

COMUNE DI VERONA
PROVINCIA DI VERONA

Committente: Chiavegato Piergiorgio e altri

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO SCHEDA NORMA 67

VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA



Romano Rizzotto
geologo



Sara Pozzerle
ingegnere

Verona, maggio 2013

INDICE

1	PREMESSA	3
2	SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI.....	4
2.1	PROVE DI PERMEABILITA'	5
3	ANALISI IDROLOGICA	8
3.1	GENERALITA'	8
3.2	CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA	9
4	ANALISI IDRAULICA	11
4.1	STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA	11
4.2	STIMA DEI VOLUMI SPECIFICI DI INVASO	13
4.3	VERIFICA VOLUMI CON IL METODO DELL'INVASO	14
4.4	VERIFICA VOLUMI CON IL METODO CINEMATICO.....	16
5	DIMENSIONAMENTO MISURE COMPENSATIVE.....	18
5.1	PREMESSA	18
5.2	CALCOLO IDROGRAMMI DI PIENA	18
5.3	CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE CON IL METODO RAZIONALE	21
5.4	VERIFICA VOLUMI CON IL METODO DELL'INVASO	22
5.5	VERIFICA VOLUMI CON IL METODO CINEMATICO.....	23
6	CONCLUSIONI	24

ELENCO ALLEGATI

1.	TOPOGRAFIA	scala 1:25.000
2.	CARTA TECNICA REGIONALE	scala 1:5.000
3.	PLANIMETRIA CATASTALE	scala 1:2.000
4.	CARTA IDROGEOLOGICA	scala 1:30.000
5.	PLANIMETRIA DI PROGETTO	scala 1:1.000
6.	DATI PLUVIOMETRICI	
7.	UBICAZIONE MISURE COMPENSATIVE	scala 1:1.000

1 PREMESSA

Per incarico dell'ing. Pietro Sartori e per conto del Sig. Chiavegato Piergiorgio ed altri è redatta la presente Valutazione di Compatibilità Idraulica del Piano Urbanistico Attuativo Scheda Norma 67, in Comune di Verona -si vedano **allegati 1 «Topografia scala 1:25.000» e 2 «Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000»** -.

Il piano in esame occupa un'area di 11.572 m², dei quali 3.322 m² per la realizzazione di un'area residenziale, e i restanti 8.250 m² per la creazione di un parco, di una viabilità interna, di parcheggi nonchè per l'allargamento di Via Pirandello e per la realizzazione di parte di una rotatoria in Via Pascoli.

Catastalmente l'ambito di intervento interesserà i terreni censiti al Foglio 251, mappali 60, 61, 62, 156, 159, 171, 172, 173, 174, 175, 186 parte, 190, 201, 231, 232, 233, 381 - si veda **allegato 3 «Planimetria catastale scala 1:2.000»** -.

Attualmente l'area è in parte incolta e in parte a parcheggio.

La presente relazione ottempera a quanto definito, nella scheda norma n°67, nelle NTA del P.I. del Comune di Verona, nonchè alle prescrizioni evidenziate dalla stessa Valutazione di Compatibilità Idraulica.

Come richiesto dal tecnico progettista, ing. Pietro Sartori, l'analisi idraulica di seguito riportata riguarderà le sole opere di urbanizzazione, mentre per la parte dell'area residenziale si confermano le prescrizioni della Valutazione di Compatibilità Idraulica del P.I. del Comune di Verona.

2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI

L'area interessata dal PUA si trova ad una quota di circa 59 m s.l.m., ed appartiene all'antico conoide fluviale e fluvioglaciale dell'Adige, terrazzato e a più riprese inciso. Più precisamente, l'area appartiene all'unità geomorfologica nota come «piano di divagazione dell'Adige», che risulta topograficamente più depressa rispetto alla pianura circostante.

Gli elementi geomorfologici più significativi che contraddistinguono il territorio indagato, subpianeggiante, sono rappresentati dalla scarpata di terrazzo di altezza pari ad almeno 7-8 metri che separa il conoide dal piano di divagazione dell'Adige, al di sopra della quale corre la linea ferroviaria Verona – Brennero.

Infine, tra gli elementi di origine antropica, si segnalano alcune cave di prestito, spesso ricomposte a piano campagna da parecchi anni con materiali di riporto di varia natura.

Dal punto di vista litologico questo tratto dell'alta pianura veronese risulta costituito da materiali sciolti a granulometria prevalentemente ghiaio-sabbio-ciottolosa con intercalate lenti limo-argillose e livelli conglomeratici di potenza metrica e limitata continuità areale.

Il corso d'acqua di maggiore entità è il fiume Adige, che scorre circa 1.5 km a Nord-Est, all'interno della città di Verona.

L'area non è stata interessata da esondazioni o allagamenti.

Anche per il P.A.I. (Piano di Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di Bacino del Fiume Adige questa porzione del territorio comunale non è considerata a pericolosità o a rischio idraulico.

Le condizioni idrogeologiche dell'area in esame sono legate alla permeabilità dei litotipi presenti nel sottosuolo, all'assetto stratigrafico ed alla morfologia locale; questi fattori determinano ovviamente anche i caratteri della rete idrografica superficiale ed il deflusso delle acque meteoriche.

Nell'alta pianura veronese lo spessore del materasso ghiaioso è variabile e diminuisce da Nord verso Sud fino ad annullarsi in corrispondenza della fascia dei fontanili, posta a diversi chilometri di distanza dall'area di intervento.

Il sistema idrogeologico comprende quindi, da Nord verso Sud, un acquifero indifferenziato che determina, in corrispondenza della fascia delle risorgive, l'emergenza della falda superficiale e che dà origine all'acquifero multifalde che ivi ha origine.

Per quanto concerne la falda nell'area in studio, il livello statico misurato nel periodo di piena - fine agosto-inizio settembre 1986 - secondo i rilievi riportati in **allegato 4 «Carta idrogeologica**

alla scala 1:30.000» tratta da A. Dal Prà e P. De Rossi «Carta idrogeologica dell'alta pianura dell'Adige» (1989) risulta a quote comprese tra i 50 e i 51 metri s.l.m., cioè a circa 8 metri dal piano campagna. La direzione di deflusso sotterraneo è da N.O. verso S.E. ed il gradiente locale è pari a 0,75 ‰ - si veda; l'escursione media annua è di 3,5 metri.

Il sistema idrogeologico viene alimentato dalla ricca falda di subalveo della valle dell'Adige, dall'infiltrazione degli afflussi meteorici diretti, dalle falde di subalveo dei torrenti lessinei e dei corsi d'acqua provenienti dalla cerchia morenica del Garda e dalle irrigazioni.

Tra quelli appena citati, stando alle conoscenze attuali, il fattore più importante è la falda di subalveo dell'Adige, la cui portata media annua è stata stimata dell'ordine di grandezza di 10 m³/s.

2.1 PROVE DI PERMEABILITA'

Per valutare la capacità d'infiltrazione del terreno dell'area in esame, in data 22.05.2012, ad una profondità di circa 2 metri, è stata condotta una prova di permeabilità con metodo dell'infiltrometro, per la cui ubicazione si veda **allegato 5 «Planimetria di progetto alla scala 1:1.000»**

L'infiltrometro ad anello singolo, realizzato in opera, è costituito da una tubazione in pvc del diametro di 20 cm e con altezza di 2,0 metri, con infissione nel terreno di circa 10 cm.

La prova effettuata è a carico variabile e la permeabilità viene ricavata dalla formula (US Navy Bureau, 1972) di seguito riportata:

$$K = \frac{2 \cdot \pi \cdot R \cdot f}{11(t_2 - t_1)} \cdot \ln\left(\frac{h}{H}\right)$$

dove:

K = conducibilità idraulica calcolata (cm/s);

R = raggio interno dell'infiltrometro (cm);

t₂ - t₁ = tempi (s)

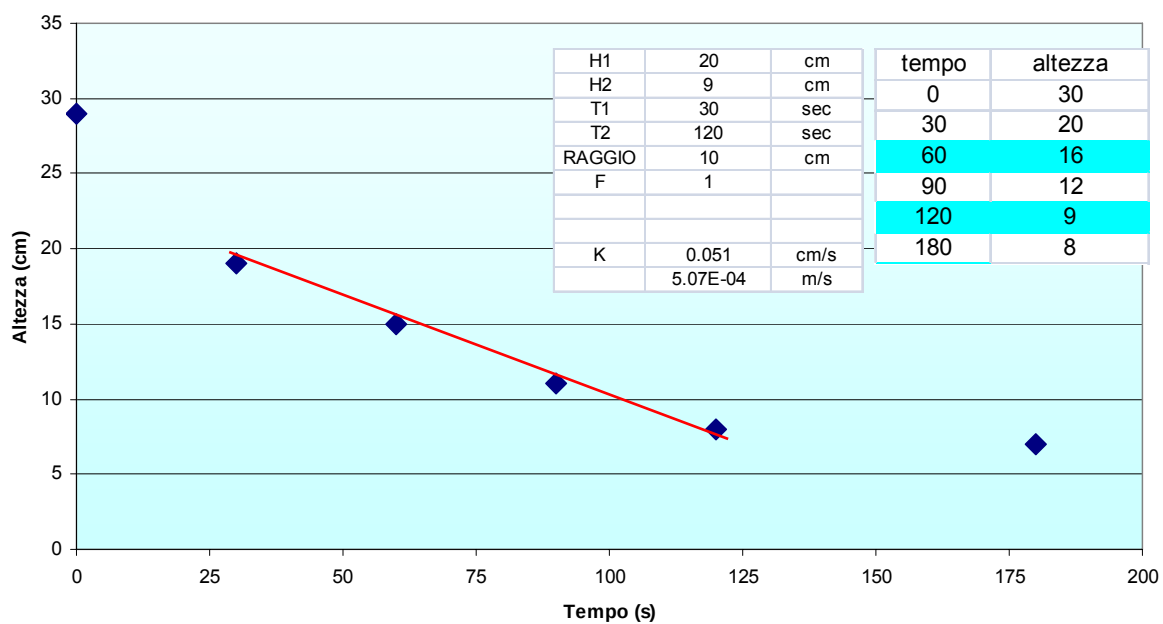
h - H = altezze (cm)

f = fattore di forma ottenuto dal rapporto Cu/5 dove Cu è il coefficiente di uniformità del terreno dato da (d₆₀/ d₁₀).

