



COMUNE DI ROSOLINI



LAVORI DI MITIGAZIONE RISCHIO IDROGEOLOGICO AREA CENTRO URBANO REALIZZAZIONE DRENAGGIO DELLE ACQUE SUPERFICIALI E COLLETTAMENTO A VALLE DEL CENTRO ABITATO

PROGETTO ESECUTIVO



CAPITOLO 01		TITOLO RELAZIONE IDROLOGICA - IDRAULICA			
CODIFICA 01- 02		REVISIONE A			
SCALA -		COMMESSA CUP: J24H18000270001 - CIG: 89516639FD			
REVISIONE	DATA	DESCRIZIONE	REDAT.	CONTR.	APPR.
A	08/02/2022	PRIMA EMISSIONE	AC	MT	LP

Il Progettista

ARCH. LAURA PLUCHINO



Per l'amministrazione - Il Rup

GEOM. GIUSEPPE ODDO

PREMESSA

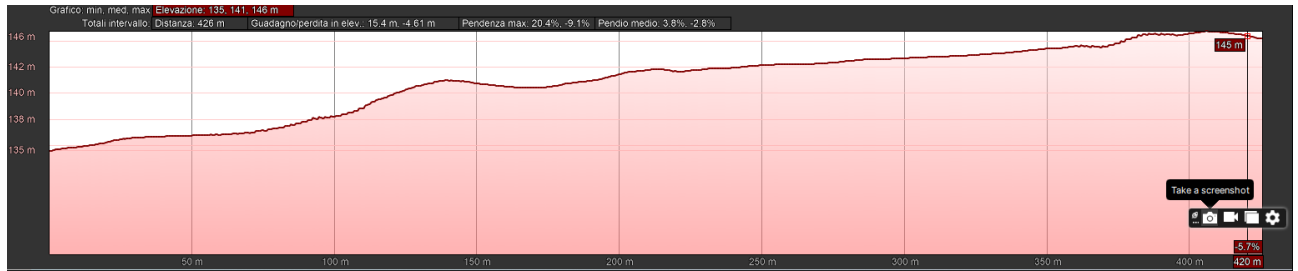
La presente relazione idrologica e idraulica riguarda l'ambito d'intervento dell'area posta nel Comune di Rosolini (SR), a supporto del progetto denominato "MITIGAZIONE RISCHIO IDROGEOLOGICO AREA CENTRO URBANO RACCOLTA DI ACQUE BIANCHE SUPERFICIALI DI VIALE GIULIA E COLLEGAMENTO SU VIA MANZONI".

Scopo del presente lavoro è quello di dimensionare una corretta rete di smaltimento delle acque bianche tramite una condotta sotto strada da posizionare lungo la Via Manzoni, viste le annose problematiche a carico della viabilità in occasione di eventi pluviali.

La condotta deve raccogliere le acque provenienti dal un bacino di propria competenza, localizzato con asse grosso modo E-W la cui estensione ricade in maniera preponderante sull'abitato residenziale; ovviamente vista la permeabilità del sedime interessato dal bacino, e cioè nulla, condiziona pesantemente l'apporto idrico nel calcolo della portata di progetto ma agendo cautelativamente sui calcoli di seguito esposti.

Morfologicamente, il sito è posto a sud-ovest dell'abitato di Rosolini, in un area a vergenza sud-est, con pendenze variabili secondo il seguente profilo topografico:





Il tratto di condotta di cui in progetto, a partire da valle è lungo circa 520 metri, le relative quote isoipse 146 m.s.l.m. alla 135 m.s.l.m., ha uno sviluppo lineare e come detto raccoglie le acque di precipitazione relativo al proprio bacino di competenza.

Quest'ultimo è stato determinato dagli scriventi secondo la classica metodologia dei rapporti geometrici delle isoipse ed è possibile vederne di seguito la forma:



Il CAD ha permesso di misurarne l'estensione, pari a 0.7479 kmq.

Va considerato che:

- La condotta sotterranea raccoglierà le acque del bacino nella sua sezione di monte collegandosi alla tubazione di monte (progettata in altro lotto);
- Essendo provvista di grate piane collocate in senso trasversale alla sede stradale, l'ingresso delle acque non avverrà dunque esclusivamente attraverso la sezione precedentemente descritta, ma anche attraverso tali grate; tuttavia, ai fini di una

semplificazione che va a vantaggio del principio di cautela, tutta la condotta verrà calcolata a sezione unica dimensionata come se raccogliesse già nella sezione di monte tutta la portata di piena di progetto.

I capitoli successivi affrontano la definizione e la progettazione degli interventi di sistemazione, di cui è stato analizzato il comportamento idraulico.

Come di consueto, la portata di progetto è stata determinata utilizzando una ipotesi di tempi di ritorno delle piogge in area pari a 300 anni.

Vengono di seguito esposti i calcoli output dei softwares certificati utilizzati per la progettazione:

Rapporto sulla stazione di misura:

Ispica

Dati Stazione

Codice: 19199 ()

Quota: 127,0 m s.l.m.

Latitudine: 36,77975431

Longitudine: 14,91193644

Serie osservazioni

Tipologia dei dati: Massimi annuali di altezza di precipitazione.

Serie presenti: 5

Durate presenti: 1 giorno, 2 giorni, 3 giorni, 4 giorni, 5 giorni

Minima dimensione serie: 48

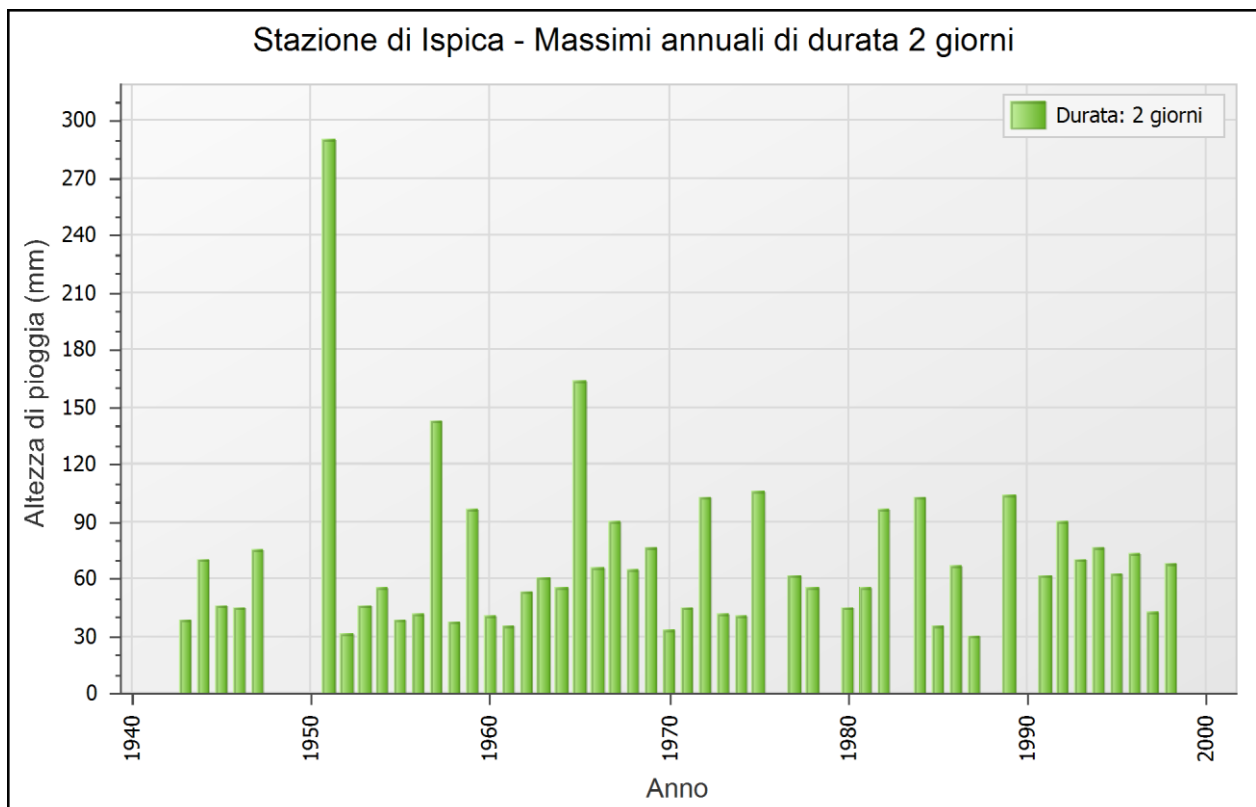
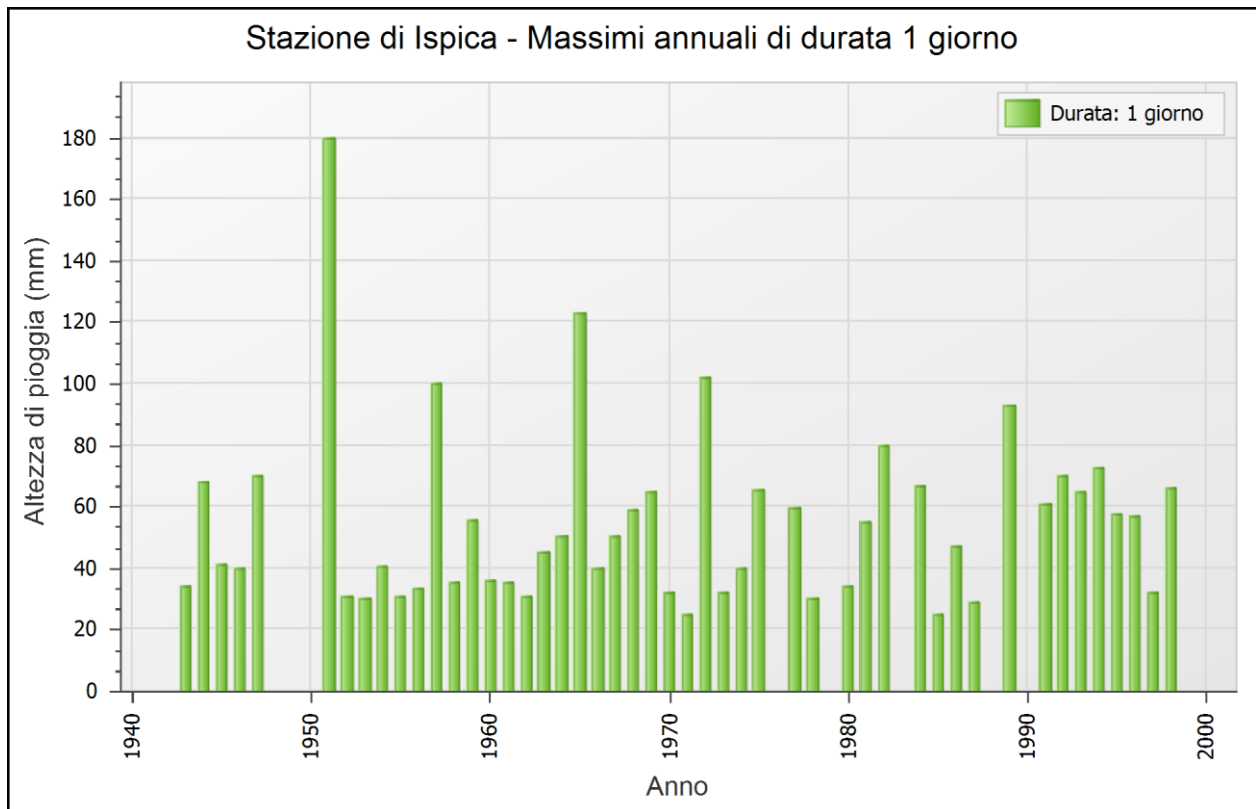
Massima dimensione serie: 48

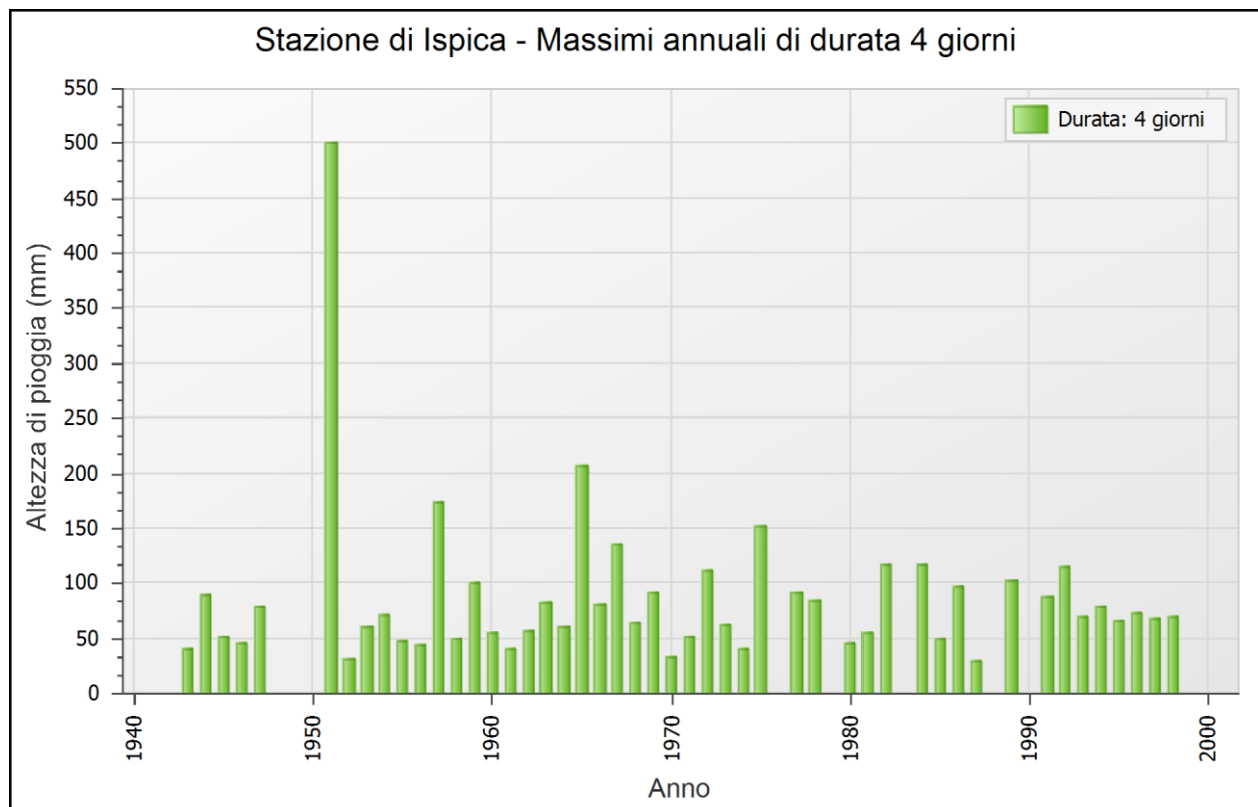
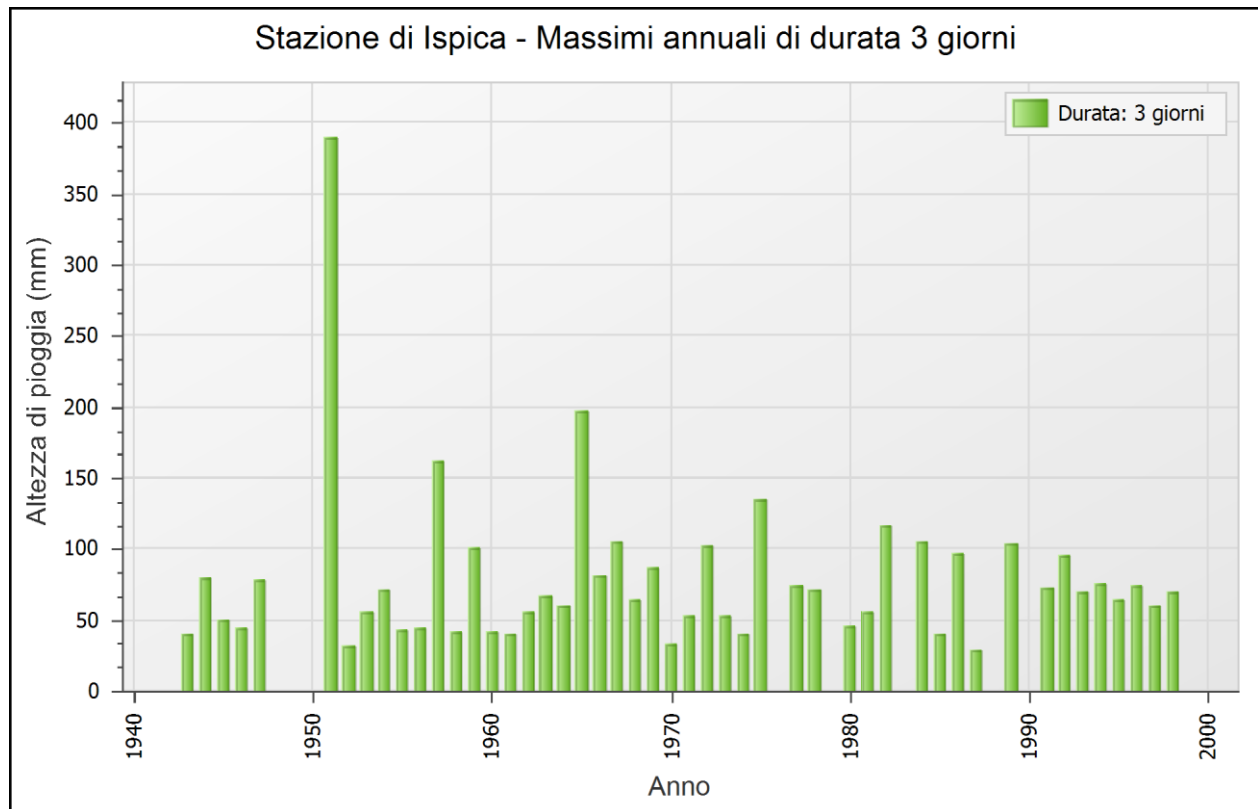
Anno	1 giorno		2 giorni		3 giorni		4 giorni		5 giorni	
	Data	Valore	Data	Valore	Data	Valore	Data	Valore	Data	Valore
1943	23 dic	34,0	23 dic	38,2	22 dic	39,4	22 dic	39,4	22 dic	53,0
1944	12 ago	68,0	29 dic	69,0	29 dic	79,6	28 dic	89,6	27 dic	104,6
1945	21 nov	41,2	20 nov	45,2	7 gen	50,0	18 nov	51,6	18 gen	51,6
1946	24 dic	40,0	26 ott	44,0	26 ott	44,0	15 dic	46,1	24 dic	50,0
1947	26 ott	70,0	25 ott	75,0	24 ott	77,3	26 ott	79,1	26 ott	89,1
1951	17 ott	180,0	17 ott	290,0	15 ott	390,0	15 ott	500,0	15 ott	530,0
1952	16 apr	31,0	16 apr	31,0	16 apr	31,0	22 gen	31,0	22 gen	31,0
1953	27 feb	30,0	21 ott	45,0	21 ott	55,0	21 ott	60,0	21 ott	60,0
1954	12 nov	40,8	12 dic	55,2	10 nov	71,3	10 nov	71,3	10 dic	72,2
1955	24 apr	30,5	5 mar	37,4	4 mar	42,8	3 mar	47,8	3 mar	47,8
1956	24 mar	33,0	2 feb	41,0	26 ott	43,3	26 ott	44,6	18 nov	52,0
1957	9 ott	100,0	9 ott	142,0	9 ott	162,0	9 ott	173,0	7 ott	182,7
1958	30 set	35,0	30 set	37,0	28 feb	41,2	12 nov	49,5	12 nov	50,4
1959	13 nov	55,3	12 nov	96,0	12 nov	101,0	12 nov	101,0	12 nov	101,0
1960	26 set	36,0	7 dic	40,0	26 set	41,0	7 dic	55,0	7 dic	59,0
1961	27 gen	35,0	27 gen	35,0	25 gen	40,0	25 gen	40,0	25 gen	45,0
1962	31 ott	31,0	30 ott	53,0	30 ott	55,5	29 ott	57,5	29 ott	58,3
1963	27 lug	45,0	9 ott	60,2	9 ott	66,2	9 ott	82,2	9 ott	86,2
1964	1 gen	50,0	1 gen	55,0	24 dic	60,0	24 dic	60,0	1 dic	61,0
1965	19 ott	123,0	19 ott	163,0	18 ott	197,0	18 ott	207,0	18 ott	214,0
1966	7 ott	40,0	6 ott	65,0	6 ott	80,0	6 ott	80,1	6 ott	80,0
1967	17 feb	50,0	16 feb	90,0	26 ott	105,0	26 ott	135,0	26 ott	135,0
1968	22 gen	59,0	22 gen	64,0	22 gen	64,0	22 gen	64,0	22 gen	64,0
1969	23 set	65,0	23 set	75,9	23 set	86,9	22 set	91,0	22 set	91,0
1970	2 ott	32,3	2 ott	32,3	3 mar	33,0	3 mar	33,0	28 set	37,4
1971	10 feb	25,0	10 feb	44,0	3 set	51,7	3 set	51,7	3 set	74,2
1972	2 ott	102,0	2 ott	102,0	2 ott	102,0	2 ott	112,3	2 ott	112,3
1973	6 dic	32,0	27 gen	41,0	27 gen	52,3	26 gen	61,3	26 gen	61,3
1974	23 feb	40,0	23 feb	40,0	23 feb	40,0	23 feb	40,0	23 feb	80,0
1975	5 nov	65,2	5 nov	105,2	4 nov	135,2	4 nov	152,2	4 nov	152,2

