

Richiesta di autorizzazione allo scarico nella roggia Balzarina
di acque meteoriche provenienti dal nuovo ambito di
trasformazione residenziale AT 2 a Lodi Vecchio.

Allegato 1 : Relazione idrologica e idraulica

○

Committente : Immobiliare San Lorenzo srl

Via San Rocco 4, Lodi Vecchio,

aprile 2017

1 Relazione idrologica

1.1 Analisi pluviometrica

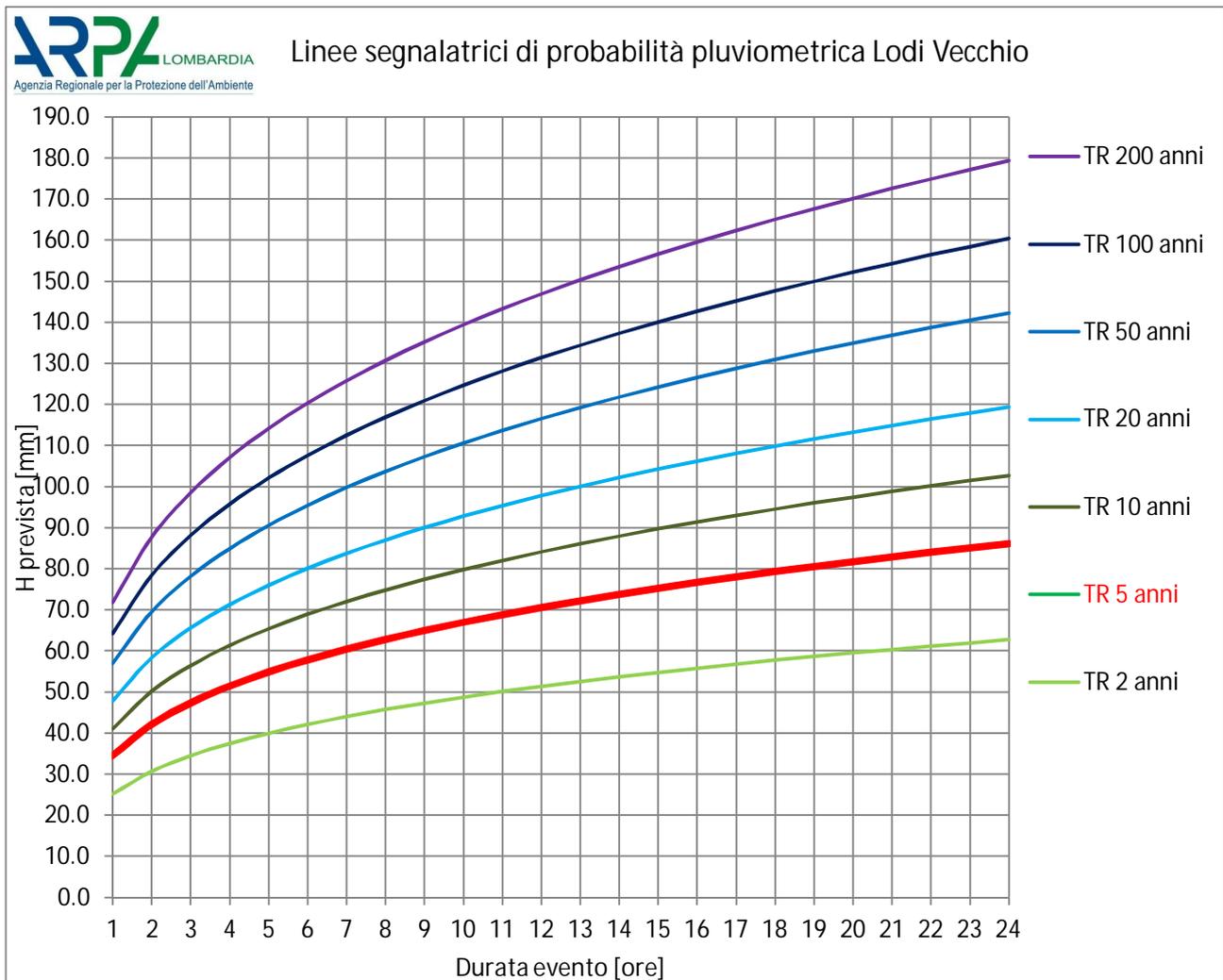
1.1.1 Premessa

Lo scopo di un'analisi pluviometrica consiste nel determinare, per un dato tempo di ritorno, una stima dell'altezza di pioggia puntuale per differenti durate dell'evento. Il tempo di ritorno (TR) è definito come l'intervallo temporale entro cui una certa altezza di precipitazione viene eguagliata o superata mediamente una volta e misura quindi il grado di rarità dell'evento.