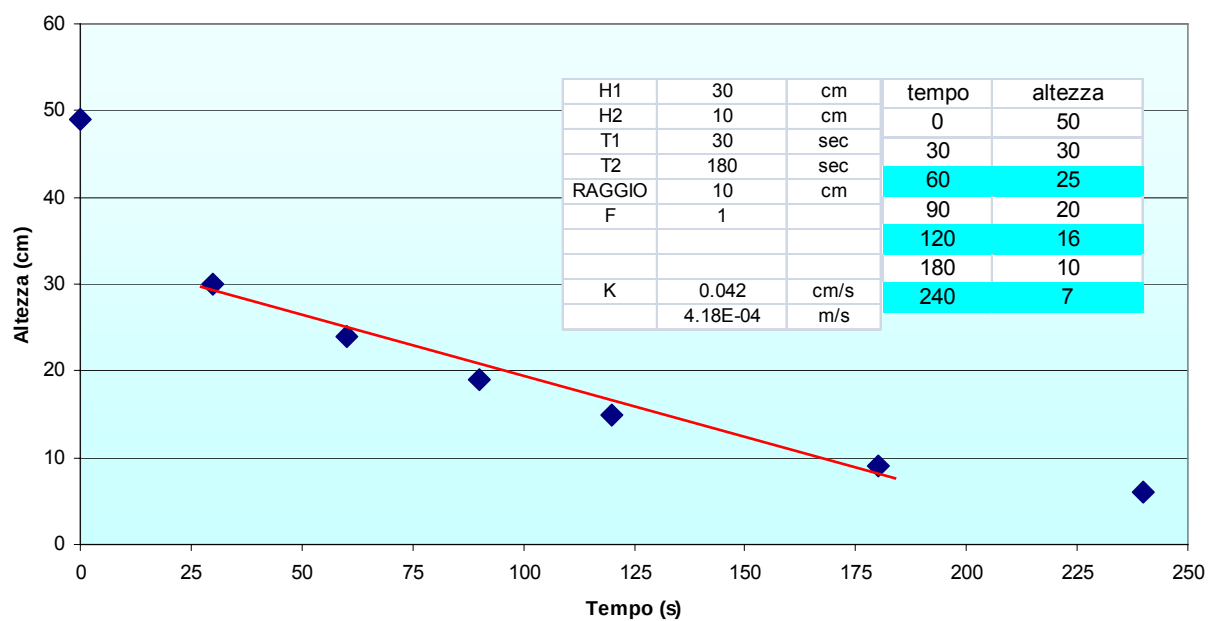
Al fine di ottenere un risultato statisticamente significativo la prova è stata ripetuta per 4 cicli successivi di carico

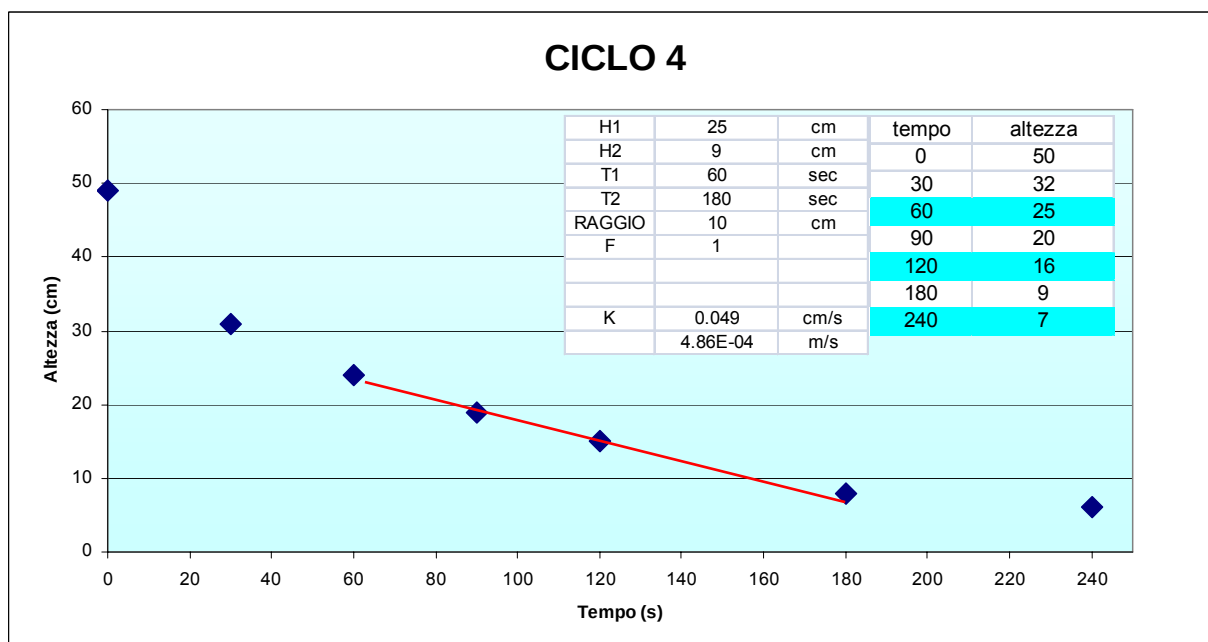
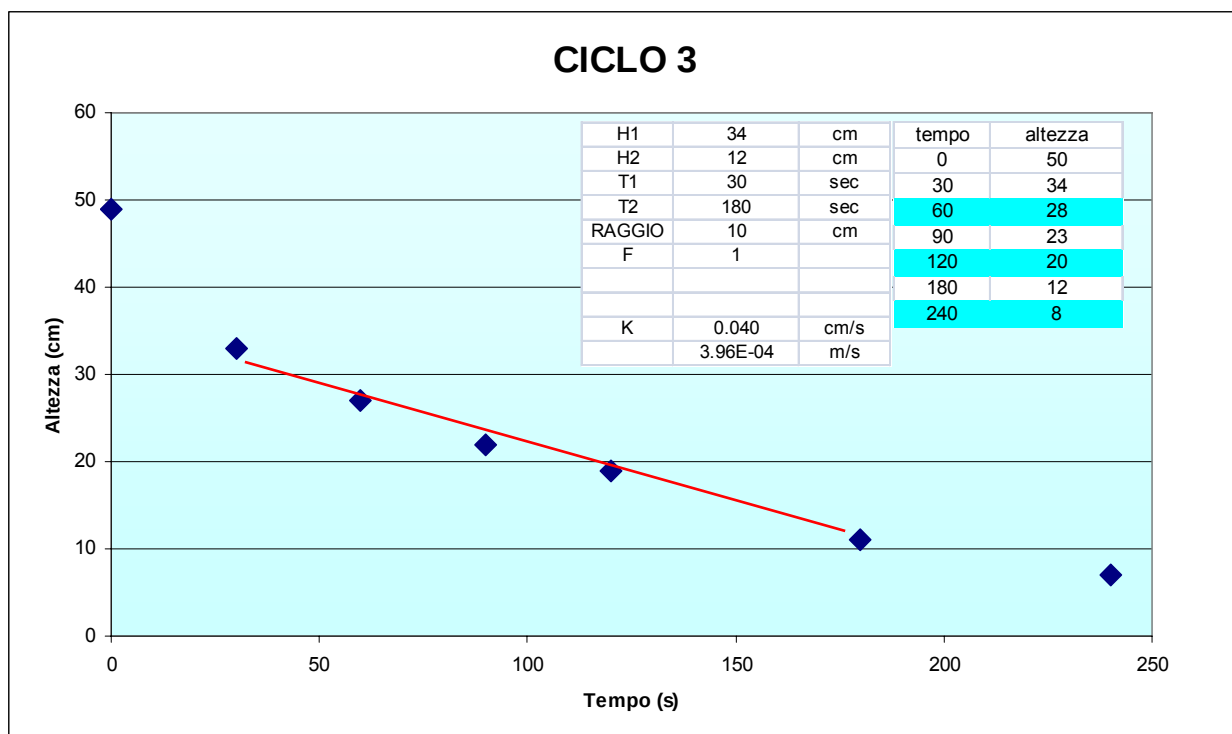
I valori di K per ogni ciclo di carico sono di seguito riportati:

CICLO 1



CICLO 2





Il coefficiente di permeabilità K medio per la alluvioni ghiaio sabbiose risulta pari a $4 \cdot 10^{-4}$ m/s.

3 ANALISI IDROLOGICA

3.1 GENERALITA'

Per caratterizzare il comportamento idrologico dell'area oggetto d'intervento, con la determinazione della portata, che la rete di drenaggio deve essere in grado di convogliare e smaltire, si utilizzano 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.

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

$$h = a t^n$$

dove: h = altezza di pioggia in mm
 t = tempo in ore

Il concetto di rischio idraulico è quantificato dal tempo di ritorno Tr , 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.

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

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 Tr e viene utilizzata, nei modelli afflussi-deflussi, per la determinazione della portata afferente all'area interessata.

La ricerca presso gli enti dei dati pluviometrici ha portato all'individuazione della stazione pluviometrica di Verona, la più prossima all'area in esame e gestita da ARPAV.