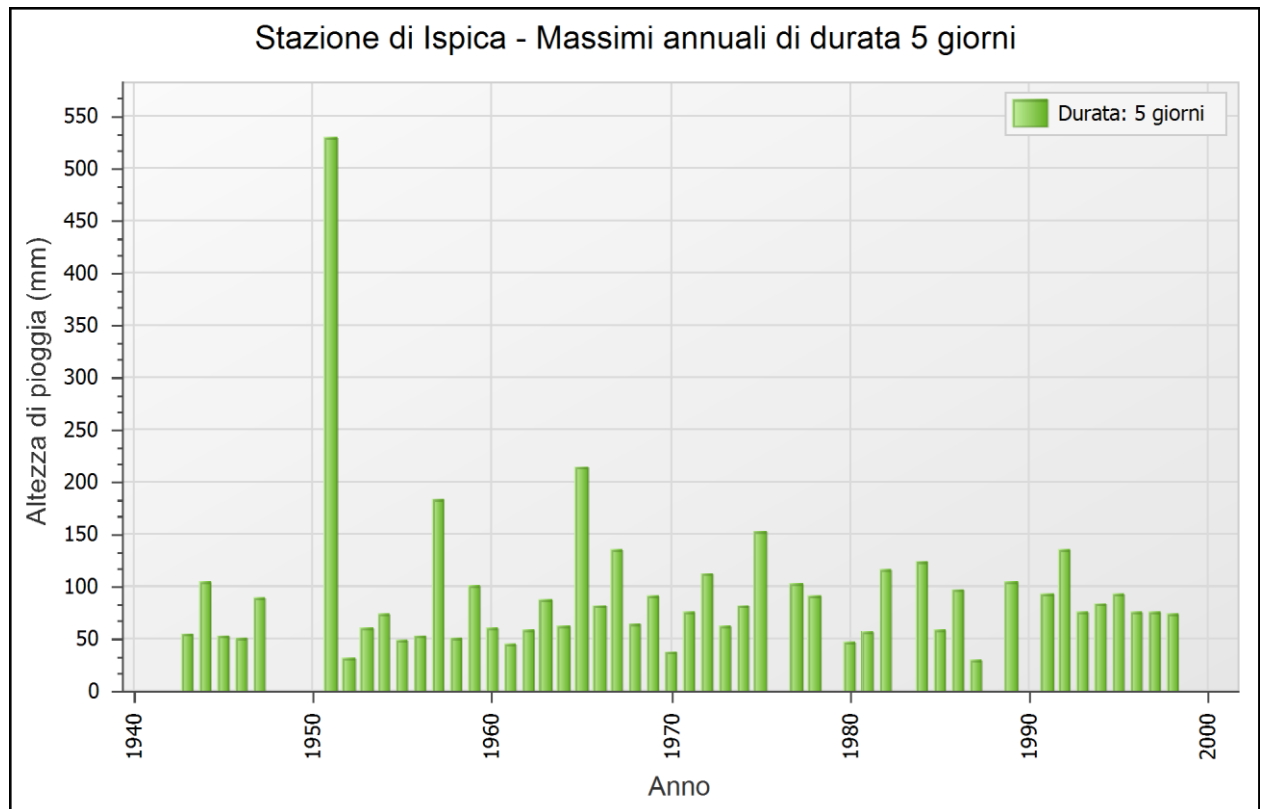
Anno	1 giorno		2 giorni		3 giorni		4 giorni		5 giorni	
	Data	Valore	Data	Valore	Data	Valore	Data	Valore	Data	Valore
1977	27 set	59,5	27 set	61,5	7 gen	73,4	6 gen	90,9	6 gen	102,7
1978	17 gen	30,0	17 gen	54,5	28 nov	71,0	27 nov	84,9	26 nov	90,7
1980	15 mar	34,0	20 dic	43,8	20 dic	45,4	19 dic	45,6	19 dic	45,6
1981	18 set	55,0	18 set	55,0	18 set	55,0	18 set	55,0	18 set	55,0
1982	4 nov	80,0	3 nov	95,6	2 nov	116,4	2 nov	116,4	2 nov	116,4
1984	3 dic	66,4	3 dic	101,8	3 dic	104,8	1 dic	117,2	30 nov	122,4
1985	22 ott	25,0	7 gen	35,0	15 apr	40,1	15 apr	49,6	15 apr	57,0
1986	26 nov	47,0	10 dic	66,0	10 dic	96,0	10 dic	96,1	10 dic	96,1
1987	23 mar	29,0	23 mar	29,0	23 mar	29,0	23 mar	29,0	23 mar	29,0
1989	5 gen	93,0	5 gen	103,0	5 gen	103,0	5 gen	103,0	5 gen	103,0
1991	5 dic	61,0	5 dic	61,0	3 dic	72,0	2 dic	87,0	1 dic	92,0
1992	27 dic	70,0	27 dic	90,0	25 gen	95,0	25 gen	116,0	25 gen	134,0
1993	6 mag	65,0	5 mag	70,0	5 mag	70,0	5 mag	70,0	23 ott	75,3
1994	23 gen	72,5	23 gen	75,5	23 gen	75,5	20 gen	79,0	20 gen	82,0
1995	13 dic	57,8	13 dic	62,5	13 dic	63,1	10 dic	65,9	13 dic	91,4
1996	4 ott	57,0	4 ott	73,0	4 ott	73,0	4 ott	73,0	30 set	75,0
1997	31 ott	32,0	19 nov	42,6	29 ott	58,8	28 ott	66,8	28 ott	74,2
1998	25 set	66,2	24 mar	67,6	24 mar	68,8	23 mar	68,8	21 mar	72,8

Dati Statistici

Parametro	Durate				
	1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
Dimensione campione	48	48	48	48	48
Somma dei dati	2619,7	3299,0	3748,0	4120,5	4400,9
Valore minimo	25,0	29,0	29,0	29,0	29,0
Valore massimo	180,0	290,0	390,0	500,0	530,0
Valore medio	54,58	68,73	78,08	85,84	91,69
Dev. standard	28,80	43,29	56,92	71,23	74,49
Coeff. variazione	0,528	0,630	0,729	0,830	0,812
Coeff. asimmetria	2,187	3,217	3,856	4,460	4,603







Rapporto sull'elaborazione probabilistica:

Distribuzione di Gumbel stazione di Ispica

Dati Elaborazione

Stazione di misura: Ispica

Distribuzione probabilistica: Gumbel

Metodo di stima dei parametri: Massima verosimiglianza

Elaborazioni presenti: 5 (1 giorno, 2 giorni, 3 giorni, 4 giorni, 5 giorni)

Stima parametri

Parametro	Durate				
	1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
Dimensione campione	48	48	48	48	48
Valore medio	54,58	68,73	78,08	85,84	91,69
Dev. standard	28,80	43,29	56,92	71,23	74,49
Alfa	0,0566	0,0434	0,0362	0,0315	0,0304
Epsilon	43,154	53,315	59,299	63,928	69,113

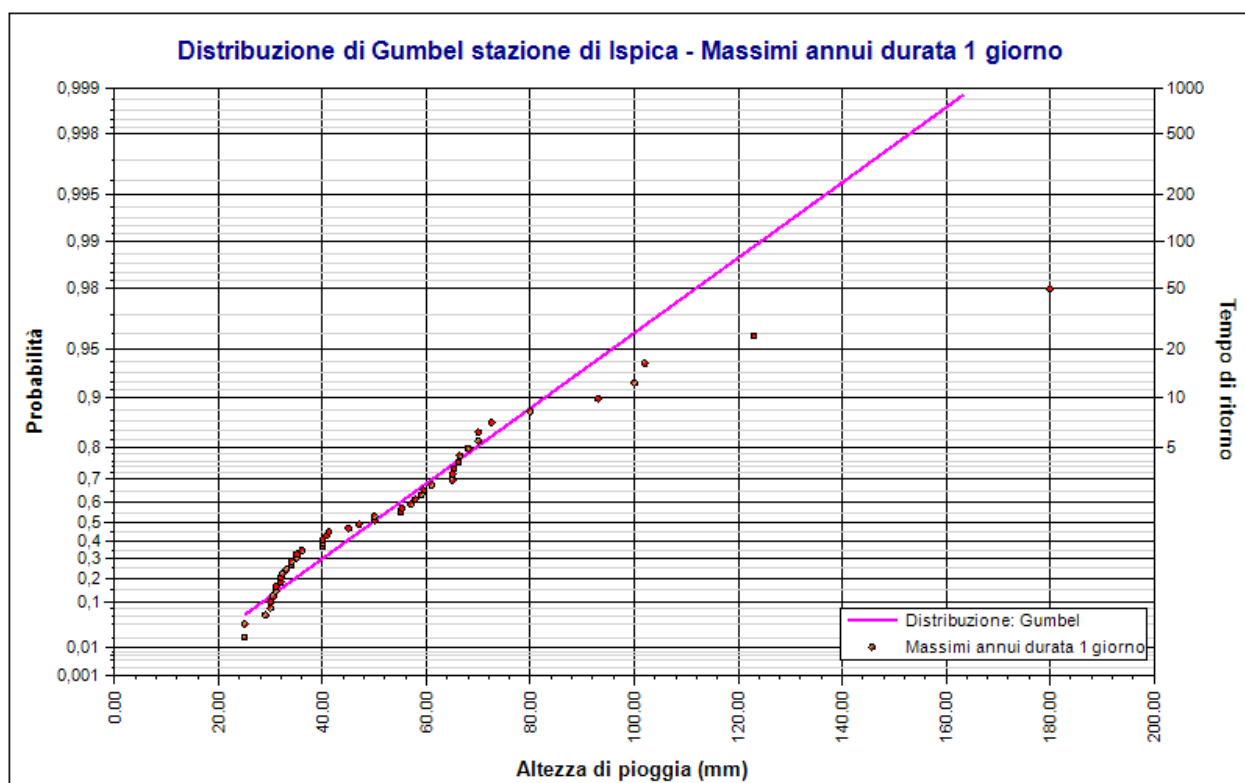
Espressioni delle CDF della distribuzione

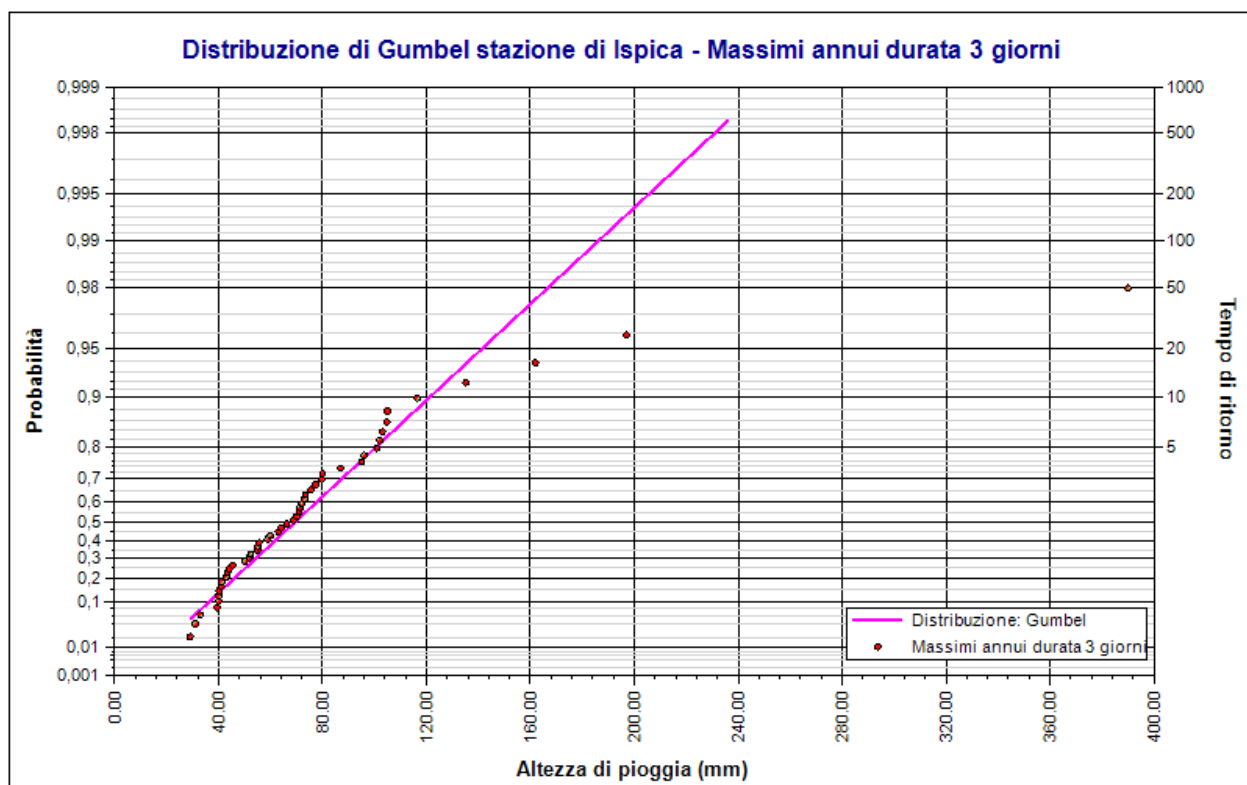
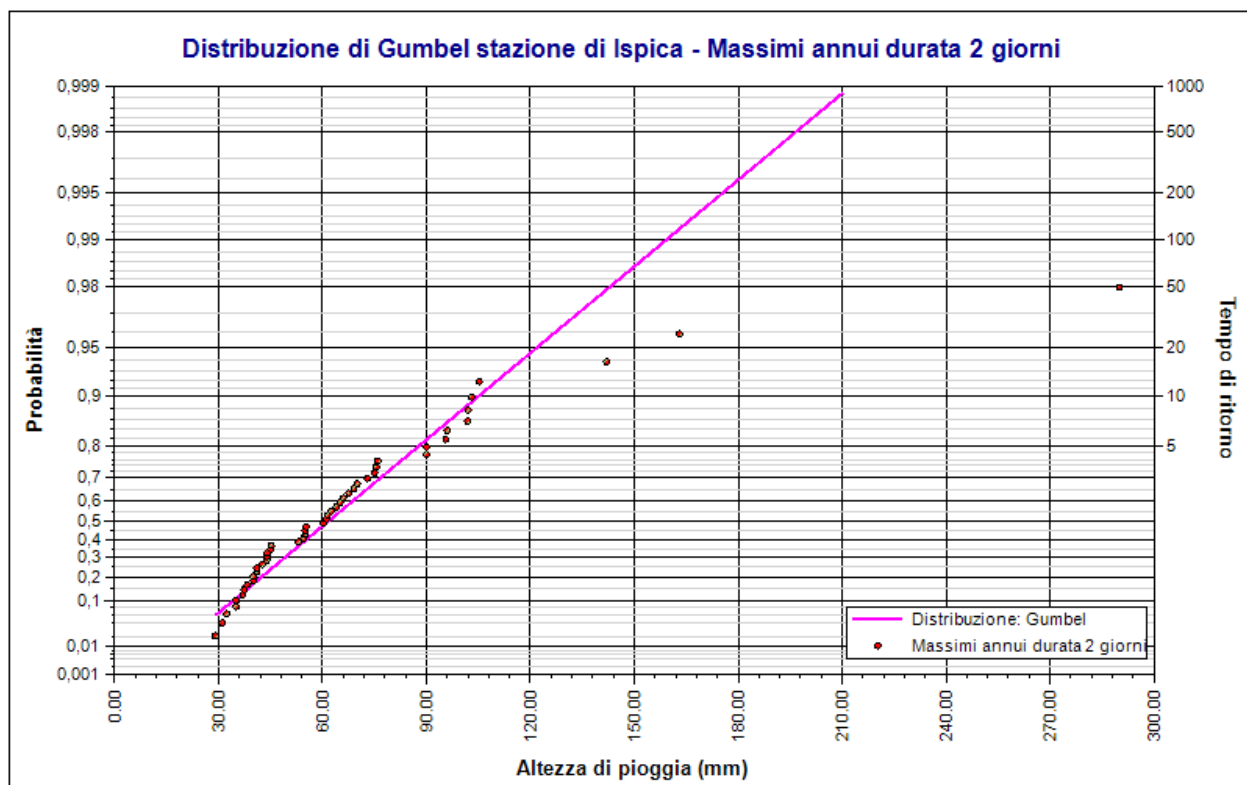
Gumbel: 1 giorno	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,057 (x - 43,154) \right) \right]$
Gumbel: 2 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,043 (x - 53,315) \right) \right]$
Gumbel: 3 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,036 (x - 59,299) \right) \right]$
Gumbel: 4 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,032 (x - 63,928) \right) \right]$
Gumbel: 5 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,030 (x - 69,113) \right) \right]$

