Comune di Verona

istanza del 09.06.2016
P.G. n. 174685 del 10.06.2016

provincia di verona

P.U.A. Piano Urbanistico Attuativo per l'urbanizzazione di un'area sita all'interno della ATO 6 - San Michele Extra - Verona - Via Gottardo - Scheda Norma n.307

(ai sensi del Piano degli Interventi del Comune di Verona approvato con D.C.C. n° 91 del 23/12/2011)

Richiedente: Gottardo Costruzioni s.r.l.

n. documento	cod. documento	titolo documento
80	TAV 6.B	VALUTAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

rev.	data	descrizione	verif.	approv.
0	23.05.16	prima emissione	v	v
1	31.10.16	istanza del 09.06.2016 P.G. n. 174685 del 10.06.2016	v	v
2	30.01.17	integrazione del 24.11.2016 P.G. n. 347051	v	v
3	06.02.19	integrazione del 31.01.2017 P.G. n. 31102	v	v

il committente

Gottardo Costruzioni s.r.l.

f.to

L'Amministratore Unico

Spada Giuseppina

coordinamento e progettazione

CSI Consulenza e Servizi di Ingegneria

il tecnico incaricato
f.to

Arch. Laurenza Linda
Indirizzo: Via A. Lincoln n° 217 - 81100 Caserta (CE)
Tel.: 338.44.058.59
Email: linda.laurenza@gmail.com

SCALA -

FORMATO A4

All reproductions rigth are reserveded

xrif_mascherina_rev.03

COMUNE DI VERONA

PROVINCIA DI VERONA

Richiedente: **INIZIATIVE INDUSTRIALI IMMOBILIARI s.r.l.**

P.U.A. Piano Urbanistico Attuativo per l'urbanizzazione di un'area sita all'interno della ATO 6 - San Michele Extra – Verona - Via Gottardo - Scheda Norma n.307

(ai sensi del Piano degli Interventi del Comune di Verona approvato con D.C.C. n° 91 del 23/12/2011)

VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

ORDINE DEI GEOLOGI * REGIONE DEL VENETO
Dr. Geol. ROMANO RIZZOTTO N° 57

Romano Rizzotto
geologo

ORDINE INGEGNERI VERONA E PROVINCIA
Dott. Ing. SARA POZZERLE

Sara Pozzerle
ingegnere

Verona, ottobre 2015

INDICE

1 PREMESSA 3

2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI 4

3 ANALISI IDROLOGICA 9

3.1 GENERALITA' 9
3.2 CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA 10

4 ANALISI IDRAULICA 12

4.1 STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA 12
4.2 STIMA DEI VOLUMI SPECIFICI DI INVASO 14
4.3 VERIFICA VOLUMI CON IL METODO DELL'INVASO 15
4.4 VERIFICA VOLUMI CON IL METODO CINEMATICO 17

5 DIMENSIONAMENTO MISURE COMPENSATIVE 19

5.1 PREMESSA 19
5.2 CALCOLO IDROGRAMMI DI PIENA 19
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 25

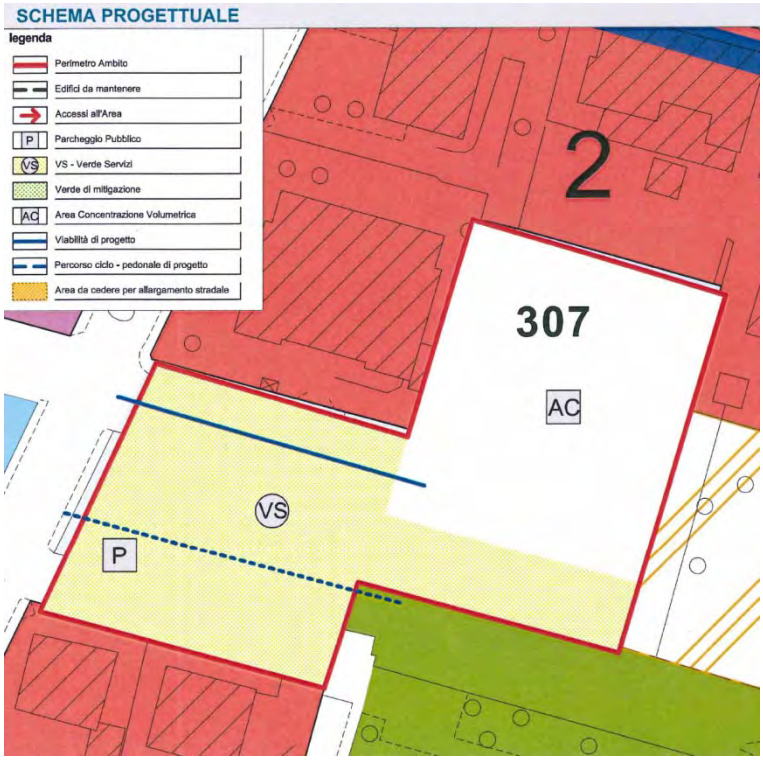
ELENCO ALLEGATI

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. DATI PLUVIOMETRICI
6. MISURE COMPENSATIVE .....scala 1:500

1 PREMESSA

Per incarico della Società di Ingegneria CSI e per conto di INIZIATIVE INDUSTRIALI IMMOBILIARI s.r.l. sono state eseguite indagini idrogeologiche ed idrauliche sui terreni interessati dal Piano Urbanistico Attuativo Scheda Norma 307, in Via Gottardo nel Comune di Verona.

Il piano in esame occupa un'area di 3.446 m^2 , il 50% da adibirsi a verde-servizi.



Stralcio fuori scala scheda norma del PUA in esame

Catastalmente l'ambito di intervento interesserà i terreni censiti al Foglio 278, mappali 190, 193 e 195 - si veda **allegato 3 «Planimetria catastale scala 1:2.000»** -.

Attualmente l'area è incolta.

La presente relazione ottempera a quanto definito, nella scheda norma n°307, nelle NTO del vigente P.I. del Comune di Verona, nonchè alle prescrizioni evidenziate dalla stessa Valutazione di Compatibilità Idraulica.

Per la scheda norma 307 il vigente P.I. del Comune di Verona prevede un invaso di circa 167.96 m^3 da attuare mediante la realizzazione di vasche di laminazione, sovradimensionamento condotte e bacini e fosso di infiltrazione.

La presente analisi, sulla base di una valutazione degli aspetti morfologici, litologici e territoriali che caratterizzano l'area in progetto, presenta una soluzione delle gestione delle acque meteoriche, per il conseguimento della sostanziale invarianza idraulica.

Lo studio ha richiesto:

- raccolta e consultazione di dati bibliografici e cartografici;
- esame geologico, geomorfologico, idrogeologico ed idrologico dell'area – da "Relazione Geologica e Geotecnica" datata agosto 2015.