Per l'elaborazione dell'indagine idrologica sono stati raccolti i dati pluviometrici delle serie storiche del valore di altezza di precipitazione di durata pari a 1, 3, 6, 12, 24 ore, fornite dal Centro Meteorologico ARPAV di Teolo – si veda **allegato 6 «Dati pluviometrici»**.

3.2 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

La regolarizzazione statistico-probabilistica, impiegata per il calcolo dei tempi di ritorno, fa riferimento alla distribuzione di Gumbel. Tale legge si basa sull'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:

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

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

$$\alpha = \frac{\sqrt{6} \cdot sx}{\pi} \quad \text{misura della dispersione attorno al valore medio;}$$

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

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

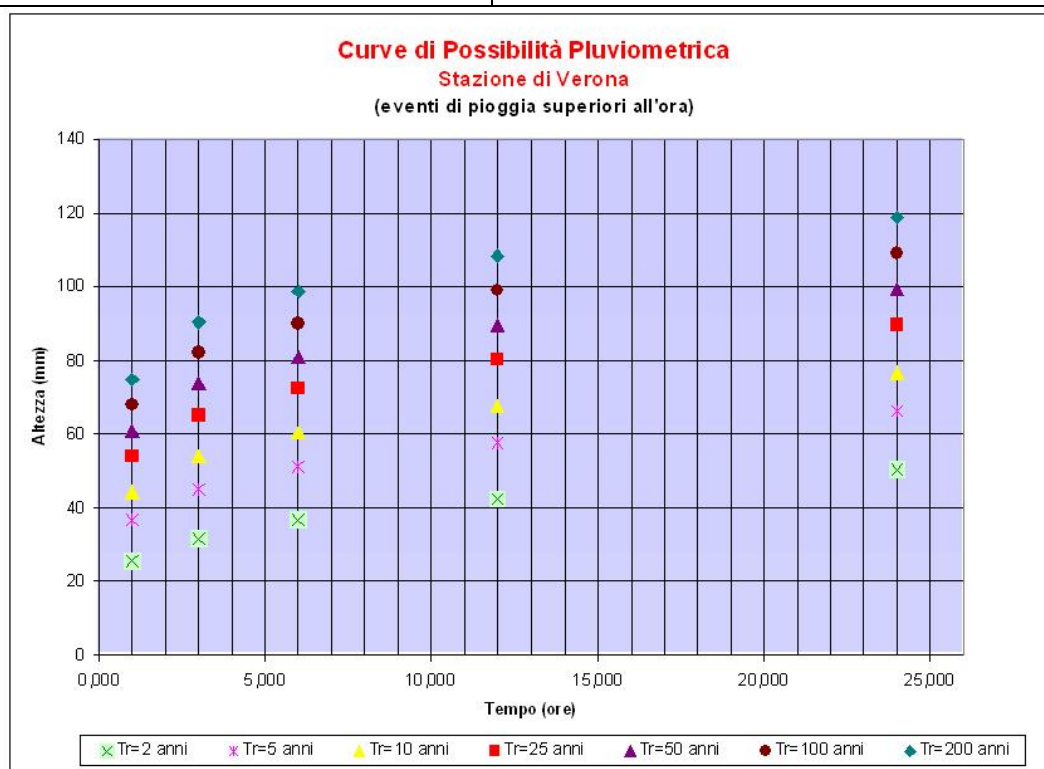
Indicando con $F(x)$ la probabilità di non superamento del valore x , il tempo medio di ritorno è calcolato dalla relazione:

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

dove Tr rappresenta quindi il numero medio di anni durante i quali il valore x viene superato una sola volta.

Di seguito si riportano i parametri calcolati a seguito dell'elaborazione statistica secondo Gumbel relativi alle precipitazioni massime annue effettive della durata da 1 a 24 ore per la stazione di misura di Verona.

VERONA	
Tempo di ritorno (anni)	Curva di possibilità (h [mm], t [h])
5	$h = 36.79 \cdot t^{0.183}$
10	$h = 44.49 \cdot t^{0.171}$
25	$h = 54.24 \cdot t^{0.159}$
50	$h = 61.48 \cdot t^{0.153}$
100	$h = 68.66 \cdot t^{0.148}$
200	$h = 75.83 \cdot t^{0.144}$



Nel campo bilogaritmico la curva ha forma lineare con coefficiente angolare pari ad “n” ed ordinata corrispondente ad un tempo unitario pari ad “a”.

Considerata la modesta estensione del bacino di scolo, e prevedendo pertanto un modesto tempo di corrivazione, la curva è stata discretizzata con una monomia, che caratterizza eventi di durata superiore all'ora, periodo solitamente considerato nella pratica professionale per determinare i volumi di invaso necessari alla laminazione delle portate generate dagli eventi piovosi più gravosi.

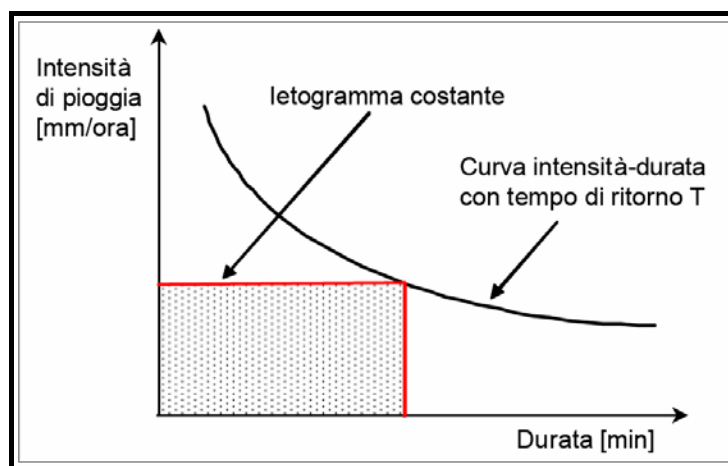
Come prescritto nella D.G.R.V. 2941 del 9 ottobre 2009 “in relazione all'applicazione del principio dell'invarianza idraulica lo studio dovrà essere corredato di analisi pluviometrica con ricerca delle curve di possibilità climatica per durate di precipitazione corrispondenti al tempo di corrivazione critico per le nuove aree da trasformare. Il tempo di ritorno cui fare riferimento viene definito pari a 50 anni.”

4 ANALISI IDRAULICA

4.1 STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

Per la definizione dell'idrogramma di piena ci si è avvalsi di un software applicativo (UrbisPro del Centro Studi Idraulica Urbana) che tramite processi di tipo iterativo consente di stimare la portata confluyente generata da piogge reali o simulate su bacini naturali o urbani. In questo caso l'evento piovoso è stato simulato sinteticamente con l'obiettivo di pervenire ad un corretto dimensionamento dei volumi di invaso necessari alla laminazione delle portate di piena.

La prima fase di quest'analisi ha comportato la definizione di uno ietogramma costante. Questo ietogramma, sicuramente il più diffuso nell'ambito progettuale, è dedotto dalle curve di possibilità pluviometrica con l'ipotesi che l'andamento temporale dell'intensità di pioggia sia costante in tutta la durata. Per la sua definizione è necessario quindi specificare la durata dell'evento. Quest'ultima risulterà funzione delle portate in ingresso al sistema di laminazione, prodotte dall'evento piovoso, e di quelle in uscita, proporzionali alla superficie dell'area da servire. Il metodo adottato per la stima della durata dell'evento piovoso è di tipo iterativo e conduce, caso per caso, a risultati diversi, massimizzando comunque ogni volta i volumi prodotti.



Non tutto il volume affluito durante una precipitazione giunge alle canalizzazioni per essere convogliato verso il recapito finale. I fenomeni idrologici che avvengono sulla superficie del bacino scolante modificano sostanzialmente sia la distribuzione temporale che il volume della pioggia utile ai fini del deflusso nella rete di drenaggio. Se si prescinde dall'evapotraspirazione e dall'intercettazione (del tutto trascurabili in un bacino durante un evento di pioggia particolarmente intenso) i fenomeni idrologici che intervengono sono sostanzialmente legati all'infiltrazione e immagazzinamento di acqua nelle depressioni superficiali esistenti.

Questi processi, in realtà molto complessi, sono normalmente trattati con un approccio di tipo concettuale, basato cioè su equazioni empiriche e non derivanti dalla modellazione rigorosa del fenomeno fisico.

Il valori dei coefficienti di deflusso utilizzati sono quelli indicati nell'Allegato A della D.G.R.V. n.2948 del 6 ottobre 2009 – indicazioni operative per la redazione dei nuovi strumenti urbanistici – proposti nella letteratura di settore e adottati nella normale pratica progettuale, in mancanza di una descrizione dettagliata della copertura del suolo.

Tipologia area	Coefficiente di deflusso
Agricola	0,1
Permeabili (aree verdi)	0,2
Semi-permeabili (grigliati drenanti con sottostante materasso ghiaioso, strade in terra battuta o stabilizzato)	0,6
Impermeabili (strade, tetti, marciapiedi)	0,9

L'ultima fase dell'analisi porta alla creazione dell'idrogramma di piena.

Tra i diversi metodi a disposizione, si è scelto il “metodo lineare della corrivazione – metodo razionale –”. Tale metodo schematizza il bacino come un insieme di canali lineari, tale cioè che il tempo di percorrenza del bacino sia un'invariante. È possibile quindi, almeno in via concettuale, tracciare le così dette linee isocorrive che uniscono i punti del bacino ad ugual tempo di corrivazione. Da esse, infine, è possibile costruire la curva aree-tempi che rappresenta in ordinate le aree del bacino comprese tra la sezione di chiusura e la linea isocorriva relativa al generico tempo di corrivazione, rappresentato in ascissa. Quest'ultimo, per una data superficie totale S, si definisce semplicemente tempo di corrivazione del bacino in esame t_c . Dalla curva aree-tempi è possibile dedurre l'IUH – Idrogramma Unitario Istantaneo – che assume la forma:

$$h(t) = \frac{1}{S} \cdot \frac{dS}{dt}$$

dove dS/dt è la derivata dalla curva aree tempi medesima.

