



COMUNE DI SAN GIUSEPPE JATO

R CITTA' METROPOLITANA DI PALERMO

Progetto di Manutenzione Straordinaria della Regia Trazzera
n.579 Bivio Raiata - Bivio Pigno" - PSR Sicilia 2014/2020 sottomisura 4.3 Azione 1 "Viabilità in-
teraziendale e strade rurali per l'accesso ai terreni agricoli e forestali" relative al bando di cui al
DDG 532 del 18.04/2019

Il Progettista

Geom. Pietro Mustacchia

Il R.U.P.

Geom. Carmelo Alessandro Citraro

Tecnico Agronomico

Agr. Tecnico Uccello Calogero

Il Supporto al R.U.P.

Ing. Alessandro Sammataro

L'impresa

Il Direttore dei Lavori

Revisione adeguata alle prescrizioni formulate dall'Assessorato Reg.le Agricoltura e della Pesca,
Servizio 6 – Ispettorato Agricoltura Agrigento ufficio intercomunale agricoltura S6.10 di Cam-
marata, con Verbale del 23/12/2021, con aggiornamento dei prezzi al Decreto n. 17/GAB del
29/06/2022 dell'Ass.to Reg.le per le Infrastrutture e per la Mobilità.

RELAZIONE DI CALCOLO E
VERIFICA IDRAULICA

La presente relazione riguarda la verifica idraulica di due caditoie da realizzare nell'ambito del “ *Progetto di Manutenzione Straordinaria della Regia Trazzera n.579 Bivio Raiata - Bivio Pigno*”.

Tali manufatti vengono realizzati come presidi per la raccolta di acque superficiali (in genere cunette, caditoie, tombini e fossi di guardia).

Un corretto dimensionamento di tali opere idrauliche risulta fondamentale per un'adeguata protezione del corpo stradale.

1. Studio Idrologico

Per poter effettuare il dimensionamento delle caditoie previste è necessario stabilire preliminarmente la portata che tali manufatti devono essere in grado di smaltire .

A tal fine occorre innanzi tutto individuare, sulla carta topografica a curve di livello della zona in cui sarà ubicato il manufatto, il bacino imbrifero ad esso afferente.

Infatti la portata di piena non dipende esclusivamente dalle precipitazioni meteoriche ma anche delle caratteristiche geologiche, pedologiche ed orografiche del bacino tributario della sezione considerata.

Per tale finalità occorre, comunque, disporre di una notevole banca dati, con rilievi distribuiti opportunamente in un range spazio-temporale che caratterizzi adeguatamente i fenomeni ed i processi osservati.

Nel nostro caso i dati sulle precipitazioni sono stati acquisiti sul seguente link

<https://www.regione.sicilia.it/istituzioni/regione/strutture-regionali/presidenza-regione/autorita-bacino-distretto-idrografico-sicilia/annali-idrologici>

Home/ Istituzioni/ Regione/ Strutture regionali/ Presidenza della Regione/ Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia ANNALI IDROLOGICI

Dal punto di vista operativo, il rilevamento delle piogge in una determinata località viene effettuato mediante degli apparecchi che vengono denominati pluviometri o pluviografi. Il bacino di nostro interesse che comprende la zona in cui si sviluppa il tracciato della regia trazzera esistente è denominato Giancaldara/Jato.

I dati acquisiti per lo studio oggetto della presente relazione riguardano un periodo compreso tra il 1960 e il 2018 e riguardano le precipitazioni di massima intensità registrate per intervalli di durata pari 1-3-6-12-24 ore. Di seguito si riporta la tabella riepilogativa.

VALORI DI PRECIPITAZIONI DI MASSIMA INTENSITA' RELATIVE
AL BACINO/STAZIONE GIANCALDARA
t = 1, 3, 6, 12, 24 ore
Altezze di pioggia espresse in mm.