2 SINTESI DELLE CARATTERISTICHE DEI LUOGHI

L'area in esame è situata nella frazione di San Michele Extra, in Comune di Verona, ad una quota di circa 56 m s.l.m., e appartiene all'alta pianura veronese, costituita da conoidi fluvioglaciali e fluviali sovrapposte e terrazzate, depositate dal Fiume Adige, nei periodi interglaciali e postglaciali - si vedano **allegati 1 «Topografia scala 1:25.000» e 2 «Carta Tecnica Regionale scala 1:5.000» -**.

Essa presenta una lieve acclività verso Sud e si trova a circa 500 metri a Nord della scarpata di terrazzamento alluvionale che presenta andamento a meandro alla cui base dove sono stati riconosciuti anche alcuni paleoalvei, leggermente depressi.

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

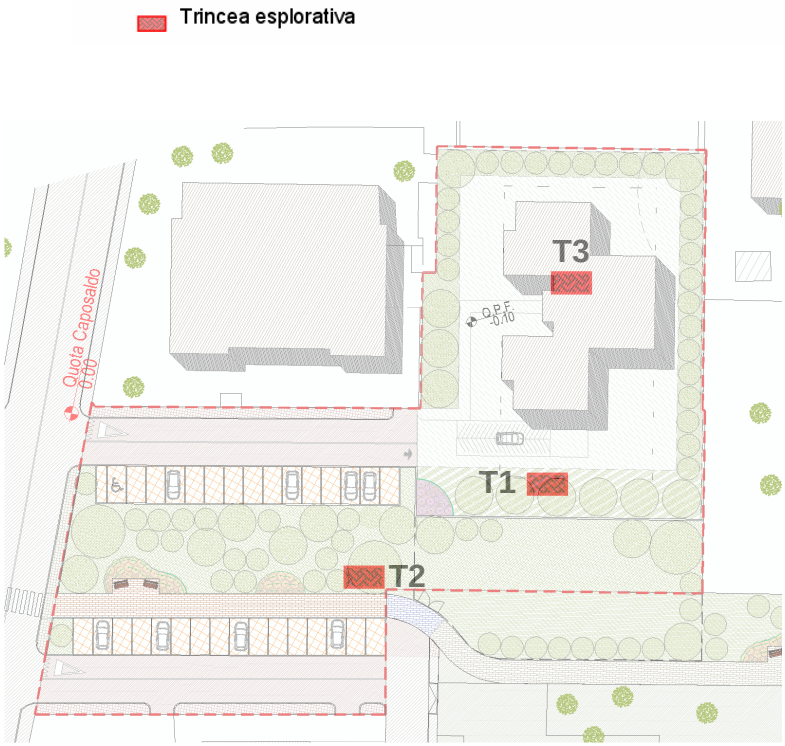
Dal punto di vista litologico questo tratto dell'alta pianura veronese risulta costituito da materiali sciolti a granulometria prevalentemente ghiaio-sabbio-ciottolosa con intercalate lenti limo-argillose e livelli conglomeratici di potenza metrica e limitata continuità areale.

Le indagine geognostiche riportate nella relazione geologica, geomorfologica ed idrogeologica, datata agosto 2015, permettono di evidenziare che nell'area in esame il sottosuolo al di sotto di uno strato superficiale metrico di limi sabbiosi talora argillosi, è costituito da alluvioni ghiaiose e sabbiose con ciottoli, ad eccezione della porzione Nord del PUA dove le indagini hanno evidenziato la presenza di terreni di riporto misti a sfridi di demolizione per spessori fino ad oltre 7-8 metri di profondità.

La superficie interessata da questi riporti è stimabile in circa 1.500 mq con un volume complessivo dell'ordine 8.000-10.000 mc.

La presenza di questi materiali di riporto, dal punto di vista ambientale, è incompatibile con l'edificazione che pertanto dovrà essere preceduta da interventi di bonifica.

L'ubicazione delle indagini è evidenziata nella seguente planimetria a scala 1:1.000.



Ubicazioni trincee esplorative e prova di permeabilità

Il corso d'acqua di maggiore entità è il fiume Adige, che scorre circa 1.0 km a Sud-Ovest, dell'area di intervento.

Da testimonianze raccolte risulta che la zona non è stata interessata da esondazioni o allagamenti e non è a rischio idraulico.

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

Anche per la 2^ Variante al P.A.I. adottata con delibera del Comitato Istituzionale n°1/2012 del 9 novembre 2012 e pubblicata nella Gazzetta Ufficiale il 2 gennaio 2013 n°1, l'area in esame non è considerata a pericolosità idraulica.

La consultazione delle bozze delle mappe di allagabilità e rischio del Piano di Gestione delle Alluvioni del Distretto Idrografico delle Alpi Orientali, in recepimento alla Direttiva 2007/60 (D. Lgs. n°49/2010) conferma che l'area oggetto d'intervento non è a rischio di esondazione.

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.

La situazione idrogeologica è stata ricostruita sulla base delle stratigrafie redatte in occasione della terebrazione di pozzi. I depositi alluvionali a granulometria grossolana, che costituiscono le prime decine di metri del sottosuolo possiedono una permeabilità elevata che consente l'infiltrazione nel sottosuolo delle precipitazioni; queste ultime quindi vanno ad alimentare livelli acquiferi freatici sostenuti da orizzonti argillosi impermeabili presenti a rilevante profondità.

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 di circa 44 metri s.l.m., cioè a circa 12 metri dal piano campagna. La direzione di deflusso sotterraneo è da Nord verso Sud ed il gradiente locale è dell'ordine del 5‰ - si veda; l'escursione media annua è di qualche metro.

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 m^3/s.

2.1 PROVE DI PERMEABILITA'

Per valutare la capacità d'infiltrazione del terreno dell'area in esame, in data 29.07.2015 in corrispondenza della trincea 2 e ad una profondità di circa 3 metri in corrispondenza delle alluvioni ghiaio sabbiose naturali è stata condotta una prove di permeabilità con metodo dell'infiltrometro

Ubicazioni trincee esplorative e prova di permeabilità

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);