La stima dell'altezza di precipitazione attesa avviene mediante regolarizzazione statistica, individuando cioè una distribuzione teorica di probabilità che ben si accordi con i valori osservati.

1.1.2 Dati ed elaborazioni considerate

L'elaborazione fornita da ARPA con il GIS <http://idro.arpalombardia.it/pmapper-4.0/map.phtml> indica per Lodi Vecchio curve di possibilità pluviometrica (CPP) a due parametri: $h = at^n$ per l'intervallo 1-24 ore e 1-5 giorni. Di seguito si riferiscono i dati relativi all'intervallo 1-24 ore che sono i più rappresentativi per bacini di piccole dimensioni. E' evidenziata la curva relativa a TR 5 anni perché in letteratura è ritenuta la più opportuna da verificare per aree residenziali.



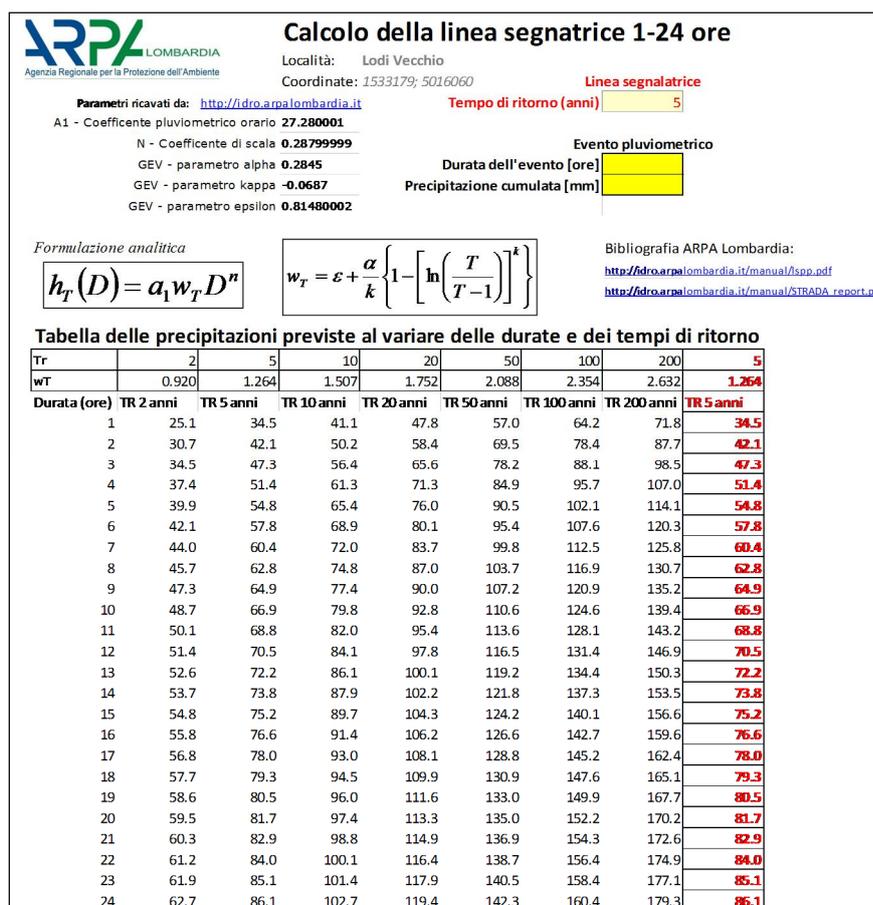


Figura 1: CPP nel sito di progetto da ARPA Lombardia

Per durate inferiori a 1 ora, che interessano bacini con tempi di concentrazione t_c di pochi minuti, sono disponibili un numero estremamente ridotto di stazioni, con letture da registrazioni su carta relative a intervalli differenti e non regolari.