anni	1	3	6	12	24
1960	25,40	33,60	35,00	35,20	46,20
1961	11,40	22,60	28,20	42,00	46,40
1962	10,40	24,20	40,40	66,00	91,20
1963	25,40	33,00	56,80	59,40	59,40
1964	19,00	29,40	42,40	42,00	60,00
1965	24,60	27,00	27,00	48,80	73,40
1966	19,80	23,20	36,00	44,20	57,40

anni	1	3	6	12	24
1967	33,60	35,20	37,00	44,80	45,80
1968	43,20	43,40	43,40	43,40	44,40
1969	11,00	18,40	27,20	28,80	46,40
1970	17,00	23,40	25,00	26,60	26,60
1971	25,80	30,60	37,60	38,50	47,60
1972	25,20	29,00	31,60	53,60	55,80
1973	20,20	54,60	79,00	105,20	110,80
1974	35,80	38,00	38,00	55,20	56,20
1975	23,60	36,60	50,60	57,80	59,00
1976	23,20	30,20	45,80	58,20	84,00
1977	9,60	11,00	18,60	22,40	31,00
1978	30,00	52,60	56,00	68,40	75,20
1979	39,40	50,80	63,80	80,40	95,60
1980	20,60	20,80	23,00	31,80	34,20
1981	60,00	135,00	200,00	242,80	298,40
1982	40,60	44,60	62,20	63,80	83,00
1983	34,80	51,40	65,20	75,60	75,60
1984	24,20	25,00	25,60	30,00	38,40
1985	15,40	15,60	28,40	34,80	42,80
1986	21,20	22,40	22,40	25,00	31,80
1987	32,00	58,00	80,00	112,80	127,40
1988	22,00	27,80	28,00	35,00	59,00
1989	14,60	20,40	20,40	20,40	28,80
1990	24,20	25,40	26,60	30,20	38,00
1991	19,80	20,00	25,00	35,60	36,00
1992	18,00	29,60	33,20	34,00	34,40
1993	54,60	54,80	54,80	54,80	54,80
1994	21,40	34,00	54,00	81,00	117,00
1995	17,60	37,60	47,00	49,20	57,40
1996	23,20	33,00	40,60	48,80	51,20
1997	41,00	52,20	52,20	54,40	56,00
1998	22,40	29,60	40,40	71,00	84,80
1999	18,80	18,80	24,60	40,20	66,00
2000	22,00	27,60	32,20	43,40	54,00
2001	38,40	61,80	66,20	79,00	89,60
2002	37,80	44,80	45,80	54,00	54,80
2003	19,40	34,00	35,60	38,80	45,00
2004	28,00	38,80	38,80	46,40	52,40
2005	20,60	23,00	33,00	46,60	53,60
2006	28,80	57,00	69,20	83,40	86,20
2007	15,80	32,20	40,00	51,00	63,60
2008	24,00	47,00	56,20	56,20	81,00
2009	48,00	63,00	71,80	81,20	85,00
2010	39,80	49,80	58,00	62,80	64,40
2011	14,40	21,20	21,40	39,00	46,00
2012	30,80	33,80	34,00	45,20	46,20
2013	25,00	30,00	30,00	30,00	47,80
2014	14,20	25,20	33,60	44,80	53,40
2015	33,80	34,00	44,00	63,00	91,40
2016	25,00	29,80	30,20	38,60	40,60
2017	18,40	31,00	45,00	55,00	65,00
2018	34,80	41,00	41,00	41,00	47,50

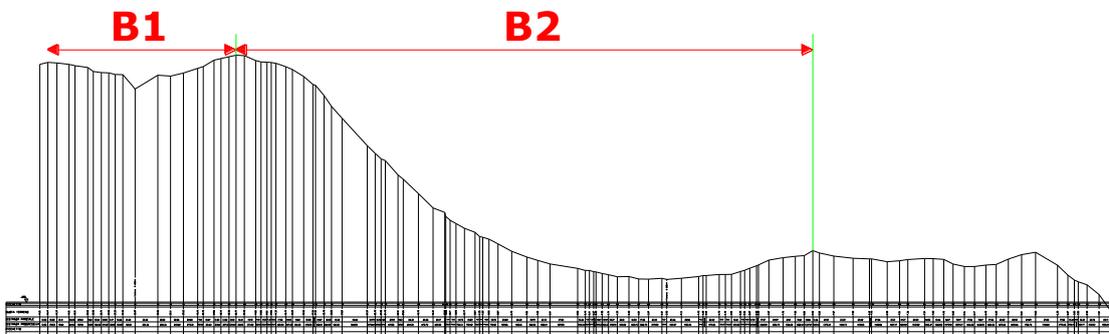
Di un evento piovoso oltre all'altezza risulta essere di notevole interesse valutare l'intensità che viene definita come il rapporto tra l'altezza e la durata:

$$i = h/t$$

che viene espressa in mm/h.

