



# VALUTAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

(D.G.R. Veneto n°3637/2002 e n°1841/2007 )

## DEL PIANO DI ASSETTO DEL TERRITORIO COMUNALE

(L.R.Veneto n°<sup>11</sup>2004 art.3)

Elaborato adeguato alle prescrizioni approvate con la Conferenza Decisoria del 21 marzo 2014

## ELABORATO RELAZIONE CON ALLEGATI GRAFICI E NUMERICI

2						
1	03/2009	Seconda emissione	F.T.	F.T.	-	G.Z.
0	02/2009	Prima emissione	F.T.	F.T.	-	G.Z.
REV.	DATA	DESCRIZIONE DELLA REVISIONE	ESEGUITO	VERIFICA TECNICA	VERIFICA SICUREZZA	APPROVATO
SCALA:	-	UM: -	FILE: VCI-1030	FIRMA	FIRMA	FIRMA
Ai sensi della legge sul diritto d'autore (L. 633 del 22/04/1941) è vietata la riproduzione, duplicazione, consegna a Terzi, anche parziale, del presente elaborato senza preventiva autorizzazione scritta del progettista. Tutti i loghi e i marchi utilizzati appartengono ai legittimi proprietari.				TIMBRO e FIRMA		LAVORO 1030
ingegnere GIULIANO ZEN 31037 - LORIA (TV) - via Cantoni di Sotto 35/a tel. 0423470471 - fax 0423470471 C.F. ZNEGLN59L21C111V - P.I. 01886560265						N° ELABORATO Unico
						ANNO 2009

## INDICE

01 - INTRODUZIONE .....	2
02 - IL PIANO ASSETTO DEL TERRITORIO DI PADOVA .....	2
03 - ATTIVITA' CONOSCITIVA .....	3
03.01 - CLIMATOLOGIA .....	3
03.02 - ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI.....	4
03.03 - CARATTERI MORFO-GEOLOGICI E LITOLOGICI GENERALI .....	4
03.04 - CARATTERI IDROGEOLOGICI IN GENERALE.....	5
03.05 - CARATTERI IDROGRAFICI IN GENERALE .....	6
03.05.01 - LA RETE DI BONIFICA.....	7
03.05.02 - IDROGRAFIA PRINCIPALE DI PADOVA .....	8
03.05.02.01 - I PRINCIPALI MANUFATTI IDRAULICI DI PADOVA .....	12
03.05.02.02 - IDROGRAFIA SECONDARIA DI PADOVA.....	14
03.05.02.03 - I CANALI STORICI DELLA CITTA' .....	16
03.05.03 - LA FOGNATURA DI PADOVA.....	17
03.05.03.01 - STATO DELLA PIANIFICAZIONE .....	17
03.05.03.02 - QUALITA' DELLE ACQUE E TRATTAMENTI DEPURATIVI .....	18
03.05.04 - LA GESTIONE DELLE ACQUE DI PIOGGIA IN PADOVA.....	19
03.05.04.01 - ACQUE DI PIOGGIA E SITUAZIONE DI MAGRA .....	19
03.05.04.02 - ACQUE DI PIOGGIA E SITUAZIONE DI PIENA .....	20
04 - IL RISCHIO IDRAULICO .....	20
04.01 - LA CARTOGRAFIA DEL RISCHIO .....	21
04.02 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AI FIUMI MAGGIORI .....	22
04.02.01 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AL BRENTA.....	22
04.02.02 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AL BACCHIGLIONE .....	22
04.02.03 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AL MUSON DEI SASSI .....	22
04.03 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO ALLA RETE SECONDARIA.....	23
05 - LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO.....	25
05.01 - SCELTE STRATEGICHE DEL PAT GUARDANDO AL FUTURO .....	25
05.02 - SCELTE STRATEGICHE DEL PAT GUARDANDO AL PASSATO .....	29
06 - IL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL BRENTA-BACCHIGLIONE .....	32
07 - LA STABILIZZAZIONE IDRAULICA .....	33
08 - CONCETTI DI MITIGAZIONE IDRAULICA RESI OBBLIGATORI DAL PAT .....	34
09 - NORMATIVA SPECIFICA PER PADOVA.....	53
09.01 - SCHEDA PADOVA .....	53
10 - CONCLUSIONI.....	59

## 01 - INTRODUZIONE

La presente relazione costituisce la Valutazione di Compatibilità Idraulica (VCI) del Piano per l'Assetto del Territorio di Padova (PAT), predisposta ai sensi delle Delibere della Giunta Regionale del Veneto n°3637/2002 e n°1322/2006. Dopo la D.G.R. n°3637 del 13/12/2002 è necessario valutare la compatibilità idraulica dei nuovi strumenti urbanistici; la procedura deve essere applicata *"... agli strumenti urbanistici generali o varianti generali o varianti che comportino una trasformazione territoriale che possa modificare il regime idraulico"*. Dalla valutazione si deve desumere *"che non viene aggravato l'esistente livello di rischio idraulico né viene pregiudicata la possibilità di riduzione attuale e futura di tale livello"*; la valutazione deve indicare *"le misure compensative introdotte nello strumento urbanistico ai fini del rispetto delle condizioni esposte"*.

Come vedremo meglio nel prosieguo i fattori che incidono sul rischio idraulico in ampie zone del Comune di Padova sono principalmente: a) urbanizzazione non mitigata dal punto di vista idraulico; b) scarsa manutenzione delle vie d'acqua; c) pericolosità correlata alle grandi vie d'acqua presenti sul territorio (fiumi Bacchiglione e Brenta). Il PAT, continuando la strada tracciata dal PATI dell'Area Metropolitana di Padova, può diventare occasione per superare l'approccio contingente di *gestione dell'emergenza* che spesso contraddistingue la difesa e salvaguardia idraulica, ponendo innanzitutto a base delle decisioni la lettura integrata delle diverse componenti del ciclo idrologico e della dinamica delle piene dei corsi d'acqua sia in ambito urbano (rete di fognatura bianca, impermeabilità del territorio antropizzato) che in ambito rurale (scoli, fossati e canali).

Il contenuto della presente Valutazione di Compatibilità Idraulica è essenzialmente tecnico e serve alla descrizione generale dei sistemi fisici indagati ed a motivare le scelte che trovano riscontro nella vincolistica e nell'identificazione delle opere e delle priorità di intervento. Per gli aspetti normativi espliciti e per le questioni programmatiche generali si richiamano inoltre gli elaborati urbanistici del PAT; il PAT di Padova assorbe e fa proprie le indicazioni e le prescrizioni della presente Valutazione di Compatibilità Idraulica.

Gran parte del quadro conoscitivo circa la situazione idraulica di Padova e buona parte delle prescrizioni destinate a programmare gli interventi di mitigazione idraulica nel territorio sono stati ricavati dallo Studio di Compatibilità Idraulica predisposto nel 2003 da parte della Protecno srl (ingegneri Adami, Comola e Pirrone), durante l'iter urbanistico della "Variante per la ridefinizione del sistema dei servizi e delle norme".

## 02 - IL PIANO ASSETTO DEL TERRITORIO DI PADOVA

La L.R. 11/2004 prevede una programmazione "strutturale" o di Assetto del Territorio (PAT=Piano Assetto del Territorio) ed una "operativa" o degli Interventi (PI=Piano di Intervento). La presente Valutazione di Compatibilità Idraulica del PAT di Padova approfondisce quindi gli aspetti idraulici relativamente ad un Piano propriamente di natura "strutturale"; per tale motivo la presente VCI, su determinati aspetti relativi alla salvaguardia idraulica del territorio comunale rimanda ad approfondimenti da predisporre in fase di redazione dei Piani di Intervento. Il tematismo "difesa del suolo" è già stato trattato dal PATI Area Metropolitana di Padova; nel PATI sono state definite le aree a maggiore rischio di dissesto idrogeologico, e le aree esondabili, e sono stati precisati gli indirizzi e le prescrizioni generali per gli interventi di trasformazione urbanistica ed edilizia nelle aree urbanizzate o da urbanizzare. Gran parte delle prescrizioni e gran parte del quadro conoscitivo del PATI viene ripreso nella presente Valutazione di Compatibilità Idraulica.

Gli elaborati del PAT (che si intendono allegati alla presente VCI) comprendono: a) la relazione tecnica, b) la banca dati alfa numerica e vettoriale del quadro conoscitivo, c) le norme tecniche e gli elaborati grafici (*Carta dei vincoli e della Pianificazione Territoriale, dalla Carta delle Invarianti, dalla Carta delle Fragilità, e infine la Carta della Trasformabilità*).

Il PAT di Padova conferma le previsioni urbanistiche del settore produttivo-commerciale previste dal vigente Piano Regolatore Generale (PRG) e, sempre per il settore produttivo-commerciale, recepisce le previsioni del PATI Area Metropolitana di Padova. Essendo il PAT un piano "strutturale" e non operativo negli elaborati urbanistici (vedi tavola della "trasformabilità" allegata al PAT) le aree produttive nuove sono dotate di "direzioni di espansione". Le nuove aree di trasformazione fanno quindi riferimento alle *linee preferenziali di sviluppo insediativo* (parti del territorio in cui inserire, con i PI, le nuove aree di espansione, definendone modalità di intervento, destinazioni d'uso ed indici edilizi). Si osservi come per tutte le direzioni di espansione non è possibile indicare il valore esatto di superficie edificabile massima ammissibile; per tale motivo la presente Valutazione di Compatibilità evidenzierà i parametri da rispettare per acquisire la mitigazione idraulica ma senza operare un predimensionamento dei volumi di invaso necessari ovvero potranno eseguirsi conteggi di massima ma privi di riferimento rispetto al contesto territoriale.

Il PAT di Padova indica le previsioni dei nuovi tracciati ed i potenziamenti delle infrastrutture viarie di livello sovracomunale ed a livello comunale (le previsioni a livello sovracomunale sono assorbite dal PATI dell'Area Metropolitana). La rappresentazione cartografica dei tracciati costituisce *indicazione sommaria* rispetto alla ubicazione degli effettivi tracciati che andranno definiti in sede di specifica progettazione preliminare e definitiva. Sono previsti itinerari di interesse turistico e storico-ambientale realizzati in sede protetta e dotati di idonea segnaletica logica e coerente, nonché muniti di idonee opere di mitigazione e di messa in sicurezza della mobilità (in particolare le piste ciclabili).

Dal punto di vista del sistema insediativo il PAT prevede varie direzioni di espansione (future urbanizzazioni o interventi soggetti a PUA). L'aumento volumetrico sul residenziale previsto dal PAT ammonta a circa 1.270.000 m<sup>3</sup> a cui vanno aggiunti 2.600.000 m<sup>3</sup> di capacità residua ereditata dal PRG.

Oltre al tematismo del residenziale e del produttivo il PAT introduce vari altri temi: stazioni SMFR, nuovi itinerari ambientali e storici, istituti superiori da potenziare, nuovi impianti sportivi, 1 nuovo polo ospedaliero, poli ospedalieri esistenti da qualificare, impianti sportivi esistenti da potenziare, nuove linee metrobuses, viabilità esistente da potenziare, polo culturale-ludico-scientifico, una nuova stazione autolinee extraurbane, vari parcheggi a valenza metropolitana e comunale, 1 corridoio plurimodale.

Si rimanda alla documentazione urbanistica (NTA, relazione, tavole grafiche) per gli approfondimenti circa le previsioni di assetto futuro del territorio del Comune di Padova.

### **03 - ATTIVITA' CONOSCITIVA**

#### **03.01 - CLIMATOLOGIA**

Il clima di Padova rientra nella tipologia mediterranea pur presentando alcune caratteristiche tipicamente continentali legate alla posizione climatologica di transizione: in particolare inverni rigidi ed estati calde ed umide. I dati del quadro conoscitivo per la climatologia sono stati ricavati in gran parte dal "*Rapporto sugli indicatori ambientali del Veneto - 2002*" edito dall'ARPAV e riguardano indicazioni relative ai dati medi del trentennio 1961-1990 raffrontati con i dati rilevati nel quinquennio 1995-1999 (questi ultimi ricavati da stazioni meteorologiche gestite da ARPAV - Centro Meteorologico di Teolo). Per quanto riguarda le temperature dal quadro di dati raccolti si osserva che il territorio registra una tendenza generale al riscaldamento: la temperatura massima estiva media registrata nel trentennio 1961-90 passa dai 27 °C ai 28 °C nel quinquennio 1995-1999; analogamente la temperatura massima invernale media registrata passa dagli 8°C nel trentennio 1961-90 ai 9°C nel quinquennio 1995-999.

Il Comune di Padova presenta un "tipo" pluviometrico intermedio fra il sublitoraneo alpino e il sublitoraneo appenninico (picco di pioggia in primavera e in autunno). I mesi meno piovosi sono gennaio (media mensile 70 mm), febbraio (74 mm), dicembre (78,2 mm) e marzo (84,6 mm); i mesi a maggior piovosità sono maggio (media mensile di 145,8 mm), giugno (124,5 mm), novembre (118,3 mm) e ottobre (116,5 mm). Relativamente alle precipitazioni medie annue si registra un valore di circa 850-900 mm/anno; tendenzialmente abbiamo una maggiore concentrazione nelle stagioni primaverili ed autunnali ed in genere inverni relativamente siccitosi.

Padova offre una delle serie di osservazioni pluviometriche più lunghe a livello mondiale, quella dell'Osservatorio Astronomico di Padova che data dal 1725 e senza interruzioni continua fino al 1934, pur con qualche variazione nel tipo e nella ubicazione del pluviometro (tra le quali variazioni va particolarmente segnalata quella del 1878 che ha visto la sistemazione della bocca ricevitrice a forma quadrata di 0,4 m<sup>2</sup> a 21 m dal suolo); nel 1878 inizia la cosiddetta serie moderna. Dal 1920 sono iniziate le osservazioni all'Osservatorio G. Magrini dell'Ufficio Idrografico del Magistrato alle Acque con la bocca del pluviometro a 120 cm dal suolo. I dati di sintesi della serie sono: media delle precipitazioni fra il 1725 e il 1934 (210 anni) pari a 856,5 mm; tra il 1725 e il 1877 abbiamo 872,7 mm; fra il 1878 e il 1934 abbiamo 813,1 mm. Nell'osservatorio Magrini fra il 1920 e il 1958 la media è 853,7 mm. Prendendo tutte le serie abbiamo fra il 1725 e il 1958 il valore medio di 828,3 mm.

### 03.02 - ANALISI STATISTICA DELLE PRECIPITAZIONI

L'elaborazione statistico-probabilistica dei dati pluviometrici (vedi allegato **N**) ha fornito le seguenti curve caratteristiche segnalatrici di pioggia (legame fra altezza  $h_p$  delle precipitazioni e la loro durata  $t$  in funzione del tempo di ritorno  $T_R$ , nel nostro caso periodo di 50 anni nel quale un determinato evento pluviometrico è mediamente uguagliato o superato una volta).

0<t<=37 min	0<t<=0,62 ore	→	$h_p=61,04t^{0,418}$
37<t<=50 min	0,62<t<=0,84 ore	→	$h_p=61,79t^{0,444}$
50<t<=61 min	0,84<t<=1,02 ore	→	$h_p=60,16t^{0,286}$
61<t<=271 min	1,02<t<=4,52 ore	→	$h_p=61,99t^{0,247}$
271<t<=469 min	4,52<t<=7,82 ore	→	$h_p=63,70t^{0,229}$
t>469 min	t>7,82 ore	→	$h_p=66,65t^{0,207}$

### 03.03 - CARATTERI MORFO-GEOLOGICI E LITOLOGICI GENERALI

Il territorio comunale di Padova presenta una pendenza media da nord-ovest verso sud-est; in vari punti si ravvisa la presenza di dossi morfologici formati durante antiche alluvioni o causati da interventi antropici (il territorio entro le mura storiche è stato più volte ricostruito sulle macerie di antichi edifici; sono presenti quote anche di 17-18 m s.m. mentre le quote ricorrenti nelle zone periferiche variano da 8-9 a 14-15 m s.m.). Padova, dal punto di vista altimetrico, può essere suddivisa nelle seguenti zone (vedi allegato **F**):

- a) zona compresa tra il canale Brentella, la ferrovia Padova-Vicenza, la Fossa Bastioni ed il Bacchiglione (pendenza da ovest verso est con quote comprese fra 11 e 15 m s.m.);
- b) la zona delimitata dal fiume Brenta, dalla ferrovia Padova-Vicenza, dalle mura storiche e dal canale Piovego a sud (pendenza da nord a sud, quote comprese fra 16-17 e 10-11 m s.m.);
- c) il centro storico di Padova compreso entro le mura e altre zone limitrofe comprese tra il Piovego, il canale di San Gregorio ed il Bacchiglione (pendenza varia e quote variabili fra 9-12 e 17-18 m s.m.);

d) la zona industriale compresa tra il Piovego, il canale San Gregorio ed il Roncajette Inferiore (quote comprese fra 8-9 e 11-12 m s.m.);

e) tutto il territorio a sud della via d'acqua Bacchiglione-Canale Scaricatore (pendenza da nord verso sud ovvero da nord-ovest verso sud-est con quote variabili fra 6-7 e 13-14 m s.m.).

L'area di Padova rientra nella fascia della Pianura Padana definita come bassa pianura: tale fascia si trova a valle della linea delle risorgive, dove, all'aumento di sedimenti più fini si accompagna l'innalzamento della falda. Questa fascia di pianura si è formata in seguito ad eventi alluvionali che risalgono, come vedremo meglio in seguito, al periodo tardoglaciale (Pleistocene). I principali fiumi che hanno contribuito alla formazione sono l'Adige, il Piave, il Tagliamento e in particolare, per l'area padovana, il sistema del Bacchiglione-Brenta. L'assetto stratigrafico dell'area risulta fortemente condizionato da peculiari meccanismi deposizionali che danno origine a numerose eteropie di facies ed interdigitazioni dei materiali sedimentati. La natura dei sedimenti è di due tipi: fluvio-glaciale e marina. I sedimenti marini intercalati a quelli continentali sono da mettere in relazione alle regressioni e trasgressioni occorse in seguito ad oscillazioni glacioeustatiche, e alla variazioni del rapporto tra apporto detritico e subsidenza, mentre quelli continentali sono dovuti all'azione deposizionale dei corsi d'acqua principali che solcano la Pianura. Dal punto di vista litologico la fascia di bassa pianura è costituita da un materasso costituito da depositi periglaciali e fluvioglaciali caratterizzati da granulometria mediofine (raramente ghiaie, in prevalenza sabbie e limi) interdigitati con sedimenti molto più fini (limi argillosi ed argille). I depositi più superficiali sono il risultato della deposizione dei fiumi (soprattutto il Brenta) che in periodo post-glaciale (Olocene) assunsero un'importante funzione di trasporto e di deposito: allo sbocco delle valli alpine venivano depositati ingenti spessori di materiale ghiaioso, sabbioso talora intercalato da livelli più fini, mentre man mano che i corsi d'acqua si addentravano nella pianura perdevano parte della loro capacità di trasporto, depositando sedimenti via via più fini, da sabbie a limi ed argille.

### **03.04 - CARATTERI IDROGEOLOGICI IN GENERALE**

L'assetto generale della pianura attorno a Padova vede un progressivo differenziamento del materasso alluvionale, passando dall'alta pianura alla bassa pianura. La coltre di sedimenti del materasso alluvionale è costituito in prevalenza da ghiaie nell'alta pianura, con un progressivo impoverimento di materiali grossolani a favore di materiali fini verso la bassa pianura. In corrispondenza del passaggio tra alta e bassa pianura, c'è la fascia delle risorgive. In questa striscia larga dai 2 agli 8 km, con andamento est-ovest, l'acqua infiltratasi a monte viene a giorno creando le tipiche sorgenti di pianura e alimentando diversi fiumi tra i quali il più importante è il Sile. La causa della venuta a giorno delle acque è da ricercarsi nel cambio di pendenza della superficie topografica e nella progressiva rastremazione superficiale dei materiali più permeabili. Il sistema multifalde è proprio della bassa pianura veneta, dove si hanno intercalazioni continue di livelli sabbiosi permeabili, sedi delle falde in pressione, e livelli argillosi impermeabili. Il sottosuolo della zona di Padova si inserisce nel sistema multifalda della bassa pianura veneta, con un alternanza, talvolta spiccata di livelli permeabili ed impermeabili. Si vengono perciò a formare acquiferi liberi, semiconfinati e acquiferi in pressione. In via generale si avrà una falda superficiale, poco profonda e di modesta "portata", direttamente interessabile da possibili fattori inquinanti.

Tale falda è ricaricata prevalentemente da acque meteoriche e indirettamente dagli apporti dei corsi d'acqua presenti nel territorio. Le falde sottostanti sono per lo più in pressione, alloggiate in acquiferi prevalentemente sabbiosi, separate da strati argillosi impermeabili. La falda superficiale ha profondità media di 2 m da p.c., con abbassamento della falda freatica da sud verso nord. Le oscillazioni medie della falda sono stimabili in  $\pm 1$  m nel corso delle variazioni annuali. Manca un modello univoco che relazioni falda, litologie presenti ed alvei fluviali attuali; questo fatto è dovuto all'alta variabilità litologica del sottosuolo.

### 03.05 - CARATTERI IDROGRAFICI IN GENERALE

Il territorio di Padova è localizzato tra i bacini idrografici del fiume Brenta, del fiume Bacchiglione e del bacino scolante in laguna di Venezia (vedi allegato **P**). L'intero bacino del Brenta-Bacchiglione copre una superficie di 5.831 km<sup>2</sup>, di cui 4.481 nel Veneto e il resto nel Trentino Alto Adige. Il bacino del Brenta-Bacchiglione viene suddiviso in cinque sottobacini principali: il Brenta, il Bacchiglione, il Cison, l'Astico-Tesina e l'Agno-Guà-Fratta-Gorzone.

Il Bacino del Brenta ha un'estensione complessiva di 2.283 km<sup>2</sup> di cui 1.117 km<sup>2</sup> in Veneto, con un'altitudine massima di 2.332 m s.l.m. Il fiume Brenta origina dal lago di Caldonazzo nel Trentino e dopo aver percorso un vasto territorio della pianura veneta attraversando le province di Vicenza, Padova e Venezia, sfocia in mare Adriatico dopo un tragitto di 174 chilometri. Nel suo primo tratto in territorio trentino, riceve i torrenti Ceggio, Maso, Chiepina, Grigno e Cison. Dopo la confluenza con questo torrente, il Brenta, assumendo direzione sud, riceve apporti di numerose sorgenti che danno un contributo alla portata del fiume, tra cui la più importante è la sorgente di Oliero. A valle di Bassano del Grappa, il fiume si dirige in direzione sud-ovest fino a Tezze sul Brenta per poi piegare verso sud-est e proseguire fino alla foce. Nel secondo tratto, i terreni si trasformano gradualmente da permeabili a terreni di tipo sabbioso-limoso; aumentando la propria impermeabilità, i suoli danno origine alla *zona delle risorgive*. Nella fascia tra l'alta e la bassa pianura, la falda freatica incontrando la barriera argillosa, viene spinta in superficie dalla pressione idrostatica e affiora nei punti depressi con numerose sorgenti e fontanili, dando origine a una serie di corsi d'acqua. All'altezza di Limena, gli argini del fiume si restringono e una parte delle sue acque è convogliata nel canale Brentella attraverso una briglia. Nel tratto padovano fra Carmignano e Cadoneghe il Brenta riceve le rogge Ramon-Molina, Cognarola e Riale, il torrente Piovego di Villabozza, parte delle acque della roggia Contarina, ed infine il torrente Muson dei Sassi in località Castagnara di Cadoneghe. Dopo la confluenza con il Muson dei Sassi il Brenta scorre pensile sopra il piano campagna fino alla foce a Ca' Pasqua in prossimità di Chioggia.

Il bacino del Bacchiglione, assieme al sottobacino dell'Astico – Tesina, ha un'estensione di 1.944 km<sup>2</sup> con un'altitudine massima di 2.334 m s.l.m. Interessa una vasta zona dei territori in Destra Brenta nell'Alta Padovana, la maggior parte del territorio Euganeo e la fascia di Bassa Padovana compresa nei limiti segnati dagli argini maestri del Bacchiglione a nord e a est, dal canale Bisatto a ovest e dal canale Cagnola a sud. Confina a sud-ovest col bacino tributario dell'Agno - Guà, a ovest con quello dell'Adige, a nord-est con il bacino del Brenta. Le tipologie fluviali che si possono rinvenire in questo bacino sono numerose e profondamente diverse: si passa dai piccoli rii sorgivi che sgorgano soprattutto a nord, ai corsi d'acqua artificiali come il canale Battaglia, il Brentella e il grande collettore delle acque degli Euganei: il Cagnola. Il fiume Bacchiglione nasce dall'unione di due distinti sottosistemi idrografici: il primo è originato dalle risorgenze del Bacchiglione situate a Dueville in provincia di Vicenza che danno origine a un corso d'acqua denominato nel suo primo tratto Bacchiglioncello; il secondo è costituito dal sottobacino del Leogra-Timonchio che raccoglie le acque di una piccola parte della zona montana vicentina e di una buona parte della pianura scledense. La confluenza di questi due sottosistemi è situata a monte della città di Vicenza e da qui il fiume inizia il suo percorso assumendo il nome di Bacchiglione. Nel vicentino il fiume riceve le acque del Retrone, dell'Astichello e del Tesina. Entrato in provincia di Padova, a Cervarese Santa Croce, il ramo principale prosegue, ricevendo nella località di Trambacche di Veggiano le acque del Tesina Padovano e scendendo verso Padova, il Bacchiglione riceve le acque del Brenta attraverso il canale Brentella, il quale riceve inoltre gli apporti di diverse rogge fra cui lo scolo Poro e lo scolo Lazzaretto, che drenano una zona ad alta densità di insediamenti edilizi. Come approfondiremo meglio di seguito il fiume, giunto al Bassanello, si divide in tre rami: 1) il canale Battaglia che si dirige a sud e non interessa più la città; 2) il Tronco Maestro che volge a nord, interessa il centro cittadino alimentando la rete idrografica minore della città, e che a sua volta si divide in due rami: il canale Piovego ed il canale Roncajette; 3) il canale Scaricatore, fatto costruire per regolare le piene improvvise del fiume, che volge a est e confluisce a Ca' Nordio nel citato canale Roncajette. Uscito da Padova il Bacchiglione, con il nome di Roncajette Inferiore, piega verso sud-est e si dirige

verso Bovolenta assumendo il nome di canale Cagnola. Infine rinominato canale Pontelongo, il fiume scorre verso il mare, dove sfocia dopo essersi congiunto con il Brenta, in località Ca' Pasqua, dopo un percorso di 119 chilometri.

Il bacino scolante in Laguna comprende un territorio di circa 1.800 km<sup>2</sup>. È compreso tra il fiume Gorzone a sud, la linea dei Colli Euganei e delle Prealpi Asolane a ovest, il fiume Sile a nord. I due corsi naturali più importanti presenti in questo bacino nel territorio padovano sono il Tergola e il Muson Vecchio. Il fiume Tergola nasce da ampie fosse di risorgiva, conosciute come "Le Sansughe", circa 1 km a valle di Cittadella, dalle quali esce per entrare poi nella zona della palude di Onara da cui riceve ulteriori apporti idrici; le portate originarie valutate all'inizio del secolo all'uscita dalla palude in circa 1.000 l/s si sono in questi ultimi anni drasticamente ridotte e possono attualmente essere stimate mediamente sull'ordine dei 300-500 l/s. All'altezza di Villa del Conte, il Tergola si sdoppia in due rami. Il ramo derivato prende il nome di Piovego di Villabozza; il Piovego di Villabozza si dirige nettamente verso sud e dopo aver ricevuto nel suo percorso le rogge Chioro e Ghebo Mussato, si scarica nel Brenta a Tavo di Vigodarzere. Il ramo principale del Tergola prosegue invece in direzione sud - est e all'altezza del sostegno idraulico di Torre di Burri riceve il fiume Vandura, suo più importante affluente, e quindi prosegue verso valle sino a Vigonza dove da origine a due corsi d'acqua che confluiscono entrambi nel Naviglio del Brenta: il primo a Stra, il secondo a Mira.

Il fiume Muson Vecchio raccoglie le acque che sgorgano da diverse polle sorgive situate principalmente nel territorio comunale di Loreggia; il corso d'acqua inizia il suo percorso in direzione sud-est e all'altezza dell'abitato di Loreggiola, riceve in sinistra idrografica la roggia Aqualonga, suo più importante affluente, aumentando notevolmente le portate idriche. Prosegue quindi in direzione sud verso Camposampiero, dove si interseca con le acque in derivazione dalla Vandura. A valle di Camposampiero il fiume volge in direzione sud-est e prosegue poi verso il Comune di Massanzago. Lasciata la provincia di Padova col nome di canale Sime prosegue in quella di Venezia dove viene collettato nel canale di Mirano.

### **03.05.01 - LA RETE DI BONIFICA**

I canali della parte nord-ovest dell'area di Padova scaricano nel Bacchiglione e nel canale Brentella (vedi allegato **A**). Lo scolo Giarina-Lazzaretto, con andamento nord-sud, riceve l'apporto dello scolo Frascà in località Moiacche e poi attraversa l'abitato di Sarmeola; più a valle sottopassa con sifone lo scolo Mestrina (con il quale è possibile comunque una comunicazione idraulica) e più a valle ancora sottopassa sempre a sifone lo scolo Storta in località Tre Ponti (anche in questo caso è possibile il collegamento idraulico). Più a sud si riunisce con lo scolo Riale ed è sottoposto a sollevamento meccanico nel Brentella presso l'idrovora di Brentelle (vedi allegato **A**). Il bacino Giarina-Lazzaretto è interessato da deflusso meccanico alternato ove la sicurezza idraulica è garantita dalla presenza dell'idrovora Brentelle. Lo scolo Bappi nasce dalla confluenza degli scoli Scolauro e Rigoni, attraversa il centro di Mestrino ove è presente un primo collegamento con lo scolo Mestrina Vecchia nel quale confluisce definitivamente dopo il centro di Rubano fino allo sbocco nel canale Brentella tramite la chiavica Mestrina (vedi allegato **A**). La chiavica Mestrina è dotata di una paratoia che opportunamente manovrata consente il solo flusso verso il canale Brentella; in tal modo vengono preservati i territori da eventuali livelli idrometrici elevati dello stesso Brentella. Il Mestrina viene sottopassato dal Giarina-Lazzaretto con possibilità di collegamento idraulico locale; un altro collegamento più a valle unisce sempre il Mestrina al Giarina-Lazzaretto. Detti collegamenti sono necessari in quanto il canale Brentella non è sempre in grado di ricevere le acque a gravità; se il livello nel Brentella è troppo elevato il Mestrina va a confluire nel Giarina-Lazzaretto che è interessato da sollevamento a mezzo idrovora. Lo scolo Mestrina-Vecchia è un ramo collaterale del Bappi e attraversa i centri di Mestrino e Rubano mantenendosi quasi sempre in prossimità della ex S.S. n°11. Il suo bacino non ha una estensione significativa e la provenienza di acqua dal Bappi è limitata essendo l'imbocco intubato con dimensioni ridotte. Localmente il Mestrina Vecchia riceve le acque di fognatura urbana. Lo scolo Storta ha origine dalla Sacca di Arlesega in Comune di Veggiano ed esce dalla stessa a mezzo di una botte a sifone che sottopassa il fiume Ceresone Piccolo. Prosegue poi verso ovest fino ad immettersi nel canale Brentella

presso la chiavica Storta, prima dello sbocco, qui sottopassato dal Giarina Lazzaretto con il quale c'è possibilità di collegamento idraulico; allo stesso modo del Mestrina anche per lo Storta il collegamento idraulico è necessario in caso di livelli idrometrici proibitivi del canale Brentella (se il livello del Brentella è troppo elevato lo Storta confluisce nel Giarina-Lazzaretto e da qui al sollevamento a mezzo idrovora). Lo scolo Vegri raccoglie le acque dei fondi posti a nord di via Vegri. Alla fine di via Vegri lo scolo sottopassa via Vittorio Emanuele e si immette nel canale Riale e da qui alla chiavica Molina dove avviene normalmente l'immissione nel Bacchiglione. Se i livelli nel Bacchiglione sono proibitivi le acque del Vegri raggiungono l'impianto idrovoro di Brentelle tramite il canale Riale (vedi allegato A). Lo scolo Piroche nasce a Saccolongo (da bacini prevalentemente agricoli), costeggia l'argine sinistro del Bacchiglione e si immette nella chiavica Piroche. Lo scolo Molina è parallelo all'argine sinistro del Bacchiglione e collega le chiaviche Piroche e Molina in modo da permettere alle acque del canale Piroche, in caso di necessità, di raggiungere la chiavica Molina e, attraverso il canale Riale, l'impianto idrovoro Brentelle.

### 03.05.02 - IDROGRAFIA PRINCIPALE DI PADOVA

Si faccia riferimento alla tavola allegata A. Il fiume Bacchiglione, riceve il canale Brentella in località Bassanello. Nella medesima zona si stacca il canale Battaglia e di seguito il Bacchiglione si divide in due tronchi: il canale Scaricatore e il Tronco Comune. Il Tronco Comune, entrato in città governato da un sostegno, si divide in due ulteriori rami: il Tronco Maestro ed il Naviglio Interno (il Naviglio interno risulta tombinato nel tratto compreso fra la Riviera dei Ponti Romani e la Conca delle Contarine). Il Tronco Maestro, dopo avere ricevuto la Fossa Bastioni diviene canale Piovego e, dopo aver ricevuto il canale San Gregorio giunge al fiume Brenta (immissione libera nei pressi di Stra). Nella planimetria della tavola allegata A sono visibili anche i canali interni Alicorno e Santa Chiara, dalla cui riunione (denominata per un tratto Canale San Massimo) ha origine il Roncagette Superiore. Attraverso il sostegno di San Massimo vi è comunicazione tra il Piovego ed il Roncagette; di seguito il Roncagette Superiore procede con andamento alquanto tortuoso, sottopassa a sifone il canale navigabile San Gregorio, riceve le acque del canale Fossetta e in Cà Nordio confluisce nel Nuovo Bacchiglione o Roncagette Inferiore. Con il sistema evidenziato si ottiene una netta separazione tra il sistema fluviale esterno alla città (fiume Bacchiglione, canale San Gregorio, canale Piovego e fiume Brenta) ed il sistema di acque interne alla città (Tronco Maestro, Fossa Bastioni, Alicorno, Roncagette Superiore e Fossetta).

Il Genio Civile Regionale è l'Autorità idraulica competente (nell'ambito del territorio comunale di Padova) per i fiumi Brenta, Bacchiglione-Roncagette, Brentella, Canali Tronco Maestro e Tronco Comune, Canale Piovego, Canale San Massimo, Canale S. Chiara e Canale di Battaglia per le opere idrauliche ed i manufatti connessi alla rete idraulica regionale principale. I manufatti e le opere connessi alla navigazione interna (conche di navigazione) sono di competenza della Società "Sistemi Territoriali S.p.A.". Il Comune di Padova risulta proprietario della rete fognaria e degli impianti di sollevamento e di depurazione; l'azienda APS spa gestisce il servizio idrico integrato per la città di Padova a seguito di concessione trentennale con scadenza nell'anno 2028. Il Consorzio di Bonifica Bacchiglione-Brenta è competente nella realizzazione delle opere pubbliche di bonifica e nella manutenzione ordinaria e straordinaria dei canali di bonifica e dei relativi manufatti (impianti idrovori, manufatti di regolazione e manovra) in gran parte del territorio comunale (vedi allegato H).

Il Comune di Padova presenta una superficie complessiva di circa 9.329 ha. Tutto il territorio a sud del Brenta, a sud del Bacchiglione prima del canale Brentella ed a est del canale Brentella ricade entro la competenza del Consorzio Brenta – Bacchiglione di Padova (vedi allegato H); una piccola area compresa fra il canale Brentella ed i confini comunali con Rubano e Selvazzano ricade entro il territorio di competenza del Consorzio Pedemontano Brenta di Cittadella. Altre piccole aree a nord del Brenta ricadono entro il territorio di competenza del Consorzio di Bonifica Sinistra Medio Brenta di Mirano. Lo schema comunale di drenaggio è definibile come da descrizione seguente (vedi tavola allegato A e l'allegato G; per la "competenza idraulica" si veda anche l'allegato H):

1) circa 87 ettari delimitati a nord dai confini comunali con Limena ed a sud dallo scolo Governo drenano allo stesso scolo Governo e da questi al Brenta;

2) circa 77 ettari (Consorzio Pedemontano Brenta di Cittadella) delimitati ad ovest dai confini con Selvazzano e Rubano ed a est dal canale Brentella drenano allo scolo Lazzaretto e quindi nello stesso canale Brentella, a mezzo di sollevamento meccanico;

3) circa 48 ettari (di competenza del Consorzio Pedemontano Brenta di Cittadella) compresi fra il fiume Bacchiglione, i confini comunali con Selvazzano e via Dei Colli drenano allo scolo Bisatto e da questi al canale Brentella;

4) circa 13 ettari delimitati dal Brenta, dai confini comunali con Vigodarzere e dal fiume Muson dei Sassi (Consorzio Sinistra Medio Brenta di Mirano) drenano al fiume Muson dei Sassi, in buona parte attraverso sollevamento meccanico;

5) la zona di Isola di Torre per circa 36 ettari (Consorzio Sinistra Medio Brenta di Mirano) drena allo scolo Altichiero e da questi al Brenta attraverso sollevamento meccanico;

6) circa 3000 ettari (Consorzio di Bonifica Brenta-Bacchiglione di Padova) drenano allo scolo Fossetta e da questi al Bacchiglione. La zona è delimitata dal fiume Brenta, dai confini est con Noventa Padovana, dal canale Piovego, dallo scolo Dei Lazzari, dal canale Roncajette (Massimo), di nuovo dal canale Piovego intorno le mura, da via Garibaldi, dal Piazzale della Stazione Ferroviaria, da via Paolo Sarpi, dalle vie Montà e Pellegrino, dallo scolo Montà e infine dallo scolo Governò fino al Brenta;

7) circa 1.380 ettari (di competenza del Consorzio Bacchiglione Brenta) fanno capo al sistema della Fossa Bastioni e da questa al Piovego. La zona è delimitata a ovest dal canale Brentella, a nord dal canale Governo, dallo scolo Montà, da via Montà, da via Pellegrino, da via Paolo Sarpi, dal Piazzale della Stazione Ferroviaria e da via Garibaldi, a sud e ad est dalla Fossa Bastioni e dal Tronco Maestro, infine a sud dal fiume Bacchiglione. L'area comprende gli insediamenti urbani di Ponterotto, Montà, Chiesanuova con località Cave e Brentelle ed i quartieri di Brusegana e Basso Isonzo. Nel bacino "Brusegana" (vedi allegato **G**) la maggior parte delle acque meteoriche confluiscono attraverso gli scoli Brusegana, Piovehetto e Montà in prevalenza combinati, nella Fossa Bastioni, le cui acque in parte (fino alla portata di 3 m<sup>3</sup>/s) vengono sollevate dall'idrovora Saracinesca ed immesse nel tronco Maestro, mentre per la rimanente parte defluiscono a scolo naturale nel canale Piovego, con la possibilità di risollevarlo fino a 5 m<sup>3</sup>/sec con l'idrovora del Vetri.

8) una zona di 204 ettari (di competenza del Consorzio Brenta-Bacchiglione) risulta delimitata dal confine comunale con Noventa Padovana, dall'autostrada BO-PD, dalla linea parallela a via Vigonovese collocata 350 m più a sud della stessa via, e dalla strada parallela a via Lisbona da questa distante circa 200 m. La zona drena al canale Piovego;

9) tutta la zona industriale per circa 950 ettari (di competenza del Consorzio di Bonifica Bacchiglione-Brenta) è delimitata dal bacino illustrato al punto precedente, dai confini con i Comuni di Saonara, Legnaro e Ponte San Nicolò, dal fiume Bacchiglione, dal canale Roncajette, dal collettore Fossetta e dal canale Piovego; il comprensorio della Zona Industriale è attraversato e drenato dagli scoli Orsaro e Cornio con funzioni di soli adduttori di portate irrigue, esistendo una rete indipendente di scarico delle acque bianche con recapito terminale nell'Idrovia e nei canali Fossetta e Roncajette rettificati.

10) area di 98 ettari (Consorzio Brenta-Bacchiglione) compresa fra il canale San Gregorio, il canale Scaricatore, canale Roncajette con scarico prevalente al canale Roncajette;

11) area di circa 1855 ettari (Consorzio Brenta Bacchiglione) drenante al sistema dello scolo Maestro così perimetrabile: canale Roncajette, canale San Gregorio, tratto di canale Scaricatore, confini comunali fra

Padova e Ponte San Nicolò, scolo Albignasego, confine fra Padova e Albignasego, tratto di canale Battaglia, tratto di fiume Bacchiglione, tratto di tronco Maestro, canale Orto Botanico e canale San Massimo;

12) area di circa 866 ettari (Consorzio Bacchiglione-Brenta) drenante al sistema dello scolo Menona così perimetrabile: fiume Bacchiglione, canale Battaglia, confini fra Padova e Abano Terme e confini fra Padova e Selvazzano Dentro.

Gli studi dell'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico con il Piano Assetto Idraulico del bacino del Brenta-Bacchiglione (PAI) sviluppano l'analisi del rischio idraulico connesso ai fiumi maggiori nell'area padovana. L'impostazione data agli studi è così riassumibile: partendo dalle piene straordinarie degli ultimi 100 anni sono stati predisposti modelli di generazione e propagazione delle piene nei corsi d'acqua individuando le zone della rete in cui ricorrono insufficienze arginali; individuati i tratti di argine insufficiente con un altro modello sono state perimetrare le fasce di territorio interessate da allagamenti. Le fasce di territorio immediatamente adiacenti ai corsi d'acqua sono state catalogate secondo un fattore di pericolosità C (valore massimo 100) che deriva dalla sovrapposizione di due elementi principali: la limitazione delle difese esistenti e la limitazione della capacità di deflusso. Il PAI individua tre classi di pericolosità in base al valore del fattore di pericolosità, collegate alla probabilità di accadimento: il territorio interessato dalla rotta per piene con tempo di ritorno 100 anni è classificato come P3 per una fascia di 150 m dalla linea dell'argine (per tener conto della velocità e della forza viva dell'acqua in prossimità delle rotte arginali); il territorio circostante alla fascia P3 con presenza di un tirante d'acqua superiore a 1 m viene classificato come P2 (è classificato, inoltre, come P2 il territorio immediatamente a valle ed a monte della zona di rotta, per una fascia di 150 m ed una lunghezza di circa 1 km). Tutto il resto delle aree storicamente allagate viene fatto rientrare nel tipo P1. Per quanto riguarda il Comune di Padova abbiamo la seguente perimetrazione (vedi allegato **B**):

A) classifica P3 per un'area di circa 3 ettari a ridosso del confine con Noventa Padovana ad est dello scolo Capitello;

B) classifica P2 per un'area di circa 4 ettari collocata a nord del canale Piovego presso i confini con Noventa Padova ad est di Corso Australia;

C) classifica P2 per un'area di circa 97 ettari a ridosso del confine con Noventa Padovana a nord di via Vigonovese;

D) classifica P3 per un'area di circa 0,3 ettari in località Camin a ridosso del confine con Noventa Padovana;

E) classifica P1 per un'area di circa 7 ettari a ridosso del confine con Vigodarzere in destra Muson Dei Sassi;

F) classifica P1 per un'area di circa 1.355 ettari come di seguito perimetrata (la descrizione comprende le aree P3 e P2 come in precedenza precisato): confini comunali con Noventa, Saonara e Ponte San Nicolò, fiume Bacchiglione e canale Roncasette, zona ad est della Stanga compresa fra Viale Delle Grazie e il canale Piovego.

Secondo la Carta delle Fragilità del PAT di Padova risultano idonee sotto condizione o non idonee le aree contermini al fiume Bacchiglione, al fiume Brenta, al canale Battaglia, al canale Brentella, alla prima parte del tronco Maestro, al Piovego, al canale Roncasette, al canale San Gregorio, oltre ad altre aree minori legate alla conformazione geologica del sottosuolo (vedi allegato **D**). Quasi tutto il resto del territorio è considerato idoneo a condizione tranne alcune zone minori a macchia di leopardo collocate prevalentemente a nord-est e a sud-ovest (vedi allegato **D**). Tutto il Comune (vedi allegato **E**) presenta livelli di falda variabili fra 2 e 5 m dal p.c. con la sola esclusione di parte di Montà, una parte del centro storico, la zona ad est dell'Arcella e a sud della Guizza

dove i livelli di falda si attestano fra 0 e 2 m da p.c. Quasi tutta Padova è interessata da argille e limi (vedi allegato **C**), tranne la zona di Brentelle di Sotto e parte della zona industriale sud-est dove la componente sabbiosa diventa più significativa (complessivamente circa 700 ettari). Il terreno (vedi **allegato F**) presenta mediamente una pendenza da nord-ovest verso sud-est con quote variabili fra 16-17 m s.m. ai confini estremi nord-ovest (zona di Ponterotto) fino a 6-7 m s.m. (confini comunali a sud-est oltre Salboro). La pendenza del territorio è variabile fra 0,7 e 0,8 m/km. A grandi linee la morfologia del territorio si configura a dislivello nella zona industriale sud-est e nella zona del centro storico.

Il sistema idrografico del Comune di Padova (vedi allegato **A**) è delimitato: a nord dal fiume Brenta, tra Limena e Stra; a est dal canale Piovego, da Stra fino alla tangenziale est di Padova; a sud dai territori compresi tra il Bacchiglione e il canale Battaglia; ad ovest dal canale Brentella, che lambisce il confine comunale. Il Brenta giunge nel territorio padovano da nord-ovest e, percorso il confine comunale nord-orientale di Padova, prosegue verso il mare in direzione sud-est; all'altezza di Limena il Brenta trova in destra idrografica la derivazione del canale Brentella che, scorrendo da nord a sud lungo i confini comunali occidentali, porta le sue acque al Bacchiglione; in corrispondenza a Stra, in provincia di Venezia, il Brenta riceve, sempre in destra idrografica, il canale Piovego. L'altro fiume padovano, il Bacchiglione, giunge in città proveniente da Vicenza, dopo un tortuoso percorso con il caratteristico andamento a meandri. Poco a valle dell'innesto del Brentella nel Bacchiglione il Bacchiglione perviene in località Bassanello, dove si dirama verso sud nel canale Battaglia e, all'altezza del Ponte dei Cavai, fa il suo ingresso in città immettendosi nel Tronco Comune. Il canale Scaricatore costituisce l'asta rettilinea che dal Bassanello prosegue verso est fino a Voltabarozzo; qui il Bacchiglione si biforca in due rami: il tratto verso est, superato il sostegno regolatore di Voltabarozzo, si ricongiunge in località Ca' Nordio con il Roncagette Inferiore e prosegue verso Bovolenta; l'altro ramo piega verso nord-est nel canale San Gregorio, il quale, a sua volta, si ricongiunge al canale Piovego, immissario del Brenta a Stra. Il Bacchiglione, dopo aver attraversato Ponte San Nicolò, Bovolenta (col nome di Roncagette Inferiore) e Pontelongo (col nome di canale di Pontelongo), si ricongiunge al Brenta prima di sfociare in mare.