A tale proposito però l'ATO di Lodi ha prodotto nel 2010 lo "Studio idrologico delle precipitazioni di breve durata ed elevata intensità nell'ATO di Lodi ai sensi dell'art. 5, c.3 del R.R. n. 4/2006". I valori impiegati dall'ATO sono desunti dalle tabelle III e V della sezione B della parte prima degli Annali Idrologici, dall'allegato 2 "Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica puntuali – Serie storiche delle precipitazioni di notevole intensità" alla "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Po e da alcune pubblicazioni riferite in bibliografia dal documento citato.

L'elaborazione ha consentito il calcolo delle Curve di Probabilità Pluviometrica CPP a tre parametri, trattando congiuntamente le altezze $h_{SDR}(t,T)$ calcolate a partire dai dati degli eventi brevi e intensi e le altezze $h_{AM}(t,T)$ calcolate a partire dai dati dei massimi annuali delle piogge di durata superiore o uguale ad un'ora, ottenendo presso ciascuna stazione le altezze $h(t,T)$ su tutto il campo di durata.

La scelta della forma tri-parametrica è motivata dal fatto che essa consente una migliore approssimazione dei valori delle precipitazioni al variare della durata dell'evento.

Impiegando una relazione nella forma: $h = \frac{a \cdot t}{(t+b)^c}$ (Sistemi di Fognatura – Manuale di Progettazione; CSDU; Hoepli; 1997), le altezze $h(t,T)$ sono state interpolate attraverso una procedura di kriging al fine di

determinare la loro variazione spaziale all'interno della regione considerata, ottenendo per Lodi Vecchio il seguente prospetto, (t in ore, h in mm):

TR (anni) Lodi Vecchio	a	b	m (o c)
2	30.82	0.204	0.7925
5	41.78	0.204	0.7925
10	49.04	0.204	0.7925

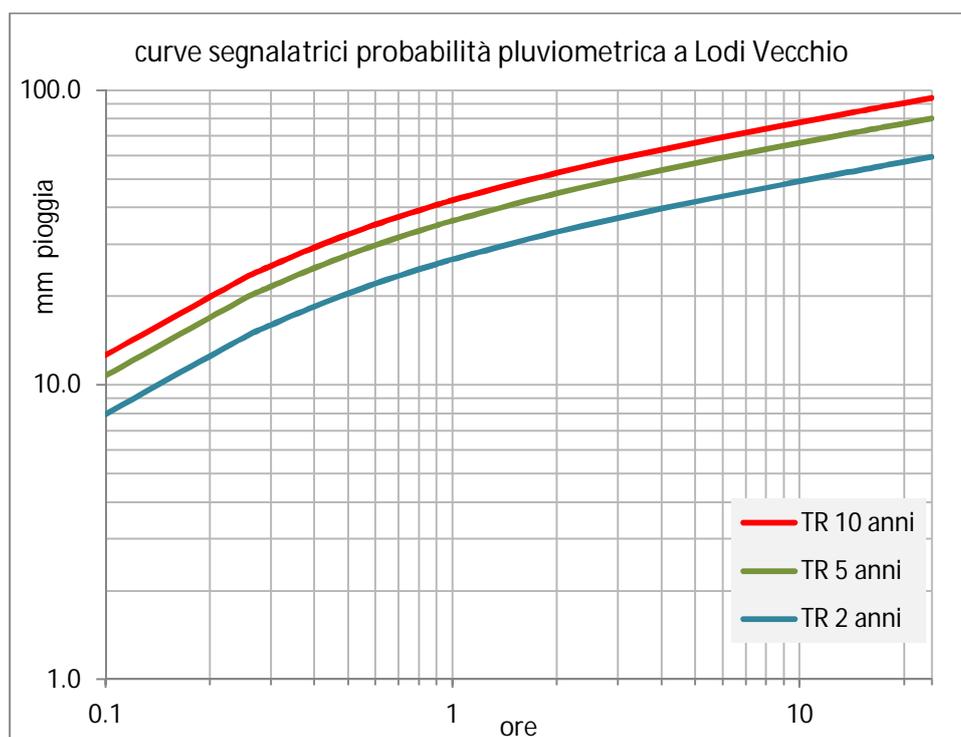


Figura 2: Curve di probabilità pluviometrica (CPP) derivate dai dati dallo *Studio idrologico delle precipitazioni di breve durata ed elevata intensità nell'ATO di Lodi (2010)*.