Il tempo di corrivazione del bacino è il tempo necessario perché la goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano possa raggiungere la sezione di chiusura del bacino stesso.

Esso è valutato indipendentemente dalla possibile interferenza nel deflusso della goccia con altre particelle d'acqua.

Per bacini artificiali il tempo di corrivazione t_c può, in prima approssimazione, essere valutato come somma di due termini

$$t_c = t_i + t_r$$

dove:

t_i = tempo di ingresso, cioè il tempo che impiega la particella d'acqua a giungere alla più vicina canalizzazione scorrendo in superficie,

t_r = è il tempo di trasferimento lungo i canali della rete di drenaggio fino alla sezione di chiusura.

Per la determinazione dei valori di t_i si può far uso della tabella di Fair del 1966:

Descrizione del Bacino	t_i [min]
Centri urbani intensivi con tetti collegati direttamente alle canalizzazioni e frequenti caditoie stradali	<5
Centri commerciali con pendenze modeste e caditoie stradali meno frequenti	10 – 15
Aree residenziali estensive con piccole pendenze e caditoie poco frequenti	20 – 30

Per la determinazione del tempo t_r si accetta normalmente che esso si possa calcolare sulla base della velocità di moto uniforme dell'acqua nelle canalizzazioni – pari a 1 m/s –, ipotizzate piene ma non in pressione.

A questo punto è possibile a partire dai parametri pluviometrici (a, n) di progetto, dal coefficiente di deflusso e dal tempo di corrivazione, ottenere per il tempo di ritorno di 50 anni i volumi necessari alla laminazione delle portate di pioggia.

4.2 STIMA DEI VOLUMI SPECIFICI DI INVASO

Il dimensionamento del bacino di laminazione può essere effettuato a partire dalle curve di possibilità pluviometrica; anche in questo caso si considera un tempo di ritorno pari a 50 anni.

Il volume specifico affluente, V_i , al bacino è:

$$V_i = S \cdot \varphi \cdot a' \cdot t^{n'} [m^3]$$

Il volume V_u , che s'infiltra nel terreno è:

$$V_u = Q_u \cdot t [m^3]$$

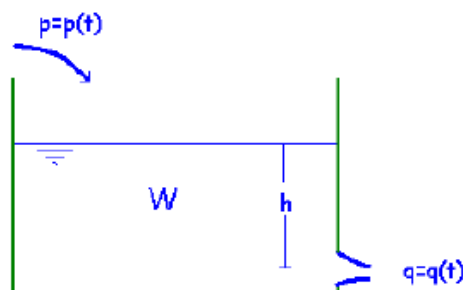
Risulta dunque che il volume specifico invasato, $V_{invasato}$, nel bacino di laminazione è dato dalla differenza:

$$V_{invasato} = V_i(t) - V_u(t) [m^3]$$

Come consigliato dalla delibera n°2948/2009, per l'area in esame, di cui sono note le distribuzioni delle superfici d'uso del suolo, si è proceduto alla verifica del volume di laminazione utilizzando anche i metodi dell'invaso e cinematico.

4.3 VERIFICA VOLUMI CON IL METODO DELL'INVASO

Il metodo dell'invaso lineare assimila il comportamento del bacino a quello di un serbatoio nel quale entra la portata p , che rappresenta la precipitazione meteorica che insiste sul bacino, e dal quale esce attraverso una luce la portata q , che rappresenta la portata uscente data dalla differenza tra la p e il volume W proprio del bacino.



Schematizzando un'area di trasformazione urbana come un invaso lineare, si può scrivere l'equazione di continuità della massa nei termini seguenti:

$$\frac{dW(t)}{dt} = P(t) - Q(t) = P(t) + kW(t)$$

essendo $p(t)$ la pioggia netta all'istante t e $q(t)$ la portata uscente, dipendente dal volume invasato $W(t)$.

La portata di picco è calcolata attraverso la formula:

$$Q_c = S \cdot 2.78 \cdot 0.65 \cdot \varphi \cdot a \cdot k^{n-1} [l/s]$$

con:	S	superficie scolante in ha;
	φ	coefficiente di afflusso;
	a, n	parametri curva di possibilità pluviometrica;
	k	costante d'invaso in ore.

La costante d'invaso k si determina con la formula URBISPRO dedotta con criteri empirici a seguito di numerosi riscontri in bacini urbani sperimentali:

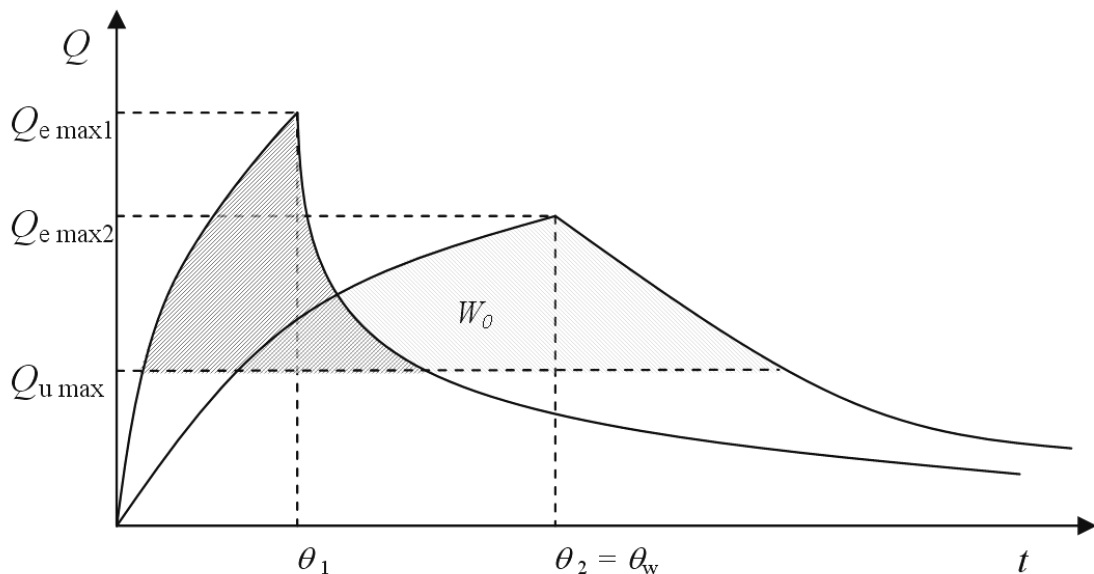
$$k = 0.7 \cdot t_c$$

dove k [ore] è il parametro del modello; t_c [ore] è il tempo di corrivazione del bacino.

Il volume da invasare all'interno dei bacini di laminazione si calcola in modo implicito in funzione delle grandezze adimensionali:

$$F(n, m) = \frac{\theta_w}{k} \quad G(n, m) = \frac{W_0}{k \cdot Q_c}$$

dove k è la costante d'invaso in ore del bacino, θ_w è la durata critica per i bacini (quella cioè che conduce al massimo volume d'invaso W_0), Q_c è la portata critica del bacino a monte.



Assegnato poi il rapporto $m = 1/\eta = Q_c/Q_{u\max}$, le grandezze F e G sono calcolabili con le equazioni:

$$n \cdot F + (1-n) \cdot \ln \left(\frac{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1}}{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1} - 1} \right) - \frac{\frac{D}{m} \cdot F^{2-n}}{1 - e^{-F}} = 0$$

$$G(n, m) = \frac{F^n}{D} - \frac{F^{n-1}}{D} \cdot \ln \left(\frac{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1}}{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1} - 1} \right) - \frac{F}{m} - \frac{1}{m} \cdot \ln \left[\left(\frac{m \cdot F^{n-1}}{D} - 1 \right) \cdot (1 - e^{-F}) \right] = \frac{W_0}{k \cdot Q_c}$$

In particolare, trovato con la prima il valore di F , è immediato calcolare la durata critica $\theta_w = k \cdot F(n, m)$ e il volume da invasare $W_0 = k \cdot Q_c \cdot G(n, m)$. E' da notare che tali risultati sono validi solo nel caso in cui la durata critica θ_w della vasca e la durata critica $\theta_c = C \cdot k$ del bacino rientrino nel medesimo campo di validità del parametro n della curva di possibilità pluviometrica.

4.4 VERIFICA VOLUMI CON IL METODO CINEMATICO

Questo approccio schematizza un processo di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino a monte di tipo cinematico. Le ipotesi semplificate adottate sono le seguenti:

- ❖ ietogramma netto di pioggia a intensità costante (ietogramma rettangolare);
- ❖ curva aree tempi lineare;
- ❖ svuotamento della vasca a portata costante pari a Q_u , (laminazione ottimale).

La portata di picco è calcolata con la formula:

$$Q_c = S \cdot 2.78 \cdot \varphi \cdot a \cdot t_c^{n-1} [l/s]$$

con:	S	superficie scolante in ha;
	φ	coefficiente di afflusso;
	a, n	parametri curva di possibilità pluviometrica;
	t_c	tempo di corrivazione in ore.