Per lo studio di un'opera idraulica, particolare importanza riveste l'individuazione del relativo *bacino imbrifero*⁽²⁾; questa è un'operazione abbastanza semplice e viene effettuata analizzando la carta a curve di livello rappresentativa del territorio interessato.

Di seguito viene riportato il grafico che riporta due tratti distinti del tracciato nei quali si presentano due zone in depressione nel profilo longitudinale e a seguire la perimetrazione dei bacini imbriferi determinati B1 e B2.



Se per contro la durata della precipitazione è inferiore al tempo di corrivazione, l'acqua proveniente dalle zone più lontane del bacino raggiunge la sezione terminale quando già ha avuto inizio la fase decrescente, giacché le aree più vicine hanno già cessato di dare il loro contributo.

È possibile stimare il tempo di corrivazione t_c (espresso in ore) mediante delle formule empiriche che sono state messe a punto attraverso l'osservazione diretta di alcuni bacini reali; ognuna ha un campo di validità limitato, in linea di principio, alla tipologia dei bacini osservati.

Tra le espressioni più interessanti si ricordano:

Formula di Ventura:

$$t_c = 0.127 (A/Jm)^{0.5}$$

Formula di Giandotti:

$$t_c = (1.5 L + 4 A^{0.5})/[0.8 (H)^{0.5}]$$

2ª Formula di Pasini:

$$t_c = 0.108 [(A L)^{1/3}]/(Jm^{0.5})$$

Formula di Viparelli:

$$t_c = L / (3.6 V)$$

La formula di Giandotti è la più utilizzata nella pratica professionale, e viene usata anche qui, in cui risulta:

L [Km]	lunghezza dell'asta principale
A [Kmq]	area bacino
H [m]	altitudine media del bacino

Ai fini della verifica idraulica di un'opera d'arte risulta essere importante il *coefficiente di deflusso*, che viene definito come il rapporto tra il volume di liquido defluito attraverso la sezione terminale del bacino (*afflusso efficace*), ed il volume di afflusso, costituito dal volume di acqua caduto per precipitazione all'interno di tutto il bacino.

Il coefficiente di deflusso di un bacino imbrifero assume sempre valori inferiori all'unità, di solito viene assunto in via cautelativa pari 0,60 - 0,50 in modo da garantire in esercizio, senza problemi operativi, lo smaltimento della massima piena per tutta la vita utile dell'opera.

Tipologia	coeff. di deflusso
Superfici agricole, orti, prati, verde su suolo profondo	0,10-0,15
Terreni incolti; sterrato non compatto	0,20-0,30
Superfici in ghiaia sciolta; parcheggi drenanti	0,30-0,50
Sterrato compatto	0,50-0,60
Copertura di tetti; superfici asfaltate	0,85-1,00

2. Verifica idraulica delle opere d'arte

Per la determinazione dell'intensità della precipitazione e, quindi, delle portate piena possono essere usati opportuni modelli matematici sia di tipo sintetici razionale.

Ai fini della verifica idraulica di un'opera d'arte risultano più indicati i modelli razionali, che si basano sulla teoria delle probabilità e fanno riferimento al periodo di ritorno T . Per l'analisi pluviometrica si considera come variabile caratteristica X l'altezza massima annuale di pioggia H_t caduta in un dato intervallo di tempo t e in un prefissato ambito territoriale di interesse.

Sulla base dell'osservazione di un'appropriata serie di dati (*vedi tabella soprariportata*), relativi alle altezze di pioggia misurate in un sufficiente numero di anni n , ed inerenti alle durate $t = 1, 3, 6, 12, 24$ ore, è possibile effettuare un'analisi statistica del fenomeno. La scelta del tempo di ritorno più adeguato al particolare caso in esame è legata a considerazioni di tipo tecnico-economico, di solito per opere minori il cui ipodimensionamento rispetto all'evento critico non comporti in ogni caso significativi nocimenti economici, il tempo di ritorno si pone inferiore ai 25 anni, mentre per le grandi opere il cui non corretto funzionamento potrebbe, invece, generare ingenti danni (economici, nocività a persone, etc.) il tempo T può essere assunto anche pari a centinaia di anni.

