza in distribuzione di probabilità.

Il processo integrale ottenuto integrando $i(t)$ su una durata pari a λd ha quindi la stessa distribuzione del processo che si ottiene integrando $i(t)$ su una durata d e riscaldando il risultato di un fattore λ^n . Per le altezze di pioggia di massima intensità e fissata durata, la proprietà di invarianza di scala comporta ancora la relazione:

$$h(\lambda d) \approx \lambda^n h(d)$$

\approx : uguaglianza in distribuzione di probabilità.

L'invarianza di scala in termini di probabilità implica sia l'invarianza dei quantili sia dei momenti di ordine qualsiasi:

$$\frac{h(\lambda d)_T}{h(d)_T} = \lambda^n \quad (\text{quantili a probabilità } 1 - 1/T)$$

$$\frac{E(h^r(\lambda d))_T}{E(h^r(d))} = \lambda^{rn} \quad (\text{momento di ordine } r - \text{esimo})$$

Nell'analisi dei fenomeni fisici la proprietà di invarianza di scala non si può applicare al continuo illimitato delle possibili scale, ma ne va verificata la validità all'interno di un ragionevole intervallo di scale.



Il campo di validità dell'autosomiglianza statistica è, in primo luogo, dettato dalla fenomenologia esaminata e della capacità di osservarne sperimentalmente le caratteristiche. In secondo luogo, la proprietà in esame va considerata in relazione al campo di interesse tecnico dei risultati. Indicato allora con $[d_{inf}, d_{sup}]$ l'intervallo di durate, entro il quale la precipitazione in un punto dello spazio si presenta come un fenomeno scala-invariante nel tempo, assunto λ pari al rapporto tra la generica durata d e la durata di riferimento d^* ed assunta paria 1h la durata di riferimento, si può scrivere:

$$h_T(d) = h_T(1) \left(\frac{d}{1} \right)^n$$

dove $h_T(1)$ indica il quantile T-ennale dell'altezza di pioggia per la durata di riferimento.

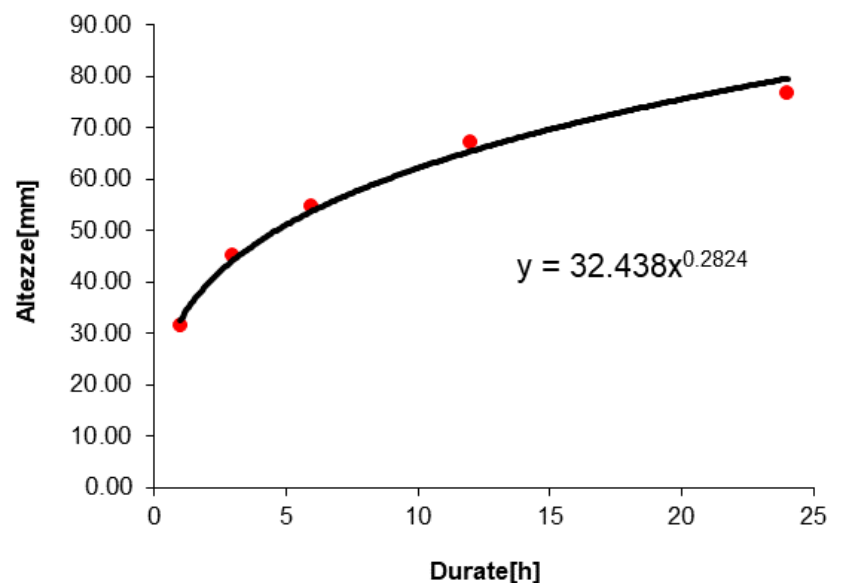
Dalla relazione precedente si osserva che la curva di probabilità pluviometrica risulta espressa da una legge di potenza, il cui esponente n risulta invariante con la durata.

Il valore di n si calcola interpolando i valori delle medie delle altezze di pioggia relative alle varie durate.

Una buona interpolazione è rappresentativa della bontà della scala invariante.

Nel caso in esame:

	media		durata
h_1	31.57		1
h_3	45.22		3
h_6	54.69		6
h_{12}	67.16		12
h_{24}	76.69		24



Utilizzando ancora le relazioni di scala invariante

$$\frac{E[h(\lambda d)]}{E[h(1)]} = \lambda^n = \frac{h_T(\lambda d)}{h_T(1)}$$

$$\frac{h_T(1)}{E[h(1)]} \cong \frac{h_T(\lambda d)}{E[h(\lambda d)]}$$



L'ultima espressione comporta che i campioni normalizzati appartengano tutti alla stessa popolazione.

Introducendo la variabile w (fattore di crescita o quantile normalizzato):

$$w = \frac{h(d)}{E[h(d)]} = \frac{h(1)}{E[h(1)]}$$

$$w_T = \frac{h_T(1)}{E[h(1)]}$$

Sostituendo l'espressione di w_T a $h_T(d)$ si ottiene:

$$h_T(d) = w_T \cdot m_1 \cdot d^n$$

$m_1 = E[h(1)]$: valore atteso della pioggia massima annuale per la durata di riferimento (1h);

w_T : rappresenta il fattore di crescita in probabilità, in quanto esso dipende dal tempo di ritorno T e dalla distribuzione di probabilità scelta per rappresentare la variabile normalizzata w a media unitaria $E[h]=1$;

n : rappresenta l'esponente di scala con cui la variabilità del fenomeno si trasmette dalla scala temporale di riferimento alle altre scale temporali.

Assumendo la distribuzione di probabilità di Gumbel scala invariante:

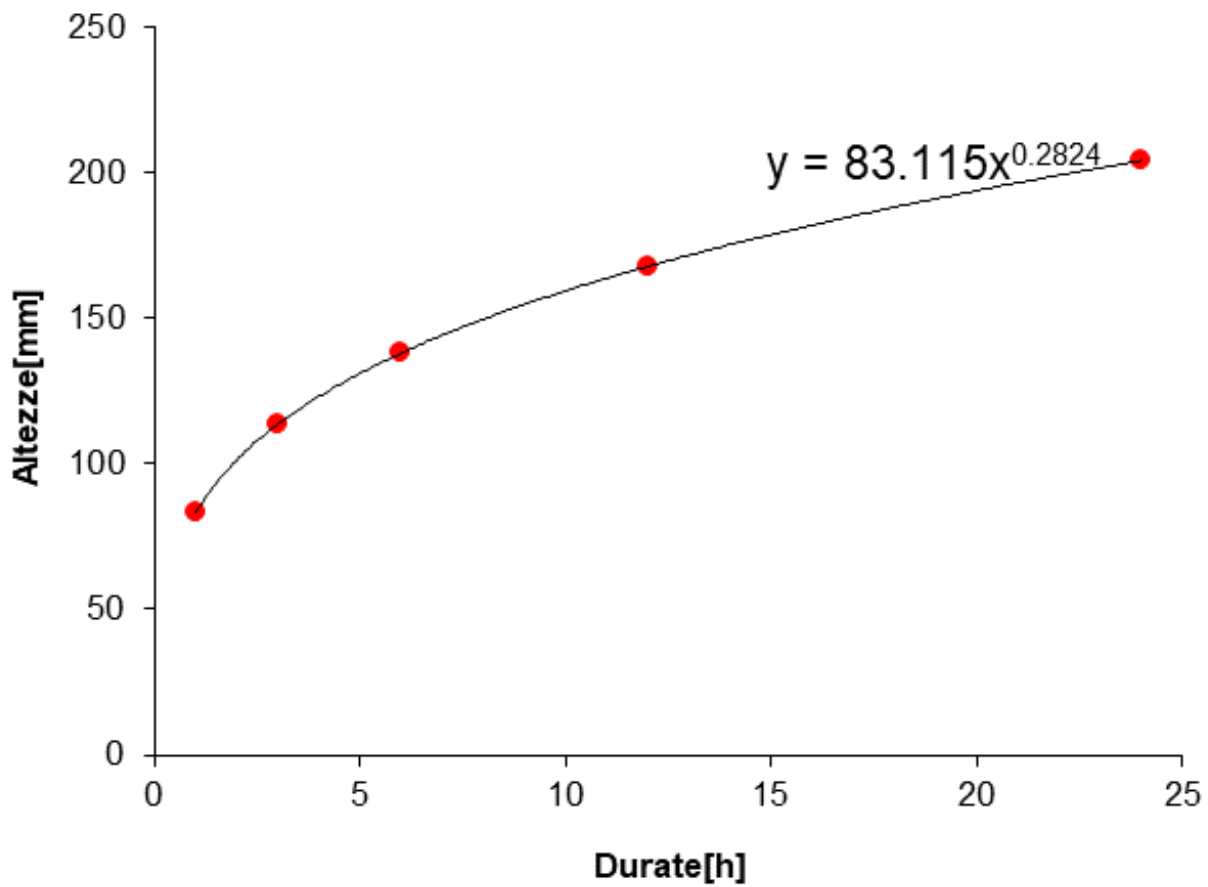
$$w_T = 1 - CV \left\{ 0.45 + 0.779 \ln \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right] \right\}$$

Essendo CV il coefficiente di variazione (indipendentemente dalla durata), valutato in base ai dati normalizzati.