Si è già visto come la distribuzione dei canali che passano per il centro storico ha origine dal manufatto del Ponte dei Cavai (vedi allegato **A**): di tali canali il principale è il Tronco Comune, che deriva verso nord le acque del Bacchiglione, prosegue fino a Ponte Saracinesca e da qui, con il nome di Tronco Maestro, prosegue fino a Corso del Popolo dove ha inizio il canale Piovego. Lungo questo percorso si staccano, tutte in destra idrografica, le diramazioni dei canali che attraversano il centro storico: a 200 m a nord del Ponte dei Cavai si dirama il canale Alicorno; all'altezza di Piazza Delia il Rio della Acquette (o dell'Olmo) e il Naviglio Interno, percorribile un tempo fino alle porte Contarine e quindi al Piovego. Il Naviglio Interno scompare sotto Riviera Tito Livio, Riviera dei Ponti Romani e Largo Europa mantenendo a cielo aperto il solo tratto iniziale (in corrispondenza di Ponte delle Torricelle), da cui si origina, verso sud, il canale Businello - Santa Chiara; quest'ultimo piega verso est con un'ampia ansa lungo la quale riceve in destra idraulica il canale Acquette, anch'esso tombinato. Il canale Alicorno, attraversato Prato della Valle e l'Orto Botanico con un percorso in gran parte oggi tombinato, immette in zona Pontecorvo nel canale Santa Chiara che prosegue verso est con il nome di canale San Massimo. Questo, attraversata la zona ospedaliera, poco dopo il sostegno omonimo (che lo separa dal canale Piovego) diventa il canale Roncagette Superiore. Quest'ultimo, con percorso a meandri in più punti rettificato, dopo aver sottopassato il canale di San Gregorio, sfocia nel Bacchiglione (o Roncagette Inferiore) all'altezza di Ca' Nordio. Ad ovest del Tronco Maestro, esternamente alla cinta muraria, scorre verso nord Fossa Bastioni, con immissione all'inizio del Piovego; durante le piene lo scarico può avvenire anche verso sud mediante apposito impianto a Ponte Saracinesca. Infine il Piovego, diretto a sud est, dopo aver lambito in zona Ognissanti il canale San Massimo (presso il sostegno omonimo) prosegue lungo il tratto rettilineo verso est ricevendo in destra idraulica il canale San Gregorio e ricongiungendosi con il fiume Brenta a Stra.

La rete idrografica del Comune di Padova, oltre al sistema di canalizzazioni del centro storico, conta una serie di scoli di bonifica, piuttosto fitta, defluenti a grandi linee in direzione da nord-ovest a sud-est secondo la pendenza del territorio (vedi allegato **A**): in corrispondenza della città vecchia il piano compagna trova un rialzo di qualche metro dovuto alle successive ricostruzioni su precedenti rovine. Chiaramente, oltre che per la

funzione di bonifica, gli scoli sono concepiti anche per l'adduzione irrigua. Nell'area ovest di Padova gli scoli Brusegana, Pioveghetto, Montà, e altri collegamenti, recapitano a Fossa Bastioni. A nord gli scoli Limenella, Due Palazzi, Basse, Mortise, Ponte di Brenta fanno capo allo scolo Fossetta che si immette nel canale Roncagette dopo aver sottopassato il canale Piovego. Nell'area sud-orientale, a monte del canale Scaricatore, gli scoli Bassanello, Crescini, Canestrini, Modena e Terranegra, drenano attraverso la botte a sifone di Voltabarozzo tutta l'area ricompresa dalle arginature dei canali Scaricatore e San Gregorio. La zona industriale e le aree a sud dello Scaricatore drenano allo stesso modo a scoli di bonifica, localmente tombinati, oppure ad invasi particolari, come l'Idrovia Padova-Venezia. Gran parte di questi scoli sono stati trasformati, durante la progressiva urbanizzazione, in collettori fognari. Alla rete idrografica esistente si è affiancata nel tempo una rete fognaria nelle aree esterne al centro storico.

Vediamo l'elenco dei corsi d'acqua consorziali che interessano il territorio comunale di Padova: canale Scolmatore, collettore Fossetta, collettore Irriguo di Limena, collettore Principale, Diramazione Capitello, Fossa Bastioni, Scarico idrovora Vetri, Scolmatore scolo Roncaglia, scolo Albignasego, scolo Amolari, scolo Bassanello, scolo Bolzanello, scolo Boracchia, scolo Borgherini, scolo Boschette, scolo Brenta Vecchia, scolo Brusegana, scolo Ca' Nordio, scolo Camin, scolo Canestrini, scolo Capitello, scolo Cimitero, scolo Cornio di Villatora, scolo Crescini, scolo Delle Basse, solo Due Palazzi, scolo Governo, scolo Guasti, scolo Gustavo Modena, scolo Inferiore di Terranegra, scolo Limenella, scolo Maestro, scolo Manicomio Cimitero, scolo Manzoni, scolo Menona, scolo Monta', scolo Morandi, scolo Mortise, scolo Orsaro, scolo Pioveghetto, scolo Ponte di Brenta, scolo Roncaglia, scolo Salboro, scolo San Giacomo, scolo Superiore di Terranegra, scolo Valli.

#### 03.05.02.01 - I PRINCIPALI MANUFATTI IDRAULICI DI PADOVA

Diamo un elenco dei principali manufatti idraulici della rete idraulica di Padova (vedi allegato A):

A) Sostegno superiore di Limena. Manufatto realizzato in muratura all'incile del canale Brentella; il manufatto consente, mediante luce a battente regolabile, di derivare acqua dal Brenta nei periodi di magra verso il Bacchiglione. il manufatto viene chiuso:

- a) in condizioni di piena del Brenta (quando la quota idrometrica a monte supera di 1,80 m lo zero idrometrico locale);
- b) quando si supera il livello di guardia stabilito dal Consorzio di Bonifica Pedemontano Brenta sull'idrometro installato sul Rio Fosco per dare soluzione all'annoso problema del rigurgito del Porra e quindi proteggere da esondazioni i territori comunali di Villafranca Padovana e contermini.

Un tempo la regolazione avveniva tramite panconi in acciaio scorrenti su gargami laterali, della lunghezza di 6.80 m, posati in opera attraverso argani manovrati a mano, poi automatizzati. Ora la paratoia a due settori è comandata da un sistema elettromeccanico.

B) Sostegno inferiore di Limena. Manufatto costruito in aderenza al locale ponte sulla sede stradale che un tempo serviva a creare a valle del sostegno superiore un cuscino d'acqua (vasca di smorzamento per dissipare l'energia propria della vena stramazante dalla luce di monte).

C) Sostegno all'incile del canale Battaglia. Manufatto costruito per regolare la portata nel canale Battaglia a servizio della navigazione (natanti fino a 250 t). Il sostegno è oggi privo di tutta la parte muraria di cui rimane la volta al di sotto del ponte.

D) Sostegno regolatore del Ponte dei Cavai. Il sostegno gestisce l'unica via di accesso per il Bacchiglione alla rete interna di Padova. Ha una luce centrale larga 3,40 m munita di paratoie a settore ad asse verticale, e due luci laterali attualmente chiuse. La quota della soglia sfiorante è di 9,0 m s.m.m., a fronte di una quota di regolazione del pelo libero del Bacchiglione di 12.00 m s.m.m.

E) Sostegno regolatore di Voltabarozzo. Grande manufatto dotato di luci a battente della larghezza netta di 7.20 m con paratoie piane a scorrimento azionate da sistema oleodinamico. Ognuna delle luci può

essere interclusa con un sistema di chiusura a panconi, qualora sia necessario mantenere le paratoie. La soglia di fondo è a quota 5,7 m s.m.m.; in condizioni ordinarie il dislivello tra monte e valle è di 7,5 m.

F) Sostegno scaricatore di Voltabarozzo sul canale San Gregorio. Il sostegno, che presenta lateralmente una conca di navigazione per natanti fino a 1.350 t, è stato realizzato in concomitanza alla nuova inalveazione del canale San Gregorio. La funzione principale è di scaricare parte della portata di piena del Bacchiglione al fiume Brenta (dal 33% al 50%), lungo il San Gregorio - Piovego - Brenta. A valle la quota di regolazione è di  $8,6 \div 9$  m s.m.m. mentre le luci di scarico hanno la stessa dimensione di quelle del sostegno regolatore.

G) Briglia di San Agostino. Manufatto situato sul Tronco Maestro poco a valle dell'incile del Naviglio Interno, un tempo necessario a mantenere la quota di navigazione all'interno del Naviglio e ad assicurare la derivazione dell'acqua necessaria al funzionamento dei mulini situati su tale canale. Attualmente il manufatto costituisce un ostacolo al libero deflusso delle acque nel Tronco Maestro. La gaveta è posizionata a quota 11,10 m s.m.m. e può essere portata, con una serie di panconi in c.a., fino a 11,70 m s.m.m. La larghezza delle luci sfioranti è complessivamente di 5 m a quota 11,10 m s.m.m. e 6,20 m a quota 11,70 m s.m.m.. La briglia è dotata di un tubo di scarico la cui generatrice inferiore è situata a quota 9,80 m s.m.m..

H) Sostegno di San Massimo. Posizionato sul raccordo Piovego – Roncayette; manufatto necessario a mantenere la differenza di livello tra i due canali (differenze fra il fondo a monte e valle 4,10 m). Attualmente consiste in due paratoie piane a scorrimento sovrapposte (funziona come luce a battente), aventi una corsa complessiva di sollevamento di 6,80 m, intestate la prima a quota 5,35 m s.m.m. e la seconda (che si solleva assieme alla prima quando viene da questa raggiunta, a quota 8,56 m s.m.m.); la luce netta è di 5,96 m. Il manufatto mantiene differenze di quota dei peli liberi per consentire la navigazione sul Piovego; inoltre il manufatto permette di gestire lo scarico delle acque del Piovego quando, chiuso i sostegni di Ponte Dei Cavai e San Gregorio, è necessario smaltire le acque del centro di Padova e le acque scaricate dalle idrovore del Consorzio Brenta-Bacchiglione.

I) Controsostegno di San Gregorio. Il manufatto difende Padova dal Brenta in caso di risalita dell'acqua per rigurgito mediante porte vinciane ed una paratoia piana di riserva (luce netta di 12,30 m) che funziona a battente su una soglia di fondo a quota 5,40 m s.m.m. e con sommità a quota 13,00 m s.m.m.

L) Controsostegno di Ca' Nordio. Il manufatto preserva i canali interni da un eventuale rigurgito dal Bacchiglione attraverso l'asta del Roncayette; il Bacchiglione, regolato normalmente a quota  $4,50 \div 5,00$  m s.m.m., raggiunge spesso livelli attorno agli 11 m s.m.m. (massima piena 11,90 m s.m.m. nel novembre 1966).

M) Botte a sifone sotto il canale San Gregorio. La botte assicura la continuità del Roncayette Superiore sotto il San Gregorio. La sezione centrale è costituita da due canne da  $3,50 \times 2,50$  m, con spigoli smussati; lunghezza complessiva 95,10 m compresi i raccordi (84,90 m effettivi di tubazione).

N) Botte a sifone sotto il canale Piovego. Il manufatto permette il transito del Fossetta, che va ad immettersi nel Roncayette Inferiore. È realizzato con due canne aventi sezioni all'imbocco ed all'uscita di  $2,87 \times 2,57$  m e nel tratto centrale di  $2,36 \times 1,02$  m, di lunghezza complessiva pari a 70 m. La portata massima che può transitare con una perdita di carico accettabile (40 cm) è stimata attorno ai  $10 \text{ m}^3/\text{s}$ .

N) Conca e sostegno di Noventa. Il manufatto ha il compito di mantenere il dislivello idrico esistente fra Piovego e Brenta in condizioni normali; non è in grado, per tipologia, di preservare il Piovego dalle piene del Brenta.

O) **Briglia di Limena**. Il manufatto garantisce un salto di fondo fra 14,82 m s.m.m. (sommità della briglia) e 6,00 m s.m.m. (quota della platea di fondo del ponte circa 390 m più a valle). A valle è stato costruito un manufatto in grado di dissipazione l'energia dell'acqua.

### 03.05.02.02 - IDROGRAFIA SECONDARIA DI PADOVA

Il Comune di Padova è solcato da una serie di scoli di bonifica che defluiscono principalmente da nord ovest verso sud est (vedi allegato **A**). Gli scoli sono concepiti in genere sia per funzione di bonifica che per funzione irrigua. Gran parte di questi scoli sono stati trasformati, durante la progressiva urbanizzazione del territorio, in collettori fognari. La rete di scolo è competenza del Consorzio di Bonifica Bacchiglione Brenta, il quale ha suddiviso il territorio comunale nei principali sottobacini idrografici (vedi allegato **G**): 1) sottobacino Portello; 2) sottobacino Fossetta; 3) sottobacino Valli di Camin; 4) sottobacino Destra Brenta; 5) sottobacino Ca' Nordio; 6) sottobacino Maestro; 7) sottobacino Colli; 8) sottobacino Brusegana. La gestione della rete fognaria è di pertinenza dell'APS (Azienda Padova Servizi), alla quale competono anche lo smaltimento delle acque reflue e la gestione degli impianti di depurazione. Vediamo una breve descrizione dei principali sottobacini:

A) sottobacini **Fossetta** e **Portello**. I sottobacini Fossetta e Portello occupano la parte nord del territorio comunale: sono compresi tra la sponda destra del fiume Brenta a nord, fino al confine con il Comune di Noventa Padovana, il Piovego e il Roncajette Superiore a sud, le mura nord della città, fino a Via Beato Pellegrino (ad eccezione di una piccola zona appartenente al sottobacino Brusegana), via Montà a ovest, fino al canale Brentella. Il sottobacino Fossetta ha un'estensione di circa 3.200 ha e presenta una manifesta insufficienza del suo collettore principale (da cui frequenti allagamenti nel quartiere Arcella). In condizioni di magra le acque del Fossetta defluiscono fino all'impianto di sollevamento della zona industriale di Padova per poi essere recapitate all'impianto di depurazione di Ca' Nordio. In condizioni di piena lungo il Fossetta entrano in funzione due scolmatori di piena: il primo scarica le acque in eccesso nel collettore Scolmatore da cui vengono poi recapitate al Piovego tramite l'idrovora San Lazzaro che può smaltire una portata di 15 m<sup>3</sup>/s (vedi allegato **A**); il secondo, posto a valle della botte a sifone San Lazzaro sottopassante il Piovego, scarica le acque in eccesso nel canale Fossetta e da qui a gravità nel Roncajette Inferiore. Essendo il deflusso naturale condizionato dai livelli del Roncajette-Bacchiglione, durante le piene il Fossetta risulta rigurgitato ed il solo impianto di sollevamento non è in grado di smaltire tutta la portata in arrivo. Una parte non trascurabile del bacino non risulta servita da fognatura (ad esempio la zona a nord di Montà, la zona delle Padovanelle, gran parte del quadrante est e parte di Ponte di Brenta). Esterne al confine del bacino Fossetta perché a nord del fiume Brenta, ma interne al confine comunale, vi sono le zone di Ponte Vigodarzere e di Isola di Torre (vedi allegato **A**). La prima scarica le acque bianche nel Muson dei Sassi tramite l'impianto di sollevamento Quartire del Pino mentre la fognatura (di tipo separato) recapita le sue acque alla rete di Vigodarzere e quindi al depuratore di Cadoneghe. Isola di Torre scarica le sue acque di magra direttamente al depuratore di Cadoneghe; in condizioni di piena, mediante uno scolmatore, scarica le acque in eccesso nel fiume Brenta. L'area è servita da fognatura separata che recapita all'impianto di depurazione di Cadoneghe. Il bacino Portello, situato nella zona a nord ovest del territorio comunale, è un'area piuttosto ridotta che fa parte dei bacini idrografici in Limena. In condizioni ordinarie le sue acque vengono convogliate attraverso lo scolo Governo in parte al canale Brentella tramite sollevamento meccanico ed in parte al fiume Brenta, con deflusso naturale, attraverso la chiavica Zaguri (vedi allegato **A**). Tale sottobacino non è servito attualmente da fognatura.

B) sottobacini **Valli di Camin**, **Destra Brenta** e **Ca' Nordio**. Occupano la zona ad est del territorio comunale (vedi allegato **A**). Il Destra Brenta (area di circa 940 ha compresa tra il canale Roncajette Inferiore a ovest fino alla confluenza con il canale Scaricatore che lo lambisce anche nella parte a sud, il canale Piovego a nord ed il confine comunale ad est) ospita la zona industriale di Padova (ZIP). Tale zona è servita da una rete fognaria di tipo separato ed avvia le proprie acque nere ad un impianto di sollevamento per poi essere recapitate direttamente al depuratore di Ca' Nordio. Le acque bianche vengono convogliate, dallo scolo Camin verso lo scolo Orsaro e da qui attraverso altri collettori alla Laguna di Venezia (passando per la botte di Lova).

Attualmente mediante una regolazione di flusso tali acque possono in alternativa confluire all'Idrovia Padova-Venezia e da qui al fiume Brenta. Il sottobacino Valli di Camin (che copre un'area di circa 200 ha compresa tra il sottobacino Destra Brenta a sud-ovest ed il confine comunale a nord-est) è servito da fognatura di tipo separato. Esso recapita il refluo all'impianto di depurazione di Ca' Nordio tramite impianto di sollevamento, mentre avvia le acque bianche alla Laguna di Venezia tramite lo scolo Diramazione Piovego, sottopassando il fiume Brenta ed il canale Novissimo rispettivamente con le botti a sifone di Corte e di Lova. Le acque bianche possono essere scaricate, in alternativa, nel canale Piovego con l'idrovora Valli, in grado di smaltire una portata di 3 m<sup>3</sup>/s. Infine il sottobacino Ca' Nordio è costituito dal territorio occupato dall'omonima isola, circondata dai canali San Gregorio a ovest, Scaricatore a sud e Roncajette Inferiore a est. Il bacino è servito da fognatura separata recapitante direttamente all'impianto di depurazione di Ca' Nordio, mentre le acque bianche vengono convogliate nel canale Scaricatore tramite impianto di sollevamento (idrovora Ca' Nordio).

C) Sottobacino **Maestro**. Occupa la parte meridionale del territorio comunale (vedi allegato **G**): la sua estensione è di circa 3.000 ha ed è compreso tra le mura esterne della città e il Roncajette Superiore a nord, il canale San Gregorio a est e a sud arriva fino al confine comunale. Le acque bianche vengono scaricate naturalmente nel Roncajette fino a che i livelli idrometrici lo consentono. La chiavica di emissione è dotata di porte a ventola che consentono la chiusura dello scarico naturale e lo sfioro delle acque nello scolo Inferiore di Casalserugo, aggravando la situazione idraulica del bacino di Casalserugo. Per ovviare a tale situazione è stata costruita la nuova idrovora Maestro, in parallelo alla chiavica, con scarico nel Roncajette-Bacchiglione, la quale è in grado di smaltire una portata complessiva di 14 m<sup>3</sup>/s. Inoltre nel 1999 è stato ultimato lo scavo del nuovo fosso scolmatore Roncaglia il quale ha migliorato la situazione idraulica di Voltabarozzo. Per quanto riguarda la rete fognaria la zona sud non è servita da alcuna fognatura; la zona della Guizza è servita in parte da fognatura mista ed in parte da fognatura separata, le quali recapitano le loro acque all'impianto di depurazione Guizza; il quartiere di Voltabarozzo è servito da fognatura mista collegata all'impianto di depurazione di Ponte San Nicolò, la zona compresa tra il canale Scaricatore e il centro storico della città è servita da fognatura mista collegata all'impianto di depurazione di Ca' Nordio, vi è una piccola parte servita da fognatura separata che recapita sempre al depuratore di Ca' Nordio.

D) sottobacino **Colli**. Occupa una superficie di circa 860 ha nella zona sud-est del Comune di Padova: esso è delimitato a nord dall'argine destro del fiume Bacchiglione, a est dall'argine destro del canale Battaglia e a sud ovest lambisce il confine comunale. Interessa le zone Mandria, Paltana e Armistizio. Le acque di origine meteorica sono convogliate all'esterno del bacino attraverso la Botte del Pigozzo situata a Battaglia Terme, nel punto più depresso dell'intero bacino dei Colli Euganei. Il bacino è nella gran parte a deflusso naturale. L'unica zona fornita di fognatura è quella situata nella parte a nord-est del bacino, le zone Paltana e Mandria, le quali sono servite da fognatura mista, e in una piccola zona separata, che recapitano le acque all'impianto di depurazione di Albignasego. La restante area non è servita da fognatura.

E) Sottobacino **Brusegana**. Occupa la parte a nord-ovest del territorio comunale, con una superficie di circa 1.400 ha. È compreso a ovest dal canale Brentella, a sud dal fiume Bacchiglione a est dal Tronco Maestro e dalla fossa Bastioni e a nord confina con il sottobacino Fossetta. Le acque meteoriche, che scolano in parte a gravità, in parte a sollevamento meccanico, pervengono al collettore Fossa Bastioni da cui vengono recapitate nel Tronco Maestro in parte tramite l'idrovora Saracinesca (portata massima 3 m<sup>3</sup>/s), in parte tramite la chiavica Vetri, posta in prossimità dell'omonima idrovora in grado di smaltire una portata di 5 m<sup>3</sup>/s; da qui vengono convogliate al canale Piovego. Lo scarico tramite la chiavica Vetri è condizionato dai livelli idrometrici delle acque interne di Padova. Il bacino è servito per circa metà del suo territorio da fognatura mista collegata, mediante una serie di impianti modulatori, al collettore Fossetta da cui vengono recapitate al depuratore di Ca' Nordio. In particolare sono servite da fognatura le zone Sacra Famiglia, Chiesanuova e Savonarola.

### **03.05.02.03 – I CANALI STORICI DELLA CITTA'**

#### **Tronco Maestro**

Percorre il tratto compreso fra la Specola e l'antico alveo del Brenta, fiancheggiando le mura medievali (vedi allegato **A**). Negli anni Sessanta il Tronco Maestro è stato oggetto di un intervento di manutenzione che ha rigidamente bloccato il fiume con rivestimento in pietrame.

#### **Bovetta**

Il canale Bovetta (esisteva già nel 1236) aveva origine presso il ponte San Leonardo e ritornava nel Tronco Maestro presso il ponte dei Carmini. Con andamento a semicerchio delimitava l'isola di San Giacomo e alimentava vari mulini. Verso la fine dell'Ottocento, con la cessazione dell'attività degli opifici, viene a mancare la manutenzione dell'alveo con conseguente ristagno delle acque. Nel 1894 viene interrato per motivi igienico-sanitari.

#### **Naviglio Interno**

Il Naviglio iniziava alla Specola per confluire nel ramo principale del vecchio Bacchiglione attraverso la Conca delle Porte Contarine. Scorreva per il primo tratto (fino a ponte delle Torricelle) nel canale scavato nell'XI secolo e poi nell'antico alveo del Brenta. In origine la funzione primaria del canale è stata la navigazione. Il Naviglio conserva le sue caratteristiche fino agli inizi degli anni '50, quando prevale l'ipotesi di utilizzare l'alveo come strada e sede di collettore fognario. Il progetto di massima dell'interramento viene redatto dal prof. Francesco Marzolo nel 1954. Il Consiglio Comunale approva il tombinamento fino al ponte San Lorenzo e fino al ponte delle Torricelle. Questo ultimo tratto verrà ultimato nel 1960.

#### **Canale Santa Chiara e Canale San Massimo**

Il canale Santa Chiara (esisteva già nel 1217) assume il nome di San Massimo alla confluenza con l'Alicorno. Il tracciato ripercorre l'antico alveo del Brenta dai mulini alle Torricelle al ponte di San Massimo. Un tempo racchiudeva ad est la città; vi affluivano anche il canale Olmo (ora Acquette) e Santa Sofia. Le sue acque alimentavano numerosi mulini. Il piano delle fognature cittadine, predisposto nel 1909, ne prevedeva il completo tombinamento. mentre il piano Marzolo (1954) ne limitava la copertura fino al ponte di via Luca Belludi. Tale intervento non è stato effettuato, ma la sola sistemazione delle riviere ha comportato la quasi totale demolizione dei mulini Grendene, l'abbattimento del convento di Santa Chiara e la scomparsa della piazzetta del Moraro. Il tratto fra i giardini Treves e via Cornaro era già stato tombinato negli anni Cinquanta a causa dell'ampliamento dell'area ospedaliera.

#### **Canale Santa Sofia**

Venne aperto nel 1223 su richiesta del monastero di Santa Maria di Porciglia per l'attivazione di mulini; collegava il Piovego con il canale Santa Chiara. Con il taglio di San Massimo (1857) cessa la sua funzione di collegamento fra il Piovego e Roncayette. Il Governo Regio dispose la cessione gratuita dell'alveo del canale al Comune di Padova nel 1872; il Comune stabilì di interrare l'alveo nel 1874. Il Consiglio Comunale deliberò di utilizzare il sedime come sede stradale in parziale difformità dallo stesso Piano delle Strade, risalente al 1872, che non prevedeva l'utilizzo a sede stradale del tratto compreso fra ponte Santa Sofia e ponte Pidocchioso. L'Amministrazione intendeva in tal modo realizzare un più rapido collegamento fra la stazione ferroviaria e le porte di Ponte Corvo e di Santa Croce.

#### **Canale Olmo (ora Acquette)**

Venne aperto nel 1218 su richiesta del monastero di Santa Maria in Vanzo; derivava acqua dal Tronco Maestro in prossimità dell'Accademia Delia, proseguendo lungo le attuali vie Dimesse ed Acquette per confluire nel canale Santa Chiara dopo aver azionato i mulini situati nei pressi dell'attuale via Umberto I. La prima

trasformazione risale al 1877 quando il Consiglio Comunale delibera di sostituire il ponte pedonale sul Tronco Maestro con un ponte carrabile e decide di effettuare una nuova strada fino a via Dimesse, per realizzare un collegamento diretto fra Prato della Valle e le porte ovest della città (in tal modo liberando il centro dal passaggio degli animali condotti al mercato del Prato della Valle). Nel primo Piano della fognatura cittadina (1909) si prevede di utilizzare l'alveo del canale come sede del collettore e a tal fine viene tombinato negli anni Venti il tratto compreso tra il Torresino ed il Canale Santa Chiara. La completa cancellazione del canale avviene nell'immediato dopoguerra; il Consiglio Comunale, ritenuto indispensabile ed urgente migliorare le condizioni igieniche della zona, delibera di eseguire i lavori di interrimento (ultimati nel 1948).

### **Canale Alicorno**

Viene fatto aprire nel 1230 dai Padri del monastero di Santa Giustina per attivare nuovi mulini. Deriva l'acqua dal Bacchiglione entrando in città, dopo la costruzione delle mura cinquecentesche, nei pressi del bastione di Santa Croce. Scorreva fra i monasteri di Santa Giustina e Santa Maria della Misericordia e, dopo aver alimentato la canaletta del Prato della Valle e aver fornito acqua d'irrigazione all'Orto Botanico, confluiva nel canale Santa Chiara a valle di Ponte Corvo. Negli anni Sessanta è stato tombato il tratto lungo Via Venturina.

### **Canale Piovego**

Inizia alla confluenza del Tronco Maestro con il Naviglio, lambisce le mura storiche fino al bastione di Castelnuovo. Era fondamentale via di collegamento fluviale fra Padova e Venezia. Presso la porta Portello era situato il porto. Costituiva il limite nord della città; dalla metà dell'ottocento si sono insediate lungo la sua riva sinistra varie attività industriali che utilizzavano la via d'acqua per il trasporto dei materiali.

## **03.05.03 – LA FOGNATURA DI PADOVA**

### **03.05.03.01 – STATO DELLA PIANIFICAZIONE**

Riassumiamo le principali progettazioni generali relative a Padova:

a) fognatura del centro storico: progetto generale del prof. Marzolo risalente al 1939, rete separata all'interno delle mura e nell'area di via Facciolati tra via Crescini e via Canestrini, recapito finale del flusso di acqua nera al depuratore di Cà Nordio;

b) fognatura zona industriale (ZIP): progetto generale degli ingg. Mascellani-Iannelli-Pretner del 1975 suddiviso in zona industriale a nord del Piovego (fognatura mista, recapito a Cà Nordio), in zona industriale sud (fognatura separata, recapito a Cà Nordio) comprendente anche i nuclei abitati di Camin e Granze (entrambe le zone recapitano al depuratore di Cà Nordio);

c) zona a nord del canale Scaricatore: progetto generale degli ingg. Mascellani-Pretner del 1976, rete mista e utilizzo degli scoli consorziali come vie d'acqua, recapito a Cà Nordio;

d) zona a sud del canale Scaricatore: progetto dello Studio C.P.C. risalente al 1985, rete separata, drenaggio ai depuratori di Albignasego e Ponte San Nicolò e in quello comunale della Guizza;

e) zona "4 Martiri": progetto dello Studio SGI Mascellani-Iannelli-Pretner 1996, mantenimento della rete mista, recapito al depuratore di Cà Nordio.

Negli ultimi anni è stata parzialmente rivista la vecchia progettazione generale procedendo ad una serie di aggiornamenti parziali: 1) bacino Montà; studio di fattibilità denominato "Riassetto coordinato della rete idraulica di bonifica e della rete fognaria del bacino Montà – Brusegana, 2004); 2) bacino sud Fossa Bastioni; 3) progettazione preliminare acque nere e gestione acque di prima pioggia a sud del canale Scaricatore.

Per quanto riguarda la zona a sud del canale Scaricatore il progetto generale del 1985 (aggiornato per quanto riguarda la rete nera e l'introduzione della raccolta delle acque di prima pioggia) ha avuto sinora attuazione concentrata nei quartieri Guizza, Mandria e Voltabrusegana. Ad alcuni iniziali interventi di separazione delle reti (collegati alla realizzazione di nuclei PEEP), sono seguiti, soprattutto nell'area della Guizza, vari interventi finalizzati a deviare provvisoriamente verso il depuratore il massimo quantitativo agevolmente "captabile" di acque nere di tempo asciutto e di acque miste con diluizione prefissata: tutto ciò è avvenuto mediante la realizzazione di opere sia "definitive" (cioè rientranti nel Progetto Generale approvato), sia provvisorie (manufatti deviatori, che cesseranno la loro funzionalità ed esistenza nel momento in cui sarà stata completata la separazione delle reti). Per quanto riguarda la zona di Montà – Brusegana degli interventi riportati nello Studio di fattibilità del 2004 sono stati eseguiti alcuni stralci progettuali. Infine con riferimento al Piano di riabilitazione della rete fognaria della zona Quattro Martiri (1996) sono stati realizzati alcuni lotti funzionali.

### **03.05.03.02 – QUALITA' DELLE ACQUE E TRATTAMENTI DEPURATIVI**

Dal punto di vista igienico – sanitario, nel corso degli ultimi anni, la qualità dei corsi d'acqua della città di Padova è andata migliorando anche se rimangono alcune situazioni gravi che necessitano di interventi di disinquinamento. Da analisi eseguite nelle vie d'acqua del territorio padovano è emersa una situazione in graduale miglioramento; tale situazione si verifica pressoché in maniera uniforme nei tratti a monte della città. Lo stato delle acque tende invece a non migliorare a valle della città; dal punto di vista biologico è presente un inquinamento diffuso e persistente lungo tutto il reticolo cittadino, con valori "mediocri" della qualità chimico – fisica e punte vicino allo "scadente" nel caso della Fossa Bastioni ed all'uscita del sostegno Cà Nordio. Anche la qualità microbiologica è critica, particolarmente lungo la Fossa Bastioni e nel canale Piovego. Ciò è diretta conseguenza del grado di attuazione delle opere fognarie previste nei vari strumenti di pianificazione.

In merito alla funzionalità del sistema urbano di drenaggio v'è evidenziato un ulteriore elemento di forte criticità che riguarda la commistione tra le acque reflue, quelle meteoriche e quelle irrigue. Al fine di permettere la vivificazione dei canali esistenti e l'irrigazione delle aree agricole residue, nel territorio padovano sono infatti tuttora attive alcune derivazioni irrigue, in particolare dal Brentella e dal Bacchiglione (vedi allegato **A**). Gli scolli consortili, entrati a far parte del tessuto urbano, sono di fatto diventati collettori fognari; i collettori sono generalmente dotati, nella loro sezione terminale, di sistemi per la selezione e l'invio alla depurazione delle sole acque nere di tempo asciutto e delle acque miste sino ad un prefissato grado di diluizione, ma a causa delle suddette immissioni irrigue, anche in condizione di tempo asciutto, non è possibile selezionare le sole acque nere e pertanto le acque captate ed avviate al trattamento risultano diluite con riflessi negativi sui processi di depurazione.

Anche le zone gestite da rete separata soffrono delle condizioni di promiscuità illustrate, in conseguenza di un livello modesto di attuazione delle opere di separazione, che ha indotto spesso a utilizzare le vecchie condotte come collettori di rete mista, dotando le stesse di appositi manufatti finali di deviazione per intercettare le acque nere e le acque diluite in tempo di pioggia con prefissato grado di diluizione. Ciò si verifica particolarmente nel centro storico, nella zona a sud del canale Scaricatore e nella zona industriale. Da tale stato di fatto emerge che, anche in caso di eventi meteorici non eccezionali, si sviluppa un notevole afflusso nelle condotte di acqua lurida (sovente soggette a sovrappressioni e disfunzionamenti simili a quelli che si verificano nelle reti miste). La diffusione dei manufatti deviatori "provvisori" nei bacini destinati a reti separate estende anche ai collettori di acqua esclusivamente meteorica le problematiche legate alla gestione delle reti miste.

Attualmente i reflui neri prodotti nel Comune di Padova vengono trattati da 7 impianti di depurazione, gestiti da differenti Enti: 1) la zona nord oltre Brenta, quartiere del Pino e Isola di Torre, è collegata all'impianto di depurazione di Cadoneghe (nei due quartieri, separati dal torrente Muson dei Sassi, operano dei manufatti di intercettazione che allontanano le acque in tempo di secco); 2) la zona in destra Brentella, parte nord, a confine con il Comune di Rubano, è dotata di propri sistemi di depurazione (fosse settiche, ossidazione meccanica); 3) la

zona in destra Brentella, lato sud, verrà allacciata al depuratore di Selvazzano (attualmente le utenze sversano in collettori superficiali dopo l'abbattimento del carico organico con propri sistemi di depurazione tipo ossidazione meccanica); 4) il quartiere compreso tra il fiume Bacchiglione e il canale Battaglia, e parte della zona Guizza, sono serviti parzialmente dall'impianto di depurazione di Albignasego; 5) la zona di Voltabarozzo e parte della zona Granze di Camin sono servite dall'impianto di Ponte San Nicolò; 6) la zona Guizza e parte del bacino nord di Via Bembo sono servite dall'impianto di depurazione "Guizza" in via Pontedera; 7) il bacino a nord del Bacchiglione che comprende il centro storico, il bacino Fossetta, le zone Comino-Crescini, la zona industriale sud e via Vigonovese sono serviti dall'impianto di depurazione di Cà Nordio in via Pedanio.

Risultano escluse dalla programmazione del Gestore del Servizio Idrico Integrato (Piano Stralcio) le aree che non dispongono di uno strumento progettuale aggiornato: il Centro Storico, parte del bacino della Fossa Bastioni, la parte del bacino del Collettore Fossetta che attraversa il quartiere Arcella-San Carlo, l'area a nord-est (Mortise, Torre e Ponte di Brenta) afferenti il corso basso del Collettore Fossetta, la zona industriale e la zona a sud del canale Scaricatore (limitatamente alla problematica delle acque bianche). Per le suddette aree è dunque necessario provvedere al più presto ad un aggiornamento delle progettazioni generali ponendo attenzione alle seguenti problematiche prioritarie: a) eliminazione della commistione fra acque irrigue e acque reflue per tutto il bacino del Fossetta, in analogia a quanto già programmato per il Bacino Montà; b) conferma o meno della scelta, effettuata dal progetto Marzolo, di un sistema di fognatura separato per il Centro Storico e conseguente individuazione degli interventi tali da giungere ad un assetto definitivo per l'area; c) rilettura omogenea e coerente della situazione dell'intero territorio comunale con riferimento al tema delle acque di prima pioggia (non presente nella progettazione di un tempo).

Per quanto riguarda il territorio padovano la competente Autorità d'ambito territoriale ottimale, l'AATO Bacchiglione, ha redatto lo Stralcio del Piano d'Ambito nel quadro del Programma di interventi urgenti in materia di fognatura e depurazione delle acque reflue. In questo Piano sono compresi il completamento del depuratore di Cà Nordio ed il trasferimento dei reflui dall'impianto della Guizza a quello di Cà Nordio, in ottemperanza a quanto previsto nel PRRA. Nel Piano Stralcio viene considerata la possibilità di utilizzare, in modo complementare alla realizzazione di impianti tradizionali, metodi naturali di trattamento come la fitodepurazione; inoltre il Piano Stralcio fa proprio il criterio generale di non estendere le fognature centralizzate a tutti gli agglomerati urbani, prevedendo la realizzazione di reti di carattere locale e l'utilizzo di un trattamento primario, come chiarificazione in fosse Imhoff, seguito da un sistema di subirrigazione o fitodepurazione. Secondo il Piano Stralcio questo principio dovrebbe essere utilizzato a titolo sperimentale non solo in località a prevalente carattere rurale, ma anche in ambiente urbano, in quelle parti delle città distanti dai sistemi centralizzati e dotate di aree libere, urbanisticamente compatibili.

#### **03.05.04 – LA GESTIONE DELLE ACQUE DI PIOGGIA IN PADOVA**

##### **03.05.04.01 – ACQUE DI PIOGGIA E SITUAZIONE DI MAGRA**

Il funzionamento del sistema idraulico di Padova in condizioni di tempo secco prevede una suddivisione delle portate in ingresso dai fiumi Bacchiglione e Brenta. Nei periodi non piovosi si avvertono in modo significativo le conseguenze dell'inquinamento dei corsi d'acqua. Dalla lettura dei seguenti studi:

- a) piano delle distribuzioni delle aliquote di magra critica annuale del sistema Brenta-Bacchiglione e canali derivati, a cura dell'ing. Baroncini e del geom. Lunel, Genio Civile di Padova;
- b) relazione della Commissione di studio per un Piano Regolatore delle acque di Padova, Comune di Padova, 1962-63;
- c) studio degli interventi a maggior efficacia-costi per il miglioramento della qualità delle acque interne ed analisi ex-post. SGI spa, 1993,

è possibile ricavare una prima bozza di distribuzione delle portate nei canali interni alla città di Padova nel periodo asciutto: Tronco Comune (derivazione dal sostegno Ponte dei Cavai) da 3 a 8,2 m<sup>3</sup>/s; Tronco Maestro da 2,5 a 6,2 m<sup>3</sup>/s; Piovego da 2,5 a 6,2 m<sup>3</sup>/s; Naviglio Interno da 0,5 a 3 m<sup>3</sup>/s; canale Santa Chiara da 0,5 a 2,5 m<sup>3</sup>/s; canale San Massimo circa 1 m<sup>3</sup>/s; fiume Roncagette Superiore circa 1 m<sup>3</sup>/s; canale Alicorno da 0,5 a 1 m<sup>3</sup>/s; Fossa Bastioni circa 0,5 m<sup>3</sup>/s.

Durante le magre estive accentuate si verifica una insufficiente derivazione d'acqua attraverso il Ponte dei Cavai; ciò genera notevoli problemi igienici ed ecologici. Il problema è complesso e riguarda non solo l'attribuzione delle portate di magra nei corsi d'acqua padovani ma anche la distribuzione e l'utilizzo delle portate a monte della città, lungo tutto il percorso dei fiumi Bacchiglione e Brenta.

#### **03.05.04.02 – ACQUE DI PIOGGIA E SITUAZIONE DI PIENA**

Si è già accennato ad alcune procedure messe in atto dagli Enti di controllo per conseguire la difesa della città in caso di piena transitante sul Bacchiglione: in genere si evita il "collegamento di piena" chiudendo il sostegno del Ponte dei Cavai e, se a valle si verifica una concomitante piena del Brenta con innalzamento dei livelli nel Roncagette Inferiore, si chiudono il controsostegno di San Gregorio e quello di Cà Nordio, impedendo il rigurgito delle acque all'interno dei canali cittadini (vedi allegato **A**). Questo modo di procedere fino a poco tempo fa comportava che la mitigazione delle portate provenienti dal bacino urbano fosse affidata unicamente alla capacità d'invaso dei canali.

Si è inoltre già accennato al fatto che il disordinato sviluppo urbanistico del secondo dopoguerra ha causato la diminuzione degli invasi e la tombinatura di una parte considerevole dei corsi d'acqua cittadini: particolarmente nel centro storico sono state costruite solo una parte delle canalizzazioni fognarie necessarie, mentre nelle zone periferiche e semicentrali la copertura di rete fognaria è stata raggiunta sfruttando soprattutto la preesistente rete dei Consorzi di Bonifica. Negli ultimi anni sono state affrontate tre priorità: a) potenziamento dell'idrovora San Lazzaro a servizio dello Scolmatore in Piovego del Collettore Fossetta; b) la sistemazione dello scolo Fossetta fino allo Scolmatore in Piovego; c) costruzione di un impianto idrovoro a Cà Nordio (smaltimento delle portate provenienti dai canali interni alla città, interclusi in situazione di piena). Rimangono da affrontare le altre priorità, in particolare una rivisitazione della programmazione generale delle opere idraulico-fognarie sia per la gestione "qualitativa" che per la gestione "quantitativa" delle acque di pioggia.

#### **04 - IL RISCHIO IDRAULICO**

Nel Comune di Padova possiamo parlare di rischio idraulico relativo ai fiumi maggiori e di rischio idraulico relativo alla rete secondaria (di bonifica) e/o cittadina (fognatura bianca). La condizione di rischio possono dar luogo ad eventi di diversa gravità: sia le inondazioni che possono derivare dalle piene dei fiumi principali sia le esondazioni di una certa entità da reti di bonifica sono calamità naturali; è evidente tuttavia che per la limitata estensione dei bacini di bonifica rispetto alle aree inondabili dai fiumi, la gravità dei fenomeni è nettamente minore nel caso delle bonifiche (ancor di più ovviamente per le reti cittadine).

Le condizioni attuali dei fiumi di rilevanza nazionale o regionale che attraversano il territorio di Padova possono essere definite precarie. Infatti gli alvei sono spesso insufficienti a contenere in condizioni di sicurezza le piene massime prevedibili; le arginature longitudinali che fiancheggiano il tratto di pianura possono cedere sia per sormonto che per franamento del corpo arginale o rottura dei terreni di fondazione per inadeguatezza delle strutture a reggere a lungo battenti idraulici elevati o le spinte dinamiche esercitate dalla corrente.

Per quanto riguarda le reti di bonifica è riscontrabile una situazione generale di invecchiamento. La rete di bonifica che garantisce l'irrigazione ed il drenaggio della parte periurbana del territorio, per lo più progettata e realizzata nel secolo scorso, presenta zone con franco di bonifica insufficiente durante l'intero corso dell'anno e non solo in occasione delle piene. Il considerevole mutamento della destinazione d'uso dei suoli, che ha prodotto notevoli incrementi dei coefficienti idrometrici, è una delle principali cause dell'attuale diffusa insufficienza delle reti locali di drenaggio consorziale; l'utilizzo promiscuo a fine di collettamento anche dei reflui di fognatura nera o mista hanno creato nel tempo localizzati problemi di "qualità" dell'acqua convogliata.

#### **04.01 - LA CARTOGRAFIA DEL RISCHIO**

La perimetrazione speditiva delle aree a rischio può ottenersi sovrapponendo alla cartografia di conterminazione degli ambiti quella delle aree pericolose. Ciò permette di dedurre qualitativamente quali insediamenti o attività antropiche sono identificabili per tipologia di rischio. In tal senso una prima lettura dell'utilizzazione del territorio permette l'individuazione degli "oggetti" presenti che possono essere esposti a danno e conseguentemente determinare condizioni di rischio. Gli allegati **B**, **D** ed **L** evidenziano le zone con le principali problematiche idrauliche.

E' stata predisposta una cartografia riassuntiva di perimetrazione della pericolosità idraulica (allegato **L**) ed è stata ripresa integralmente la cartografia del PAI (vedi allegato **B**). Il presente studio, del resto limitato alle previsioni del PAT connesse alle future modifiche ai tassi di impermeabilizzazione del suolo, nella definizione delle aree a rischio idraulico ha utilizzato gli studi realizzati dalla Provincia di Padova, quelli realizzati dal Comune di Padova, quelli dei Consorzi di Bonifica e, in alcuni casi, quelli realizzati dai Comuni contermini. L'art. 7 del PAI evidenzia come in assenza o qualora sia carente la cartografia di perimetrazione della pericolosità idraulica, sono considerate pericolose le aree soggette ad allagamento nel corso degli ultimi cento anni. Sempre l'art. 7 precisa che all'interno di queste aree le nuove previsioni urbanistiche devono essere definite sulla base di uno specifico studio idraulico approvato dalla Regione territorialmente competente, secondo procedure da questa definite; lo studio deve tener conto delle indicazioni e criteri contenuti nella normativa vigente e deve comunque salvaguardare le aree di pertinenza del corso d'acqua. L'individuazione delle aree storicamente allagate o potenzialmente allagabili muove naturalmente dal presupposto di poter disporre, nel primo caso, di affidabili fonti informative (cronache locali, carte redatte dagli Uffici del Genio Civile o da altri soggetti o istituzioni pubbliche e private, pubblicazioni, testimonianze dirette), nel secondo, di accurati e puntuali dati di caratterizzazione del regime di piena per assegnati tempi di ritorno nonché della locale morfologia degli alvei e delle aree finitime. Ma le predette condizioni, in concreto, difficilmente si realizzano su molte delle aste della rete idrografica minore e secondaria; da qui l'oggettiva difficoltà di individuare, anche entro questi ambiti, le aree di pericolosità idraulica e, ancor più, di procedere ad una loro classificazione secondo determinati livelli di pericolosità. Nel presente studio si è quindi partiti dall'introduzione di alcuni criteri preliminari di individuazione, perimetrazione e classificazione delle aree a pericolosità idraulica non trascurabile. Tali criteri si possono così riassumere: a) si considerano in ogni caso pericolose ogni zona che è stata soggetta ad allagamento (tranne i casi in cui siano intervenuti interventi di mitigazione del rischio idraulico successivamente ad eventi esondativi); b) in ogni caso viene prescritta la salvaguardia delle aree di pertinenza dei corsi d'acqua (vedi carta delle Criticità allegata al PAT) per le quali si parla sempre di livello di pericolosità elevata; c) prevale in ogni caso la classificazione di pericolosità del PAI se interessa le aree oggetto di compatibilità idraulica; d) per le zone per le quali attendibilmente si ritiene che il livello di pericolosità può essere P1 si rimanda in ogni caso al Piano degli

Interventi la definizione di tutti gli accorgimenti di dettaglio. La presente Valutazione di Compatibilità Idraulica nella cartografia delle aree prevede una sola classe di pericolosità (assimilabile alla P1).

## **04.02 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AI FIUMI MAGGIORI**

### **04.02.01 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AL BRENTA**

Tra gli eventi alluvionali documentati che nel passato hanno interessato il bacino idrografico del Brenta, i più critici per altezza del livello idrico e durata dell'evento sono quelli del settembre 1882 e del novembre 1966.