Il massimo valore $h_{t,T}$ di H_t corrispondente al tempo di ritorno T può essere calcolato mediante la seguente legge di probabilità pluviometrica :

$$h_{t, T} = \mu_t K_T$$

con:

μ_t media di H_t funzione della durata t ;

K_T legge di variazione (o legge di crescita) relativa al tempo T .

La più utilizzata nella pratica tra le leggi di variazione che si adattano ai massimi annuali di variabili idrologiche risulta quella di Gumbel [11] per la quale si ha:

$$K_T = (1 - K' \log \ln T/T - 1) / (1 + 0,251K')$$

dove K' dipende dal parametro C_v (*coefficiente di variazione*) a cui è legato dalla se-

guente relazione:

$$1,795/K' = (1/Cv) - 0,45$$

Avendo a disposizione un'adeguata serie di n valori di altezze di pioggia relative alla durata t si può calcolare il valore del coefficiente di variazione ad esso associato che risulta:

$$Cv = S/\bar{h}_t$$

dove S_t è lo scarto quadratico medio

$$S_t = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(h_{ti} - \bar{h}_t)^2}{n-1}}$$

ed \bar{h}_t la media

$$\bar{h}_t = \sum_{i=1}^n \frac{h_{ti}}{n}$$

essendo Cv indipendente dal tempo t si ha:

$$Cv = \sum_{i=1}^5 \frac{C_{v_i}}{5}$$

dove C_{v_i} è relativo alle durate $t = 1, 3, 6, 12, 24$ ore.

Per calcolare μ_t relativa ad una prefissata durata t si utilizza un'analisi di regressione di \bar{h}_t su t mediante la seguente legge:

$$\mu_t = at^n$$

dove i parametri a ed n possono essere calcolati (facendo riferimento alle h_t relative alle durate t) mediante il seguente modello lineare

$$\log h = \log a + n \log t$$

2

-

V

a

l

o

r

i

3. Dimensionamento caditoia

3.1 Generalità

I tombini e le caditoie sono opere d'arte che hanno la funzione di consentire l'attraversamento del corpo stradale alle acque meteoriche raccolte a monte mediante canalizzazioni naturali (impluvi) ed artificiali (fossi di guardia e cunette); solitamente, essi vengono posizionati in corrispondenza alle linee di impluvio del terreno.

Si presentano sotto varie forme (tubolare a piattabanda, a volta o scatolare) e perciò la scelta va fatta in funzione della natura dei terreni di posa, dei sovraccarichi e della portata di acqua che deve essere smaltita.

Il tombino/caditoia deve avere nella parte a monte un pozzetto per la raccolta delle acque, allo scopo di lasciare depositare i detriti trascinati dalla corrente, ed evitare che venga ostruita la sezione.

La pendenza assegnata al condotto circolare in PVC è 3% per consentire lo smaltimento delle acque torbide.

Il dimensionamento è stato effettuato in modo che la sezione venga occupata solo parzialmente dall'acqua.

Infatti è noto che nelle sezioni chiuse la portata Q , corrispondente alla condizione di riempimento totale, è minore della portata massima che può essere convogliata in condizione di parziale riempimento, tale fenomeno risulta dovuta al fatto, che, in corrispondenza del massimo riempimento è massimo il contorno bagnato (vedi fig. seguente).