Dai dati sopra riportati si determina direttamente il coefficiente udometrico riportato nella seguente tabella per un tempo di corrivazione di 15 minuti:

TR (anni) Lodi Vecchio	u (l/s*ha) (in 15 minuti)
2	160
5	212
10	250

Il tempo di 15 minuti è indicato dal documento ATO in coerenza a quanto previsto dal R.R. 24 marzo 2004, articolo 5 comma 3, che pur riguardando il dimensionamento delle reti di convogliamento di aree industriali e commerciali, può essere utilmente preso a riferimento anche per quelle residenziali.

Nel lotto in esame il tempo di corrivazione è inferiore ai 15 minuti: ad esempio con la relazione di Kerby, W.S. 1959¹ che è applicabile a zone pianeggianti di dimensioni inferiori a 4 ettari :

$$T_c = 0.6061 (N*L)^{0.47} * S^{-0.23}$$

Dove N è il fattore di ritardo, pari a 0,02 con superfici in asfalto o calcestruzzo;
L è la lunghezza dello scorrimento superficiale in Km, in questo caso 0,23 Km;
S è la pendenza del percorso posta pari a 0,01

si ottiene $T_c = 0,141$ ora , ossia 8,5 minuti, da cui si ottengono i seguenti valori

TR (anni) Lodi Vecchio	u (l/s*ha) (in 8,5 minuti)
2	199
5	269
10	316

1.2 Elementi di calcolo delle portate

La portata massima affluente con TR 5 anni è quindi per la superficie di impermeabile affluente di 5000 mq di circa 135 l/s .

La CPP può essere espressa in formula binomia $h = at^n$ per applicarla al calcolo delle portate affluenti nelle singole caditoie: per tempi inferiori a 18 minuti si ottiene $a = 47,052$ ed $n = 0.641$.

Le portate affluenti alle singole caditoie sono state calcolate applicando la procedura descritta ai paragrafi 8.2 (*moto vario lineare su superficie scolante*) e 8.3 (*determinazione della pioggia critica per una superficie scolante*) della citata pubblicazione Sistemi di Fognatura – Manuale di Progettazione; CSDU; Hoepli; 1997.

Il dimensionamento dei tratti di fognatura è stata fatta applicando le relazione di *Escritt* e di *Colebrook-White* in un foglio di calcolo, considerando un fattore di riempimento dei condotti di 0,75.

L'esito delle elaborazioni è espressa nella planimetria di Figura 3 e Figura 4.

Le quote di fondo tubo (f.t.), quelle dello stato attuale e delle strade in progetto sono riferite allo 0,0 di riferimento presso la rotatoria posta a ovest dell'ambito di trasformazione.

Si ribadisce quanto precisato nell'istanza in merito alle superfici drenate, che sono costituite esclusivamente dalla strada pubblica, dai relativi parcheggi, dalle strade e parcheggi privati e dei corselli eventualmente impermeabili. Le acque provenienti dai tetti delle abitazioni (2500 m²) saranno accumulati, eventualmente anche attuando forme di recupero, e disperse nel sottosuolo che presenta caratteristiche favorevoli a tale impiego, con falda a profondità di circa 4,0 metri dall'attuale superficie topografica e terreni in gran parte sabbiosi già dal primo metro.

¹ Kerby, W.S. 1959. *Time of concentration for overland flow. Journal of Civil Engineering* 26(3). Amer. Soc. of Civil Eng., Reston, VA. pp. 60.



Figura 3: planimetria fognatura acque bianche con vasca di laminazione. Scala 1:1000.



Figura 4: dettaglio con planimetria della vasca di laminazione e dello scarico. Scala 1: 300. In basso sezione indicativa della vasca di laminazione in scala 1: 100.

