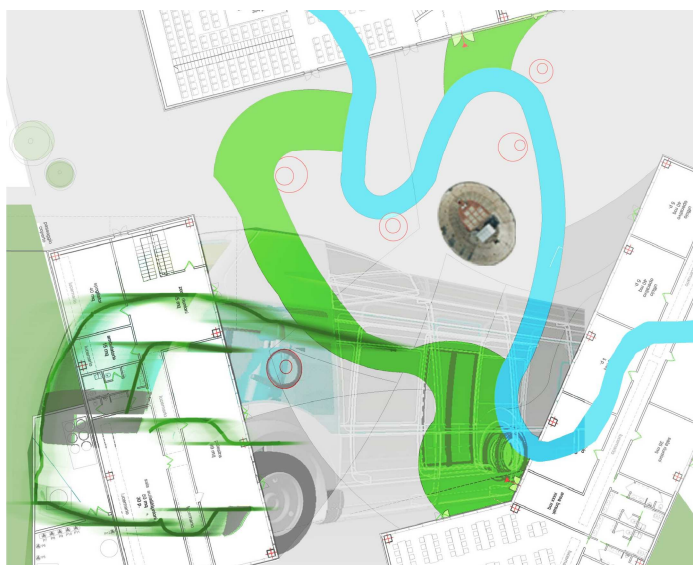


SISTEMA DI TRASPORTO PUBBLICO DI TIPO FILOVIARIO

GARA D'APPALTO PER LA PROGETTAZIONE ESECUTIVA,
L'ESECUZIONE DEI LAVORI E LA FORNITURA DEI VEICOLI

OFFERTA TECNICA
B2 - PROGETTO DEFINITIVO



PROGETTO:

INQUADRAMENTO GENERALE
STUDI ED INDAGINI
Idrologia ed idraulica
Relazione idraulica-idrogeologica

CONCORRENTE
ATE:

SOVECO
COSTRUZIONI SPA

CONSORZIO COOPERATIVE COSTRUZIONI
CCC
Società cooperativa
(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)

ALPIQ
Alpiq InTec Verona S.p.A.

MAZZI
Impresa Generale Costruzioni
S.p.A.

Balfour Beatty
Rail

APTS
Advanced Public
Transport Systems bv

SCALA	-
RIF. N°	PD-A0201-RSDI-A.dwg
ALLEGATO N°	PD A0201 RSDIA

PROGETTAZIONE
COSTITUENDO R.T.P.:



(MANDATARIA/CAPOGRUPPO)

DIRETTORE TECNICO

Dott. Ing. Massimo Raccosta



DIRETTORE TECNICO

Dott. Arch. Valentina Butterini

REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	REDATTO	VISTO	APPROVATO
A	Dic. 2010	Emissione	Girpa	Buttura	Panzan	Butterini

Il presente documento non potrà essere copiato, riprodotto o altrimenti pubblicato, in tutto o in parte, senza il consenso scritto. Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge.
This document may not be copied, reproduced or published, either in part or entirely, without the written permission. Unauthorized use will be prosecuted by law.

1. INTRODUZIONE	2
2. VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA	3
2.1. GENERALITÀ.....	3
2.2. VULNERABILITÀ E VINCOLI PARTICOLARI	3
3. ASSETTO IDROGEOLOGICO	5
4. PLUVIOMETRIA	6
4.1. ELABORAZIONE DEI DATI PLUVIOMETRICI	6
4.2. DATI PLUVIOMETRICI.....	7
4.3. ANALISI STATISTICA.....	7
4.3.1. <i>Piogge di durata inferiore all'ora</i>	8
4.3.2. <i>Piogge di durata superiore all'ora</i>	9
4.3.3. <i>Determinazione della curva di possibilità climatica</i>	10
4.3.3.1. Piogge di durata inferiore all'ora	10
4.3.3.2. Piogge di durata superiore all'ora.....	12
4.4. CALCOLO DEL COEFFICIENTE DI DEFLUSSO	14
4.5. CALCOLO DELLA PORTATA DI PROGETTO: METODO DELL'INVASO	14

1. INTRODUZIONE

Per quanto riguarda il corretto dimensionamento delle opere per la raccolta e lo smaltimento delle acque meteoriche, del sistema di approvvigionamento idrico e del sistema di allontanamento degli scarichi civili viene individuato il migliore assetto da assegnare al sistema rispetto al recapito finale tenendo conto:

- o della sollecitazione meteorica di progetto;
- o dei vincoli dettati dalle normative vigenti;
- o dei vincoli dettati dalle prescrizioni degli Enti competenti;
- o dall'analisi delle sensibilità del sistema (fascia delle risorgive, particolari aree di ricarica degli acquiferi, aree di salvaguardia di captazioni idropotabili, vocazione ittica);
- o della funzionalità del sistema di trattamento delle acque;
- o della situazione morfologica ed idraulica dell'area.



2. VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

2.1. Generalità

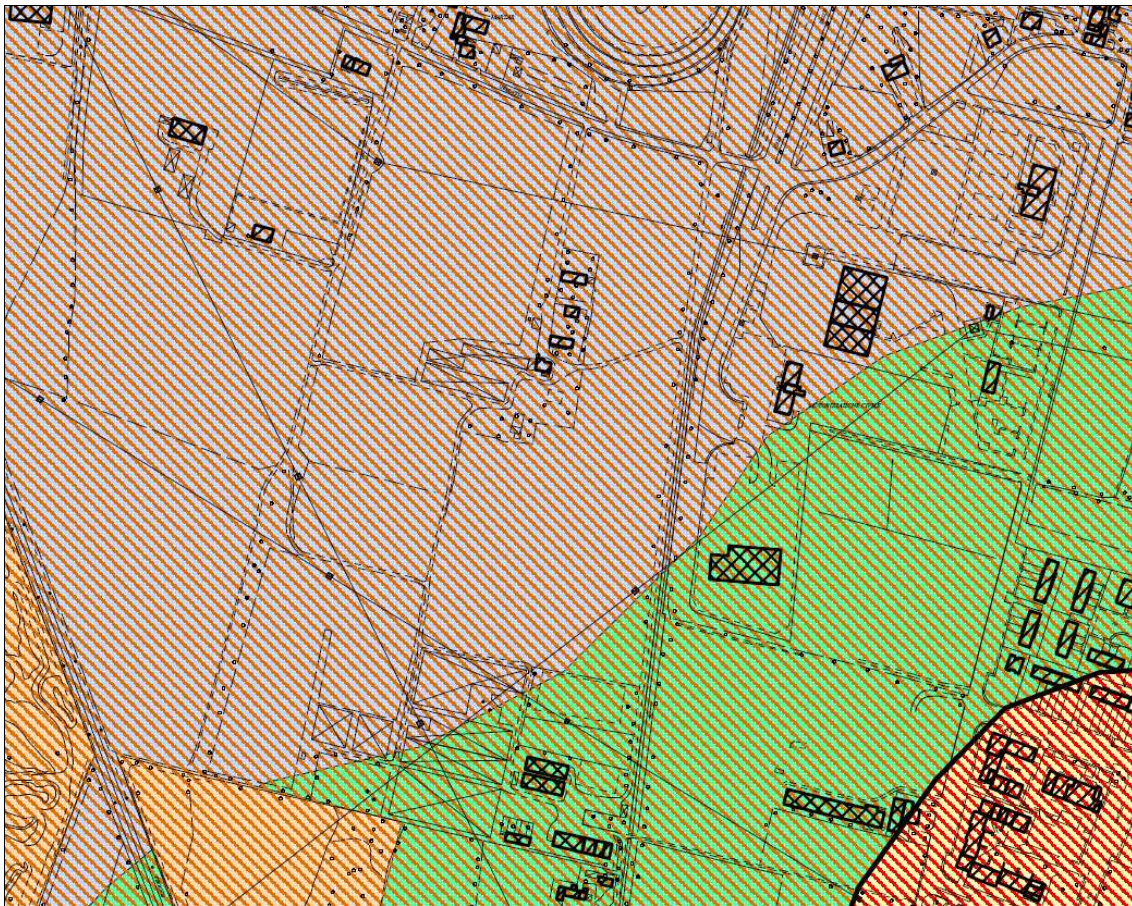
L'area in oggetto si trova in prossimità del casello autostradale di Verona Sud (A4), delimitata ad Ovest dalla linea ferroviaria "Verona-Bologna" e ad Est da via della Genovesa. L'attuale configurazione dell'area compreso le dirette adiacenze poste verso est è esclusivamente agricola con occasionali presenze di attività produttive poste in aderenza della viabilità esistente.

2.2. Vulnerabilità e vincoli particolari

La vulnerabilità idrogeologica del sito è desunta dalla "*Carta delle Fragilità*" allegata al PAT del comune di Verona che sintetizza tutte le informazioni disponibili (litologia di superficie, presenza di ghiaie e sabbie in profondità, soggiacenza della falda superficiale, acclività, permeabilità ecc.) e suddivide il territorio provinciale in 5 classi di vulnerabilità idrogeologica: bassa, media, alta, elevata, elevatissima.

Dall'analisi della cartografia comunale si evince che l'area oggetto di urbanizzazione è caratterizzata da "Vulnerabilità intrinseca degli acquiferi". Si prevede, in adempimento delle vigenti normative, di trattare le acque di prima pioggia, provenienti dal piazzale e dalla viabilità interna, preventivamente alla loro dispersione nel terreno.

Da un controllo nell'area circostante non sono stati individuati pozzi pubblici destinati ad attingere acque sotterranee destinate al consumo umano.



LIMITI AMMINISTRATIVI

..... Confine Comunale Aggiornato 2010

PAT Tavola Nr 3 - Carta delle Fragilità

- ▲▲ Art. 42 - IMPIANTI AD ALTO RISCHIO
- ▲▲ IMPIANTI AD ALTO RISCHIO
- ■ Art. 42 - IMPIANTI AD ALTO RISCHIO
- ■ Art. 32 - CORSI D'ACQUA E SPECCHI LACUALI
- ■ Art. 38 - VULNERABILITA' INTRINSECA DEGLI ACQUIFERI
- ■ Art. 37 - PENALITA' AI FINI EDIFICATORI
- ■ Art. 12 - AREE PER IL RISPETTO DELL'AMBIENTE NATURALE, DELLA FLORA E DELLA FAUNA (S.I.C.)
- ■ Art. 41 - AREE GIA' DESTINATE A BOSCO INTERESSATE DA INCENDI
- ■ Art. 5 - AREE ARCHEOLOGICHE A RISCHIO b)
- ■ Art. 5 - AREE ARCHEOLOGICHE A RISCHIO c)
- ■ Art. 39 - LIMITE DI BACINO IDROGRAFICO
- ■ Art. 32 - GOLENE
- ■ Art. 39 - CLASSI DI PERICOLOSITA' IDRAULICA
- ■ ELEVATA
- ■ MEDIA
- ■ MODERATA
- ■ MOLTO ELEVATA
- ■ Art. 32 - AREE COMPRESSE TRA I CORSI D'ACQUA E GLI ARGINI MAESTRI
- ■ Art. 39 - AREE DI FRANA
- ■ Art. 40 - AREE BOSCHIVE O DESTINATE A RIMBOSCHIMENTO

Fig. 2.1 - Stralcio dalla "Carta delle Fragilità" – Fonte: PAT Verona

3. ASSETTO IDROGEOLOGICO

La zona in esame è compresa (cfr. SORBINI et al.: “Geologia e geomorfologia di una porzione della pianura a S.E. di Verona”, 1984) entro il conoide antico del fiume Adige, che sovrasta con scarpata di terrazzo alluvionale di una decina di metri di altezza il sottostante piano di divagazione recente del fiume il cui alveo meandriforme si svolge diversi chilometri più ad Est e Nord-Est.