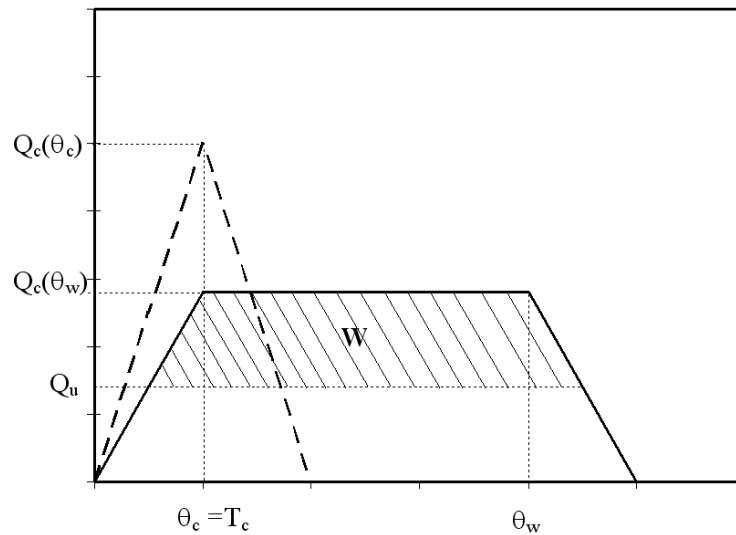
con queste ipotesi si può scrivere l'espressione del volume W invasato nei bacini in funzione della durata della pioggia $\mathcal{G}$, del tempo di corrivazione del bacino t_c , della portata uscente drenata massima dalla vasca Q_u , del coefficiente di afflusso φ , dell'area del bacino S e dei parametri a ed n della curva di possibilità pluviometrica:

$$W = \varphi \cdot S \cdot a \cdot \theta^n + t_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\mathcal{G}^{1-n}}{\varphi \cdot S \cdot a} - Q_u \cdot \mathcal{G} - Q_u \cdot t_c$$

Imponendo la condizione di massimo per il volume W, cioè derivando l'espressione precedente rispetto alla durata θ ed eguagliando a zero si trova:

$$n \cdot \varphi \cdot A \cdot a \cdot \mathcal{G}_w^{n-1} + (1-n) \cdot T_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\mathcal{G}_w^{-n}}{\varphi \cdot A \cdot a} - Q_u = 0$$

dalla quale si ricava la durata critica $\mathcal{G}_w$ per i bacini di laminazione, che, inserita nella precedente consente di stimare il volume W_0 da invasare.



Se si considerano per le varie grandezze le unità di misura solitamente utilizzate nella pratica, ossia: W in m^3 , S in ha, a in mm/ora^{-n} , θ in ore, t_c in ore, Q_u in l/s, le equazioni diventano:

$$W = 10 \cdot \varphi \cdot A \cdot a \cdot \theta^n + 1.295 \cdot T_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta^{1-n}}{\varphi \cdot A \cdot a} - 3.6 \cdot Q_u \cdot \theta - 3.6 \cdot Q_u \cdot T_c$$

$$2.78 \cdot n \cdot \varphi \cdot A \cdot a \cdot \theta_w^{n-1} + 0.36 \cdot (1-n) \cdot T_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta_w^{-n}}{\varphi \cdot A \cdot a} - Q_u = 0$$

5 DIMENSIONAMENTO MISURE COMPENSATIVE

5.1 PREMESSA

Il piano in esame occupa un'area di 11.572 m², dei quali 3.322 m² per la realizzazione di un'area residenziale, e i restanti 8.250 m² per la creazione di un parco, di una viabilità interna, di parcheggi nonché per l'allargamento di Via Pirandello e per la realizzazione di parte di una rotatoria in Via Pascoli.

Attualmente l'area è in parte incolta ed in parte a parcheggio su sterrato.

L'analisi idraulica sarà effettuata ESCLUSIVAMENTE per le opere di urbanizzazione. Per la parte residenziale si tengono valide le prescrizioni contenute nella Valutazione di Compatibilità Idraulica del Piano degli Interventi per la Scheda Norma n°67.

Come riportato nella D.G.R.V. n°2948/2009, per le sole opere di urbanizzazioni, di circa 8.250 m², trattandosi di un intervento su superficie inferiore ad 1 ha, il grado di impermeabilizzazione è modesto.

Di seguito dunque vengono illustrate le misure compensative per garantire la conservazione della portata massima defluente dall'area in trasformazione ai valori precedenti l'impermeabilizzazione.

5.2 CALCOLO IDROGRAMMI DI PIENA

Nel corso del processo di approvazione degli interventi urbanistico – edilizi è richiesta, con progressiva definizione, l'individuazione puntuale delle misure compensative.

Per l'area in esame, sono note le superfici a diversa destinazione d'uso del suolo ed è quindi possibile calcolare la portata in uscita allo stato attuale e di progetto noto il coefficiente di deflusso medio dell'area secondo i valori riportati nella D.G.R.V. n°2948/2009.

Per lo stato attuale il coefficiente di deflusso è:

STATO ATTUALE OPERE DI URBANIZZAZIONE		
TIPOLOGIA	Superficie (m ²)	Coefficiente di deflusso
SEMIPERMEABILE (sterrato)	600	0,6
PERMEABILE (incolto)	5.650	0,2
IMPERMEABILE (strada esistente)	2.000	0,9
TOTALE	8.250	0,4

Allo stato ante opera, i parametri idraulici assunti per il calcolo dell'idrogramma di piena sono:

STATO ATTUALE OPERE DI URBANIZZAZIONE	
Curva di possibilità pluviometrica	$h = 61,48 \cdot t^{0.153}$
Tempo di corrivazione	18 min
Coefficiente di deflusso	0,4

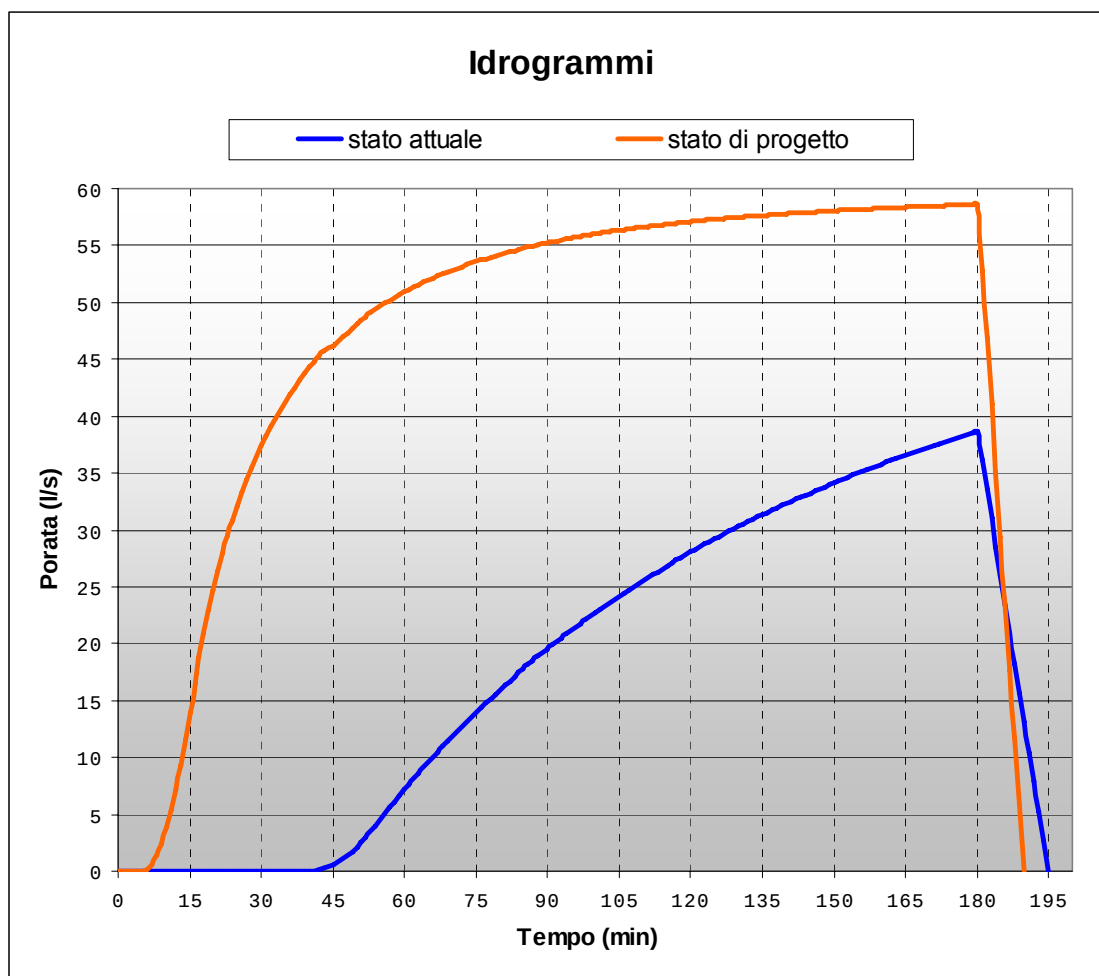
Allo stato di progetto si avrà:

STATO DI PROGETTO OPERE DI URBANIZZAZIONE		
TIPOLOGIA	Superficie (m²)	Coefficiente di deflusso
PERMEABILE (verde)	3.138	0,2
IMPERMEABILE (strade, marciapiedi)	4.685	0,9
SEMIPERMEABILE (stalli parcheggi)	427	0,6
TOTALE	8.250	0,62

i parametri idraulici assunti per il calcolo dell'idrogramma di piena sono:

STATO DI PROGETTO OPERE DI URBANIZZAZIONE	
Curva di possibilità pluviometrica	$h = 61,48 \cdot t^{0.153}$
Tempo di corrivazione	10 min
Coefficiente di deflusso	0,62

Gli idrogrammi di piena per lo stato attuale e di progetto, considerando una stessa durata di pioggia pari a 180 minuti ma diversi tempi di corrivazione e coefficienti di deflusso sono:



Come si può notare allo stato attuale il tempo di corrivazione più elevato fa traslare l'idrogramma nel tempo e il coefficiente di deflusso inferiore fa abbassare il picco della portata che massimizza i volumi.