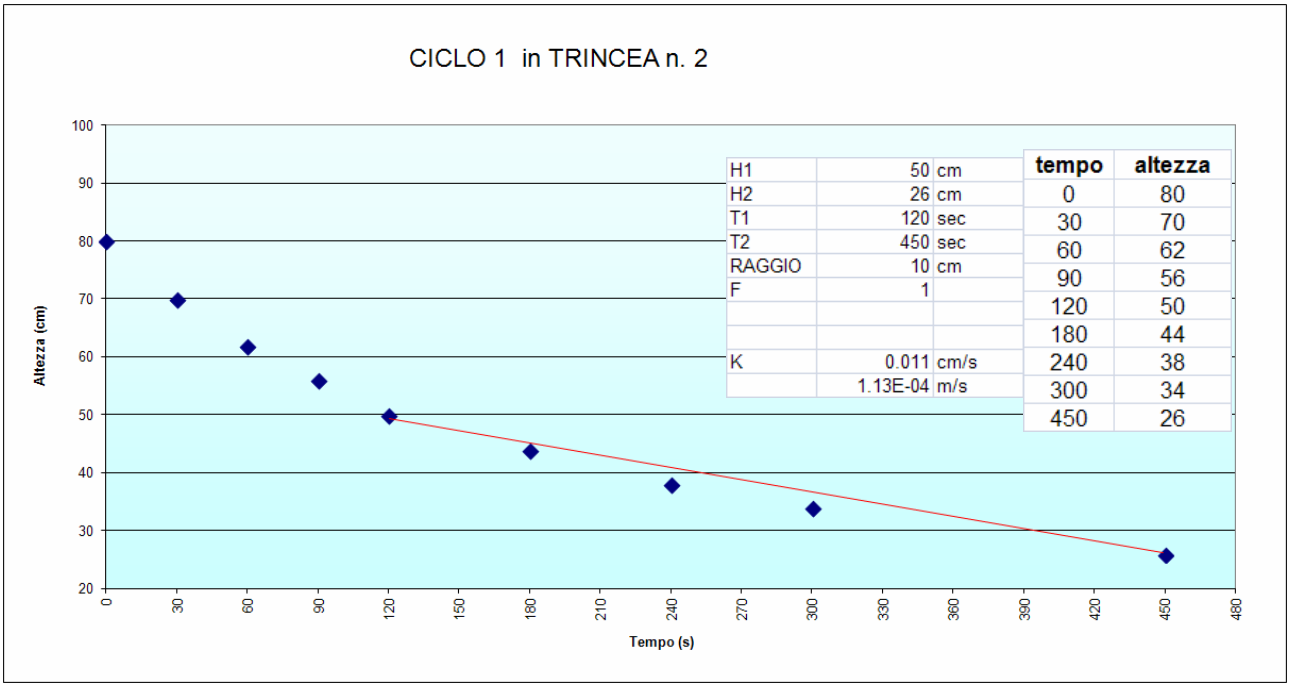
$t_2 - t_1$ = tempi (s)

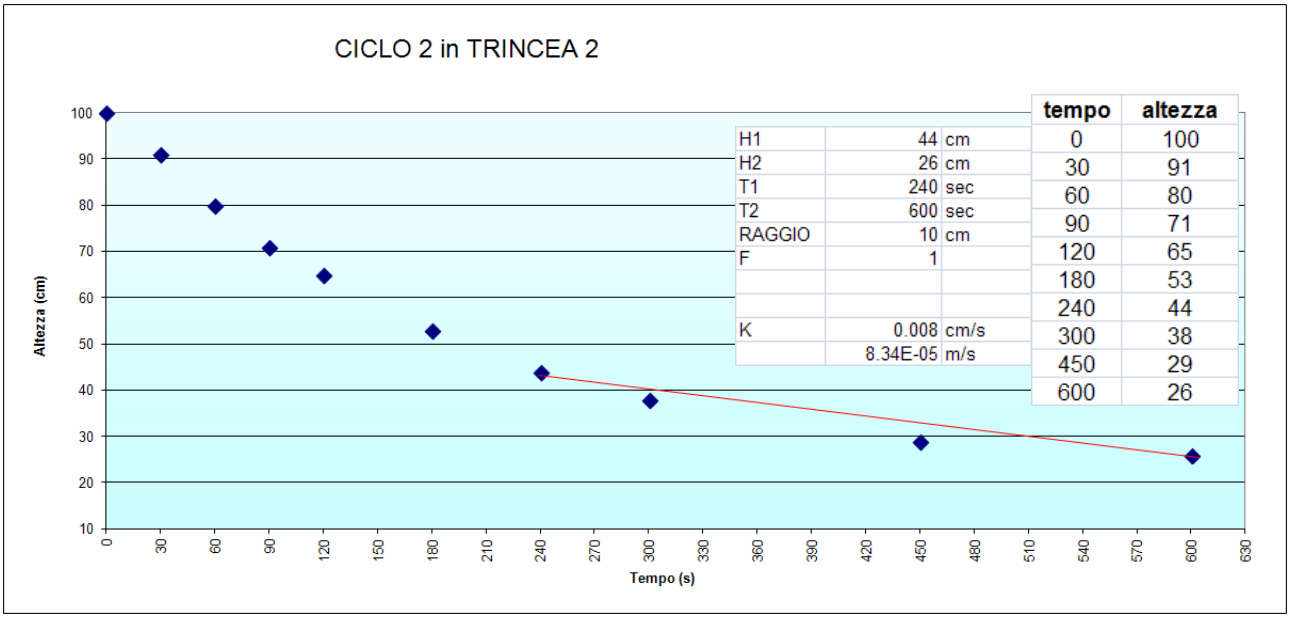
h e H = altezze (cm)

f = fattore di forma ottenuto dal rapporto Cu/5 dove Cu è il coefficiente di uniformità del terreno dato da (d_{60}/ d_{10}).

Al fine di ottenere un risultato statisticamente significativo la prova è stata ripetuta per 2 cicli successivi di carico

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





Il coefficiente di permeabilità K medio per la alluvioni ghiaio sabbiose risulta pari a 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 5 «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'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:

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

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

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

$u = mx - \lambda \cdot \alpha$ moda;

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

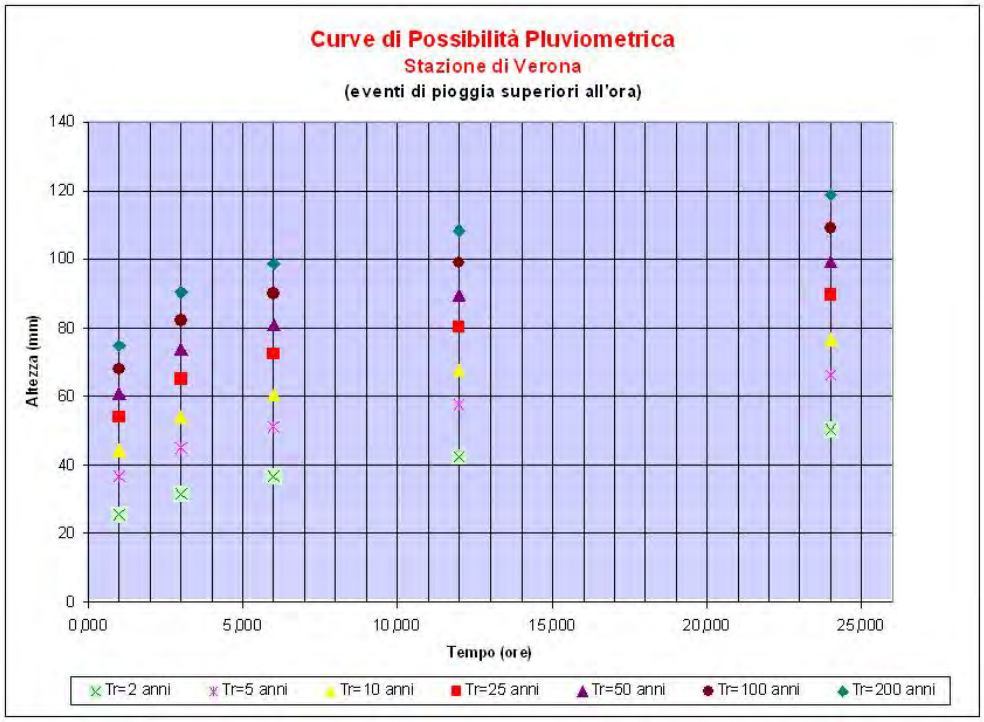
Indicando con F(x) la probabilità di non superamento del valore x, il tempo medio di ritorno è calcolato dalla relazione:

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

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.

