


Progetto di Piano Attuativo  
Ambito di trasformazione AT 04

Relazione idrologica -  
idraulica

*Alessandro Ciarmiello*



**Area  
Studi Ambientali**

Dott. Geol. Alessandro Ciarmiello

Via Massimo D'Azeglio, 27 – 22020 Faloppio (CO)  
Tel. +39 (031) 987 222  
Fax +39 (031) 987 222  
areastudi@gmail.com

## **SOMMARIO**

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>2</b>
<b>2. CALCOLO DELLA PRECIPITAZIONE CRITICA.....</b>	<b>3</b>
<b>3.DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI PERMEABILITA' DEL TERRENO .....</b>	<b>6</b>
<b>4. CARATTERISTICHE DEI POZZI DI DISPERSIONE.....</b>	<b>9</b>

## **ALLEGATI**

- 1 Planimetria – ubicazione prova di infiltrazione
- 2 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (ARPA Lombardia)

## 1. INTRODUZIONE

Il presente documento contiene la relazione idrologica-idraulica, parte integrante della documentazione tecnica di progetto, relativa all'Ambito di Trasformazione AT04 del PGT vigente in Comune di Cassina Rizzardi, via Campagnola/Via Introzzi. L'ubicazione dell'area in esame è illustrata nell'ortofotografia in Fig.1.



**Fig. 1** - Estratto ortofoto area di interesse

Lo studio ha lo scopo di valutare la possibilità di smaltimento di acque meteoriche nel sottosuolo mediante pozzi di dispersione, **anche al fine dell'attuazione del principio di invarianza idraulica (Cfr. Regolamento Regionale n.7/2017).**

A tale scopo è stato dapprima determinato il volume di acque meteoriche da smaltire in corrispondenza di un evento critico di breve durata ed elevata intensità, con tempo di ritorno di 50 anni.

Successivamente è stata determinata, mediante una prova di infiltrazione, la permeabilità del terreno in corrispondenza dell'area destinata a parcheggio pubblico (ubicazione in Allegato 1). Infine è stato determinato il numero dei pozzi di dispersione necessari allo smaltimento dell'evento di progetto in corrispondenza dello stesso parcheggio.

## 2. CALCOLO DELLA PRECIPITAZIONE CRITICA

Per determinare la precipitazione critica sulla superficie scolante è stato applicato il Modello di previsione statistica delle precipitazioni di forte intensità e breve durata messo a punto da ARPA Lombardia.

Il modello permette di calcolare le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica in ogni punto del territorio utilizzando lo specifico software GIS messo a punto dall'Agenzia.

Tra i vantaggi dell'applicazione del metodo vi è l'aggiornamento continuo dei dati pluviometrici mediante la rete di stazioni idro-termo-pluviometriche gestite da ARPA. I dati tengono conto delle serie storiche aggiornate alla data attuale.

Il modello si basa sull'applicazione della seguente equazione:

$$ht(D) = a1wt D^n$$

con:

$$wt = \varepsilon + \alpha/k (1 - (\ln(T/T-1))^k)$$

dove:

a1 = coefficiente pluviometrico orario

N = coefficiente di scala

GEV – parametro alpha

Gev – parametro kappa

GEV – parametro epsilon

Per l'analisi della precipitazione critica è stato considerato un evento della durata di 15' in accordo con le analisi degli eventi estremi effettuate generalmente in ambito lombardo.

Le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica ricavate per l'area del PL sono riportate in Allegato 2.

L'equazione utilizzata è quindi la seguente:

$$a1wt = 32.20 \times 1,96 = 63.1$$

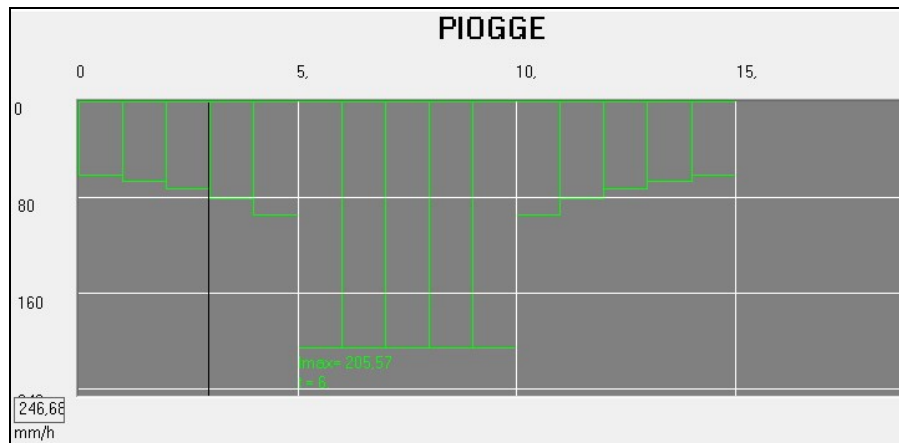
$$D = 0.25; n = 0,5 \text{ (valore stabilito per tempi inferiori all'ora nel R.R. n.7/2017)}$$

La curva considerata è in definitiva la seguente:

$$h = 63.15 D^{0.5}$$

L'evento è stato simulato mediante un software di analisi idrologica, simulando uno ietogramma di tipo "Chicago".

E' stato ottenuto il seguente ietogramma:



**Fig. 2.** Ietogramma evento di progetto

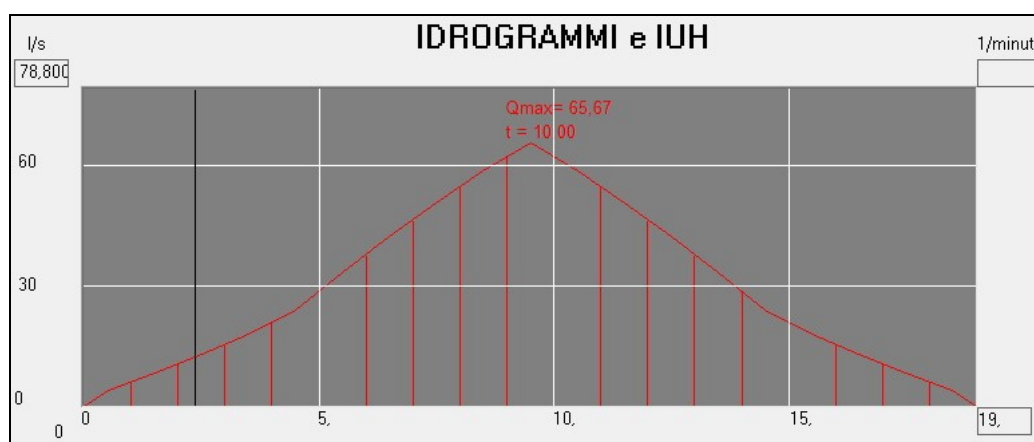
La precipitazione critica sopra considerata è stata rapportata alla superficie della strada del P.A. e all'area di parcheggio.

Tipo di superficie	Coeff. defl.	Sup.(mq)
Pavimentazioni asfaltate	1	905
Giardini e cimiteri	0,7	245

Superficie Totale (mq): 1150

Coefficiente deflusso medio: 0,94

Sulla base dei dati sopra riportati è stato ottenuto l'idrogramma dell'evento di progetto:



**Fig. 3.** idrogramma evento di progetto

L'afflusso totale per l'evento simulato con T=50 anni è stato ottenuto discretizzando l'idrogramma con intervalli di 1 minuto.

min	Q l/s	V litri
1	3,93	235,8
2	8,17	490,2
3	12,82	769,2
4	18,04	1082,4
5	24,04	1442,4
6	33,24	1994,4
7	42,13	2527,8
8	50,62	3037,2
9	58,55	3513
10	65,67	3940,2
11	58,55	3513
12	50,62	3037,2
13	42,13	2527,8
14	33,24	1994,4
15	24,04	1442,4
16	18,02	1081,2
17	12,82	769,2
18	8,17	490,2
19	3,93	235,8

Si ottiene un volume totale pari a  $34.123 \text{ l} = 34,12 \text{ m}^3$



### **3.DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE DI PERMEABILITA' DEL TERRENO**

La permeabilità del sottosuolo in corrispondenza dell'area di parcheggio è stata determinata mediante una prova di infiltrazione a carico variabile.