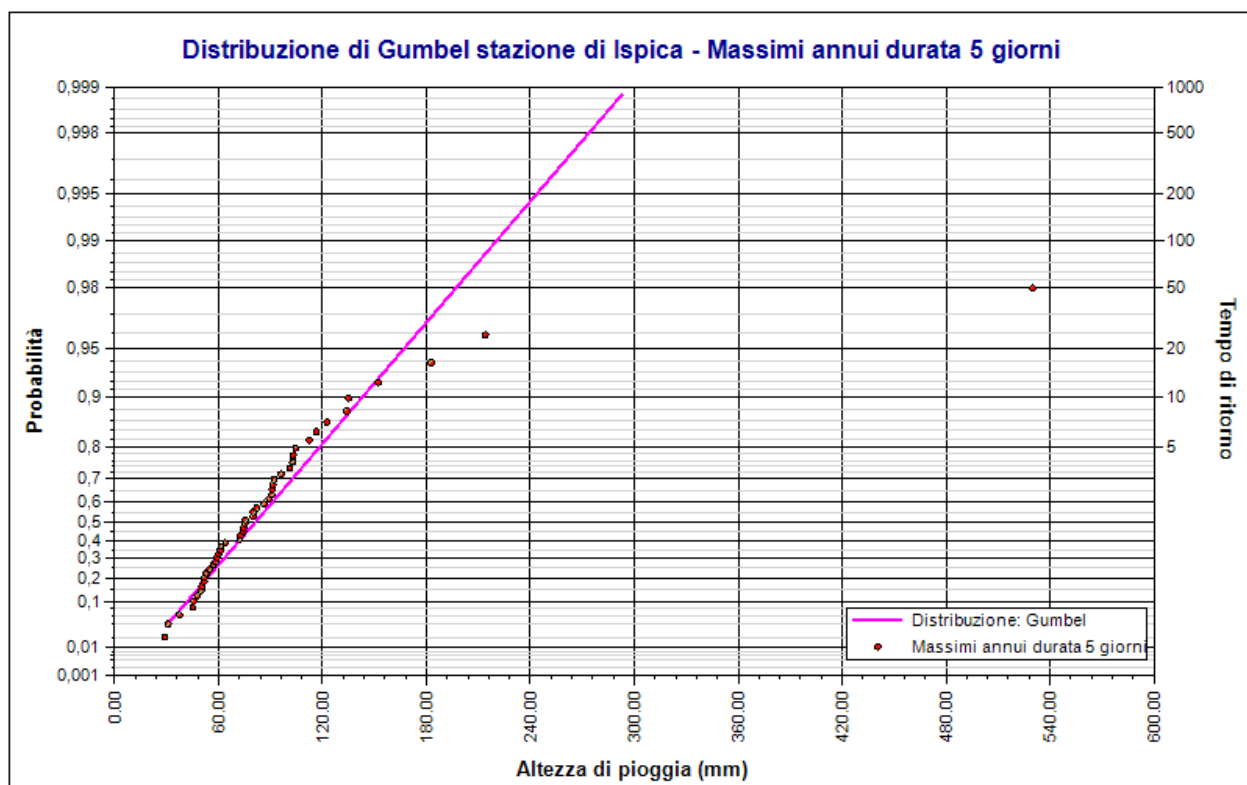
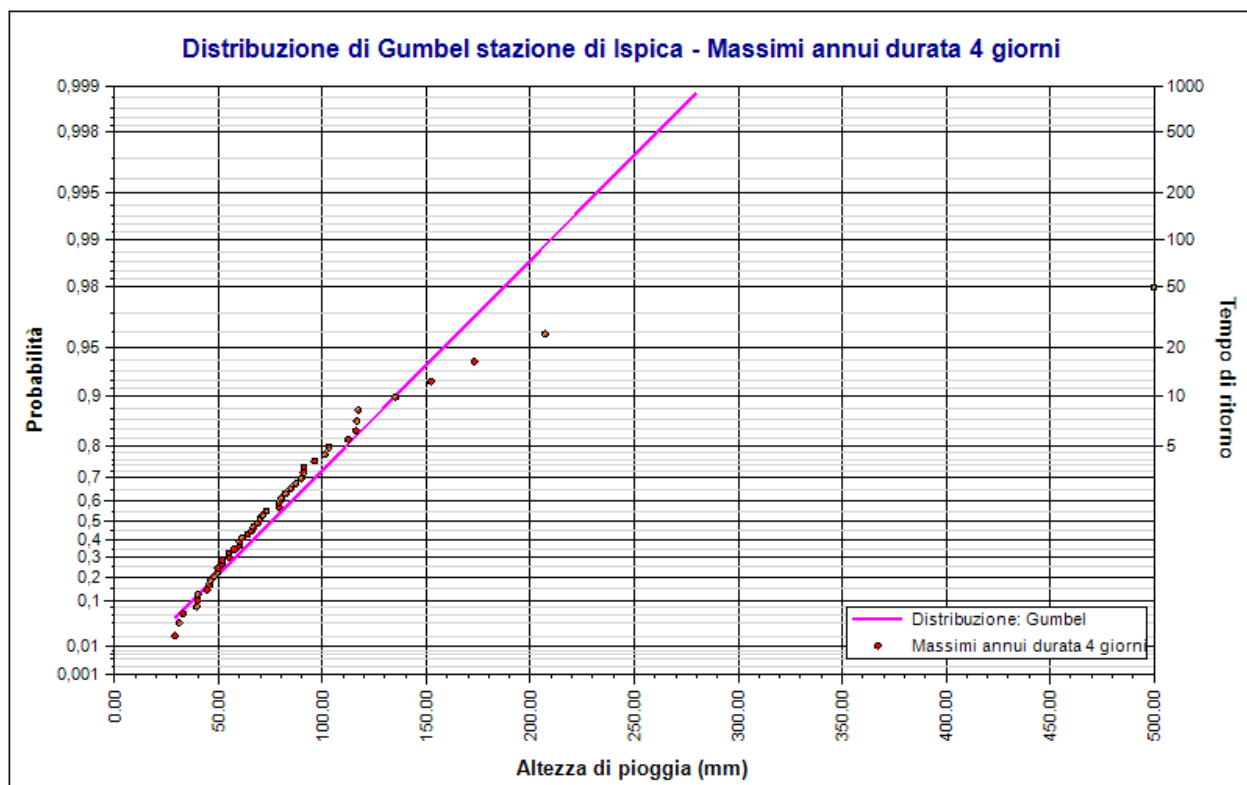
Fratili distribuzioni probabilistiche

Tempi di ritorno	Durate				
	1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
2 anni	49,63	61,77	69,42	75,56	81,19
5 anni	69,66	87,90	100,74	111,51	118,52

Tempi di ritorno	Durate				
	1 giorno	2 giorni	3 giorni	4 giorni	5 giorni
10 anni	82,92	105,21	121,47	135,32	143,24
20 anni	95,64	121,81	141,36	158,16	166,95
50 anni	112,11	143,29	167,10	187,72	197,64
100 anni	124,45	159,39	186,39	209,87	220,64
200 anni	136,74	175,43	205,61	231,94	243,55
500 anni	152,96	196,60	230,97	261,06	273,78
1000 anni	165,22	212,59	250,13	283,07	296,63







Rapporto sulla curva di pioggia:

Stazione di Ispica. Curva di pioggia Tr 50 anni
--

Dati Curva di pioggia

Elaborazione probabilistica: Distribuzione di Gumbel stazione di Ispica

Tempo di ritorno: 50 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 24 ore, 2 giorni, 3 giorni, 4 giorni, 5 giorni

Tabella punti di calcolo

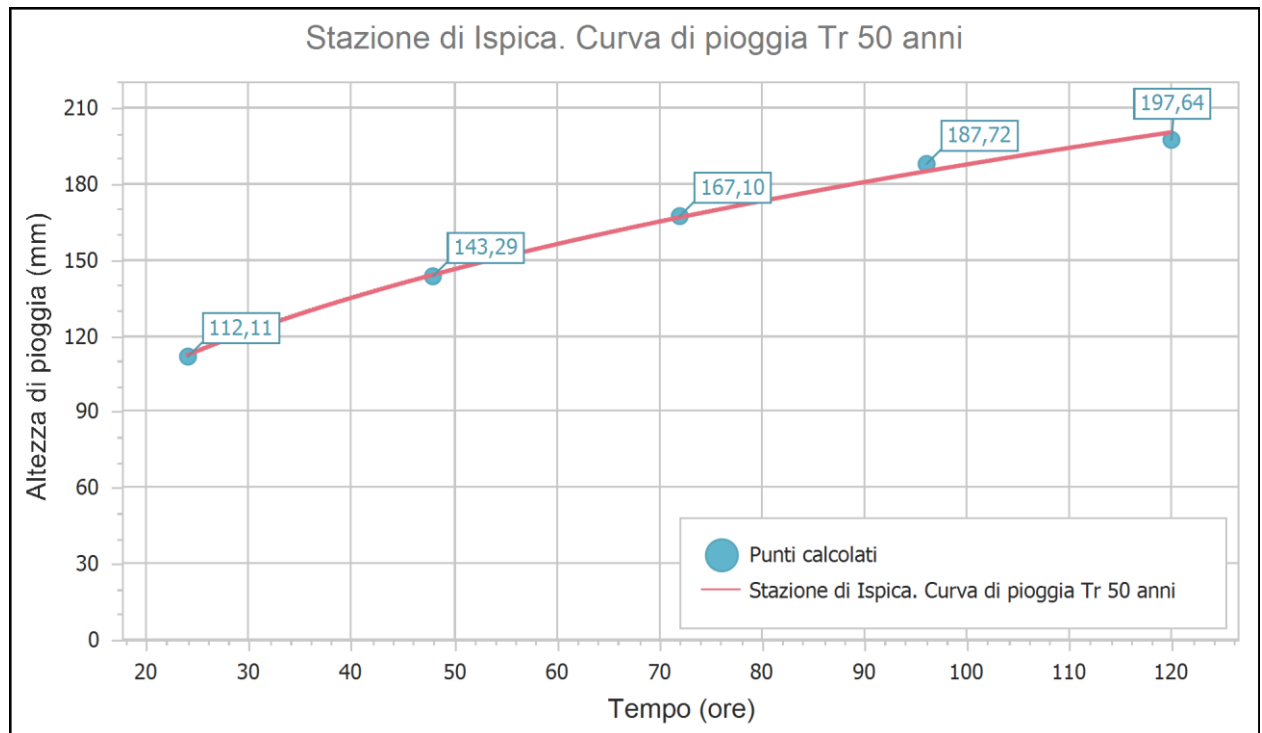
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24,000	1440	112,109
2	48,000	2880	143,290
3	72,000	4320	167,102
4	96,000	5760	187,721
5	120,000	7200	197,639

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
35,68	0,360	0,999	$h(t) = 35,7 t^{0,360}$

Valori curva di pioggia

t (giorni)	h (mm)
1	112,151
2	143,971
3	166,620
4	184,820
5	200,294



Rapporto sulla curva di pioggia:

Stazione di Ispica. Curva di pioggia Tr 100 anni

Dati Curva di pioggia

Elaborazione probabilistica: Distribuzione di Gumbel stazione di Ispica

Tempo di ritorno: 100 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 24 ore, 2 giorni, 3 giorni, 4 giorni, 5 giorni

Tabella punti di calcolo

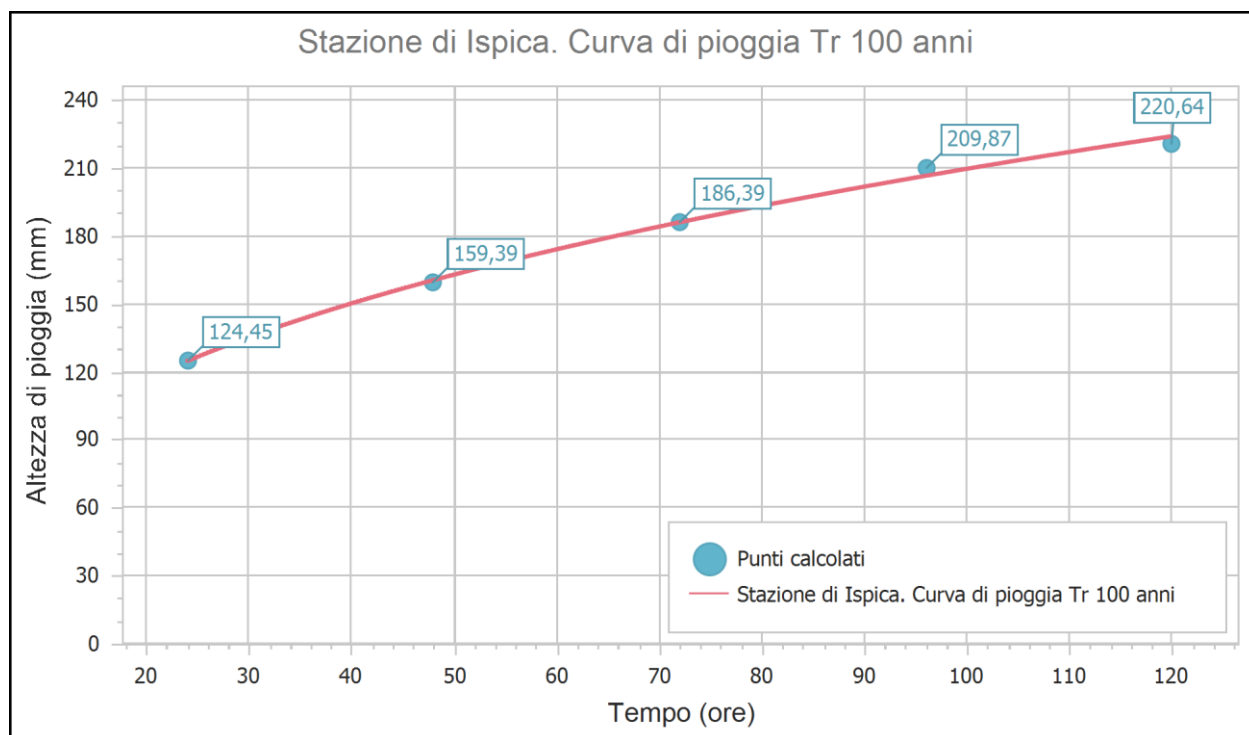
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24,000	1440	124,447
2	48,000	2880	159,390
3	72,000	4320	186,392
4	96,000	5760	209,872
5	120,000	7200	220,638

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
39,07	0,365	0,999	$h(t) = 39,1 t^{0,365}$

Valori curva di pioggia

t (giorni)	h (mm)
1	124,476
2	160,267
3	185,800
4	206,347
5	223,837



Rapporto sulla curva di pioggia:

Stazione di Ispica. Curva di pioggia Tr 200 anni

Dati Curva di pioggia

Elaborazione probabilistica: Distribuzione di Gumbel stazione di Ispica

Tempo di ritorno: 200 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 24 ore, 2 giorni, 3 giorni, 4 giorni, 5 giorni