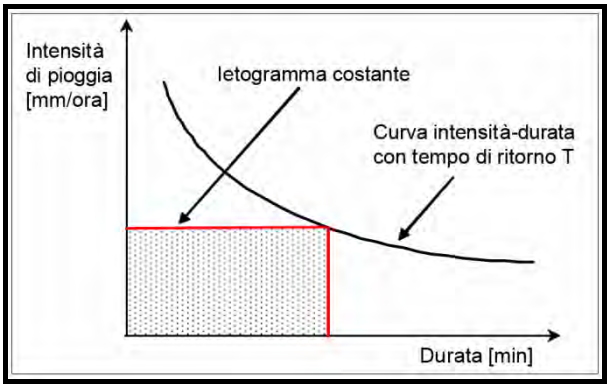
Come prescritto nella D.G.R.V. 2941 del 9 ottobre 2009 “in relazione all’applicazione del principio dell’invarianza idraulica lo studio dovrà essere corredato di analisi pluviometrica con ricerca delle curve di possibilità climatica per durate di precipitazione corrispondenti al tempo di corrivazione 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 confluente 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 tc. 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 tc può, in prima approssimazione, essere valutato come somma di due termini

$$t_c = t_i + t_r$$

dove:

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

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

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

Descrizione del Bacino	ti [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 tr 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:

$$Vi = S \cdot \varphi \cdot a' \cdot t^{n'}$$

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

$$Vu = Qu \cdot t$$

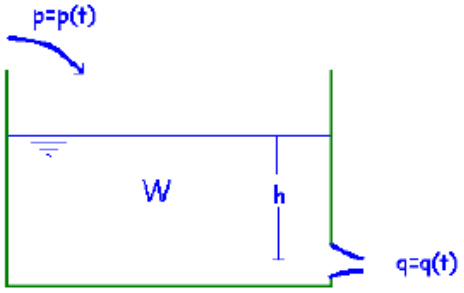
Risulta dunque che il volume specifico invasato, $V_{invasato}$, nel bacino di laminazione è dato dalla differenza:

$$V_{invasato} = Vi(t) - Vu(t)$$

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:

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

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:

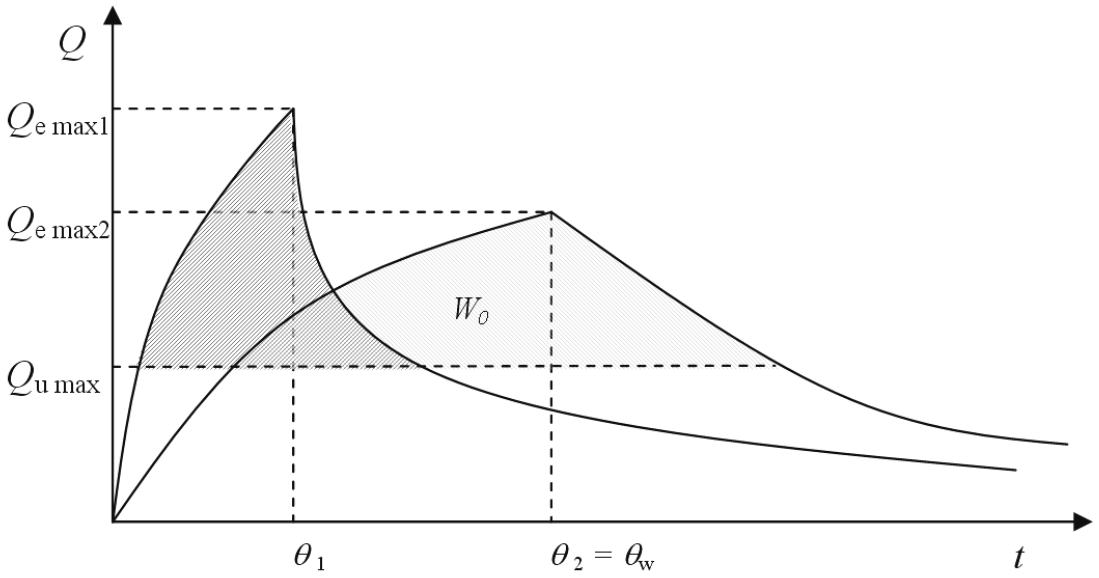
$$k = 0.7 * tc$$

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:

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

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/η= Q_c/Q_{umax}, le grandezze F e G sono calcolabili con le equazioni:

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

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

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 θ_c = C· 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:

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

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

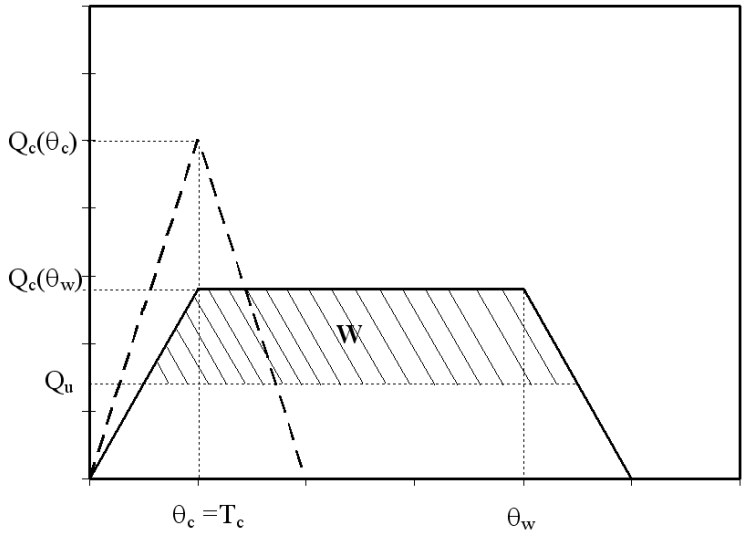
con queste ipotesi si può scrivere l'espressione del volume W invasato nei bacini in funzione della durata della pioggia ϑ, del tempo di corrivazione del bacino t_c, della portata uscente drenata massima dalla vasca $Q_{u,}$, del coefficiente di afflusso φ, dell'area del bacino S e dei parametri a ed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

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

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

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

dalla quale si ricava la durata critica ϑ_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 circa 3.446 m^2 , dei quali 1.723 m^2 a verde, 600 m^2 a parcheggio, e i restanti 1.123 m^2 per la creazione di viabilità interna, marciapiedi, percorsi pedonali e copertura edificio.