Entro il conoide antico il paesaggio morfologico si presenta subpianeggiante ed in debolissimo declivio a meridione; in base alla C.T.R., il piano di campagna giace quivi a quota prossima ai 56 m s.l.m.

Il sottosuolo, celato da coltre metrica di suolo eluviale ciottoloso di colore bruno-rossastro, è costituito dalle alluvioni del “conoide antico atesino”, rappresentate da prevalenti depositi ghiaio-sabbiosi e ciottolosi poligenici, ben classati ed addensati, solo localmente intercalati da lenti sabbiose e livelli limo-argillosi.

In base alla stratigrafia del pozzo della centrale A.G.S.M. di loc. Genovesa, ubicato un chilometro a Est, le alluvioni ghiaio-sabbiose si estendono per più di 60 metri di profondità e sono intercalate da uno spesso orizzonte argilloso tra 24 e 20 m s.l.m. (oltre 30 metri sotto il piano di campagna dell’area in esame), e da un più esiguo livello sabbioso tra -8 e 6 m s.l.m.

Gli afflussi meteorici ed irrigui concorrono ad alimentare un’estesa falda freatica, da sempre sfruttata da numerosi pozzi per uso anche potabile, che viene a giorno in corrispondenza di risorgive ubicate qualche chilometro più a valle ed a Sud dell’area in esame.

Entro la zona allo studio la superficie freatica giace ad una decina di metri sotto il piano campagna, sicché la recente cartografia redatta per il PAT del Comune di Verona ascrive l’area d’intervento all’Unità A cui corrispondono “aree caratterizzate dalla presenza di alluvioni fluviali e fluvioglaciali a composizione prevalentemente ghiaiosa e sabbiosa, ad elevata permeabilità primaria, con strato di alterazione superficiale di scarsa potenza” in zone di morfologia subpianeggiante; le aree dell’Unità A sono altresì caratterizzate da una “vulnerabilità intrinseca alta” per il rischio che la contaminazione superficiale raggiunga la sottostante falda freatica.

Il regime di quest’ultima è caratterizzato da piene tardo-estive e da magre invernali, con escursione media annua quivi contenuta in 3-4 metri; in base alla “Carta idrogeologica dell’alta pianura dell’Adige” (DAL PRA’ & DE ROSSI, 1989) all’intorno dell’area in esame la superficie freatica ha raggiunto, nel corso del periodo di piena dell’agosto 1986, quota prossima a 48 m s.l.m., declinando a Sud-Est con gradiente inferiore allo 0,1%. Peraltro è noto, dalle misure mensili rilevate nel summenzionato pozzo A.G.S.M. di loc. Genovesa, che in più occasioni l’escursione di piena ha raggiunto valori di oltre un metro più elevate rispetto a quelli registrati nel 1986: occasionalmente la superficie freatica può quindi risalire quivi a quota 49 s.l.m., restando comunque più di 3 metri al di sotto dell’interrato in progetto.

4. PLUVIOMETRIA

4.1. Elaborazione dei dati pluviometrici

La valutazione delle portate che la rete di drenaggio deve essere in grado di convogliare e smaltire è stata effettuata con opportuni metodi di trasformazione afflussi-deflussi, che consentono di associare ad una determinata grandezza idrologica un'assegnata probabilità di accadimento a partire da eventi pluviometrici caratterizzati dalla medesima probabilità.

Volendo determinare le portate che comportano la crisi del sistema di drenaggio, si deve fare prima una premessa sulla durata dei diversi eventi. Gli eventi meteorici sono convenzionalmente suddivisi in:

- eventi di breve durata, i cosiddetti scosci; essi hanno una durata mediamente inferiore all'ora e sono caratterizzate da forte intensità e perciò sviluppano elevate portate alla sezione di chiusura del bacino idrografico;
- eventi di lunga durata; essi hanno una durata superiore all'ora hanno minore intensità ma sviluppano elevati volumi alla sezione di chiusura del bacino idrografico;

Per definire le altezze di precipitazione corrispondenti a tali eventi pluviometrici vengono utilizzate le curve di possibilità pluviometrica (CPP), elaborate a partire dalle registrazioni di altezza di pioggia effettuate nelle stazioni pluviometriche.

Le due tipologie di eventi meteorici descritti in precedenza hanno caratteristiche differenti e per questo si ritiene opportuno analizzarli in modo separato e perciò ricavare due curve di possibilità pluviometrica di progetto una per gli eventi di breve durata ed una per quelli di lunga durata.

Lo scopo dell'elaborazione statistica dei dati è la determinazione dei coefficienti **a** (mm/ore) e **n** che compaiono nelle equazioni di possibilità pluviometrica:

$$h = a \times t^n$$

dove: **h** = altezza di pioggia in mm

t = tempo in ore

Il concetto di rischio idraulico è quantificato dal tempo di ritorno T_r , definito come l'inverso della frequenza media probabile del verificarsi di un evento maggiore, ossia il periodo di tempo nel quale un certo evento è mediamente uguagliato o superato.

$$T_r = 1 / [1 - P(h \leq H)]$$

L'equazione di possibilità pluviometrica fornisce, per un fissato tempo di pioggia **t**, il massimo valore di **h** nel periodo pari al tempo di ritorno T_r e viene utilizzata, nei modelli afflussi-deflussi, per la determinazione della portata afferente all'area interessata.

4.2. Dati pluviometrici

La ricerca presso gli enti dei dati pluviometrici ha portato all'individuazione di una stazione pluviometrica, gestita da ARPAV, prossima alla zona di intervento. Le serie storiche delle piogge ci sono state fornite dal Centro Meteorologico di Teolo.

I dati idrologici, derivanti dalla stazione di "Villafranca" sono registrati negli archivi del Centro Meteo di Teolo e interessano un periodo di osservazione che va dal 1990 al 2006.