L'evento di piena del settembre 1882 provocò una rotta per sormonto dell'argine in sponda destra a Limena e fu danneggiata gravemente la briglia di Stra. La rotta di Limena provocò l'allagamento di circa 2000 ha di campagna. L'esondazione del Bacchiglione e dei suoi affluenti provocò l'allagamento delle zone più depresse del Comune di Padova. In occasione dell'evento alluvionale del novembre 1966 il territorio compreso tra il Piovego, il Brenta ed il Bacchiglione fu quasi integralmente sommerso a causa di tracimazioni e rotte arginali che si verificarono lungo i canali Battaglia, Piovego e Roncajette. Nel passato altri eventi di piena hanno interessato i territori del padovano; limitandoci a date successive al 1900 ricordiamo:

- 1) 1905, esondazione del fiume Bacchiglione con allagamenti a Padova, Conselve, Piove di Sacco, Bovolenta e della campagna a sud di Padova;
- 2) 1907, rotta dell'argine sinistro del Roncajette a Ponte San Nicolò con allagamento del centro abitato.

La modellazione degli eventi di piena, predisposta nell'ambito degli studi sulla sicurezza idraulica del Brenta (in particolare quelli redatti dall'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico, con sede in Venezia), non evidenzia significative condizioni di rischio idraulico nel tratto compreso tra Bassano e Carturo. Più critica si presenta invece la situazione a valle di Carturo: i risultati delle modellazioni segnalano una insufficienza degli argini del fiume per il contenimento delle piene a più elevato tempo di ritorno nel tratto compreso tra Carturo e Limena. In particolare, già per eventi con tempo di ritorno pari a 10 anni, l'onda di piena con portata massima in ingresso pari a circa 1.670 m<sup>3</sup>/s si propaga fino a Limena mantenendo franchi di sicurezza alquanto ridotti, con modesti sormonti arginali lungo un tratto di fiume per la verità non molto esteso.

### **04.02.02 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AL BACCHIGLIONE**

Il Bacchiglione è causa di pericolosità e di rischio per il territorio di Padova. Le piene del 1882 e del 1966 hanno determinato ripetute ed estese inondazioni. A monte di Voltabarozzo l'onda di piena cinquantenaria si propaga verso valle mantenendo quasi ovunque valori rilevanti del franco arginale ad eccezione di alcuni tratti, peraltro molto limitati, come in corrispondenza di Tencarola, in cui il franco risulta ridotto a causa di un abbassamento locale della quota arginale. Il profilo idrometrico per l'evento centenario mette ancora più in evidenza questo fenomeno in quanto si segnalano dei sormonti arginali localizzati ed una maggiore estensione delle zone di riduzione del valore del franco idraulico.

### **04.02.03 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO AL MUSON DEI SASSI**

Lungo il basso Muson dei Sassi non si sono riscontrate durante le maggiori piene storiche esondazioni espressamente dovute a tracimazioni degli argini. In base ai risultati del calcolo condotto con il modello propagatorio dall'Autorità di Bacino di Venezia, la piena decennale è contenuta entro gli argini nel tratto a valle di Castelfranco Veneto senza riduzioni del franco idraulico. La propagazione dell'onda cinquantenaria produce invece una riduzione del franco di sicurezza nel tratto compreso tra Castelfranco e Camposampiero, mentre se si

considera l'evento centenario le zone a rischio si estendono notevolmente anche verso valle per effetto di rigurgito causato dai livelli elevati del Brenta (a Vigodarzere).

Nell'ipotesi che tutta la portata generata nel bacino della Fossa Avenale giunga al torrente e che il Tergola venga scolmato completamente nel Muson dei Sassi attraverso il Canale Viana dopo il sostegno di Torre dei Burri, l'evento cinquantennale determinerebbe una generale riduzione del franco arginale con stati di incipiente esondazione in punti localizzati. L'evento centenario provocherebbe invece fenomeni di sormonto arginale più estesi a valle nel tratto compreso tra Ponte Penello e Campodarsego ed a monte in corrispondenza di Camposampiero.

#### **04.03 - RISCHIO IDRAULICO RELATIVO ALLA RETE SECONDARIA**

Con riferimento alle piene dei corsi d'acqua maggiori (Brenta e Bacchiglione) si è già visto da subito come i manufatti a presidio del centro storico di Padova consentano di affrontare anche eventi eccezionali (citiamo su tutto l'alluvione del 1966 in occasione del quale la città è rimasta praticamente indenne). Ciò avviene soprattutto per la collocazione planoaltimetrica del centro urbano. Le piene del Brenta in genere non interessano Padova in quanto viene chiuso il manufatto all'inizio del Brentella e viene chiuso il controsostegno di San Gregorio sul Piovego bloccando in tal modo eventuali rigurgiti dal Brenta proveniente da Stra. Il transito delle piene del fiume Bacchiglione avviene, dopo la chiusura del sostegno di Ponte dei Cavai e dei controsostegni di Ca' Nordio e San Gregorio, unicamente lungo il canale Scaricatore andando poi a suddividersi al nodo idraulico di Voltabarozzo in parte verso il Brenta con il canale San Gregorio ed in parte verso il Bacchiglione-Roncjette. Alla relativa sicurezza offerta dai manufatti di regolazione presenti fa però riscontro la condizione di alcuni tratti di arginature del Piovego e del Brentella; un'altra condizione critica è data dai livelli idrometrici che si instaurano a valle di Voltabarozzo in corrispondenza del sostegno di Ca' Nordio; in questo punto le acque di scarico defluiscono in Bacchiglione liberamente solo quando quest'ultimo non rigurgita il Roncjette Superiore (per questo una idrovora in corrispondenza della confluenza del Roncjette nel Bacchiglione è in grado di smaltire una portata di 15 m<sup>3</sup>/s e provvede a scaricare le acque nel Bacchiglione anche nel caso in cui non sia possibile il deflusso a gravità).

Per quanto riguarda la rete secondaria vanno messi in evidenza i seguenti punti:

a) la situazione di criticità dello scolo Fossetta (in realtà parzialmente ridimensionata ultimamente a seguito dell'esecuzione di alcune opere pubbliche ) e dell'intero sistema fognario tributario (estesi allagamenti del quartiere Arcella con eventi di precipitazione caratterizzati anche da basso tempo di ritorno);

b) il canale San Gregorio – Piovego, in caso di piena cinquantennale nel Brenta e per effetto del rigurgito del livello idrico che si registra nel Brenta stesso a Stra, manifesta una generale riduzione del franco arginale. Secondo studi dell'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico l'evento centenario provocherebbe sormonti ed esondazioni estese a quasi tutto il canale ad eccezione del tratto a valle del manufatto di Voltabarozzo dove sono più elevate le quote degli argini (durante l'evento del 1966 si ebbero lungo l'argine destro del Piovego rotte arginali che contribuirono all'allagamento di una vasta area compresa tra Piovego, Bacchiglione e Brenta). L'Autorità di Bacino ha identificato le tratte fluviali più critiche ed in particolare quelle ove sono da attendersi sormonti arginali per piene di determinati tempi di ritorno; va tuttavia evidenziato come manchi una attendibile simulazione della dinamica di esondazione al di fuori degli alvei fluviali;

c) criticità idrauliche anche nel sottobacino del Colli, soprattutto nella zona Armistizio; sono interessate per lo più aree a destinazione d'uso agricolo;

d) sottobacino Brusegana caratterizzato da pericolosità idraulica nei terreni circostanti lo scolo Pelosa e nella zona che si approssima alle mura della città.

Riprendiamo la perimetrazione PAI delle aree a rischio in Padova (vedi allegato **B**):

- 1) classifica P3 per un'area di circa 3 ettari a ridosso del confine con Noventa Padovana ad est dello scolo Capitello;
- 2) classifica P2 per un'area di circa 4 ettari collocata a nord del canale Piovego presso i confini con Noventa Padova ad est di Corso Australia;
- 3) classifica P2 per un'area di circa 97 ettari a ridosso del confine con Noventa Padovana a nord di via Vigonovese;
- 4) classifica P3 per un'area di circa 0,3 ettari in località Camin a ridosso del confine con Noventa Padovana;
- 5) classifica P1 per un'area di circa 7 ettari a ridosso del confine con Vigodarzere in destra Muson Dei Sassi;
- 6) classifica P1 per un'area di circa 1.355 ettari come di seguito perimetrata (la descrizione comprende le aree P3 e P2 come in precedenza precisato): confini comunali con Noventa, Saonara e Ponte San Nicolò, fiume Bacchiglione e canale Roncagette, zona ad est della Stanga compresa fra Viale Delle Grazie e il canale Piovego.

A parte le aree ricadenti in zone a pericolosità idraulica PAI, altre zone del Comune devono essere considerate a "rischio idraulico" sia per intervenute "inondazioni storiche", sia per essere aree soggette a rigurgito del flusso di piena, sia infine per essere semplicemente a rischio ristagno idrico per motivazioni legate alla morfologia locale (vedi allegati **A** ed **L**). Dette zone possono essere così individuate:

- 1) area urbanizzata di circa 3 ettari collocata in destra Muson Dei Sassi ai confini con Vigodarzere;
- 2) area urbanizzata di circa 2 ettari a Isola Di Torre, prospettante su via Matteotti in Cadoneghe;
- 3) area di circa 135 ettari con drenaggio allo scolo Ponte di Brenta, collocata a nord dell'ippodromo e dell'Autostrada A4;
- 4) area di circa 42 ettari a ridosso di via Madonna della Salute con drenaggio al collettore Fossetta;
- 5) vasta area di circa 220 ettari in zona Arcella (via Michelangelo Buonarroti, via Tiziano Vecelio, via Durer, via Altichieri da Zevio, prima parte di via Saetta) con drenaggio allo scolo Fossetta;
- 6) vasta area urbanizzata di 340 ettari circa compresa fra il Cimitero e via Sacro Cuori, con drenaggio al collettore Fossetta;
- 7) area urbanizzata di circa 46 ettari delimitata ad est da via Grassi, a sud dal canale Piovego, ad ovest da via Rismondo ed a nord da via Goldoni con drenaggio al collettore Fossetta;
- 8) area di circa 200 ettari con drenaggio al Fossa Bastioni, a cavallo di via Pelosa e di via Palestro;
- 9) area di circa 42 ettari a cavallo di via Dei Colli, in zona Brentelle di Sotto, con drenaggio agli scoli Riale e Bisatto;
- 10) area di circa 10 ettari a ridosso del confine con Selvazzano a ovest di via Chioggia con drenaggio allo scolo Bolzanello;
- 11) vasta area di circa 370 ettari nella zona della "curva Boston", a cavallo delle vie Chioggia, Monterrato, Sannino, Madonnina, Ca' Rasi, Friuli e Rovigo, con drenaggio allo scolo Menona e Monferrato;
- 12) area di circa 92 ettari tra lo scolo Bolzonello e lo scolo Menona, a cavallo delle vie Monselice, Romana Aponense e Ponte della Cagna;
- 13) area periurbana a cavallo degli scoli Ronchetti e Mandriola (circa 70 ettari), zona Guizza;
- 14) area di circa 5 ettari presso via Bosco con drenaggio allo scolo Boracchia;
- 15) area di circa 22 ettari a cavallo di via Fonda con drenaggio agli scoli Ronchetti e Interno di Casalsérugo;

- 16) area di circa 73 ettari a cavallo di via Pietro Bembo con drenaggio agli scolì Amolari e Pietro Bembo;  
17) area di circa 57 ettari a cavallo dell'Autostrada PD-BO, a sud dello scolo Boracchia, con drenaggio agli scolì San Giacomo e Albignasego;  
18) area di circa 70 ettari a cavallo di via Palla e via Struzzi con recapito allo scolo Boracchia;  
19) area di 92 ettari in zona Forcellini-Terranegra, a cavallo delle vie Canestrini, Egidio e parte finale di via Gattamelata, con drenaggio agli scolì Gustavo Modena e Canestrini;  
20) area di circa 27 ettari ad est del canale San Gregorio ed a ovest del canale Roncagette, con drenaggio allo scolo Ca' Nordio;  
21) infine può considerarsi a rischio idraulico tutta la zona industriale compresa fra i confini con Noventa, Saonara, Legnaro, Ponte San Nicolò e il canale Roncagette.

## **05 - LA RIDUZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO**

### **05.01 – SCELTE STRATEGICHE DEL PAT GUARDANDO AL FUTURO**

Dopo aver preso visione delle principali problematiche legate al rischio idraulico in Padova si dà un breve accenno ad alcuni interventi, studi in itinere, ovvero semplici ipotesi, destinati a ridurre parte dei rischi accennati.

Un relativamente recente studio<sup>1</sup> predisposto dalla Regione del Veneto per la razionalizzazione e la sistemazione del nodo idraulico di Padova ha individuato alcune linee di intervento:

A) in relazione al rischio di fenomeni di rigurgito, in occasione di eventi di piena sul Brenta e sul Bacchiglione, lo studio auspica un intervento prioritario con sistemazioni arginali del canale Piovego, del canale Brentella e del canale Roncagette;

B) per ovviare alla situazione di locale criticità che si presenta a valle di Voltabarozzo in corrispondenza del sostegno di Cà Nordio, dovuta alle elevate condizioni idrometriche del Bacchiglione, lo studio ritiene opportuno articolare la strategia di manovra delle paratoie in modo da dirottare la maggior parte dei deflussi di piena verso il Brenta, attraverso in canale San Gregorio-Piovego.

C) per quanto riguarda la situazione di criticità rilevabile nella zona nord della città (in particolare il quartiere Arcella che drena al bacino del Fossetta) vengono indicati i possibili interventi in grado di ridurre i danni che l'insufficienza della rete di drenaggio: C<sub>1</sub>) aumentare la frequenza delle manutenzioni dei manufatti idraulici; C<sub>2</sub>) adeguare il sistema idraulico che attualmente fa capo allo scolo Fossetta; C<sub>3</sub>) sistemare gli argini dei canali Roncagette, Brentella e Piovego; C<sub>4</sub>) predisporre un sistema di monitoraggio per l'esecuzione coordinata delle manovre.

Altri lavori destinati a ridurre lo stato di sofferenza idraulica nel territorio sono già stati eseguiti o sono in corso di esecuzione. Sono ad esempio in corso, a cura del Consorzio Bacchiglione Brenta di Padova, i lavori che permetteranno lo sfruttamento della capacità di invaso dell'Idrovia Venezia-Padova in modo da migliorare l'assetto idraulico della zona industriale di Padova e utilizzare le acque a fini irrigui più razionalmente nei Comuni di Noventa, Saonara, Padova e Vigonza. In Albignasego, Padova e Ponte San Nicolò è previsto il risezionamento e ripresa delle frane lungo lo scolo Boracchia. Presso Voltabarozzo in Padova è previsto il potenziamento del locale impianto idrovoro; l'impianto idrovoro di Maestro è già stato potenziato. In Comune di Limena è stato messo in efficienza lo scarico in Brenta dello scolo Governo ed è in corso di progettazione la realizzazione di un

---

<sup>1</sup> Piano per la razionalizzazione e sistemazione del nodo idraulico di Padova. SIC Srl, IPROS Srl e Beta Studio Srl - 1992.

nuovo collettore in grado di sottrarre 10 m<sup>3</sup>/s ai collettori Liminella e Fossetta così da ridurre il rischio idraulico dell'intero quartiere Arcella.

Per quanto riguarda specificamente le previsioni urbanistiche del PAT di Padova, oggetto della presente Valutazione di Compatibilità Idraulica, è necessario da subito prendere atto che la soluzione dei problemi idraulici illustrati non può essere raggiunta dalla mera applicazione delle Norme di un qualsiasi strumento urbanistico. Pur tuttavia la Norma urbanistica può diventare occasione per concorrere ad un adeguato modello di difesa idraulica e per definire una corretta impostazione della dinamica urbanistica di modifica dell'uso idrologico del suolo. Va osservato, per esempio, che anche i piccoli interventi, pur se in termini infinitesimali, possono contribuire a peggiorare la situazione idraulica; se il contributo è "infinitesimale" è anche vero che il numero degli interventi "piccoli" di impermeabilizzazione delle superfici naturali è di gran lunga più elevato degli interventi "più significativi". Una corretta mitigazione idraulica deve comportare la definizione di un modello di intervento che modifica o perlomeno limita l'evoluzione della piena nell'ambito di intervento (ad esempio volumi di laminazione che assorbe un certo volume d'acqua ritardandone il deflusso). Chiaramente si devono prevedere opere legate a costi di realizzazione e di esercizio; se attualizziamo questi costi e confrontiamo i costi ricavati col danno prodotto avremo la classica curva a "sacco" che potrebbe indirizzare circa la "dimensione" ottima correlata al minimo costo. Intuitivamente per una "dimensione" della mitigazione molto piccola prevarrà il danno mentre per una "dimensione" molto grande prevarrà il costo delle opere. Nell'ottica di trovare una soluzione che comporti un giusto costo (idealmente al "ventre" della curva a sacco) va altresì tenuto conto che il territorio risulta fortemente antropizzato e quindi "poco disponibile" a subire modifiche senza la previsione di elevati oneri economici.

Per i motivi accennati si ritiene che il modello di difesa strutturale su cui mettere a punto le prescrizioni di mitigazione legate alle previsioni urbanistiche del PAT di Padova si debba basare sui seguenti concetti:

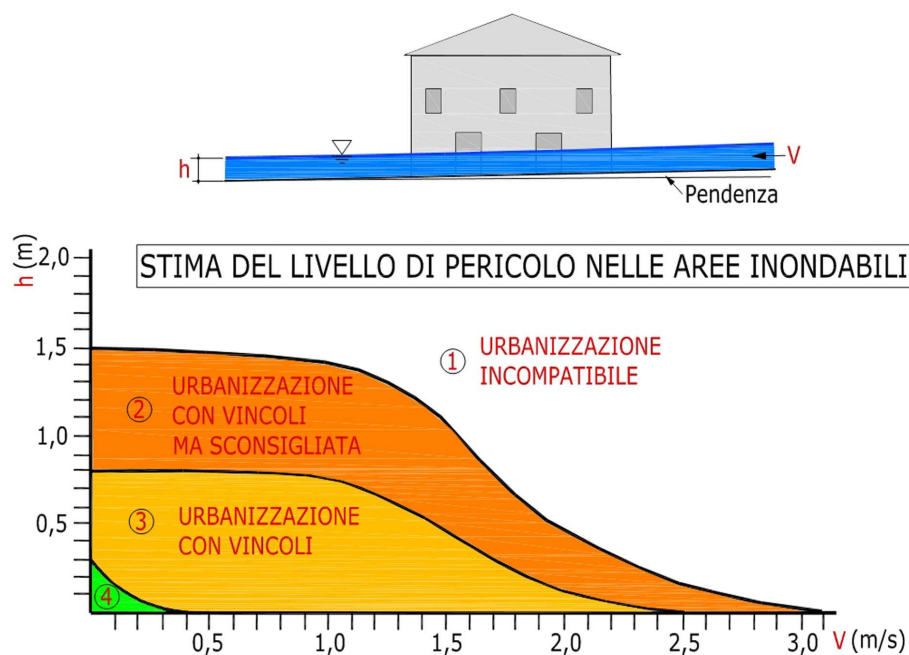
**5A) A QUALE INTERVENTO SOGGETTO A P.C. O D.I.A. E' NECESSARIO APPLICARE LA MITIGAZIONE IDRAULICA?** L'intervento edilizio o urbanistico nel momento in cui aumenta l'impermeabilizzazione del suolo non va considerato solo in quanto "significativo". Ciò vuol dire accettare il principio secondo il quale la polverizzazione delle previsioni del governo urbanistico del territorio non può costituire motivo per considerare ininfluenti (nel complesso) i conseguenti effetti sull'impermeabilizzazione, e quindi non significativi i corrispondenti impatti sull'idraulica del territorio; per tali interventi, si dovrà almeno prescrivere l'obbligo di osservare e far osservare una serie di indicazioni minimali tese a ridurre l'impatto sull'idrografia del territorio circostante (vedi check-list nel paragrafo 08);

**5B) INVARIANZA IDRAULICA.** Nelle aree oggetto di modifica dell'uso idrologico del suolo, che risultano idrograficamente "a monte" di altre zone prive di problemi idraulici, si deve perlomeno imporre che l'intervento non aumenti il rischio; ciò può essere fatto, anche alla luce della polverizzazione dell'azione di modifica del territorio, imponendo il rispetto generalizzato della stabilizzazione idraulica base (vedi paragrafo 07);

**5C) STABILIZZAZIONE IDRAULICA DEDUTTIVA.** Per aree interessate da una modificazione del tasso di impermeabilizzazione collocate a monte di zone con problemi di esondazione occorrerà applicare il principio precedente, salvo aumentarne l'efficacia nel momento in cui l'intervento risulti significativo (Piano di Lottizzazione, grande superficie interessata, ecc...) obbligando il Concessionario al rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva (vedi paragrafo 07);

**5D) OPERE DI DIFESA PASSIVA.** E' necessario rendere compatibile l'edificazione e l'urbanizzazione con il contesto idraulico locale. Per aree che ricadono direttamente in zone a rischio non elevato (in zona **3** e **4**, vedi grafico sottostante) va richiesto al Concessionario l'attuazione di interventi di natura "passiva" tesi a salvaguardare quello che verrà costruito da

possibili fenomeni alluvionali che interessano il contesto circostante (rimodellazione morfologica del terreno, rialzi dei piani terra rispetto al piano campagna circostante, ecc...). Evidentemente gli interventi di natura passiva devono prevedere il recupero dei volumi persi nell'attuazione dell'intervento (vedi prescrizione Z, paragrafo 8). Con riferimento specifico al Comune di Padova le aree con problemi idraulici evidenziati in allegato L si possono in genere far ricadere entro la zona **3** del grafico sottostante.



**5E) PIANO REGOLATORE DELLE ACQUE.** Con riferimento ai corsi d'acqua minori e alle vie d'acqua di fognatura il PAT del Comune di Padova, tenuto conto del contesto e della situazione idraulica illustrata relativa al territorio comunale, rende obbligatorio nel medio termine la predisposizione del Piano Comunale Regolatore delle Acque. Il Piano Comunale Regolatore delle Acque costituirà uno studio su base comunale destinato a:

5E<sub>a</sub>) individuare correttamente e nel dettaglio la rete scolante (suddividendo le acque e quindi le relative tratte della rete in *regionali, provinciali, comunali, consorziali, pubbliche/demaniali e private*) a cielo libero e/o intubata;

5E<sub>b</sub>) illustrare lo stato ed il funzionamento della rete di drenaggio e lo stato dei manufatti idraulici minori sul territorio;

5E<sub>c</sub>) evidenziare la "continuità idraulica" della rete di drenaggio in ogni punto del territorio;

5E<sub>d</sub>) individuare le opere necessarie a sanare i dissesti idraulici in essere;

5E<sub>e</sub>) definire per ogni tratto della rete le competenze ed il Titolare dell'onere perenne di manutenzione;

5E<sub>f</sub>) definire le modalità e la frequenza degli interventi obbligatori e di messa in sicurezza per ogni tratto della rete di drenaggio.

Ricordando la complessità dell'assetto idrografico in Padova e la promiscuità in essere fra veicolazioni eterogenee di flusso (acqua di irrigazione, acqua di pioggia in ambito agricolo, acqua di pioggia in ambito urbano, acqua da fognatura nera, acqua da fognatura mista) il Piano delle Acque, pur se finalizzato alla risoluzione delle criticità idrauliche, non potrà non entrare nel merito della gestione "qualitativa" dell'acqua, sia per quanto riguarda i classici scarichi fognari puntuali

**sia per quanto riguarda il collettamento di acqua di pioggia inquinata da sorgenti diffuse di inquinante.**

Sulla scorta della mappatura delle aree a rischio idraulico (vedi estratto in allegato **L**) sono stati applicati i concetti espressi nei punti **5B**) e **5C**) a tutto il territorio comunale con le seguenti ulteriori ipotesi:

a) si opera secondo stabilizzazione idraulica deduttiva a partire dal baricentro di una zona a rischio idraulico e lavorando sui tempi cinematici di percorrenza dell'acqua di pioggia, procedendo a ritroso (ovvero verso monte) fino al baricentro della precedente area a rischio idraulico;

b) se l'area è interessata da sollevamento meccanico (posto internamente al territorio comunale o comunque correlato ad un tempo di corrivazione superiore a 4 ore) la durata minima della pioggia su cui tarare i volumi di mitigazione idraulica per stabilizzazione deduttiva viene comunque fissata nel valore minimo di 120 minuti in corrispondenza all'impianto;

c) si opera per approcci successivi in modo da non superare comunque il tempo "convenzionale" di 240 minuti (oltre questo valore si ritiene infatti che l'effetto "invaso" in situazione di piena prevalga sulla "componente cinematica" del comportamento del flusso dell'acqua di pioggia). Oltre tale valore, inoltre, si ritiene vengano a prevalere le caratteristiche dinamiche dei fenomeni di piena a valenza sovra-comunale;

d) la ricerca delle linee di ugual durata minima di pioggia viene eseguita per intervalli temporali non inferiori a 20 minuti.

I risultati dell'analisi sono stati riassunti nella tavola allegato **O**, denominata **Tempi di pioggia minimi per il dimensionamento dei volumi di detenzione idraulica in rispetto al principio di stabilizzazione idraulica deduttiva**. Illustriamo le principali conclusioni riassunte nella tavola:

1) Colore **verde**: zona con obbligo di sola stabilizzazione idraulica base. Si tratta di una vasta area urbana e periurbana drenante al sistema dello scolo Maestro posizionata a cavallo di via Piovese; l'area è soggetta alla sola applicazione del principio dell'invarianza idraulica. Le successive zone di valle, esterne al territorio di Padova ma immediatamente prossime al confine comunale, non presentano problematiche idrauliche significative ed il punto di recapito sul Bacchiglione (parzialmente a gestione meccanica per la presenza dell'idrovora Maestro) risulta "idrograficamente" lontano.

2) Colore **giallo**: zone con obbligo di stabilizzazione idraulica deduttiva con tempo di corrivazione esterno fissato nel valore 120 minuti. Si tratta di aree interessate direttamente da problemi idraulici ovvero posizionate a ridosso di sollevamenti meccanici dell'acqua di pioggia (idrovore).

3) Colore **arancione** e **rosso**: ancora aree soggette all'applicazione del concetto di stabilizzazione idraulica deduttiva. In via semplificativa sono state fissate due uniche gradazioni del tempo di corrivazione esterno (rispettivamente 140 e 160 minuti).

4) Colore **grigio**. Sono aree, generalmente con uso agricolo del suolo, ove la conoscenza più dettagliata e la relativa semplicità della rete di drenaggio hanno permesso, sulla scorta delle ipotesi fatte, di determinare con dettaglio maggiore le linee di ugual tempo di corrivazione esterno.

L'introduzione dei concetti di stabilizzazione idraulica *base*, *deduttiva* (vedi allegato **M**) permette una quantificazione dei volumi di laminazione in rapporto a specificità idrografiche locali, in particolar modo la presenza contermina di aree a rischio idraulico. La mitigazione delle piene con il sistema della detenzione idraulica viene a costituire un onere non trascurabile di urbanizzazione primaria; dalla tavola allegato **O** si può constatare come l'onerosità degli interventi di mitigazione idraulica risulta maggiore per i Soggetti attuatori di PUA collocati in aree dove il rischio idraulico è minore.

## 05.02 – SCELTE STRATEGICHE DEL PAT GUARDANDO AL PASSATO

Si è già detto come non sia compito del PAT, o almeno non può considerarsi compito prioritario, quello di organizzare il rientro dalle criticità idrauliche in essere nel territorio comunale. Pur tuttavia aver previsto nello strumento urbanistico strategico la necessità da parte del Comune di dotarsi di un Piano Regolatore delle Acque (vedi paragrafo precedente) costituisce per la presente VCI l'occasione di anticipare alcune considerazioni di carattere generale relativamente alle linee guida che in futuro dovrebbero regolamentare il citato rientro dalle criticità.

In particolare dalla "lettura" del quadro conoscitivo emergono le seguenti conclusioni:

→ **è necessario migliorare lo stato di conoscenza delle vie d'acqua esistenti (fognatura urbana, rete di irrigazione, scoli di bonifica, opere idrauliche) specialmente se dal quadro conoscitivo occorre dedurre le regole per pianificare efficacemente la gestione dell'acqua di pioggia e il rientro dalle criticità in essere;**

→ **pur essendo iniziato un processo, anche in termini pianificatori, destinato a portare alla separazione del collettamento delle acque luride da quello delle acque di pioggia, allo stato attuale ancora una gran parte del territorio comunale presenta una rete mista di drenaggio; è verificata inoltre una pesante interferenzialità tra utilizzi eterogenei delle vie d'acqua (irrigazione, bonifica, fognatura nera, fognatura bianca);**

→ **dal punto di vista strettamente qualitativo, pur essendo in corso un graduale miglioramento, permane una situazione di inquinamento diffuso e persistente lungo tutto il reticolo cittadino, con valori mediocri della qualità chimico-fisica delle acque. In varie zone del territorio anche la qualità microbiologica non è accettabile;**

→ dal punto di vista meramente materico-dimensionale (diametro condotte, materiali) e dal punto di vista "storico" (data di costruzione) la rete di drenaggio presenta una significativa varietà di situazioni non sempre in linea con le necessità conseguenti ad una moderna ed efficace gestione del ciclo integrale dell'acqua. **Ciò comporta che il rientro futuro dalle criticità non può che essere di molto dilatato nel tempo e gli oneri economici non potranno che essere significativi; come ulteriore conseguenza sarà necessario operare scelte oculate anche alla luce del lungo periodo transitorio di permanenza del sistema nello stato attuale.**

Ciò porta ad elencare una serie di piccole indicazioni destinate a incidere sulle scelte del futuro Piano Comunale delle Acque:

1) **COMMISTIONE FRA ACQUE IRRIGUE E ACQUE DI FOGNATURA**. Va confermato quanto già previsto dal Piano Stralcio dell'ATO Brenta-Bacchiglione circa la necessità di programmare l'eliminazione delle commistioni fra acque irrigue e acque reflue nei bacini interessati da gestione mista del ciclo dell'acqua. Ciò vale anche per l'area del Centro Storico dove potrà valutarsi, ad esempio, l'applicabilità di sistemi non convenzionali per il collettamento dell'acqua nera come il sistema di drenaggio intubato per depressione;

2) **MITIGAZIONE AMBIENTALE O ECO-MITIGAZIONE**. Va altresì confermato quanto previsto sempre dal citato Piano Stralcio relativamente alla necessità di una rilettura omogenea e coerente della situazione dell'intero territorio comunale con riferimento al tema delle acque di prima pioggia. E' opinione dello scrivente che l'indicazione andrebbe però integrata tenendo conto delle ultime linee guida emerse nella letteratura tecnica di settore circa le scelte necessarie per ridurre l'inquinamento da sorgente diffusa veicolato dall'acqua di pioggia in ambito urbano ("spostare"

l'intervento di mitigazione alla fonte del problema, imporre tecniche costruttive corrette o buone pratiche di costruzione, operare una gestione combinata "qualitativa" e "quantitativa" dell'acqua di pioggia, ecc...);

3) **RELATIVITA' DELLE CAUSE.** E' necessario distinguere le problematiche idrauliche correlate a situazioni locali (esondazioni di fognature urbane o scoli secondari), dalle problematiche idrauliche correlate a situazioni comprensoriali (problemi idraulici legati alla rete consorziale) e dalle problematiche correlate alla situazione di piena dei fiumi maggiori Brenta e Bacchiglione);

4) **SCELTE IMMEDIATE PER RIDURRE I PROBLEMI DI QUALITA' DELL'ACQUA.** Finché non viene conseguita una separazione definitiva fra gestione delle acque bianche e gestione delle acque nere occorre, ad esempio, operare con nuove opere o con diversa gestione dei manufatti idraulici in modo da aumentare le portate in situazione di magra, particolarmente nel centro storico di Padova;

5) **NODO IDRAULICO DI PADOVA NEL CONTESTO IDRAULICO INTERREGIONALE.** Per quanto riguarda il rischio idraulico correlato ad eventi di piena del fiume Brenta e del fiume Bacchiglione, preso atto che Padova nulla può fare per ridurre gli sviluppi incontrollati delle onde di piena in quanto solo a monte è possibile intervenire in tal senso, sarà necessario fare in modo che le onde di piena in transito lascino quanto possibile indenne il territorio comunale sia gestendo in modo oculato le portate fra Bacchiglione e Brenta, e sia predisponendo ulteriori opere idrauliche destinate a permettere il transito delle piene disastrose con adeguati livelli di sicurezza rispetto a tempi di ritorno ritenuti ammissibili per gli stessi eventi di piena;

6) **SPECIFICITA' TERRITORIALE E RISCHIO IDRAULICO LOCALE.** Per quanto riguarda il rischio idraulico correlato ad eventi di piena legati agli scoli minori e alla rete di fognatura urbana (vedi allegato L), tenendo conto del contesto idrografico attuale e del livello di urbanizzazione assunto dal territorio comunale, la mitigazione degli eventi di piena non può che avvenire intervenendo da una parte con un aumento degli "invasi" sul territorio (volumi di detenzione secca o umida, volumi di ritenzione secca o umida, nuove vie d'acqua a sezione maggiorata, ecc...) dall'altra trasferendo i volumi d'acqua durante le punte di piena ai corsi d'acqua maggiori (Brenta e Bracchiglione). Dare più peso all'uno o all'altro aspetto dipenderà dalle situazioni idrografiche locali, da valutazioni economiche, dal parere degli Organi di Controllo, ecc...

Nella tavola allegato **O** sono state messe in evidenza alcuni interventi possibili da inserire nel Piano Comunale Delle Acque (la numerazione seguente è riproposta in allegato O con colore **rosso scuro**):

#### **PUNTO 1**

**Problema:** gestione delle situazioni di rischio idraulico durante le grandi piene del Bacchiglione e del Brenta; rischio esondazione lungo il Roncayette inferiore (sponda sinistra).

**Fonte:** carte della pericolosità idraulica del PAI del Brenta-Bacchiglione.

**Possibile intervento:** risagomatura spondale; collegamento con scolmatore fra Roncayette e Idrovia per dirottare nella Idrovia una portata di qualche decina di metri cubi per secondo in situazione di piena (recupero preventivo di volume d'invaso nel canale Scaricatore prima dell'arrivo del colmo della piena) ovvero qualche metro cubo al secondo in tempo normale (vivificazione del flusso idrico lungo l'Idrovia); altro da valutare.

**Tempistica:** nel lungo periodo.

#### **PUNTO 2**

**Problema:** gestione delle situazioni di rischio idraulico nel Roncayette Superiore.

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova; documentazione progettuale pregressa.

**Possibile intervento:** predisporre uno scolmatore di piena dal Roncasette Superiore all'Idrovia attraverso la ricalibratura del tombinamento esistente con recupero di una via d'acqua in grado di garantire una portata massima di almeno 20-25 m<sup>3</sup>/sec.

**Tempistica:** nel lungo periodo.

### **PUNTO 3**

**Problema:** laminazione delle portate sviluppate in parte dell'area industriale; pretrattamento delle acque di pioggia per ridurre il carico inquinante da sorgente diffusa presente nelle acque drenanti alla Laguna di Venezia.

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova.

**Possibile intervento:** sfruttare la strada complanare all'Autostrada prevista dal PAT per predisporre una nuova via d'acqua con sezioni sovradimensionate per il recupero del volume di invaso, il trattamento preliminare di rimozione dell'inquinante e consegna delle acque presso il ponte autostradale sull'Idrovia (con impianto idrovoro integrativo del deflusso a gravità).

**Tempistica:** nel lungo periodo.

### **PUNTO 4**

**Problema:** riduzione del rischio idraulico nelle aree 3 e 4 (vedi allegato L).

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova; documentazione progettuale pregressa.

**Possibile intervento:** costruire un collettore/canale derivatore Chiesanuova-Brusegana con scarico finale ad impianto idrovoro presso il ponte fra Corso Australia e il fiume Bacchiglione con consegna dell'acqua di pioggia allo stesso Bacchiglione. Un sovradimensionamento dei volumi di invaso può ridurre drasticamente la portata massima delle idrovore mentre un pretrattamento delle acque di pioggia finalizzato alla rimozione del materiale solido trasportato può ridurre il grado di inquinamento.

**Tempistica:** nel medio periodo.

### **PUNTO 5**

**Problema:** riduzione del rischio idraulico nelle aree a valle del bacino dei Colli esterne al territorio di Padova (vedi allegato G).

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova; documentazione progettuale pregressa.

**Possibile intervento:** di concerto con il Comune di Abano predisporre una cassa di espansione in area agricola a valle del punto di confluenza fra il Bolzan e il Menona. L'acqua laminata potrà ritornare nel sistema del Menona ovvero essere sollevata con impianto idrovoro nel canale di Battaglia. Il manufatto idraulico potrebbe anche conformato in modo tale da permettere un trattamento "qualitativo" dell'acqua di piena laminata (riduzione dell'inquinamento da sorgenti diffuse di inquinante).

**Tempistica:** nel medio periodo.

### **PUNTO 6**

**Problema:** riduzione del rischio idraulico nell'area 7 (vedi allegato L).

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova; documentazione progettuale pregressa.

**Possibile intervento:** costruzione di un collettore/canale di gronda fra via Pontevigodarzere e via delle Fornaci con invasi naturalizzati di detenzione secca nella zona del nodo stradale a nord-ovest dell'ippodromo. Si ottiene in tal modo il collettamento e la laminazione delle acque di piena a nord dell'autostrada MI-VE con consegna delle acque laminate allo scolo Oliviero.

**Tempistica:** nel lungo periodo.

### **PUNTO 7**

**Problema:** riduzione del rischio idraulico nell'area 12 (vedi allegato L).

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova; documentazione progettuale pregressa.

**Possibile intervento:** rimodellazione morfologica e impianti colturali appropriati finalizzati a ricavare un'area di prima esondazione (laminazione del sistema dello scolo Modena e dello scolo Superiore di

Terranegra). Si ottiene la laminazione con un'area di detenzione secca in grado di garantire circa 20-25 mila m<sup>3</sup> di invaso.

**Tempistica:** nel breve periodo.

#### **PUNTO 8**

**Problema:** riduzione del rischio idraulico nell'area 5 (vedi allegato L).

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova; documentazione progettuale pregressa.

**Possibile intervento:** rimodellazione morfologica e impianti colturali appropriati finalizzati a ricavare un'area di prima esondazione e conseguente laminazione dei flussi di piena del Pioveghetto ed aree urbane limitrofe. La laminazione è ottenibile con un'area di detenzione secca in grado di garantire almeno 15-20 mila m<sup>3</sup> di invaso.

**Tempistica:** nel breve periodo.

#### **PUNTO 9**

**Problema:** riduzione del rischio idraulico nell'area 1 (vedi allegato L).

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova; documentazione progettuale Consorzio di Bonifica Bacchiglione-Brenta.

**Possibile intervento:** scolmatore di piena del Liminella e del Fossetta con scarico a mezzo idrovora nel fiume Brenta.

**Tempistica:** iter progettuale avviato.

#### **PUNTO 10**

**Problema:** riduzione del carico inquinante collettato dal drenaggio dell'area industriale ZIP.

**Fonte:** analisi dello stato della rete idrografica in Padova.

**Possibile intervento:** presso ogni punto di scarico della fognatura bianca o mista della ZIP nell'Idrovia prevedere la costruzione di una vasca di primo trattamento per la riduzione del carico inquinante e miglioramento della qualità dell'acqua.

**Tempistica:** nel lungo periodo.

### **06 - IL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO DEL BRENTA-BACCHIGLIONE**

In sede di Valutazione di Compatibilità Idraulica del primo PAT del Comune di Padova non è possibile non accennare allo studio idraulico più approfondito relativo al rischio idraulico afferente la stessa Area Metropolitana di Padova. Parliamo del Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione (zona di riferimento idrografico), predisposto ai sensi dell'art. 1, comma 1, della Legge 267/98, e della Legge 365/2000 da parte dell'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico.

Il piano, richiamato nella presente relazione col termine PAI, a detta degli estensori non è esaustivo e più volte gli stessi Autori precisato che le Amministrazioni Locali devono essere sensibilizzate ad adottare criteri di governo, utilizzazione e destinazione d'uso del territorio, indirizzati dalla massima prudenza. Il Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione è costituito fondamentalmente da una fase conoscitiva, da una fase propositiva e programmatica (contenute in una relazione generale) e dalla cartografia con la perimetrazione delle aree pericolose ed a rischio.

Nella prima redazione del piano non sono state perimetrate, in considerazione delle conoscenze disponibili, tutte le aree pericolose presenti sul territorio e quindi le cartografie proposte dal Piano Stralcio devono considerarsi un documento preliminare e non esaustivo delle reali, e di tutte le potenziali, pericolosità idrauliche e geologiche presenti nell'Area Metropolitana. Nel Piano viene precisato come l'estendersi

dell'urbanizzazione e l'uso sempre più intensivo del territorio hanno provocato una ampia e diffusa insufficienza delle reti idrauliche di bonifica e dei manufatti ad esse pertinenti. Inoltre alla citata insufficienza si accompagna spesso una parallela insufficienza dei corpi idrici nei quali devono confluire le acque dei comprensori, con la difficoltà o l'impossibilità di scarico in alcune situazioni e conseguente pregiudizio della sicurezza idraulica del territorio.

Per raggiungere un adeguato assetto dei comprensori di bonifica sotto il profilo della difesa idraulica secondo il PAI occorre acquisire indirizzi di carattere strutturale idonei ad introdurre nuove strategie di interventi specie se miranti a perseguire, oltre alla difesa idraulica, anche la valorizzazione del territorio.

Per la moderazione delle piene nelle reti minori il PAI ritiene indispensabile predisporre provvedimenti idonei ad arrestare la progressiva riduzione degli invasi ed a favorire il rallentamento e lo sfasamento dei tempi di concentrazione dei deflussi di piena conseguenti allo scarico delle portate fognarie nei collettori di bonifica a sezione ridotta.

Sempre secondo il PAI gli effetti vanno ottenuti programmando la realizzazione di superfici da destinare all'invaso di volumi equivalenti a quelli via via soppressi e, per quanto riguarda lo scarico delle reti bianche, mediante vasche di laminazione delle portate immesse in rete o mediante mitigazione idraulica con tecniche di detenzione distribuita (microlaminazione). Le superfici citate potrebbero altresì assicurare il raggiungimento di altre finalità fondamentali e parallele della bonifica idraulica, quali la tutela ambientale attraverso processi di miglioramento qualitativo delle acque.

Il Progetto di Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici dei Fiumi Isonzo, Tagliamento, Piave e Brenta-Bacchiglione, ha valore di piano territoriale di settore (Piano Sovraordinato) ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico operativo mediante il quale vengono pianificate le azioni e le norme d'uso riguardanti l'assetto idraulico ed idrogeologico del Bacino.

## **07 - LA STABILIZZAZIONE IDRAULICA**

L'impermeabilizzazione delle superfici e la loro "regolarizzazione", che sono le due manifestazioni più evidenti della urbanizzazione, contribuiscono in modo determinante all'incremento del coefficiente di afflusso (la percentuale di pioggia netta che diventa deflusso superficiale) e all'aumento conseguente del coefficiente udometrico (la portata per unità di superficie drenata) delle aree trasformate.

Il principio di *stabilizzazione idraulica base* sancisce che la portata di colmo della piena deve essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo. Nel rispetto delle prescrizioni del PATI dell'Area Metropolitana di Padova (ricordiamo che il PATI affronta il tematismo "difesa del suolo" e in tal modo si configura come piano "sovraordinato" rispetto al PAT, almeno dal punto di vista delle problematiche di mitigazione idraulica) anche per il PAT di Padova viene previsto il recepimento del principio di *stabilizzazione idraulica* nelle sue varie accezioni (vedi allegato **M**).

Tranne rare eccezioni, tenuto conto del contesto idrografico e pedo-geo-morfologico di Padova, l'unico modo per garantire la stabilizzazione idraulica delle trasformazioni è quello di prevedere volumi di stoccaggio temporaneo dei deflussi che compensino, mediante un'azione laminante, l'accelerazione dei deflussi e la riduzione dell'infiltrazione.

## 08 - CONCETTI DI MITIGAZIONE IDRAULICA RESI OBBLIGATORI DAL PAT

Per quanto riguarda specificatamente la disciplina urbanistica va qui ricordato che, ai fini della tutela del rischio geologico ed idraulico, il PAT suddivide il territorio di Padova in zone contraddistinte da differente grado di rischio (vedi allegato **D**):

1) zone *esposte in modo non trascurabile* al rischio idraulico da cui derivano terreni **idonei** all'edificazione **con prescrizioni** e con applicazione vincolante del principio della stabilizzazione base o della stabilizzazione deduttiva (vedi paragrafo **M** e allegato **O**);

2) zone *poco esposte* al rischio idraulico ed a scarsa pericolosità idraulica: terreni considerati **idonei** all'edificazione dove però viene sempre imposto il rispetto della stabilizzazione idraulica base o della stabilizzazione deduttiva a seconda della collocazione (vedi paragrafo **M** e allegato **O**);

3) infine zone *molto esposte* al rischio idraulico considerate **non idonee** all'edificazione.

In sede di formazione dei Piani di Intervento andranno precisati con maggior dettaglio gli interventi di protezione e/o correzione finalizzati alla eliminazione o alla mitigazione del rischio idraulico secondo le scelte strategiche della presente Valutazione di Compatibilità Idraulica.

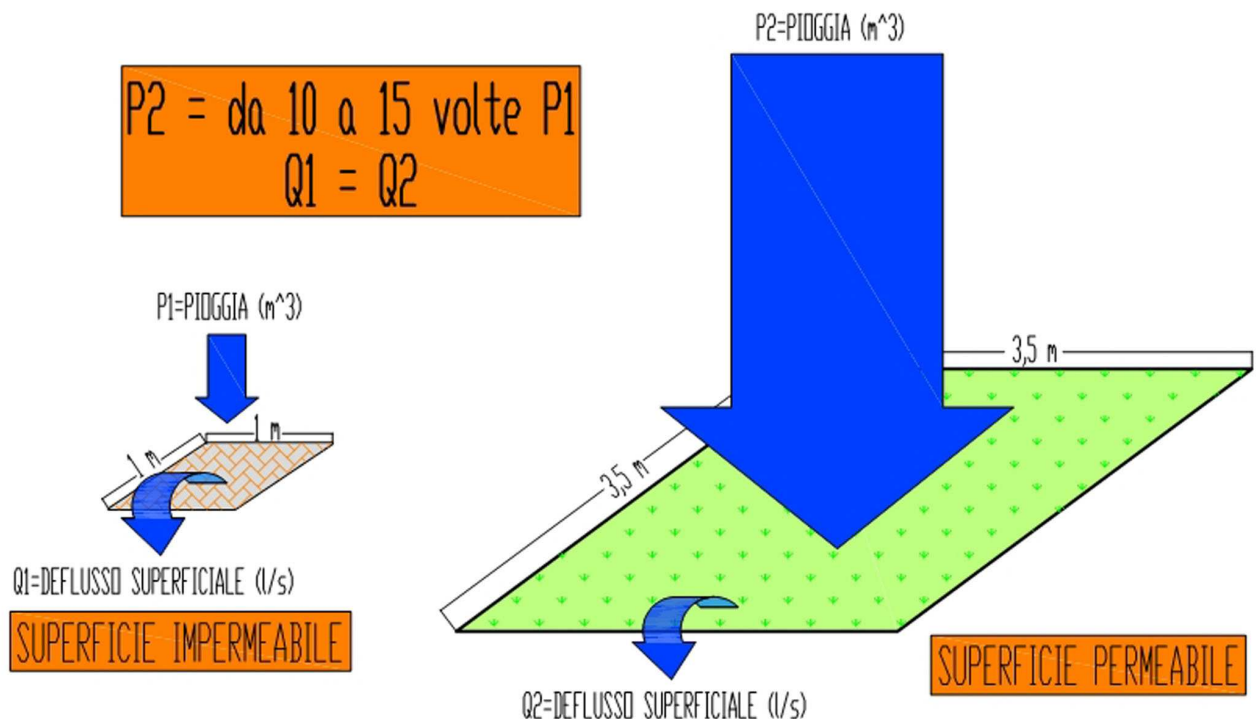
Nel paragrafo 5, punto 5A), è stato introdotto il concetto secondo il quale, indipendentemente dall'entità "quantitativa" dell'intervento edilizio o urbanistico (quindi a valere su ogni intervento interessato da Permesso a Costruire e Denuncia di Inizio Attività) viene prescritto l'obbligo di osservare e di far osservare una serie di indicazioni minimali tese a ridurre l'impatto della dinamica urbanistica ed edilizia sull'idrografia del territorio.