Per il caso in esame:

$$CV = \frac{\sigma(h_n)}{\mu(h_n)} = 0.409 \quad h_n: \text{altezze di pioggia normalizzate}$$

$$w_T = 2.63 \quad m_1 = 31.57$$





TCVEV

L'analisi regionale (con la TCEV) ha il vantaggio che può essere applicata anche in punti in cui non sono disponibili le stazioni di misura e dunque i dati empirici. L'analisi regionale si basa su 3 livelli di regionalizzazione, ognuno dei quali ipotizza che siano costanti alcuni parametri della legge. Il primo livello di regionalizzazione definisce una regione omogenea, ovvero una regione geografica all'interno della quale una legge di probabilità di una determinata variabile (le altezze di pioggia in questo caso) si mantiene costante a meno di un fattore di scala $\mu(h_t)$ (che rappresenta la legge interpolante delle medie delle altezze di pioggia di massima intensità e fissata durata. Utilizzando la TCEV la legge di distribuzione assume la forma:

$$P(h) = \exp\left(-\lambda_1 \exp\left(\frac{-h}{g_1}\right) - \lambda_2 \exp\left(\frac{-h}{g_2}\right)\right) \quad [1]$$

λ_1, λ_2 : numero medio di eventi delle due componenti di base e straordinaria;

g_1, g_2 : medie degli eventi appartenenti a ciascun componente.

La [1] può scriversi nella forma:

$$P(x') = \exp\left(-\Lambda_1 \exp(a)^{-x} - \Lambda^* \Lambda_1^{1/\Theta^*} \exp\left(\frac{a}{\Theta^*}\right)\right)^{-x} \quad [2]$$

$$\Theta^* = \frac{g_2}{g_1}$$

$$\Lambda^* = \lambda_2 / (\Lambda_1)^{1/\Theta^*}$$

$$a = \frac{\mu(h_t)}{g_1}$$

Λ_1 : media aritmetica dei valori di λ_1 che competono alle singole stazioni ricadenti nella sottozona;

Λ^* e Θ^* sono costanti nell'ambito regionale e sono funzioni della durata:

$$\Lambda^* = 0.175t^{0.301}$$

$$\Theta^* = 1.95 + 0.0284t$$



Λ_1 e a dipendono invece dalla sottozona omogena (secondo livello di regionalizzazione):

sottozona C (nel caso in esame)



$$\Lambda_1 = 11.96 \cdot t^{0.0960}$$

$$a = 3.3081 \cdot t^{0.0765}$$

La variabile $x' = h_{t,T} / \mu(h_t)$ si chiama fattore di crescita e rappresenta la variabilità relativa degli eventi estremi a diversi tempi di ritorno. Dal momento che tutte le caratteristiche geologiche, geometriche, morfologiche e climatiche possono essere raggruppate dalla media dei quantili allora il fattore di crescita, statisticamente parlando, dipende dalla regione nella quale si sta facendo l'analisi.

Nella [2] non è esplicitabile il fattore di crescita, per cui il VAPI fornisce i fattori di crescita, ovvero i quantili, mediante forme interpolanti che valgono per T superiori a 10 anni:

$$x'_{t,T} = 0.5015 - 0.003516t + (0.0003720t^2 + 0.00102t + 1.0101)\log T .$$

Nota la sottozona e il tempo di ritorno, dalle espressioni interpolanti otteniamo il fattore di crescita (che per le piogge è funzione della durata e del tempo di ritorno).

Al terzo livello di regionalizzazione, al fine di individuare i quantili per fissata durata e tempo di ritorno, occorre conoscere la media delle altezze di pioggia di massima intensità e fissata durata.



Alla media di dà la forma della curva di probabilità pluviometrica, con differenti coefficienti a e n che non sono funzioni del tempo di ritorno:

$$\mu(h_t) = at^n$$

La legge che lega i quantili di fissata durata e tempo di ritorno alla durata è espressa da:

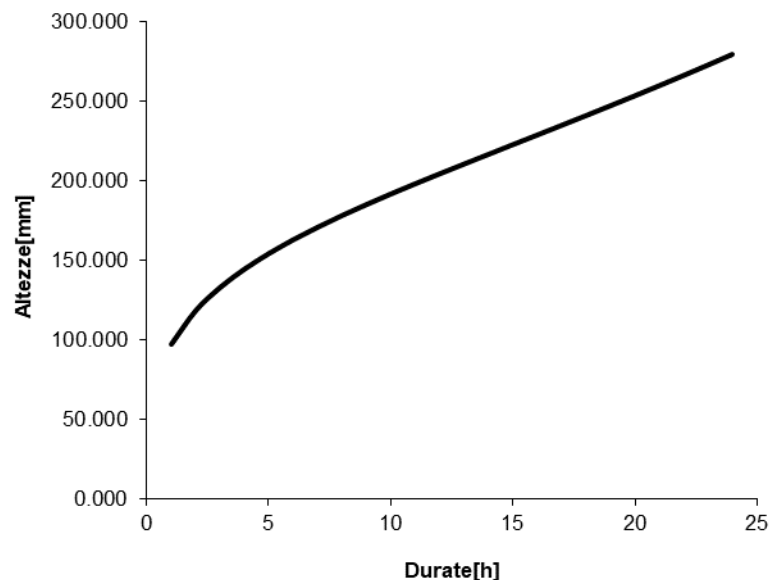
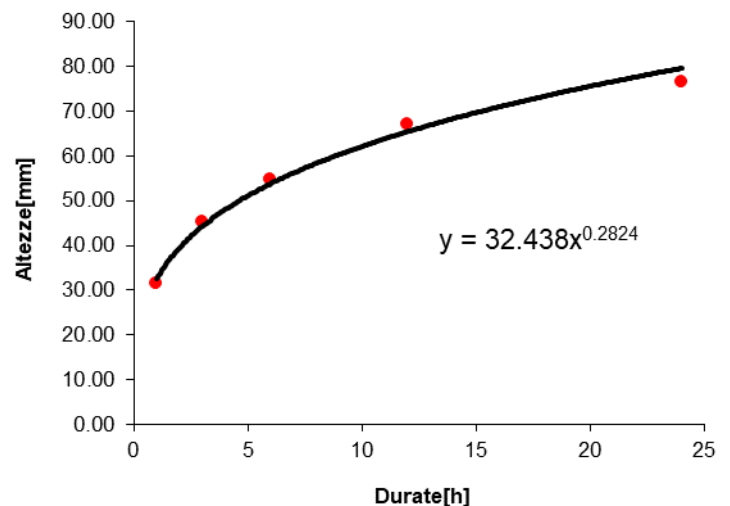
$$h_{t,T} = a't^{n'} \Rightarrow h_{t,T} = (x'_{t,T} \cdot a) \cdot t^n \Rightarrow CPP$$

$x'_{t,T}$: fattore di crescita dipendente dalla durata.

Il fattore di crescita per la definizione di scala invariante è indipendente dalla durata, mentre in questo caso esso dipende dalla durata; questa incompatibilità è legata al fatto che in carenza di dati si verifica la dissipazione statistica, per cui le proprietà di invarianza di scala si dissipano a causa della carenza di dati.

Nel caso in esame:

t(ore)	x't,T	$\mu(ht)$	ht,T
1	3.004	32.438	97.430
2	3.005	39.452	118.566
3	3.009	44.238	133.110
4	3.014	47.982	144.637
5	3.022	51.103	154.418
6	3.031	53.803	163.069
7	3.042	56.197	170.943
8	3.055	58.356	178.261
9	3.069	60.330	185.175
10	3.086	62.152	191.794
11	3.104	63.847	198.199
12	3.124	65.436	204.451
13	3.147	66.932	210.601
14	3.170	68.347	216.688
15	3.196	69.692	222.745
16	3.224	70.974	228.799
17	3.253	72.199	234.874
18	3.284	73.374	240.990
19	3.318	74.503	247.164
20	3.352	75.590	253.412
21	3.389	76.639	259.747
22	3.428	77.652	266.182
23	3.468	78.633	272.728
24	3.511	79.584	279.393





3.2 Piogge di progetto – ietogramma di progetto

Tutti i modelli afflussi – deflussi trasformano una successione temporale di afflussi (rappresentata da una sola serie pluviometrica o da più serie distribuite sul bacino imbrifero) in una successione temporale di deflussi nella sezione di chiusura dello stesso bacino. Le serie pluviometriche possono essere costituite da:

- Ietogrammi isolati, relativi a singoli eventi;
- Serie temporali continue, comprendenti numerosi eventi di pioggia separati da periodi di tempo asciutto;
- Serie spazio – temporali continue.

Le serie pluviometriche continue sono impiegate nei modelli a simulazione continua, che includono anche un algoritmo per la valutazione dell'essiccamento del terreno nei periodi di tempo asciutto. Gli ietogrammi e le serie continue possono essere:

- Storici, ossia costituiti dalle effettive registrazioni pluviometriche,
- Sintetici, ossia costruiti secondo schemi concettuali di diversa natura.