STAZIONE	COORDX E	COORDY N
Villafranca di Verona	1643529	5025977

Si sono analizzate sia le piogge intense, cioè quelle di durata inferiore all'ora, che le piogge di lunga durata in quanto le prime mettono in crisi il sistema di drenaggio che fa parte delle opere di urbanizzazione, mentre le seconde mettono in crisi il sistema di laminazione dell'intera lotto di progetto.

Per il progetto si utilizzeranno i dati relativi ad eventi critici con tempo di ritorno T_r pari a 10 anni per il dimensionamento del sistema di captazione ed allontanamento delle acque meteoriche dei piazzali e viabilità interne.

4.3. Analisi statistica

La regolarizzazione statistico-probabilistica, impiegata per il calcolo dei tempi di ritorno, è stata eseguita facendo riferimento alla distribuzione del valore estremo EV1 o di Gumbel. Tale legge si basa sull'introduzione di un'ipotesi relativa al tipo di distribuzione dei più grandi valori estraibili da più serie costituite da osservazioni tra loro indipendenti.

La distribuzione cumulata di probabilità è descritta dalla seguente funzione:

$$F(x) = \exp(-\exp(-\frac{x-u}{\alpha}))$$

dove x e u rappresentano rispettivamente i parametri di concentrazione e della tendenza centrale stimati con il metodo dei momenti:

$$\mu_x = mx = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\sigma_x = sx = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - mx)^2}$$

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} \cdot sx}{\pi}$$

misura della dispersione attorno al valore medio

$$u = mx - \lambda \cdot \alpha \text{ moda}$$

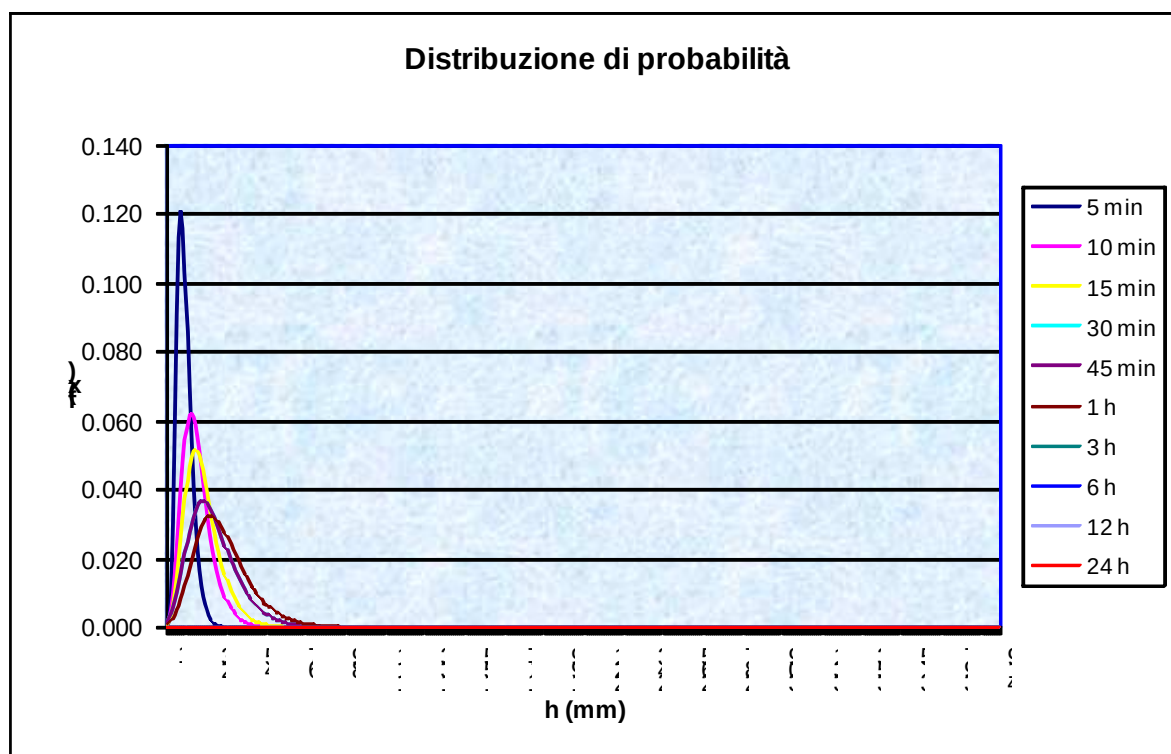
con $\lambda = 0,5772$ è la costante di Eulero.