2 Verifica dei volumi di accumulo

L'Appendice G "Direttive in ordine alla programmazione e progettazione dei sistemi di fognatura" delle N.T.A. del Programma di Tutela ed Uso delle Acque (P.T.U.A.), approvate con D.G.R. n. 8/2244 del 29 marzo 2006, individua gli interventi atti a ridurre le portate di pioggia derivanti dalle aree di futura urbanizzazione.

Nella direttiva si precisa che nelle nuove reti di fognatura relative ad aree di ampliamento di aree dove NON è configurabile un'apprezzabile contaminazione delle acque meteoriche, lo smaltimento delle portate dovrà avvenire sul suolo o nel sottosuolo, ad adeguata distanza dalla falda freatica, o in corpi idrici superficiali limitando la portata entro i 20 l/(s*ha).

La direttiva specifica inoltre che "ai fini dell'equilibrio idrologico sotterraneo, le vasche volano potranno avere fondo disperdente, ovunque possibile in relazione alle caratteristiche del suolo e alla natura delle acque da invasare".

La distanza della falda dalla superficie è stata individuata durante l'indagine geotecnica di PGT ed è ritenuta a profondità non inferiori a -4 metri dal piano campagna .

In una nota predisposta dall'ATO di Lodi² è illustrato un metodo semplificato di calcolo dei volumi di invaso necessari per limitare le portate meteoriche scaricate nei ricettori, facendo riferimento al metodo delle "sole piogge" sulla base delle curve di possibilità pluviometrica precedentemente illustrate .

Nel documento ATO si osserva che calcoli di dimensionamento delle tubazioni devono essere opportunamente svolti facendo riferimento a curve di possibilità pluviometrica valide per eventi di durata inferiore all'ora (scrosci o *short duration rainfall - SDR*). Nelle reti interne d'insediamenti con estensione delle superfici scolanti al più di qualche ettaro, infatti, è ragionevole attendersi che l'ordine di grandezza della durata della pioggia critica, assunta pari al tempo di corrivazione del bacino, ovvero al tempo di concentrazione della rete calcolato con il metodo cinematico, sia generalmente dell'ordine di pochi minuti e comunque inferiore ad un'ora.

In merito ai tempi di ritorno (TR) da considerare per la progettazione, il Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri 4 marzo 1996 Disposizioni in materia di risorse idriche S.O. n.47, GU, s.g., n.62 del 14.03.1996 nel § 8.3.5. Drenaggio Urbano specifica che "Ai fini del drenaggio delle acque meteoriche le reti di fognatura bianca o mista debbono essere dimensionate e gestite in modo da garantire che fenomeni di rigurgito non interessino il piano stradale o le immissioni di scarichi neri con frequenza superiore ad una volta ogni cinque anni per ogni singola rete".

Un'indicazione tecnica contenuta nel documento ATO suggerisce invece quanto segue: "La scelta del tempo di ritorno della pioggia critica deve essere condotta in funzione della tipologia dell'area e si suggerisce di utilizzare $T = 2$ anni nelle zone residenziali, $T = 5$ anni nelle aree produttive, industriali o commerciali e $T = 10$ anni nelle zone ove eventuali allagamenti dovuti ad insufficienza delle condotte possano determinare situazioni di pericolosità [C. Ciaponi - Conoscenza ed affidabilità dei sistemi fognari; Acqua e Città, I° Convegno Nazionale di Idraulica Urbana; Sorrento; 2005].

² Autorità d'Ambito di Lodi "Calcolo con il metodo delle piogge dei volumi di invaso necessari per limitare le portate meteoriche scaricate nei ricettori tramite vasche volano. Formule semplificate (ai sensi dell'Appendice G alle N.T.A. del P.T.U.A.). Lodi, Settembre 2010.

In pratica tenuto conto dell'incremento generalizzato degli episodi intensi negli ultimi decenni, che hanno condotto ad esempio a osservare valori di oltre 40 mm in un'ora a Lodi a Novembre 2014, pare non eccessivo utilizzare come riferimento il valore di TR = 10 anni, valore per il quale è stato elaborato il documento ATO.