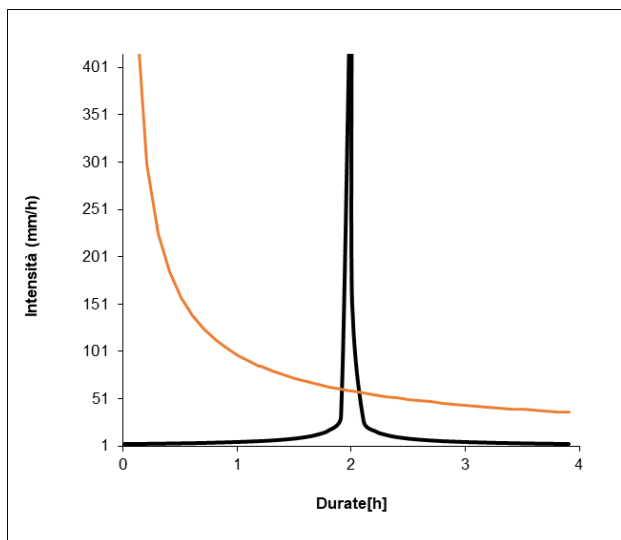
Nei problemi di dimensionamento o nella verifica in condizioni estreme del comportamento di un'opera esistente, si ricorre al tracciamento di ietogrammi sintetici. Nel caso in esame si è fatto riferimento ad uno ietogramma sintetico di progetto di tipo “Chicago”. Nella sua forma generale lo ietogramma *Chicago* ha il picco a un generico tempo t_r minore della durata complessiva t_p dell'evento di pioggia. La caratteristica dello ietogramma *Chicago* è che esso restituisce per una durata qualsiasi dell'evento (purché inferiore a t_p) un massimo dell'intensità di pioggia uguale a quello fornito dalla curva di probabilità pluviometrica.

Le espressioni dello ietogramma *Chicago* sono:

$$i(t) = na \frac{(t_r - t)^{n-1}}{r^{n-1}} \quad \text{per } t < t_r \quad t_r = r \times t_p$$

$$i(t) = na \frac{(t - t_r)^{n-1}}{(1-r)^{n-1}} \quad \text{per } t > t_r$$

$$i(t) = a(\Delta t)^{n-1} \quad \text{per } t = t_r$$



tr (tempo del picco)	2
tc (durata complessiva)	4
$r = tr / tc$	0.5
n	0.2824
a	32.438

Nella figura in alto a sinistra confronto tra lo ietogramma Chicago di durata $t_c = 4$ h e posizione del picco centrata, e l'intensità di pioggia ricavata dalla CPP -TCEV.

Lo ietogramma Chicago rappresenta una pioggia critica per tutte le durate, nel senso che a tutte le durate corrisponde la stessa probabilità cumulata. Quindi nel dimensionamento di un'opera idraulica è possibile utilizzare lo stesso

ietogramma Chicago per le varie sezioni, prescindendo dalla durata critica associata ad ogni sezione.

t(ore)	x't,T	μ (ht)	ht,T	it,T	it,T
0.01	3.00363038	8.835967	26.53998	2653.998	3.39971624
0.11	3.0035425	17.39175	52.23687	474.8806	3.52785435
0.21	3.00347306	20.87607	62.70072	298.5749	3.66819405
0.31	3.00342204	23.30315	69.98919	225.7716	3.8226817
0.41	3.00338945	25.21763	75.73836	184.7277	3.99371492
0.51	3.0033753	26.82081	80.55296	157.947	4.18428416
0.61	3.00337957	28.21183	84.73083	138.903	4.39817207
0.71	3.00340227	29.44757	88.44289	124.5675	4.64024019
0.81	3.00344341	30.564	91.79725	113.3299	4.91685202
0.91	3.00350297	31.58547	94.86706	104.2495	5.23651536
1.01	3.00358096	32.52928	97.70432	96.73695	5.61089086
1.11	3.00367738	33.40822	100.3475	90.40315	6.05643929
1.198	3.00377748	34.13581	102.5364	85.58964	6.52625607
1.21	3.00379223	34.23203	102.8259	84.98009	6.59724232
1.31	3.00392552	35.00834	105.1624	80.27667	7.27011916
1.41	3.00407723	35.74321	107.3754	76.15274	8.13460058
1.51	3.00424737	36.44158	109.4795	72.50299	9.29426241
1.61	3.00443594	37.1075	111.4871	69.24665	10.9484257
1.71	3.00464294	37.74437	113.4084	66.32067	13.5420008
1.81	3.00486837	38.35505	115.2519	63.67506	18.3428178
1.91	3.00511223	38.94197	117.025	61.26962	31.357051
1.998	3.00534207	39.44048	118.5321	59.3254	481.593384
2.01	3.00537452	39.50724	118.734	59.07166	151.739845
2.11	3.00565524	40.05267	120.3845	57.05427	27.1516512
2.21	3.00595439	40.57985	121.9812	55.1951	17.0716332
2.31	3.00627197	41.09018	123.5283	53.47544	12.9091749
2.41	3.00660798	41.5849	125.0295	51.87946	10.562481
2.51	3.00696242	42.0651	126.4882	50.3937	9.03123782
2.61	3.00733529	42.53176	127.9073	49.00661	7.94231207
2.71	3.00772659	42.98576	129.2894	47.70827	7.12256868
2.81	3.00813631	43.42789	130.637	46.49004	6.47993706
2.91	3.00856447	43.85887	131.9522	45.34441	5.96062135
3.01	3.00901106	44.27935	133.2371	44.2648	5.53093582
3.11	3.00947608	44.68992	134.4933	43.24542	5.16863504
3.21	3.00995953	45.09113	135.7225	42.28114	4.85839538
3.31	3.0104614	45.48346	136.9262	41.36743	4.58929268
3.41	3.01098171	45.86738	138.1058	40.50024	4.35331408
3.51	3.01152045	46.2433	139.2626	39.67597	4.14443926
3.61	3.01207761	46.61161	140.3978	38.89135	3.95805102
3.71	3.01265321	46.97267	141.5124	38.1435	3.79054475
3.81	3.01324724	47.32682	142.6074	37.42976	3.63906231
3.91	3.01385969	47.67435	143.6838	36.74778	3.5013062
4	3.01442666	47.98172	144.6374	36.15934	3.38750942

3.3 Modello di formazione del deflusso di piena - Derivazione ietogramma netto di progetto

I modelli di formazione del deflusso superficiale permettono di depurare lo ietogramma delle piogge lorde $i(t)$ dagli effetti dell'intercettazione da parte della copertura vegetale, della detenzione superficiale nei piccoli invasi naturali, dell'infiltrazione del terreno e dell'effetto di saturazione dello stesso, per valutare l'intensità di pioggia netta $p(t)$ che contribuisce al deflusso di piena.



Per quanto riguarda la scelta del modello di formazione del deflusso di piena, la scelta è ricaduta su di un modello empirico a base fisica che si presta ad un utilizzo con dati spazialmente distribuiti: il metodo **Curve Number** (CN – SCS= del Soil Conservation Center (U.S. Dept. Agric., Soil Conservation Service, 1972).

Tale metodo assume che, in un evento di piena, il volume specifico del deflusso superficiale P, sia proporzionale a quello precipitato I, depurato dall'assorbimento iniziale I_a , in ragione del rapporto tra volume specifico infiltrato F, e un volume specifico S, che caratterizza la massima ritenzione potenziale del terreno.

$$P = (I - I_a)F / S$$

Sostituendo ad F 'espressione ottenuta dall'equazione di continuità:

$$F = I - I_a - P$$

Si ottiene la relazione che fornisce il deflusso superficiale P.

$$P = \frac{(I - I_a)^2}{I - I_a + S}$$

Il parametro S dipende fundamentalmente dalla combinazione di due fattori: la natura geopedologica del terreno e l'uso/copertura del suolo. L'effetto combinato di questi due fattori viene rappresentato globalmente dal parametro adimensionale CN, detto appunto curve number.

Il Curve Number è un parametro adimensionale decrescente in funzione di S, che rappresenta una soglia superiore di saturazione detta volume specifico di massima ritenzione potenziale del suolo, cioè il volume idrico immagazzinabile a saturazione nel terreno:

$$CN = \frac{100}{\left(1 + \frac{S}{S_o}\right)} \quad \text{So} = 254 \text{ (fattore di scala dell'unità di misura)}$$

La determinazione del Curve Number è ottenuta in base al grado di umidità del terreno prima dell'evento meteorico esaminato, alla possibilità di infiltrazione nel suolo, all'uso del suolo, e alle condizioni di drenaggio.

Il suo valore è compreso tra 0 e 100 ed è diffusamente tabulato specialmente nella letteratura scientifica americana come frutto dell'analisi di molti esempi applicativi. Nell'applicazione del metodo sono previste



tre classi, rispettivamente la I, la II e la III, del grado di umidità del terreno, in funzione dell'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento esaminato (*antecedent moisture condition*) [AMC I: asciutto, AMC II: umido, AMC III: fortemente imbibito].