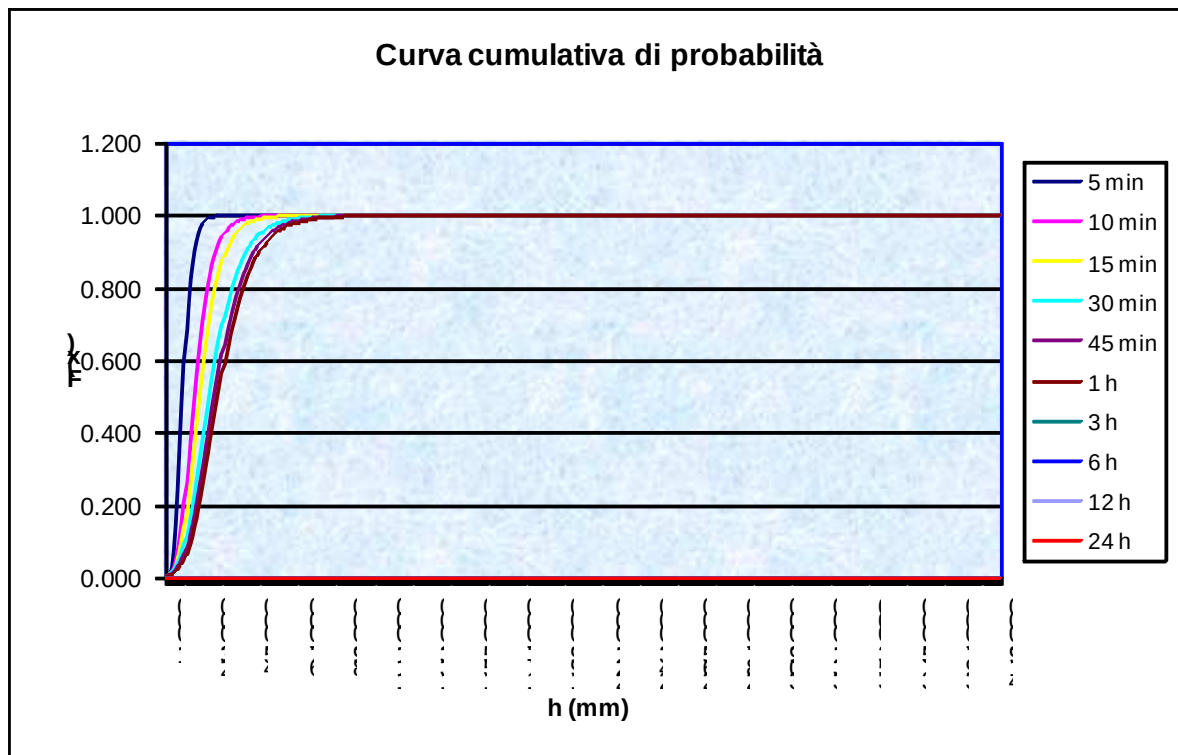
Indicando con $F(x)$ la probabilità di non superamento del valore x , il tempo medio di ritorno è calcolato dalla relazione:

$$Tr = \frac{1}{(1 - F(x))}$$

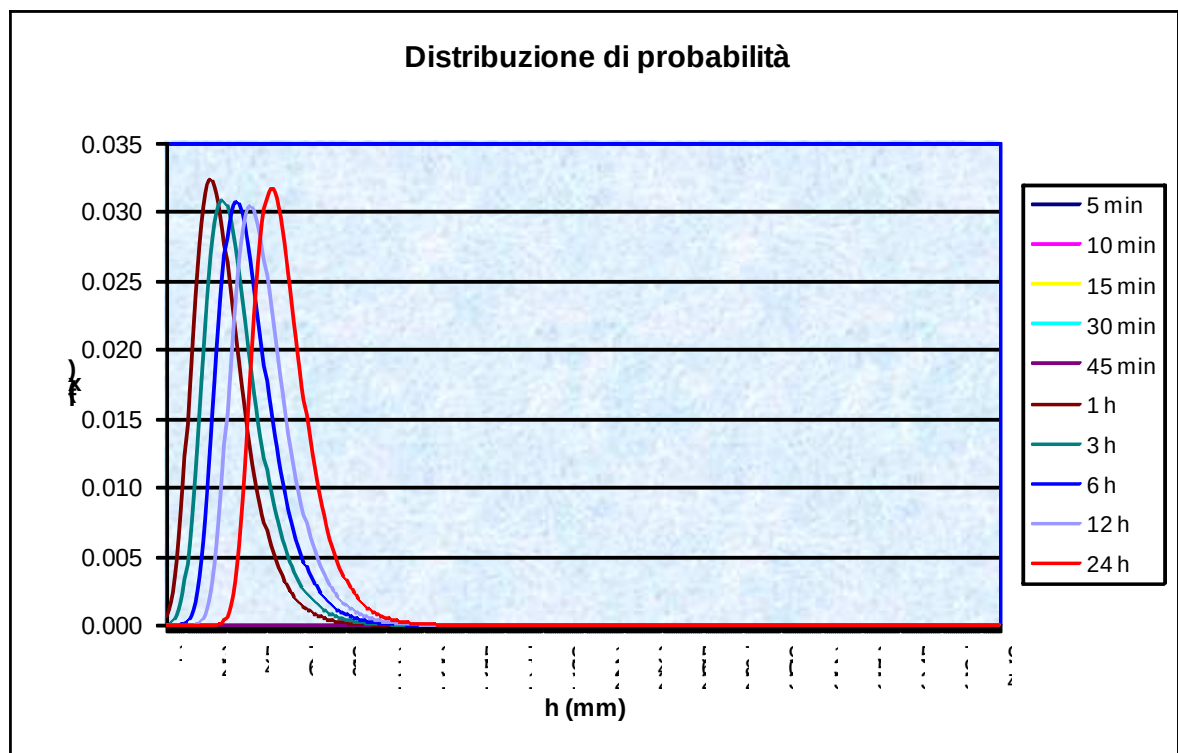
dove Tr rappresenta quindi il numero medio di anni entro cui il valore x viene superato una sola volta.