L'analisi delle precipitazioni riassunta nel paragrafo precedente, è stata condotta facendo uso di una legge di distribuzione di probabilità a tre parametri detta GEV - *General Extreme Value*, che rappresenta una famiglia di distribuzioni di probabilità continua sviluppata all'interno della teoria del valore estremo, nota anche come distribuzioni di valore estremo tipo I, II e III. La GEV ha funzione di probabilità cumulata o ripartizione $P(x) = \exp\left(-\left(1 - k\left(\frac{x-u}{a}\right)^{1/k}\right)\right)$ ed i parametri u (indice di posizione), a (parametro di scala) e k (parametro di forma) sono stati ottenuti con procedura di stima regionale mediante il metodo del valore indice, basato sui valori medi regionali dei momenti pesati in probabilità, utilizzando le osservazioni relative a tutti i pluviografi.

Per l'analisi locale degli scrosci (o *SDR*), poiché i dati delle piogge di durata inferiore l'ora sono meno presenti sugli Annali e l'affidabilità statistica risulta insufficiente, l'autore ha raggruppato dati di diverse durate in modo tale da creare campioni più consistenti ed ha impiegato l'Extreme Value Type 1 - EV1 o di Gumbel a due parametri, espressa dalla relazione $P(x) = \exp\left(-e^{-\frac{x-u}{a}}\right)$.

Il documento ATO considera, come detto, T = 10 anni ed assume le seguenti ipotesi:

- che sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante;
- che la vasca volano approntata per contenere le portate meteoriche scaricate operi una "*laminazione ottimale*", ovvero che lo scarico in uscita dalla vasca avvenga a portata costante Q_u ;
- che lo ietogramma della pioggia, uniformemente distribuita nello spazio, sia rettangolare, ovvero che l'intensità i della pioggia sia costante per tutta la durata dell'evento.

In tali condizioni, in occasione di una precipitazione di durata t , il volume di pioggia in arrivo alla vasca è pari a: $V_{IN} = \varphi \cdot S \cdot i \cdot t = \varphi \cdot S \cdot h(t)$, dove φ ed S sono rispettivamente il coefficiente d'afflusso medio e l'estensione in ettari del bacino drenato a monte della vasca.

Posto u il coefficiente udometrico di progetto, ovvero stabilito il valore massimo della portata specifica rispetto all'unità di area del bacino drenato, espressa in l/(s*ha) ammessa allo scarico nel ricettore finale (20 l/(s*ha) definiti dal PTUA), il volume in uscita al tempo t è pari a: $V_{OUT} = u \cdot S \cdot t = Q_u \cdot t$.

Il volume invasato ΔV è pari alla differenza tra i volumi $V_{IN} - V_{OUT}$, ossia $\Delta V = \varphi \cdot S \cdot h(t) - Q_u \cdot t$

Il volume da assegnare alla vasca è pari al massimo del volume invasato, che si verifica in corrispondenza della durata di pioggia critica t_{CR} del sistema, a sua volta pari al valore di t che rende nulla la derivata $\frac{\partial \Delta V}{\partial t}$.

$$\text{pertanto si ha } \frac{\partial \Delta V}{\partial t} = \frac{\varphi \cdot S \cdot \delta h(t)}{\delta t} - Q_u = \frac{\varphi \cdot \delta h(t)}{\delta t} - u = 0$$

Dove u rappresenta il volume d'invaso unitario (per ettaro).

Sostituendo ad $h(t)$ i parametri della formula trinomia di CPP $h = \frac{a \cdot t}{(t+b)^c}$ e derivando si ottiene:

$$\frac{\partial \Delta V}{\partial t} = \varphi \cdot a \cdot [(b+t)^{-c} - t \cdot c \cdot (b+t)^{-m-1}] - u = 0$$

La relazione non può essere risolta in modo esplicito, ed il valore t_{CR} cercato per il quale assume valore nullo è stato calcolato da ATO con metodi numerici, con algoritmo "zero finder".