Poiché lo studio è rivolto al calcolo della portata di piena e considerato che in occasione di quest'ultime molto spesso il terreno del bacino in questione si presenta in condizioni di elevato imbibimento, si è preferito adottare il valore di CN corrispondente alla classe AMC – tipo III:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{(0.43 + 0.0057CN_{II})} \text{ essendo in questo caso } CN_{II} = 71$$

Valori del parametro CN (adimensionale)	Tipo idrologico Suolo			
	A	B	C	D
↓ Tipologia di Uso del Territorio				
Terreni coltivati, in presenza di pratiche di conservazione del suolo*	62*	71*	78*	81*
Terreni coltivati, in assenza di pratiche di conservazione del suolo*	72*	81*	88*	91*
Prati	≤30*	58*	71*	78*
Boschi, in presenza di copertura rada e senza sottobosco*	45*	66*	77*	83*
Boschi e foreste, in presenza di copertura fitta e con sottobosco*	25*	55*	70*	77*
Spazi aperti con manto erboso superiore al 75% dell'area	39	61	74	80
Spazi aperti con manto erboso compreso tra il 50 ed il 75% dell'area	49	69	79	84
Spazi aperti con manto erboso inferiore al 50% dell'area	68	79	86	89
Zone industriali (area impermeabile 72%)	81	88	91	93
Zone commerciali e industriali (area impermeabile 85%)	89	92	94	95
Zone residenziali, lotti fino a 500 m ² (area impermeabile 65%)	77	85	90	92
Zone residenziali, lotti di 500÷1000 m ² (area impermeabile 38%)	61	75	83	87
Zone residenziali, lotti di 1000÷1500 m ² (area impermeabile 30%)	57	72	81	86
Zone residenziali, lotti di 1500÷2000 m ² (area impermeabile 25%)	54	70	80	85
Zone residenziali, lotti di 2000÷5000 m ² (area impermeabile 20%)	51	68	79	84
Zone residenziali, lotti di 5000÷10000 m ² (area impermeabile 12%)	46	65	77	82
Parcheggi, tetti, autostrade, ..	98	98	98	98
Strade pavimentate o asfaltate, dotate di drenaggio	98	98	98	98
Strade con letto in ghiaia	76	85	89	91
Strade battute in terra	72	82	87	89

Valori del parametro CN per i diversi tipi di suolo A, B, C, D e per AMC di classe II. Suolo tipo A: scarsa potenzialità di deflusso (comprende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde, molto permeabili). Suolo tipo B: potenzialità di deflusso moderatamente bassa (comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione). Suolo tipo 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 d'infiltrazione a saturazione). Suolo di tipo 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 della superficie).



Il metodo di depurazione della pioggia noto come *Curve Number* proposto dal SCS consente di calcolare il volume di pioggia defluito nella sezione di chiusura del bacino sulla base dell'espressione:

$$h_n = h - I_a - F \quad \text{se} \quad h > (I_a + F)$$

$$h_n = 0 \quad \text{se} \quad h < (I_a + F)$$

Essendo:

h_n [mm]: volume specifico complessivamente defluito durante l'evento:

$I_a = 0.2S$ [mm]: volume specifico di imbibizione dovuto all'intercettazione da parte della vegetazione, all'accumulo nelle depressioni superficiali, all'imbibizione iniziale del terreno;

F: volume specifico di infiltrazione.

La determinazione di S viene effettuata sulla base della relazione:

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right), \text{ essendo in questo caso } CN = CN_{III}$$

$$F = S \frac{(h - 0.2S)}{(h + 0.8S)} \quad h > 0.2S$$

t	$I_{media}(t_{i+1}-t_i)$	h(t)	Ia	F	$h_n(t)$ [T=300]	$I_{n, media}(t_{i+1}-t_i)$
0	0	0	0	0	0	0
0.5	12.07612	80.10376	8.922197	27.42387	43.75769	11.26177
1	15.55657	97.42988	8.922197	29.66087	58.84682	14.31789
1.5	23.68749	109.2736	8.922197	30.88232	69.4691	21.24458
2	160.2075	118.5659	8.922197	31.70933	77.93432	87.51538
2.5	34.65224	126.3441	8.922197	32.32867	85.09327	30.17825
3	18.58446	133.1099	8.922197	32.82096	91.36673	16.93044
3.5	13.53151	139.148	8.922197	33.22814	96.99762	12.54692
4	10.97885	144.6374	8.922197	33.57465	102.1405	10.28583

$I_{media}(t_{i+1}-t_i)$: intensità di pioggia media che si realizza nell'intervallo Δt , ricavata dallo ietogramma Chicago discretizzato.

$h(t) = \sum i_m \Delta t$: altezze di pioggia;

h_n : altezze di pioggia netta;

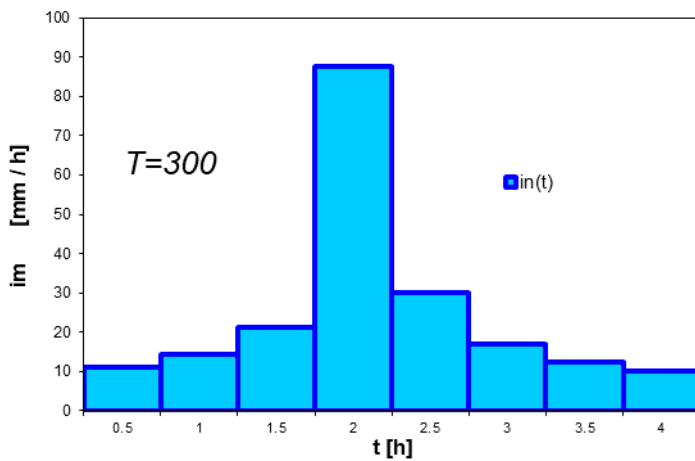
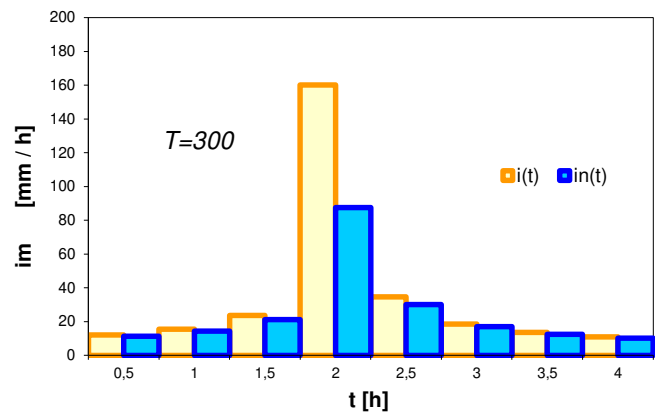
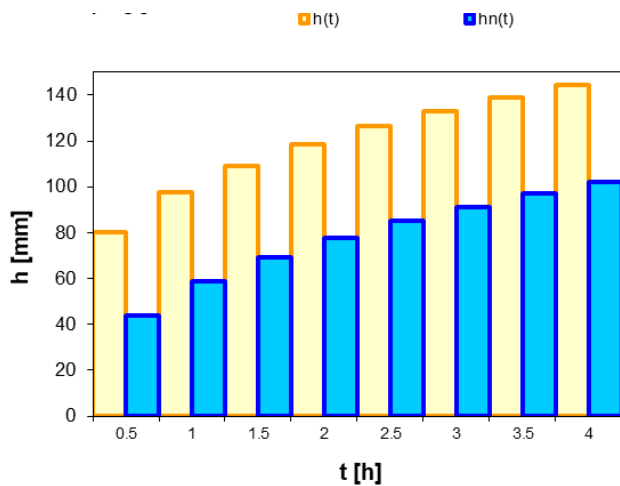


$$i_{n\ media}(t_{i+1} - t_i) = \frac{(h_n(t_{i+1}) - h_n(t_i))}{(t_{i+1} - t_i)} : \text{intensità di pioggia media netta che si realizza nell'intervallino } \Delta t .$$

Per quanto riguarda il volume cumulato piovuto $h(t)$ e il volume netto $h_n(t)$, sono stati rappresentati i loro valori medi negli intervallini di ampiezza $\Delta t = 0.5$, ottenuti mediante:

$$h_{medio} = [h(t+1) + h(t)] / 2$$

$$h_{nmedio} = [h_n(t+1) + h_n(t)] / 2$$





3.4 Modello di trasferimento del deflusso superficiale – Calcolo idrogramma di piena

La risposta idrologica di una rete idrografica consente di valutare la trasformazione dei flussi di ruscellamento, prodotti dai versanti del bacino, nell'idrogramma in corrispondenza della sezione di chiusura del bacino. In questa trasformazione, l'effetto di laminazione svolto dai singoli rami della rete idrografica è trascurabile rispetto all'effetto di dispersione geomorfologica dovuto all'intero bacino idrografico (*Troutman e Karlinger, 1985*). Di conseguenza i modelli globali, che descrivono il fenomeno in modo sintetico, sono finalizzati a rappresentare l'effetto complessivo del sistema sulla dinamica della piena, trascurando generalmente i fenomeni idraulici del moto vario, che caratterizzano la propagazione dell'onda di piena lungo l'asta fluviale.

Per descrivere la propagazione del deflusso superficiale (rappresentato dallo ietogramma della pioggia netta) in portate di pioggia, si usano modelli fortemente semplificati, che si basano sulla rappresentazione dei due effetti fisici che hanno luogo nel bacino durante la fase di propagazione:

- Traslazione (per cui l'idrogramma della portata di pioggia si presenta spostato in ritardo rispetto allo ietogramma della pioggia netta);
- Laminazione (per cui l'idrogramma di pioggia netta si presenta più regolare dello ietogramma delle piogge nette e con massimi meno pronunciati).

I due effetti sono generalmente rappresentati utilizzando un sistema lineare e stazionario.