Gli indirizzi di mitigazione idraulica si concretizzano in una serie di prescrizioni che ora andremo ad illustrare.

## **PRESCRIZIONE A**

### **STABILIZZAZIONE IDRAULICA BASE.**

I nuovi interventi di impermeabilizzazione del suolo (nuove urbanizzazioni, nuova viabilità, nuovi poli produttivi, nuovi interventi edilizi, ecc...) non devono aumentare i coefficienti di deflusso ed i coefficienti udometrici relativamente alle singole aree di intervento, così da garantire la compatibilità con le condizioni idrografiche della rete scolante collocata a valle. Per interventi minori, non interessati da Piano Urbanistici Attuativi, salvo diversa indicazione nel paragrafo 9 e in assenza di studi idraulici specifici, dovranno essere sempre rispettate, nella parte applicabile, le prescrizioni successive.



## PRESCRIZIONE B

### STABILIZZAZIONE IDRAULICA DEDUTTIVA.

Ad intervento urbanistico/edilizio eseguito la rete di smaltimento delle acque piovane deve essere sempre in grado di sviluppare valori di portata massima almeno non superiore a quella stimabile nella situazione che precede l'intervento stesso, con riferimento ad un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione della zona oggetto di intervento (vedi **prescrizione A**: stabilizzazione idraulica base).

Per i grandi interventi edilizi e/o urbanistici in determinate zone del territorio comunale (vedi tavola in allegato **O**) é obbligatoria l'applicazione del concetto di **stabilizzazione idraulica deduttiva** in funzione di caratteristiche specifiche del rischio idraulico e del contesto idrografico locale. Sono considerati interventi edilizi e/o urbanistici significativi gli interventi soggetti a S.U.A. ovvero gli interventi di impermeabilizzazione del territorio che comportano uno sviluppo netto di area impermeabile superiore a 1.000 m<sup>2</sup> (nuova viabilità, parcheggi scambiatori, grandi superfici coperte, ecc...).

Per interventi minori, o non interessati da Piano Urbanistico Attuativo, e salvo diversa indicazione del paragrafo 9, andranno comunque rispettate le prescrizioni successive nella parte applicabile.

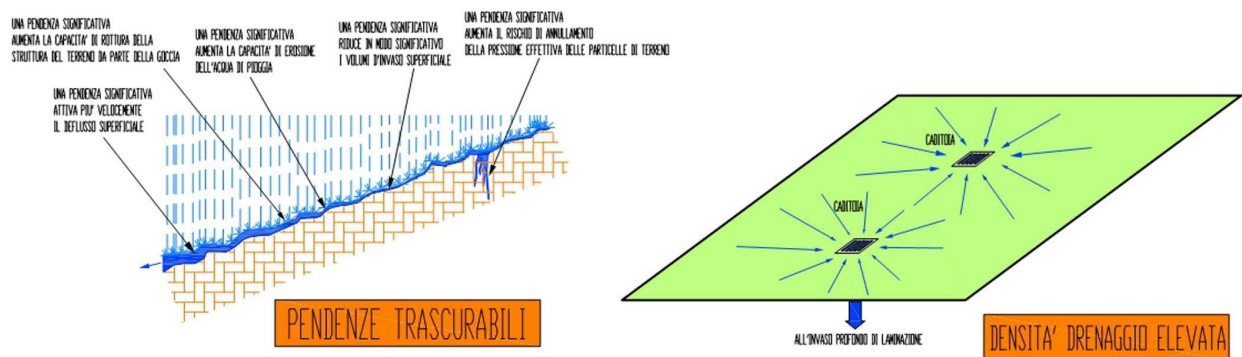


## PRESCRIZIONE C

### CORRETTA PROGETTAZIONE DELLE OPERE DI COLLETTAMENTO FOGNARIO.

Prediligere nella progettazione delle superfici degli interventi edilizi o urbanistici basse o trascurabili pendenze di drenaggio superficiale.

Dimensionare correttamente la densità della rete di punti di assorbimento (grigliati, chiusini, canalette di drenaggio, ecc...) a favore di un più veloce accumulo dell'acqua di pioggia nei volumi interrati di laminazione.

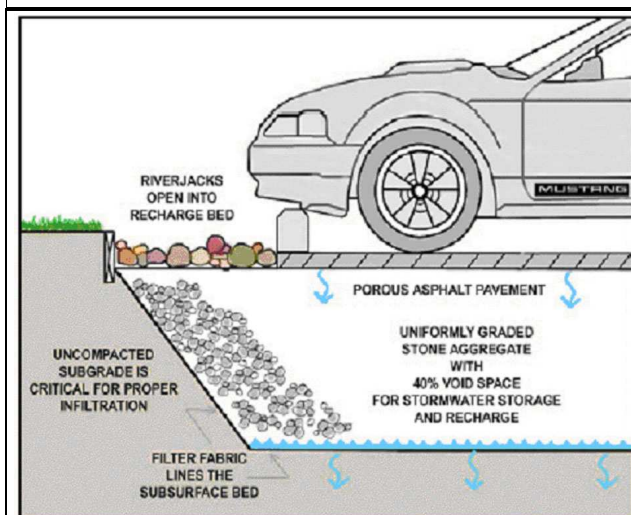


## **PRESCRIZIONE D**

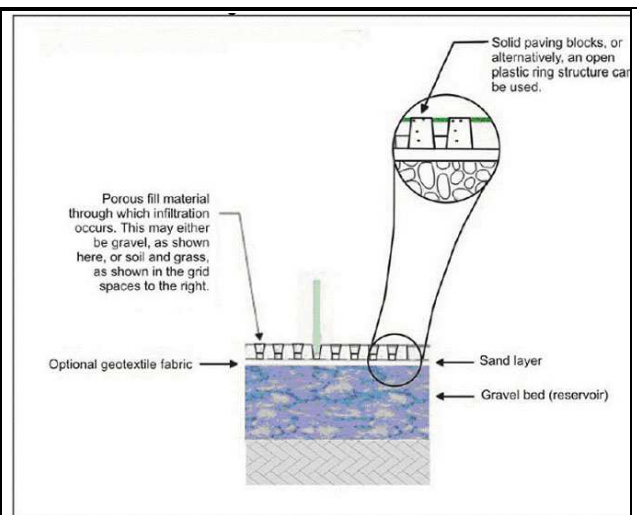
### **STALLI DI SOSTA PUBBLICI E/O PROVATI.**

Incentivare l'uso di schemi costruttivi che rendano permeabili le pavimentazioni destinate agli stalli di sosta veicolare pubblici/privati; in questo caso le pavimentazioni andranno realizzate su di un opportuno sottofondo che garantisca l'efficienza del drenaggio ed una capacità di invaso (porosità efficace) non inferiore ad una lama d'acqua di 15 cm.

Se non è possibile adottare il sopracitato sistema costruttivo valutare l'opportunità di predisporre ulteriori invasi finalizzati a compensare la perdita di capacità filtrante del terreno.



Tratto da *Cahill Associates, USA*



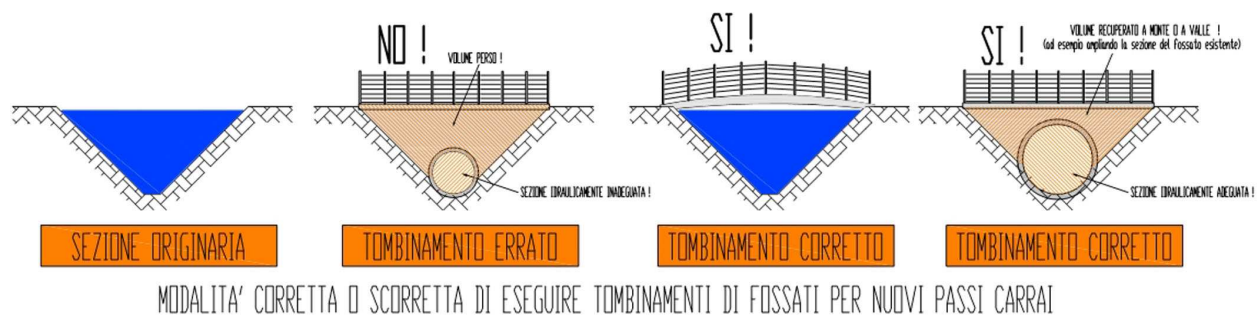
Tratto da *SCA Consulting Group, Lacey, WA, USA*

## **PRESCRIZIONE E**

### **SALVAGUARDARE LE VIE D'ACQUA.**

E' obbligatorio salvaguardare sempre le vie di deflusso dell'acqua per garantire lo scolo e contenere il ristagno. In particolare:

- a) salvaguardare e/o ricostituire i collegamenti con fossati o corsi d'acqua esistenti;
- b) rogge e fossati non devono subire interclusioni o perdere la funzionalità idraulica;
- c) eventuali ponticelli o tombotti interrati devono garantire una luce di passaggio mai inferiore a quella maggiore fra la sezione immediatamente a monte o quella immediatamente a valle della parte di fossato a pelo libero;
- d) l'eliminazione di fossati o volumi profondi a cielo libero non può essere attuata senza la previsione di adeguate misure di compensazione idraulica;
- e) nella realizzazione di nuove arterie stradali, ciclabili o pedonali, contermini a corsi d'acqua o fossati, si deve evitare il tombinamento dando la precedenza ad interventi di spostamento (in caso di assoluta e motivata necessità il tombinamento dovrà rispettare la capacità di flusso preesistente e il rispetto del volume preesistente, volume conteggiato per tratti idraulicamente omogenei sino al ciglio superiore più basso del fossato/canale).



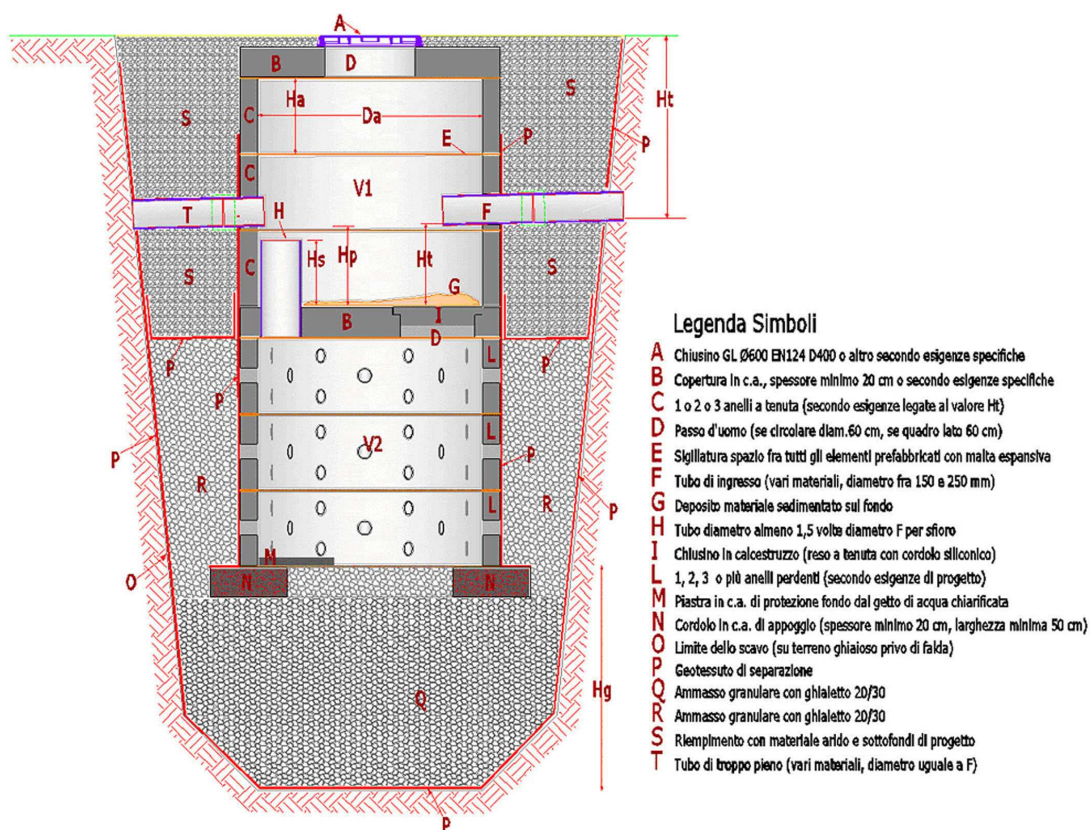
## PRESCRIZIONE F

### GESTIONE LOCALE DELL'ACQUA DI PIOGGIA.

Nella progettazione delle reti di smaltimento delle acque piovane:

a) prediligere, basse pendenze e grandi sezioni (diametri);

b) valutare l'opportunità, ove compatibile con i livelli di falda e col tipo di terreno presente, di impiegare *perdenti* nel primo sottosuolo e/o tubazioni di tipo drenante, in ogni caso previo trattamento ambientale di rimozione del sedimento/inquinante correlato al flusso di prima pioggia e garantendo la manutentabilità del sistema di infiltrazione.



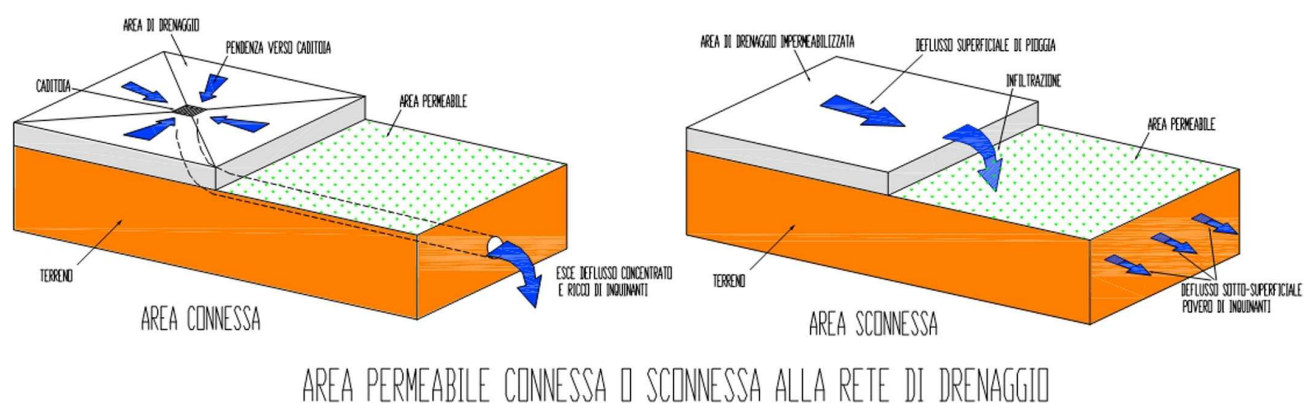
Esempio di soluzione corretta: metodo "bassanese" di dispersione in falda con anelli di dispersione e contemporanea eliminazione del materiale sedimentabile.

[metodo presentato per la prima volta nella VCI del primo PI del Comune di Bassano del Grappa (VI), 2008, © ing. Giuliano Zen]

## **PRESCRIZIONE G**

### **DISCONNESSIONE DELLE AREE VERDI DALLE RETI DI DRENAGGIO.**

Nelle aree verdi o naturalizzate la configurazione plano-altimetrica, quando possibile, deve agevolare l'assorbimento di parti non trascurabili di precipitazione defluenti dalle aree impermeabili limitrofe e contribuire, nel contempo, alla laminazione dei contributi di piena in transito nelle reti idrografiche (sconnessione dalla rete di drenaggio).



## **PRESCRIZIONE H**

### **SALVAGUARDARE I VOLUMI D'INVASO PRESENTI NATURALMENTE SUL TERRITORIO.**

Negli interventi edilizi ed urbanistici evitare di ridurre i volumi naturalmente invasabili delle aree interessate e favorire la creazione di nuove aree di libera esondazione.

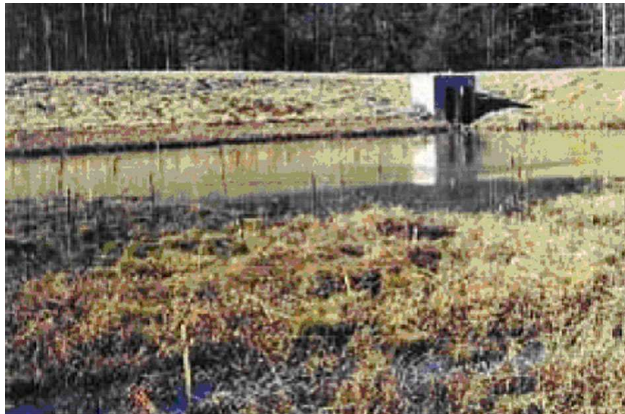


Il volume offerto da una area umida non deve essere perso in caso di recupero dell'area !

## **PRESCRIZIONE I**

### **RISPETTO DELLE OPERE DI MITIGAZIONE IDRAULICA ESISTENTI O PROGRAMMATE.**

E' vietato pregiudicare con gli interventi edilizi e/o urbanistici la realizzabilità o l'usufruibilità di opere di mitigazione idraulica destinate ad attenuare o eliminare situazioni di pericolosità.



## **PRESCRIZIONE L**

### **DISTRIBUZIONE CORRETTA DELLE AREE VERDI NEI P.U.A.**

Se la zona di intervento coinvolge direttamente uno scolo o canale a valenza pubblica (consorziale, comunale, di competenza del Genio Civile regionale o dello Stato) si dovrà preferibilmente definire la distribuzione planivolumetrica dell'intervento in modo che le aree a verde siano distribuite e concentrate lungo le sponde dello scolo o canale.

Questo anche per permettere futuri interventi di mitigazione e la manutenzione della via d'acqua.

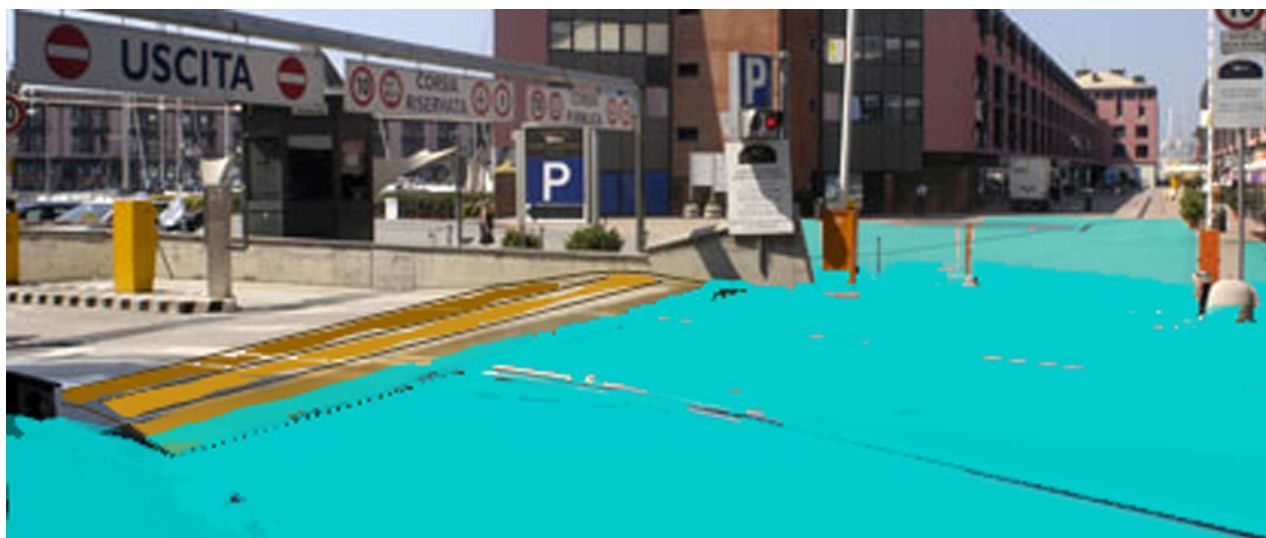


## **PRESCRIZIONE M**

### **VOLUMI INTERRATI E MORFOLOGIA DEGLI ACCESSI AI VOLUMI INTERRATI.**

Nelle zone ove possono verificarsi, o anche solo prevedersi, fenomeni di esondazione e ristagno incontrollato di acqua (vedi ad esempio la cartografia PAT relativa alle aree non idonee o idonee sotto condizione ovvero la planimetria in allegato **L**) è meglio evitare la costruzione di volumi interrati o, in alternativa, prevedere adeguati sistemi di impermeabilizzazione/drenaggio, e quanto necessario per impedire allagamenti dei locali interrati.

Il piano di imposta dei fabbricati dovrà essere convenientemente fissato su di una quota superiore al piano campagna medio circostante; tale quota dovrà essere superiore al piano campagna medio circostante di una quantità da precisare attraverso una analisi morfologica locale alla luce dei fenomeni esondativi o di ristagno idrico storicamente accaduti o prevedibilmente possibili una volta fissato il tempo di ritorno dell'evento da fronteggiare (mai inferiore a 50 anni).

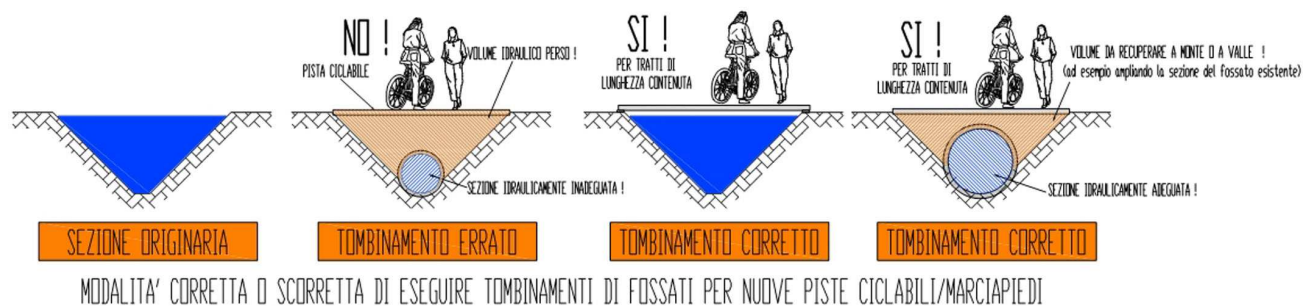


## PRESCRIZIONE N

### AMMISSIBILITA' DEGLI INTERVENTI SULLE VIE D'ACQUA.

Sono vietati interventi di tombinamento o di chiusura di fossati esistenti, anche privati, a meno di evidenti ed indiscutibili necessità attinenti la pubblica o privata sicurezza o comunque da solide e giustificate motivazioni.

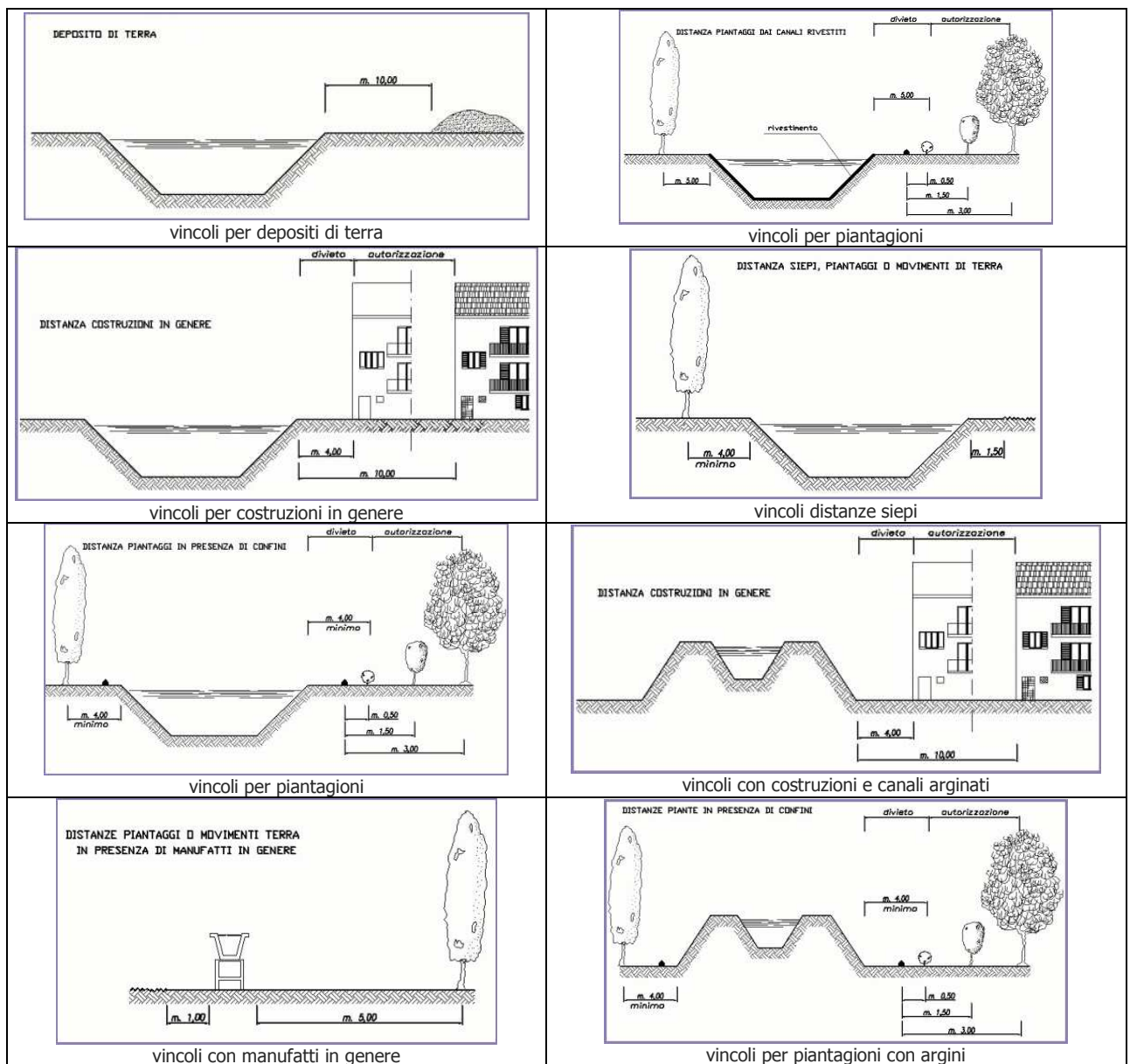
In caso di tombinamento occorrerà provvedere alla ricostruzione planoaltimetrica delle sezioni idriche perse secondo configurazioni che ripristinino la funzione iniziale sia in termini di volume che di capacità di smaltimento delle portate.



## PRESCRIZIONE O

**RISPETTARE E FAR RISPETTARE LA VIGENTE NORMATIVA DI SETTORE.** Se l'intervento interessa canali pubblici consortili o demaniali, anche se non iscritti negli elenchi delle acque pubbliche, tenere conto che la fascia di 10 m dal ciglio superiore della scarpata, o del piede esterno della scarpata esterna dell'argine esistente, è soggetta alle prescrizioni del R.D. 368/1904 e/o del R.D. 523/1904. L'intervento o il manufatto entro la fascia dovrà essere specificamente autorizzato a *titolo precario*, fermo restando l'obbligo di tenere completamente sgombrata da impedimenti una fascia di almeno 4 m. Sono vietate nuove edificazioni entro la fascia di 10 m. Riassumiamo alcuni vincoli di legge nelle figure allegate (NB: i vincoli possono variare da Consorzio a Consorzio, immagini tratte dal sito del Consorzio di Bonifica Dugali).

Qualsiasi previsione di costruzione entro la fascia dei 10 metri è soggetta al parere del Genio Civile di Padova. Inoltre nel caso di opere per le quali siano previsti scavi di notevoli profondità rispetto alla distanza dal rilevato arginale, la fascia di rispetto di cui sopra potrà superare i 10 m, intendendo tale precauzione come tecnica esecutiva atta a garantire la sicurezza e la staticità delle difese idrauliche come previsto dal T.U. 25/07/1904 n.523 art.96 e 98 e art.168 della Legge n.1865 allegato F e art.133 R.D. 08/05/1904 n.368.



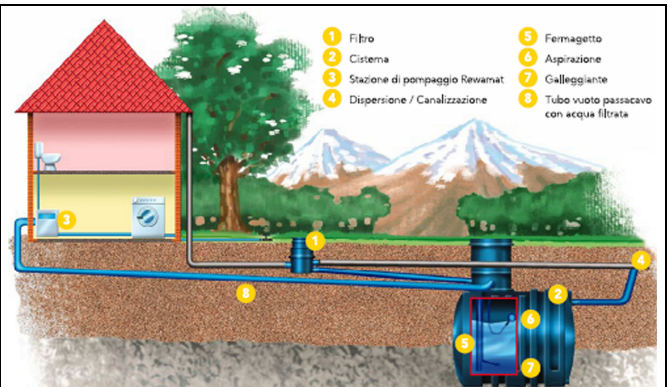
## **PRESCRIZIONE P**

### **CONSIDERARE L'ACQUA DI PIOGGIA COME BENE DA SALVAGUARDARE.**

Quando possibile favorire la predisposizione di tecniche di stoccaggio temporaneo di acqua meteorica per il riutilizzo successivo a fini di irrigazione o altro (esempio utilizzo industriale o per prevenzione incendi).



Accumuli alla base della grondaia



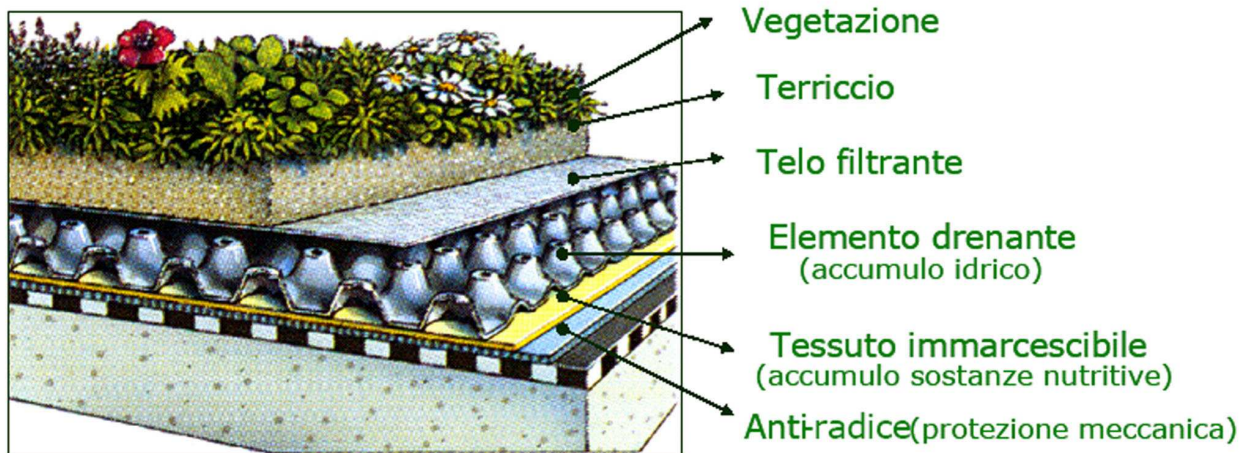
Sistema professionale per riuso acqua piovana (Envitec ©)

## **PRESCRIZIONE Q**

### **COPERTURE A GIARDINO.**

Quando possibile incentivare la realizzazione di tetti a giardino o semplicemente inerbiti, particolarmente in ambito urbano.

Ciò porta beneficio sia per la gestione *quantitativa* dell'acqua di pioggia (mitigazione idraulica) e sia per la gestione *qualitativa* dell'acqua di pioggia (eco-mitigazione); altro beneficio per nulla trascurabile si ottiene dalla riduzione degli *urban heat island effects* (effetti della isola di calore urbana).



## **PRESCRIZIONE R**

**NECESSITA' DEL PARERE SULLE OPERE DI MITIGAZIONE IDRAULICA ANCHE PER INTERVENTI NON SOGGETTI A P.U.A. (VEDI PARAGRAFO 9) MA DI "CARATTERISTICHE" SIGNIFICATIVE.**

Secondo le indicazioni del Consorzio di Bonifica Bacchiglione-Brenta la realizzazione di ogni intervento edilizio e/o urbanistico, sia di natura pubblica che privata, che comporta un aumento della superficie impermeabile uguale o superiore a 1.000 m<sup>2</sup> netti, dovrà essere accompagnato dal parere idraulico sulle opere compensative di mitigazione idraulica rilasciato dal Consorzio competente per zona, previa presentazione della relativa pratica corredata da elaborati grafici esaustivi.

In particolare gli elaborati dovranno ricomprendere i dati plano-altimetrici della zona di intervento e le descrizioni dei particolari a significatività idrologica ed idrografica, sia dello stato di fatto che di progetto, con indicazioni del percorso di deflusso delle acque di pioggia fino al primo ricettore consortile.

Per superficie impermeabile netta si intende l'area convenzionale corrispondente idrologicamente all'area oggetto di intervento urbanistico/edilizio per la quale il coefficiente di deflusso medio orario, relativo ad eventi di pioggia a tempo di ritorno non inferiore a 50 anni, risulta pari a 0,95.

## **PRESCRIZIONE S**

### **DEFINIZIONE COMPLETA DEI PERCORSI DELL'ACQUA DI PIOGGIA.**

Nei piani urbanistici attuativi il progetto delle opere di mitigazione idraulica deve sempre indicare lo schema idraulico che collega l'area di intervento con la rete consortile, o con fiumi o canali a valenza regionale, definendo tutte le eventuali affossature private o linee fognarie interessate dal percorso dell'acqua di pioggia.

In caso di soluzione "in loco" della gestione dell'acqua di pioggia attraverso pozzi perdenti la presente prescrizione rimane comunque valida con riferimento all'eventuale scarico di "troppo pieno".

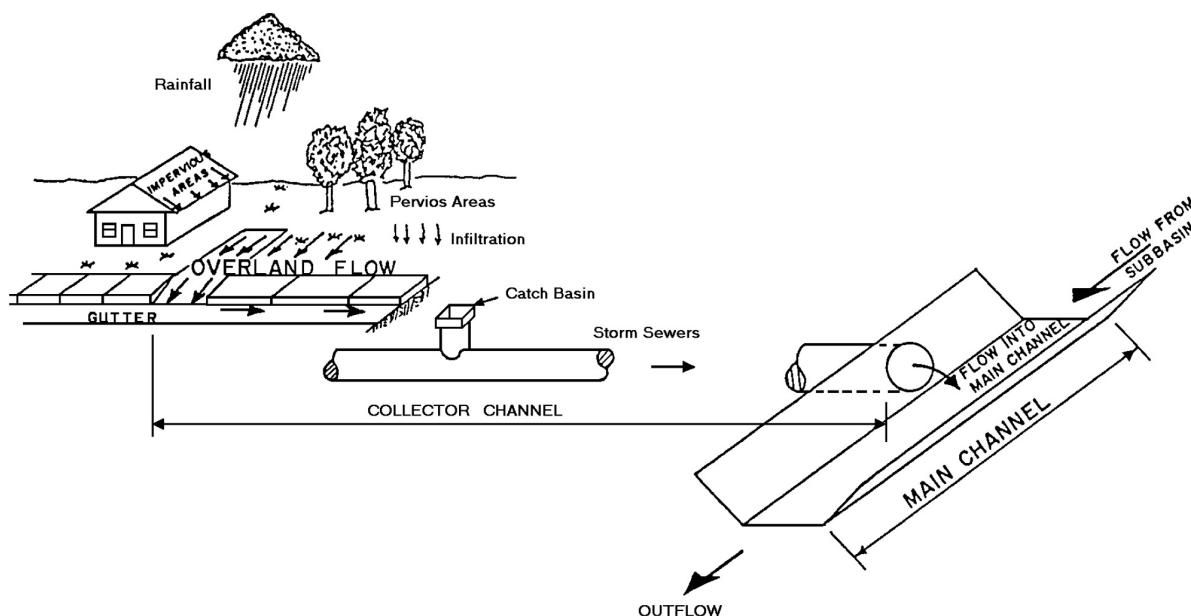


Immagine tratta da: *Engineering and Design Flood-Runoff Analysis*.  
Department of the Army U.S. Army Corps of Engineers, Washington, Engineer Manual 1110-2-1417

## **PRESCRIZIONE T**

**SPECIFICHE PRESCRIZIONI DEL CONSORZIO DI BONIFICA.** Nelle pratiche di acquisizione del parere idraulico da parte del Consorzio di Bonifica competente per il Comune di Padova il Consorzio di Bonifica stesso ha titolo per richiedere nei calcoli di mitigazione idraulica (in particolare nella dimostrazione circa il rispetto dei principi di stabilizzazione idraulica base, deduttiva o induttiva, come previsto dalla presente Valutazione di Compatibilità Idraulica) che la portata di laminazione, espressa in  $l/s$ , non sia in ogni caso superiore al valore 5 moltiplicato per l'estensione dell'area di interesse espressa in ettari. La prescrizione non è applicabile in caso di soluzione "in loco" della gestione dell'acqua di pioggia attraverso pozzi perdenti o manufatti simili.

## **PRESCRIZIONE U**

**TRATTAMENTO QUALITATIVO DELL'ACQUA DI PIOGGIA.** In assenza di una organica Legge Regionale in materia viene prescritto che negli interventi di costruzione di nuove strade ricadenti all'interno di aree SIC o ZPS ovvero in aree ricadenti entro il Bacino Scolante in Laguna di Venezia, oltre alle opere di mitigazione idraulica (trattamento *quantitativo* delle acque di pioggia) devono obbligatoriamente essere realizzati sistemi per il trattamento *qualitativo* dell'acqua di pioggia (rimozione degli inquinanti secondo le norme statali in vigore); parallelamente è obbligatorio predisporre e rendere operativo un progetto per la manutenzione e pulizia degli stessi sistemi di rimozione.

## **PRESCRIZIONE V**

**UTILIZZO IMPROPRIO DELLE VIE D'ACQUA.** La fruibilità dei corsi d'acqua per scopi ludici ed ecologici è ammessa esclusivamente se compatibile con un ottimale funzionamento idraulico dei corsi stessi e previo parere vincolante della competente Autorità Idraulica (Genio Civile e Consorzio competente per zona).

## **PRESCRIZIONE Z**

**RISPETTO DEI VOLUMI DI ESONDAZIONE GIA' IN ESSERE SUL TERRITORIO.** La progettazione idraulica in caso di nuove urbanizzazioni non deve limitarsi al solo ambito di intervento ma deve considerare lo stato di fatto delle zone contermini e lo stato di fatto del bacino idrografico di appartenenza. Se il sedime di una futura urbanizzazione risulta interessato da ristagni di acqua di pioggia durante i grandi eventi di precipitazione l'eventuale innalzamento della quota media del piano campagna dovrà essere compensato attraverso la realizzazione di ulteriori volumi di invaso (aggiuntivi rispetto a quelli definiti in funzione della superficie impermeabilizzata) intervenendo, ad esempio, sulla rete superficiale esistente.

## 09 - NORMATIVA SPECIFICA PER PADOVA

Le disposizioni seguenti, evidenziate sotto forma di scheda, si riferiscono alla disciplina specifica per il Comune di Padova e per ogni tematismo considerato dal PAT comunale. I tematismi indicati nelle tavole del PAT ed il limite del territorio interessato dalle trasformazioni urbanistiche, vengono precisati nei Piani di Intervento. In termini di vincolo generale va da subito chiarito come gli interventi vengono consentiti comunque entro i limiti permessi dalle *condizioni di fragilità* indicate nelle tavole del PAT. Al termine della scheda viene presentato un paragrafo denominato *misure di mitigazione*; tale paragrafo precisa le prescrizioni da adottare al fine di conseguire la mitigazione idraulica dell'intervento e da adottare in sede di formazione dei Piani di Intervento (PI); il paragrafo quindi sarà *di riferimento* durante l'istruttoria per ottenere i Permessi a Costruire o nelle pratiche di Denuncia di Inizio Attività dopo l'approvazione del PAT, ovvero durante le fasi di predisposizione di ogni successivo Piano di Intervento.

### 09.01 – SCHEDA PADOVA

**Superficie territoriale:** 9.329 ettari.

**Previsioni urbanistiche:** vengono "riproposte" di seguito anche le previsioni del PATI dell'Area Metropolitana relativamente al Comune di Padova; il PAT di Padova, con riferimento alle sole previsioni che incidono sulla modificazione dei livelli di impermeabilizzazione del suolo, prevede vari interventi da precisare col Piano di Intervento (per un approfondimento si rimanda alla relazione del PAT, alle NTA del PAT e alle tavole urbanistiche del PAT; vedi anche quanto riassunto nella tavola in allegato **I**):

- a) varie direzioni preferenziali di sviluppo produttivo-commerciale (vedi punti 1 e 2 in allegato **I**);
- b) nuova viabilità primaria e secondaria variamente distribuita sul territorio;
- c) varie stazioni SMFR;
- d) nuovi itinerari ambientali e storici (anche piste ciclabili);
- e) vari istituti superiori da potenziare;
- f) 1 nuovo impianto sportivo;
- g) 1 nuovo polo ospedaliero;
- h) poli ospedalieri esistenti da qualificare;
- i) impianti sportivi esistenti da potenziare;
- l) nuove linee metrobuses;
- m) viabilità esistente da potenziare;
- n) 1 polo culturale-ludico-scientifico;
- o) una nuova stazione autolinee extraurbane;
- p) 3 nuovi parcheggi a valenza metropolitana (vedi punti 3, 4 e 5 in allegato **I**) e vari parcheggi a valenza locale;
- q) 11 direzioni di espansione residenziale (vedi punti da 6 a 17, allegato **I**);
- r) vari ambiti di piano attuativo ereditati dal PRG vigente;
- s) un corridoio plurimodale come previsione strutturale di futuro collegamento viario futuro.

**Condizioni di fragilità e/o criticità:** Presenza di aree idonee, idonee sotto condizione, non idonee (vedi tavole urbanistiche o allegato **D**). Presenza di aree a rischio idraulico (vedi allegato **L**, vedi paragrafo **04**). Presenza di aree classificate pericolose secondo grado P1, P2 e P3 dal PAI del Bacino Brenta-Bacchiglione (vedi allegato **B**).

**Rete idrografica e caratteri morfo-idro-geologici ed idrografici:** Vedi paragrafo **03**, vedi tavola allegato **A** (idrografia), vedi allegato **C** (litologia); vedi allegato **E** (idrogeologia); vedi allegato **F** (microrilievo); vedi allegato **G** (sottobacini idrografici); vedi allegato **H** (Consorzio di Bonifica competente).

**Valutazione di massima dei volumi di mitigazione idraulica:** Trattandosi il PAT di un piano "strutturale" risulta impossibile eseguire una valutazione, anche di massima, dei volumi di mitigazione idraulica. Con riferimento al solo tema dell'espansione "residenziale" ed a titolo puramente indicativo, tenuto conto che la previsione di espansione ammonta a circa 1.300.000 m<sup>3</sup> a cui vanno sommati circa 2.600.000 m<sup>3</sup> di "residuo" ereditato dal precedente PRG si può dedurre che in condizioni "medie" nei prossimi anni per mitigare dal punto di vista idraulico l'espansione del residenziale saranno necessari grossomodo 50.000-60.000 m<sup>3</sup> di invasi profondi o superficiali di detenzione idrica distribuita sul territorio in ragione proporzionale al tasso di impermeabilizzazione connesso ad ogni singolo PUA. La stima è eseguita ipotizzando un'altezza media di 6 m del fabbricato, un'area del lotto pari al doppio del sedime dell'edificato e un invaso specifico medio pari a 400-500 mc/ha. Gli esempi seguenti danno ulteriori informazioni circa l'entità dei volumi di mitigazione idraulica conseguenti alle scelte strategiche introdotte dalla presente VCI.

**ESEMPIO 1.** Ipotizziamo di attuare un PUA relativo alla direzione di espansione residenziale numero 10 prevista dal PAT (vedi allegato I, vedi anche il punto 13 del successivo paragrafo **Prescrizioni di mitigazione idraulica**). Dalla tavola allegato O ricaviamo che il tempo di pioggia minimo per il progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva è di 120 minuti. Ipotizziamo inoltre che l'area della lottizzazione sia di complessivi 20.000 m<sup>2</sup>, il coefficiente di deflusso medio orario attuale sia pari a 0,10 e il coefficiente di deflusso medio orario a piano urbanistico realizzato sia 0,65. Si ipotizza un intervento di mitigazione idraulica per detenzione utilizzando condotte a sezione circolare sovradimensionate e strozzatura idraulica ricavata con foro circolare. La portata di laminazione in prima approssimazione si considera ad andamento lineare. Si utilizza un modello lineare stazionario con curva area-tempi lineare e precipitazione efficace di intensità costante ipotizzata uniformemente distribuita sull'area oggetto di intervento (modello della corrivazione). La stabilizzazione idraulica risulta vincolata all'esistenza di un'area valliva a rischio idraulico per la quale è stimato un tempo di corrivazione TB maggiore del tempo di corrivazione TC della presente area oggetto di mitigazione.