Tabella punti di calcolo

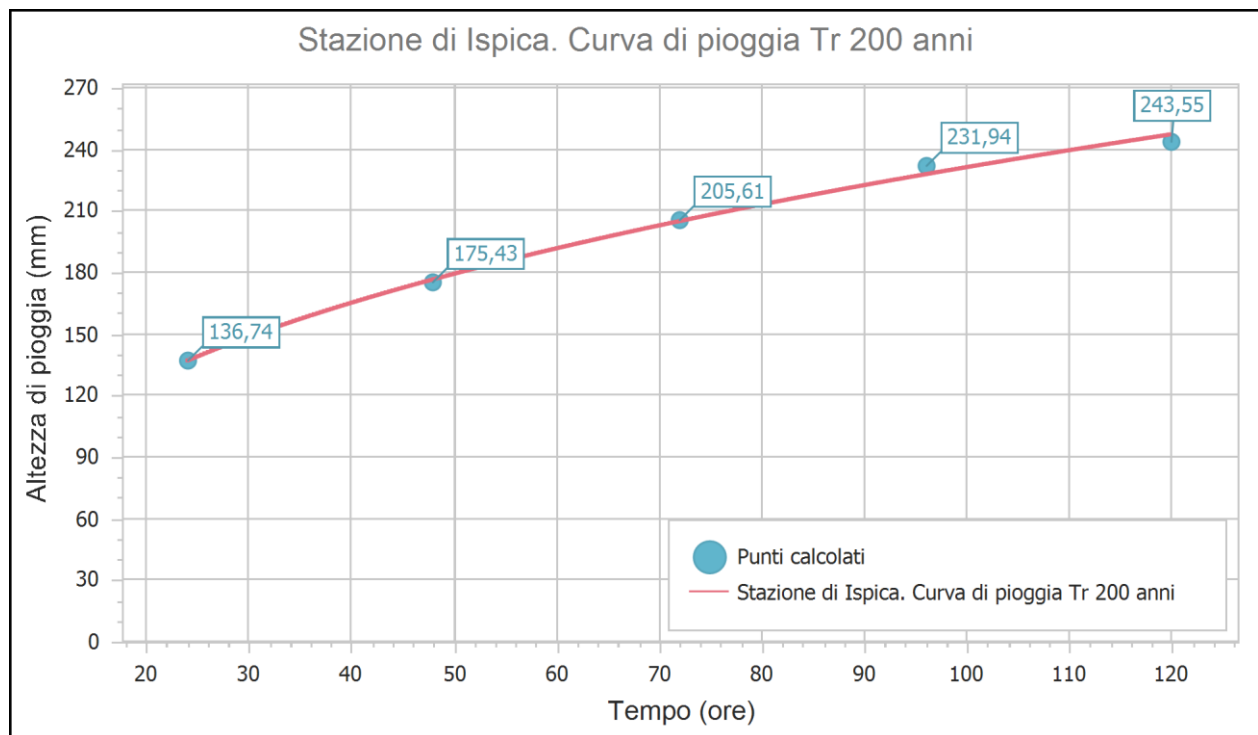
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24,000	1440	136,741
2	48,000	2880	175,432
3	72,000	4320	205,612
4	96,000	5760	231,943
5	120,000	7200	243,552

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
42,46	0,368	0,999	$h(t) = 42,5 t^{0,368}$

Valori curva di pioggia

t (giorni)	h (mm)
1	136,758
2	176,502
3	204,909
4	227,797
5	247,295



Rapporto sulla curva di pioggia:

Stazione di Ispica. Curva di pioggia Tr 300 anni

Dati Curva di pioggia

Elaborazione probabilistica: Distribuzione di Gumbel stazione di Ispica

Tempo di ritorno: 300 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 24 ore, 2 giorni, 3 giorni, 4 giorni, 5 giorni

Tabella punti di calcolo

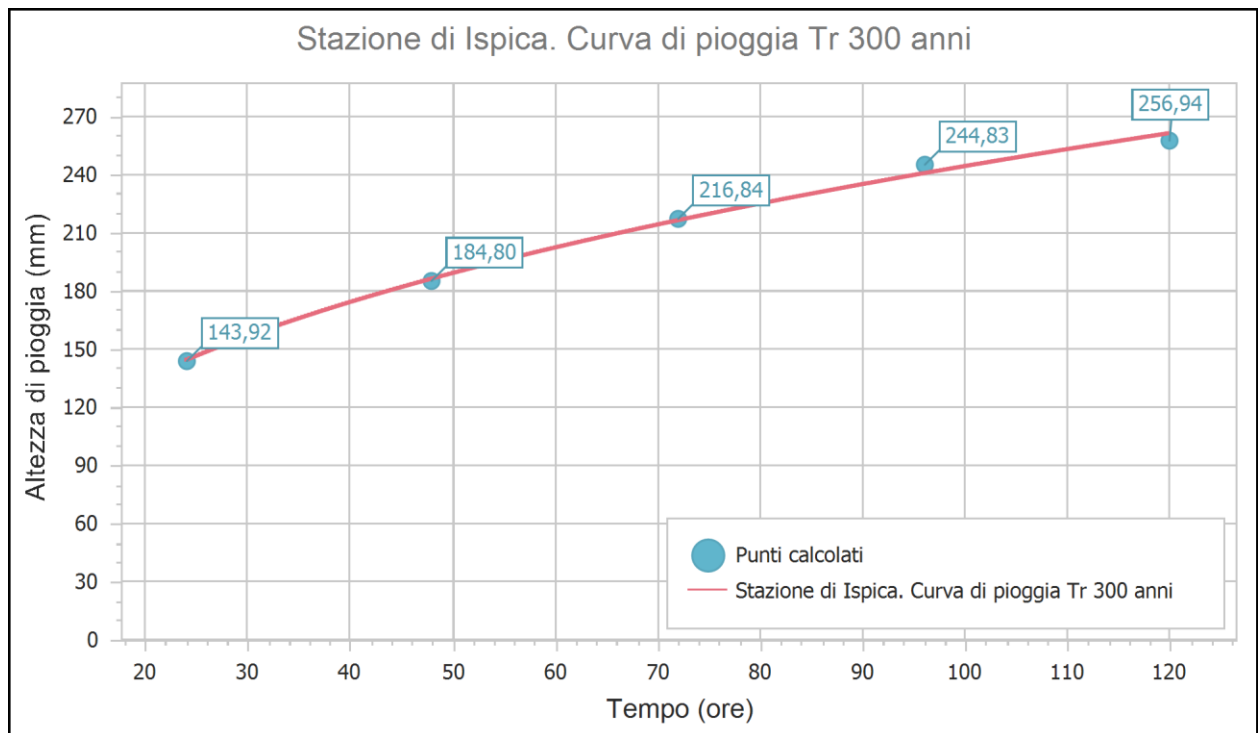
n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	24,000	1440	143,921
2	48,000	2880	184,800
3	72,000	4320	216,837
4	96,000	5760	244,833
5	120,000	7200	256,935

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
44,44	0,370	0,999	$h(t) = 44,4 t^{0.370}$

Valori curva di pioggia

t (giorni)	h (mm)
1	143,931
2	185,984
3	216,070
4	240,324
5	260,996



Il metodo del “runoff curve number” o del Curve Number

Il metodo del “*runoff curve number*” per la stima del deflusso superficiale dovuto all’afflusso meteorico su un bacino idrografico è ampiamente diffuso nella pratica professionale dell’ingegneria idrologica e negli studi di impatto ambientale.

CALCOLO DEL CURVE NUMBER

La sua popolarità è dovuta essenzialmente alla semplicità applicativa, alle sue origini autorevoli e al legame diretto con caratteristiche delle aree scolanti di facile reperibilità, in particolare: uso del suolo, tipo di copertura e condizioni idrologiche della superficie.

Tale metodo è stato sviluppato nel 1954 dal USDA (*United States Department of Agriculture*) *Soil Conservation Service* ed è stato sottoposto a diverse revisioni nel corso del tempo.

Il convinto appoggio ricevuto dalle agenzie federali hanno comportato la sua affermazione in una precisa nicchia scientifica per poi consacrarlo leader a livello mondiale nella pratica idrologica, ben al di fuori dei confini statunitensi.

Sebbene proprio la sua apparizione in un manuale (*National Engineering Handbook Section 4: Hydrology - NEH-4*), seppure di una autorevole organizzazione, offra il fianco alle critiche di quanti ritengono che non abbia subito la dura analisi a cui sono invece soggetti gli articoli accademici, è da ricordare che le numerose revisioni e soprattutto i circa sessanta anni di ininterrotto utilizzo a livello mondiale, costituiscono certamente la migliore prova sperimentale che esso funziona.

Il parametro Curve Number

Il Curve Number (o più semplicemente CN) è un parametro empirico, adimensionale, utilizzato nella pratica idrologica per stimare lo scorrimento superficiale conseguente a una precipitazione atmosferica.

I valori caratteristici sono stati stimati utilizzando l'analisi empirica degli innumerevoli dati relativi allo scorrimento superficiale di piccoli bacini e pendii soggetti a frana soggetti a costante controllo da parte del USDA.

Il CN è basato sull'uso del suolo, sul tipo di copertura, sulla condizione idrologica, sul gruppo idrologico del terreno.

Per umidità del suolo in condizioni normali i valori del CN variano usualmente tra 30 e 100; bassi valori indicano alta permeabilità del suolo e conseguentemente scarsa capacità di trasformazione degli afflussi in deflussi superficiali.

Lo scorrimento superficiale non può avvenire fino a quando l'apporto meteorico è completamente intercettato dai naturali meccanismi di ritenzione (infiltrazione nel suolo, intercettazione dalla copertura vegetale, ecc.).

La selezione del CN: i gruppi idrologici del terreno

Il *Soil Conservation Service – Curve Number* (SCS-CN) (ora *Natural Resources Conservation Service - NRCS*), come già evidenziato, è legato all'uso del suolo, al tipo di suolo, alla capacità di infiltrazione del terreno e alla profondità della superficie di falda acquifera sotterranea. Per individuare più facilmente la diversa capacità di infiltrazione, l'NRCS ha individuato quattro gruppi idrologici del terreno (*Hydrologic Soil Group – HSG*).

Gruppo A (basso potenziale di scorrimento superficiale): terreni con alta capacità di infiltrazione anche se completamente intrisi. Consistenti principalmente di sabbie e ghiaie profonde e ben drenate. Questi terreni hanno un alto grado di permeabilità (velocità di infiltrazione superiore a 7.62 mm/ora);

Gruppo B: Terreni con moderata capacità di infiltrazione se completamente intrisi. Consistono principalmente di sabbie e ghiaie profonde e ben drenate. Questi terreni hanno un moderato grado di permeabilità (velocità di infiltrazione compresa tra 3.81 e 7.62 mm/ora);

Gruppo C: Terreni con bassa capacità di infiltrazione se completamente intrisi. Consistono principalmente di suoli che presentano un piano sub orizzontale che impedisce il movimento verso il basso dell'acqua piovana ovvero di terreni con consistenza della parte solida da moderatamente sottile o sottile. Questi terreni hanno un basso grado di permeabilità (velocità di infiltrazione compresa tra 1.27 e 3.81 mm/ora);

Gruppo D (alto potenziale di scorrimento superficiale): terreni con capacità di infiltrazione molto bassa se completamente intrisi. Consistenti principalmente di argille con alto potenziale rigonfiante, suoli con livello di falda costantemente alto, suoli con lenti di argilla o superfici argillose vicine al piano campagna e suoli poco profondi collocati su superfici di materiali impermeabili. Questi terreni hanno un grado di permeabilità molto basso (velocità di infiltrazione inferiore a 1.27 mm/ora).

Considerata l'importanza che riveste la selezione del HSG più opportuno, essa dovrebbe essere basata su misure reali della velocità di infiltrazione, indagini del terreno sul campo o almeno sul giudizio di professionisti qualificati nella materia.

L'Uso del Suolo e la caratterizzazione del bacino idrografico

Le aree scolanti omogenee per uso del suolo, in cui suddividere il bacino idrografico, sono:

- Aree Urbane
- Terreni Agricoli Coltivati
- Altri terreni Agricoli

Il significato della suddivisione, così come la logica sottostante, sono di immediata comprensione.

Ogni area scolante omogenea avrà uso del suolo, tipo di copertura, descrizione della copertura ovvero condizione idrologica e HSG caratteristici; noti tali parametri è possibile individuare il corrispondente valore di Curve Number.

Il calcolo del Curve Number

Noti tutti i valori di Curve Number delle aree scolanti elementari costituenti il bacino idrografico (CN_i), il CN è calcolato come media di tali valori pesata per la superficie (S_i). Tale metodo è utilizzato per calcolare il CN dell'area omogenea (Aree Urbane, Terreni Agricoli Coltivati, Altri Terreni Agricoli) e dell'intero bacino idrografico, secondo la formula:

$$CN = \frac{\sum_i (CN_i \cdot S_i)}{\sum_i (S_i)}$$

Le condizioni di umidità del terreno (AMC)

Il valore del parametro Curve Number per un determinato terreno non rimane costante, ma varia in funzione dell'umidità contenuta nel suolo antecedentemente all'evento di pioggia. Tale condizione è nota come AMC (*Antecedent Moisture Condition*).

Le condizioni antecedenti possono essere di tre tipi:

- AMC_I (secca)
- AMC_{II} (normale)
- AMC_{III} (umida)

La stima dei valori estremi avviene a partire dalle condizioni AMC_{II} , per cui sono disponibili i corrispondenti valori di CN_{II} , secondo relazioni sviluppate da diversi autori. Di seguito quelle utilizzate per i calcoli (Chow et al., 1988):

$$CN_I = \frac{4.2 \cdot CN_{II}}{10 - (0.058 \cdot CN_{II})}$$

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + (0.13 \cdot CN_{II})}$$

Aree Urbane

Tipo di copertura	Descrizione suolo	HSG	CN	S [kmq]
Distretti residenziali	Edilizia intensiva (65% impermeabile)	B	85	0,615
Aree urbane in via di sviluppo	Aree di nuovo impianto (solo terreni permeabili nudi)	A	77	0,132

Stima del valore di Curve Number

La stima del valore di Curve Number del bacino idrografico in esame è stata effettuata in base alla conoscenza delle caratteristiche delle aree scolanti elementari da cui è formato.

I risultati dell'applicazione delle formule descritte nella precedente sezione sono di seguito riportati.

Uso del Suolo	S [kmq]	S [%]	CN	CN _I	CN _{III}
Aree Urbane	0,747	100	84	37	92
Intero Bacino	0,747	100	84	37	NaN

CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

La precipitazione e la formazione della piena

La durata della precipitazione critica per il bacino, cioè quella che mette in crisi la rete idrografica perché per essa si raggiunge il valore più elevato di portata, dipende dall'estensione del bacino stesso.

Tale circostanza è la logica conseguenza del fenomeno di trasferimento subito da ogni particella liquida che cade in un punto del bacino; essa deve seguire un suo percorso per giungere alla sezione di chiusura impiegando, a parità di velocità di trasferimento, un tempo tanto maggiore quanto più lungo è il percorso da effettuare.

Per individuare in termini quantitativi il ritardo temporale esistente tra l'idrogramma di piena e lo ietogramma che lo ha generato, l'evento viene rappresentato mediante un tempo caratteristico. Tra i tempi caratteristici degli eventi di piena, i più utilizzati sono il tempo di corrivazione, il tempo di concentrazione e il tempo di ritardo.

Il Tempo di Corrivazione t_c

Il tempo di corrivazione di un punto del bacino è il tempo necessario perché la 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 che viene denominato tempo di corrivazione del bacino $t_{c.}$. Per quanto descritto in precedenza esso è quello necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

La definizione di tempo di corrivazione spiega perché il valore massimo al colmo di piena nella sezione di chiusura si verifica proprio se l'evento meteorico ha una durata almeno pari al tempo di corrivazione, dato che in questo caso tutta l'area scolante contribuisce alla formazione del deflusso superficiale.

Il concetto di tempo di corrivazione permette di spiegare il motivo per cui la formazione delle piene è causata da precipitazioni di durata sempre maggiore all'aumentare delle dimensioni del bacino. Tale durata è molto variabile dal valore di pochi minuti fino a quello di diversi giorni.

Formule empiriche per la determinazione di t_c

Per la determinazione del valore assunto dal tempo di corrivazione di un bacino idrografico sono disponibili diverse formule empiriche, ricavate da studi effettuati su numerosi bacini aventi specifiche caratteristiche. Tali formule esprimono il legame esistente tra il tempo di corrivazione (incognito) e alcune grandezze caratteristiche del bacino (di facile determinazione). Ogni formula fornisce una stima tanto più affidabile di t_c , specifico del bacino oggetto di indagine, quanto più le caratteristiche di quest'ultimo si avvicinano a quelle dei bacini analizzati per costruire la formula utilizzata.

Dati geomorfologici del bacino idrografico

Per l'applicazione delle formule empiriche di stima del tempo di corrivazione del bacino idrografico è necessaria la conoscenza di alcuni parametri geomorfologici del bacino stesso.

I parametri utilizzati nel calcolo del tempo di corrivazione sono di seguito riportati:

Area bacino idrografico [kmq]	0,748
Lunghezza asta fluviale [km]	1,788
Quota massima bacino [m]	200
Quota media bacino [m]	160
Quota sezione di chiusura [m]	135
Distanza massima spartiacque [km]	1,77
Pendenza media asta fluviale [-]	0,036
Pendenza media versanti [-]	0,037
Curve Number [-]	84
Perimetro [km]	4,03

Formula di Giandotti

Ricavata dallo studio di bacini con area compresa tra 170 e 70000 kmq.