Tale prova è stata realizzata mediante uno scavo spinto fino a 4,5 m dal p.c., il successivo posizionamento di una tubazione in cemento con diametro di 80 cm e immissione di acqua all'interno della tubazione.

L'immissione (volume idrico > 1 m<sup>3</sup>) è stata realizzata in breve tempo; si è quindi provveduto a misurare gli abbassamenti di livello tramite sonda elettrica.



**Foto 1.** Scavo per prova di infiltrazione



**Foto 2.** Contenitore acqua per la prova



**Foto 3.** Immissione di acqua nella tubazione

I dati relativi alla prova sono riportati nella seguente tabella.

diametro	t1	t2	h1	h2	hm	k
0,8	520	712	1,59	1,63	1,61	3,23499E-06
0,8	712	840	1,63	1,73	1,68	1,16257E-05
0,8	840	960	1,73	1,82	1,775	1,05634E-05
0,8	960	1080	1,82	1,9	1,86	8,96057E-06
0,8	1080	1200	1,9	1,95	1,925	5,41126E-06
0,8	1200	1320	2,01	1,95	1,98	-6,3131E-06
0,8	1320	1500	2,07	2,01	2,04	-4,085E-06
0,8	1500	1800	2,07	2,15	2,11	3,15956E-06
0,8	1800	2100	2,15	2,25	2,2	3,78788E-06
Totale						
0,8	520	2100	1,59	2,25	1,92	5,43908E-06

Il calcolo della permeabilità è stato effettuato con la formula:

$$k = d (h_2 - h_1) / 32 (t_2 - t_1) \times h_m$$



dove:

$k$  = coefficiente di permeabilità

$t_1, t_2$  = tempi misurazione livello

$h_1, h_2$  = livelli idrici

$h_m$  = altezza media

L'analisi dei dati di prova indica che nei primi intervalli di tempo la permeabilità è elevata, segue l'effetto di saturazione del terreno.

La prova è durata in totale 35', quindi è sufficiente in relazione alla simulazione di un evento critico di breve durata e massima intensità.

La permeabilità media calcolata è  $k = 5.43 \times 10^{-6}$  m/s.

#### 4. CARATTERISTICHE DEI POZZI DI DISPERSIONE

La legge base, formulata da H. Darcy nel 1856 lega la velocità media del fluido alla pendenza della piezometrica (i) secondo la seguente relazione:

$$V = K \cdot i$$

nella quale il coefficiente K, dipende dal materiale e prende il nome di coefficiente di permeabilità.

Per i moti di filtrazione, in un sistema di riferimento cartesiano è possibile esprimere le componenti della velocità come:

$$V_x = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial x} \quad V_y = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial y} \quad V_z = -k \cdot \frac{\partial h}{\partial z}$$

che associata all'equazione di continuità, è possibile riscrivere come:

$$\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$$

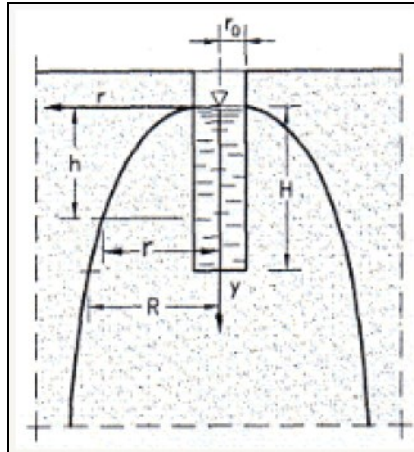
che soddisfa l'equazione di Laplace:

$$\frac{\partial^2 h^*}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 h^*}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 h^*}{\partial z^2} = \nabla^2 h = 0$$

Nel caso di pozzi perdenti in falda profonda il calcolo della portata (soluzione del moto di filtrazione), viene ottenuto dalla risoluzione dell'equazione differenziale del moto in coordinate cilindriche (r, y), ovvero dalle seguenti equazioni:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left( r \cdot \frac{\partial \phi}{\partial r} \right) = 0 \quad \text{e} \quad \phi = kh = C_1 \ln r + C_2$$

Le ipotesi al contorno sono:  $h=0$  per  $r=r_0$  ed  $h=H$  per  $r=R_I$  (dove  $r_0$  è il raggio del pozzo e  $R_I$  il raggio di influenza. Il calcolo della portata drenata dal pozzo viene calcolata studiando il fenomeno come un moto permanente a simmetria radiale con una superficie libera di forma incognita, che si raccorda alla falda esistente quando questa sia relativamente elevata, oppure che affondi in modo sostanzialmente verticale in una falda profonda.