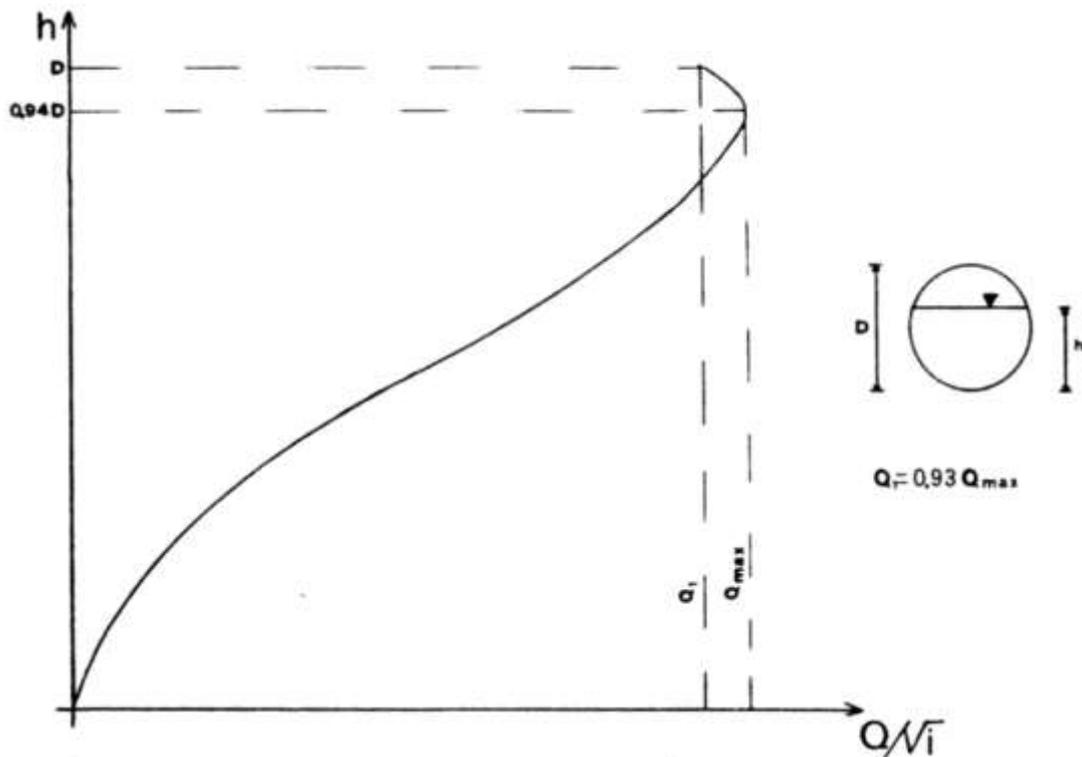


fig .23

Nel caso di sezione circolare, la portata massima si ha per un'altezza pari ad $h=0,94 D$; per valori di altezza maggiori, la portata diminuisce gradualmente e raggiunge il valore $Q_1 = 0,93 Q_{max}$ quando la sezione è piena.

Per assicurare il funzionamento a superficie libera è stato previsto appunto, in sede di calcolo, un opportuno *franco* tra il pelo libero e la sommità della sezione .

6.2. Verifica idraulica di un caditoia $\varnothing 600$

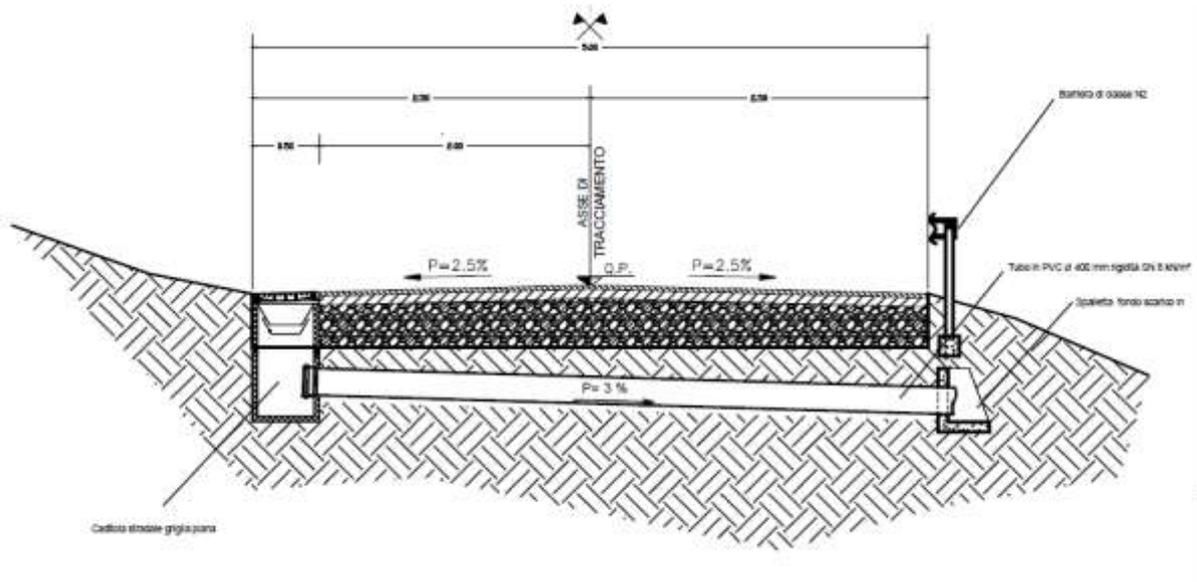
Procediamo alla verifica idraulica della caditoia di diametro 400mm e 600 mm, per un tempo di ritorno $T = 20$ anni, che debba smaltire le acque rispettivamente del bacino imbrifero B1 ($D= 400$ mm) e B2 ($D= 600$ mm) aventi le seguenti caratteristiche:

BACINO B1

L1=	0,34 Km
A1=	0,06 Km ²
H1=	39 m

In base ai dati relativi alle altezze di pioggia per le durate $t = 1, 3, 6, 12, 24$ ore (vedi tabella sopra riportata), per un congruo periodo di tempo nel nostro caso specifico 20 anni rilevate nella stazione pluviometrica che ricade all'interno del bacino interessato, si è proceduto all'analisi statistica degli stessi ; ciò al fine di ricavare i parametri legati alle altezze di pioggia caduta in un intervallo temporale t pari al tempo di corrvazione t_c (per il

quale si ha la massima portata di deflusso).



Sezione caditoia Φ 400 mm

Tramite la formula di Giandotti si ricava il tempo di corrivazione:

$$t_c = (1.5 L + 4 A^{0.5}) / [0.8 (H)^{0.5}]$$

in cui:

H [m] altitudine media del bacino;

L [Km] lunghezza dell'asta principale;

A [Kmq] area bacino;

per cui risulta $t_c = 0,298 h$

Dall'elaborazione predetta dei dati si ricava:

Stazione/BACINO GIAN-CALDARA	1	3	6	12	24
Media (μ)	28,35	41,31	50,42	62,72	78,07
Scarto (σ)	15,68	19,97	18,47	17,44	29,67
CV	0,55	0,48	0,37	0,28	0,38

il coefficiente C_v mediante la:

$$C_v = \sum_{i=1}^5 \frac{C_{v_i}}{5}$$

e pertanto si ottiene $C_v = 0,5297$ e, quindi, K' attraverso la:

$$1,795/K' = (1/C_v) - 0,45$$

Ottenuto il suddetto parametro, che per l'esempio in questione risulta $K' = 1,2485$, si

calcola il coefficiente di crescita K_T (relativo al tempo di ritorno assunto, per l'opera idraulica in questione, pari a $T = 20$ anni)

$$K_T = \frac{1 - K' \log \ln \left(\frac{T}{T-1} \right)}{1 + 0,25K'}$$

il cui valore è $K_T = 2,226$.

Per ottenere la massima altezza di pioggia di durata t relativa al prefissato tempo di ritorno utilizzando l'espressione:

$$h_{t,T} = \mu_t K_T$$

in cui:

$$\mu_t = at^n$$

dove le variabili a ed n possono essere calcolate mediante il seguente modello lineare:..

$$\log h_t = \log a + n \log t$$

L'applicazione della regressione lineare restituisce i seguenti valori di a ed n :

$$a = 28,652$$

$$n = 0,316$$

da cui:

$$\mu_t = at^n \longrightarrow \mu_t = 28,652 t^{0,316}$$

I dati elaborati per diversi periodi di ritorno sono i seguenti:

Giancaldara					
T/t	1	3	6	12	24
T = 2 anni	23,97	32,82	40,01	48,78	59,48
T = 5 anni	36,26	49,64	60,53	73,80	89,98
T = 10 anni	44,39	60,78	74,11	90,36	110,17
T = 20 anni	52,20	71,47	87,13	106,24	129,53
T = 50 anni	62,30	85,30	104,00	126,80	154,60
T = 100 anni	69,87	95,66	116,63	142,21	173,39