Il documento esaminato non fornisce i dettagli dell'elaborazione ma alcune tabelle di sintesi in funzione della località, del valore del coefficiente medio di afflusso F (nel nostro caso considerato pari a 1,0 perché trattasi di superfici impermeabili ed è trascurabile l'intercettazione generata dalle superfici), e del valore di u (nel nostro caso $u = 20 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$).

Le località compaiono associate a parametri di calcolo indicati con h, y, k, d, x che derivano dalla legge probabilistica adottata nell'analisi e segnatamente della distribuzione GEV - General Extreme Value.

Le relazioni fornite per individuare i valori di t_{CR} e il volume massimo da invasare ΔV_{MAX} , in funzione di F e dei citati parametri della località sono le seguenti:

$$\Delta V_{MAX} = \frac{h\varphi}{(\varphi - y)^{-k}} \quad t_{CR} = \delta\varphi - x$$

I valori dei parametri delle relazioni precedenti validi per il comune di Lodi Vecchio e calcolati per $u = 20 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{ha})$ sono i seguenti :

Lodi Vecchio	h	y	k	d	x
	405	0.167	0.34	2.069	0.028

Per cui si ottiene rispetto al valore unitario di 1 ha

$$\Delta V_{MAX} = \frac{405 \cdot 1}{(1 - 0.167)^{-0.34}} = 405 / 1.064 = 380 \text{ m}^3 \text{ per ettaro impermeabile}$$

$$t_{CR} = 2,069 \cdot 1 - 0,028 = \mathbf{2,1 \text{ ore}}$$
 (122 minuti) per ettaro

Considerando la superficie impermeabile di 0,5 ha il volume di vuoti necessario per laminare la piena con TR di 10 anni sarà di 190 m^3 .

A riscontro del risultato ottenuto con la precedente elaborazione si riporta una tabella riferita nella citata pubblicazione "sistemi di fognatura" AAVV, 1997, Hoepli, "I volumi specifici sono stati ottenuti mediante simulazioni dalla serie pluviometrica di Milano nel periodo 1971-1992 con il metodo cinematico (Paoletti e Becciu, 1997).

Portata in uscita $q_{u,max}$ [l/(s x ha _{imp})]	Tempi di corrivazione [min]								
	10	30	60	10	30	60	10	30	60
5	770	735	720	1100	1075	1050	1250	1245	1240
10	560	540	520	790	775	760	1000	990	980
20	410	385	360	490	465	440	740	720	700
30	380	340	300	440	410	380	650	625	600
40	340	305	270	400	360	320	600	560	520
50	320	270	220	370	225	280	510	470	430
70	270	215	160	310	260	210	400	340	280

100	200	125	50	220	145	75	230	165	100
		5			10			20	
Tempo di ritorno [anno]									

Tabella 2, pag. 381 - Valori della capacità specifica (m^3/ha_{imp}) delle vasche volano.

Si osserva che il valore dei volumi per ettaro con $u = 20 \text{ l/(s*ha)}$ e $TR = 10$ anni, sono di 490 m^3 per tempi di corrivazione prossimi a quelli individuati per l'area in esame (8,5 minuti) e risultano quindi superiori del 28% rispetto a quello determinato dall'ATO di Lodi.

La ragione di questa differenza è in buona parte dovuta al gradiente pluviometrico della pianura, che indica un chiaro incremento verso NNW. Ad esempio nello studio sugli eventi brevi dell'ATO il valore del coefficiente uometrico con TR 10 anni passa da 250 l/(s*ha) a Lodi Vecchio a 295 l/(s*ha) a Milano.

In merito le indicazioni del Consorzio Muzza per il dimensionamento di vasche volano individuano come riferimento il valore di 460 m^3 per ettaro impermeabile, che come si vede si colloca in posizione circa intermedia tra quello ottenuto nell'elaborazione ATO per il comune di Lodi Vecchio (con TR 10 anni e $u = 20 \text{ l/(s*ha)}$) e quello proposto da Paoletti e Becciu per Milano.

Lo schema riferito nelle Figura 3 e Figura 4 accoglie quindi quest'ultima indicazione (230 m^3 per $0,5 \text{ ha}$ di superficie impermeabile), che alla luce delle elaborazioni sopra esposte appare sicuramente cautelativa.