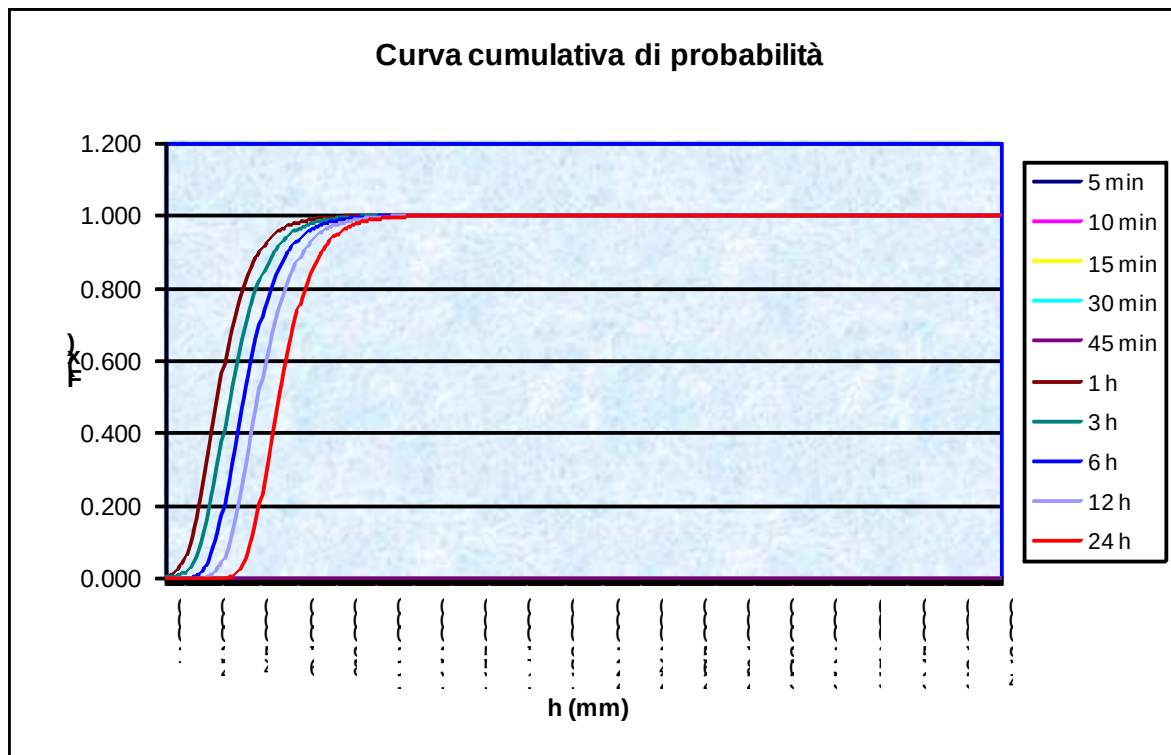
4.3.1. Piogge di durata inferiore all'ora





4.3.2. Piogge di durata superiore all'ora





4.3.3. Determinazione della curva di possibilità climatica

Si procede ora alla determinazione dei parametri **a** e **n** della curva di possibilità climatica con il modello della regressione lineare. Come detto in precedenza per le opere in progetto si utilizzeranno come curve di progetto le curve riferite a eventi con tempi di ritorno di 10 anni.

4.3.3.1. Piogge di durata inferiore all'ora

Tempo di ritorno 10 anni

Regressione lineare - applicata a distribuzione monomia

$$Y = a \cdot X^n$$

$$y = \ln(Y) \quad x = \ln(X)$$

$$c = \ln(a) \quad d = n$$

$$y = c + x \cdot d$$

Popolazione campionaria

N	Y	X	y	x	xx	xy
1	14	0.08	2.64	-2.48	6.17	-6.56
2	26	0.17	3.26	-1.79	3.21	-5.84
3	31	0.25	3.43	-1.39	1.92	-4.76
4	41	0.50	3.71	-0.69	0.48	-2.57
5	45	0.75	3.81	-0.29	0.08	-1.10
6	48	1.00	3.87	0.00	0.00	0.00

$$S_x = -6.64 \quad S_{xy} = -20.83$$

$$S_y = 20.72 \quad S_{xx} = 11.87$$

Determinazione dei coefficienti c e d

$$c = 3.97407 \quad a = 53.20$$

d = 0.469889

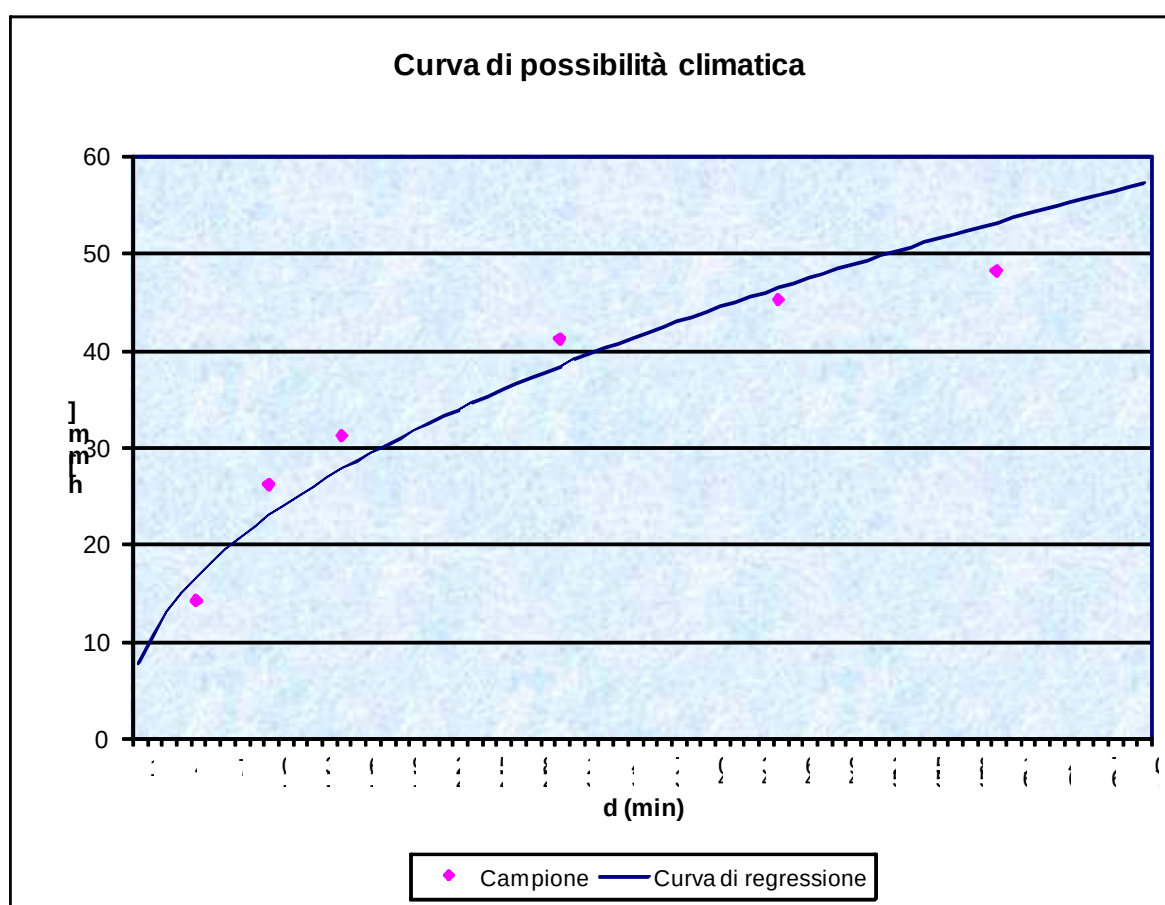
n = 0.470

Coefficiente di determinazione

Esso da una misura normalizzata della bontà dell'adattamento

 $0 < R^2 < 1$

y_i	x_i	$(y_i - a - b x_i)^2$	$(y_i - 1/N \cdot \sum y_i)^2$
2.64	-2.48	0.03	0.66
3.26	-1.79	0.02	0.04
3.43	-1.39	0.01	0.00
3.71	-0.69	0.00	0.07
3.81	-0.29	0.00	0.12
3.87	0.00	0.01	0.17
		0.07	1.07

 $R^2 = 0.932$ 

L'analisi statistica è stata sviluppata con un campione di eventi intensi con durate che vanno dai 5 minuti ai 45 minuti. La curva di possibilità climatica che ne deriva potrà essere utilizzata solo per il dimensionamento degli elementi della rete di drenaggio che avranno tempi di corrivazione compresi tra i 5 e i 45 minuti.

Qui di seguito si riporta la *Curva di possibilità climatica* riferita al tempo di ritorno T_r 10.

PIOGGE DI DURATA INFERIORE ALL'ORA	
Tempo di ritorno (anni)	Curva di possibilità Valide per $5 \text{ min} < t < 45 \text{ min}$ (h [mm], t [h])
10	$h = 53,20 \cdot t^{0,470}$

4.3.3.2. Piogge di durata superiore all'ora

Tempo di ritorno 10 anni

Regressione lineare - applicata a distribuzione monomia

$$Y = a \cdot X^n$$

$$y = \ln(Y) \quad x = \ln(X)$$

$$c = \ln(a) \quad d = n$$

$$y = c + x \cdot d$$

Popolazione campionaria

N	Y	X	y	x	xx	xy
1	48	1.00	3.87	0.00	0.00	0.00
2	55	3.00	4.01	1.10	1.21	4.40
3	62	6.00	4.13	1.79	3.21	7.39
4	70	12.00	4.25	2.48	6.17	10.56
5	79	24.00	4.37	3.18	10.10	13.89

$S_x =$	8.55	$S_{xy} =$	36.24
$S_y =$	20.62	$S_{xx} =$	20.69

Determinazione dei coefficienti c e d

c =	3.853547	a =	47.16
d =	0.15852	n =	0.159

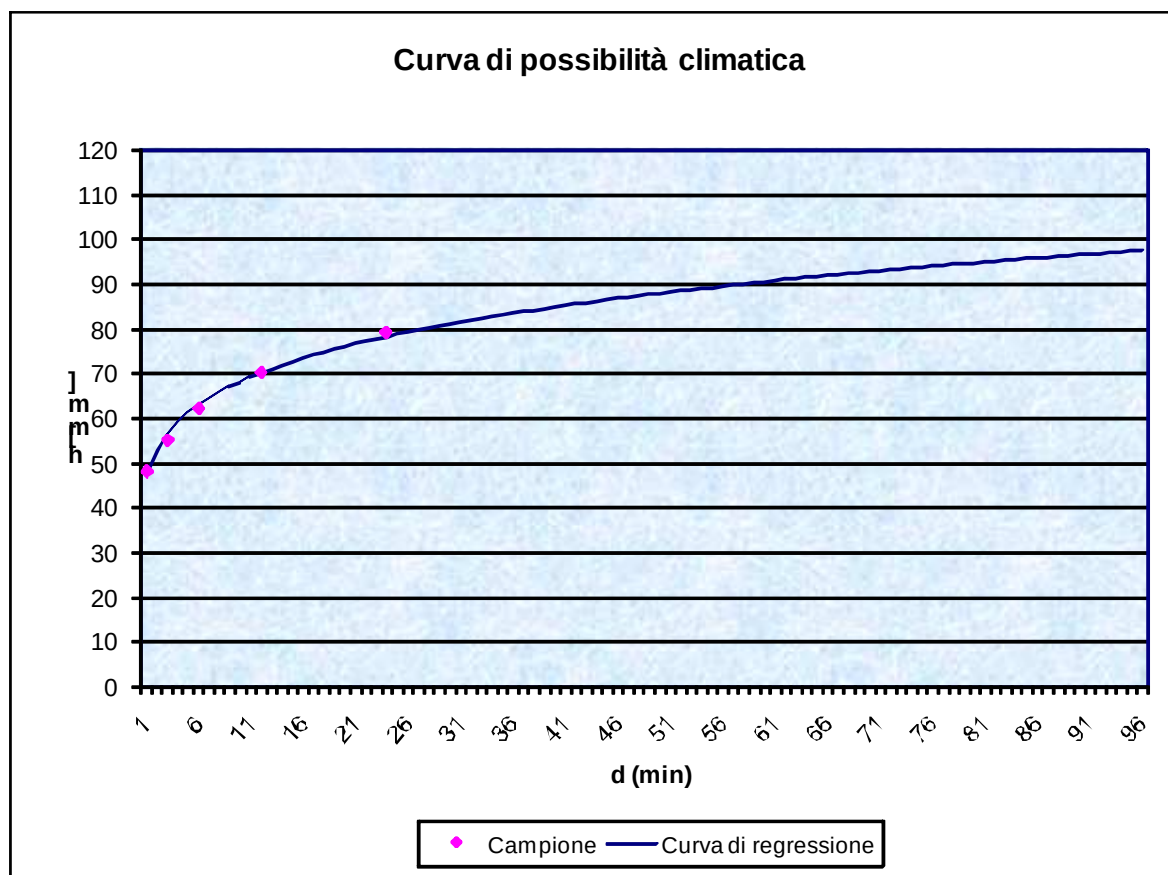
Coefficiente di determinazione

Esso da una misura normalizzata della bontà dell'adattamento

$$0 < R^2 < 1$$

y_i	x_i	$(y_i - a - b x_i)^2$	$(y_i - 1/N \cdot S_y)^2$
3.87	0.00	0.00	0.06
4.01	1.10	0.00	0.01
4.13	1.79	0.00	0.00
4.25	2.48	0.00	0.02
4.37	3.18	0.00	0.06
		0.00	0.15

$$R^2 = 0.994$$



L'analisi statistica è stata sviluppata con un campione di eventi intensi di durata variabile tra 1 ora e tra 24 ore. La curva di possibilità climatica che ne deriva potrà essere utilizzata solo per il dimensionamento degli elementi della rete di drenaggio che avranno tempi di corrivazione superiori ai 45 minuti. Qui di seguito si riporta la *Curva di possibilità climatica* riferita al tempo di ritorno T_r 10.

PIOGGE DI DURATA INFERIORE ALL'ORA	
Tempo di ritorno (anni)	Curva di possibilità Valide per $t > 45$ min (h [mm], t [h])
10	$h = 47,16 \cdot t^{0,159}$

5. METODO DELL'INVASO

5.1. Calcolo del coefficiente di deflusso

La precipitazione va depurata della componente destinata ad infiltrarsi nel terreno. Il coefficiente di deflusso esprime dunque la percentuale della pioggia caduta che contribuisce alla formazione delle portate. I tipi di superficie presi in considerazione ed i relativi coefficienti di deflusso sono riportati nella seguente tabella:

Tipo di pavimentazione	coefficiente di deflusso
Pavimentazione stradale	1.00
Scarpate erbose	0.60
Superfici a verde piane	0.30
Fosso di guardia	1.00

I valori assunti sono cautelativamente quelli relativi alle superfici già imbibite e considerati costanti durante tutto l'evento meteorologico. Il valore relativamente elevato assunto per le superfici erbose è giustificato dalla pendenza delle scarpate.

Detto φ_i il coefficiente di deflusso relativo alla superficie S_i , il valore medio del coefficiente relativo ad aree caratterizzate da differenti valori ϕ si ottiene con una media ponderata:

$$\varphi = \frac{\sum_i \varphi_i \cdot S_i}{S}$$

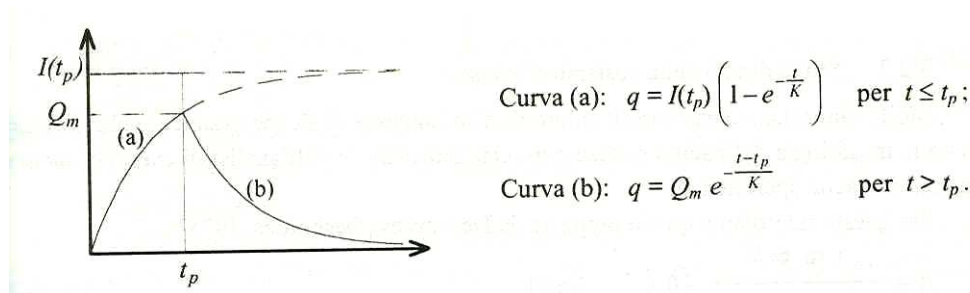
5.2. Teoria per il calcolo della portata di progetto

Nel caso in oggetto si è deciso di determinare la portata di progetto tramite il metodo dell'invaso lineare. Di seguito verrà esposto in modo riassuntivo tale procedura.

Il metodo dell'invaso esalta il fenomeno di laminazione degli afflussi meteorici svolto dal volume d'acqua $W(t)$ che si deve immagazzinare sulla superficie S del bacino sotteso e nella rete a monte, perché attraverso una sezione di un collettore si abbia il deflusso della portata $Q(t)$. Nella pratica progettuale detto legame viene assunto essere lineare ed espresso dalla relazione:

$$Q(t) = W(t) / K$$

Dove K , denominata costante d'invaso lineare, ha le dimensioni di un tempo. Nella figura sottostante viene riportato l'idrogramma tipico determinato seguendo questo procedimento.



Vi sono diversi metodi per determinare la portata di picco, nel nostro caso si è scelto uno dei metodi più utilizzato, il metodo all'Italiana. Esso assume come K il rapporto tra il volume immagazzinato nel sistema bacino – rete in un dato istante e la corrispondente portata defluente dalla sezione di chiusura.

Per prima cosa si dovrà determinare il volume d'acqua immagazzinato e lo si fa considerando tutta la sezione a monte piena:

$$Wp = WpC + WpH$$

WpC volume della rete a monte della sezione di sbocco definito come segue

$$WpC = A_c \cdot L + A_{ci} \cdot L_i$$

A_c, L area e lunghezza del collettore da verificare

A_{ci}, L_i area e lunghezza dei collettori a monte di quello da verificare

WpH volume di piccoli invasi superficiali, cioè l'acqua che non entra in fognatura, tale valore varia generalmente tra i 10 e 45 m³/ha.

In seguito si determina la portata di picco Qp introducendo il coefficiente udometrico u espresso in l/(s ha):

$$u = Qp / S \quad Qp \quad \text{portata che si cerca}$$

Con S area del bacino a monte della sezione di verifica

La formula tradizionale del coefficiente udometrico è la seguente:

$$u = 2168 \cdot n \cdot \frac{(\varphi \cdot a)^{1/n}}{wp^{(1-n)/n}}$$

n esponente della curva di probabilità climatica

a coefficiente della curva di probabilità pluviometrica (m/hⁿ)

φ coefficiente di afflusso equivalente

$wp = Wp / S$ volume specifico dell'invaso a monte della sezione