La massima altezza di pioggia di durata $t = t_c = 0,298$ h relativa ad un tempo di ritorno $T = 20$ anni, è:

$$h = 36,93 \text{ mm}$$

mentre l'intensità di pioggia:

$$i = h/t_c = 124 \text{ mm/h}$$

La massima portata che defluisce attraverso la sezione terminale del bacino si determina

utilizzando l'espressione:

$$Q = \varphi i A/3,6 [mc^3/s]$$

in cui

$A = 0,06 \text{ Km}^2$ area del bacino imbrifero

$\varphi = 0,15$ coefficiente di deflusso

$i = 124 \text{ mm/h}$ intensità di pioggia

risulta:

$$Q_I = 0,309 \text{ mc}^3/\text{s}$$

Per la determinazione della portata massima che può defluire attraverso il tombino $\varnothing 400$, si applica la nota relazione di Chezy:

$$Q' = \chi \cdot A \sqrt{R \cdot i}$$

con:

$\chi = c R^{1/6}$ coeff. di scabrezza (formula di Gauckler - Strickler);

$c = 120$ coeff. di resistenza per canale in PVC;

$R = A/C$ raggio idraulico;

A area di sezione liquida;

C contorno bagnato;

$i = 3\%$ pendenza del tombino.

Assumendo un grado di riempimento della sezione pari a $h = 0,75$, si ha:

$$A = 0,101 \text{ mq}$$

$$C = 0,8377 \text{ m}$$

$$R = 0,121 \text{ m}$$

da cui, si perviene ad una portata pari a:

$$Q_I' = 0,51 \text{ mc/s}$$

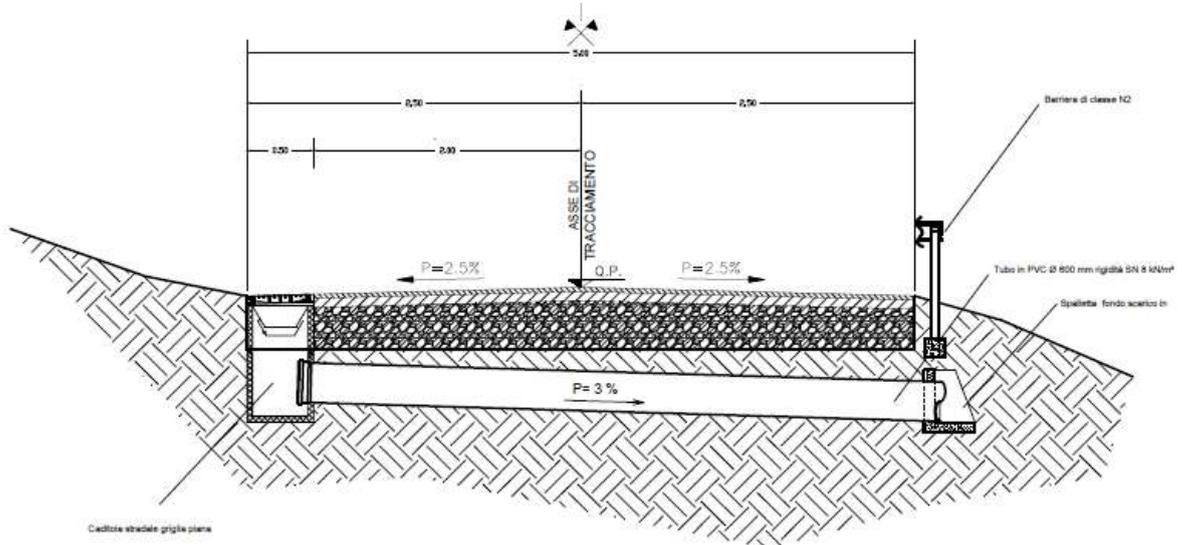
Quindi, essendo la portata che può defluire attraverso la sezione, maggiore della massima portata prevedibile (relativa al prefissato tempo di ritorno $T = 20$ anni):

$$Q_I' > Q_I = 0,309 \text{ mc/s}$$

la verifica idraulica in esame risulta soddisfatta.