Con alcune approssimazioni si ottiene:

$$Q = C K R_0 H$$

dove:

Q è la portata dispersa;

C è il coefficiente di deflusso;

K è il coefficiente di permeabilità

R<sub>0</sub> è il raggio del pozzo;

H è la profondità del pozzo;

Il coefficiente di deflusso C può essere calcolato con la teoria sperimentale di Stephens e Neumann che esprime il termine C secondo la relazione:

$$\log C = 0,658 \log (H/R_0) - 0.398 \log H + 1.105$$

Il raggio di influenza R<sub>I</sub>, può essere definito, considerando che a livello della quota del fondo del pozzo le velocità di filtrazione sono praticamente verticali, ovvero che  $-V_y = -K$ .

La risoluzione dell'equazione differenziale, fornisce la forma della "parabola" visibile nell'illustrazione e quindi il raggio di influenza che viene misurato alla base (in corrispondenza di H<sub>max</sub>).

Il Raggio di influenza non è ricavabile da una semplice formula lineare, risulta funzione di R<sub>0</sub> ed H<sub>max</sub> ed il programma di calcolo utilizzato lo ricava con successive iterazioni risolvendo l'equazione differenziale sopra riportata.

Per lo smaltimento delle acque meteoriche è stata ipotizzata la realizzazione di n. 6 pozzi del diametro di 1,5 m e profondità di 4,5 m, suddivisi in linee di due pozzi ciascuna, in uno scavo di dimensioni complessive pari a 7 x 2,5 m con profondità 4,5 m.

Gli scavi saranno colmati con materiale arido avente una porosità efficace di 0,20 per un'altezza del dreno di 3 m.

Utilizzando il coefficiente di permeabilità del terreno  $k = 5,43 \times 10^{-6}$  m/s, calcolato in base ai dati della prova di infiltrazione, si ottiene:

Coefficiente di permeabilità del terreno K (m/s):  $5,43 \times 10^{-6}$

Diametro del pozzo (m): 1,50

Raggio del pozzo (m): 0,75

Raggio Influenza RI (m): 4,7

H (m)	C	Q (l/s)	V (m3)
4,5	22,753	0,42	7,95

E' stato calcolato il bilancio afflussi-deflussi, riassunto nella seguente tabella:

diametro pozzo m	profond. pozzo m	Q (l/s) da pozzo	V (m3) pozzo	tempo min	tempo s	volume disperso litri	volume disperso m3	volume somma disperso + pozzo m3
1,5	4,5	0,42	7,95	15	900	378	0,378	8,328

volume dreno lato 1	profondità lato 2	volume lordo	volume dreno (tolto pozzo)	porosità efficace	volume immagazz dreno	Volume pozzo e dreno
7	2,5	3	52,5	36,6	0,2	7,32 23,2

n. pozzi	Volume Pozzi	Volume afflusso	Coeff. Sicurezza
2	23,22	34,12	0,680539
4	46,44	34,12	1,361079
6	69,66	34,12	2,041618

Il volume idrico immagazzinabile nei pozzi e nel dreno (>69 m3) garantisce un elevato coefficiente di sicurezza. Il volume di riserva è comunque utile al fine di garantire lo smaltimento di possibili afflussi meteorici ravvicinati nel tempo.

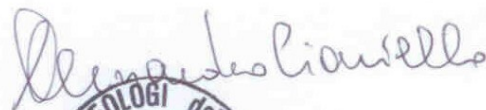

Il tempo necessario allo svuotamento del sistema dei pozzi può essere calcolato in base alla portata defluente da ciascun pozzo:

$Q = 0,42$  l/s x 6 pozzi = 2,52 l/s. Lo smaltimento del volume di afflusso di 34,12 m3 richiede, secondo il modello di calcolo adottato, poco più di 3 h 45'. Viene quindi rispettato il tempo limite per lo svuotamento di 48 h previsto dal R.R.n.7/2017.