L'idrogramma di piena è stato valutato a partire dalla determinazione dell'idrogramma unitario (UH) in forma topologica secondo *Troutman e Karlinger*. Il parametro dell'IUH è stato calcolato a partire dalle caratteristiche topologiche del bacino, derivate dall'analisi del reticolo idrografico. Il modello dell'IUH topologico permette di definire la $h(t)$ in funzione di grandezze topologiche che caratterizzano il bacino. *Troutman e Karlinger* hanno dimostrato che, per una rete idrografica in cui il valore m (magnitudo) e di I (diametro topologico del reticolo idrografico, corrispondente alla distanza topologica massima) siano sufficientemente grandi, il IUH tende asintoticamente ad una pdf i Rayleigh:

$$h(t) = \frac{2t}{\sigma^2} \exp\left[-\left(\frac{t}{\sigma}\right)^2\right]$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot l_m \cdot \sqrt{\mu}}{c}$$

l_m : lunghezza media dei rami interni del bacino in (m);

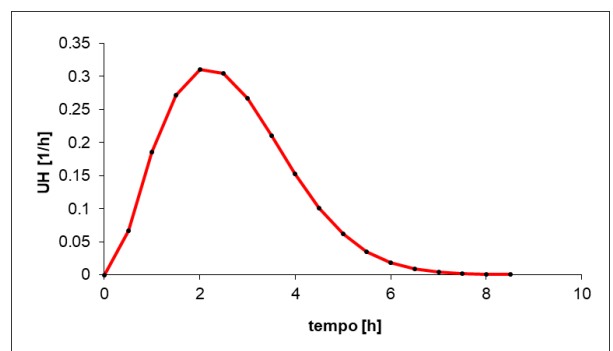
c : celerità di propagazione dell'onda di piena (m/s).

Nel caso in questione, per il bacino idrografico del torrente Cava L'Unica:

l_m	c	μ	σ [s]	σ [h]
940.492	1.5	11	4159.012	1.155281

time lag	t. corrivaz (ore)
tL(h)	tc

Idrogramma unitario istantaneo (IUH)





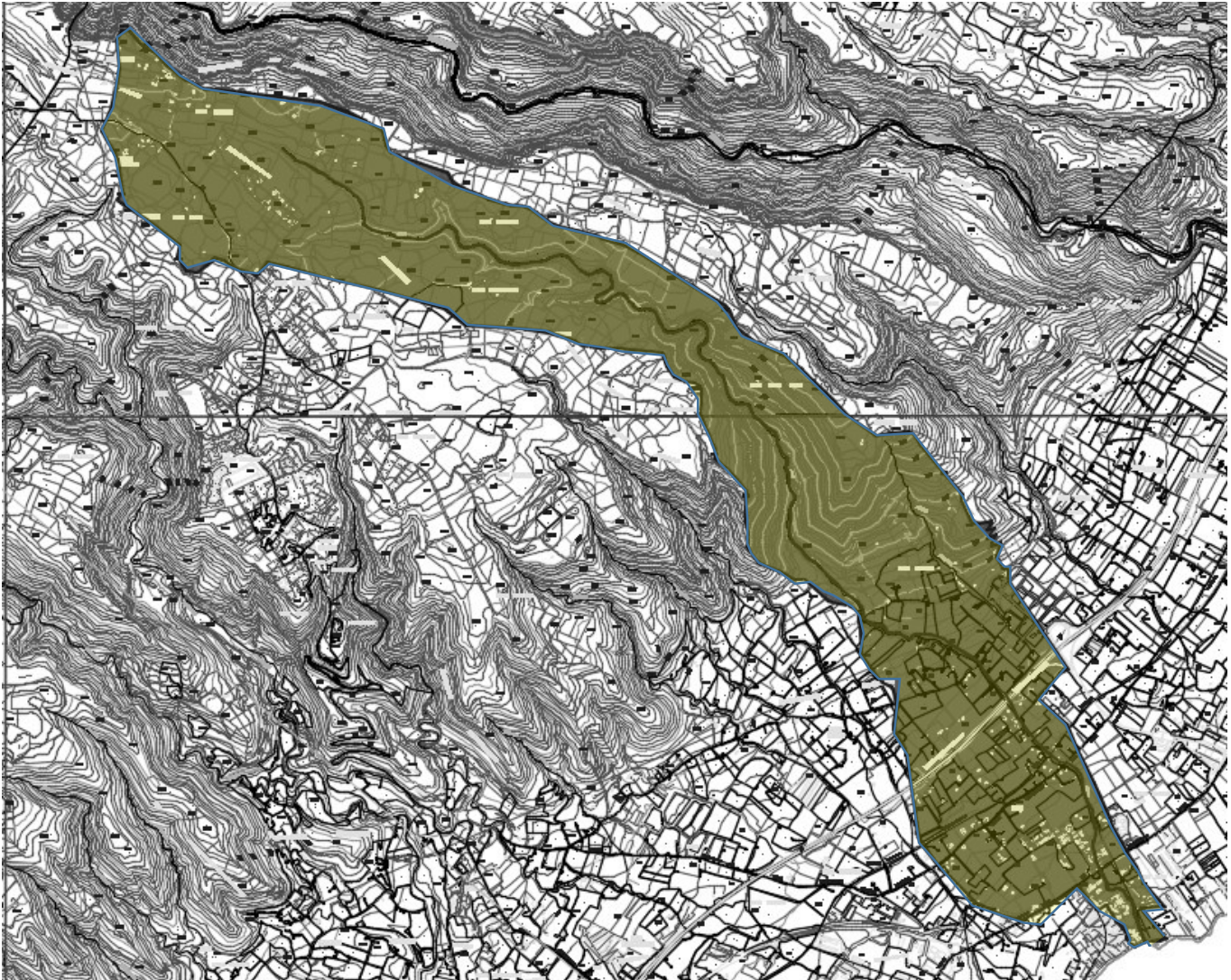
0.993542 | 1.659215

Con :

$t_L = 0.86 \sigma[h]$ time lag (tempo di ritardo)

$t_c = 1.67 t_L$ tempo di corrivazione

Bacino idrografico relativo alla sezione di chiusura 1 – sezione d'alveo torrente in corrispondenza foce



Caratteristiche bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura 1.

Area bacino (A) = **6.98 km² = 698 ha**

Lunghezza dell'asta principale (L): **8.647 km;**

Quota massima del bacino idrografico (Q_{max}): **516 m s.l.m.;**



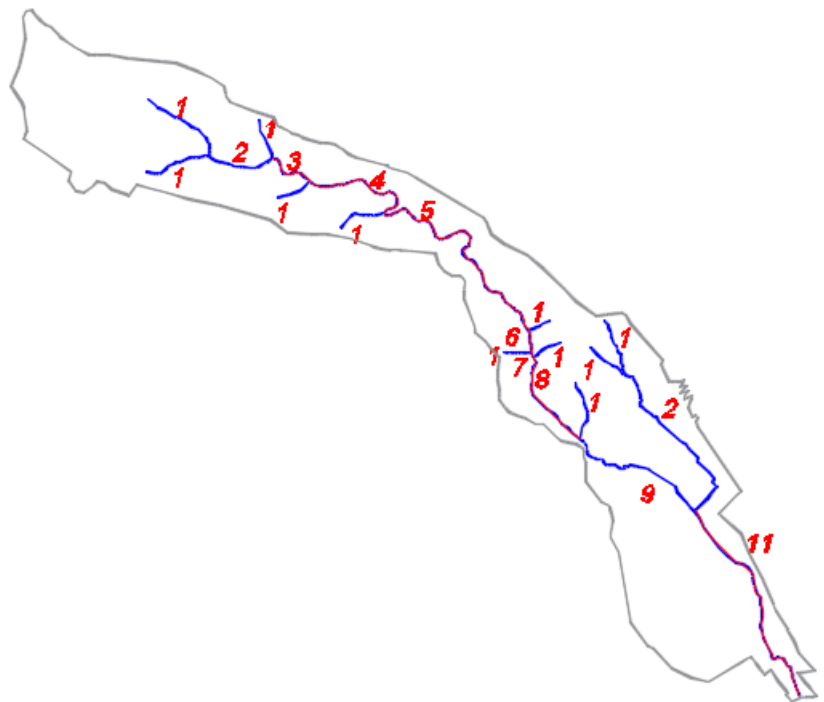
Quota minima del bacino idrografico (Q_{\min}): **1 m s.l.m.**

Pendenza media del bacino (i_{media}): $i_{\text{media}} = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{L} : 0.059$

Pendenza media dell'asta principale ($i_{\text{media}, L}$): $i_{\text{media}, L} = \frac{Q_{\max, L} - Q_{\min, L}}{L} = \frac{470m - 1m}{8647m} = 0.054$

Perimetro bacino (P): **20.24 km**

Ordinamento topologico del reticolo idrografico del bacino del torrente Cava L'Unica, con magnitudo 11 e diametro 9, secondo Shreeve (1966).



L'idrogramma di piena, per tempo di ritorno pari a 300 anni, è stato valutato utilizzando la formulazione matriciale:

$$Q = U \cdot I_e \cdot A \cdot \Delta t$$

dove

U è una matrice di ordine $(n+m-1) \times n$ (essendo n il numero di ordinate dello ietogramma di pioggia netta discretizzato; m il numero di ordinate dell'idrogramma unitario UH);

I_e è un vettore di ordine $n \times 1$ che raccoglie in ogni riga l'intensità di pioggia netta media a partire dall'intervallino Δt

A è l'area del bacino idrografico;

Δt è l'intervallo temporale che si è utilizzato per il calcolo dello ietogramma discretizzato e dell'UH;

Q è il vettore di ordine $(n+m-1) \times 1$, che racchiude le portate di piena relative agli istanti temporali che vanno da Δt a $(n+m-1) \Delta t$, con passo Δt ;



Lo ietogramma di pioggia lorda preso in considerazione è lo ietogramma Chicago di durata, tp = 4 ore, con posizione del picco a 2 ore; mentre per la determinazione dello ietogramma di pioggia netta, come già visto, è stato utilizzato il metodo SCS - CN.