Attualmente l'area è incolta.

Come riportato nella D.G.R.V. n°2948/2009, trattandosi di un intervento su superficie minore di 1 ha, il grado di impermeabilizzazione è modesto.

Considerate le caratteristiche dei terreni investigate e la percentuale di impermeabilizzazione prevista dal P.U.A., le misure compensative in progetto consistono nella creazione di un'area depressa e la posa di pozzi perdenti.

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		
TIPOLOGIA	**Superficie (m^2)**	**Coefficiente di deflusso**
PERMEABILE (incolto)	3.446	0,1
TOTALE	**3.446**	**0,1**

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

STATO ATTUALE	
Curva di possibilità pluviometrica	$h = 61{,}48 \cdot t^{0.153}$
Tempo di corrivazione	15 min
Coefficiente di deflusso	0,1

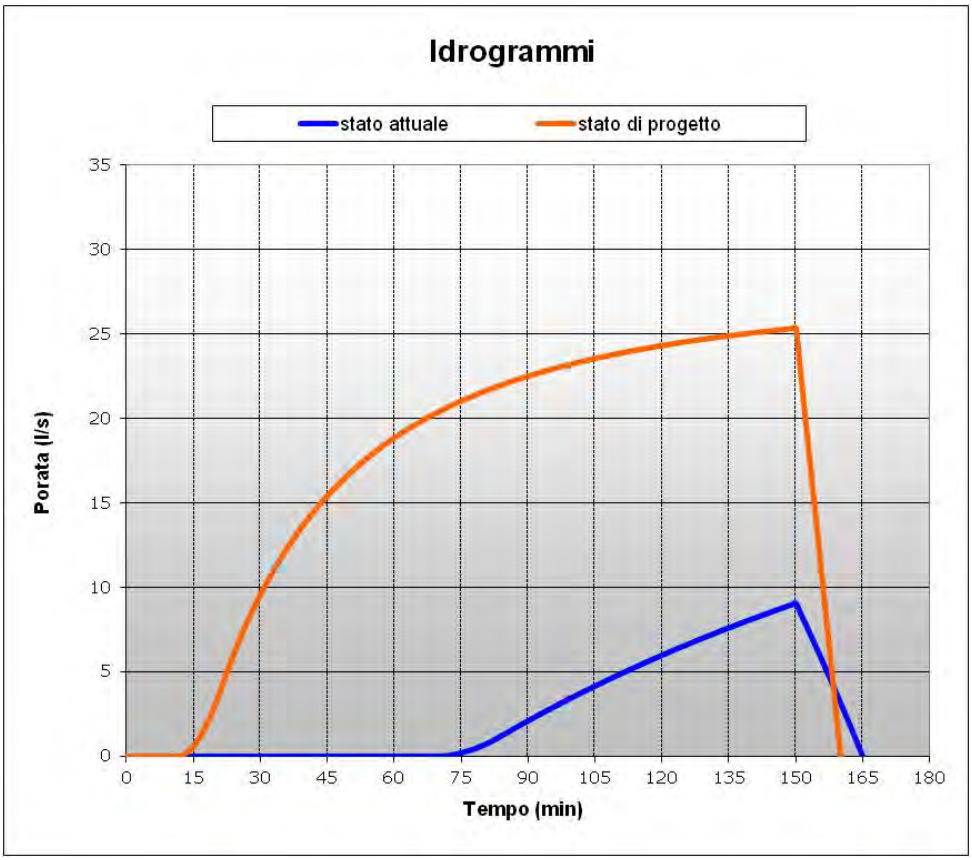
Allo stato di progetto si avrà:

STATO DI PROGETTO		
TIPOLOGIA	**Superficie (m^2)**	**Coefficiente di deflusso**
PERMEABILE (verde privato e pubblico)	1.723	0,2
IMPERMEABILE (tetti, strade, marciapiedi, etc)	1.123	0,9
SEMIPERMEABILE (stalli parcheggi)	600	0,6
TOTALE	**3.446**	**0,50**

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

STATO DI PROGETTO	
Curva di possibilità pluviometrica	$h = 61{,}48 \cdot t^{0.153}$
Tempo di corrivazione	10 min
Coefficiente di deflusso	0,50

Gli idrogrammi di piena per lo stato attuale e di progetto, considerando una stessa durata di pioggia pari a 150 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 9 l/s, ovvero, se rapportata all'intera area, pari a 26 l/s per ettaro di lottizzazione.

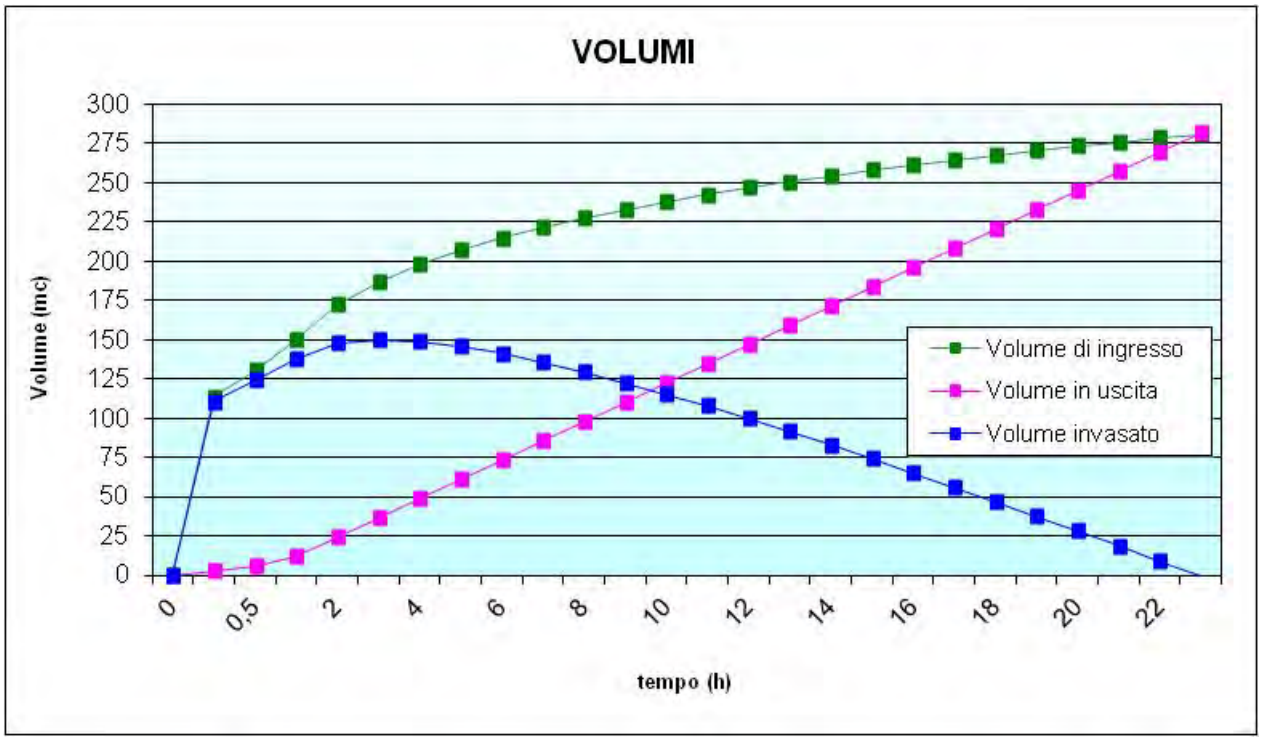
In via cautelativa nei calcoli che seguono sarà utilizzato un coefficiente pari a 10 l/s per ettaro di lottizzazione, che verrà scaricato per infiltrazione nei primi strati del sottosuolo.

5.3 CALCOLO VOLUMI DI LAMINAZIONE CON IL METODO RAZIONALE

Ipotizzando che la portata drenata non sia superiore al quella in uscita allo stato attuale, ovvero pari a 3,5 l/s, il volume specifico immagazzinato, $V_{immagazzinato}$, nel bacino di laminazione è dato dalla differenza:

$$V_{immagazinato} = Vi(t) - Vu(t)\left[m^3\right]$$

Il massimo valore della differenza tra V_i e V_u è pari a 150 m^3, che se rapportato alla superficie oggetto di trasformazione urbanistica, determina un volume specifico pari a circa **442 m^3/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:

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

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*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= 139 l/s

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

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

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/η= Q_c/Q_{umax}, le grandezze F e G sono calcolabili con le equazioni:

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

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

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 θ_c = C· 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 110 m^3 che se rapportato alla superficie oggetto di trasformazione urbanistica, determina un volume specifico pari a circa **323 m^3/ha**.

5.5 VERIFICA VOLUMI CON IL METODO CINEMATICO

La portata di picco è calcolata con la formula:

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

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= 159 l/s

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:

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

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

Il volume da invasare è pari a $W_{0,cinematico}$ = 140 m^3 che se rapportato alla superficie oggetto di trasformazione urbanistica, determina un volume specifico pari a circa **411 m^3/ha**.

Riassumendo per i vari metodi si ha:

Metodo razionale	Metodo dell'invaso	Metodo cinematico
442 m^3/ha	323 m^3/ha	411 m^3/ha

Come si può notare il metodo razionale 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 m^3/ha**, dato ripreso dal PAT.

In via cautelativa, nonostante la ridotta percentuale di impermeabilizzazione progettata, si dovranno porre in opera misure di compensazione tali da invasare i **167.96 m^3.**

Il volume da stoccare sarà convogliato in n°3 pozzi perdenti di cui n°2 pozzi perdenti all'interno del bacino di laminazione depresso, posto nell'area verde a Sud.

Il bacino di laminazione sorgerà nell'area dove attualmente sono presenti terreni di riporto misti a sfridi di demolizioni per spessori metrici che dovranno essere bonificati attraverso asporto degli stessi. I tre pozzi perdenti all'interno del bacino di laminazione dovranno insistere sulle alluvioni naturali sottostanti.

Esempio bacino di laminazione

Il bacino sarà profondo al massimo **1,3 metri** per consentire l'immissione delle tubazioni fognarie (a meno un metro dal piano finito) e garantire un battente massimo di 0,5 metri. Esso avrà le scarpate inclinate non oltre i **35°.**

Il lotto dovrà scaricare autonomamente le proprie acque meteoriche nel bacino con una tubazione minima di diametro massimo di 315 mm in pvc.

In via cautelativa non si è tenuto conto dell'invaso delle tubazioni fognarie. Schematicamente si avrà:

POZZI PERDENTI	
Raggio	0,75 m
Altezza invaso	3 m
Superficie drenante – base pozzo e laterale media (fino a 2,5 metri)	11,77 m^2
Numero pozzi	3
k	10^{-4} m/s
PORTATA DRENATA	3,53 l/s
VOLUME INVASO POZZI	15,89 m^3
BACINO	
Base	350 m^2
Altezza invaso	0,5 m
Scarpate	35°
VOLUME INVASO BACINO	175 m^3
TOTALE VOLUME INVASATO	191 m^3

Per l'ubicazione dei pozzi e del bacino si veda **l'allegato 6 «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 medio-alta;
- la falda si trova ad oltre 10 metri dall'attuale piano campagna;
- 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 di pozzi perdenti e di un bacino di laminazione, posto nell'area a verde a Sud.