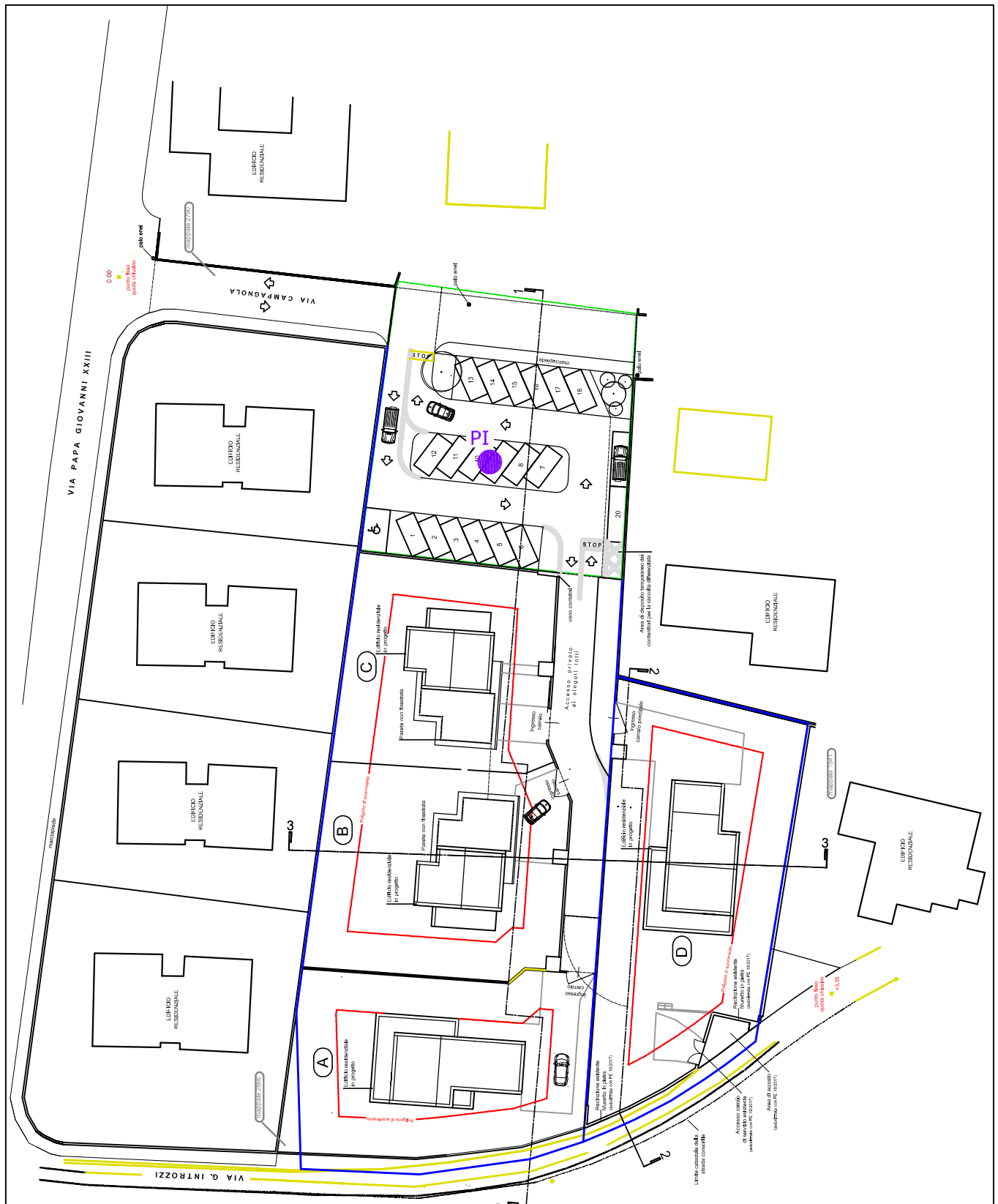
Per quanto riguarda gli accorgimenti costruttivi, si consiglia di collegare tra loro i pozzi con una tubazione di troppo pieno, al fine di poter ripartire su tutti i pozzi l'evento meteorico critico.