#### DATI DI INGRESSO

Tempo di ritorno (anni) ..... : 50  
 Tempo di corrivazione dell'area oggetto di mitigazione Tc (min) . : 60  
 Tempo di corrivazione area esterna a rischio idraulico Tb (min) . : 120  
 Coefficiente di deflusso orario con uso attuale del suolo FI1 (-) : .1  
 Coefficiente di deflusso orario con uso futuro del suolo FI2 (-) : .65  
 Superficie dell'area oggetto di mitigazione idraulica BS (mq) ... : 20000  
 Diametro D dei tubi circolari di laminazione (cm) ..... : 100

#### RISULTATI DEI CALCOLI IDRAULICI

Coefficiente A della curva climatica utilizzando TB (mm/ore^n) .. : 63.7  
 Coefficiente N della curva climatica utilizzando TB (-) ..... : .229  
 Coefficiente A ragguagliato secondo Puppini con TB (mm/ore^n) ... : 63.63  
 Coefficiente N ragguagliato secondo Puppini con TB (-) ..... : .229  
 Portata massima attuale Qm1=(A\*TB^((4/3)\*N-1))\*FI1\*BS (l/s) .... : 21.849  
 Portata di laminazione Qu al li\*vello massimo (l/s) ..... : 21.849  
 Coefficiente A della curva climatica utilizzando TC (mm/ore^n) .. : 63.7  
 Coefficiente N della curva climatica utilizzando TC (-) ..... : .4  
 Coefficiente A ragguagliato secondo Puppini con TC (mm/ore^n) ... : 63.63  
 Coefficiente N ragguagliato secondo Puppini con TC (-) ..... : .4  
 Portata massima futura Qm2=(A\*Tc^((4/3)\*N-1))\*FI2\*Bs (l/s) ..... : 229.789  
 Valore del rapporto ETA=Qu/Qm2 ..... : .095  
 Valore THETA dalla relazione ETA=2\*N\*THETA^(N-1) ..... : 7.706  
 Durata Tcrit della pioggia critica da THETA=Tcrit/Tc (min) ..... : 462.3  
 Invaso critico Vc da Vc/(Qm2\*Tc)=THETA^N-0,5\*ETA\*(THETA+1) ..... : 979  
 Lunghezza L da calcolo dei collettori laminazione (m) ..... : 1246.5  
 Volume invaso totale VTI (con 0 mc/ha addizionali) in mc ..... : 979  
 Volume specifico di invaso VS (mc/ha) ..... : **489.5**  
 Diametro D1 foro laminazione da formula torricelliana utilizzando il coefficiente di portata = 0,61 (diametro espresso in mm) .... : 101.5  
 Diametro D2 adottato per foro laminazione (mm) ..... : 101.5  
 Volume di pioggia caduto VTP durante Tcrit (mc) ..... : 2376.3  
 Volume VP1, nelle condizioni attuali, trattenuto dal bacino e calcolato con la relazione VP1=VTP-A\*Tcrit^N\*FI1\*Bs (mc) ..... : 2138.7  
 Volume VP2, nelle condizioni future, trattenuto dal bacino e calcolato con la relazione VP2=VTP-A\*Tcrit^N\*FI2\*Bs (mc) ..... : 831.7  
 Deficit di invaso DDV fra situazione futura e attuale di uso del suolo calcolato con la relazione DDV=VP2-VP1 (mc) ..... : -1307

Per l'area in oggetto, passando da un coefficiente di deflusso orario pari a .1 ad un coefficiente di deflusso orario pari a .65 , si ottiene la stabilizzazione idraulica deduttiva, correlata ad un tempo di corrivazione esterno di 120 min, prevedendo un volume di invaso realizzato con 1246 m di condotta diametro 100 cm; l'invaso sarà gestito allo sbocco da un foro circolare diametro 101 mm con tirante massimo, in

corrispondenza della portata di laminazione  $Q_u = 21.8$  l/s, pari a 100 cm. Il deficit stimato di volume di pioggia, gestito dall'invaso di 979 mc (ovvero 489 mc/ha), ammonta complessivamente a -1307 mc. Per la portata di laminazione, in prima approssimazione, e' stato ipotizzato un andamento di crescita lineare durante la piena. Ipotizziamo infine che il volume di laminazione sia ottenuto usando esclusivamente tubi interrati diametro 100 cm; in questo caso occorre aggiungere ulteriore volume interrato in ragione del 10% (quindi ulteriori 125 m di tubo) in ossequio alla prescrizione di cui al punto 13 del successivo paragrafo **Prescrizioni di mitigazione idraulica**.

**ESEMPIO 2.** Ipotizziamo di attuare un PUA relativo alla direzione di espansione produttiva numero 1 prevista dal PAT (vedi allegato **I**, vedi anche il punto 9 del successivo paragrafo **Prescrizioni di mitigazione idraulica**). Dalla tavola allegato **O** ricaviamo che il tempo di pioggia minimo per il progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva è di 120 minuti. Ipotizziamo inoltre che l'area della lottizzazione sia di complessivi 35.000 m<sup>2</sup>, il coefficiente di deflusso attuale sia pari a 0,1 e il coefficiente di deflusso a piano realizzato sia 0,85. Si ipotizza un intervento di mitigazione idraulica per detenzione utilizzando condotte a sezione circolare sovradimensionate e strozzatura idraulica ricavata con foro circolare. La portata di laminazione in prima approssimazione si considera ad andamento lineare. Si utilizza un modello lineare stazionario con curva area-tempi lineare e precipitazione efficace di intensità costante ipotizzata uniformemente distribuita sull'area oggetto di intervento (modello della corrivazione). La stabilizzazione idraulica risulta vincolata all'esistenza di un'area valliva a rischio idraulico per la quale e' stimato un tempo di corrivazione TB maggiore del tempo di corrivazione TC della presente area oggetto di mitigazione.

#### DATI DI INGRESSO

Tempo di ritorno (anni) ..... : 50  
 Tempo di corrivazione dell'area oggetto di mitigazione Tc (min) . : 60  
 Tempo di corrivazione area esterna a rischio idraulico Tb (min) . : 120  
 Coefficiente di deflusso orario con uso attuale del suolo FI1 (-) : .1  
 Coefficiente di deflusso orario con uso futuro del suolo FI2 (-) : .85  
 Superficie dell'area oggetto di mitigazione idraulica BS (mq) ... : 35000  
 Diametro D dei tubi circolari di laminazione (cm) ..... : 120

#### RISULTATI DEI CALCOLI IDRAULICI

Coefficiente A della curva climatica utilizzando TB (mm/ore<sup>n</sup>) .. : 63.7  
 Coefficiente N della curva climatica utilizzando TB (-) ..... : .229  
 Coefficiente A ragguagliato secondo Puppini con TB (mm/ore<sup>n</sup>) ... : 63.58  
 Coefficiente N ragguagliato secondo Puppini con TB (-) ..... : .23  
 Portata massima attuale  $Q_{m1} = (A \cdot TB^{(4/3)} \cdot N - 1) \cdot FI1 \cdot BS$  (l/s) .... : 38.216  
 Portata di laminazione  $Q_u$  al livello massimo (l/s) ..... : 38.216  
 Coefficiente A della curva climatica utilizzando TC (mm/ore<sup>n</sup>) .. : 63.7  
 Coefficiente N della curva climatica utilizzando TC (-) ..... : .4  
 Coefficiente A ragguagliato secondo Puppini con TC (mm/ore<sup>n</sup>) ... : 63.58  
 Coefficiente N ragguagliato secondo Puppini con TC (-) ..... : .401  
 Portata massima futura  $Q_{m2} = (A \cdot Tc^{(4/3)} \cdot N - 1) \cdot FI2 \cdot Bs$  (l/s) ..... : 525.453  
 Valore del rapporto  $ETA = Q_u / Q_{m2}$  ..... : .073  
 Valore THETA dalla relazione  $ETA = 2 \cdot N \cdot THETA^{(N-1)}$  ..... : 10.936  
 Durata Tcrit della pioggia critica da  $THETA = Tcrit / Tc$  (min) ..... : 656.1  
 Invaso critico Vc da  $Vc / (Q_{m2} \cdot Tc) = THETA^N - 0,5 \cdot ETA \cdot (THETA + 1)$  ..... : 2455.1  
 Lunghezza L da calcolo dei collettori laminazione (m) ..... : 2170.8  
 Volume invasore totale VTI (con 0 mc/ha addizionali) in mc ..... : 2455.1  
 Volume specifico di invasore VS (mc/ha) ..... : **701.5**  
 Diametro D1 foro laminazione da formula torricelliana utilizzando il coefficiente di portata = 0,61 (diametro espresso in mm) .... : 128.2  
 Diametro D2 adottato per foro laminazione (mm) ..... : 128.2  
 Volume di pioggia caduto VTP durante Tcrit (mc) ..... : 4628.7  
 Volume VP1, nelle condizioni attuali, trattenuto dal bacino e calcolato con la relazione  $VP1 = VTP - A \cdot Tcrit^N \cdot FI1 \cdot Bs$  (mc) ..... : 4165.8  
 Volume VP2, nelle condizioni future, trattenuto dal bacino e calcolato con la relazione  $VP2 = VTP - A \cdot Tcrit^N \cdot FI2 \cdot Bs$  (mc) ..... : 694.3  
 Deficit di invasore DDV fra situazione futura e attuale di uso del suolo calcolato con la relazione  $DDV = VP2 - VP1$  (mc) ..... : -3471.5

Per l'area in oggetto, passando da un coefficiente di deflusso orario pari a .1 ad un coefficiente di deflusso orario pari a .85, si ottiene la stabilizzazione idraulica deduttiva, correlata ad un tempo di corrivazione esterno di 120 min, prevedendo un volume di invasore realizzato con 2171 m di condotta diametro 120 cm; l'invasore sara' gestito allo sbocco da un foro circolare diametro 128 mm con tirante massimo, in corrispondenza della portata di laminazione  $Q_u = 38.2$  l/s, pari a 120 cm. Il deficit stimato di volume di pioggia, gestito dall'invasore di 2455 mc ovvero 701 mc/ha), ammonta complessivamente a -3472 mc. Per la portata di laminazione, in prima approssimazione, e' stato ipotizzato un andamento di crescita lineare durante la piena. Ipotizziamo infine che il volume di laminazione sia ottenuto per il 50% utilizzando un fossato a cielo aperto entro l'area produttiva con altezza di laminazione pari a 120 cm; con riferimento alla parte interrata occorre aggiungere ulteriore volume interrato in ragione del 10% ( $2171/2 \cdot 0.1 = 109$  m di tubo diametro 120 cm) in ossequio alla prescrizione di cui al punto 9 del successivo paragrafo **Prescrizioni di mitigazione idraulica**.

### **Prescrizioni di mitigazione idraulica:**

**1)** Nel rispetto delle scelte strategiche di mitigazione idraulica introdotte dal PATI Area Metropolitana di Padova – 2008, la presente VCI, e quindi il PAT di Padova, adottano il principio secondo il quale la polverizzazione della dinamica urbanistica (che si concretizza quasi sempre in “piccoli” interventi) non può costituire motivo per considerare ininfluenti nel complesso i conseguenti effetti dell’impermeabilizzazione dei suoli. A far data dall’approvazione del PAT, per le previsioni urbanistiche ereditate dal vigente PRG, e a far data dall’approvazione dei futuri Piani di Intervento, per le nuove previsioni urbanistiche introdotte dal PAT in parola, deve essere previsto che in sede di istruttoria per conseguire il Permesso a Costruire o in sede di istruttoria per Denuncia di Inizio Attività, per qualsiasi tipo di corrispondente intervento urbanistico o edilizio, deve essere verificata la rispondenza delle previsioni progettuali agli indirizzi e alle prescrizioni di mitigazione idraulica evidenziate nel paragrafo **08**.

**2)** In ogni futuro Piano di Intervento si dovranno rispettare le prescrizioni di mitigazione idraulica introdotte nella presente Valutazione di Compatibilità Idraulica e si dovranno integrare o affinare le stesse prescrizioni in base alla Norma Urbanistica di dettaglio relativa allo specifico ambito di intervento; il tutto nel rispetto delle scelte strategiche di cui ai paragrafi **05**, **07** e **08**.

**3)** Le opere di mitigazioni idraulica previste dalla pratica urbanistica sono destinate a ridurre l’effetto della maggior impermeabilizzazione causata dall’edificio o dall’intervento di urbanizzazione o dall’intervento al sistema infrastrutturale viario; dette opere acquistano valore di interesse pubblico in quanto riducono il rischio idraulico nelle aree poste a valle della zona oggetto di intervento. Per le opere di mitigazione idraulica deve essere sempre prescritta la manutenzione obbligatoria ed eterna in carico ai concessionari e deve essere tenuto presso l’U.T.C. un apposito archivio dei progetti al fine di permettere future integrazioni o controlli allo stato dei manufatti.

**4)** Nella regolamentazione urbanistica dei futuri Piani di Intervento dovrà essere tassativamente previsto il divieto di realizzare interventi edilizi, urbanistici o sulla viabilità, sia di natura privata che di natura pubblica, che rendano impossibile l’esecuzione delle opere strutturali eventualmente elencate nel prosieguo delle presenti prescrizioni e, in generale, che rendano impossibile l’esecuzione di opere finalizzate alla riduzione, annullamento o limitazione dei dissesti idraulici precisati nel quadro conoscitivo del PAT.

**5)** In caso di realizzazione del nuovo polo sportivo previsto a nord-ovest dello Stadio Euganeo, qualora l’intervento edilizio/urbanistico comporti un aumento del coefficiente di deflusso, il Permesso a Costruire potrà essere rilasciato previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva, nel senso precisato in allegato **M**, in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O**. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell’altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico (rialzo della zona oggetto di intervento). Qualora i volumi di detenzione idraulica per scelta progettuale vengano ricavati del tutto o in parte sotto il suolo (tubazioni o vasche) il volume di calcolo nella parte da collocare sotto il suolo andrà maggiorato del 10% .

**6)** In caso di realizzazione del nuovo polo ospedaliero ad est di Corso Australia, qualora l’intervento edilizio/urbanistico comporti un aumento del coefficiente di deflusso, il Permesso a Costruire potrà essere rilasciato previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva nel senso precisato in allegato **M**, in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O**. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell’altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico. Qualora i volumi di detenzione idraulica per scelta progettuale vengano ricavati del

tutto o in parte sotto il suolo (tubazioni o vasche) il volume di calcolo nella parte da collocare sotto il suolo andrà maggiorato del 10% .

**7)** In caso di realizzazione del potenziamento dei poli per l'istruzione superiore a nord di via Eulero ed a sud di via Dei Colli, e qualora l'intervento edilizio/urbanistico comporti un aumento del coefficiente di deflusso, ogni Permesso a Costruire potrà essere rilasciato previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione, dimensionato su un evento pluviometrico a tempo di ritorno non inferiore a 50 anni, tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva (vedi allegato **M**), in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O**. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell'altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico.

**8)** In caso di potenziamento del polo sportivo della Guizza e qualora l'intervento edilizio/urbanistico comporti un aumento del coefficiente di deflusso orario, ogni Permesso a Costruire potrà essere rilasciato previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva (vedi allegato **M**), in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O**. Il tempo di ritorno dell'evento di precipitazione non dovrà essere inferiore a 50 anni. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell'altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico.

**9)** In caso di espansione dei poli produttivi a sud-est di Granze di Camin e qualora l'intervento edilizio/urbanistico comporti un aumento del coefficiente di deflusso orario, ogni Permesso a Costruire potrà essere rilasciato previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva, nel senso precisato in allegato **M**, in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O**. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell'altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico.

**10)** Nella realizzazione della viabilità prevista dal PATI (sia principale che secondaria) deve essere salvaguardato o ricostruito qualsiasi collegamento con fossato, scolo o tombinamento esistente; scoli, fossati e tombinamenti non devono subire interclusioni o perdere la funzionalità idraulica; eventuali ponti o tombotti interrati devono garantire una luce di passaggio mai inferiore a quella maggiore fra la sezione immediatamente a monte e quella immediatamente a valle della parte di fossato a pelo libero. In particolare:

10<sub>a</sub>) prevedere scoline stradali generosamente dimensionate e collegare le stesse ai recapiti contermini utilizzando tubi di diametro non inferiore a DN100 cm;

10<sub>b</sub>) evitare di isolare idraulicamente aree agricole o residenziali residue;

10<sub>c</sub>) prediligere nella progettazione delle scoline basse o quasi nulle pendenze della linea di fondo;

10<sub>d</sub>) gli imbocchi dei tratti intubati di lunghezza significativa devono essere dotati di dispositivi o di manufatti per eliminare o ridurre il rischio intasamento collegato alla presenza di materiale sedimentabile o materiale voluminoso in sospensione. Convenzionalmente si considera significativa una lunghezza del tratto intubato pari al doppio del valore espresso in metri corrispondente al valore del diametro della sezione circolare espresso in centimetri (in caso di sezione non circolare si considera il diametro della sezione circolare avente medesima area);

10<sub>e</sub>) i punti di consegna dell'acqua agli scoli di riferimento contermini devono essere presidiati da manufatti che realizzino una strozzatura del flusso, dimensionata su una pioggia a tempo di ritorno di almeno 50 anni, al fine di agevolare lo sfruttamento del grande volume di invaso reso disponibile dalle scoline (detti

manufatti devono essere progettati in modo da minimizzare il rischio intasamento e devono prevedere adeguati by-pass di troppo pieno);

10<sub>f</sub>) la progettazione della complanare alla Autostrada MI-VE, prevista nei pressi di Ponterotto, è occasione per ridurre la sofferenza idraulica dello scolo Liminella in situazione di piena. Per conseguire una riduzione dei picchi in transito nel Liminella potranno essere sfruttati gli invasi forniti dalle scoline stradali. Le opere idrauliche andranno dimensionate in modo da garantire il flusso di piena nel Liminella nella conformazione attuale delle sezioni idrauliche con un tempo di ritorno di 50 anni e con una durata della precipitazione corrispondente al tempo di corrivazione relativo al corrispondente bacino imbrifero. La progettazione delle opere idrauliche deve acquisire l'avvallo tecnico vincolante del Consorzio di Bonifica competente per territorio.

10<sub>g</sub>) per le prescrizioni costruttive specifiche per la nuova strada che si stacca in via Guizza si rimanda alle indicazioni della scheda "Albignasego" presente nella Valutazione di Compatibilità Idraulica del PATI dell'Area Metropolitana di Padova - 2008;

10<sub>h</sub>) in sede di attuazione di qualsiasi nuova viabilità (principale o secondaria) prevista dal PAT, qualora l'intervento sviluppi una superficie impermeabilizzata netta superiore a 1.000 m<sup>2</sup>, le opere di mitigazione idraulica e le opere in genere relative alla gestione dell'acqua di precipitazione devono essere sempre concordate e devono ricevere l'avvallo tecnico da parte del Consorzio di Bonifica competente per zona. Se l'intervento viario assume valenza intercomunale è necessario acquisire anche il parere idraulico del Genio Civile di Padova. Il parere idraulico sia del Consorzio che del Genio Civile andrà espresso nel rispetto delle scelte strategiche di mitigazione idraulica introdotte dalla presente VCI allegata al PAT. Per "superficie impermeabilizzata netta" si intende l'area ottenuta operando il rapporto fra la somma dei prodotti delle singole sottoaree idrologicamente omogenee che compongono il sedime stradale per i corrispondenti coefficienti di deflusso orari medi ed il valore 0,95.

10<sub>i</sub>) sono sempre fatte salve valutazioni integrative in merito al trattamento "qualitativo" delle acque di pioggia (BMP) provenienti da sede stradale.

**11)** Per gli itinerari storici, turistici, ambientali, piste ciclabili, previsti lungo gli argini dei corsi d'acqua si prescrive che:

11<sub>a</sub>) le opere non devono interferire con le operazioni di manutenzione degli argini e dei corsi d'acqua;

11<sub>b</sub>) devono essere utilizzate tecniche costruttive che agevolano l'infiltrazione diretta dell'acqua di pioggia ovvero che permettano l'allontanamento dal sedime degli itinerari e la rapida infiltrazione della stessa (previa rimozione degli inquinanti e dei sedimenti) nelle aree contermini attraverso sistemi finalizzati a non compromettere la stabilità arginale ed a non concentrare i flussi;

11<sub>c</sub>) nella progettazione degli itinerari le opere di mitigazione idraulica e le opere in genere relative alla gestione dell'acqua di pioggia devono essere concordate con il Consorzio di Bonifica competente per zona e con il Genio Civile di Padova (in questo ultimo caso con opere a valenza intercomunale).

**12)** I parcheggi previsti dal PAT (sia a valenza metropolitana che a valenza comunale) dovranno essere attuati previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva (vedi allegato **M**) in rapporto ad un tempo di pioggia ricavabile dalla tavola in allegato **O** e tempo di ritorno dell'evento non inferiore a 50 anni. Particolarmente con riferimento al parcheggio previsto a sud della ferrovia Padova-Venezia in sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione morfologica della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico. In ogni

caso le opere di mitigazione idraulica devono essere approvate dal Consorzio di Bonifica competente per territorio.

**13)** I Permessi a Costruire per l'attuazione dei PUA che saranno previsti dai Piani di Intervento in attuazione delle direzioni di espansione relative alla residenza contenute nel PAT [vedi punto q) delle **Previsioni Urbanistiche**] potranno essere rilasciati previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva, nel senso precisato in allegato **M**, in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O** con riferimento all'area di interesse per il singolo PUA. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell'altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico (vedi allegato **L** e allegato **B**). Qualora i volumi di detenzione idraulica per scelta progettuale vengano ricavati del tutto o in parte sotto il suolo (tubazioni o vasche) il volume di calcolo, nella parte da collocare sotto il suolo, andrà maggiorato del 10% .

**14)** I Permessi a Costruire per l'attuazione dei PUA di ogni tipo non ancora realizzati, previsti dal PRG vigente e assorbiti nel PAT, [vedi punto r) delle **Previsioni Urbanistiche**] potranno essere rilasciati previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva, nel senso precisato in allegato **M**, in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O**. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell'altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico (vedi allegato **L** e allegato **B**). Qualora i volumi di detenzione idraulica per scelta progettuale vengano ricavati del tutto o in parte sotto il suolo (tubazioni o vasche) il volume di calcolo, nella parte da collocare sotto il suolo, andrà maggiorato del 10% .

**15)** I Permessi a Costruire per l'attuazione di nuovi interventi edilizi di entità tale da interessare oltre 1.000 m<sup>2</sup> di area netta impermeabilizzata, dopo l'approvazione del PAT di Padova, potranno essere rilasciati esclusivamente previa predisposizione di un progetto di mitigazione per detenzione tale da garantire il pieno rispetto della stabilizzazione idraulica deduttiva, nel senso precisato in allegato **M**, in rapporto ad un tempo di pioggia, o tempo di corrivazione esterno, deducibile dalla tavola grafica in allegato **O**. In sede attuativa dovrà valutarsi la necessità o meno di eseguire preliminarmente una rimodellazione dell'altimetria della zona in funzione dei livelli locali di rischio idraulico (vedi allegato **L** e allegato **B**). Per "area netta impermeabilizzata" si intende l'area convenzionale ottenuta operando il rapporto fra la somma dei prodotti delle singole sottoaree idrologicamente omogenee che compongono il sedime stradale per i corrispondenti coefficienti di deflusso orari medi ed il valore 0,95.

## 10 - CONCLUSIONI

In occasione della stesura del Piano per l'Assetto del Territorio comunale (PAT) di Padova (L.R. n°11/2004) viene redatta la presente Valutazione di Compatibilità Idraulica ai sensi delle D.G.R. del Veneto n°3637/2002 e n°1841/2007.

La Valutazione illustra i risultati dell'attività conoscitiva (paragrafo **03** e seguenti) attuata per una definizione compiuta dei caratteri meteorologici e per acquisire una conoscenza sufficientemente dettagliata del sistema di drenaggio superficiale. Appositi paragrafi illustrano i caratteri idrogeologici, morfologici e pedologici del Comune; il paragrafo **04** e seguenti evidenziano le problematiche idrauliche presenti sul Territorio e riassumono le conclusioni circa le possibili cause e le possibili soluzioni per contenere dette problematiche.

La tavola allegata **B** evidenzia le aree a pericolosità idraulica secondo gli studi dell'Autorità di Bacino dei Fiumi dell'Alto Adriatico con riferimento al Bacino del Brenta-Bacchiglione; la tavola allegata **L** illustra le aree con problemi idraulici legati a situazioni locali.

L'analisi della situazione idrografica e dei livelli di pericolosità idraulica evidenzia la necessità per il territorio di Padova di un controllo della dinamica dei fenomeni idraulici legati anche alla rete secondaria e locale; è consigliabile, in particolare, sviluppare i futuri interventi di urbanizzazione adottando accorgimenti che mantengano i valori di piena perlomeno sui livelli attuali, a parità ovviamente della frequenza dell'evento pluviometrico critico. Si è quindi proceduto a definire una serie di scelte strategiche (vedi paragrafi **05**, **07** e **08**) che in virtù della D.G.R. 3637/2002 e s.m.i. vengono integralmente assorbite all'interno del PATI (polverizzazione della dinamica edilizia, ambito di applicazione delle pratiche di mitigazione idraulica, opere di difesa passiva, Piano Regolatore delle Acque).

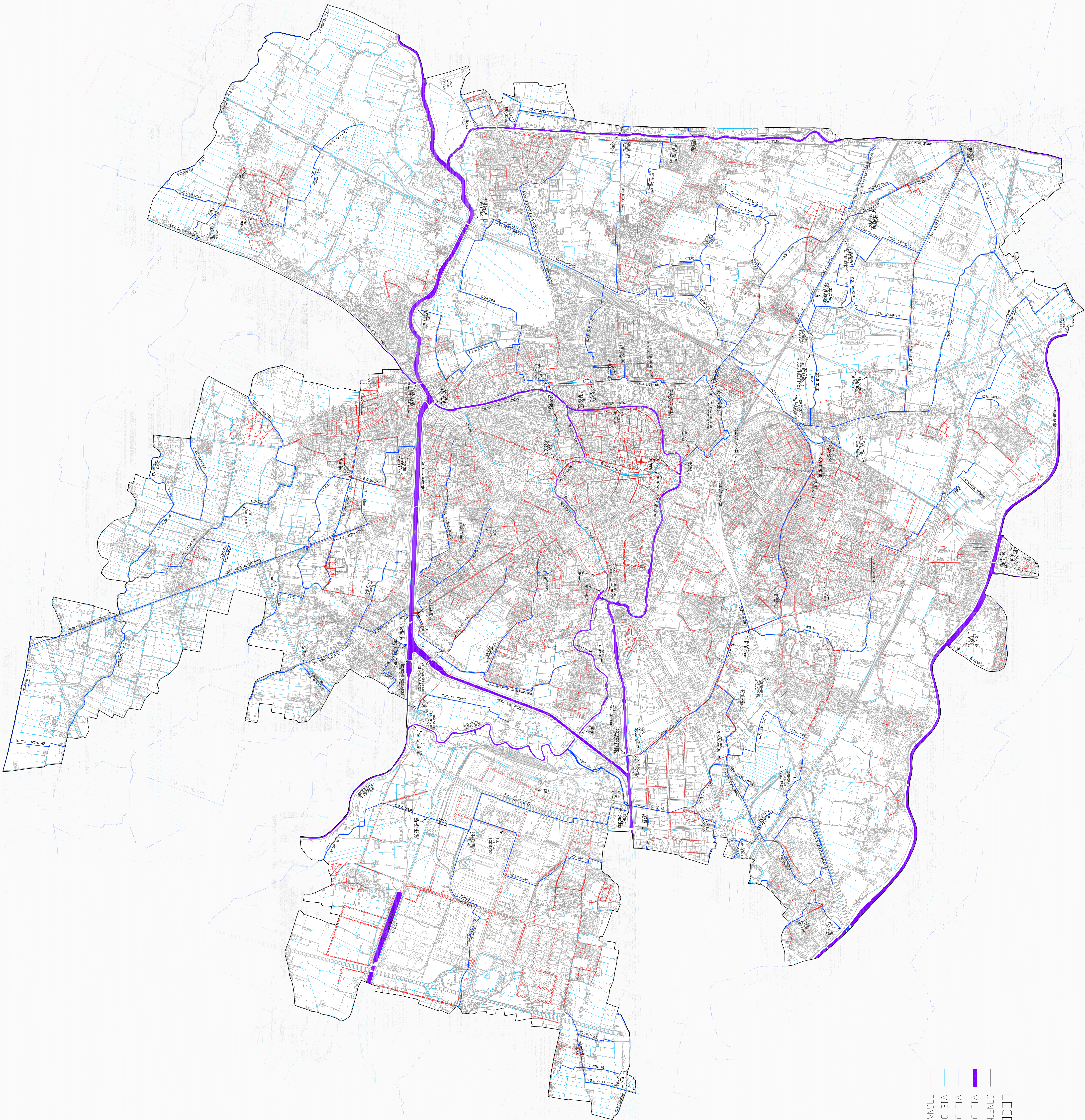
La presente relazione assorbe dalla Valutazione di Compatibilità Idraulica del PATI dell'Area Metropolitana di Padova – 2008 i concetti di **stabilizzazione idraulica base** e **deduttiva**; ne vengono definiti i limiti ed i termini di applicabilità nella risoluzione dei problemi di mitigazione idraulica per detenzione. Aspetto qualificante dei nuovi concetti è la possibilità di eseguire un razionale collegamento fra definizione dei parametri che regolano la mitigazione idraulica in una certa zona con il contesto idrografico ed il rischio idraulico locale.

Nel paragrafo **9** vengono elencate una serie di prescrizioni e norme specifiche per Padova con riferimento particolare ai tematismi che interessano la dinamica di impermeabilizzazione del suolo. Vengono elencate prescrizioni finalizzate alla regolamentazione della dinamica edilizia con riferimento alla conformazione urbanistica acquisita e vengono precisate le modalità di sviluppo di eventuali nuove infrastrutture viarie e grandi interventi in ossequio alle scelte strategiche fatte.

La stesura dei futuri Piani di Intervento diventerà occasione per intervenire regolamentando l'azione edilizia ed urbanistica di modificazione dell'uso del suolo in modo da ridurre l'impatto sul contesto idrografico circostante. Il paragrafo **9.1** sarà di riferimento durante l'istruttoria per la predisposizione dei Piani di Intervento e per ottenere i Permessi a Costruire o nelle procedure di Denuncia di Inizio Attività relativamente all'attività edilizia programmata dal PAT.

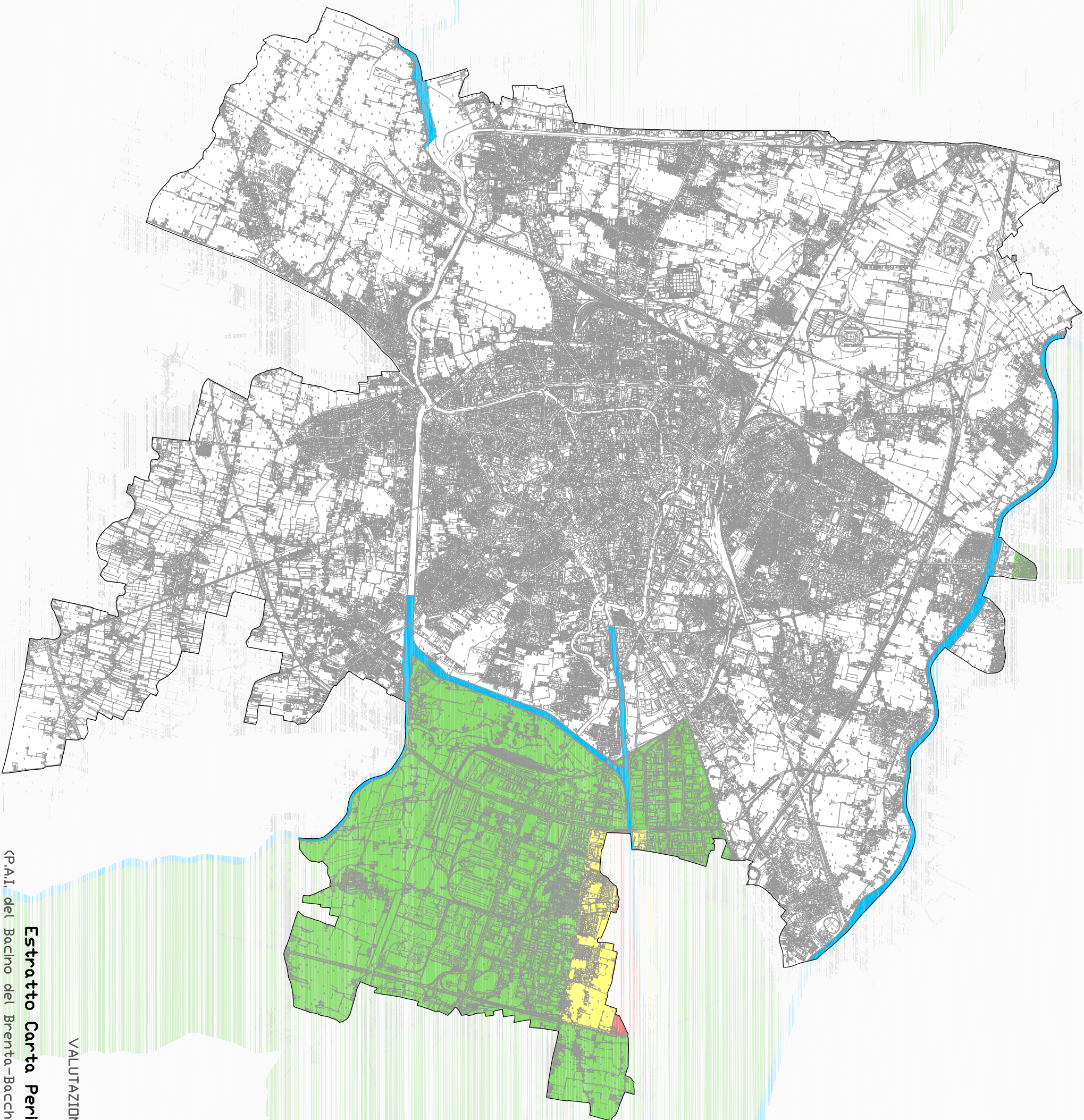
Padova, marzo 2009

Il tecnico



#### LEGENDA

- CONFINE COMUNALE
- VIE D'ACQUA DI COMPETENZA REGIONALE
- VIE D'ACQUA DI COMPETENZA CONSORZIALE
- VIE D'ACQUA DI COMPETENZA PRIVATA O DI ALTRI ENTI
- FOGNATURE MISTE E BIANCHE



- AREE DI ESPANSIONE FLUVIALE
- AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA P3
- AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA P2
- AREE A PERICOLOSITA' IDRAULICA P1

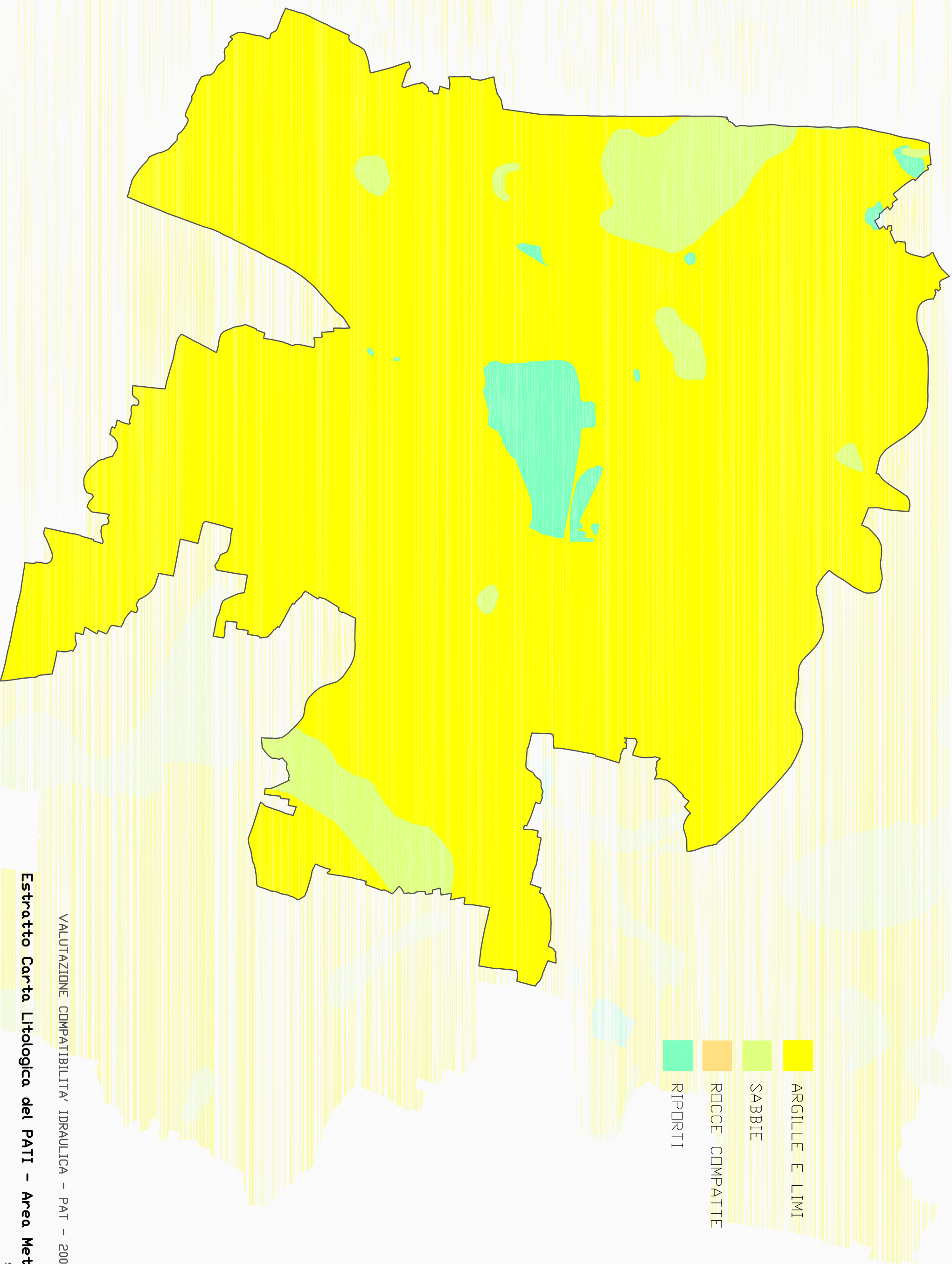
VALUTAZIONE COMPATIBILITA' IDRAULICA - PAT - 2009 - PADOVA

ALLEGATO B

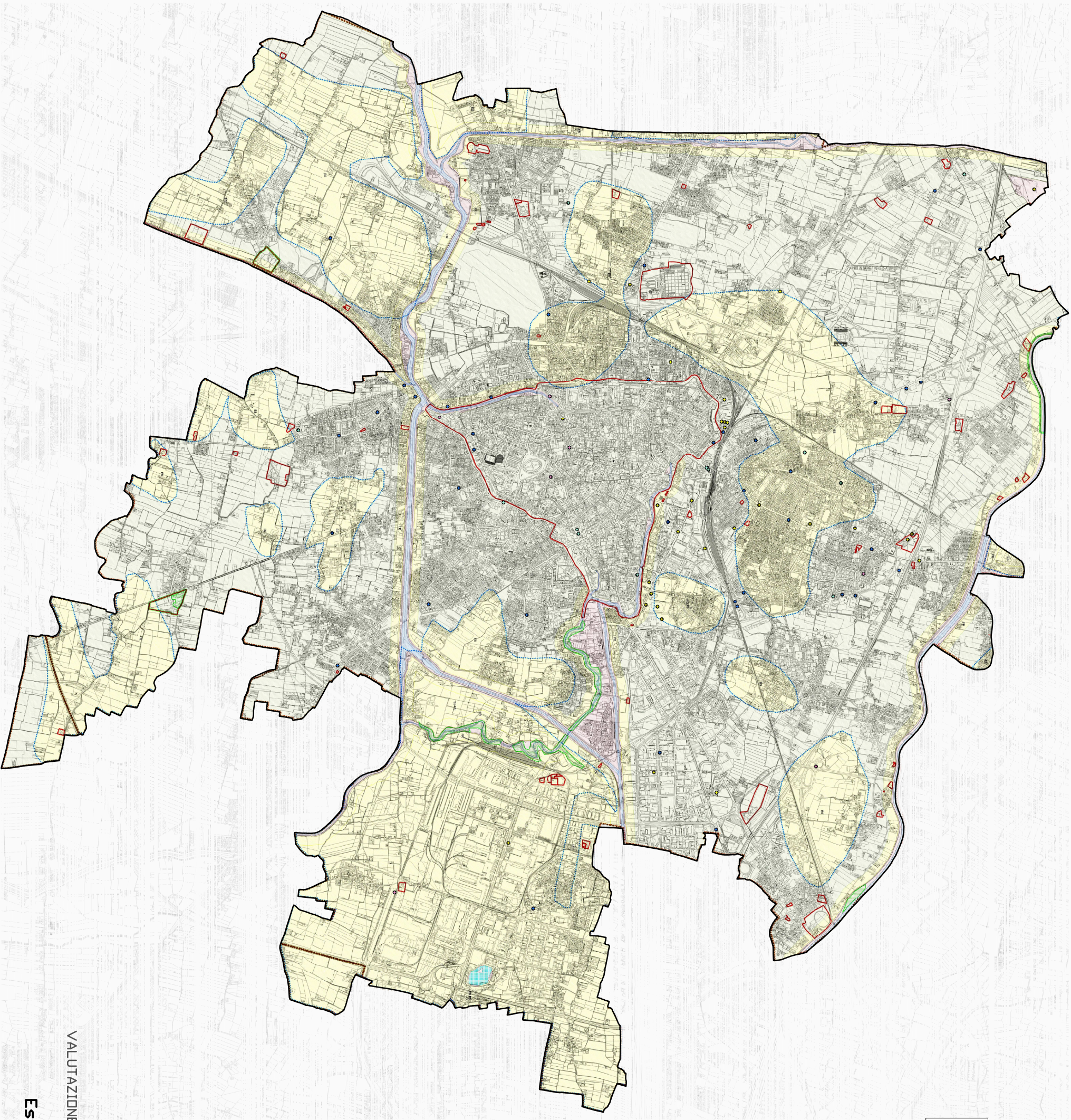
**Estratto Carta Pericolosità Idraulica secondo il PAI - PADOVA**

(P.A.I. del Bacino del Brenta-Bacchiglione - Autorità di Bacino del Fiume Alto Adriatico)

scala 1:51.000

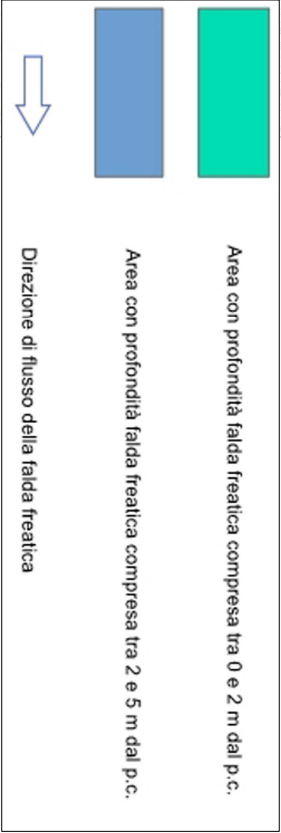
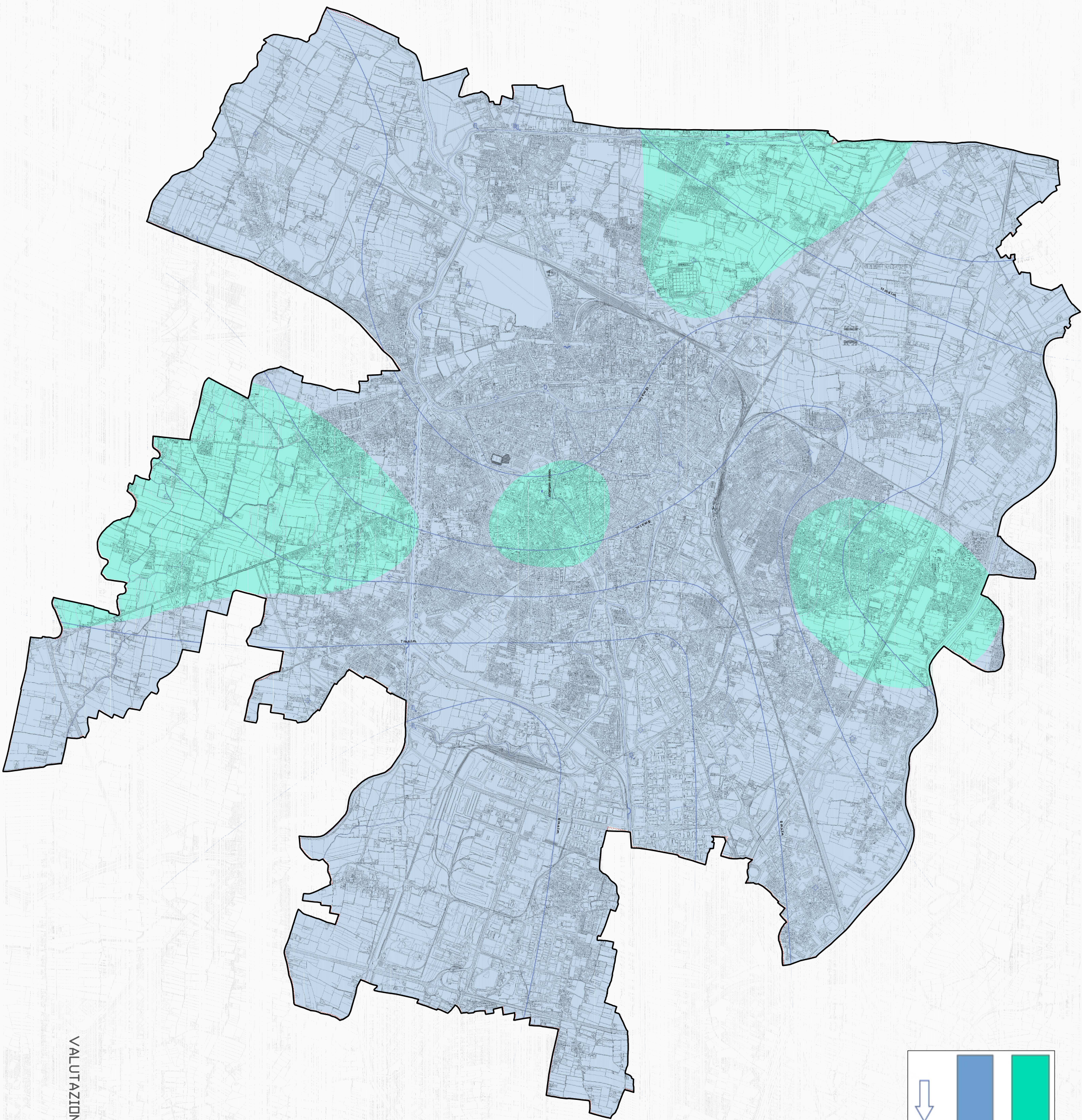