Prendendo come intervallo di discretizzazione per lo ietogramma Δt = 0.5 ore si ottiene n = 8; considerando, invece, lo stesso intervallino temporale per la determinazione dell'IUH, e avendo scelto come errore di chiusura dell'IUH topologico ε = 10^-4 [1/ore], si ha m = 17.

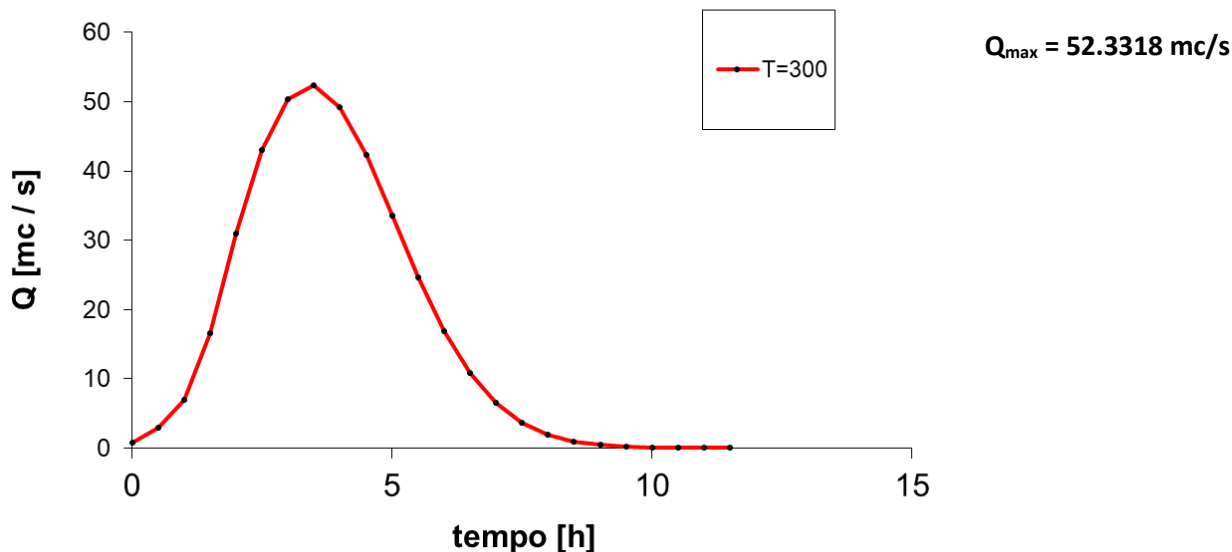
L'output di calcolo dell'idrogramma di piena (Tr = 300 anni) e la corrispondente rappresentazione grafica sono nel seguito rappresentati:

Out[88]= 1

Table with numerical data for hydrograph calculation, including a grid of values and a column of scientific notation results.

Out[89]= {{0.72269}, {2.9459}, {6.89494}, {16.5789}, {30.8917}, {42.9989}, {50.3236}, {52.3318}, {49.2719}, {42.3074}, {33.5097}, {24.6572}, {16.9319}, {10.8831}, {6.55884}, {3.70925}, {1.97302}, {0.978954}, {0.455174}, {0.196821}, {0.0749043}, {0.0264841}, {0.00839885}, {0.00199032}}

Idrogramma di piena





4 STUDIO IDRAULICO

Lo studio della propagazione dell'onda di piena, ricavata per tempo di ritorno pari a 300 anni, è essenzialmente finalizzato alla determinazione della capacità di convogliamento dell'alveo e dei relativi manufatti di attraversamento, per il tratto finale del torrente Cava L'Unica, per un adeguato tratto pari a circa 1 km (tratto torrente compreso tra la foce e una sezione terminale in corrispondenza del tratto intermedio tra la statale e la strada comunale Petrarra –Tangi, posta più a monte), corrispondente al tratto identificato nel PAI come sito di attenzione.

La massima portata determinata dall'idrogramma di piena, precedentemente ricavato, è stata utilizzata come dato di ingresso del modello idraulico impiegato per lo studio della propagazione della piena.

Il modello idraulico di propagazione utilizzato è l'HEC-RAS (*River Analysis System*) sviluppato dall'*Hydrologic Engineering Center dell'US Army Corps of Engineers*.

Le ipotesi alla base del modello sono quelle di condizioni di moto permanente unidimensionale, corrente gradualmente variata (fatta eccezione per le sezioni in cui si risente della presenza di strutture, quali ponti), pendenze longitudinali del fondo dell'alveo non eccessive. La soluzione dell'equazione di conservazione dell'energia, ottenuta per iterazione, fornisce l'altezza d'acqua in una assegnata sezione trasversale.

La valutazione del profilo si basa sulla semplice equazione monodimensionale del contenuto energetico della corrente:

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove $H_1(m)$ ed $H_2(m)$ sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco considerato, $h_f(m)$ sono le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde, mentre $h_e(m)$ sono le perdite di carico dovute agli allargamenti e ai restringimenti della corrente.

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

$$h_f = j_f L$$

Con j_f pendenza motrice del tratto di lunghezza $L(m)$.

Il calcolo di j_f è in funzione della pendenza motrice J in corrispondenza delle sezioni d'inizio e fine di ciascun tratto. Il calcolo del termine J nella singola sezione è effettuato mediante la formula:



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

dove $Q(m^3/s)$ è la portata di calcolo e K (denominato *conveyance*) è ricavabile attraverso la classica espressione di Chezy:

$$K = \frac{1}{n} AR^{\frac{2}{3}}$$

Dove $A(m^2)$ è l'area della sezione liquida, $R(m)$ il raggio idraulico e $n (m^{-\frac{1}{3}} \cdot s)$ è il parametro rappresentativo della scabrezza del fondo e delle sponde di Manning.

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

$$h_e = \beta \left| \alpha_1 \frac{v_1^2}{2g} - \alpha_2 \frac{v_2^2}{2g} \right|$$

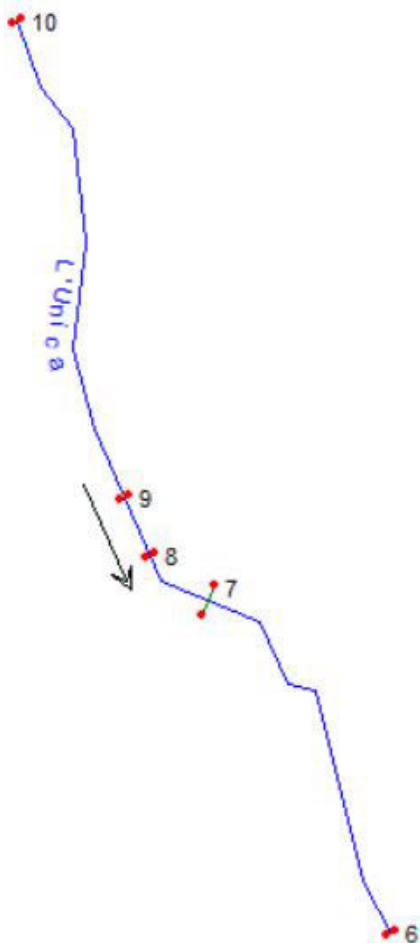
dove β è un coefficiente di contrazione o espansione, v_1 e $v_2 (m/s)$ sono i valori delle velocità medie nelle sezioni 1 e 2, α_1 e α_2 sono i coefficienti correttivi dell'energia cinetica.

Il modello suddivide la sezione in più zone ad ognuna delle quali assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso e due zone laterali golenali.

Per l'implementazione del modello sono state utilizzate le sezioni d'alveo rilevate a seguito di sopralluogo

Come condizioni idrauliche al contorno è stato utilizzato il valore di picco dell'idrogramma per tempo di ritorno pari a 300 anni.