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{Y_m - Y_c}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
A	Area bacino	[kmq]
L	lunghezza asta principale	[km]
Y_m	quota media bacino	[m]
Y_c	quota sezione chiusura	[m]

Formula di Viparelli

Ricavata dallo studio di piccoli bacini considerando il tempo di corrivazione come rapporto tra lunghezza del percorso idraulicamente più lungo dell'acqua fino alla sezione di chiusura e velocità media di trasferimento; questa varia tra 1÷1,5 m/s ma valori inferiori a 1,5 m/s sono scarsamente utilizzati e si adopera quest'ultimo a vantaggio di sicurezza.

$$t_c = \frac{1}{3,6} \cdot \frac{L}{v}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L	lunghezza asta principale	[km]
$v=1,5$	Velocità media di trasferimento	[m/s]

Formula di Pezzoli

Ricavata dallo studio di piccoli bacini piemontesi.

$$t_c = 0,055 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_{map}}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L	lunghezza asta principale	[km]
i_{map}	pendenza media asta principale	[adimensionale]

Formula di Puglisi

Ricavata dallo studio di bacini dell'Appennino Dauno con area compresa tra 43 e 94 kmq.

$$t_c = 6 \cdot \frac{\sqrt{L}^{2/3}}{\sqrt{Y_{max} - Y_c}^{1/3}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L	lunghezza asta principale	[km]
Y_{max}	quota massima bacino	[m]
Y_c	quota sezione chiusura	[m]

Formula di Ventura

$$t_c = 0,1272 \cdot \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{i_{map}}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
A	Area bacino	[kmq]
i_{map}	Pendenza media asta principale	[adimensionale]

Formula di Tournon

Ricavata dallo studio di bacini montani piemontesi con area compresa tra 30 e 170 kmq.

$$t_c = 0,396 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_{map}}} \cdot \left(\frac{A}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{i_{map}}{i_{mv}}} \right)^{0,72}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
A	Area bacino	[kmq]
L	lunghezza asta principale	[km]
i_{map}	Pendenza media asta principale	[adimensionale]
i_{mv}	Pendenza media versanti	[adimensionale]

Formula di Pasini

$$t_c = 24 \cdot 0,045 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i_{map} \cdot 100}}$$

in cui

t _c	tempo di corrivazione	[ore]
A	Area bacino	[kmq]
L	lunghezza asta principale	[km]
i _{map}	Pendenza media asta principale	[adimensionale]

Formula di Kirpich

La formula è stata sviluppata per piccoli bacini del Tennessee e della Pennsylvania.

Formulazione originale (Sistema Consuetudinario USA):

$$t_c = 0,0078 \cdot L^{0,77} \cdot i_{mv}^{-0,385}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L	lunghezza asta principale	[piedi]
i_{mv}	Pendenza media versanti	[adimensionale]

Formulazione conversione (S.I.):

$$t_c = 0,000325 \cdot \left(\frac{L \cdot 1000}{\sqrt{i_{mv}}} \right)^{0,77}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L	lunghezza asta principale	[km]
i_{mv}	Pendenza media versanti	[adimensionale]

Formula di Johnstone e Cross

La formula è stata sviluppata per bacini con area compresa tra 64 e 4200 kmq.

Formulazione originale (Sistema Consuetudinario USA):

$$t_c = 300 \cdot \sqrt{\frac{L_{sp}}{i_{mv}}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[minuti]
L_{sp}	Distanza max spartiacque-sezione di chiusura	[Miglia]
i_{mv}	Pendenza media versanti	[piedi/Migli]

Formulazione conversione (S.I.):

$$t_c = 3,258 \cdot \frac{1}{60} \cdot \sqrt{\frac{L_{sp}}{i_{mv}}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L_{sp}	Distanza max spartiacque - sez. chiusura	[km]
i_{mv}	Pendenza media versanti	[adimensionale]

Formula California Culvert Practice

La formula è stata sviluppata per piccoli bacini montani della California.

Formulazione originale (Sistema Consuetudinario USA):

$$t_c = \left(11,9 \cdot \frac{L_{sp}^3}{Y_{max} - Y_c} \right)^{0,385}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L_{sp}	Distanza max spartiacque - sezione chiusura	[Miglia]
Y_{max}	quota massima bacino	[piedi]
Y_c	quota sezione chiusura	[piedi]

Formulazione conversione (S.I.):

$$t_c = 56,873 \cdot \frac{1}{60} \cdot \left(\frac{L_{sp}^3}{Y_{max} - Y_c} \right)^{0,385}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L_{sp}	Distanza max spartiacque - sezione chiusura	[km]
Y_{max}	quota massima bacino	[m]
Y_c	quota sezione chiusura	[m]

Formula NRCS-SCS (Natural Resources Conservation Service)

La formula è stata sviluppata per piccoli bacini rurali degli USA.

Formulazione originale (Sistema Consuetudinario USA):

$$t_c = \frac{1}{1,140} \cdot \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7} \cdot L_{sp}^{0,8}}{\sqrt{i_{mv}}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L_{sp}	Distanza max spartiacque - sez. chiusura	[piedi]
CN	Curve Number	[adimensionale]
i_{mv}	Pendenza media versanti	[%]

Formulazione conversione (S.I.):

$$t_c = 0,057 \cdot \frac{\left(\frac{1000}{CN} - 9\right)^{0,7} \cdot L_{sp}^{0,8}}{\sqrt{i_{mv}}}$$

in cui

t_c	tempo di corrivazione	[ore]
L_{sp}	Distanza max spartiacque - sez. chiusura	[km]
CN	Curve Number	[adimensionale]
i_{mv}	Pendenza media versanti	[adimensionale]

I parametri adimensionali di forma

Nello studio di un bacino idrografico, contestualmente alla applicazione delle diverse formule volte ad individuarne il tempo di corrivazione caratteristico, è opportuno soffermarsi ad analizzarne la geometria. Essa, infatti, influenza i meccanismi di percorrenza dell'acqua caduta sul bacino, le modalità di formazione della portata nella sezione di chiusura e in ultima analisi la determinazione del valore di t_c .

Per caratterizzare la forma dei bacini idrografici sono disponibili diversi parametri ormai consolidati in letteratura, noti anche come parametri di forma.

Rapporto di circolarità

E' il rapporto tra l'area A del bacino e l'area del cerchio di ugual perimetro P .

$$R_c = \frac{4 \cdot \pi \cdot A}{P^2}$$

Coefficiente di uniformità

E' il rapporto tra il perimetro P del bacino e la circonferenza del cerchio di eguale area.

$$C_u = \frac{P}{2 \cdot \sqrt{\pi \cdot A}}$$

Fattore di forma

E il rapporto tra l'area A del bacino e il quadrato della lunghezza L dell'asta fluviale principale; esso fornisce una indicazione della sinuosità del corso d'acqua.

$$F_f = \frac{A}{L^2}$$

Rapporto di allungamento

E' definito come il rapporto tra il diametro del cerchio di uguale area A e la lunghezza L dell'asta fluviale principale.

$$R_a = \frac{2 \cdot \sqrt{A}}{L \cdot \sqrt{\pi}}$$

Stima del tempo di corrivazione

La stima del tempo di corrivazione del bacino idrografico oggetto di indagine è stata effettuata in base alla conoscenza dei relativi parametri geomorfologici.

I risultati dell'applicazione delle formule empiriche di stima, descritte in dettaglio nella precedente sezione sono di seguito riportati.

Giandotti [ore]	1,54
Viparelli [ore]	0,33
Pezzoli [ore]	0,52
Puglisi [ore]	2,2
Ventura [ore]	0,58
Tournon [ore]	1,3
Pasini [ore]	0,63
Kirpich [ore]	0,37
Johnstone e Cross [ore]	0,38
California Culvert Practice [ore]	0,37
NRCS - SCS [ore]	0,99

Parametri adimensionali di forma

La scelta della migliore stima del tempo di corrivazione di un bacino idrografico avviene tenendo conto della morfologia del bacino stesso. Di seguito sono riportati i valori dei parametri di forma più utilizzati nella pratica professionale.

Rapporto di circolarità R_c	0,58
Coefficiente di uniformità C_u	1,31
Fattore di forma F_f	0,23
Rapporto di allungamento R_a	0,55

Rapporto sulla curva di pioggia:

Curva di probabilità pluviometrica

Dati Curva di pioggia

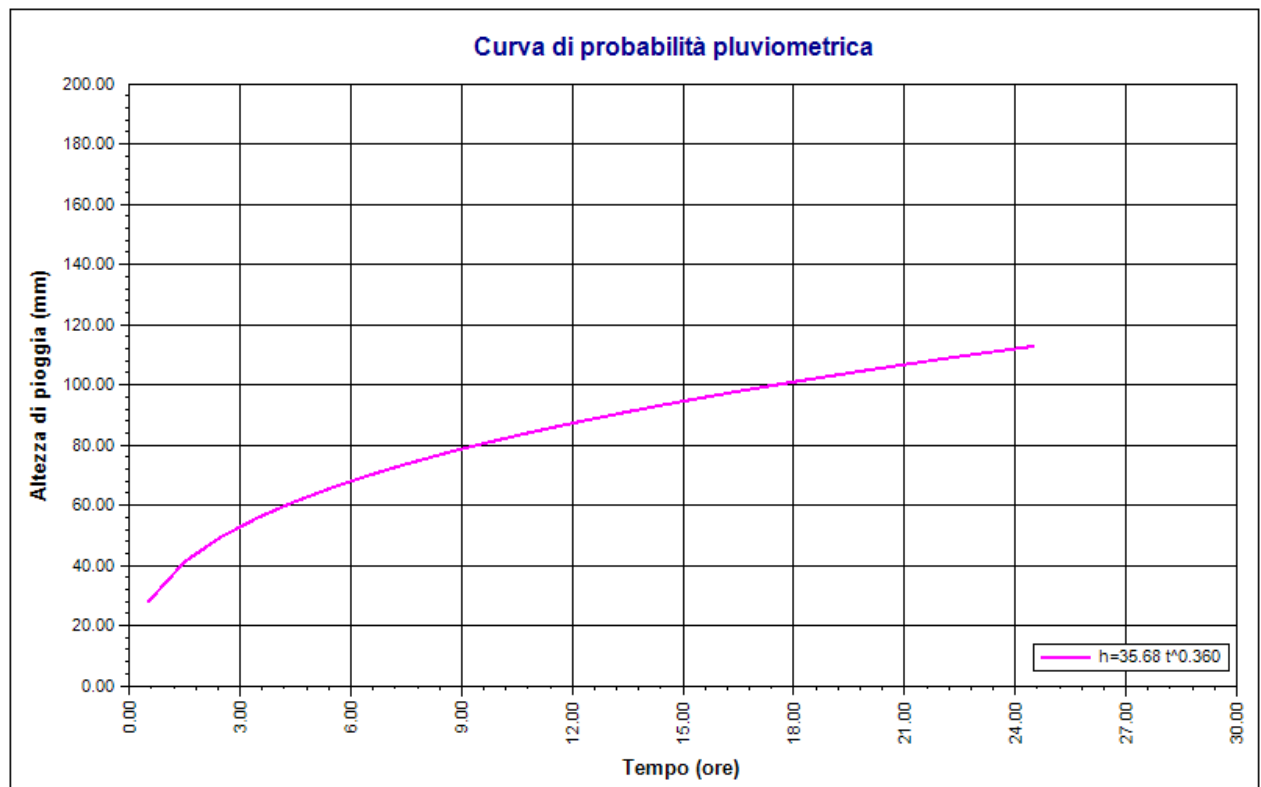
Tipo: Curva di pioggia diretta

Coefficienti curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
35.68	0.36	$h(t) = 35.7 t^{0.360}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)
1	35.680		9	78.696		17	98.943
2	45.793		10	81.738		18	101.000
3	52.989		11	84.591		19	102.986
4	58.771		12	87.283		20	104.905
5	63.687		13	89.835		21	106.764
6	68.008		14	92.264		22	108.567
7	71.889		15	94.584		23	110.318
8	75.429		16	96.807		24	112.021



Curva di probabilità pluviometrica

Rapporto pluviogramma sintetico:

Pluviogramma di progetto

Dati Pluviogramma

Tipo: Pluviogramma sintetico

Curva di pioggia: Curva di probabilità pluviometrica

Durata: 0.370 ore

Altezza di pioggia complessiva: 26.034 mm

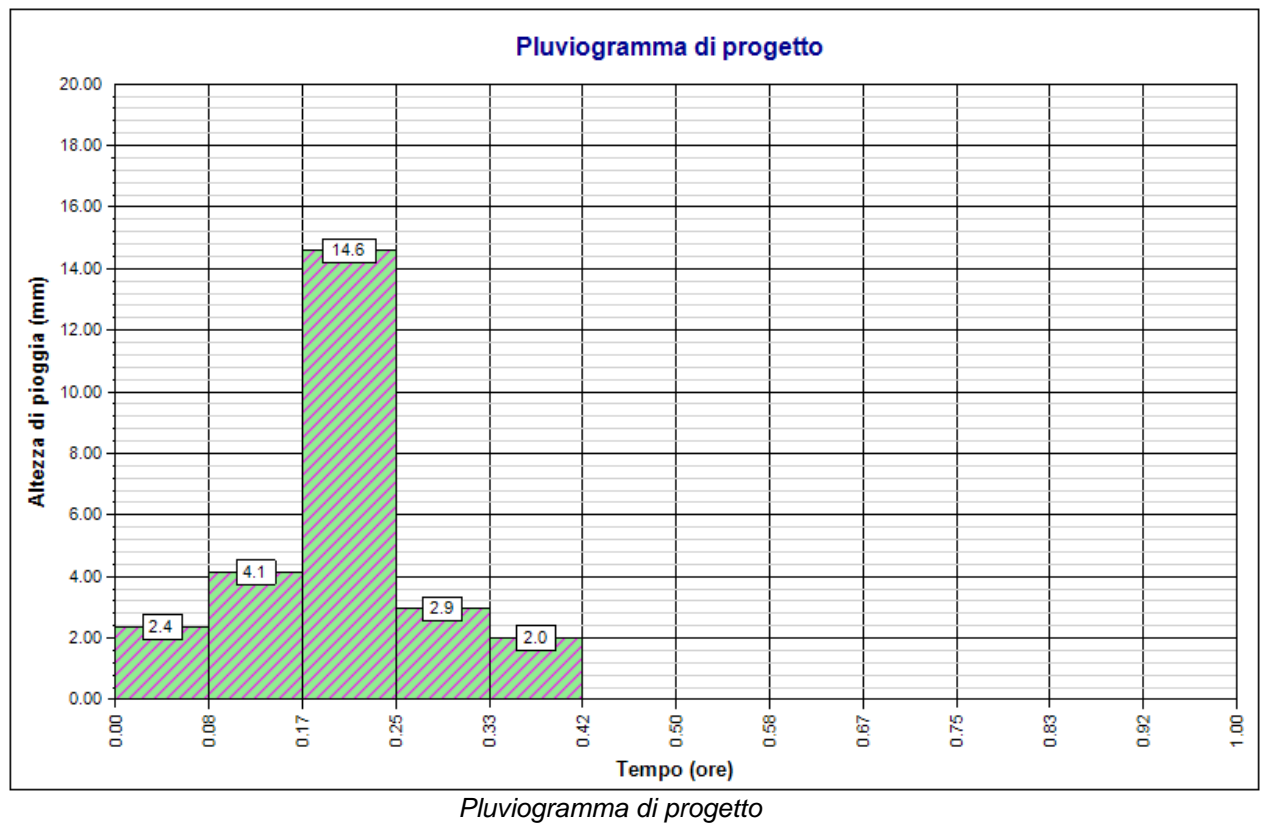
Intervallo di discretizzazione: 5

Curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
35.68	0.36	$h(t) = 35.7 t^{0.360}$

Tabella pluviogramma

n	Estremi intervallo (ore)		Estremi intervallo (minuti)		Altezza (mm)
	t(i)	t(i+1)	t(i)	t(i+1)	
1	0.000	0.083	0	5	2.364
2	0.083	0.167	5	10	4.134
3	0.167	0.250	10	15	14.585
4	0.250	0.333	15	20	2.942
5	0.333	0.417	20	25	2.010



Trasformazione Afflussi-Deflussi

Modello SCS-CN

Il modello idrologico SCS-CN permette di simulare il deflusso superficiale in corrispondenza di una data precipitazione. Il processo di trasformazione afflussi-deflussi è suddiviso nelle seguenti fasi:

- a) Determinazione delle piogge nette;
- b) Trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali.

È necessario definire un pluviogramma, che viene considerato uniformemente distribuito sull'intero bacino.

Le piogge nette si calcolano, a partire dal pluviogramma, secondo il metodo del Curve Number (CN) proposto dall'SCS (Soil Conservation Service). L'equazione di continuità:

$$R = P - S$$

dove:

R è il deflusso fino all'istante t (mm)

P è la precipitazione fino all'istante t (mm)

S sono le perdite fino all'istante t (mm)

viene modificata ipotizzando che vi sia una relazione di proporzionalità tra perdite S e massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$\frac{S}{S'} = \frac{R}{P}$$

e assume la forma seguente:

$$R = \frac{P^2}{P + S'} [mm]$$

che definisce l'andamento nel tempo del deflusso R nota la precipitazione P e la massima infiltrazione S' .

Considerando che un'aliquota di P si invasa nelle depressioni superficiali o si infila prima che il deflusso abbia inizio, si può scrivere:

$$R = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S'} [mm]$$

essendo Ia (mm) la perdita iniziale (*Initial abstraction*).

L'unico parametro del modello risulta quindi essere l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione S' (mm), che si ricava dalla seguente formula:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254$$

dove CN (*Curve Number*) è un indice compreso tra 0 e 100 fornito dalle tabelle SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità.