Verona, ottobre 2015

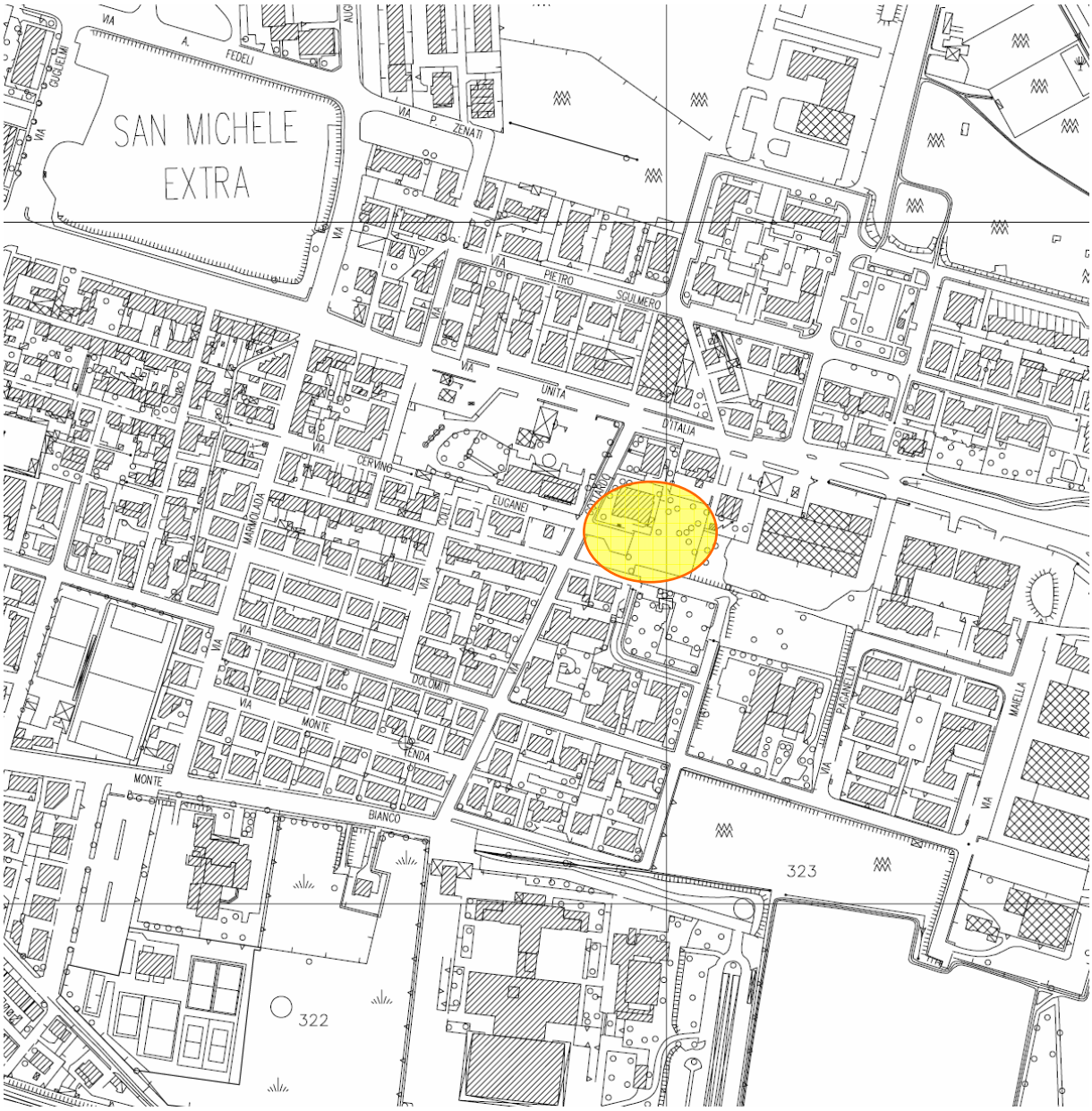
ALLEGATO 1

(stralcio dalla Tavoletta IGM F°49 III N.E. «San Martino Buon Albergo»)

TOPOGRAFIA *scala 1:25.000*

ubicazione dell'area di indagine

ALLEGATO 2

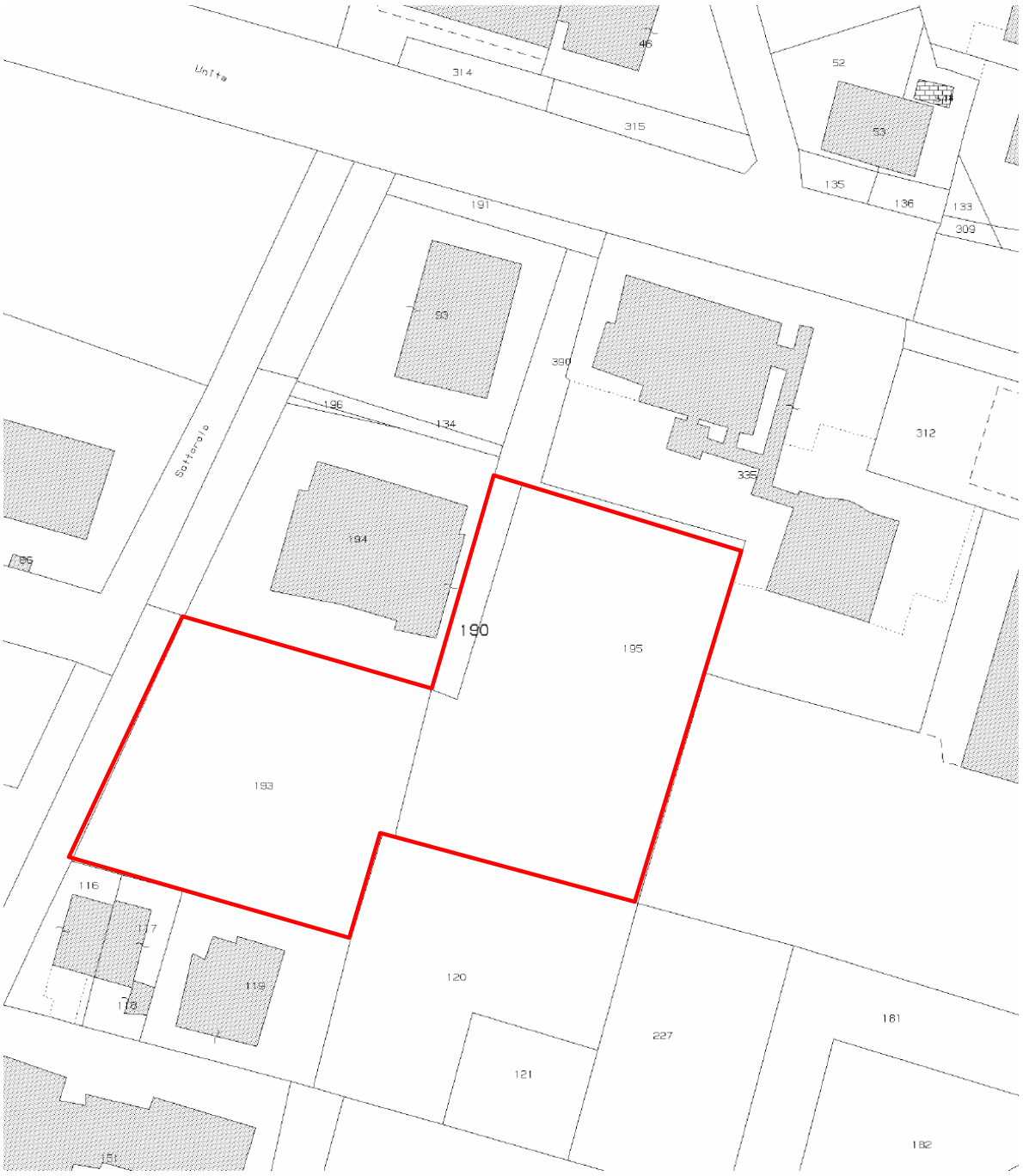


(stralcio dell'elemento n° 124 131 «Verona San Michele»)