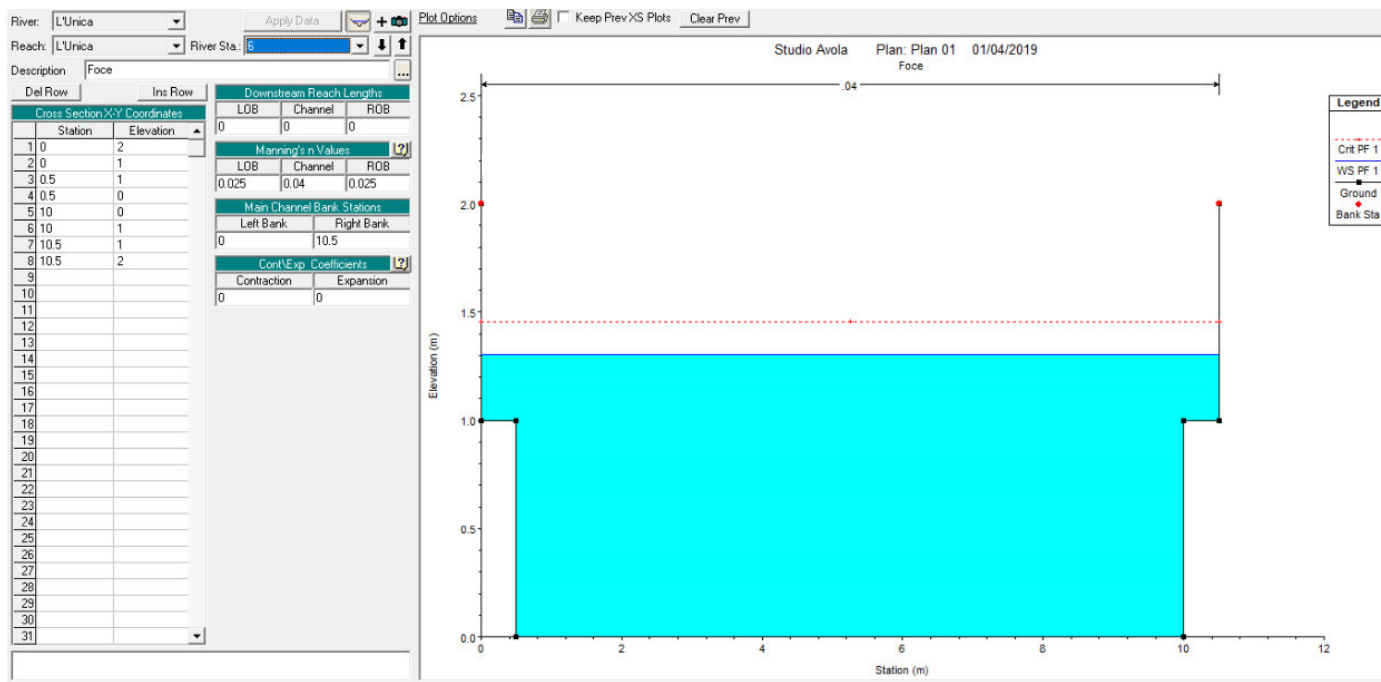
Note le condizioni idrauliche al contorno e le caratteristiche morfologiche dei tratti in termini di sezioni trasversali d'alveo e di sezioni in corrispondenza dei manufatti significativi, per ciascuna delle stesse la procedura individua i valori massimi raggiunti per i livelli, le velocità e le portate. Il confronto tra tali livelli e le quote dei rilievi trasversali evidenzia il contenimento dei deflussi nelle zone d'alveo e golenali oppure la loro fuoriuscita e la possibilità di interessamento di zone urbanizzate.



In alto a sinistra tratto di torrente schematizzato in HEC – RAS; a destra ortofoto del tratto di torrente oggetto di verifica idraulica, corrispondente al tratto identificato nel PAI come sito di attenzione.

Reach	River Sta	Profile	Q Total (m ³ /s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m ²)	Top Width (m)	Froude # Chl
L'Unica	10	PF 1	52.33	28.00	29.41	29.69	0.037523	4.75	11.01	8.50	1.33
L'Unica	9	PF 1	52.33	19.00	20.56	20.56	0.020719	3.94	13.30	8.50	1.00
L'Unica	8	PF 1	52.33	17.00	18.22	18.56	0.045622	4.93	10.61	9.50	1.49
L'Unica	7	PF 1	52.33	15.00	15.53	15.67	0.041575	3.26	16.07	31.05	1.44
L'Unica	6	PF 1	52.33	0.00	1.30	1.45	0.028417	4.12	12.69	10.50	1.20

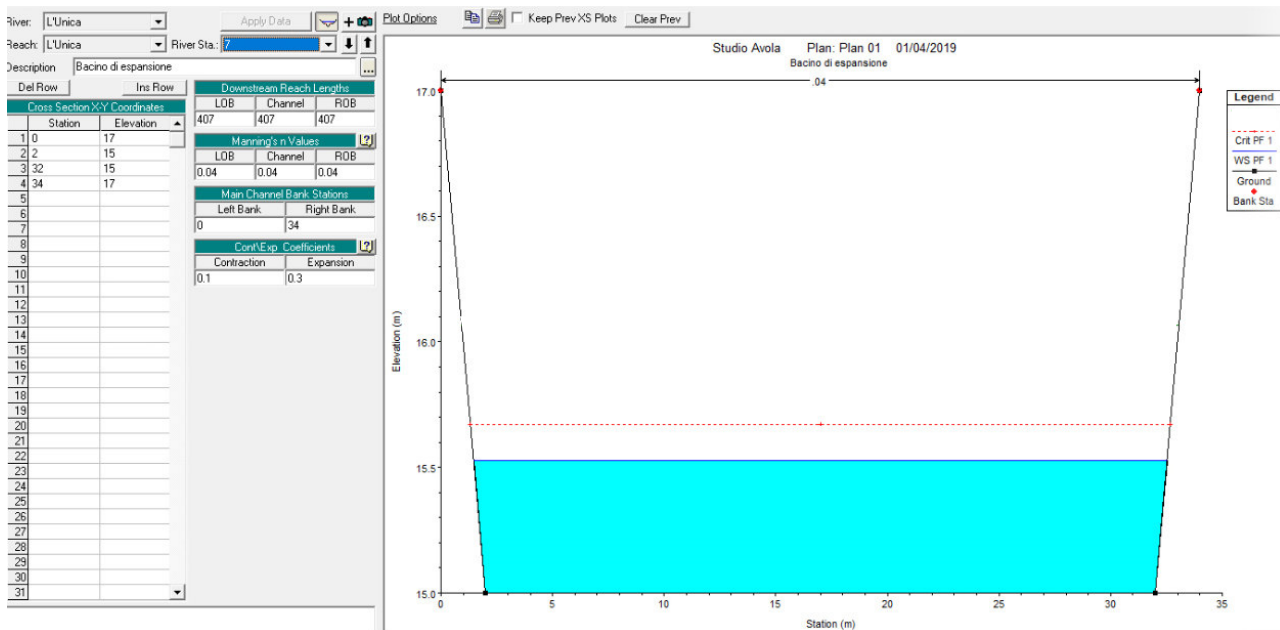
Output modello idraulico HEC RAS torrente Cava L'unica.



Sezione 6 – Sezione in prossimità della foce; in celeste è riportato il max livello idrico transitante attraverso la sezione; la linea tratteggiata in rosso rappresenta l'altezza k della corrente critica; i due punti rossi ancora più in alto rappresentano il margine superiore della sezione.



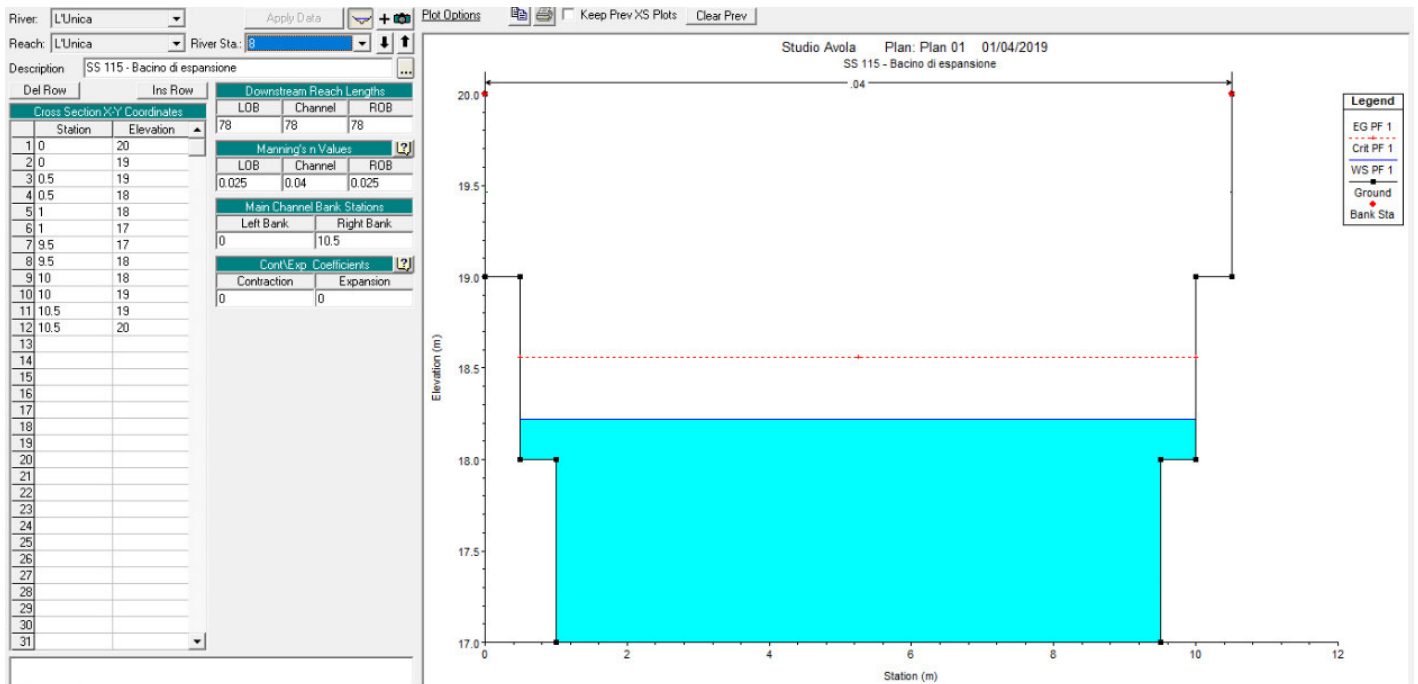
Foto sezione in prossimità della foce



Sezione 7; in celeste è riportato il max livello idrico transitante attraverso la sezione; la linea tratteggiata in rosso rappresenta l'altezza k della corrente critica; i due punti rossi ancora più in alto rappresentano il margine superiore della sezione.