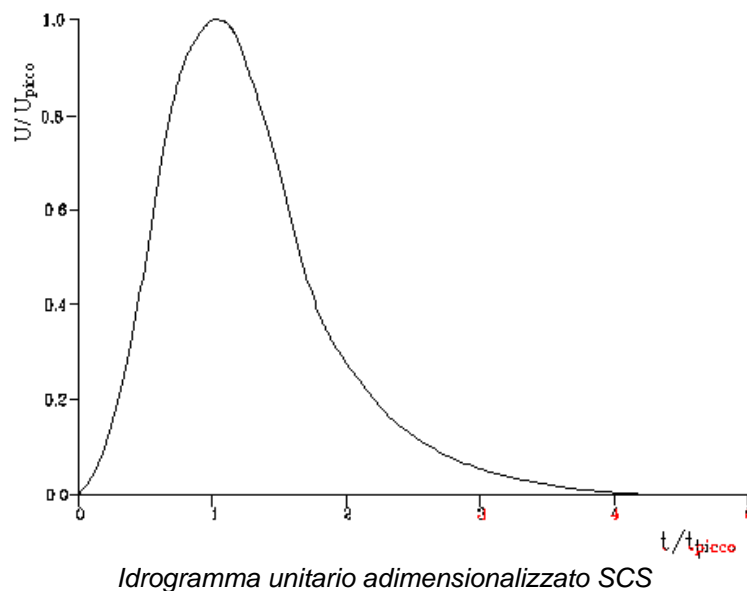
La trasformazione afflussi-deflussi quindi è ottenuta tramite l'idrogramma unitario SCS (1972) di seguito riportato, che richiede come unico parametro il tempo t_{LAG} (ore) pari al ritardo tra il baricentro del diagramma delle piogge nette e il picco dell'idrogramma unitario. Si può porre $t_{LAG} = 0,6 t_C$ con t_C tempo di corrivazione del bacino in esame.

L'istante e la portata di picco rispetto alla precipitazione unitaria sono calcolati come:

$$t_{picco} = 0,5 \Delta t + t_{lag}$$

$$U_{picco} = 0,2084 \frac{A}{t_{picco}}$$

dove t_{picco} è il tempo in ore del picco dell'idrogramma unitario, Δt è l'intervallo di calcolo espresso in ore, U_{picco} è la portata massima dell'idrogramma unitario espressa in $m^3/s/mm$ e A è l'area del sottobacino misurata in km^2 .



La portata è ottenuta tramite la sommatoria che discretizza l'integrale di convoluzione:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j)P(i-j+1)$$

dove $Q(i)$ è la portata alla fine dell'intervallo i -esimo, $U(j)$ è la j -esima ordinata dell'idrogramma unitario, ricavabile dalla precedente figura, e $P(i)$ è la pioggia netta all'intervallo i -esimo.

Dati Idrogramma

Tipo: Idrogramma SCS

Pluviogramma di input: Pluviogramma di progetto

Superficie del bacino: 0.7 kmq

Tlag: 0.222 ore

Astrazione iniziale: 3.0 mm

Curve Number: 84.0

Intervallo di calcolo: 5 minuti

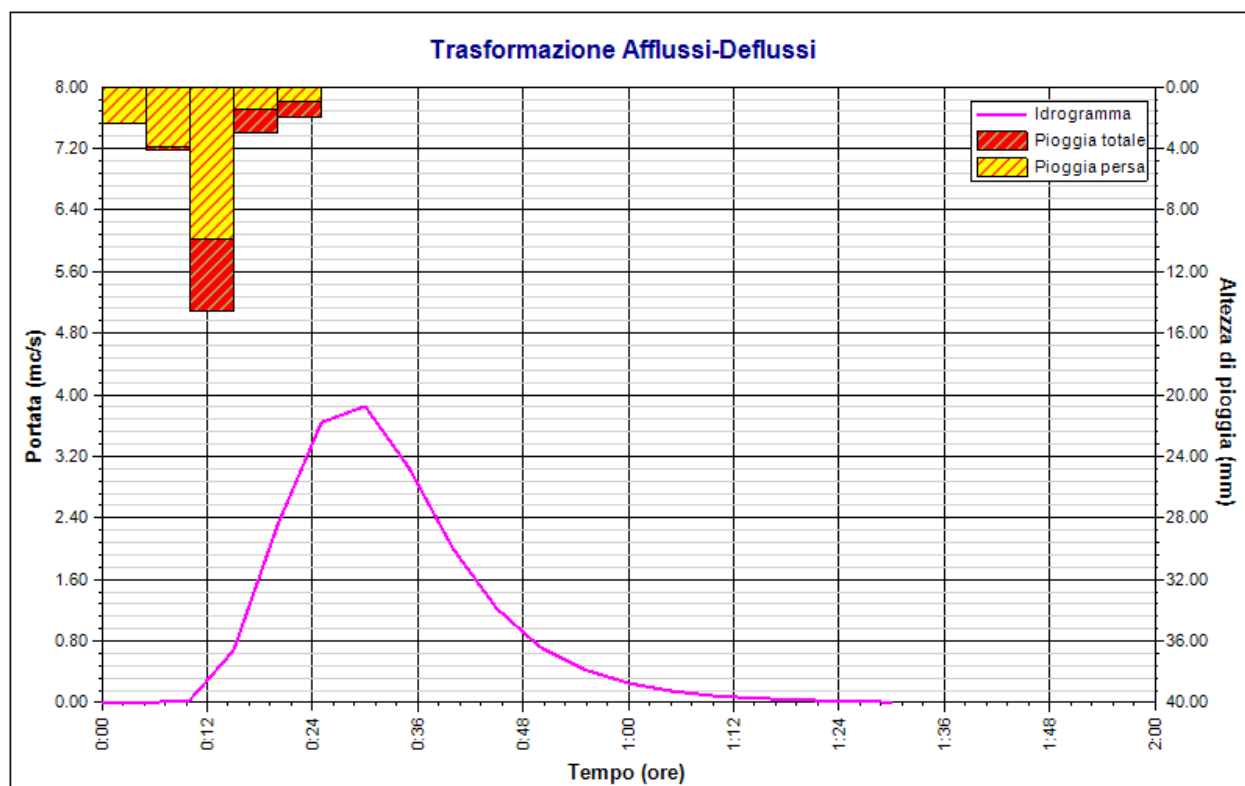
Tabella idrogramma

n	Tempo		Afflusso (mm)	Pioggia persa (mm)	Pioggia netta (mm)	Portata (mc/s)
	(ore)	(minuti)				
1	0.000	0	2.364	2.364	0.000	0.0
2	0.083	5	4.134	3.898	0.236	0.0
3	0.167	10	14.585	9.901	4.684	0.0
4	0.250	15	2.942	1.493	1.449	0.7
5	0.333	20	2.010	0.949	1.061	2.3
6	0.417	25	0.000	0.000	0.000	3.6
7	0.500	30	0.000	0.000	0.000	3.9
8	0.583	35	0.000	0.000	0.000	3.0
9	0.667	40	0.000	0.000	0.000	2.0
10	0.750	45	0.000	0.000	0.000	1.2
11	0.833	50	0.000	0.000	0.000	0.7
12	0.917	55	0.000	0.000	0.000	0.4
13	1.000	60	0.000	0.000	0.000	0.3
14	1.083	65	0.000	0.000	0.000	0.1
15	1.167	70	0.000	0.000	0.000	0.1
16	1.250	75	0.000	0.000	0.000	0.1
17	1.333	80	0.000	0.000	0.000	0.0
18	1.417	85	0.000	0.000	0.000	0.0
19	1.500	90	0.000	0.000	0.000	0.0

Tabella risultati

Parametro	Valore	U.M.
Portata massima	3.9	mc/s
Istante picco	0.500	ore
Istante picco	30.0	minuti
Durata totale evento	1.500	ore
Volume afflusso	19	mc x 1000

Parametro	Valore	U.M.
Volume deflusso	6	mc x 1000
Altezza afflusso	26.034	mm
Altezza deflusso	7.421	mm
Coeff. deflusso	0.29	-
Coeff. udometrico	5.15	mc/s/kmq



Rapporto sulla curva di pioggia:

Curva di probabilità pluviometrica

Dati Curva di pioggia

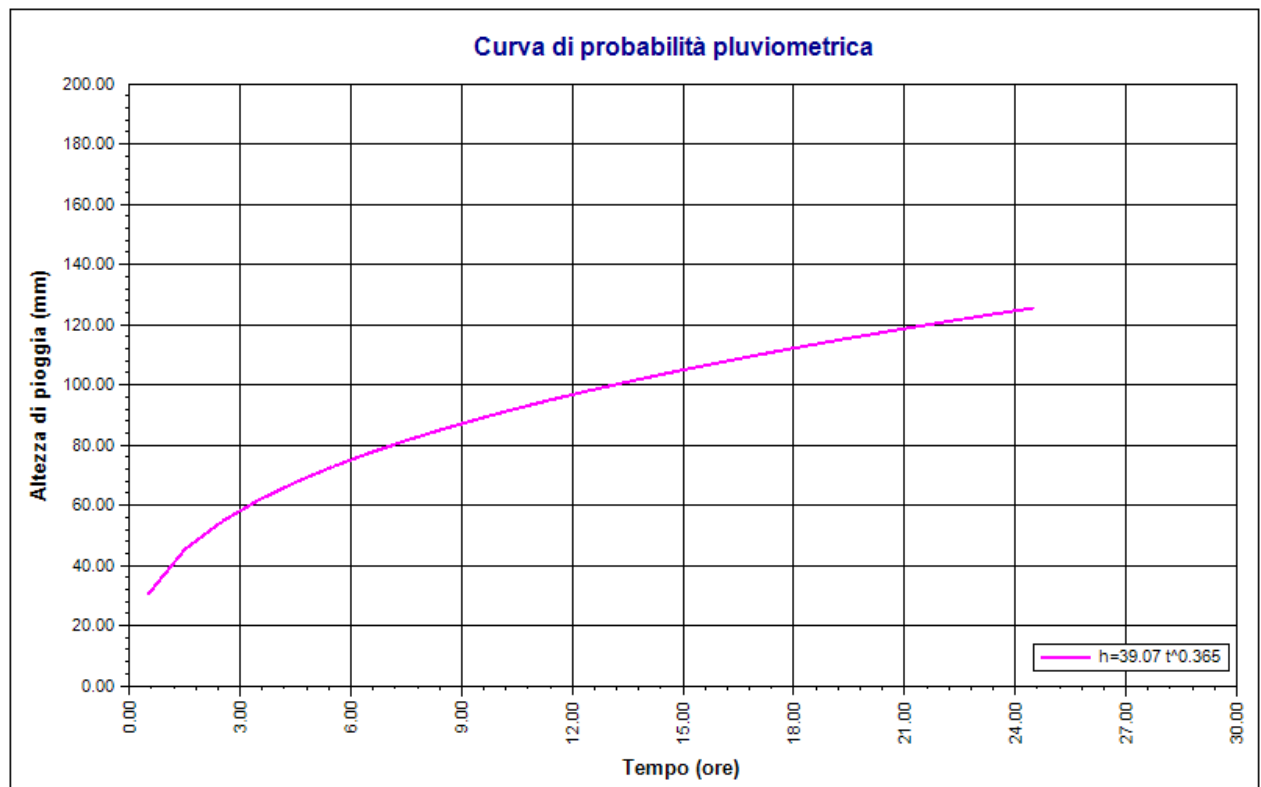
Tipo: Curva di pioggia diretta

Coefficienti curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
39.07	0.37	$h(t) = 39.1 t^{0.365}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)
1	39.070		9	87.125		17	109.890
2	50.318		10	90.541		18	112.206
3	58.344		11	93.746		19	114.443
4	64.803		12	96.771		20	116.606
5	70.302		13	99.640		21	118.701
6	75.140		14	102.372		22	120.733
7	79.488		15	104.982		23	122.708
8	83.459		16	107.485		24	124.629



Curva di probabilità pluviometrica

Rapporto pluviogramma sintetico:

Pluviogramma di progetto

Dati Pluviogramma

Tipo: Pluviogramma sintetico

Curva di pioggia: Curva di probabilità pluviometrica

Durata: 0.370 ore

Altezza di pioggia complessiva: 28.384 mm

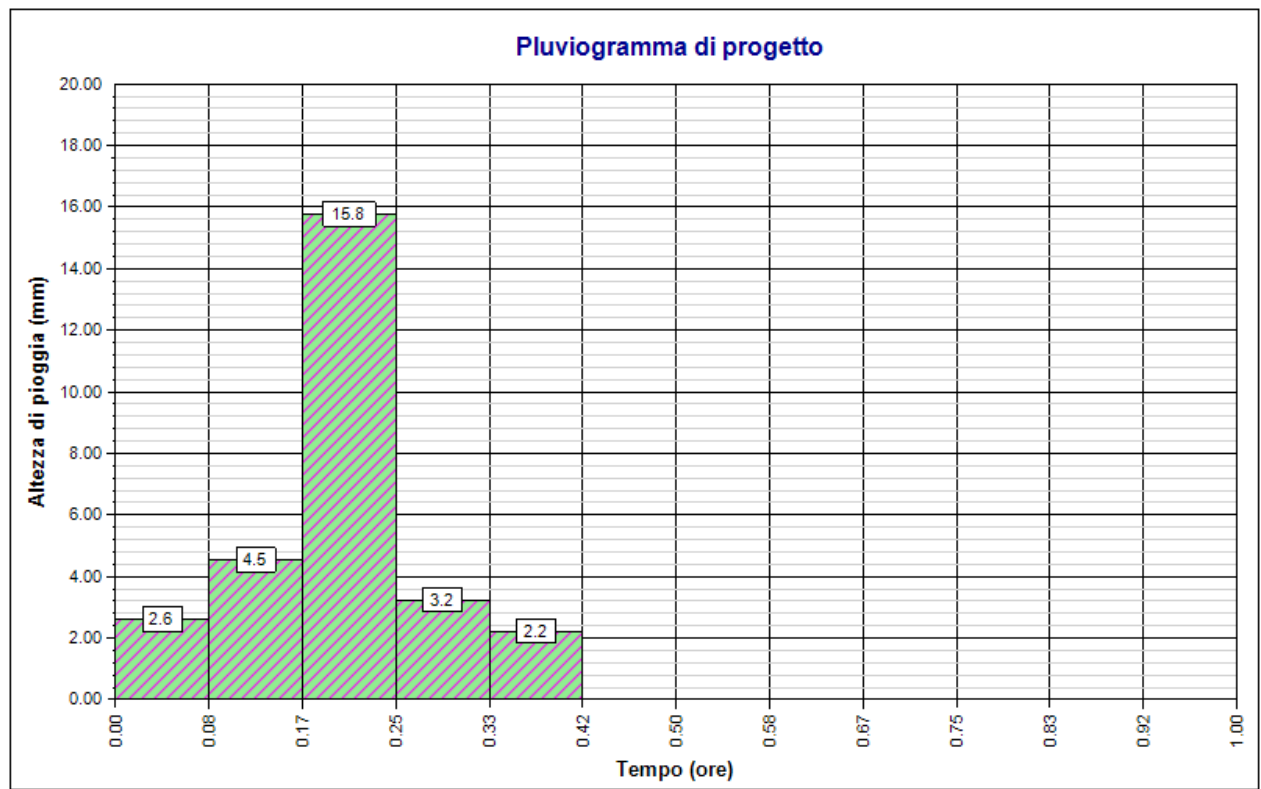
Intervallo di discretizzazione: 5

Curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
39.07	0.37	$h(t) = 39.1 t^{0.365}$

Tabella pluviogramma

n	Estremi intervallo (ore)		Estremi intervallo (minuti)		Altezza (mm)
	t(i)	t(i+1)	t(i)	t(i+1)	
1	0.000	0.083	0	5	2.608
2	0.083	0.167	5	10	4.541
3	0.167	0.250	10	15	15.774
4	0.250	0.333	15	20	3.240
5	0.333	0.417	20	25	2.220



Pluviogramma di progetto

Trasformazione Afflussi-Deflussi

Modello SCS-CN

Il modello idrologico SCS-CN permette di simulare il deflusso superficiale in corrispondenza di una data precipitazione. Il processo di trasformazione afflussi-deflussi è suddiviso nelle seguenti fasi:

- a) Determinazione delle piogge nette;
- b) Trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali.

È necessario definire un pluviogramma, che viene considerato uniformemente distribuito sull'intero bacino.

Le piogge nette si calcolano, a partire dal pluviogramma, secondo il metodo del Curve Number (CN) proposto dall'SCS (Soil Conservation Service). L'equazione di continuità:

$$R = P - S$$

dove:

R è il deflusso fino all'istante t (mm)

P è la precipitazione fino all'istante t (mm)

S sono le perdite fino all'istante t (mm)

viene modificata ipotizzando che vi sia una relazione di proporzionalità tra perdite S e massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$\frac{S}{S'} = \frac{R}{P}$$

e assume la forma seguente:

$$R = \frac{P^2}{P + S'} [mm]$$

che definisce l'andamento nel tempo del deflusso R nota la precipitazione P e la massima infiltrazione S' .

Considerando che un'aliquota di P si invasa nelle depressioni superficiali o si infila prima che il deflusso abbia inizio, si può scrivere:

$$R = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S'} [mm]$$

essendo Ia (mm) la perdita iniziale (*Initial abstraction*).

L'unico parametro del modello risulta quindi essere l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione S' (mm), che si ricava dalla seguente formula:

$$S'' = \frac{25400}{CN} - 254$$

dove CN (*Curve Number*) è un indice compreso tra 0 e 100 fornito dalle tabelle SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità.