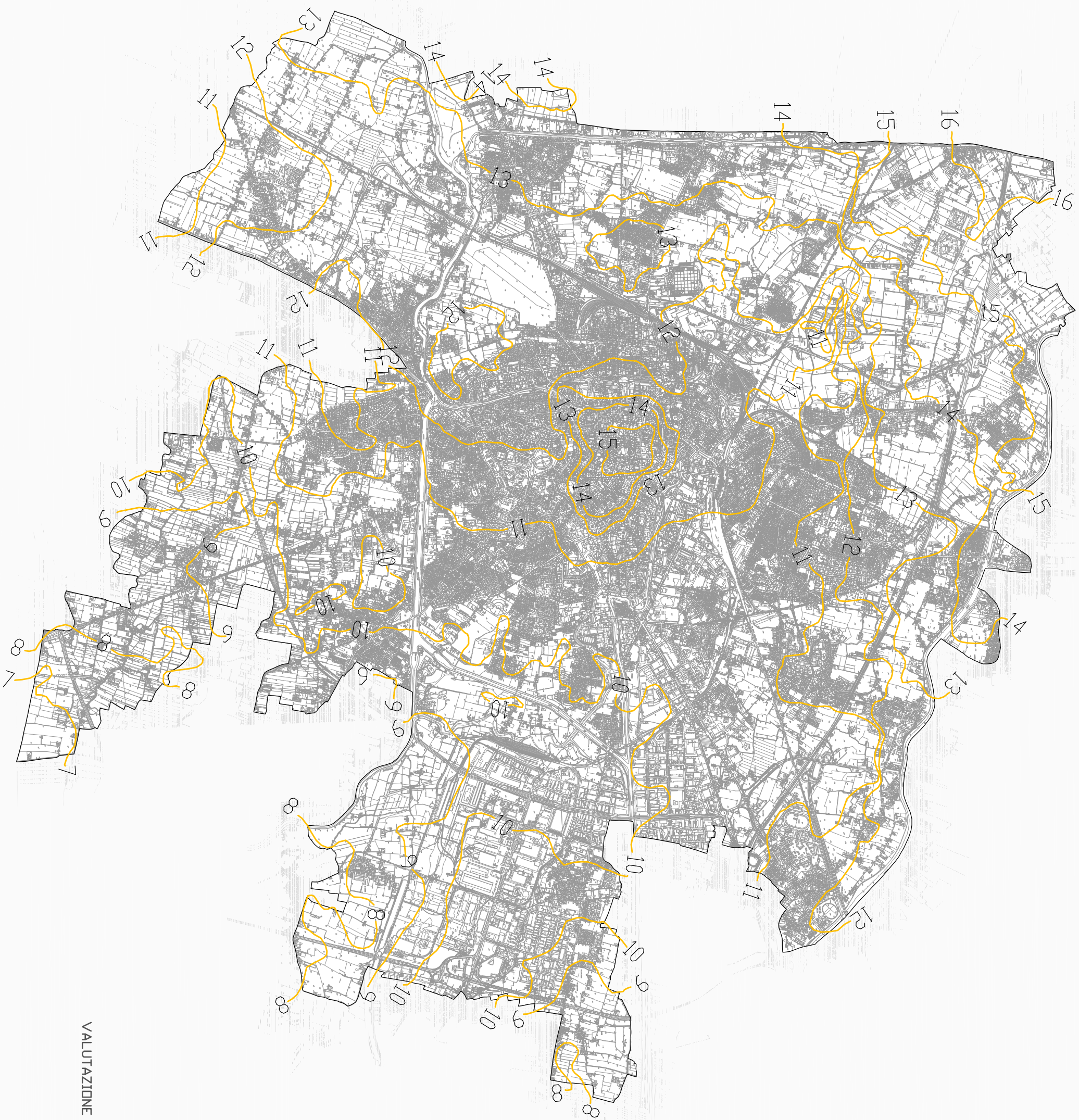
- ARGILLE E LIMI
- SABBIE
- ROCCE COMPATTE
- RIPORTI

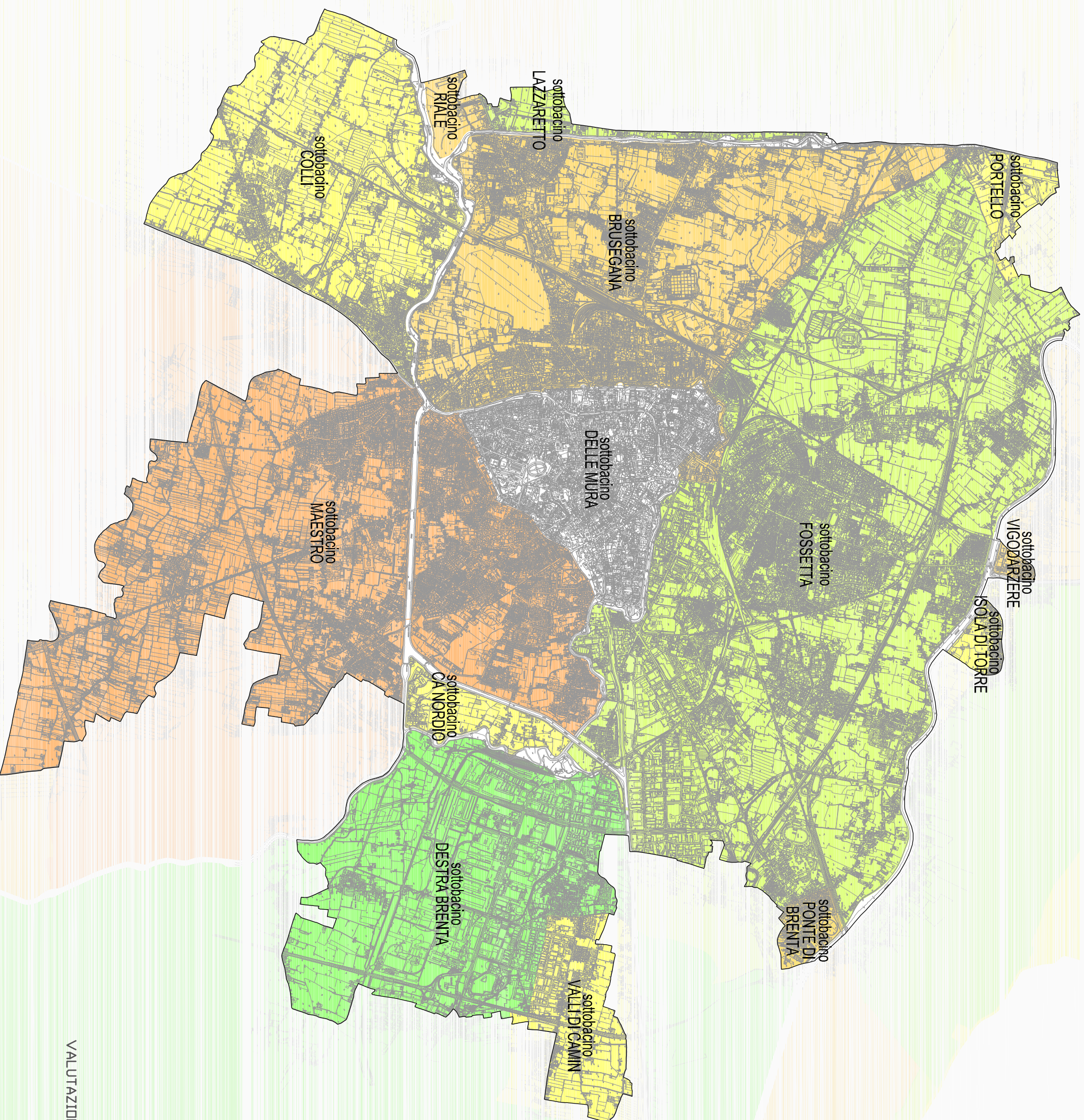


Aree a dissesto idrogeologico  
Aree esondabili o a ristagno idrico

Compatibilità Geologica  
Areee idonee  
Aree idonee a condizione  
Aree non idonee





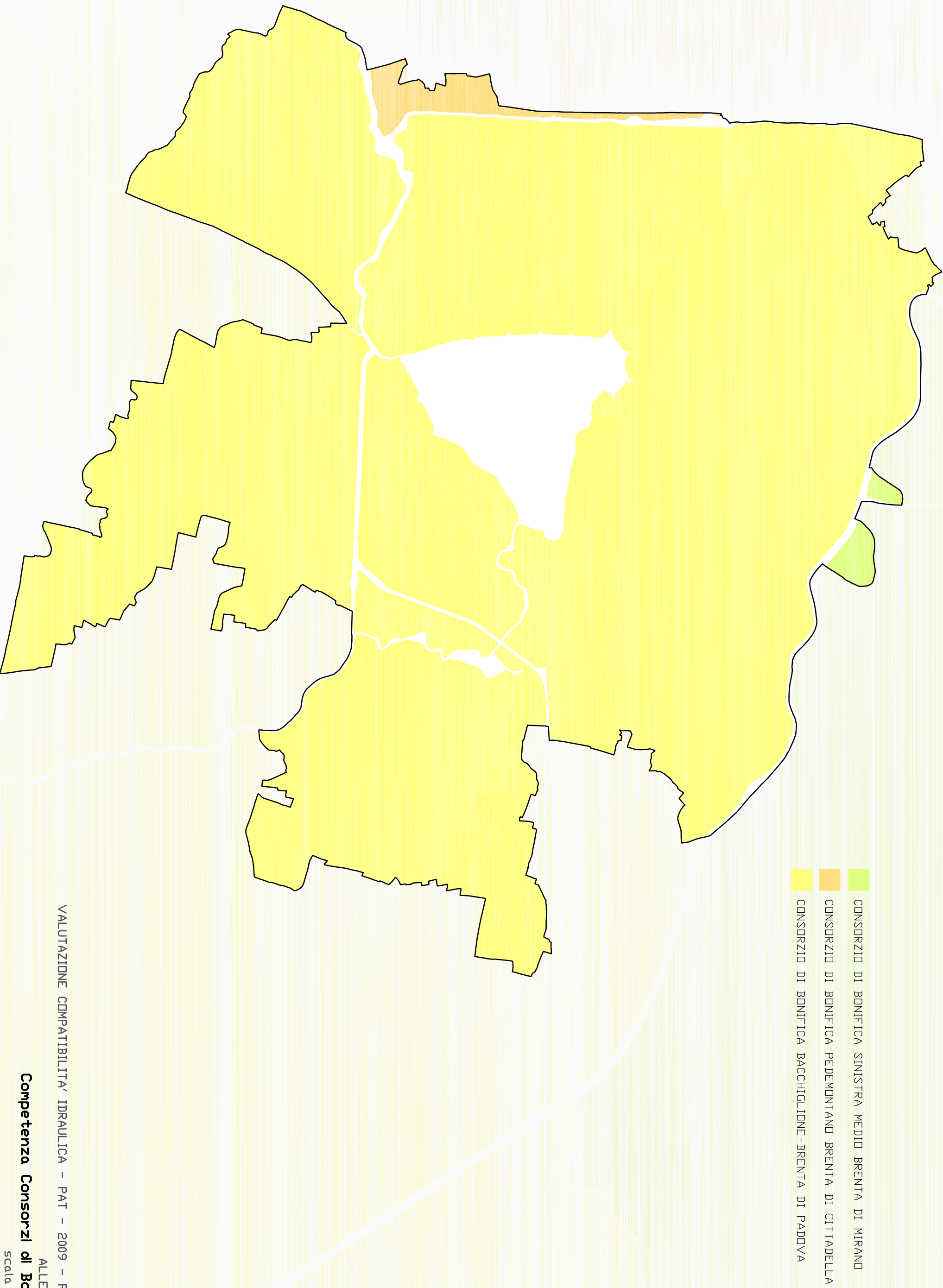


VALUTAZIONE COMPATIBILITA' IDRAULICA - PAT - 2009 - PADOVA

ALLEGATO G

**Sottobacini Idrografici**

scala 1:51,000



CONSORZIO DI BONIFICA SINISTRA MEDIO BRENTA DI MIRANO

CONSORZIO DI BONIFICA PEDEMONTANO BRENTA DI CITTADELLA

CONSORZIO DI BONIFICA BACCHIGLIONE-BRENTA DI PADOVA

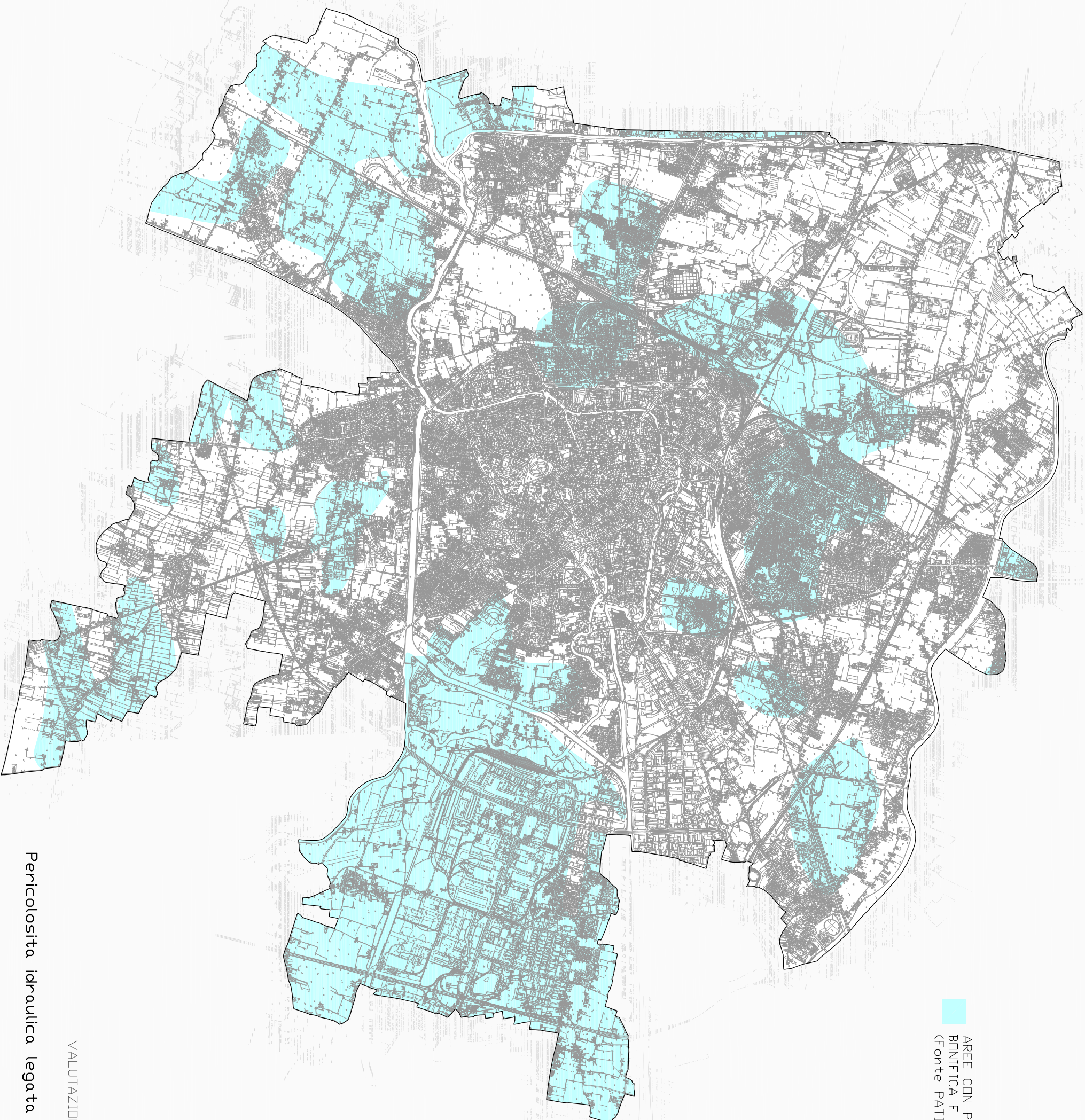
VALUTAZIONE COMPATIBILITA' IDRAULICA - PAT - 2009 - PADOVA

ALLEGATO H

Competenza Consorzi di Bonifica

scala 1:51.000





AREE CON PROBLEMI IDRAULICI LEGATI ALLA RETE DI  
BONIFICA E ALLA RETE DI DRENAGGIO URBANO  
(Fonte PATI - AREA METROPOLITANA DI PADOVA, 2008)

## ALLEGATO M

### M.0) CONCETTI E METODI PER LA MITIGAZIONE IDRAULICA

Il progredire dell'urbanizzazione si concretizza con un aumento dei **livelli di impermeabilizzazione** e con una **regolarizzazione** del territorio; ciò contribuisce ad incrementare la percentuale di **pioggia netta** e di conseguenza si verifica un aumento dei picchi di portata con una riduzione dei tempi di formazione delle piene. Tra gli obiettivi ricorrenti delle Leggi Urbanistiche (non ultima la L.R. Veneto n°11/2004) c'è la definizione dei limiti e delle condizioni di sostenibilità degli interventi e delle trasformazioni del territorio; tra gli obiettivi specifici vi è implicitamente la messa in sicurezza dei luoghi soggetti a rischio idraulico e la regolamentazione delle modalità di modifica dell'uso del suolo affinché non aumenti il rischio idraulico entro l'area oggetto di intervento o in zone posizionate a valle. Il conseguimento di tali obiettivi viene raggiunto attraverso metodologie e tecniche di **mitigazione idraulica**. Uno dei concetti ricorrenti nei problemi di mitigazione idraulica è il principio della **stabilizzazione** idraulica o della **invarianza** idraulica; detto principio, nella sua accezione più semplice, prevede che **la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area sia costante prima e dopo la trasformazione dell'uso idrologico del suolo in quell'area**. La **stabilizzazione** idraulica può essere almeno di quattro tipi:

- a) **stabilizzazione idraulica base** qualora si raggiunga la piena garanzia che a parità del tempo di ritorno e per ogni durata dei corrispondenti eventi di precipitazione la portata al colmo, stimata in corrispondenza ad una pioggia di durata pari al tempo di corrivazione nelle condizioni di uso del suolo precedenti l'intervento urbanistico o edilizio, rimane costante anche dopo l'intervento di modifica dell'uso del suolo (la stabilizzazione idraulica base prevederà opere idrauliche esclusivamente entro l'ambito di intervento, dimensionate sulla base dei parametri idrologici riferiti al citato ambito di intervento);
- b) **stabilizzazione idraulica deduttiva**, simile al caso precedente ove però le portate di riferimento post intervento vanno confrontate con una particolare portata al colmo pre intervento stimata in base ad una durata della precipitazione correlata a situazioni di rischio idraulico presenti in zone collocate a valle di quella oggetto di modificazione urbanistica (la stabilizzazione idraulica deduttiva prevederà quindi opere idrauliche esclusivamente entro l'ambito di intervento, dimensionate però sulla base dei parametri idrologici riferiti all'ambito idrografico chiuso dalla sezione idraulica posta a valle dell'intervento ove si verificano i problemi idraulici presi a riferimento). La stabilizzazione idraulica deduttiva nasce dalla considerazione che, in determinati casi, la portata di laminazione dipende da situazioni esterne alla zona interessata dalla modificazione idrologica dell'uso del suolo;
- c) **stabilizzazione idraulica induttiva**, simile ai casi precedenti dove però l'intervento di mitigazione idraulica si spinge a "modificare" le portate al colmo, non necessariamente in occasione di una modifica dell'uso del suolo, abbassandone i valori in funzione di situazioni di rischio idraulico presenti in zone collocate a valle (la stabilizzazione idraulica induttiva prevederà quindi opere idrauliche esclusivamente entro l'ambito di intervento, anche quando non sono previsti interventi di urbanizzazione o edilizi; opere idrauliche dimensionate in modo da ridurre i picchi di piena riferiti all'ambito idrografico chiuso da una sezione idraulica posta a valle dell'intervento ove si verificano i problemi idraulici presi a riferimento). Si potrà parlare di stabilizzazione idraulica induttiva nel caso, ad esempio, di un'area fortemente impermeabilizzata ove la mitigazione si spinge ben oltre il semplice uguagliamento della portata al colmo fra due situazioni con uso diverso del suolo, in modo da ottenere una riduzione dei colmi in sezioni di valle in dipendenza di problematiche esistenti nelle medesime sezioni di valle.
- d) **stabilizzazione idraulica assoluta** (non considerata in queste brevi note) in grado di garantire fra la situazione idrologica riferita all'uso del suolo prima dell'intervento urbanistico od edilizio e quella riferita all'intervento eseguito, per qualsiasi durata della precipitazione, che le portate massime restano sostanzialmente immutate sia in termini di frequenza che di valore.

Cercheremo ora di approfondire i concetti esposti. A tal fine si ritiene utile, in via preliminare, di richiamare le basi del modello **cinematico** o della **corrivazione**; il modello della corrivazione permette infatti di acquisire qualitativamente e quantitativamente i meccanismi che regolano la formazione delle piene, con dettaglio sufficiente agli scopi della presente esposizione. Le ipotesi base del modello cinematico sono:

- 1) la formazione della piena è dovuta **unicamente** a un fenomeno di trasferimento della massa liquida;
- 2) ogni singola goccia si muove sulla superficie **seguendo un percorso immutabile** che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui essa è caduta;
- 3) la velocità di ogni singola goccia **non è influenzata dalla presenza delle altre gocce**;
- 4) la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari che si presentano nello stesso istante alla sezione di chiusura del bacino.

Il ritardo con cui una goccia si presenta alla sezione di chiusura dipende in tal modo solo dal punto in cui essa è caduta e prende il nome di **tempo di corrivazione del punto**. Il tempo di ritardo massimo prende il nome di **tempo di corrivazione del bacino** e viene qui indicato con  $t_{CB}$ . I luoghi dei punti caratterizzati da uno stesso valore del tempo di corrivazione vengono detti **linee isocorrive**; la curva che per assegnato valore del tempo di corrivazione  $t_c$  fornisce l'area della porzione di bacino i cui punti hanno tempi di corrivazione  $t \leq t_c$  prende il nome di **curva aree-tempi del bacino**. Supponendo di aver tracciato le linee isocorrive con passo temporale  $Dt$  all'interno del quale l'intensità di precipitazione possa considerarsi costante, linearizzata la **curva aree-tempi** in ciascun intervallo, si ha che l'idrogramma di portata  $q_k(t)$  che attraversa la  $k-1_{ma}$  isocorriva in seguito alla precipitazione di intensità  $i_j$ , caduta nell'intervallo  $t_{j-1} = (j-1)Dt$  e  $t_j = jDt$  sulla porzione di bacino di area  $DA_k$  compresa tra le isocorrive  $(k-1)Dt$  e  $kDt$ , è descritto dalle equazioni:

- a) se  $t_{j-1} \leq t \leq t_j$  vale  $q_k(t) = (i_j DA_k / Dt)(t - t_{j-1})$ ;
- b) se  $t_j \leq t \leq t_{j+1}$  vale  $q_k(t) = (i_j DA_k / Dt)(t_j - t)$ ;
- c) se  $t \geq t_{j+1}$  vale  $q_k(t) = 0$ .

La forma della curva di piena è **triangolare** dove  $q_k(t)$  assume il valore **0** per  $t = (j-1)Dt$ ,  $q_k(t) = i_j DA_k$  per  $t = jDt$  e di nuovo  $q_k(t) = 0$  per  $t = (j+1)Dt$ ; il tempo alla base dell'idrogramma di piena sarà pari a  $2Dt$ . L'idrogramma di portata che attraversa la sezione di chiusura in seguito alla precipitazione caduta nell'intervallo  $(j-1)Dt$  e  $jDt$  sull'area  $DA_k$  si ottiene traslando nel tempo l'idrogramma di piena illustrato di un intervallo pari a  $(k-1)Dt$ ; quindi il valore al colmo  $DA_k i_j$  giungerà alla sezione di chiusura al tempo  $(j+k-1)Dt$ . L'idrogramma di piena complessivo si ottiene sommando i contributi delle varie aree che giungono al medesimo istante alla sezione di chiusura. Le ipotesi di **linearità** e **stazionarietà** consentono di semplificare la modellazione dei fenomeni di piena:

- a) un sistema si dice **stazionario** quando a due ingressi uguali sfasati nel tempo di un certo intervallo di tempo corrispondono due uscite uguali sfasate dello stesso intervallo temporale;
- b) un sistema si dice **lineare** quando ad un ingresso combinazione lineare di due ingressi corrisponde un'uscita combinazione lineare secondo medesimi coefficienti moltiplicativi delle uscite relative agli stessi ingressi.

Con **linearità** e con **stazionarietà** la relazione tra ingresso  $p(t)$  e uscita  $q(t)$  assume la forma di un'equazione lineare differenziale a coefficienti costanti che ha come soluzione l'integrale di convoluzione  $q(t) = \int_0^t p(\tau) h(t-\tau) d\tau$  essendo  $h(t)$  l'*idrogramma unitario istantaneo* [ $h(t)$  dimensionalmente è l'inverso del tempo]. Il modello cinematico si configura quindi come un particolare modello **lineare** e **stazionario** schematizzabile come un insieme di infiniti canali lineari in parallelo; a ciascun elemento di area  $A_i$  del bacino si può associare un canale lineare il cui ritardo caratteristico coincide con il tempo di corrivazione  $t_c$  del punto. Con tale modello la portata massima si verifica in corrispondenza ad una durata della precipitazione maggiore o uguale al tempo di corrivazione e viene mantenuta per un tempo  $t_p - t_{CB}$  essendo  $t_p$  la durata della precipitazione. Per un ipotetico bacino in cui la curva **area-tempi** risulti lineare, ovvero  $A(t) = A_T t / t_{CB}$  (essendo  $A_T$  l'area totale del bacino) e nel caso di una pioggia netta di intensità costante  $i$  e durata  $t_p$  abbiamo il seguente idrogramma di piena:

- a) nel caso  $t_p \leq t_{CB}$ , a<sub>1</sub>) con  $t \leq t_p$  vale  $q(t) = i A_T t / t_{CB}$ ; a<sub>2</sub>) con  $t_p \leq t \leq t_{CB}$  vale  $q(t) = i A_T t_p / t_{CB}$ ; a<sub>3</sub>) con  $t_{CB} \leq t \leq t_{CB} + t_p$  vale  $q(t) = i A_T (1 - ((t - t_{CB}) / t_{CB}))$ ; infine a<sub>4</sub>) con  $t \geq t_{CB} + t_p$  vale  $q(t) = 0$ ;

- b) nel caso  $t_p \geq t_{CB}$ , b<sub>1</sub>) con  $t \leq t_{CB}$  vale  $q(t) = iA_T t / t_{CB}$ ; b<sub>2</sub>) con  $t_{CB} \leq t \leq t_p$  vale  $q(t) = iA_T$ ; b<sub>3</sub>) con  $t_p \leq t \leq t_{CB} + t_p$  vale  $q(t) = iA_T (1 - ((t - t_p) / t_{CB}))$ ; infine b<sub>4</sub>) con  $t \geq t_{CB} + t_p$  vale  $q(t) = 0$ .

Ovviamente  $i = \sum i(t)$  con  $i(t)$  costante e  $\sum$  indica la sommatoria dei valori  $i(t)$  estesa da  $t=0$  a  $t=t_{CB}$ .

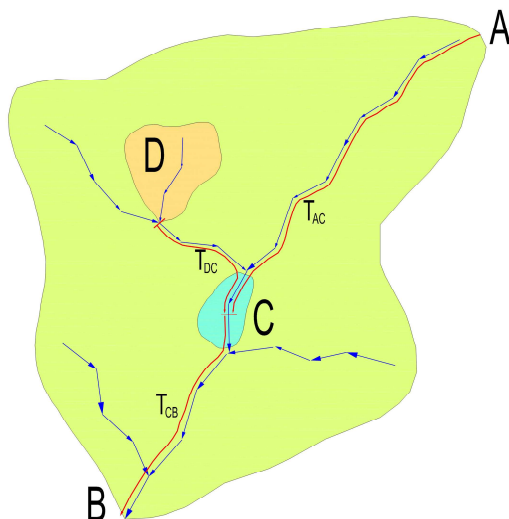


Figura 01: *Esempio di bacino idrografico*

Per i ragionamenti sviluppati nel prosieguo si prenda in considerazione il bacino idrografico schematizzato in figura 01 (area verde); entro il bacino principale consideriamo un sottobacino D (area arancione) per il quale è previsto un intervento di modificazione idrologica dell'uso del suolo (ad esempio la realizzazione di un piano di lottizzazione o di una strada). Infine si ipotizza che entro il bacino principale (area verde) esista un'area C interessata da esondazioni (area celeste). Il tempo di ritorno dei fenomeni di esondazione sia minore o uguale alla vita media preventivabile per le opere di modifica dell'uso idrologico del suolo da realizzare nel sottobacino D. Al fine di garantire condizioni di sostenibilità degli interventi di trasformazione del territorio da realizzare entro l'area D prevederemo opere di **stabilizzazione idraulica**<sup>1</sup>; in tal modo le curve di piena sviluppate dal sottobacino D, nei termini e con la casistica accennata all'inizio del paragrafo, comportano portate al colmo dello stesso ordine di grandezza sia prima che dopo l'intervento di trasformazione del territorio.

### M.1) STABILIZZAZIONE IDRAULICA BASE

Con la stabilizzazione idraulica base, per ogni durata della precipitazione a prefissato tempo di ritorno non avremo un aumento del rischio idraulico in conseguenza dell'intervento di trasformazione del territorio in D sia nello stesso sottobacino D, ma anche fra D e C e fra C e B (almeno per le durate della precipitazione inferiore o uguale al tempo di corrivazione del sottobacino D); inoltre (sempre con riferimento alle precipitazioni di durata inferiore o uguale al tempo di corrivazione del sottobacino D) non aumenteranno di entità e frequenza i fenomeni di esondazione in C. Vediamo di approfondire il concetto attraverso il semplice modello della corrivazione. Indichiamo con S il valore della superficie del bacino idrografico; fissando l'attenzione su una pioggia di durata t se ne può calcolare l'intensità  $j = h/t = at^{n-1}$  partendo dalla

<sup>1</sup> La stabilizzazione idraulica, nelle sue varie accezioni, può essere ottenuta con tecniche di ritenzione (concentrate o distribuite), con tecniche di detenzione (concentrate o distribuite), con tecniche di disconnessione delle aree drenanti dalla rete di drenaggio, con riduzione della frazione efficace della precipitazione con immissione (localizzata o distribuita) in falda, ecc... Nei presenti paragrafi consideriamo principalmente le tecniche di detenzione: tali tecniche sfruttano l'effetto di laminazione (invaso temporaneo) prevedendo un sistema di controllo dello scarico in modo da garantire che l'acqua di piena riempi completamente i volumi d'invaso con riferimento alla precipitazione usata a dimensionamento.

classica formulazione della curva di possibilità pluviometrica a due parametri  $h=at^{n^2}$  e, attraverso il coefficiente di deflusso  $\Phi^3$ , la portata media  $Q_I$  che affluisce al sezione di chiusura nel tempo  $t+t_c$ , pari a

$$Q_I = at^n S \Phi / (t + t_c), \dots\dots\dots [1]$$

avendo indicato con  $t_c$  il tempo di corrivazione relativo all'area di drenaggio. Notoriamente, nell'ipotesi di pioggia ad intensità costante  $j$  e durata  $t$ , l'istante nel quale tutto il bacino  $S$  contribuisce è quello nel quale  $t$  é uguale a  $t_c$ . Il valore massimo assoluto della portata si ha per  $t=t_c$  in quanto l'intensità della pioggia di durata maggiore di  $t_c$  è minore di quella relativa all'evento di durata  $t_c$ ; abbiamo  $Q_I = at_c^n S \Phi / (2t_c)$  ovvero

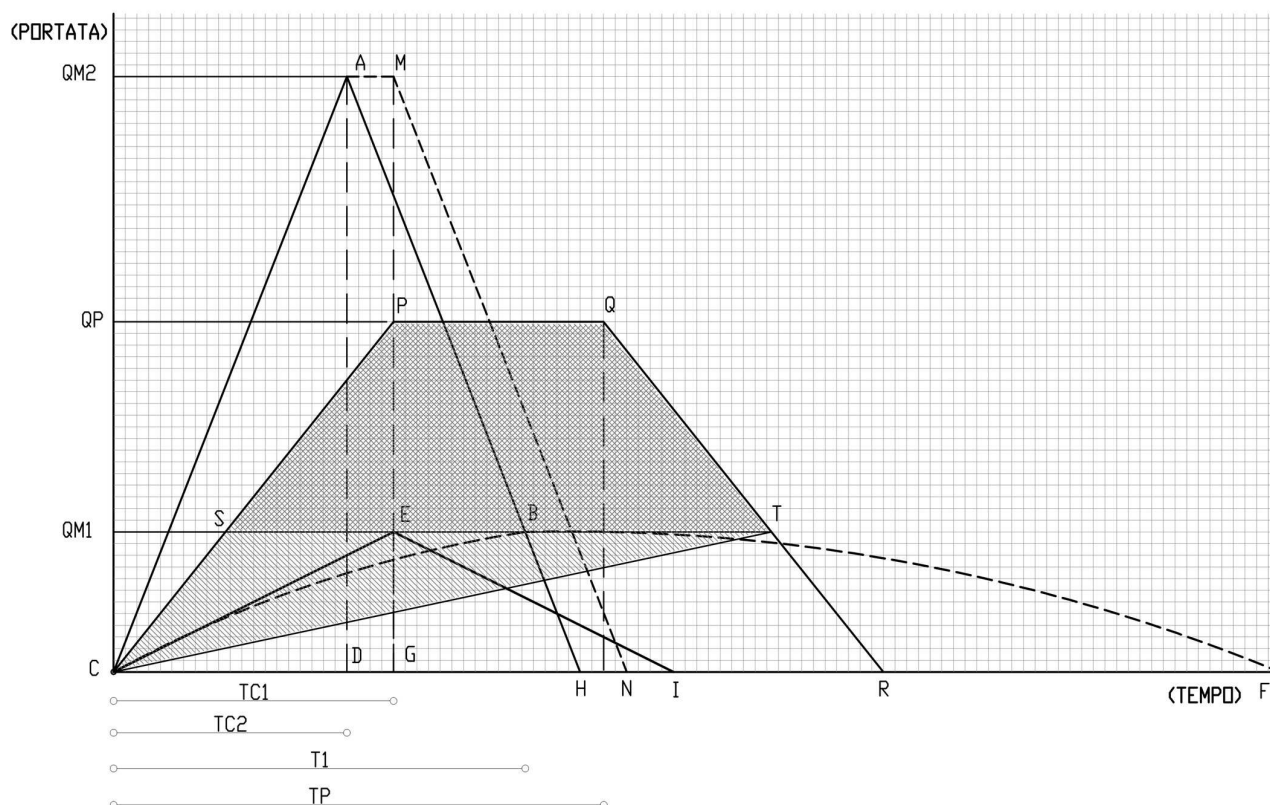


Figura 02: **Stabilizzazione idraulica base**

$$Q_I = at_c^{n-1} S \Phi / 2 . \dots\dots\dots [2]$$

Come già anticipato nell'introduzione al modello della corrivazione si può ipotizzare che la *portata massima* si verifica con un tempo di pioggia pari al *tempo di corrivazione*; è possibile inoltre ritenere che, fra la portata media e la portata di punta, esista un rapporto di **1 a 2**. Con riferimento alla figura **02** l'area oggetto di intervento urbanistico, per prefissato tempo di ritorno  $T_R$  e per pioggia netta ricavata dalla pioggia di durata pari al tempo di corrivazione, creerà l'andamento triangolare della piena  $C \rightarrow E \rightarrow I$  con portata massima  $QM_1$  e tempo al picco  $TC_1$  pari al tempo di corrivazione. Dopo il cambio d'uso del suolo, a causa dell'innalzamento

<sup>2</sup> Se la durata  $t$  della pioggia non è *congruente* con la curva di possibilità pluviometrica occorrerà ricalcolare la stessa curva pluviometrica (es. dalle piogge *intense* passare alla curva delle piogge *orarie*). Avremo quindi diversi valori, a parità di tempo di ritorno  $T_R$ , per le variabili  $a$  ed  $n$ .

<sup>3</sup> Il coefficiente  $\Phi$  rappresenta la *frazione* di precipitazione raccolta o frazione efficace o pioggia netta; si intuisce che tale frazione varia in funzione del tempo di precipitazione. In idrologia si assume la seguente funzione, a fondamento sperimentale, che lega la variabilità del coefficiente di deflusso alla durata di precipitazione:  $\Phi = \Omega (at^n)^{(1/3)}$ ; se indichiamo con  $\Phi_1$  il valore del coefficiente di deflusso per una pioggia di durata oraria si avrebbe  $\Phi_1 = \Omega a^{(1/3)}$  e di conseguenza  $\Phi h = \Phi_1 at^{(4n/3)}$ . Quindi si può trattare il coefficiente di deflusso come una *costante* (pari a quello relativo alla precipitazione della durata di 1 ora) usando al posto dell'esponente  $n$  il valore  $4n/3$  nell'equazione di possibilità pluviometrica  $h=at^n$  essendo  $h$  l'altezza di precipitazione,  $t$  la corrispondente durata ed  $a$  un opportuno coefficiente.

dei livelli di impermeabilizzazione ed a causa della regolarizzazione del territorio avremo l'andamento schematico della curva di piena **C→A→M→N** con portata massima **Q<sub>M2</sub>** e tempo al picco **t<sub>c2</sub>** pari al tempo di corrivazione nella situazione modificata dalla urbanizzazione; vale la disuguaglianza **t<sub>c2</sub><t<sub>c1</sub>** ma in genere è possibile in qualche modo semplificare il ragionamento ipotizzando, almeno in una prima fase, che **t<sub>c2</sub>~t<sub>c1</sub>**. Applicare il principio della **stabilizzazione idraulica base** vuol dire fare in modo che la curva di piena generata dal bacino, dopo le modifiche all'uso del suolo, sviluppi una portata massima dello stesso ordine di grandezza di quella ante modifica dello stesso uso del suolo (con riferimento alla figura **02** e con pioggia di durata pari al tempo di corrivazione dovremo fare in modo che la curva di piena in situazione urbanistica mutata evolva secondo la curva **C→B→F** con portata al colmo pari a **Q<sub>M1</sub>** rispetto all'andamento previsto **C→A→H** e portata al colmo **Q<sub>M2</sub>**). Con riferimento sempre alle tecniche di mitigazione per detenzione quanto rappresentato nella figura **02** dovrà essere rispettato per tutte le durate di precipitazione superiori al tempo di corrivazione t<sub>c1</sub> (ad esempio la precipitazione di durata **t<sub>p</sub>** genera l'idrogramma di piena **C→P→Q→R** con portata massima pari a **Q<sub>P</sub>**). Il processo di laminazione potrà inoltre svilupparsi secondo due modalità caratteristiche: a) portata di laminazione **Q<sub>M1</sub> costante** (il volume di laminazione quindi è racchiuso dall'area **S→P→Q→T→S**); b) portata di laminazione ad **andamento lineare** da **0** al valore **Q<sub>M1</sub>** (il volume di laminazione quindi è racchiuso dall'area **C→P→Q→T→C**). Chiaramente la soluzione con **Q<sub>M1</sub> costante** minimizza l'invaso necessario<sup>4</sup>. Indichiamo con **V<sub>s</sub>** il volume da invasare; come visualizzato in figura **02** sia inoltre **t<sub>p</sub>** la durata di precipitazione superiore a **t<sub>c1</sub>** e **Q<sub>P</sub>** la corrispondente portata massima. Nel caso a), ovvero con portata di laminazione **Q<sub>M1</sub> costante**, vale la relazione

$$V_s = t_p Q_P - t_p Q_{M1} - t_{c1} Q_{M1} + t_{c1} Q_{M1}^2 / Q_P, \dots\dots\dots [3]$$

mentre nel caso b), ovvero con portata di laminazione ad **andamento lineare** da **0** al valore **Q<sub>M1</sub>**, vale la relazione

$$V_s = t_p Q_P - (1/2) t_p Q_{M1} - (1/2) t_{c1} Q_{M1}. \dots\dots\dots [4]$$

In ambedue i casi si tratta di determinare la durata di precipitazione **t<sub>p</sub> critica** ovvero la durata di precipitazione che annulla la derivata rispetto al tempo di pioggia nelle due relazioni precedenti in modo da determinare il massimo valore per **V<sub>s</sub>** (che indicheremo con **V<sub>CRIT</sub>**). La relazione che permette di calcolare la durata di precipitazione critica **t<sub>CRIT</sub>** e quindi **V<sub>CRIT</sub>**, nel caso di portata **costante** in uscita dal volume d'invaso, vale:

$$(Q_{M1}/Q_{M2}) = [1 - [1 - 4n(1-n)(t_{c1}/t_{CRIT})]^{0,5}] / [2(1-n)/(t_{CRIT}/t_{c1})^n] \dots\dots\dots [5]$$

La relazione che permette di calcolare **t<sub>CRIT</sub>** e quindi **V<sub>CRIT</sub>**, nel caso di portata ad andamento **lineare** in uscita dal volume d'invaso, vale:

$$(Q_{M1}/Q_{M2}) = 2n(t_{CRIT}/t_{c1})^{(n-1)} \dots\dots\dots [6]$$

La relazione [5] è stata graficata per valori discreti di **n** in figura **03** (dove **Q<sub>M1</sub>** viene indicato con **Q<sub>U</sub>**, **Q<sub>M2</sub>** viene indicato con **Q<sub>C</sub>** e **t<sub>c1</sub>** viene indicato con **T<sub>C</sub>**). La relazione [6] viene graficata sempre per valori discreti di **n** in figura **04** (dove **Q<sub>M1</sub>** viene indicato con **Q<sub>U</sub>**, **Q<sub>M2</sub>** viene indicato con **Q<sub>C</sub>** e **t<sub>c1</sub>** viene indicato con **T<sub>C</sub>**). Il volume massimo di laminazione può essere trovato utilizzando la relazione

$$(V_{CRIT}/(Q_{M2}t_{c1})) = (t_{CRIT}/t_{c1})^n - (Q_{M1}/Q_{M2})((t_{CRIT}/t_{c1}) + 1) + (Q_{M1}/Q_{M2})^2(t_{CRIT}/t_{c1})^{(1-n)}, \dots\dots\dots [7]$$

valevole per invasi con portata di laminazione **costante**, mentre nel caso di invasi con andamento lineare della portata in uscita vale la relazione

$$(V_{CRIT}/(Q_{M2}t_{c1})) = (t_{CRIT}/t_{c1})^n - 0,5(Q_{M1}/Q_{M2})((t_{CRIT}/t_{c1}) + 1) \dots\dots\dots [8]$$

<sup>4</sup> Una buona impostazione teorica su quanto verrà di seguito presentato può essere ricavato dalla nota **Analisi del metodo cinematico per il dimensionamento degli invasi di laminazione a servizio delle reti di drenaggio urbano** di G. Gottardi e M. Maglionico, in Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche.

Le due relazioni<sup>5</sup> precedenti sono graficate: a) per valori discreti di  $n$  nel caso di portata costante in uscita dal volume di laminazione in figura **05** e, b) sempre per valori discreti di  $n$  nel caso di portata ad andamento lineare in uscita dal volume di laminazione in figura **06** (in ambedue i casi  $Q_{M2}$  viene indicato con  $Q_C$ ,  $V_{CRIT}$  viene indicato con  $V_C$  e  $t_{c1}$  viene indicato con  $T_C$ ). Con le relazioni [2], [5], [6], [7] e [8] sono risolvibili la maggior parte dei problemi di stima dei volumi di mitigazione idraulica per detenzione.

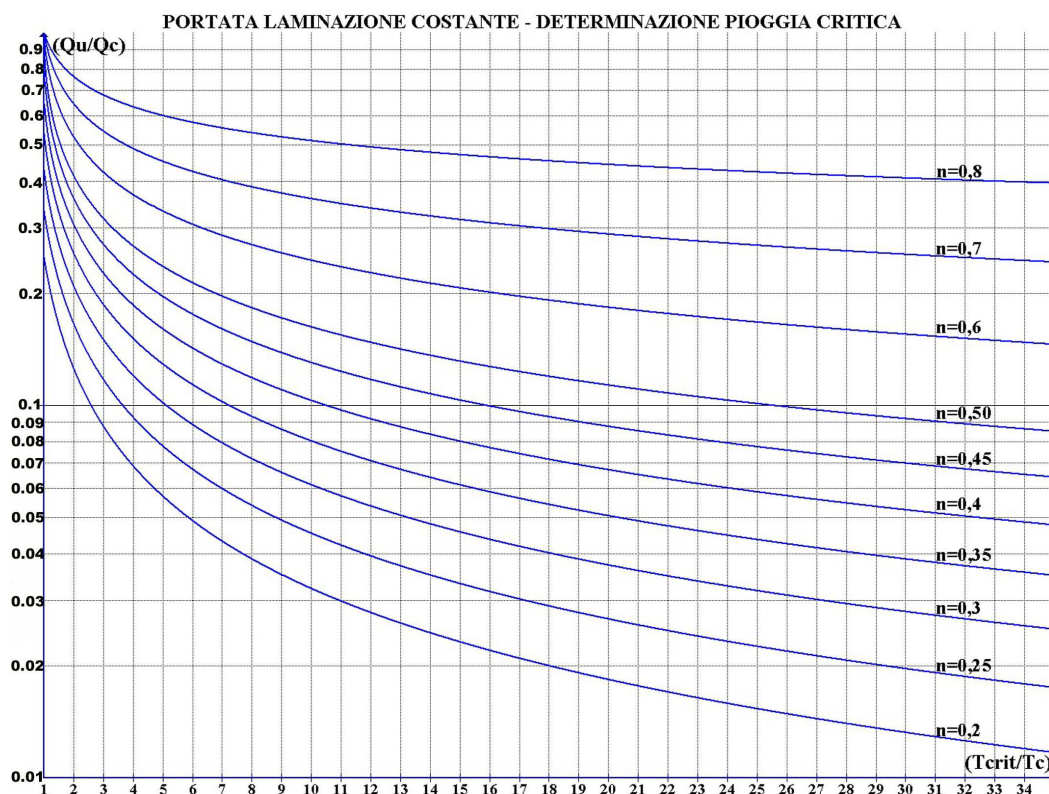
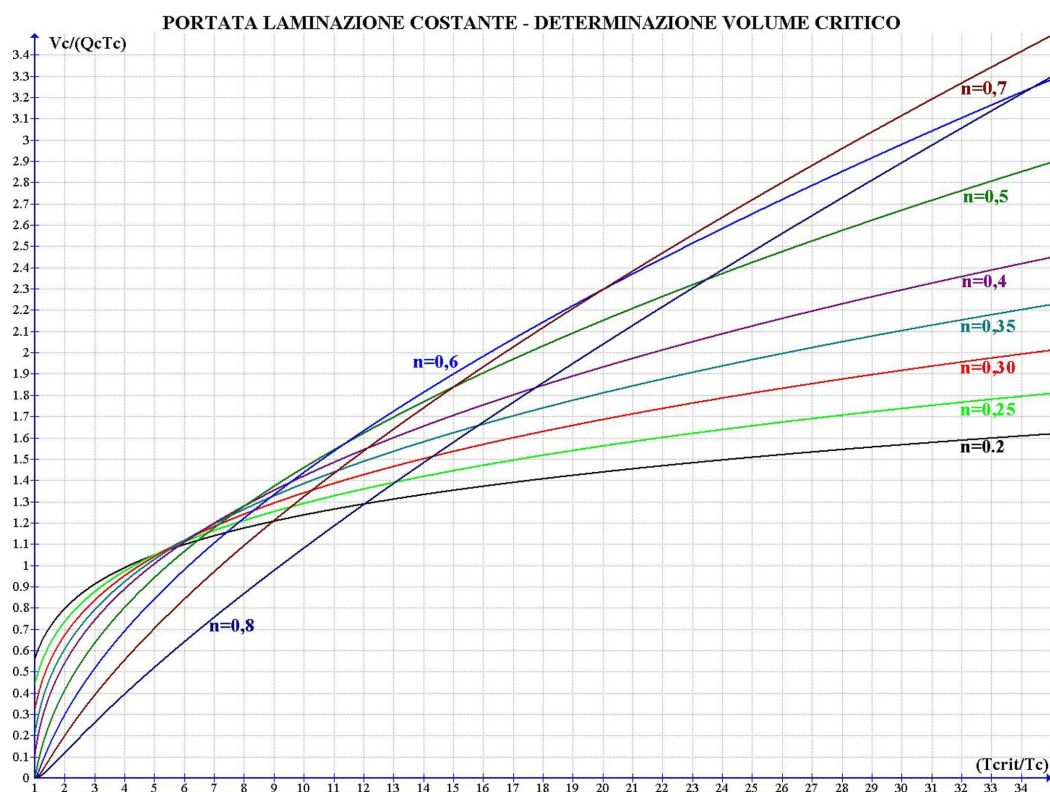
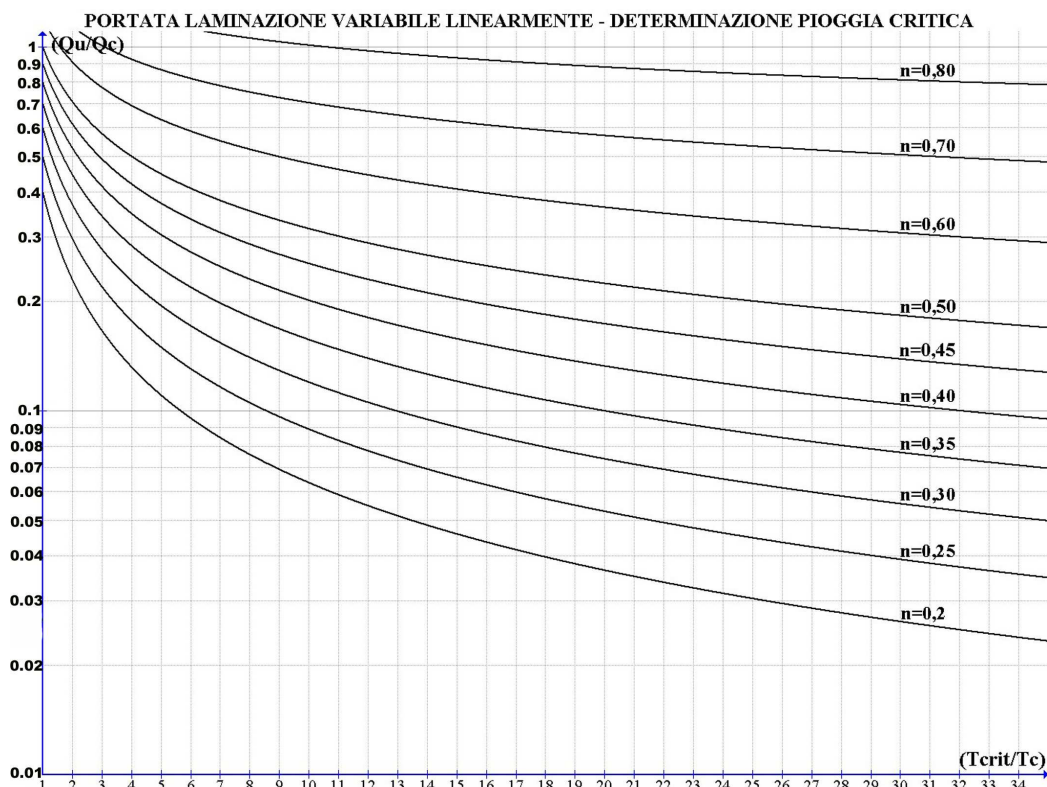


Figura 03: **Grafico per determinare la durata della pioggia critica con invaso di detenzione regolato da portata in uscita costante**

<sup>5</sup> Vedi anche la nota **Le vasche volano nelle reti di fognatura: tipologie e metodi di calcolo**, di M. Cannarozzo, V. Ferro e G. Viviani, Atti del XXVIII Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche, Potenza, 16-19 Settembre 2002, pp. 339-348.