CARTA TECNICA REGIONALE scala 1:5.000

ubicazione dell'area in esame

ALLEGATO 3



Estratto catastale N.C.T. del Comune di Verona Foglio 278, mappali 190, 193, 195

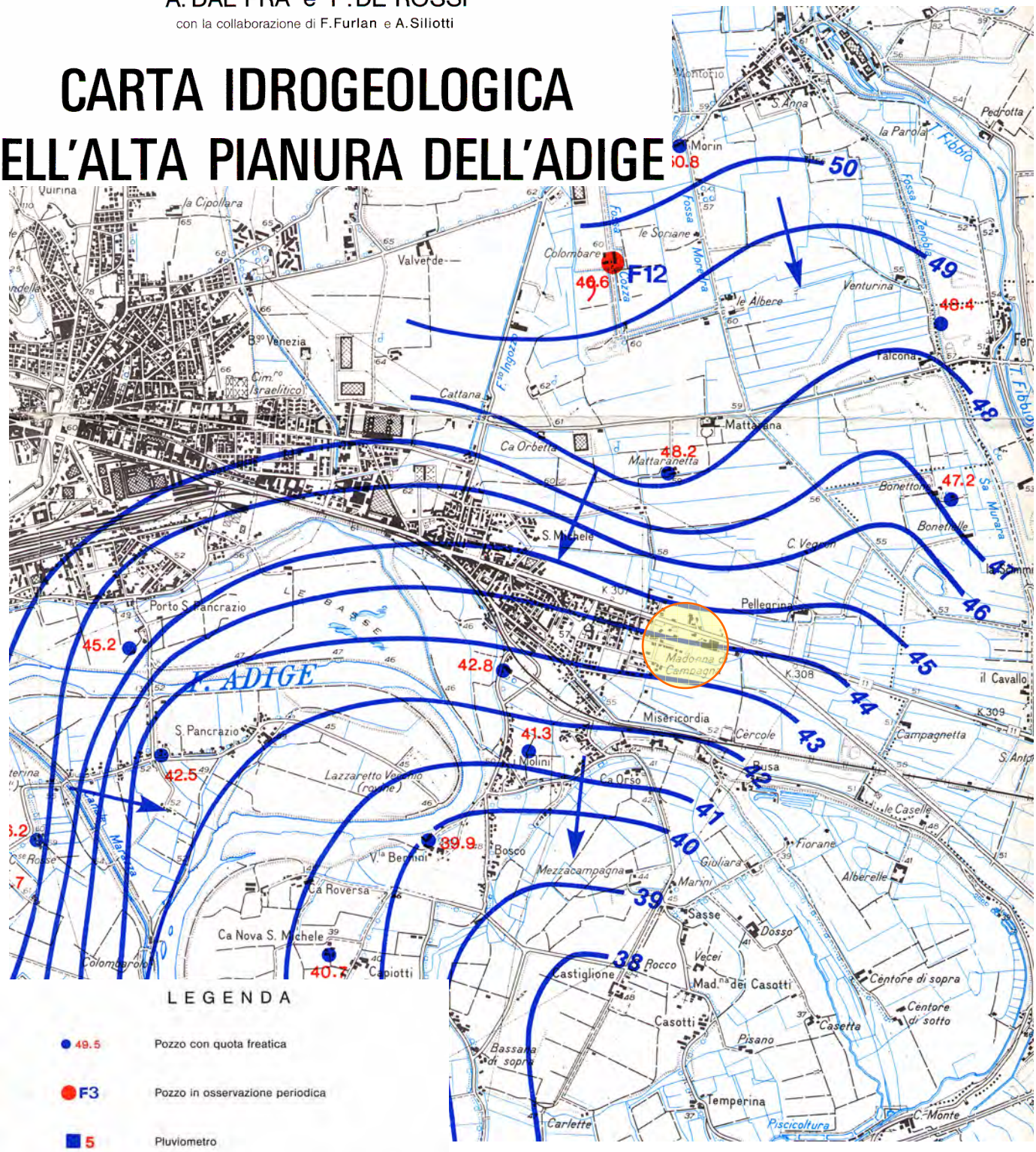
PLANIMETRIA CATASTALE *scala 1:2.000*

DIPARTIMENTO DI GEOLOGIA DELL'UNIVERSITÀ DI PADOVA

ALLEGATO 4

A. DAL PRÀ e P. DE ROSSI
con la collaborazione di F. Furlan e A. Siliotti

CARTA IDROGEOLOGICA DELL'ALTA PIANURA DELL'ADIGE



LEGENDA

- 49.5 — Pozzo con quota freatica
- F3 — Pozzo in osservazione periodica
- 5 — Pluviometro
- 37 — Sezione di misura della portata sulla rete dei fontanili
- Limite superiore dei fontanili
- 53 — Isofreatica con quota s.l.m.
- Direzione del deflusso sotterraneo
- Limite tra bacini di risorgiva

CARTA IDROGEOLOGICA

scala 1:30.000

(fase di piena della falda del settembre 1993)

ubicazione dell'area di indagine

Stazione di VERONA
Parametri regolarizzazione dati di precipitazione — legge di GUMBEL

$$P(x) = e^{-e^{-alfa * (x - beta)}}$$

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

ALLEGATO 6

Ad integrazione di quanto richiesto da Conferenza dei Servizi del 04.07.2016 e relativi pareri espressi e pervenuti e le successive comunicazioni date da parte del Comune di Verona, vengono riportate le condizioni di repertorio normativo Sez. 8 (*Impatto idraulico manifestazioni di interesse*).

ELENCO MANIFESTAZIONI D'INTERESSE RITENUTE PRIORITARIE 2° BANDO - ATO 6									
N° REPERTORIO	SUPERFICIE INTERVENTO (mq)	VOLUME INVASO (metodo invaso) (mc)	VOLUME INVASO DA PAT (mc)	***INVASO PREVALENTE***					ASSEVERAZIONE
				VASCA DI LAMINAZIONE	SOVRA - DIMENSIONAMENTO DELLE CONDOTTE	BACINO DI RITENZIONE	BACINO FOSSO D'INFILTRAZIONE	ACCUMULO E SMALTIMENTO IN POZZI DISPERDENTI	
307	3 446	27,17	167,96	si	si	no	si	si	

Tabella 1: Condizioni del repertorio normativo se. 8 (1)

ELENCO MANIFESTAZIONI D'INTERESSE RITENUTE PRIORITARIE 2° BANDO - ATO 6					
N° REPERTORIO	SUPERFICIE INTERVENTO (mq)	***SMALTIMENTO PREVALENTE***			
		ACCUMULO E SMALTIMENTO IN POZZI DISPERDENTI	IMMISSIONE IN CORSO D'ACQUA	ACCUMULO E IMMISSIONE IN TRINCEE DRENANTI	IMMISSIONE NELLA RETE ACQUE BIANCHE
307	3 446	si	no	si	no

Tabella 2: Condizioni del repertorio normativo se. 8 (2)

ELENCO MANIFESTAZIONI D'INTERESSE RITENUTE PRIORITARIE 2° BANDO - ATO 6					
N° REPERTORIO	***BUONE PRATICHE COSTRUTTIVE***				
	VASCA PRIMA PIOGGIA	RECUPERO ACQUE PIOVANE	SMALIMENTO CON CADITOIE DRENANTI	TETTI VERDI	PARCHEGGI GRIGLIATI
307	si	si	si	si	si

Tabella 3: Condizioni del repertorio normativo se. 8 (3)

Tali condizioni verranno assolte attraverso:

- *Condizioni del repertorio normativo se. 8 (1):* soddisfatte dalla realizzazione di un fosso di infiltrazione e il sovradimensionamento condotte;
- *Condizioni del repertorio normativo se. 8 (2):* lo smaltimento delle acque avverrà a mezzo di pozzi disperdenti, data l'assenza di recettori superficiali;
- *Condizioni del repertorio normativo se. 8 (3):* le acque meteoriche ricadenti sulle coperture verranno recuperate per un loro riutilizzo; le acque di prima pioggia ricadenti sui parcheggi interni, prima dello scarico nella rete drenante, verranno inviate ad una vasca di prima pioggia.