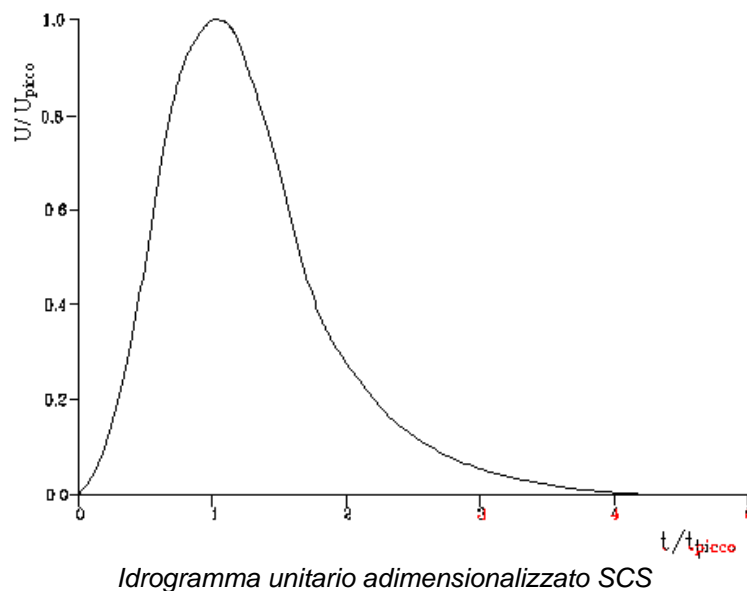
La trasformazione afflussi-deflussi quindi è ottenuta tramite l'idrogramma unitario SCS (1972) di seguito riportato, che richiede come unico parametro il tempo t_{LAG} (ore) pari al ritardo tra il baricentro del diagramma delle piogge nette e il picco dell'idrogramma unitario. Si può porre $t_{LAG} = 0,6 t_C$ con t_C tempo di corrivazione del bacino in esame.

L'istante e la portata di picco rispetto alla precipitazione unitaria sono calcolati come:

$$t_{picco} = 0,5 \Delta t + t_{lag}$$

$$U_{picco} = 0,2084 \frac{A}{t_{picco}}$$

dove t_{picco} è il tempo in ore del picco dell'idrogramma unitario, Δt è l'intervallo di calcolo espresso in ore, U_{picco} è la portata massima dell'idrogramma unitario espressa in $m^3/s/mm$ e A è l'area del sottobacino misurata in km^2 .



La portata è ottenuta tramite la sommatoria che discretizza l'integrale di convoluzione:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j)P(i-j+1)$$

dove $Q(i)$ è la portata alla fine dell'intervallo i -esimo, $U(j)$ è la j -esima ordinata dell'idrogramma unitario, ricavabile dalla precedente figura, e $P(i)$ è la pioggia netta all'intervallo i -esimo.

Dati Idrogramma

Tipo: Idrogramma SCS

Pluviogramma di input: Pluviogramma di progetto

Superficie del bacino: 0.7 kmq

Tlag: 0.222 ore

Astrazione iniziale: 3.0 mm

Curve Number: 84.0

Intervallo di calcolo: 5 minuti

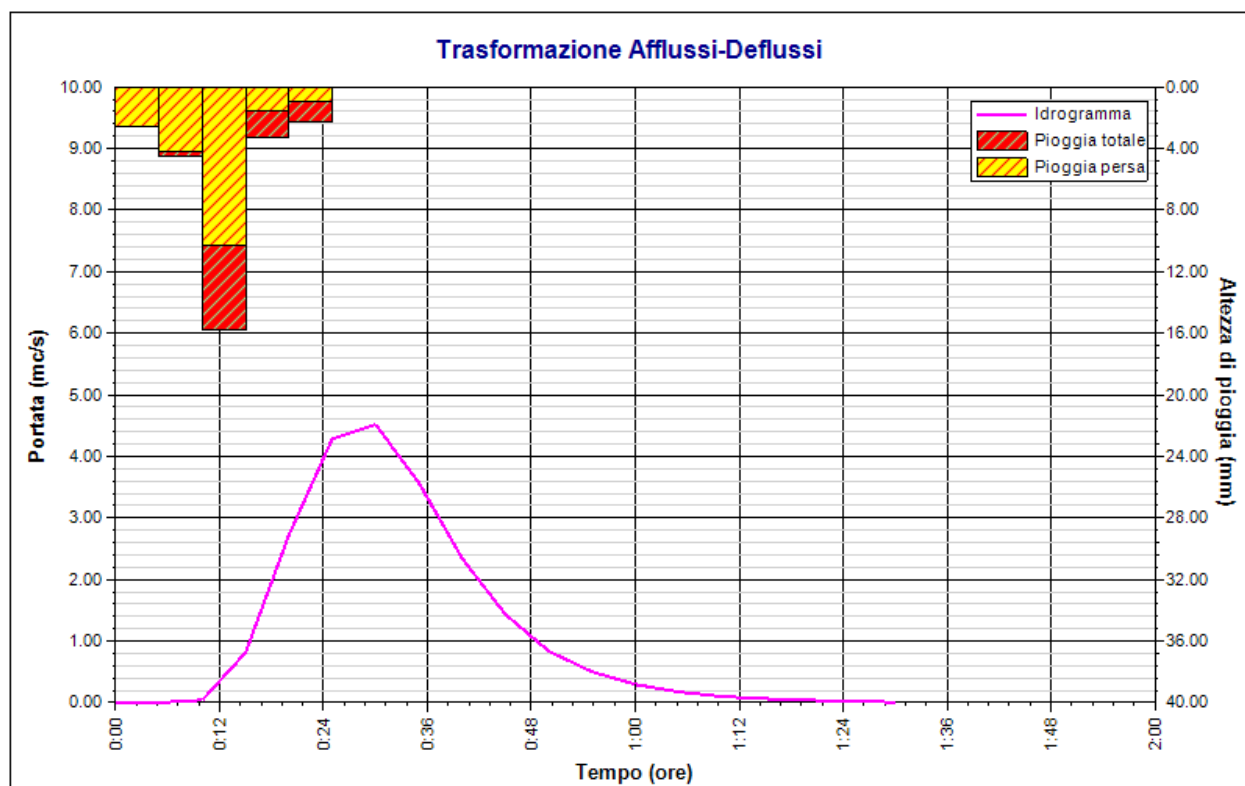
Tabella idrogramma

n	Tempo		Afflusso (mm)	Pioggia persa (mm)	Pioggia netta (mm)	Portata (mc/s)
	(ore)	(minuti)				
1	0.000	0	2.608	2.608	0.000	0.0
2	0.083	5	4.541	4.213	0.328	0.0
3	0.167	10	15.774	10.291	5.483	0.0
4	0.250	15	3.240	1.552	1.688	0.8
5	0.333	20	2.220	0.985	1.235	2.7
6	0.417	25	0.000	0.000	0.000	4.3
7	0.500	30	0.000	0.000	0.000	4.5
8	0.583	35	0.000	0.000	0.000	3.6
9	0.667	40	0.000	0.000	0.000	2.3
10	0.750	45	0.000	0.000	0.000	1.4
11	0.833	50	0.000	0.000	0.000	0.8
12	0.917	55	0.000	0.000	0.000	0.5
13	1.000	60	0.000	0.000	0.000	0.3
14	1.083	65	0.000	0.000	0.000	0.2
15	1.167	70	0.000	0.000	0.000	0.1
16	1.250	75	0.000	0.000	0.000	0.1
17	1.333	80	0.000	0.000	0.000	0.0
18	1.417	85	0.000	0.000	0.000	0.0
19	1.500	90	0.000	0.000	0.000	0.0

Tabella risultati

Parametro	Valore	U.M.
Portata massima	4.5	mc/s
Istante picco	0.500	ore
Istante picco	30.0	minuti
Durata totale evento	1.500	ore
Volume afflusso	21	mc x 1000

Parametro	Valore	U.M.
Volume deflusso	7	mc x 1000
Altezza afflusso	28.384	mm
Altezza deflusso	8.725	mm
Coeff. deflusso	0.31	-
Coeff. udometrico	6.04	mc/s/kmq



Trasformazione Afflussi-Deflussi

Rapporto sulla curva di pioggia:

Curva di probabilità pluviometrica

Dati Curva di pioggia

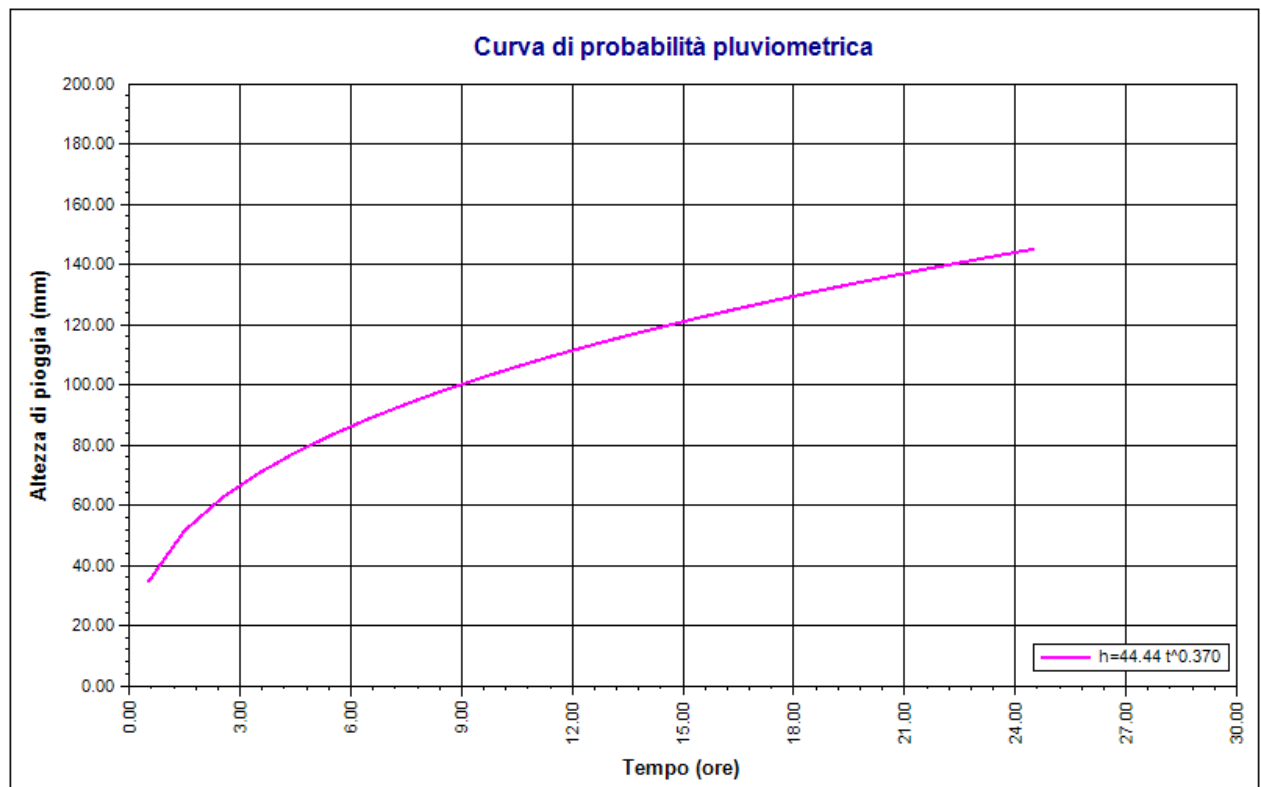
Tipo: Curva di pioggia diretta

Coefficienti curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
44.44	0.37	$h(t) = 44.4 t^{0.370}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)		t (ore)	h (mm)
1	44.440		9	100.194		17	126.777
2	57.432		10	104.178		18	129.487
3	66.728		11	107.917		19	132.103
4	74.223		12	111.448		20	134.634
5	80.611		13	114.798		21	137.087
6	86.236		14	117.989		22	139.467
7	91.298		15	121.040		23	141.779
8	95.922		16	123.965		24	144.030



Curva di probabilità pluviometrica

Rapporto pluviogramma sintetico:

Pluviogramma di progetto

Dati Pluviogramma

Tipo: Pluviogramma sintetico

Curva di pioggia: Curva di probabilità pluviometrica

Durata: 0.370 ore

Altezza di pioggia complessiva: 32.144 mm

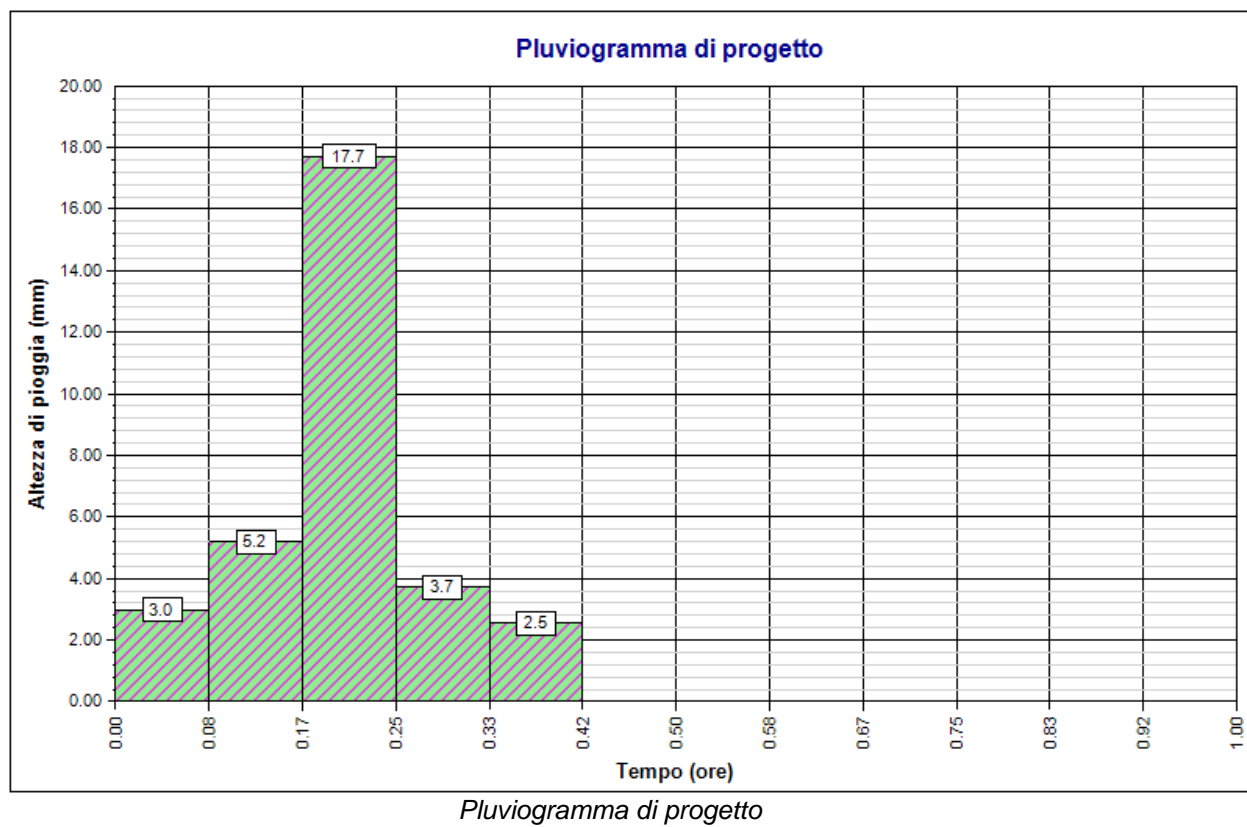
Intervallo di discretizzazione: 5

Curva di pioggia

Coefficienti curva		Espressione
a	n	
44.44	0.37	$h(t) = 44.4 t^{0.370}$

Tabella pluviogramma

n	Estremi intervallo (ore)		Estremi intervallo (minuti)		Altezza (mm)
	t(i)	t(i+1)	t(i)	t(i+1)	
1	0.000	0.083	0	5	2.988
2	0.083	0.167	5	10	5.181
3	0.167	0.250	10	15	17.721
4	0.250	0.333	15	20	3.707
5	0.333	0.417	20	25	2.547



Trasformazione Afflussi-Deflussi

Modello SCS-CN

Il modello idrologico SCS-CN permette di simulare il deflusso superficiale in corrispondenza di una data precipitazione. Il processo di trasformazione afflussi-deflussi è suddiviso nelle seguenti fasi:

- a) Determinazione delle piogge nette;
- b) Trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali.

È necessario definire un pluviogramma, che viene considerato uniformemente distribuito sull'intero bacino.

Le piogge nette si calcolano, a partire dal pluviogramma, secondo il metodo del Curve Number (CN) proposto dall'SCS (Soil Conservation Service). L'equazione di continuità:

$$R = P - S$$

dove:

R è il deflusso fino all'istante t (mm)

P è la precipitazione fino all'istante t (mm)

S sono le perdite fino all'istante t (mm)

viene modificata ipotizzando che vi sia una relazione di proporzionalità tra perdite S e massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$\frac{S}{S'} = \frac{R}{P}$$

e assume la forma seguente:

$$R = \frac{P^2}{P + S'} [mm]$$

che definisce l'andamento nel tempo del deflusso R nota la precipitazione P e la massima infiltrazione S' .

Considerando che un'aliquota di P si invasa nelle depressioni superficiali o si infila prima che il deflusso abbia inizio, si può scrivere:

$$R = \frac{(P - Ia)^2}{P - Ia + S'} [mm]$$

essendo Ia (mm) la perdita iniziale (*Initial abstraction*).

L'unico parametro del modello risulta quindi essere l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione S' (mm), che si ricava dalla seguente formula:

$$S' = \frac{25400}{CN} - 254$$

dove CN (*Curve Number*) è un indice compreso tra 0 e 100 fornito dalle tabelle SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità.