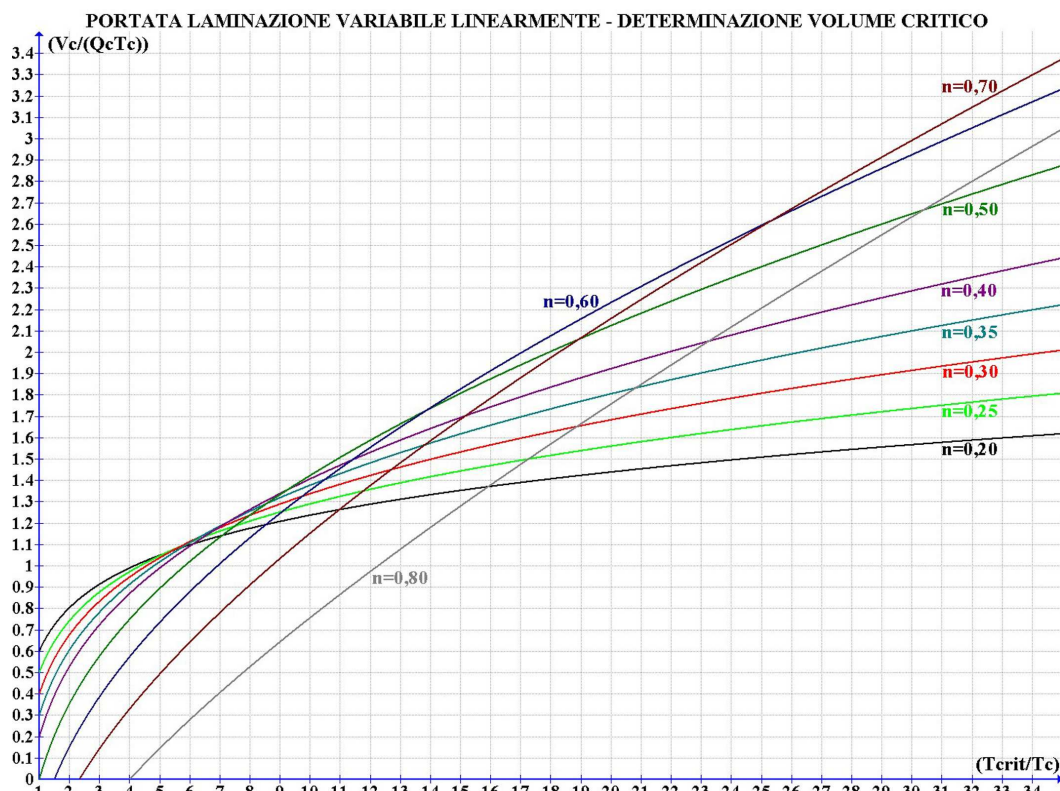


Figura 06: **Grafico per determinare il volume massimo di detenzione regolato da portata in uscita ad andamento lineare**

### M.1.1) STABILIZZAZIONE IDRAULICA BASE CON TUBI CIRCOLARI DI DETENZIONE

Diamo ora alcuni cenni di stabilizzazione idraulica base per detenzione distribuita utilizzando condotte circolari. In genere nel dimensionamento degli invasi di detenzione realizzati con condotte circolari la strozzatura idraulica allo scarico é ottenuta entro un normale pozzetto dotato di stramazzo ove il controllo del flusso viene garantito da un foro posto in asse al filo inferiore della condotta (vedi figura 07). Per il tempo di ritorno  $T_R^6$  fissato a dimensionamento il foro permetterà un flusso massimo  $Q_L$  funzione del carico idraulico massimo  $D_I - D_h$ ; in corrispondenza ad eventi di pioggia a tempo di ritorno maggiore la maggior portata sarà smaltita dal profilo di sfioro dello stramazzo. La laminazione viene garantita dal volume interrato  $V_L$  costituito da collettori di diametro  $D_I$ . Per conseguire la *strozzatura* della portata in uscita dai volumi profondi (*bocca tassata*) viene quindi creato un foro sullo stramazzo del pozzetto con asse posizionato sulla medesima quota di fondo del manufatto di laminazione.

<sup>6</sup> Per problematiche di mitigazione idraulica nella Regione Veneto normalmente si pone  $T_R = 50$  anni come indicato dalla D.G.R. del Veneto n°1322/2006.

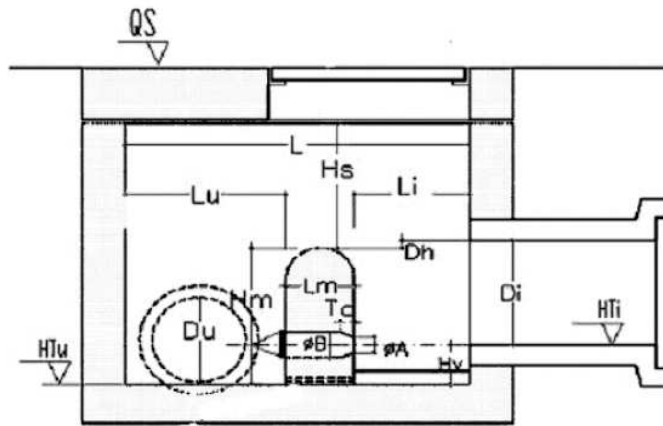


Figura 07 : **Tipica sezione del manufatto di controllo a valle del volume di detenzione**

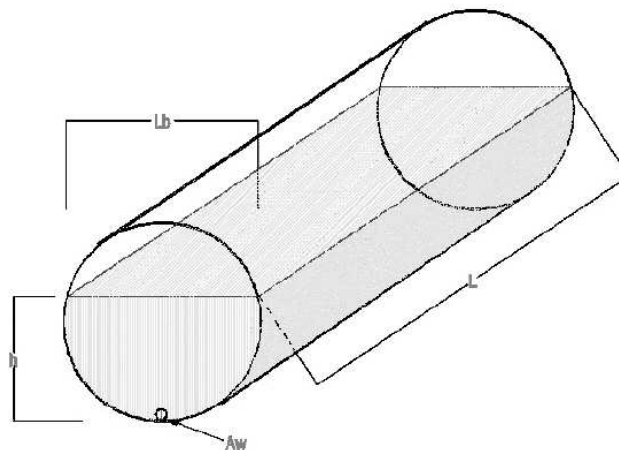


Figura 08 : **Schema del volume di detenzione**

La figura **08** schematizza il funzionamento idraulico del sistema di microlaminazione con uso di condotte circolari: nella situazione reale si sviluppa un fenomeno di moto vario che richiede la valutazione della condizione cinematica (quindi il *principio di continuità*) e della condizione dinamica (quindi il rispetto dell'*equazione di Eulero*). In via preliminare si può ipotizzare che la variazione nel tempo dei parametri idraulici sia contenuta e quindi le forze d'inerzia si possano ritenere trascurabili; in tal caso l'*equazione di Eulero* si riduce al rispetto della nota *legge di Torricelli*  $Q = C_Q A_w (2gh)^{0.5}$  essendo:  $A_w$  la sezione della strozzatura idraulica nel pozzetto che regola la laminazione;  $g$  l'accelerazione di gravità;  $h$  l'altezza del pelo libero dal filo inferiore della tubazione;  $C_Q$  il coefficiente di efflusso. Evidentemente se  $h = D_T - D_h$  (vedi figura **07**) avremo  $Q = Q_U = Q_{M1}$ . Indicando con  $A_L$  l'area della superficie liquida entro il tubo (larga  $L_b$ ) la variabile temporale compare solo nella condizione cinematica che diventa  $Q_1 \partial t - Q_2 \partial t = -A_L \partial h$  essendo  $Q_1$  la portata in ingresso al tempo  $t$  e  $Q_2$  la portata in uscita al tempo  $t$ . In prima approssimazione  $Q_1$  può essere stimata sfruttando la curva di piena triangolare del metodo del tempo di corrivazione, avente tempo al picco  $T_c$  e portata massima  $Q_M$ ;  $Q_2$  può essere invece stimata attraverso la *legge di Torricelli*, in funzione del carico  $h$ . Se consideriamo i tempi di pioggia minori o uguali al tempo di corrivazione in via preliminare è possibile eseguire una prima stima della relazione che lega le variabili  $T_c$ ,  $Q_M$ ,  $Q_U$ ,  $L$  e  $D$  sulla base delle argomentazioni seguenti.

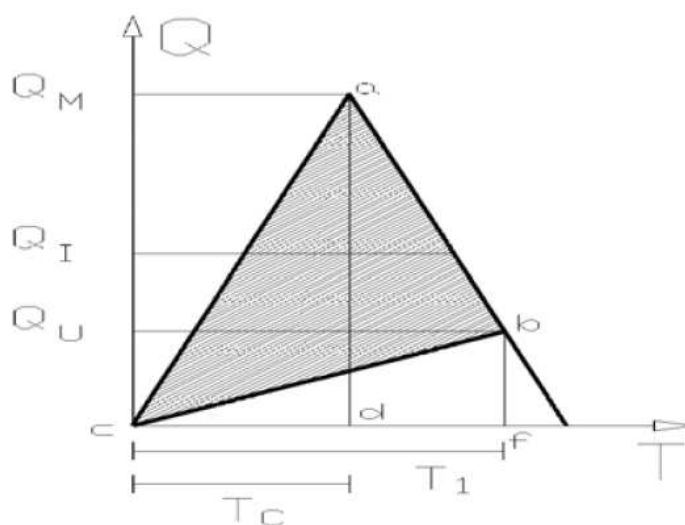


Figura 09: **Schema preliminare di valutazione**

La figura 09 visualizza la curva di piena lineare dal metodo del tempo di corrivazione: abbiamo una fase di crescita **c-a** di durata pari a  $T_C$  che va da 0 fino al valore di portata massima  $Q_M$ , ed una successiva fase calante, di pari durata, dal valore  $Q_M$  al valore 0. Ad ogni istante  $t$  la portata corrispondente viene immessa nel volume di laminazione  $V_L$ ; al variare della quota idrometrica entro il collettore di diametro  $D$  varia la portata in uscita  $Q$ , quest'ultima regolata dalla strozzatura idraulica  $A_W$ . Supponiamo, in prima approssimazione, che la crescita della portata in uscita dal volume  $V_L$  abbia andamento lineare (vedi tratto **c-b**, figura 09) fino ad assumere il valore massimo ammesso  $Q_U$ ; in questa situazione l'area sottesa dal triangolo **abc** individua  $V_L$  nel momento in cui la portata entrante è uguale alla portata uscente  $Q_U$  e siamo nelle condizioni di deflusso al limite di sfioro nello stramazzo entro il pozzetto che regola la laminazione. Indicando con  $L$  la lunghezza dei collettori di diametro  $D$ , espresso  $L$  in  $m$  e  $D$  in  $cm$ , ed indicando sempre con  $Q_M$  la portata massima in ingresso e con  $Q_U$  la portata massima in uscita dal sistema al limite dello sfioro (ambidue espresse in  $l/s$ ) il volume  $V_L$  risulta pari a  $L \cdot \pi D^2 / 4$  e quindi, attraverso semplici considerazioni di natura geometrica deducibili dalla figura 09 vale la relazione  $L = 764 \cdot T_C \cdot (Q_M - Q_U) / D^2$ .

E' necessario però acquisire una stima del volume di invaso che copra tutte le durate di precipitazione superiori al tempo di corrivazione (invaso critico). La strozzatura idraulica di figura 07 in qualche modo riporta allo schema di invaso deducibile dalla figura 02 in cui la portata di laminazione ha andamento lineare da 0 (inizio della pioggia) al valore massimo  $Q_{M1} = Q_U$ . Per la stima della portata massima  $Q_U$  e della portata media  $Q_{LM}$  effluenti da un foro circolare con pareti interne divergenti e contorno interamente a spigolo vivo, per ogni diametro  $D_W$  ( $cm$ ) nel campo di escursione del pelo libero, si possono utilizzare le relazioni seguenti: a)  $Q = C_Q A_W (2gh)^{0.5}$ ; b)  $A_W = \pi D_W^2 / 4$ ; c)  $C_Q = 0,61$ ; d)  $h = D$  per  $Q = Q_U$ ; e)  $Q_{UM} \approx Q_U / 1,5$ . Il foro si considera inserito su paramento verticale e si ipotizza praticamente nulla la velocità di arrivo dell'acqua. Il valore minimo del tirante idrico coincide con il centro del foro ( $0 \text{ cm}$ ), il valore massimo è la distanza fra il centro del foro e il valore di escursione massima (grossomodo coincidente col diametro della condotta a monte). Lo schema di figura 10 riassume la procedura per la stima della lunghezza  $L$  dei collettori di laminazione di diametro  $D$  con le ipotesi: curva area-tempi del bacino lineare, intensità della pioggia costante, applicazione del modello della corrivazione lineare e stazionario, costanza del tempo di corrivazione prima e dopo la modifica dell'uso del suolo.

# STABILIZZAZIONE IDRAULICA BASE

con tubi circolari di detenzione di diametro  $D$ , curva del bacino area-tempi lineare, intensità di pioggia costante, modello della corrivazione lineare e stazionario, nella ipotesi di costanza del tempo di corrivazione prima e dopo la modifica dell'uso del suolo.

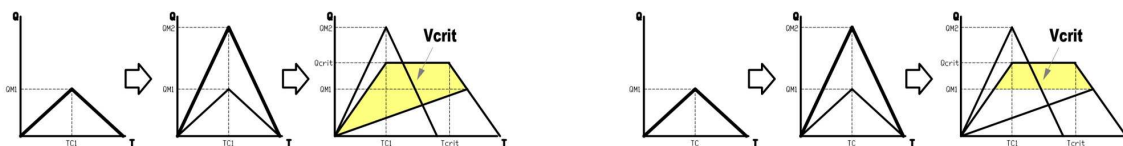
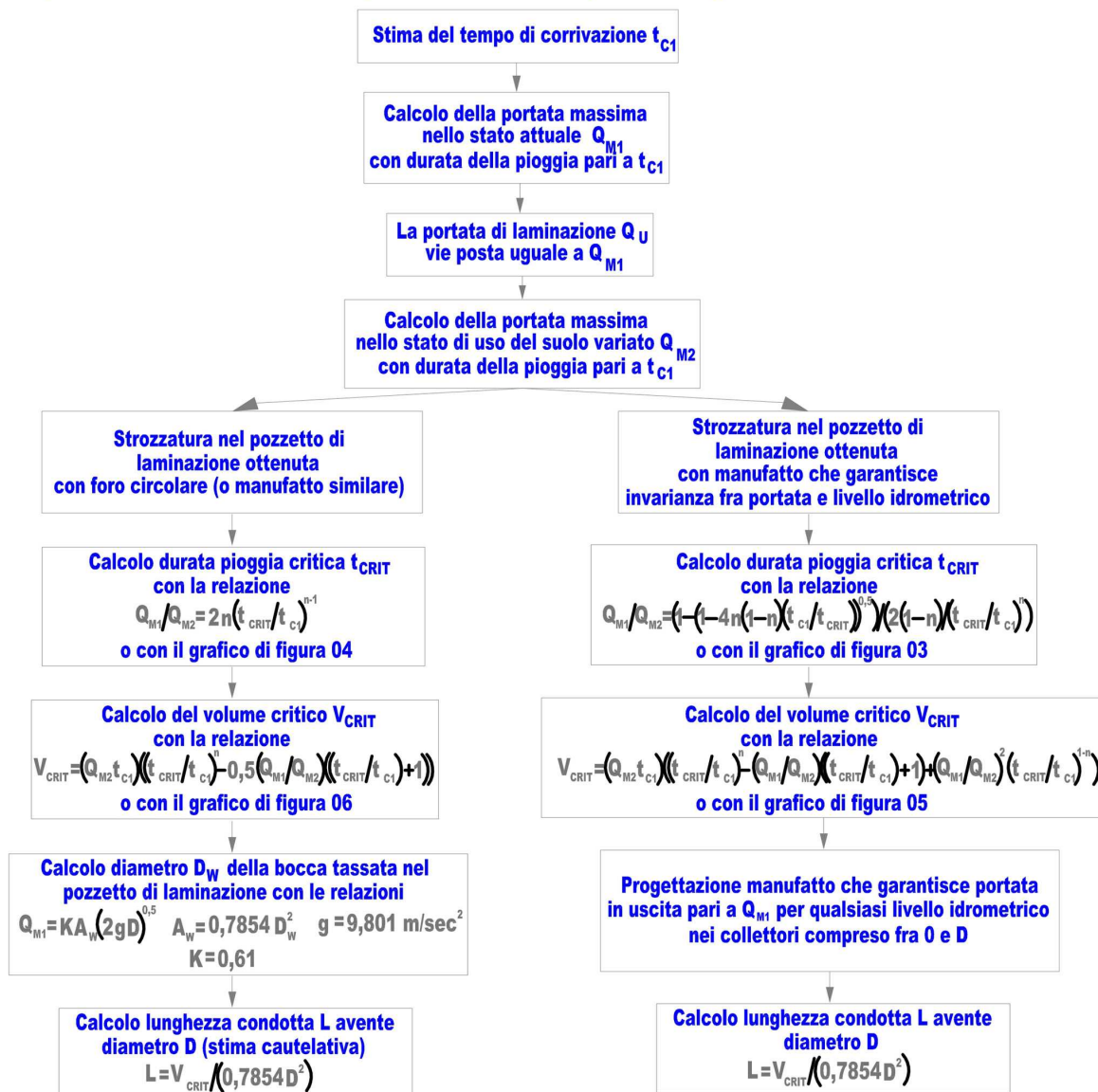
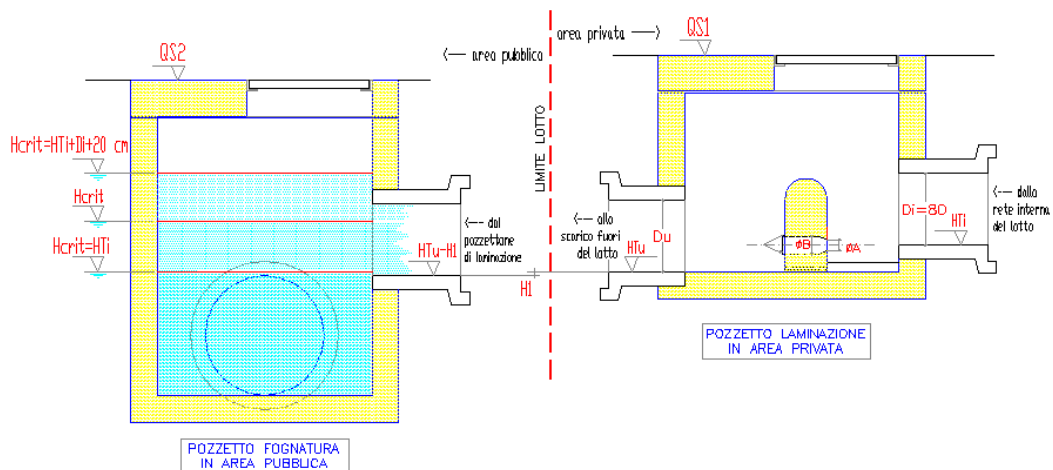
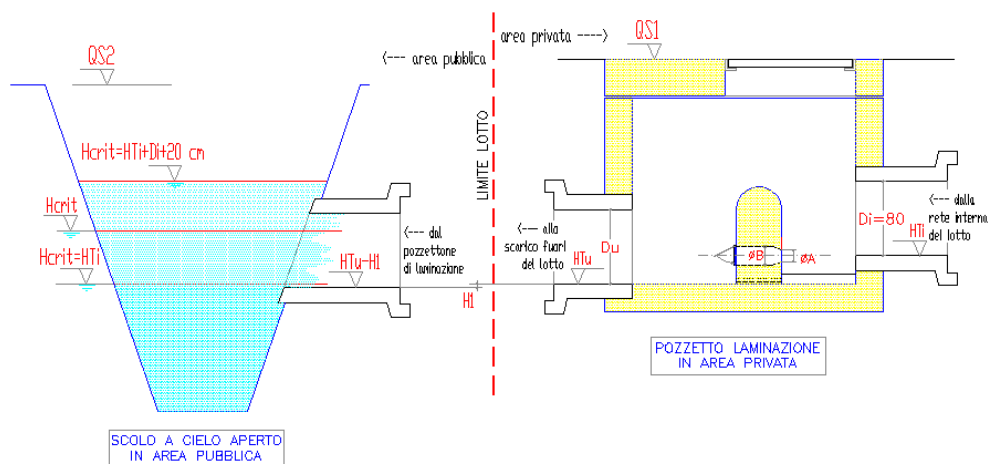


Figura 10 : **Procedura di stabilizzazione idraulica base per detenzione con tubazioni circolari**

Il punto di scarico del sistema di mitigazione idraulica utilizzando condotte interrato circolari presenta in genere due situazioni evidenziate nella figura successiva: caso **A** → scarico in pozzetto di fognatura, e caso **B** → scarico in canale a cielo aperto.



**Caso A : SCHEMA PUNTO DI SCARICO IN FOGNATURA TOMBINATA**



**Caso B: SCHEMA PUNTO DI SCARICO IN CANALE A CIELO APERTO**

Presentiamo ora un esempio di **stabilizzazione idraulica base** utilizzando volumi di detenzione (tubi circolari) e controllo della portata in testata garantito da un foro circolare sul muretto dello stramazzo (vedi figura 07). Al solito ipotizziamo che il regime di flusso sia stimabile attraverso un modello lineare stazionario con curva area-tempi lineare e precipitazione efficace di intensità costante (modello della corrivazione). Usiamo la seguente simbologia ed i seguenti valori:  $T_R$  = tempo di ritorno (*anni*) = 50;  $A$  = coefficiente  $a$  della curva di possibilità pluviometrica  $H=at^n$  (*mm/ore<sup>n</sup>*) = 60;  $N$  = coefficiente  $n$  della curva di possibilità pluviometrica  $H=at^n$  (-) = 0,30;  $t_p$  = durata<sup>7</sup> della precipitazione (*minuti*) = 35, corrispondente al tempo di

<sup>7</sup> In prima approssimazione la durata della precipitazione coincide con il tempo di corrivazione dell'area oggetto di mitigazione (avremo quindi due tempi, il primo pari alla durata della precipitazione nella conformazione attuale dell'uso del suolo e il secondo pari alla durata della precipitazione nella conformazione dell'uso del suolo a variante attuata). La durata della pioggia critica può essere calcolato con uno dei seguenti modi: **a)** con la relazione  $t_c = t_e + t_r/1,5$  dove  $t_r$  è il tempo di rete del percorso idraulicamente maggiore lungo il lotto, calcolabile con la relazione  $t_r = \sum L_i/V_i$  dove  $L_i$  è la lunghezza di ogni singolo tratto del percorso idraulicamente più lungo e  $V_i$  la corrispondente velocità a pieno riempimento, da calcolare, ad esempio, con l'espressione di Chézy-Strickler  $V_r = K_s(D/4)^{2/3}i^{1/2}$ . La sommatoria è estesa a tutti i sotto-percorsi che definiscono il percorso idraulicamente più lungo della particella d'acqua.  $t_e$  rappresenta il tempo di entrata in rete, indicativamente variabile fra 10 e 20 minuti a seconda della densità dei punti di ingresso (caditoie, scarichi, ecc...); **b)** con la relazione  $t_c = t_e + 0,04x(SUP \times L_M)^{0,4}$  essendo  $SUP$  la superficie dell'area di drenaggio espressa in *ha* ed  $L_M$  il percorso più lungo compiuto da una particella d'acqua entro l'area stessa (valore espresso in *m*).  $t_e$  rappresenta sempre il tempo di entrata in rete, indicativamente variabile fra 10 e 20 minuti (cioè da 0,16 a 0,33 ore) sempre a seconda della densità dei punti di ingresso (caditoie, scarichi, ecc...). Tutti i valori temporali citati si intendono espressi in ore. In mancanza di conoscenze dirette il parametro  $L_M$  può essere calcolato in prima approssimazione eseguendo la radice quadrata del valore  $SUP$  espresso in *m<sup>2</sup>*; **c)** con la relazione  $t_c = (L_M/(V_c \times 3600)) + t_e$  essendo  $L_M$  il percorso più lungo compiuto una particella d'acqua (valore espresso in *m*) e  $V_c$  una velocità media di scorrimento, indicativamente variabile fra 0,2-0,3 e 1,0-1,2 *m/s*. Al solito  $t_e$  rappresenta il tempo di entrata in rete, indicativamente variabile fra 0,16 e 0,33 ore a seconda della densità dei punti di ingresso (caditoie, scarichi, ecc...). In realtà la scelta

corrivazione  $T_{c1}$  in prima approssimazione identico sia nelle condizioni precedenti che nelle condizioni successive alla variazione dell'uso idrologico del suolo;  $\Phi_{BS1}$  = coefficiente di deflusso orario nella situazione attuale (-) = 0,32;  $\Phi_{BS2}$  = coefficiente di deflusso orario nella situazione di variante attuata (-) = 0,67;  $B_s$  = superficie dell'area ( $m^2$ ) = 10.000;  $D$  = diametro dei collettori di laminazione ( $cm$ ) = 80;  $Q_{m1}$  = portata media nella situazione attuale ( $l/s$ );  $Q_{M1}$  = portata massima nella situazione attuale ( $l/s$ );  $Q_U$  = portata di laminazione ( $l/s$ );  $Q_{m2}$  = portata media nella situazione a variante attuata ( $l/s$ );  $Q_{M2}$  = portata massima nella situazione a variante attuata ( $l/s$ );  $L$  = lunghezza del collettore di laminazione ( $m$ );  $V_{TI}$  = volume d'invaso totale ( $m^3$ );  $V_s$  = volume d'invaso specifico ( $m^3/ha$ );  $V_{TP}$  = volume di pioggia caduto ( $m^3$ ) con la pioggia critica;  $V_{P1}$  = volume di pioggia trattenuto nella condizione attuale ( $m^3$ ) con la pioggia critica;  $V_{P2}$  = volume di pioggia trattenuto nella condizione di variante attuata ( $m^3$ ) con la pioggia critica;  $D_{DV}$  = deficit di volume trattenuto fra la situazione attuale e quella di variante attuata ( $m^3$ );  $D_1$  = diametro del foro di laminazione ( $mm$ );  $D_2$  = diametro del foro di laminazione adottato<sup>8</sup> ( $mm$ ).

Passo 01. Calcolo portata massima nella situazione attuale (ipotizziamo non significative le correzioni dei parametri **a** ed **n** in funzione della superficie di drenaggio).

Calcolo di  $Q_{M1} = (((A * ((t_p/60)^{((4*N/3)-1)})/1000))/3600) * B_s * \Phi_{BS1} * 1000$   
 $\rightarrow (((60 * ((35/60)^{((4*0,30/3)-1)})/1000))/3600) * 10000 * 0,32 * 1000 =$   
 $\rightarrow (((60 * ((0,583)^{(0,400-1)})/1000))/3600) * 3200000 =$   
 $\rightarrow (((60 * ((0,583)^{(-0,600)})/1000))/3600) * 3200000 =$   
 $\rightarrow (((60 * (1,382)/1000))/3600) * 3200000 =$   
 $\rightarrow (0,08291/3600) * 3200000 = \mathbf{73,7 \text{ l/s}}$

Passo 02. Calcolo della portata di laminazione  $Q_U$ .

Calcolo di  $Q_U = Q_{M1}$ .  
 $Q_U = Q_{M1} = \mathbf{73,7 \text{ l/s}}$

Passo 03. Calcolo portata massima nella situazione futura di uso del suolo in corrispondenza al tempo di corrivazione  $t_{c1}$ .

Calcolo di  $Q_{M2} = (((A * ((t_p/60)^{((4*N/3)-1)})/1000))/3600) * B_s * \Phi_{BS2} * 1000$ .  
 $\rightarrow (((60 * ((35/60)^{((4*0,30/3)-1)})/1000))/3600) * 10000 * 0,67 * 1000 =$   
 $\rightarrow (((60 * ((0,583)^{(0,400-1)})/1000))/3600) * 6700000 =$   
 $\rightarrow (((60 * ((0,583)^{(-0,600)})/1000))/3600) * 6700000 =$   
 $\rightarrow (((60 * (1,382)/1000))/3600) * 6700000 =$   
 $\rightarrow (0,0829/3600) * 6700000 = \mathbf{154,2 \text{ l/s}}$

Passo 04. Stima della durata della pioggia critica con il grafico di figura 04.

$Q_U/Q_C = Q_U/Q_{M2} = 73,7/154,3 = \mathbf{0,48}$ . Per  $N = (4*0,3/3) = \mathbf{0,4}$  e  $Q_U/Q_C = \mathbf{0,48}$  abbiamo  $T_{CRIT}/T_c = \mathbf{2,37}$ ; quindi  $T_{CRIT} = 2,37 * 35 \sim \mathbf{83 \text{ min}}$ .

Passo 05. Stima del volume critico con il grafico di figura 06.

$T_{CRIT}/T_c = \mathbf{2,37}$ . Per  $N = (4*0,3/3) = \mathbf{0,4}$  abbiamo  $V_{CRIT}/(Q_c T_c) = \mathbf{0,6}$ ; quindi  $V_{CRIT} = 0,6 * (154,32/1000) * 35 * 60 \sim \mathbf{197 \text{ m}^3}$ .

Passo 04. Stima della lunghezza del collettore di laminazione, da eseguire utilizzando per i volumi di detenzione tubazioni circolari interrate di diametro  $D$ .

Calcolo di  $L = (V_{CRIT}/((3.141592 D^2/4)))$ .  
 $\rightarrow (197/(3.141592 * 0,8^2/4)) \sim \mathbf{392 \text{ m}}$

Passo 05. Calcolo del volume di invaso totale, in prima approssimazione corrispondente al volume offerto dai collettori circolari di laminazione (si considerano nulli gli apporti di caditoie, allacci, pozzetti, ecc...).

Calcolo di  $V_{TI} = ((3.141592 * (D/100)^2 * 0.25) * L)$ .  
 $\rightarrow ((3.141592 * (80/100)^2 * 0.25) * 392) =$   
 $\rightarrow ((3.141592 * 0,64 * 0.25) * 392) \sim \mathbf{197 \text{ m}^3}$

Passo 06. Determinazione del volume specifico di invaso.

Calcolo di  $V_s = (V_{TI}/(B_s/10000))$ .  
 $\rightarrow (197)/(10000/10000) = \mathbf{197 \text{ m}^3/ha}$

del tempo di pioggia dipende da molti altri fattori, ad esempio la necessità di tener conto che la rete ricevente (a valle del lotto in analisi) potrebbe *andare in crisi* per precipitazioni aventi durata diversa da quella del tempo di corrivazione dell'area in questione.

<sup>8</sup> Per tener conto del rischio intasamento si impone che il foro nello stramazzone del pozzettino di laminazione non possa mai avere un diametro inferiore a 4  $cm$ .

Passo 07. Calcolo parametro della bocca tassata ovvero diametro del foro entro il pozzettone di laminazione.

Calcolo di  $D_1 = (((4 * (Q_u/1000)) / (3.141592 * 0.61 * ((2 * 9.801 * (D/100))^0.5)))^0.5) * 1000$ .

→  $((4 * (73.7/1000)) / (3.141592 * 0.61 * ((2 * 9.801 * (80/100))^0.5)))^0.5 * 1000 =$

→  $((4 * 0.0737) / (3.141592 * 0.61 * (15.6816^0.5)))^0.5 * 1000 =$

→  $((0.2948 / (3.141592 * 0.61 * 3.960))^0.5) * 1000 =$

→  $((0.2948 / 7.58883)^0.5) * 1000 =$

→  $(0.1971047) * 1000 \approx 197 \text{ mm}$

Passo 08. Viene determinato il diametro effettivo del foro di laminazione. Per tener conto del rischio intasamento si prevede in prima approssimazione che il foro nello stramazzo del pozzettone di laminazione non possa mai avere un diametro inferiore a 4 cm.

Calcolo di  $D_2 = D_1$  : IF  $D_2 < 40$  THEN  $D_2 = 40$  .

→  $D_2 = D_1 = 197 \text{ mm}$  : IF  $D_2 < 40$  THEN  $D_2 = 40$  controllata

Passo 09. Calcolo del volume totale di pioggia caduta con la durata critica di precipitazione.

Calcolo di  $V_{TP} = ((A * (t_{CRIT}/60)^N) / 1000) * B_S$

→  $((60 * (83/60)^0.30) / 1000) * 10000 =$

→  $((66.1347) / 1000) * 10000 \approx 661 \text{ m}^3$

Passo 10. Stima del volume di pioggia trattenuto nel bacino nella situazione attuale con la durata critica.

Calcolo di  $V_{P1} = V_{TP} - (((A * (t_{CRIT}/60)^N) / 1000) * \Phi_{BS1} / 1000) * B_S$ .

→  $661 - (((60 * (83/60)^0.30) / 1000) * 0.32 / 1000) * 10000 =$

→  $661 - (((60 * (1.383)^0.400) / 1000) * 0.32 / 1000) * 10000 =$

→  $661 - ((21.861 / 1000) * 10000) \approx 442 \text{ m}^3$

Passo 11. Stima del volume di pioggia trattenuto nel bacino nella situazione futura con la durata critica.

Calcolo di  $V_{P2} = V_{TP} - (((A * (t_{CRIT}/60)^N) / 1000) * \Phi_{BS2} / 1000) * B_S$ .

→  $661 - (((60 * (83/60)^0.30) / 1000) * 0.67 / 1000) * 10000 =$

→  $661 - (((60 * (1.383)^0.400) / 1000) * 0.67 / 1000) * 10000 =$

→  $661 - ((45.772 / 1000) * 10000) \approx 203 \text{ m}^3$  .

Passo 12. Stima del deficit di volume di invaso fra situazione futura e situazione attuale.

Calcolo di  $D_{DV} = V_{P2} - V_{P1}$  .

→  $203 - 442 = -239 \text{ m}^3$  .

Nel rispetto delle ipotesi preliminari per l'area di superficie  $10.000 \text{ m}^2$ , passando da un coefficiente di deflusso orario 0,32 al valore 0,67, si ottiene la stabilizzazione idraulica base prevedendo un invaso realizzato con 387 m di condotta diametro 80 cm; l'invaso è gestito allo sbocco da un foro di diametro 197 mm con tirante massimo in corrispondenza della portata di laminazione pari a 80 cm; tra la situazione precedente e la situazione modificata la portata massima a parità di tempo di ritorno rimane di 73,7 l/s. Il deficit di volume di pioggia netta gestito dall'invaso di  $195 \text{ m}^3$  ammonta a  $-239 \text{ m}^3$ . Ipotizzando che la strozzatura idraulica allo scarico venga eseguita con un manufatto in grado di garantire l'invarianza fra portata e tirante si ottengono i seguenti risultati:  $Q_{M1} = 73,7 \text{ l/s}$ ;  $Q_U = Q_{M1} = 73,7 \text{ l/s}$ ;  $Q_{M2} = 154,2 \text{ l/s}$ ;  $Q_U/Q_C = Q_U/Q_{M2} = 0,48$ ;  $T_{CRIT}/T_C = 1,24$ ;  $T_{CRIT} \sim 44 \text{ min}$ ;  $V_{CRIT} = 91 \text{ m}^3$ ;  $L \sim 180 \text{ m}$ ;  $V_{TI} \sim 91 \text{ m}^3$ ;  $V_S = 91 \text{ m}^3/\text{ha}$ ;  $V_{TP} \sim 527 \text{ m}^3$ ;  $V_{P1} \sim 359 \text{ m}^3$ ;  $V_{P2} \sim 174 \text{ m}^3$ ;  $D_{DV} = -185 \text{ m}^3$  . La riduzione dell'invaso necessario è circa del 54%.

## M.2) STABILIZZAZIONE IDRAULICA DEDUTTIVA

Vediamo ora come tener conto, partendo sempre dal concetto di **stabilizzazione idraulica**, dei fenomeni di esondazione che si verificano nell'area **C** (vedi figura **01**); l'intervento urbanistico in **D** non deve peggiorare la situazione in **C**. In tal caso lo schema idrologico è completamente diverso (vedi figura **11**). A parità di tempo di ritorno la portata massima transitabile in **C** è quella sviluppata da precipitazioni efficaci di durata pari al tempo di corrivazione  $t_{AC}$  (vedi figura **01**); se ipotizziamo che per il bacino chiuso in **C** valgano le ipotesi di **linearità** e **stazionarietà** possiamo applicare il modello cinematico lineare e stazionario: la portata massima si verifica in corrispondenza ad una durata della precipitazione maggiore o uguale al tempo di corrivazione e rimane costante per un tempo pari alla differenza fra il tempo di pioggia e il tempo di corrivazione. Ipotizziamo inoltre che per il bacino chiuso in **C** si abbia: a) una curva area-tempi lineare, b) la pioggia netta

di intensità costante con durata pari al tempo di corrivazione e infine c) per l'area **D** valga  $A(t_0) = A_T(t_{DC}) / (t_{AC})$ . Con tali ipotesi (vedi figura 11) la curva di piena del bacino chiuso alla sezione **C** è definita dal triangolo  $X \rightarrow Y \rightarrow Z$  con portata massima  $Q_{MAX}$  in corrispondenza al tempo  $t_B$  (tempo di corrivazione del bacino chiuso in **C**, essendo  $t_B = t_{AC}$ ). Nell'ipotesi che l'area corrispondente sia ricompresa fra due isocrone del bacino chiuso in **C** la curva di piena del sottobacino **D** sarà definita dal trapezio  $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D$  a partire dal punto **A** (con ascissa  $t_0$  essendo  $t_0 = t_{DC}$ ) a cui corrisponde una portata massima  $q_{MAX1}$ . Sia inoltre  $t_B = t_0 + t_1 + t_3$  essendo  $t_1$  il tempo di corrivazione del sottobacino **D**. In base alle ipotesi preliminari dovrà valere sempre l'uguaglianza  $(q_{MAX1}/t_1) = (Q_{MAX}/t_B)$ . Vediamo le conseguenze in **C** del cambio d'uso del suolo in **D** per precipitazioni di durata superiore a  $t_1$ . Dopo il cambio d'uso del suolo si ha in genere l'innalzamento dei livelli di impermeabilizzazione; a parità di impulso di pioggia efficace (di durata  $t_B$ ) avremo l'andamento della curva di piena generata dal sottobacino **D** secondo il trapezio  $A \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow D$  con portata massima  $q_{MAX2}$  e tempo al picco  $t_1$  pari al tempo di corrivazione nella situazione modificata dalla urbanizzazione (per semplicità si continua ad ipotizzare che il tempo di corrivazione prima e dopo l'intervento urbanistico siano uguali).

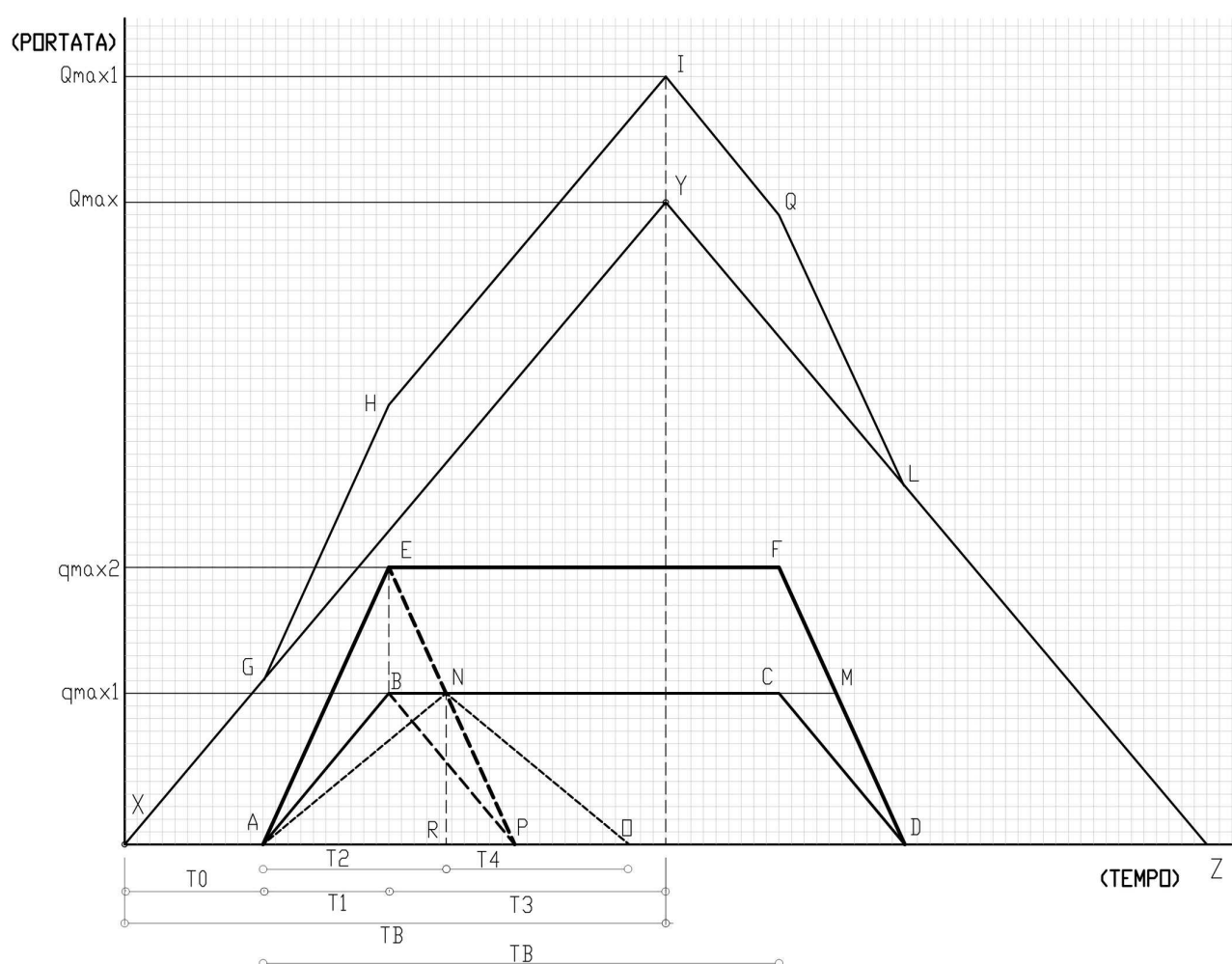


Figura 11: **Schema per tempi di pioggia superiori al tempo di corrivazione del sottobacino**

Applicare il concetto di **stabilizzazione idraulica deduttiva** vuol dire fare in modo che la curva di piena generata dal bacino dopo le modifiche all'uso del suolo crei una portata massima alla sezione **C** dello stesso ordine di grandezza di quella che si verificava prima della modifica dello stesso uso del suolo. Il volume sotteso dall'area  $A \rightarrow E \rightarrow F \rightarrow D \rightarrow C \rightarrow B \rightarrow A$ <sup>9</sup> dovrà essere laminato garantendo all'uscita del sottobacino **D** una portata massima non superiore a  $q_{MAX1}$ . Siamo quindi ritornati al concetto di **stabilizzazione idraulica**

<sup>9</sup> Tenendo buone le ipotesi del modello della corrivazione non è altro che il volume sotteso dall'area  $G \rightarrow H \rightarrow I \rightarrow Q \rightarrow L \rightarrow Y \rightarrow G$ .

**base** ove però la portata di laminazione  $Q_U$  non consegue al massimo di portata entro il sottobacino **D** sviluppata da una pioggia di durata pari al corrispondente tempo di corrivazione ma viene individuata da una precipitazione di durata  $t_B$  (tempo di corrivazione del bacino chiuso in **C**) che interessa sempre il sottobacino **D** ovviamente nelle condizioni di uso del suolo non variate. Indichiamo convenzionalmente  $t_B$  come tempo di corrivazione **esterno**, in contrapposizione al tempo di corrivazione **interno**  $t_1$ .