Si ricorda infine che i singoli lotti interessati dai progetti edilizi, dovranno rispettare il principio dell'invarianza idraulica, mediante la dispersione nel sottosuolo delle acque meteoriche senza aggravio per la rete di smaltimento del P.A. sopra dimensionata.

AGGIORNAMENTO - VERSIONE	IL PROFESSIONISTA
31.05.2018	Dott. geol. Alessandro Ciarmiello  Iscr. Ordine dei Geologi della Lombardia n. 515 Sez. A

# Planimetria indagine



Prova di infiltrazione



**Allegato 2**  
**LINEE SEGNALATRICI DI PROBABILITA'**  
**PLUVIOMETRICA**

## Calcolo della linea segnatrice 1-24 ore

Località: Montano Lucino - Via Modigliani

Coordinate: .....

Linea segnatrice

Parametri ricavati da: <http://idro.arpalombardia.it>

Tempo di ritorno (anni) 50

A1 - Coefficiente pluviometrico orario 32,2099

N - Coefficiente di scala 0,333

GEV - parametro alpha 0,2842

GEV - parametro kappa -0,0082

GEV - parametro epsilon 0,8335

Evento pluviometrico

Durata dell'evento [ore]

Precipitazione cumulata [mm]

Formulazione analitica

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

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

Bibliografia ARPA Lombardia:

<http://idro.arpalombardia.it/manual/lspg.pdf>

[http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA\\_report.pdf](http://idro.arpalombardia.it/manual/STRADA_report.pdf)

### Tabella delle precipitazioni previste al variare delle durate e dei tempi di ritorno

Tr	2	5	10	20	50	100	200	50
wT	0,93782	1,26242	1,47899	1,68799	1,96036	2,16583	2,37173	1,96036232
Durata (ore)	TR 2 anni	TR 5 anni	TR 10 anni	TR 20 anni	TR 50 anni	TR 100 anni	TR 200 anni	TR 50 anni
1	30,2	40,7	47,6	54,4	63,1	69,8	76,4	63,1430743
2	38,0	51,2	60,0	68,5	79,5	87,9	96,2	79,5369094
3	43,6	58,6	68,7	78,4	91,0	100,6	110,1	91,0347283
4	47,9	64,5	75,6	86,3	100,2	110,7	121,2	100,187076
5	51,6	69,5	81,4	92,9	107,9	119,2	130,6	107,915228
6	54,9	73,8	86,5	98,7	114,7	126,7	138,7	114,670073
7	57,7	77,7	91,1	103,9	120,7	133,4	146,0	120,710033
8	60,4	81,3	95,2	108,7	126,2	139,4	152,7	126,198644
9	62,8	84,5	99,0	113,0	131,2	145,0	158,8	131,246726
10	65,0	87,5	102,6	117,0	135,9	150,2	164,5	135,933257
11	67,1	90,4	105,9	120,8	140,3	155,0	169,8	140,31674
12	69,1	93,0	109,0	124,4	144,4	159,6	174,8	144,441862
13	71,0	95,5	111,9	127,7	148,3	163,9	179,5	148,343615
14	72,7	97,9	114,7	130,9	152,0	168,0	184,0	152,049977
15	74,4	100,2	117,4	134,0	155,6	171,9	188,2	155,583706
16	76,0	102,4	119,9	136,9	159,0	175,6	192,3	158,963595
17	77,6	104,5	122,4	139,7	162,2	179,2	196,2	162,205365
18	79,1	106,5	124,7	142,4	165,3	182,7	200,0	165,322311
19	80,5	108,4	127,0	144,9	168,3	186,0	203,6	168,325794
20	81,9	110,3	129,2	147,4	171,2	189,2	207,2	171,225606
21	83,3	112,1	131,3	149,9	174,0	192,3	210,5	174,030252
22	84,6	113,8	133,3	152,2	176,7	195,3	213,8	176,747173
23	85,8	115,5	135,3	154,5	179,4	198,2	217,0	179,382921
24	87,0	117,2	137,3	156,7	181,9	201,0	220,1	181,943299

### Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica