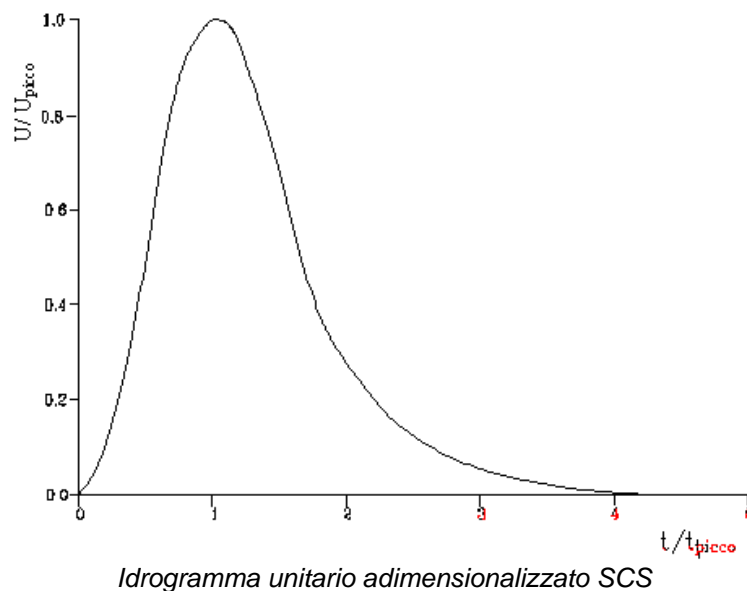
La trasformazione afflussi-deflussi quindi è ottenuta tramite l'idrogramma unitario SCS (1972) di seguito riportato, che richiede come unico parametro il tempo t_{LAG} (ore) pari al ritardo tra il baricentro del diagramma delle piogge nette e il picco dell'idrogramma unitario. Si può porre $t_{LAG} = 0,6 t_C$ con t_C tempo di corrivazione del bacino in esame.

L'istante e la portata di picco rispetto alla precipitazione unitaria sono calcolati come:

$$t_{picco} = 0,5 \Delta t + t_{lag}$$

$$U_{picco} = 0,2084 \frac{A}{t_{picco}}$$

dove t_{picco} è il tempo in ore del picco dell'idrogramma unitario, Δt è l'intervallo di calcolo espresso in ore, U_{picco} è la portata massima dell'idrogramma unitario espressa in $m^3/s/mm$ e A è l'area del sottobacino misurata in km^2 .



La portata è ottenuta tramite la sommatoria che discretizza l'integrale di convoluzione:

$$Q(i) = \sum_{j=1}^i U(j)P(i-j+1)$$

dove $Q(i)$ è la portata alla fine dell'intervallo i -esimo, $U(j)$ è la j -esima ordinata dell'idrogramma unitario, ricavabile dalla precedente figura, e $P(i)$ è la pioggia netta all'intervallo i -esimo.

Dati Idrogramma

Tipo: Idrogramma SCS

Pluviogramma di input: Pluviogramma di progetto

Superficie del bacino: 0.7 kmq

Tlag: 0.222 ore

Astrazione iniziale: 3.0 mm

Curve Number: 84.0

Intervallo di calcolo: 5 minuti

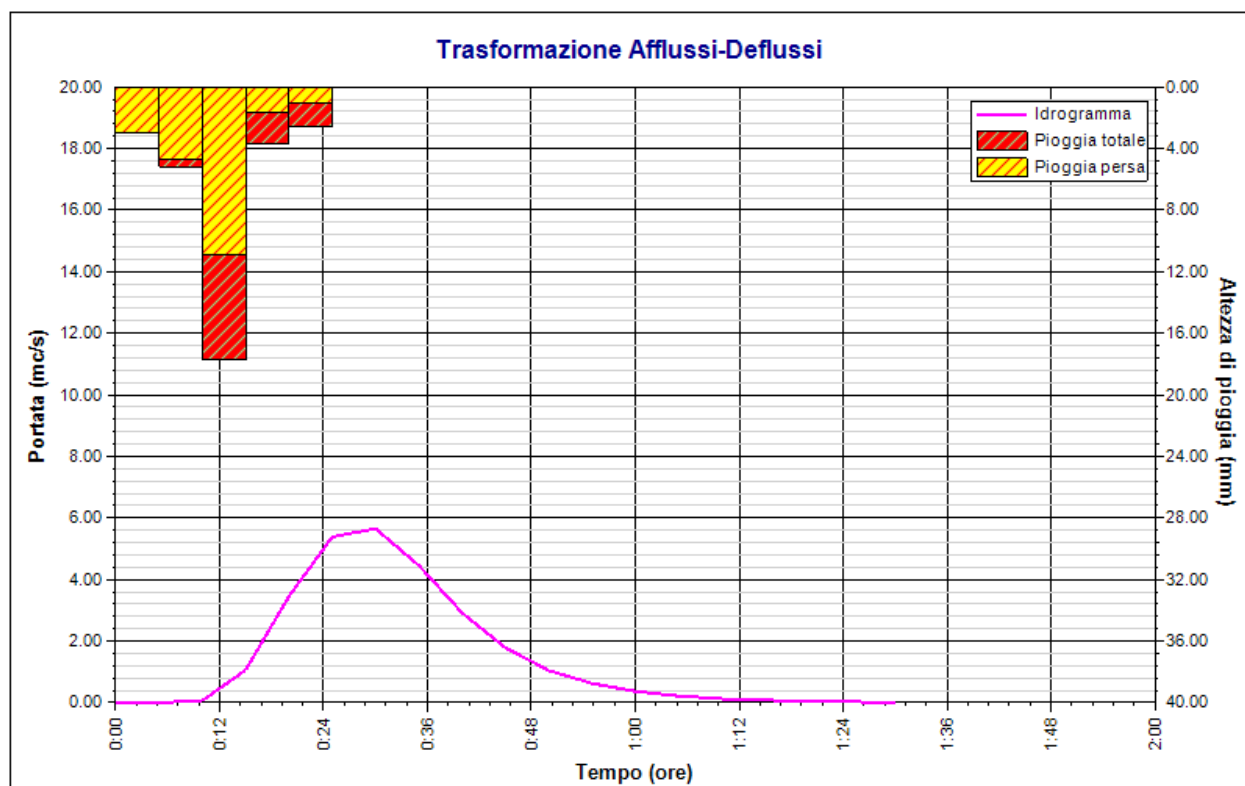
Tabella idrogramma

n	Tempo		Afflusso (mm)	Pioggia persa (mm)	Pioggia netta (mm)	Portata (mc/s)
	(ore)	(minuti)				
1	0.000	0	2.988	2.988	0.000	0.0
2	0.083	5	5.181	4.682	0.499	0.0
3	0.167	10	17.721	10.868	6.852	0.1
4	0.250	15	3.707	1.624	2.083	1.1
5	0.333	20	2.547	1.026	1.521	3.5
6	0.417	25	0.000	0.000	0.000	5.4
7	0.500	30	0.000	0.000	0.000	5.7
8	0.583	35	0.000	0.000	0.000	4.5
9	0.667	40	0.000	0.000	0.000	2.9
10	0.750	45	0.000	0.000	0.000	1.8
11	0.833	50	0.000	0.000	0.000	1.0
12	0.917	55	0.000	0.000	0.000	0.6
13	1.000	60	0.000	0.000	0.000	0.4
14	1.083	65	0.000	0.000	0.000	0.2
15	1.167	70	0.000	0.000	0.000	0.1
16	1.250	75	0.000	0.000	0.000	0.1
17	1.333	80	0.000	0.000	0.000	0.0
18	1.417	85	0.000	0.000	0.000	0.0
19	1.500	90	0.000	0.000	0.000	0.0

Tabella risultati

Parametro	Valore	U.M.
Portata massima	5.7	mc/s
Istante picco	0.500	ore
Istante picco	30.0	minuti
Durata totale evento	1.500	ore
Volume afflusso	24	mc x 1000

Parametro	Valore	U.M.
Volume deflusso	8	mc x 1000
Altezza afflusso	32.144	mm
Altezza deflusso	10.944	mm
Coeff. deflusso	0.34	-
Coeff. udometrico	7.56	mc/s/kmq



Trasformazione Afflussi-Deflussi

CALCOLO DELLA SEZIONE IDRAULICA

La corrente idrica in Moto Uniforme

Le correnti idriche a pelo libero

Nelle correnti a pelo libero parte della superficie di contorno è a contatto con un ambiente, di solito l'atmosfera, a pressione costante.

Sono correnti idriche a pelo libero, ad esempio, quelle che si instaurano in: corsi d'acqua naturali, canali artificiali di bonifica, irrigazione, fognatura, impianti idroelettrici, navigazione interna.

Le tipologie di movimento

Dal punto di vista cinematico, il moto può essere permanente, vario o uniforme. Il moto permanente è quello caratterizzato da grandezze cinematiche che non dipendono dal tempo. Un moto non permanente si dice vario.

Nella maggior parte dei casi la condizione che definisce un moto permanente non è rispettata, tuttavia in alcune situazioni la variazione delle grandezze cinematiche può essere molto lenta da giustificare un approccio basato sull'ipotesi di moto permanente.

Il moto uniforme è quello in cui la velocità, oltre ad essere indipendente dal tempo, è anche invariabile da punto a punto del campo di moto, altrimenti un moto è detto non-uniforme.

In sintesi, le grandezze che lo descrivono compiutamente sono:

- Nel moto VARIO funzione di tempo (t) e spazio (x).
- Nel moto PERMANENTE funzione solo dello spazio (x).
- Nel moto UNIFORME non dipendono da tempo e spazio.

Il moto localmente uniforme

Nella pratica applicativa, essendo molto raro il caso in cui la velocità sia uguale in tutti i punti della massa fluida, si hanno quasi sempre condizioni di moto non-uniforme. E' interessante osservare un particolare moto non-uniforme nel quale procedendo nel verso del moto si incontrano vettori velocità con valori diversi ma, muovendosi in direzione trasversale al moto, essi hanno lo stesso valore. Il moto complessivo è non-uniforme ma localmente uniforme. In tale moto le caratteristiche si mantengono identiche nei successivi punti di ogni traiettoria, pur potendo essere differenti da una traiettoria all'altra; affinché ciò avvenga le traiettorie devono essere rettilinee. Questo concetto può essere utilizzato utilmente per approssimare in maniera abbastanza efficace molti casi applicativi.

Le dimensioni del moto

Il moto può essere tridimensionale, bidimensionale o monodimensionale.

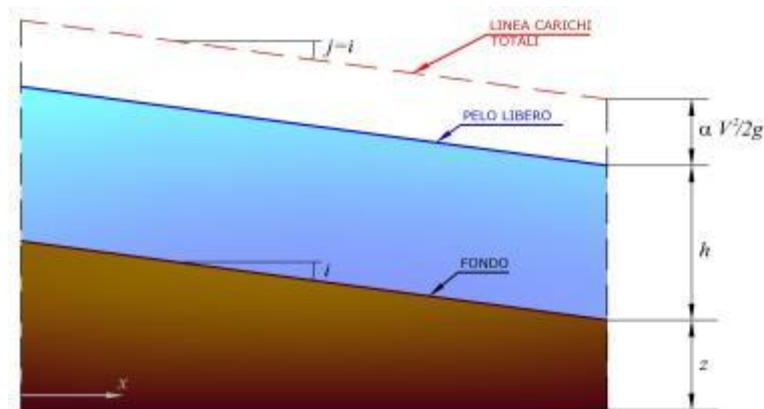
Sebbene la dimensione di un moto non dipenda semplicemente da quelle del recipiente che contiene il fluido e i moti reali siano tridimensionali, è utile ridurre il numero di dimensioni del moto per semplificarne lo studio.

Pertanto, la corrente nei corsi d'acqua naturali (fiumi e torrenti) e artificiali (canali) viene considerata:

- unidirezionale, sebbene solo l'esistenza di correnti trasversali giustifichi la posizione del centro di velocità al di sotto del pelo libero anche in un canale prismatico e rettilineo;
- gradualmente variata, anche se tale condizione viene verificata solo se il deflusso avviene in un alveo abbastanza regolare con pelo libero poco incurvato sia longitudinalmente che trasversalmente, affinché siano trascurabili le accelerazioni subite dalle particelle in direzione verticale o laterale alla corrente.

Le ipotesi di base del moto uniforme

Una corrente è in moto uniforme se la velocità è indipendente dal tempo e dalla posizione, il moto avviene in alvei cilindrici e la cadente j è uguale alla pendenza di fondo i .



La relazione che lega la velocità media della corrente alle altre grandezze fisiche in gioco è la legge di Chézy del moto uniforme:

$$V = \chi \cdot \sqrt{R \cdot j}$$

oppure

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot j}$$

in cui

V	Velocità media della corrente	[m/s]
χ	Coefficiente di scabrezza	[m ^{1/2} /s]
R	Raggio idraulico	[m]
j	Cadente piezometrica	[-]
A	Sezione bagnata	[m ²]

Il coefficiente di scabrezza χ è calcolabile attraverso diverse formule.

Formula di Strickler $\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$

dove k_s [m^{1/3}/s] è il coefficiente di scabrezza di Strickler

Formula di Manning $\chi = \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{1}{6}}$

dove n [m^{-1/3}/s⁻¹] è il coefficiente di scabrezza di Manning

Dati geometrici della sezione trasversale

I dati geometrici necessari per la completa definizione della condizione di moto uniforme dipendono dal tipo di sezione trasversale:

Sezione	Dati geometrici
rettangolare	larghezza
trapezia	base , scarpa sponde
circolare	raggio

Principali grandezze fisiche della corrente in moto uniforme

La soluzione della formula di Chézy presuppone la conoscenza di due delle tre grandezze che vi compaiono:

- Q (portata)
- i (pendenza)
- h_{mu} (altezza di moto uniforme)

Grandezze geometriche derivate

Le grandezze geometriche di interesse ai fini idraulici, e di immediata comprensione, sono le seguenti:

Area bagnata	A	[m ²]
Contorno bagnato	P	[m]
Larghezza in superficie	B	[m]
Raggio idraulico	R	[m]
Grado di riempimento <i>(per sezioni circolari)</i>	h/D	[%]

Grandezze cinetiche ed energia

Le grandezze cinetiche sono la velocità media della corrente (V , già ricavabile nota la portata e la geometria), l'altezza cinetica ($\alpha V^2/2g$) e l'energia specifica della corrente (E). Quest'ultima è riferita al fondo dell'alveo e la corrispondente espressione assume la forma:

$$E = h + \alpha \cdot \frac{V^2}{2 \cdot g}$$

dove α , coefficiente di Coriolis, è posto pari all'unità

Altre grandezze derivate

Proseguendo nello studio di una corrente in moto uniforme è possibile ricavare altre grandezze di interesse. In particolare, in corrispondenza del minimo dell'energia specifica si attinge il valore massimo di portata che attraversa la sezione trasversale. Il corrispondente tirante idrico è definito come altezza critica (h_c).

$$\frac{dE}{dh} = 1 - \frac{Q^2}{g \cdot A^3} \cdot \frac{dA}{dh} = 0$$

E' così possibile individuare la larghezza in superficie

$$B = \frac{dA}{dh}$$

e il numero di Froude come rapporto tra velocità media della corrente e la celerità delle onde infinitesime

$$Fr = \frac{V^2}{\sqrt{g \cdot A/B}}$$

Da quanto esposto risulta come, in condizioni di stato critico, $Fr=1$

La velocità critica è quella ricavata dalla relazione precedente e pari a:

$$V_c = \sqrt{g \cdot \frac{A}{B}}$$

Pertanto la pendenza critica (i_c) è la pendenza del fondo in corrispondenza della quale la velocità di moto uniforme è pari a quella critica. Essa è facilmente desumibile dalla formula di Chézy.

Infine, è possibile caratterizzare l'alveo della corrente oggetto di studio a seconda che la sua pendenza sia inferiore o superiore a quella critica: esso sarà rispettivamente a debole o a forte pendenza.

Dati in ingresso**Dati geometrici della sezione trasversale**

Per l'applicazione della formula di Chézy è necessario definire la sezione trasversale del tronco oggetto di indagine, percorso dalla corrente idrica della quale si vogliono individuare le grandezze caratteristiche del moto uniforme.

Tipo sezione	circolare
Raggio [m]	0,6

Dati fisici della corrente in moto uniforme

I dati noti delle grandezze fisiche della corrente in moto uniforme sono i seguenti.

Pendenza del fondo [-]	0,0245
Tirante [m]	0,96
Scabrezza [n di Manning]	0,009

Riepilogo risultati

Altezza di moto uniforme [m]	0,96
Pendenza [-]	0,0245
Portata [mc/s]	8,62
Velocità media [m/s]	8,88
Altezza cinetica [m]	4,02
Energia specifica [m]	4,98
Altezza critica [m]	NaN
Pendenza critica [-]	0,023408
Sezione bagnata [mq]	0,97
Contorno bagnato [m]	2,66
Raggio idraulico [m]	0,365
Larghezza in superficie [m]	0,96
Numero di Froude [-]	2,82
Grado di riempimento [%]	80
Tipo di alveo	

CONCLUSIONI

Il calcolo effettuato ha permesso di dimensionare la tubazione da innestare nell'asse viario di Via Manzoni a Rosolini; essa, di forma circolare in prefabbricato, avrà un diametro pari a m.1.20 e sarà in grado di smaltire una portata di piena di progetto fino a mc/sec. 8,62, quindi sufficientemente al di sopra della portata determinata dai calcoli idrologici in mc/sec. 5.70 (tr = 300 anni).

Vengono allegate alla presente relazione schede tecniche tipologiche dei materiali e disegni tecnici.