La portata massima in uscita dallo stato attuale è di 38 l/s, ovvero, se rapportata all'intera area, pari a 46 l/s per ettaro di lottizzazione.

In via cautelativa nei calcoli che seguono sarà utilizzato un coefficiente pari a 10 l/s per ettaro di lottizzazione, da scaricare mediante infiltrazione.

5.3 CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE CON IL METODO RAZIONALE

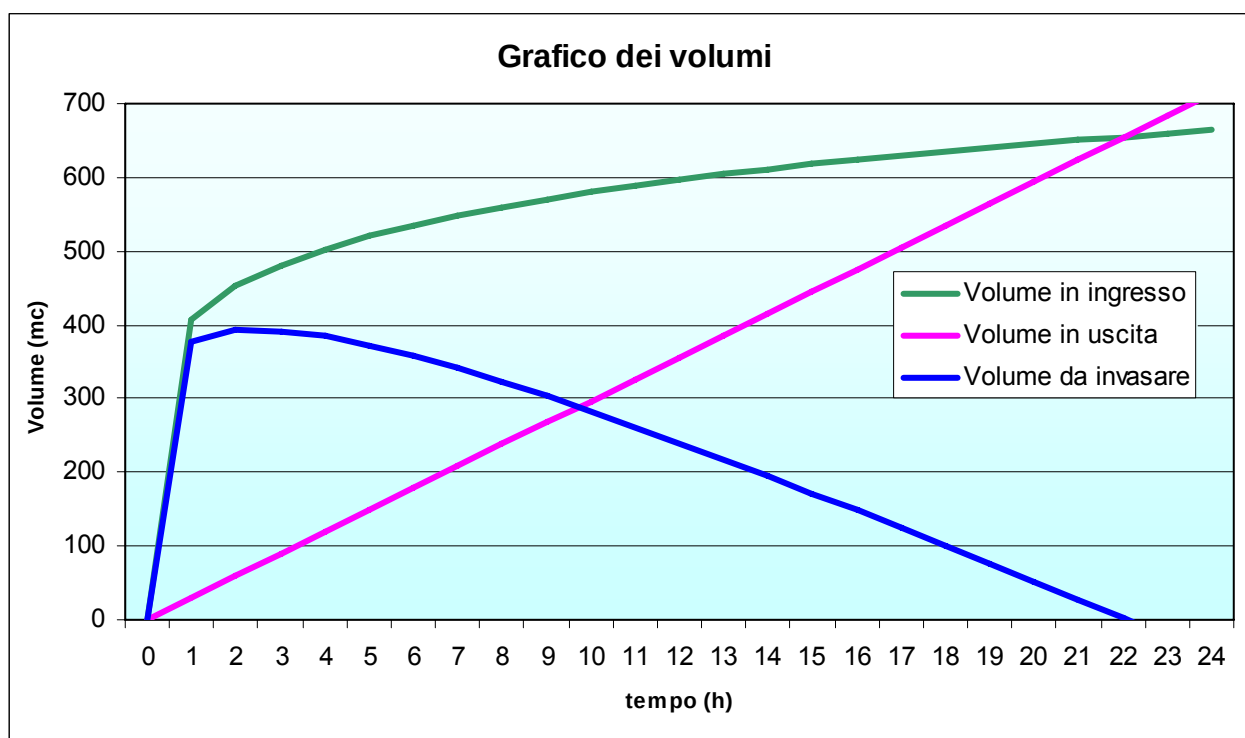
Come premesso nel precedente capitolo, considerando le buone caratteristiche di permeabilità dei terreni si prevede di realizzare un sistema di laminazione disperdente.

La portata in uscita per infiltrazione non dovrà essere superiore a quella in uscita allo stato attuale massima, è pari a 5 l/s.

Risulta dunque che il volume specifico immagazzinato, $V_{\text{immagazzinato}}$, nel bacino di laminazione è dato dalla differenza:

$$V_{\text{immagazzinato}} = V_i(t) - V_u(t) [m^3]$$

Il massimo valore della differenza tra V_i e V_u è pari a **395 m³**, che se rapportato alla superficie oggetto di trasformazione urbanistica, determina un volume specifico pari a circa **481 m³/ha**.



Come consigliato dalla delibera n°2948/2009, per l'area in esame, di cui sono note le distribuzioni delle superfici d'uso del suolo, si è proceduto alla verifica del volume di laminazione utilizzando anche i metodi dell'invaso e cinematico.

5.4 VERIFICA VOLUMI CON IL METODO DELL'INVASO

La portata di picco è calcolata attraverso la formula:

$$Q_c = S \cdot 2.78 \cdot 0.65 \cdot \varphi \cdot a \cdot k^{n-1} [l/s]$$

con: S superficie scolante in ha;
φ coefficiente di afflusso;
a, n parametri curva di possibilità pluviometrica;
k costante d'invaso in ore.

La costante d'invaso k si determina con la formula URBISPRO dedotta con criteri empirici a seguito di numerosi riscontri in bacini urbani sperimentali è pari a $k = 0.7 \cdot t_c$ dove k [ore] è il parametro del modello; t_c [ore] è il tempo di corrivazione del bacino.

La portata massima è dunque pari a $Q_c = 246$ l/s

Il volume da invasare all'interno dei bacini di laminazione si calcola in modo implicito in funzione delle grandezze adimensionali:

$$F(n, m) = \frac{\theta_w}{k} \quad G(n, m) = \frac{W_0}{k \cdot Q_c}$$

dove k è la costante d'invaso del bacino, θ_w è la durata critica per i bacini (quella cioè che conduce al massimo volume d'invaso W_0), Q_c è la portata critica del bacino a monte.

Assegnato poi il rapporto $m = 1/\eta = Q_c/Q_{umax}$, le grandezze F e G sono calcolabili con le equazioni:

$$n \cdot F + (1-n) \cdot \ln \left(\frac{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1}}{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1} - 1} \right) - \frac{\frac{D}{m} \cdot F^{2-n}}{1 - e^{-F}} = 0$$
$$G(n, m) = \frac{F^n}{D} - \frac{F^{n-1}}{D} \cdot \ln \left(\frac{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1}}{\frac{m}{D} \cdot F^{n-1} - 1} \right) - \frac{F}{m} - \frac{1}{m} \cdot \ln \left[\left(\frac{m \cdot F^{n-1}}{D} - 1 \right) \cdot (1 - e^{-F}) \right] = \frac{W_0}{k \cdot Q_c}$$

In particolare, trovato con la prima il valore di F, è immediato calcolare la durata critica $\theta_w = k \cdot F(n, m)$ e il volume da invasare $W_0 = k \cdot Q_c \cdot G(n, m)$. E' da notare che tali risultati sono validi solo nel caso in cui la durata critica θ_w della vasca e la durata critica $\theta_c = C \cdot k$ del bacino rientrino nel medesimo campo di validità del parametro n della curva di possibilità pluviometrica.

Nel caso in esame, ricordando che la portata in uscita non deve essere superiore a quella in uscita allo stato attuale, si calcola il volume d'invaso pari a 355 m^3 che se rapportato alla superficie oggetto di trasformazione urbanistica, determina un volume specifico pari a circa **430 m³/ha**.

5.5 VERIFICA VOLUMI CON IL METODO CINEMATICO

La portata di picco è calcolata con la formula:

$$Q_c = S \cdot 2.78 \cdot \varphi \cdot a \cdot t_c^{n-1} [l/s]$$

con: S superficie scolante in ha;
φ coefficiente di afflusso;
a, n parametri curva di possibilità pluviometrica;
t_c tempo di corrivazione in ore.

La portata massima è dunque pari a Q_c = 282 l/s

Se si considerano per le varie grandezze le unità di misura solitamente utilizzate nella pratica, ossia: W in m³, S in ha, a in mm/ora⁻ⁿ, θ in ore, t_c in ore, Q_u in l/s, le equazioni diventano:

$$W = 10 \cdot \varphi \cdot A \cdot a \cdot \theta^n + 1.295 \cdot T_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta^{1-n}}{\varphi \cdot A \cdot a} - 3.6 \cdot Q_u \cdot \theta - 3.6 \cdot Q_u \cdot T_c$$

$$2.78 \cdot n \cdot \varphi \cdot A \cdot a \cdot \theta_w^{n-1} + 0.36 \cdot (1-n) \cdot T_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta_w^{-n}}{\varphi \cdot A \cdot a} - Q_u = 0$$

Il volume da invasare è pari a W_{0,cinematico} = 290 m³ che se rapportato alla superficie oggetto di trasformazione urbanistica, determina un volume specifico pari a circa **350 m³/ha**.

Riassumendo per i vari metodi si ha:

Metodo razionale	Metodo dell'invaso	Metodo cinematico
430 m ³ /ha	481 m ³ /ha	350 m ³ /ha

Come si può notare il metodo dell'invaso fornisce il valore più elevato di volume da invasare.

Secondo quanto riportato nella Valutazione di Compatibilità del Piano degli Interventi del Comune di Verona per l'area in esame, il volume specifico da invasare è di **487,4 m³/ha**, dato ripreso dal PAT.

In via cautelativa dunque le misure compensative per le opere di urbanizzazione sono state progettate rispettando il valore di volume specifico definito in sede di P.A.T. e confermato in sede di P.I.:

In accordo con il progettista il volume da stoccare sarà convogliato in n°6 pozzi perdenti che sono a loro volta collegati con un bacino depresso posto nell'area verde.

Di seguito si riporta il dimensionamento dei pozzi e del bacino:

POZZI PERDENTI	
ALTEZZA UTILE INVASO	3 m
ALTEZZA DRENANTE	1 m
DIAMETRO	1,2 metri
NUMERO POZZI	6
PERMEABILITA'	$4 \cdot 10^{-4}$ m/s
PORTATA DRENATA	8 l/s
VOLUME INVASATO	20,34 m ³
BACINO DI LAMINAZIONE	
AREA	315 m
MASSIMA ALTEZZA INVASO	1,2 metri
SCARPATE	35°
VOLUME INVASATO	392 m ³
TOTALE VOLUME INVASATO	412 m³

Per l'ubicazione dei pozzi e del bacino di laminazione si veda l'**allegato 7 «Ubicazione misure compensative scala 1:500»**.

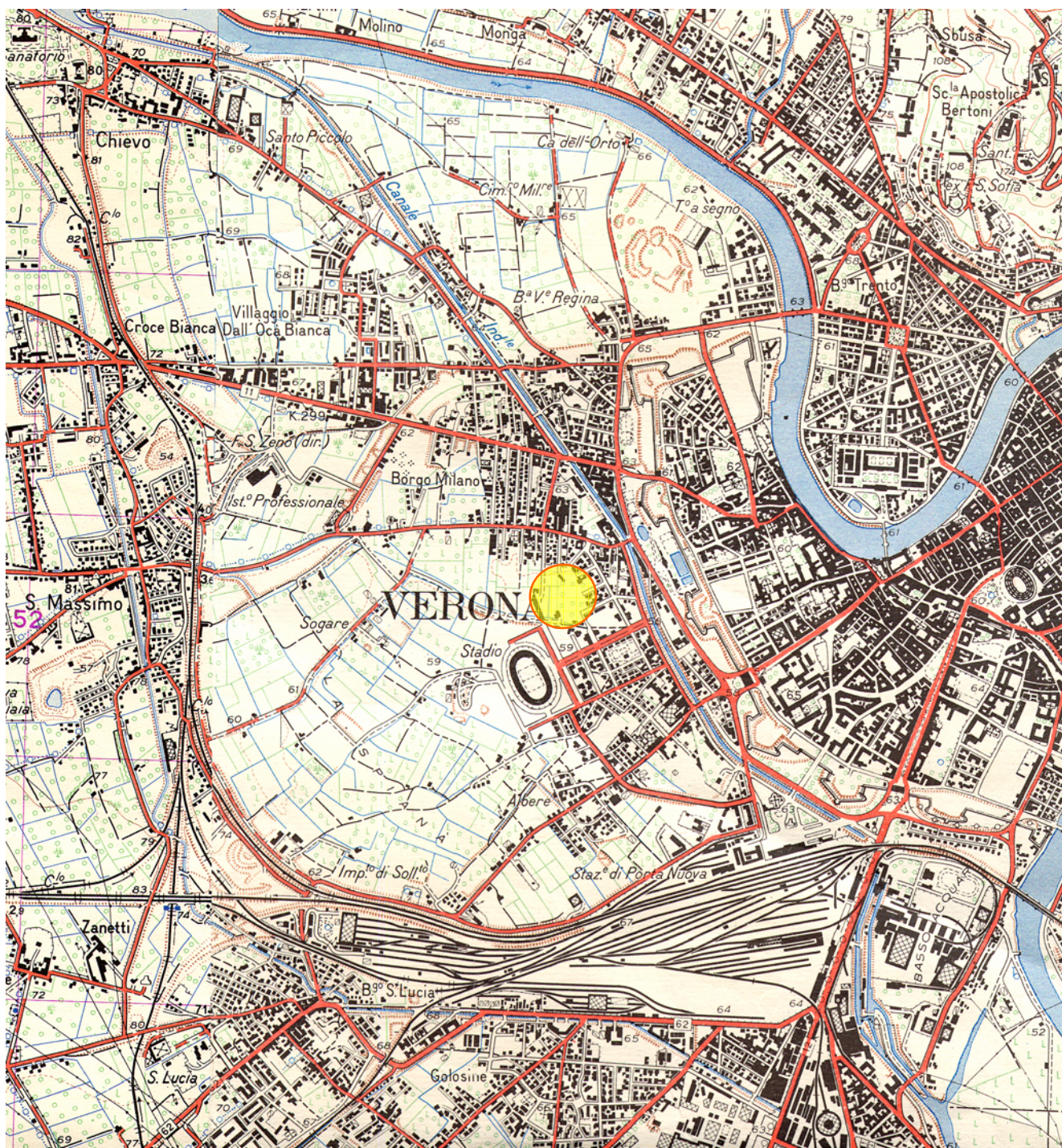
6 CONCLUSIONI

Lo studio eseguito secondo le indicazioni operative per la "Valutazione di compatibilità idraulica per la redazione degli strumenti urbanistici" contenute nella D.G.R.V. n°2948 del 6 ottobre 2009, ha rilevato che:

- ❖ il substrato dell'area in esame è costituito da ghiaie e sabbie alluvionali;
- ❖ la permeabilità degli strati costituenti il sottosuolo è buona;
- ❖ i coefficienti di deflusso da utilizzare nelle considerazioni tecniche sono quelli previsti dalla D.G.R.V. n°2948 del 6 ottobre 2009.

Per quanto riguarda le misure compensative in funzione delle prevedibili variazioni della permeabilità e della risposta idrologica dell'area d'intervento, nella relazione è stato illustrato il dimensionamento pozzi perdenti collegati ad un bacino di laminazione depresso posto nell'area verde.

Si ricorda che per l'area residenziale i progetti dei nuovi fabbricati dovranno prevedere la realizzazione di bacini di accumulo drenanti in grado di invasare almeno 487,4 m³/ha.



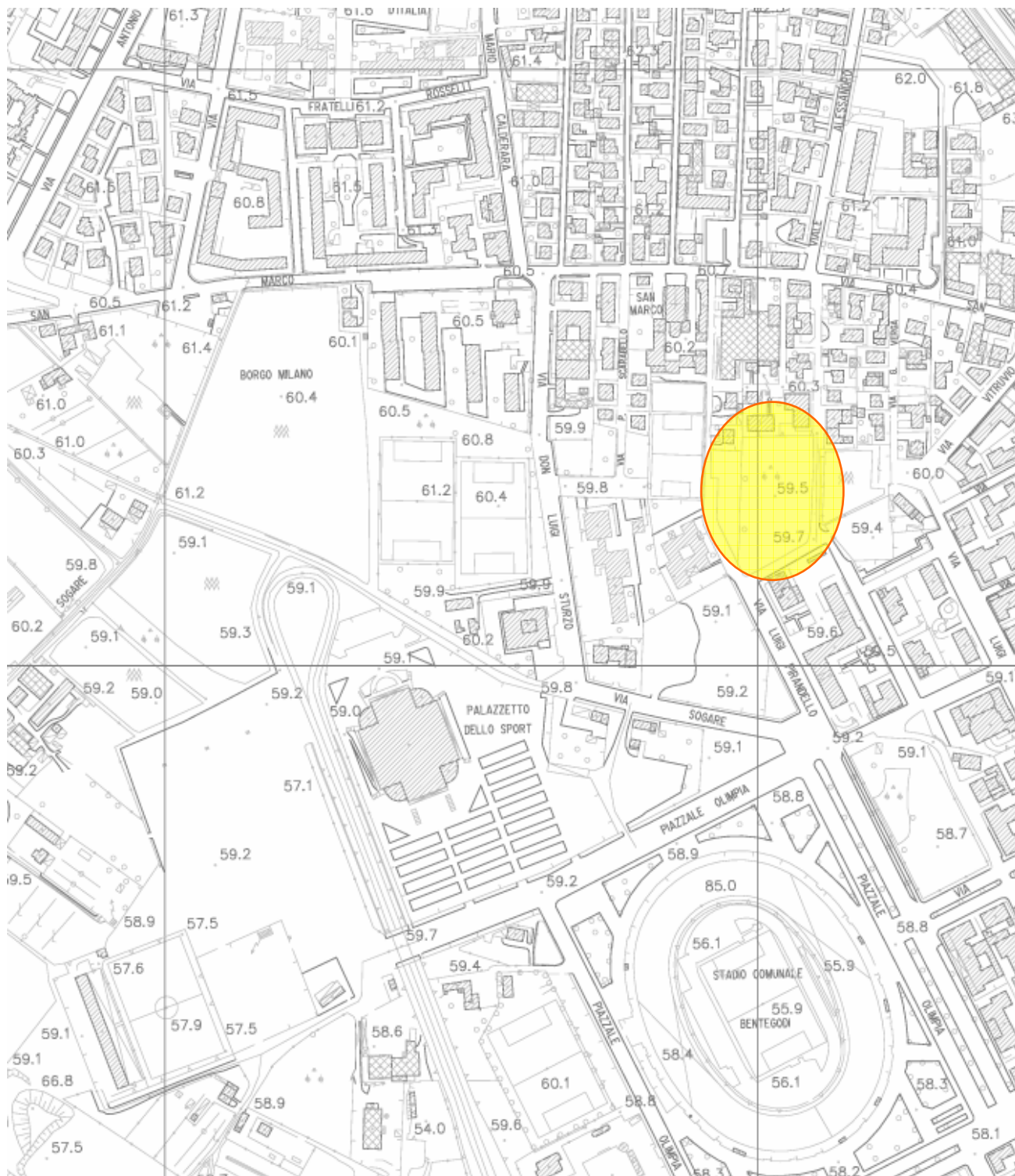
(stralcio dalle Tavolette IGM F°49 III N.O. «Verona»)

TOPOGRAFIA

scala 1:25.000



ubicazione dell'area in esame



(stralcio dell'elemento n° 123 161 «Verona Nord-Ovest»)

CARTA TECNICA REGIONALE

scala 1:5.000



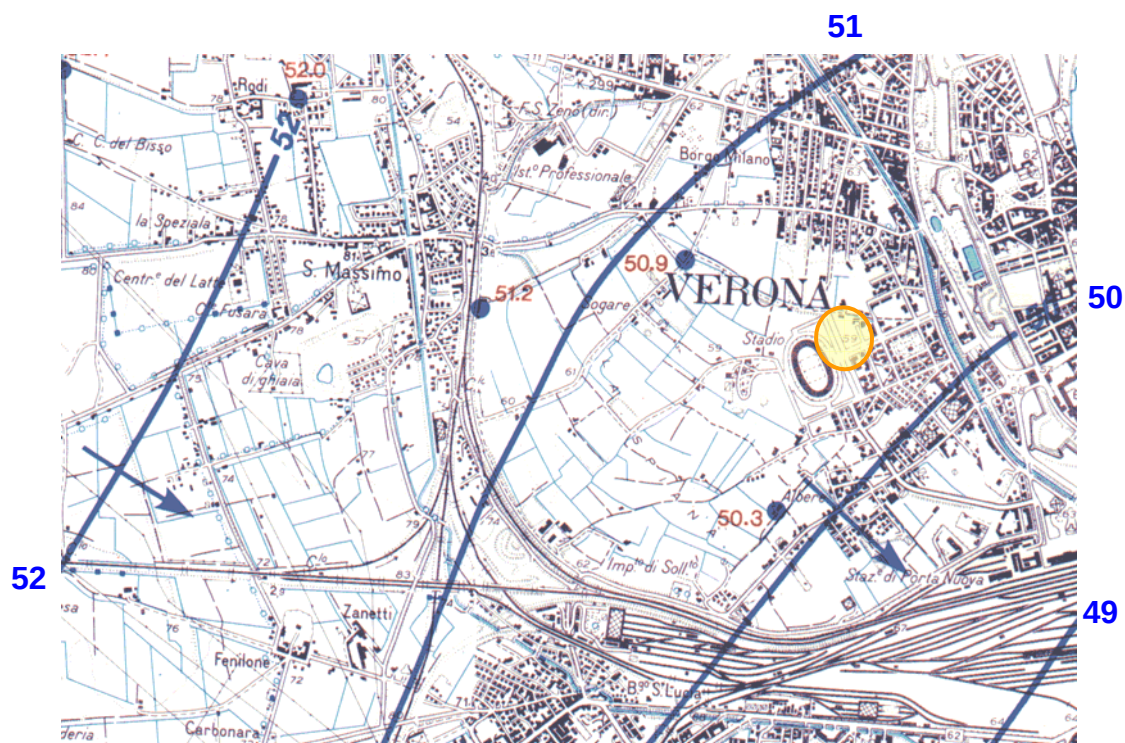
ubicazione dell'area in esame



Estratto catastale N.C.T. del Comune di Verona Foglio 251, mappali 60, 61, 62, 156, 159, 171, 172, 173, 174, 175, 186 parte, 190, 201, 231, 232, 233, 381

PLANIMETRIA CATASTALE

scala 1:2.000



LEGENDA

- 49.5 Pozzo con quota freatica
- 52 Isofreatica con quota s.l.m.

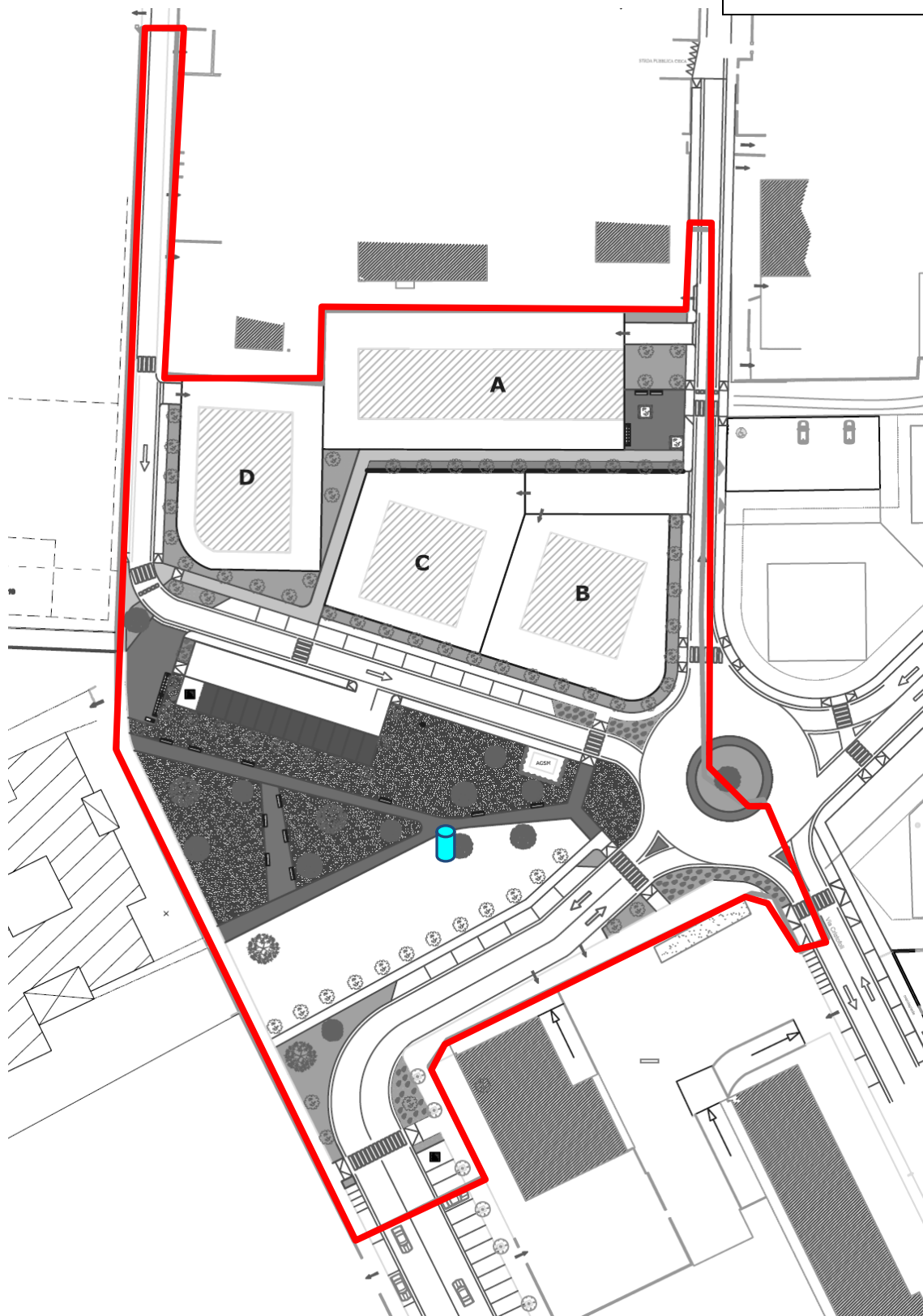
→ Direzione del deflusso sotterraneo

stralcio da A. Dal Prà e P. De Rossi «Carta idrogeologica dell'alta pianura dell'Adige» (1989)

CARTA IDROGEOLOGICA scala 1:30.000



ubicazione dell'area in esame



PLANIMETRIA DI PROGETTO scala 1:1.000

 ubicazione prova di permeabilità

 confine area d'intervento

Stazione di VERONA				
Parametri regolarizzazione dati di precipitazione			legge di GUMBEL	
$P(x) = e^{-e^{-\alpha * (x - \beta)}}$				
1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
N: 31	N: 31	N: 31	N: 31	N: 31
Media: 27.110	Media: 33.742	Media: 38.987	Media: 44.781	Media: 52.858
alfa: .100	alfa: .084	alfa: .080	alfa: .075	alfa: .072
beta: 21.713	beta: 27.374	beta: 32.261	beta: 37.611	beta: 45.419
Tr = 2	Tr = 2	Tr = 2	Tr = 2	Tr = 2
Xt = 25.40	Xt = 31.72	Xt = 36.85	Xt = 42.50	Xt = 50.50
Parametri curva H = a*T**n : a = 9.086 n = .238 (T = minuti)				
Tr = 5	Tr = 5	Tr = 5	Tr = 5	Tr = 5
Xt = 36.78	Xt = 45.16	Xt = 51.04	Xt = 57.63	Xt = 66.19
Parametri curva H = a*T**n : a = 14.696 n = .208 (T = minuti)				
Tr = 10	Tr = 10	Tr = 10	Tr = 10	Tr = 10
Xt = 44.32	Xt = 54.05	Xt = 60.44	Xt = 67.65	Xt = 76.58
Parametri curva H = a*T**n : a = 18.560 n = .196 (T = minuti)				
Tr = 25	Tr = 25	Tr = 25	Tr = 25	Tr = 25
Xt = 53.85	Xt = 65.29	Xt = 72.31	Xt = 80.30	Xt = 89.72
Parametri curva H = a*T**n : a = 23.545 n = .184 (T = minuti)				
Tr = 50	Tr = 50	Tr = 50	Tr = 50	Tr = 50
Xt = 60.92	Xt = 73.63	Xt = 81.12	Xt = 89.69	Xt = 99.46
Parametri curva H = a*T**n : a = 27.296 n = .177 (T = minuti)				
Tr = 100	Tr = 100	Tr = 100	Tr = 100	Tr = 100
Xt = 67.93	Xt = 81.91	Xt = 89.86	Xt = 99.01	Xt = 109.13
Parametri curva H = a*T**n : a = 31.051 n = .172 (T = minuti)				
Tr = 200	Tr = 200	Tr = 200	Tr = 200	Tr = 200
Xt = 74.92	Xt = 90.16	Xt = 98.57	Xt = 108.30	Xt = 118.76
Parametri curva H = a*T**n : a = 34.817 n = .168 (T = minuti)				

DATI PLUVIOMETRICI



UBICAZIONE MISURE COMPENSATIVE

scala 1:1.000