BACINO B2

L1= 1 Km
 A1= 0,28 Km²
 H1= 23 m



Tramite la formula di Giandotti si ricava il tempo di corrivazione:

$$t_c = (1.5 L + 4 A^{0.5}) / [0.8 (H)^{0.5}]$$

in cui:

H [m] altitudine media del bacino;

L [Km] lunghezza dell'asta principale;

A [Km²] area bacino;

per cui risulta $t_c = 0,943 h$

Dall'elaborazione predetta dei dati si ricava:

il coefficiente C_v mediante la:

$$C_v = \sum_{i=1}^5 \frac{C_{v_i}}{5}$$

e pertanto si ottiene $C_v = 0,5297$ e, quindi, K' attraverso la:

$$1,795/K' = (1/C_v) - 0,45$$

Ottenuto il suddetto parametro, che per l'esempio in questione risulta $K' = 1,2485$, si calcola il coefficiente di crescita K_T (relativo al tempo di ritorno assunto, per l'opera idraulica in questione, pari a $T = 20$ anni)

$$K_T = \frac{1 - K' \log \ln \left(\frac{T}{T-1} \right)}{1 + 0,25 K'}$$

il cui valore è $K_T = 2,226$.

Per ottenere la massima altezza di pioggia di durata t relativa al prefissato tempo di ritorno utilizzando l'espressione:

$$h_{t,T} = \mu_t K_T$$

in cui:

$$\mu_t = at^n$$

dove le variabili a ed n possono essere calcolate mediante il seguente modello lineare:–

$$\log h_t = \log a + n \log t$$

L'applicazione della regressione lineare restituisce i seguenti valori di a ed n :

$$a = 28,652$$

$$n = 0,316$$

da cui:

$$\mu_t = at^n \longrightarrow \mu_t = 28,652 t^{0,316}$$

I dati elaborati per diversi periodi di ritorno sono i seguenti:

Giancaldara					
T/t	1	3	6	12	24
T = 2 anni	23,97	32,82	40,01	48,78	59,48
T = 5 anni	36,26	49,64	60,53	73,80	89,98
T = 10 anni	44,39	60,78	74,11	90,36	110,17
T = 20 anni	52,20	71,47	87,13	106,24	129,53
T = 50 anni	62,30	85,30	104,00	126,80	154,60
T = 100 anni	69,87	95,66	116,63	142,21	173,39

La massima altezza di pioggia di durata $t = t_c = 0,943$ h relativa ad un tempo di ritorno $T = 20$ anni, è:

$$h = 51,32 \text{ mm}$$

mentre l'intensità di pioggia:

$$i = h/t_c = 54 \text{ mm/h}$$

La massima portata che defluisce attraverso la sezione terminale del bacino si determina utilizzando l'espressione:

$$Q = \varphi i A / 3,6 \text{ [mc}^3\text{/s]}$$

in cui

$A = 0,28 \text{ Km}^2$ area del bacino imbrifero

$\varphi = 0,15$ coefficiente di deflusso

$i = 54 \text{ mm/h}$ intensità di pioggia

risulta:

$$Q_2 = 0,635 \text{ mc}^3/\text{s}$$

Per la determinazione della portata massima che può defluire attraverso il tombino $\varnothing 600$, si applica la nota relazione di Chezy:

$$Q' = \chi \cdot A \sqrt{R \cdot i}$$

con:

$\chi = c R^{1/6}$ coeff. di scabrezza (formula di Gauckler - Strickler);

$c = 120$ coeff. di resistenza per canale in PVC;

$R = A/C$ raggio idraulico;

A area di sezione liquida;

C contorno bagnato;

$i = 3\%$ pendenza del tombino.

Assumendo un grado di riempimento della sezione pari a $h = 0,75$, si ha:

$$A = 0,101 \text{ mq}$$

$$C = 1,256 \text{ m}$$

$$R = 0,181 \text{ m}$$

da cui, si perviene ad una portata pari a:

$$Q' = 1,51 \text{ mc/s}$$

Quindi, essendo la portata che può defluire attraverso la sezione, maggiore della massima portata prevedibile (relativa al prefissato tempo di ritorno $T = 20$ anni):

$$Q_2' > Q_2 = 0,635 \text{ mc/s}$$

la verifica idraulica in esame risulta soddisfatta.

IL PROGETTISTA