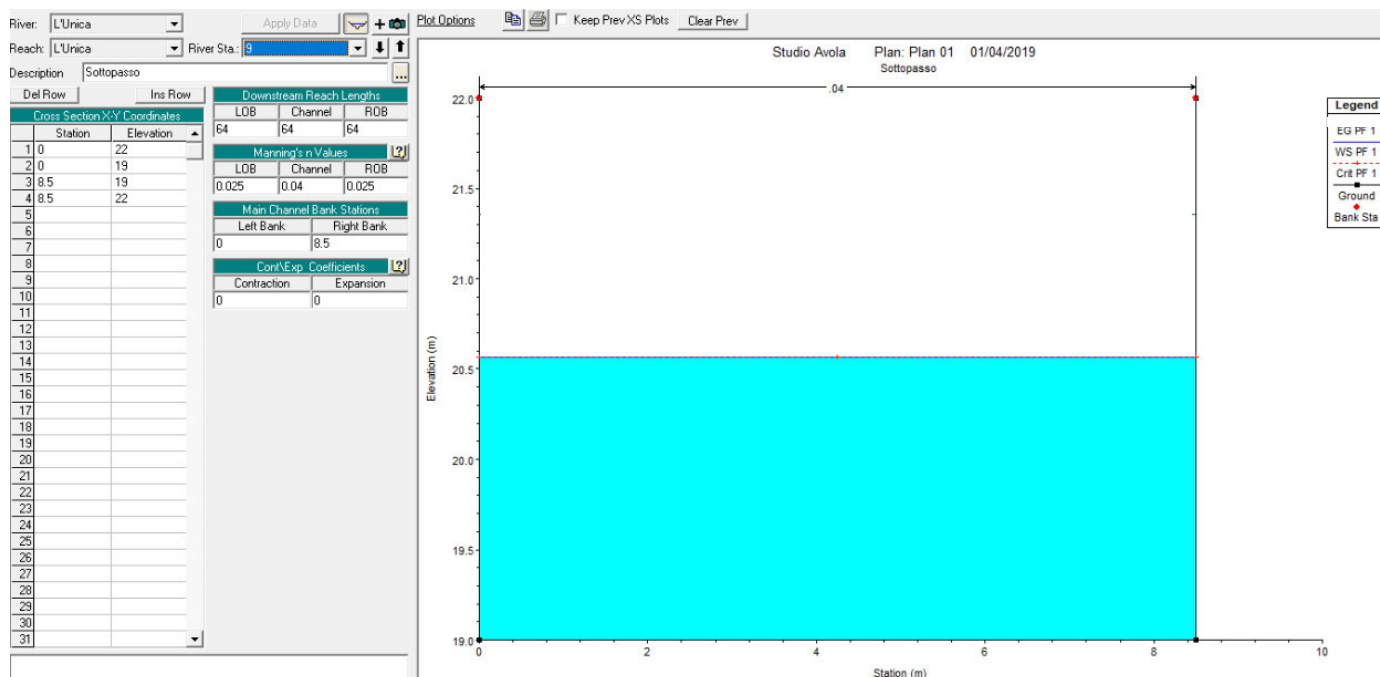
Sezione 7



Sezione; 8 in celeste è riportato il max livello idrico transitante attraverso la sezione; la linea tratteggiata in rosso rappresenta l'altezza k della corrente critica; i due punti rossi ancora più in alto rappresentano il margine superiore della sezione.



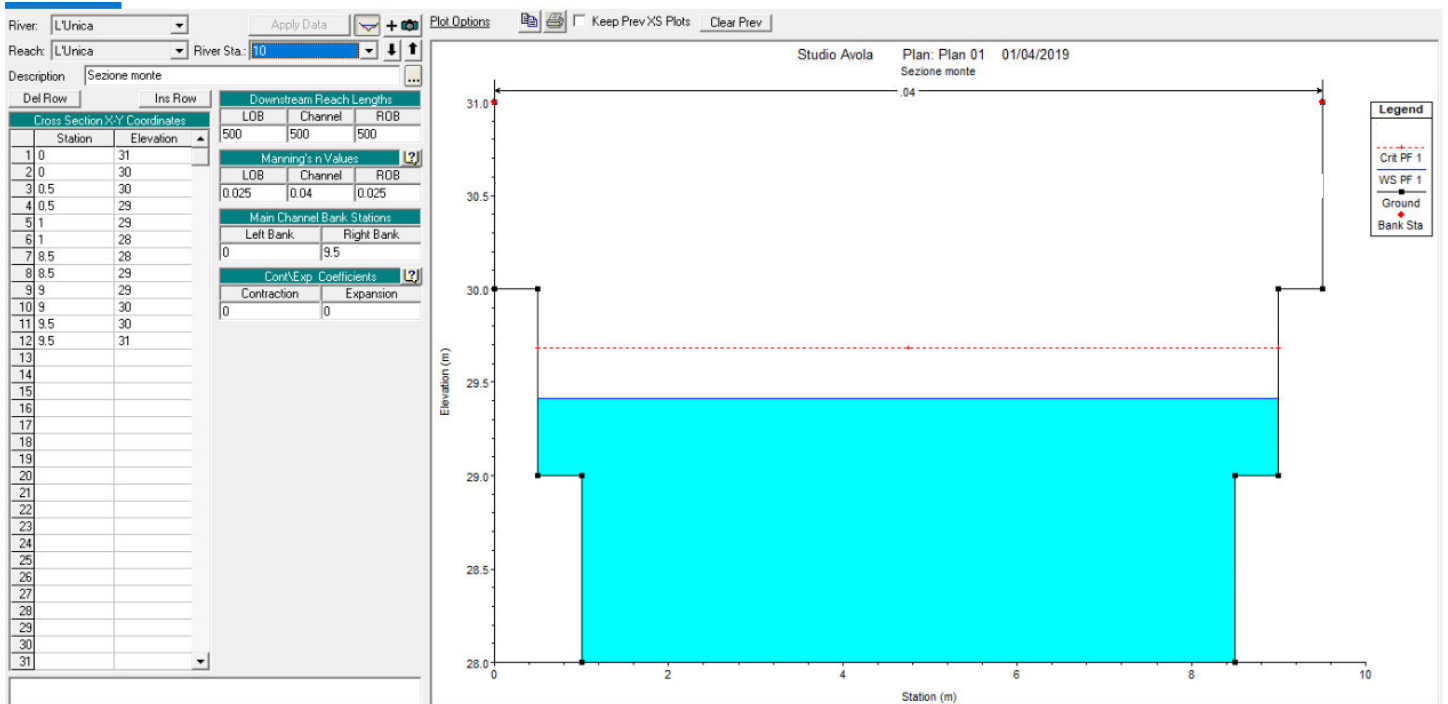
Sezione 8



Sezione 8 – sottopasso strada statale; in celeste è riportato il max livello idrico transitante attraverso la sezione; la linea tratteggiata in rosso rappresenta l'altezza k della corrente critica; i due punti rossi ancora più in alto rappresentano il margine superiore della sezione.



Sezione 8 – sottopasso strada statale



Sezione 9 – sezione a monte statale; la linea tratteggiata in rosso rappresenta l'altezza k della corrente critica; i due punti rossi ancora più in alto rappresentano il margine superiore della sezione.



Sezione 9 – sezione a monte statale



5 CONCLUSIONI

Le verifiche idrologiche ed idrauliche effettuate consentono di affermare che le portate (valutate per tempo di ritorno pari a 300 anni) transitanti lungo il tratto di torrente Cava L'unica identificato nel PAI come sito di attenzione, non producono fenomeni di esondazione. L'alveo del torrente, sino ad arrivare alla foce, garantisce il deflusso della portata di piena calcolata per tempo di ritorno di 300 anni, la quale si riverserà direttamente in mare senza interessare il vicino riparo per la pesca esistente.

Si specifica tra le altre cose che l'alveo del torrente non interferisce con il riparo per la pesca esistente; la sponda sinistra dell'alveo dista infatti circa 47 m dalla banchina lato terra del riparo pescherecci esistente; tale configurazione è mantenuta anche nella configurazione di progetto.

Come già evidenziato anche nello studio di compatibilità geomorfologica, l'intervento di riqualificazione del riparo per la pesca ha previsto anche il rifacimento del braccio di sopraflutto esistente, con rimodulazione geometrica di alcune parti. Ciò ha comportato un leggero avvicinamento del braccio di sopraflutto verso il torrente (si è passati da una distanza di circa 57 m della configurazione dello stato di fatto, ad una distanza di circa 47 m della parte terminale emersa del molo di sopraflutto, ovvero ad una distanza di circa 40 m della parte terminale soffolta, per la nuova configurazione a seguito dell'intervento di riqualificazione). Tale leggera rimodulazione geometrica, funzionale alla messa in sicurezza dell'approdo continua a non comportare interferenze con il torrente, il cui deflusso continuerà ad essere normalmente garantito.





Tra le altre cose le opere di riqualificazione del riparo per la pesca previste in progetto risultano conformi alle prescrizioni del “*Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie di cui al R.D. 25 luglio 1904, n. 523*”, che prescrive distanze minime da applicare per la realizzazione di scavi, movimenti di terra e per la realizzazione di qualsiasi tipologia di fabbriche e costruzioni in genere dagli argini dei corsi d’acqua. Tali distanze, ai sensi dell’art. 96 comma f del citato T.U. sono fissate in 10 m.