## STABILIZZAZIONE IDRAULICA DEDUTTIVA

**con tubi circolari di detenzione di diametro  $D$ , curva area-tempi dei bacini lineare, intensita' di pioggia costante, modello della corrivazione lineare e stazionario, nella ipotesi di costanza del tempo di corrivazione prima e dopo la modifica dell'uso del suolo.**

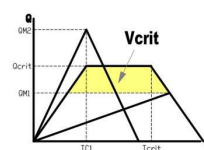
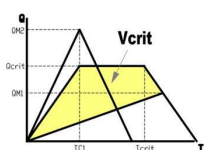
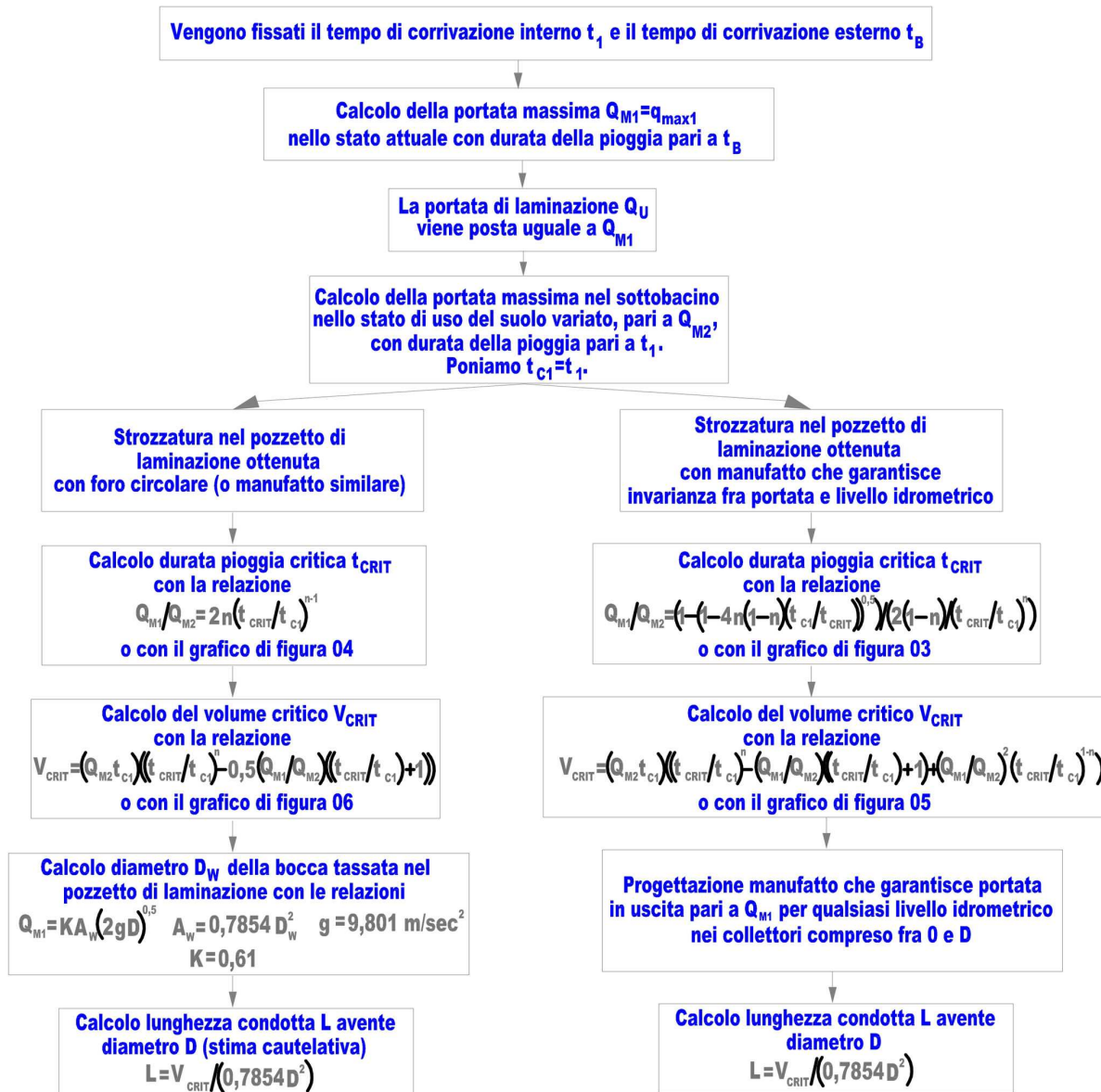


Figura 12: **Procedura di stabilizzazione idraulica deduttiva per detenzione con tubazioni circolari**

Con riferimento alla figura 13 presentiamo un esempio di stabilizzazione idraulica deduttiva con volumi di detenzione realizzati utilizzando condotte circolari interrate: abbiamo un sottobacino **A** oggetto di intervento di mitigazione idraulica e un bacino **B** (che ricomprensce **A**) alla cui chiusura sono note le problematiche idrauliche (esondazioni). Presentiamo quindi un esempio di invarianza idraulica vincolata all'esistenza di eventuali aree a rischio idraulico collocate presso la sezione **B** a valle della sezione di chiusura **A** del sottobacino.

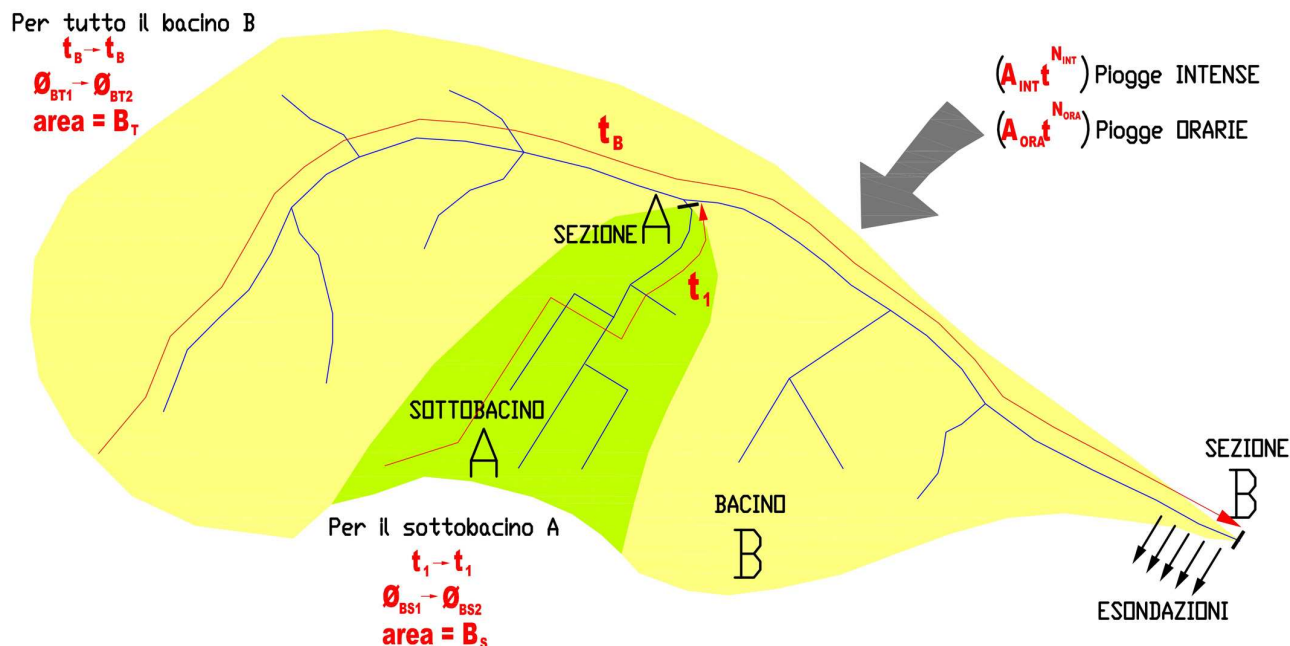


Figura 13: **Esempio di stabilizzazione idraulica deduttiva**

Ipotizziamo che il regime di flusso sia stimabile attraverso un modello lineare stazionario con curva area-tempi lineare e precipitazione efficace di intensità costante (modello della corrvazione); ipotizziamo inoltre che l'area del sottobacino **A** chiuso alla sezione **A** corrisponda sostanzialmente alla parte di superficie del bacino **B** ricompresa fra due isocrone della corrispondente curva area-tempi. Usiamo la seguente simbologia e valori:  $T_R$  = tempo di ritorno (*anni*) = 50;  $A_{INT}$  = coefficiente **a** della curva di possibilità pluviometrica  $H=at^n$  (*mm/ore<sup>n</sup>*) = 60 (valore valido per precipitazioni minori o uguali all'ora);  $N_{INT}$  = coefficiente **n** della curva di possibilità pluviometrica  $H=at^n$  (-) = 0,30 (valore valevole per precipitazioni minori o uguali all'ora);  $A_{ORA}$  = coefficiente **a** della curva di possibilità pluviometrica  $H=at^n$  (*mm/ore<sup>n</sup>*) = 60 (valore valido per precipitazioni maggiori all'ora);  $N_{ORA}$  = coefficiente **n** della curva di possibilità pluviometrica  $H=at^n$  (-) = 0,23 (valore valido per precipitazioni di durata superiore all'ora);  $T_{EST}$  = durata della precipitazione pari al tempo di corrvazione esterno (*minuti*) = 180 (corrispondente quindi al tempo di corrvazione  $T_B$  del bacino **B** chiuso alla sezione **B**);  $T_1 = T_{INT}$  = tempo di corrvazione del sottobacino **A** chiuso in **A** (*minuti*) = 35;  $\Phi_{BS1}$  = coefficiente di deflusso orario nella situazione attuale relativamente al sottobacino **A** (-) = 0,32;  $\Phi_{BS2}$  = coefficiente di deflusso orario nella situazione di variante attuata sempre per il sottobacino **A** (-) = 0,67;  $\Phi_{BT1}$  = coefficiente di deflusso orario nella situazione attuale relativamente al bacino **B** (-) = 0,45;  $\Phi_{BT2}$  = coefficiente di deflusso orario nella situazione di variante attuata relativamente al bacino **B** (-);  $B_T$  = superficie bacino **B** (*m<sup>2</sup>*) = 70.000;  $B_S$  = superficie sottobacino **A** (*m<sup>2</sup>*) = 10.000;  $D$  = diametro dei collettori di laminazione (*cm*) = 80;  $q_{MAX1}$  = portata massima sottobacino **A** nella situazione attuale (*l/s*) con pioggia di durata pari a  $T_{EST}$ ;  $Q_U$  = portata di laminazione (*l/s*);  $q_{MAX2}$  = portata massima sottobacino **A** nella situazione a variante attuata (*l/s*) con pioggia di durata  $T_{INT}$ ;  $L$  = lunghezza del collettore realizzato con tubi circolari da predisporre nel sottobacino **A** (*m*);  $V_{TI}$  = volume d'invaso totale nel sottobacino **A** (*m<sup>3</sup>*);  $V_S$  = volume d'invaso specifico nel sottobacino **A** (*m<sup>3</sup>/ha*);  $V_{TP}$  = volume di pioggia caduta (*m<sup>3</sup>*) nel sottobacino **A** con pioggia di durata  $T_{EST}$ ;  $V_{P1}$  = volume di pioggia trattenuto nella condizione attuale dal sottobacino **A** con pioggia di durata  $T_{EST}$  (*m<sup>3</sup>*);  $V_{P2}$  = volume di pioggia trattenuto nella condizione di variante attuata nel sottobacino **A** con pioggia di durata  $T_{EST}$  (*m<sup>3</sup>*);  $D_{DV}$  = deficit di volume trattenuto fra la situazione attuale e

quella di variante attuata sempre nel sottobacino **A** con pioggia di durata  $T_{EST}$  ( $m^3$ );  $D_1$  = diametro del foro circolare di laminazione ( $mm$ );  $D_2$  = diametro del foro circolare di laminazione adottato ( $mm$ ).

Passo 01. Stima del coefficiente di deflusso orario del bacino **B** dopo la modifica dell'uso del suolo in **A**.

Stima  $\Phi_{BT2} = (\Phi_{BS2}B_S + ((\Phi_{BT1}B_T - \Phi_{BS1}B_S)/(B_T - B_S))(B_T - B_S))/B_T$ .  
 $\rightarrow (0,67 \cdot 10000 + ((0,45 \cdot 70000 - 0,32 \cdot 10000)/(70000 - 10000))(70000 - 10000))/70000 =$   
 $\rightarrow (0,67 \cdot 10000 + (28300/60000)(60000))/70000 =$   
 $\rightarrow (0,67 \cdot 10000 + 28300)/70000 = \mathbf{0,467}$ .

Passo 02. Scelta parametro **a** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.

Scelta valore **a** di  $H=at^n$  per stima  $q_{MAX1}$ .

$T_{EST} > 60$  min quindi  $a = A_{ORA}$

$T_{EST} \leq 60$  min quindi  $a = A_{INT}$

$\rightarrow$  Si utilizza **A<sub>ORA</sub>**.

Passo 03. Scelta parametro **n** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.

Scelta valore **n** di  $H=at^n$  per stima  $q_{MAX1}$ .

$T_{EST} > 60$  min quindi  $n = N_{ORA}$

$T_{EST} \leq 60$  min quindi  $n = N_{INT}$

Si utilizza **N<sub>ORA</sub>**.

Passo 04. Raggiungimento secondo Puppini per tener conto che all'aumentare dell'area del bacino la piovosità media si riduce rispetto ai corrispondenti valori puntuali (in genere ha senso operare il raggiungimento per superfici superiori a  $10.000 m^2$ ).

Raggiungimento con Puppini coefficienti scelti **a** ed **n** di  $H=at^n$ .

$a' = a(1 - 0,052((B_S/10000)/100) + 0,002((B_S/10000)/100)^2)$

$n' = n + 0,0175((B_S/10000)/100)$

$A_{ORA} = 60 * (1 - 0,052((10000/10000)/100) + 0,002((10000/10000)/100)^2) =$

$\rightarrow 60 * (1 - 0,052 * (0,01) + 0,002 * (0,01)^2) =$

$\rightarrow 60 * (1 - 0,00521 + 0,002 * (0,01)^2) = \mathbf{59,97 (mm/ore^n)}$ .

$N_{ORA} = 0,23 + 0,0175((10000/10000)/100) =$

$\rightarrow 0,23 + 0,0175(0,01) = \mathbf{0,230}$ .

Passo 05. Calcolo della portata massima alla sezione di chiusura del sottobacino **A** con durata della precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino **B** e situazione attuale circa l'uso del suolo.

Calcolo  $q_{MAX1} = [(A_{ORA} * ((T_{EST}/60)^{(4 * N_{ORA}/3)})/1000) * B_S * \Phi_{BS1} * 1000] / [(T_{EST} + T_{INT}) * 60] * [1 + T_{INT}/T_{EST}]$ .

$\rightarrow [(59,97 * ((180/60)^{(4 * 0,231/3)})/1000) * 10000 * 0,32 * 1000] / [(180 + 35) * 60] * [1 + 35/180] =$

$\rightarrow [(59,97 * (3^{\wedge}0,308)/1000) * 3200000] / [12900] * [1,194] =$

$\rightarrow [0,084025 * 3200000] / [12900] * [1,194] \sim \mathbf{24,89 l/s}$ .

Passo 06. Scelta parametro **a** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.

Scelta valore **a** di  $H=at^n$  per stima  $q_{MAX2}$ .

$T_{INT} > 60$  min quindi  $a = A_{ORA}$

$T_{INT} \leq 60$  min quindi  $a = A_{INT}$

$\rightarrow$  Si utilizza **A<sub>INT</sub>**.

Passo 07. Scelta parametro **n** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.

Scelta valore **n** di  $H=at^n$  per stima  $q_{MAX2}$ .

$T_{INT} > 60$  min quindi  $n = N_{ORA}$

$T_{INT} \leq 60$  min quindi  $n = N_{INT}$

Si utilizza **N<sub>INT</sub>**.

Passo 08. Raggiungimento secondo Puppini per tener conto che all'aumentare dell'area del bacino la piovosità media si riduce rispetto ai corrispondenti valori puntuali (in genere ha senso operare il raggiungimento per superfici superiori a  $10.000 m^2$ ).

Raggiungimento con Puppini coefficienti scelti **a** ed **n** di  $H=at^n$ .

$a' = a(1 - 0,052((B_S/10000)/100) + 0,002((B_S/10000)/100)^2)$

$n' = n + 0,0175((B_S/10000)/100)$

$A_{INT} = 60 * (1 - 0,052((10000/10000)/100) + 0,002((10000/10000)/100)^2) =$

$\rightarrow 60 * (1 - 0,052 * (0,01) + 0,002 * (0,01)^2) = \mathbf{59,97 (mm/ore^n)}$ .

$N_{INT} = 0,3 + 0,0175((10000/10000)/100) =$

$\rightarrow 0,3 + 0,0175(0,01) \sim \mathbf{0,3}$ .

Passo 09. Calcolo della portata massima alla sezione di chiusura del sottobacino **A** con durata della precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino **A** e situazione futura circa l'uso del suolo.

Calcolo  $q_{MAX2} = [(A_{INT} * ((T_{INT}/60)^{(4 * N_{INT}/3)}) / 1000) * B_S * \Phi_{BS2} * 1000] / [(T_{INT} + T_{INT}) * 60] * [1 + T_{INT}/T_{INT}]$ .

→  $[(59,97 * ((35/60)^{(4 * 0,3/3)}) / 1000) * 10000 * 0,67 * 1000] / [(35 + 35) * 60] * [1 + 35/35] =$

→  $[(59,97 * (0,5833^{0,4}) / 1000) * 6700000] / [4200] * [2] =$

→  $[0,048338 * 6700000] / [4200] * [2] \sim \mathbf{154,22 \text{ l/s}}$ .

Passo 10. Determinazione della portata di laminazione.

Determinazione di  $Q_U = q_{MAX1}$ .

$Q_U = q_{MAX1} = \mathbf{24,89 \text{ l/s}}$ .

Passo 11. Stima della durata della pioggia critica con il grafico di figura **04**.

$Q_U/Q_C = Q_U/q_{MAX2} = 24,89/154,22 = \mathbf{0,16}$ . Per  $N = (4 * 0,230/3) = \mathbf{0,31}$  e  $Q_U/Q_C = \mathbf{0,16}$  abbiamo  $T_{CRIT}/T_C = \mathbf{8}$ ; quindi  $T_{CRIT} = 8 * 35 = \mathbf{280 \text{ min}}$ .

Passo 12. Stima del volume critico con il grafico di figura **06**.

$T_{CRIT}/T_C = 8$ . Per  $N = (4 * 0,23/3) = \mathbf{0,31}$  abbiamo  $V_{CRIT}/(Q_C T_C) = \mathbf{1,25}$ ; quindi  $V_{CRIT} = 1,25 * (154,22/1000) * 35 * 60 \sim \mathbf{405 \text{ m}^3}$ .

Passo 13. Calcolo della lunghezza del collettore di laminazione, utilizzando per i volumi di detenzione tubazioni circolari interrate di diametro **D**.

Calcolo di  $L = (V_{CRIT} / ((3.141592 * D^2 / 4)))$ .

→  $(405 / (3.141592 * 0,8^2 / 4)) \sim \mathbf{806 \text{ m}}$

Passo 14. Calcolo del volume di invaso totale, in prima approssimazione corrispondente al volume offerto dai collettori circolari di laminazione (si ritengono trascurabili i contributi di caditoie, allacci, pozzetti, ecc...).

Calcolo di  $V_{TI} = ((3.141592 * (D/100)^2 * 0.25) * L)$ .

→  $((3.141592 * (80/100)^2 * 0.25) * 806) =$

→  $((3.141592 * 0,64 * 0.25) * 806) \sim \mathbf{405 \text{ m}^3}$

Passo 15. Determinazione del volume specifico di invaso.

Calcolo di  $V_S = V_{TI} / (B_S / 10000)$ .

→  $405 / (10000 / 10000) = \mathbf{405 \text{ m}^3/ha}$

Passo 16. Calcolo parametro della bocca tassata ovvero diametro del foro circolare entro il pozzettone di laminazione.

Calcolo di  $D_1 = (((4 * (Q_U/1000)) / (3.141592 * 0.61 * ((2 * 9.801 * (D/100))^{0.5})))^{0.5}) * 1000$ .

→  $((4 * (24,89/1000)) / (3.141592 * 0.61 * ((2 * 9.801 * (80/100))^{0.5})))^{0.5} * 1000 =$

→  $((4 * 0,02477) / (3.141592 * 0.61 * (15,6816^{0.5})))^{0.5} * 1000 =$

→  $((0,09956) / (3.141592 * 0.61 * 3,960))^{0.5} * 1000 =$

→  $((0,09956/7,58883)^{0.5}) * 1000 =$

→  $(0,114539) * 1000 = \mathbf{114,5 \text{ mm}}$ .

Passo 17. Viene determinato il diametro effettivo del foro di laminazione. Per tener conto del rischio intasamento si prevede in prima approssimazione che il foro nello stramazzo del pozzettone di laminazione non possa mai avere un diametro inferiore a 4 cm.

Calcolo di  $D_2 = D_1$ ; IF  $D_2 < 40$  THEN  $D_2 = 40$ .

→  $D_2 = D_1 = \mathbf{114,5 \text{ mm}}$ ; IF  $D_2 < 40$  THEN  $D_2 = 40$  non necessaria.

Passo 18. Volume di pioggia caduta nel sottobacino **A**.

Calcolo di  $V_{TP} = ((A * (T_{EST}/60)^{(4 * N)/3}) * \Phi_{BS1}) / 1000 * B_S$ .

→  $((59,97 * (180/60)^{(4 * 0,23)/3}) / 1000) * 10000 =$

→  $((77,2097) / 1000) * 10000 \sim \mathbf{772 \text{ m}^3}$ .

Passo 19. Stima del volume di pioggia trattenuto nel sottobacino **A** nella situazione attuale.

Calcolo di  $V_{P1} = V_{TP} - (((A * (T_{EST}/60)^{(4 * N)/3}) * \Phi_{BS1}) / 1000 * B_S)$ .

→  $772 - (((59,97 * (180/60)^{(4 * 0,23)/3}) * 0,32) / 1000) * 10000 =$

→  $772 - (((59,97 * (3)^{(0,307) * 0,32}) / 1000) * 10000) =$

→  $772 - (((26,8881) / 1000) * 10000) \sim \mathbf{503 \text{ m}^3}$ .

Passo 20. Stima del volume di pioggia trattenuto nel sottobacino **A** nella situazione futura.

Calcolo di  $V_{P2} = V_{TP} - (((A * (T_{EST}/60)^{(4 * N)/3}) * \Phi_{BS2}) / 1000 * B_S)$ .

→  $772 - (((59,97 * (180/60)^{(4 * 0,23)/3}) * 0,67) / 1000) * 10000 =$

$$\rightarrow 772 - (((59,97 \cdot (3)^{(0,308) \cdot 0,67}) / 1000) \cdot 10000) =$$

$$\rightarrow 772 - (((56,3588 / 1000) \cdot 10000) \sim 208 \text{ m}^3.$$

Passo 21. Stima del deficit di volume di invaso fra la situazione futura e la situazione attuale.

Calcolo di  $D_{DV} = V_{P2} - V_{P1}$ .

$$\rightarrow 208 - 503 = -295 \text{ m}^3.$$

Nel rispetto delle ipotesi preliminari per l'area di superficie  $10.000 \text{ m}^2$  (sottobacino **A**, vedi figura **13**), passando da un coefficiente di deflusso orario 0,32 al valore 0,67, si arriva alla stabilizzazione idraulica deduttiva mantenendo inalterato il livello di rischio idraulico per la sezione valliva **B** attraverso un invaso realizzato con  $806 \text{ m}$  di condotta diametro  $80 \text{ cm}$  e gestendo lo sbocco con una bocca tassata realizzata attraverso un foro di diametro  $114,5 \text{ mm}$  con tirante massimo in corrispondenza della portata di laminazione pari a  $80 \text{ cm}$ ; tra la situazione precedente e la situazione modificata la portata massima a parità di tempo di ritorno e durata della precipitazione è sempre di  $24,89 \text{ l/s}$ . Il deficit di volume di pioggia netta gestito dall'invaso di  $405 \text{ m}^3$  ammonta a  $-295 \text{ m}^3$ . L'invaso risulta maggiore del deficit di pioggia a causa del tipo di bocca tassata utilizzata (foro su paramento verticale). Adottando una strozzatura idraulica in grado di garantire l'invarianza della portata massima in uscita rispetto al livello idrometrico si ottiene una riduzione dell'invaso necessario. Rifacciamo i conteggi ipotizzando l'invarianza fra carico idraulico e portata  $Q_U$  entro il pozzetto di laminazione:

$q_{MAX1} \sim 24,89 \text{ l/s}$ ;  $q_{MAX2} \sim 154,22 \text{ l/s}$ ;  $Q_U = q_{MAX1} = 24,89 \text{ l/s}$ . Stima della durata della pioggia critica con il grafico di figura **03**:  $Q_U/Q_C = Q_U/q_{MAX2} = 24,84/154,22 = 0,16$ . Per  $N = (4 \cdot 0,231/3) = 0,31$  e  $Q_U/Q_C = 0,16$  abbiamo  $T_{CRIT}/T_C = 2,9$ ; quindi  $T_{CRIT} = 2,9 \times 35 \sim 102 \text{ min}$ . Stima del volume critico con il grafico di figura **05**:  $T_{CRIT}/T_C = 2,9$ . Per  $N = (4 \cdot 0,231/3) = 0,31$  abbiamo  $V_{CRIT}/(Q_C T_C) = 0,84$ ; quindi  $V_{CRIT} = 0,84 \times (154,22/1000) \cdot 35 \cdot 60 \sim 272 \text{ m}^3$ . Calcolo della lunghezza del collettore di laminazione, utilizzando per i volumi di detenzione tubazioni circolari interrate di diametro **D**:  $L = (V_{CRIT} / ((3.141592 D^2 / 4))) = (272 / (3.141592 \cdot 0,8^2 / 4)) \sim 541 \text{ m}$ . Calcolo del volume di invaso totale, in prima approssimazione corrispondente al volume offerto dai tubi circolari di laminazione:  $V_{TI} = ((3.141592 \cdot (D/100)^2 \cdot 0,25) \cdot L) = ((3.141592 \cdot (80/100)^2 \cdot 0,25) \cdot 541) \sim 272 \text{ m}^3$ . Determinazione del volume specifico di invaso:  $V_S = ((3.141592 \cdot (D/100)^2 \cdot 0,25) \cdot L) / (B_S / 10000) = ((3.141592 \cdot (80/100)^2 \cdot 0,25) \cdot 541) / (10000 / 10000) = 272 \text{ m}^3/\text{ha}$ .

Nel caso di portata di laminazione costante il deficit di volume di pioggia netta viene gestito da un volume d'invaso di  $272 \text{ m}^3$  ed ammonta a circa  $-294 \text{ m}^3$ . Tra la situazione con portata di laminazione variabile linearmente e quella a portata costante c'è una riduzione del volume d'invaso necessario di circa il 33%.

### M.3) STABILIZZAZIONE IDRAULICA INDUTTIVA

Alcune caratteristiche del bacino chiuso in **B** (vedi figura **01**) possono portare ad un diverso approccio idraulico. Potrebbe risultare troppo oneroso, per risolvere i problemi di esondazione in **C**, intervenire con opere idrauliche fra **D** e **C** e fra **C** e **B**: ad esempio la conformazione assunta dal territorio antropizzato potrebbe presentare caratteristiche tali: 1) da non permettere di ricavare con oneri sopportabili volumi con cui laminare le piene e ridurre il rischio idraulico in **C** e 2) da non rendere fattibile la ricalibratura della rete idrografica fra **D** e **B**. D'altro canto in determinare situazioni può prevalere una strategia di intervento che predilige il controllo alla fonte (al contrario del controllo terminale); le opportunità più economiche e più semplici di gestione dell'acqua di pioggia potrebbero collocarsi infatti alla sorgente del deflusso, cioè dove il deflusso si forma. Ad esempio l'area chiusa in **D** potrebbe essere già completamente impermeabilizzata e non è detto che non sia conveniente, senza oneri economici elevati, operare con tecniche di mitigazione idraulica in **D** al fine di ridurre le portate alla sezione di chiusura **B** (il discorso è ovviamente indipendente dal fatto che in **D** venga previsto o meno alcun intervento di impermeabilizzazione del suolo).

Similmente ai casi precedenti ipotizziamo che per il bacino chiuso in **B** (vedi figura **01**) valgano le ipotesi di **linearità** e **stazionarietà** e sia applicabile il modello cinematico lineare e stazionario. La portata massima si verifica quindi in corrispondenza ad una durata della precipitazione uguale al tempo di corrivazione e per durate maggiori rimane su valori massimi per un tempo pari alla differenza fra il tempo di pioggia e il tempo di corrivazione. Ipotizziamo inoltre che per il bacino chiuso in **B** si abbia: a) una curva area-tempi lineare, b) la pioggia netta di intensità costante e infine c) per l'area **D** valga  $A(t_D) = A_T(t_{DC} + t_{CB}) / (t_{AC} + t_{CB})$ . Con tali ipotesi (vedi figura **14**) la curva di piena del bacino chiuso alla sezione **B** è definita dal triangolo **A**→**B**→**C** con portata massima  $Q_{MAX}$  in corrispondenza al tempo  $T_B$  (tempo di corrivazione del bacino chiuso in **B**, essendo  $T_B = t_{AC} + t_{CB}$ ). La curva di piena del sottobacino **D**, se la pioggia netta fosse costante su tutto il bacino, sarebbe definita dal trapezio **D**→**E**→**F**→**G** a partire dal punto **D** (con ascissa  $T_0$  essendo  $T_0 = t_{DC} + t_{CB}$ ) a cui corrisponderebbe una portata massima  $q_{MAX}$  per la pioggia di durata  $T_B$ . Sarebbe inoltre

$T_B = T_0 + T_1 + T_3$ , essendo  $T_1$  il tempo di corrivazione del sottobacino **D**, e dovrebbe risultare  $(Q_{MAX}/T_1) = (Q_{MAX}/T_B)$ . In realtà il coefficiente di deflusso orario del sottobacino **D** non sempre è uguale al coefficiente di deflusso orario dell'intero bacino chiuso in **B** e ciò impedisce che la pioggia netta si possa considerare costante sull'intero bacino; pur tuttavia possiamo ritenere ancora valido quanto espresso qualora si abbia l'accortezza di aggiungere al valore  $B_T$  (che indica l'area del bacino chiuso in **B**) il valore  $B_S(\Phi_{BS1}/\Phi_{BT1}-1)$  essendo  $\Phi_{BS1}$  il coefficiente di deflusso orario del sottobacino **D**,  $\Phi_{BT1}$  il coefficiente di deflusso orario dell'intero bacino chiuso alla sezione **B** e  $B_S$  l'area del sottobacino **D** (vedi figura 01).

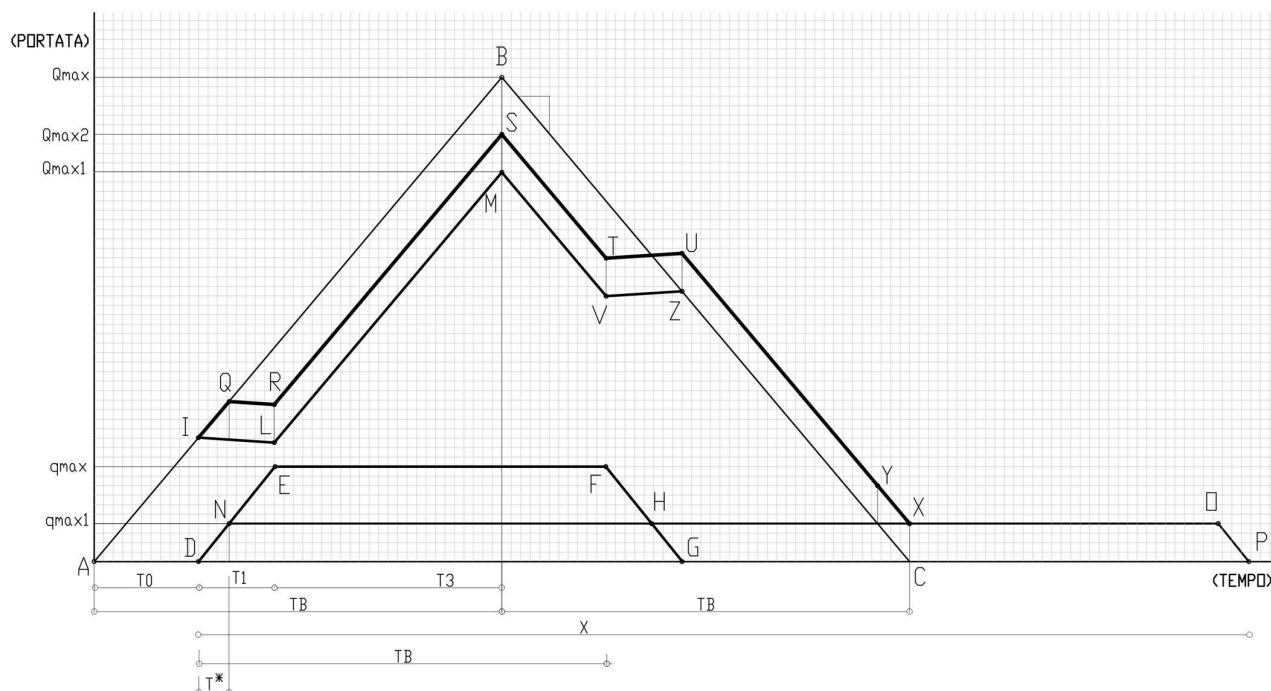


Figura 14: **Mitigazione idraulica induttiva**

Se vale l'ipotesi di pioggia netta costante e se deroghiamo dalla presenza del sottobacino **D**, alla chiusura **B** del bacino totale dovremmo avere una curva di piena rappresentata dalla spezzata **A→I→L→M→V→Z→C**; la spezzata fornisce una portata di punta  $Q_{MAX1}$  pari a  $Q_{MAX}((T_B - T_1)/T_B)^{10}$ . Cerchiamo ora di quantificare la riduzione alla portata massima  $Q_{MAX}$  ottenibile intervenendo nel sottobacino **D** con tecniche di **detenzione** idraulica. Prevediamo quindi in **D** una stabilizzazione idraulica per detenzione con portata di laminazione pari a  $q_{MAX1}$ ; in tal caso la precipitazione efficace di durata  $T_B$  è momentaneamente stoccata entro volumi di detenzione e la portata in uscita dal sottobacino **D**, nell'ipotesi che la portata di laminazione risulti costante durante tutto l'evento di piena, ha l'andamento definito dal trapezio **D→N→O→P**, essendo l'area del trapezio **D→E→F→G→D** uguale all'area del trapezio **D→N→O→P→D**. L'andamento della piena alla sezione **B** (vedi figura 01) è data dalla spezzata **A→Q→R→S→T→U→X→O→P** (vedi figura 14); in tal modo il massimo contributo da sommare al valore di portata  $Q_{MAX1}$  è pari a  $q_{MAX1}$ . Indichiamo ora con **P** l'aliquota decimale di riduzione della portata massima  $q_{MAX}$  che si vuol richiedere alla stabilizzazione idraulica; essendo  $Q_{MAX} - Q_{MAX1} = Q_{MAX}(T_1/T_B)$  la portata massima  $q_{MAX1}$  si può ricavare dalla relazione  $q_{MAX1} = ((1 - P) \cdot Q_{MAX} \cdot T_1)/T_B$ . Imponendo l'uguaglianza delle aree racchiuse dai trapezi **D→E→F→G** e **D→N→O→P** possiamo inoltre ottenere una stima della durata **X** della piena laminata:  $X = (T_B/(1 - P)) + T_1 \cdot (1 - P)$ . Come nel caso della stabilizzazione idraulica deduttiva anche nel caso della stabilizzazione idraulica induttiva possiamo riportarci alle modalità di calcolo idraulico della stabilizzazione idraulica base, una volta definita l'aliquota di riduzione del contributo di portata massima del sottobacino **D** attraverso il valore **P**; occorre avere l'avvertenza di determinare  $Q_{M2}$  per un tempo di pioggia pari a  $T_1$  (tempo di corrivazione del sottobacino **D**) e di stimare  $Q_{M1}$  partendo dalla portata massima dell'intero bacino (calcolata sulla precipitazione di durata

<sup>10</sup> E' chiaro che la massima riduzione di portata che possiamo acquisire lavorando entro il sottobacino **D** è ottenibile esclusivamente con tecniche di mitigazione idraulica per **ritenzione** (valore massimo teorico  $Q_{MAX} - Q_{MAX1}$ ).

pari al corrispondente tempo di corrivazione) corretta attraverso il fattore **P**. Come già accennato in precedenza nelle elaborazioni bisogna tenere altresì conto che l'intensità di pioggia netta in rapporto alle due superfici prese in considerazione (sottobacino **D** e bacino principale chiuso in **B**) deve essere uguale; a tal fine l'area chiusa in **B** (pari a **B<sub>T</sub>**) dovrà essere corretta aggiungendo il valore **B<sub>S</sub>( $\Phi_{BS1}/\Phi_{BT1}-1$ )**.

Con riferimento alla figura **13** presentiamo ora un esempio di stabilizzazione idraulica induttiva con volumi di detenzione realizzati con condotte circolari interrato: nel caso specifico il sottobacino **A** sarà oggetto di intervento di mitigazione idraulica per ridurre l'impatto sulle aree a rischio idraulico collocate presso la sezione **B**. Nel caso specifico non avremo una modificazione dell'uso del suolo (quindi  $\Phi_{BS1}=\Phi_{BS2}$  e  $\Phi_{BT1}=\Phi_{BT2}$ ) ma verranno esclusivamente dimensionati i volumi di detenzione da collocare nel sottobacino **A** per mitigarne l'effetto idrologico sulla sezione **B**. Come nell'esempio del paragrafo precedente ipotizziamo che il regime di flusso sia stimabile attraverso un modello lineare stazionario con curva area-tempi lineare e precipitazione efficace di intensità e durata costante (modello della corrivazione); ipotizziamo inoltre che l'area del sottobacino **A** chiusa alla sezione **A** corrisponda sostanzialmente alla parte di superficie del bacino **B** ricompresa fra due isocrone della corrispondente curva area-tempi. Usiamo la seguente simbologia e valori: **T<sub>R</sub>** = tempo di ritorno (*anni*) = 50; **A<sub>INT</sub>** = coefficiente **a** della curva di possibilità pluviometrica **H=at<sup>n</sup>** (*mm/ore<sup>n</sup>*) = 60 (valore valido per precipitazioni minori o uguali all'ora); **N<sub>INT</sub>** = coefficiente **n** della curva di possibilità pluviometrica **H=at<sup>n</sup>** (-) = 0,30 (valore valevole per precipitazioni minori o uguali all'ora); **A<sub>ORA</sub>** = coefficiente **a** della curva di possibilità pluviometrica **H=at<sup>n</sup>** (*mm/ore<sup>n</sup>*) = 60 (valore valido per precipitazioni maggiori all'ora); **N<sub>ORA</sub>** = coefficiente **n** della curva di possibilità pluviometrica **H=at<sup>n</sup>** (-) = 0,23 (valore valido per precipitazioni di durata superiore all'ora); **T<sub>EST</sub>** = durata della precipitazione pari al tempo di corrivazione esterno (*minuti*) = 180 (corrispondente quindi al tempo di corrivazione **T<sub>B</sub>** del bacino **B**); **T<sub>1</sub>** = **T<sub>INT</sub>** = tempo di corrivazione del sottobacino **A** chiuso in **A** (*minuti*) = 35;  $\Phi_{BS1} = \Phi_{BS2}$  = coefficiente di deflusso orario del sottobacino **A** (-) = 0,67;  $\Phi_{BT1} = \Phi_{BT2}$  = coefficiente di deflusso orario del bacino **B** (-) = 0,47; **B<sub>T</sub>** = superficie bacino **B** (*m<sup>2</sup>*) = 70.000 che ai nostri fini diventerà 74.255 tenendo conto che al valore **B<sub>T</sub>** occorre aggiungere **B<sub>S</sub>( $\Phi_{BS1}/\Phi_{BT1}-1$ )**; **B<sub>S</sub>** = superficie sottobacino **A** (*m<sup>2</sup>*) = 10.000; **D** = diametro dei tubi circolari di laminazione (*cm*) = 80; **q<sub>MAX</sub>** = portata massima sottobacino **A** (*l/s*) con pioggia di durata **T<sub>EST</sub>**; **Q<sub>U</sub>** = portata di laminazione (*l/s*); **q<sub>MAX2</sub>** = portata massima sottobacino **A** (*l/s*) con pioggia di durata **T<sub>INT</sub>**; **L** = lunghezza del collettore di laminazione da predisporre nel sottobacino **A** (*m*); **V<sub>TI</sub>** = volume d'invaso totale nel sottobacino **A** (*m<sup>3</sup>*); **V<sub>S</sub>** = volume d'invaso specifico nel sottobacino **A** (*m<sup>3</sup>/ha*); **P** = aliquota decimale di riduzione del contributo di portata fornito dal sottobacino **A** alla sezione **B** imposta per dimensionare i volumi di laminazione (-) = 45%; **D<sub>1</sub>** = diametro del foro circolare di laminazione (*mm*); **D<sub>2</sub>** = diametro del foro circolare di laminazione adottato (*mm*).

**Passo 01. Scelta parametro **a** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.**

Scelta valore **a** di **H=at<sup>n</sup>** per stima **Q<sub>MAX</sub>**.

**T<sub>EST</sub> > 60 min** quindi **a=A<sub>ORA</sub>**

**T<sub>EST</sub> ≤ 60 min** quindi **a=A<sub>INT</sub>**

→ Si utilizza **A<sub>ORA</sub>**.

**Passo 02. Scelta parametro **n** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.**

Scelta valore **n** di **H=at<sup>n</sup>** per stima **Q<sub>MAX</sub>**.

**T<sub>EST</sub> > 60 min** quindi **n=N<sub>ORA</sub>**

**T<sub>EST</sub> ≤ 60 min** quindi **n=N<sub>INT</sub>**

Si utilizza **N<sub>ORA</sub>**.

**Passo 03. Ragguaglio secondo Puppini per tener conto che all'aumentare dell'area del bacino la piovosità media si riduce rispetto ai corrispondenti valori puntuali (in genere ha senso operare il ragguaglio per superfici superiori a 10.000 *m<sup>2</sup>*).**

Ragguaglio con Puppini coefficienti scelti **a** ed **n** di **H=at<sup>n</sup>**.

**a'** =  $a(1-0,052((B_T/10000)/100)+0,002((B_T/10000)/100)^2)$

**n'** =  $n+0,0175((B_T/10000)/100)$

**A<sub>ORA</sub>** =  $60*(1-0,052*((74255/10000)/100)+0,002*((74255/10000)/100)^2)=$

→  $60*(1-0,052*(0,074255)+0,002*(0,074255)^2)=$

→  $60*(1-0,003861+0,002*(0,074255)^2)=$  **59,77** (*mm/ore<sup>n</sup>*).

**N<sub>ORA</sub>** =  $0,23+0,0175((74255/10000)/100)=$

→  $0,23+0,0175*(0,074255)=$  **0,231**.

Passo 04. Calcolo della portata massima alla sezione di chiusura del bacino **B** con durata della precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino **B** e situazione corrente circa l'uso del suolo.

Calcolo di  $Q_{MAX} = (((A_{ORA} * ((T_{EST}/60)^{(4 * N_{ORA}/3 - 1)})) / 1000)) / 3600 * B_T * \Phi_{BT1} * 1000$

→  $((59,77 * ((180/60)^{(4 * 0,231/3 - 1)})) / 1000) / 3600 * 74255 * 0,47 * 1000 =$

→  $((59,77 * ((3)^{(0,308 - 1)})) / 1000) / 3600 * 34899850 =$

→  $((59,77 * ((3)^{(-0,692)})) / 1000) / 3600 * 34899850 =$

→  $((59,77 * (0,467) / 1000) / 3600) * 34899850 =$

→  $(0,027913 / 3600) * 34899850 = \mathbf{270,6 \text{ l/s}}$

Passo 06. Scelta parametro **a** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.

Scelta valore **a** di  $H = at^n$  per stima  $q_{MAX2}$ .

$T_{INT} > 60$  min quindi  $a = A_{ORA}$

$T_{INT} \leq 60$  min quindi  $a = A_{INT}$

→ Si utilizza  $A_{INT}$ .

Passo 07. Scelta parametro **n** della curva di possibilità pluviometrica in funzione della durata della pioggia.

Scelta valore **n** di  $H = at^n$  per stima  $q_{MAX2}$ .

$T_{INT} > 60$  min quindi  $n = N_{ORA}$

$T_{INT} \leq 60$  min quindi  $n = N_{INT}$

Si utilizza  $N_{INT}$ .

Passo 08. Ragguaglio secondo Puppini per tener conto che all'aumentare dell'area del bacino la piovosità media si riduce rispetto ai corrispondenti valori puntuali (in genere ha senso operare il ragguaglio per superfici superiori a  $100.000 \text{ m}^2$ ).

Ragguaglio con Puppini coefficienti scelti **a** ed **n** di  $H = at^n$ .

$a' = a(1 - 0,052((B_s/10000)/100) + 0,002((B_s/10000)/100)^2)$

$n' = n + 0,0175((B_s/10000)/100)$

$A_{INT} = 60 * (1 - 0,052 * ((10000/10000)/100) + 0,002 * ((10000/10000)/100)^2) =$

→  $60 * (1 - 0,052 * (0,01) + 0,002 * (0,01)^2) = \mathbf{59,97 \text{ (mm/ora)}}$ .

$N_{INT} = 0,3 + 0,0175 * ((10000/10000)/100) =$

→  $0,3 + 0,0175 * (0,01) \sim \mathbf{0,3}$ .

Passo 09. Calcolo della portata massima alla sezione di chiusura del sottobacino **A** con durata della precipitazione pari al tempo di corrivazione del bacino **A**.

Calcolo  $q_{MAX2} = [((A_{INT} * ((T_{INT}/60)^{(4 * N_{INT}/3 - 1)})) / 1000) * B_s * \Phi_{Bs1} * 1000] / [(T_{INT} + T_{INT}) * 60] * [1 + T_{INT}/T_{INT}]$ .

→  $[((59,97 * ((35/60)^{(4 * 0,3/3 - 1)})) / 1000) * 10000 * 0,67 * 1000] / [(35 + 35) * 60] * [1 + 35/35] =$

→  $[((59,97 * (0,5833^{0,4}) / 1000) * 6700000) / 4200] * 2 =$

→  $[0,048323 * 6700000] / 4200 * 2 \sim \mathbf{154,22 \text{ l/s}}$ .

Passo 10. Determinazione della portata di laminazione.

Determinazione di  $Q_u = q_{MAX1} = (1 - P) * Q_{MAX} * (T_1/T_B)$ .

$Q_u = q_{MAX1} = (1 - 45/100) * 270,6 * (35/180) = \mathbf{28,94 \text{ l/s}}$ .

Passo 11. Stima della durata della pioggia critica con il grafico di figura **04**.

$Q_u/Q_c = Q_u/q_{MAX2} = 28,94/154,22 = \mathbf{0,19}$ . Per  $N = (4 * 0,231/3) = \mathbf{0,31}$  e  $Q_u/Q_c = \mathbf{0,19}$  abbiamo  $T_{CRIT}/T_c = \mathbf{5,4}$ ; quindi

$T_{CRIT} = 5,4 * 35 = \mathbf{189 \text{ min}}$ .

Passo 12. Stima del volume critico con il grafico di figura **06**.

$T_{CRIT}/T_c = \mathbf{5,4}$ . Per  $N = (4 * 0,231/3) = \mathbf{0,31}$  abbiamo  $V_{CRIT}/(Q_c T_c) = \mathbf{1,08}$ ; quindi  $V_{CRIT} = 1,08 * (154,22/1000) * 35 * 60 \sim \mathbf{350 \text{ m}^3}$ .

Passo 13. Calcolo della lunghezza del collettore di laminazione, utilizzando per i volumi di detenzione tubazioni circolari interrate di diametro **D**.

Calcolo di  $L = (V_{CRIT} / ((3.141592 D^2 / 4)))$ .

→  $(350 / (3.141592 * 0,8^2 * 0,4)) \sim \mathbf{696 \text{ m}}$

Passo 14. Calcolo del volume di invaso totale, in prima approssimazione corrispondente al volume offerto dai collettori circolari di laminazione.

Calcolo di  $V_{TI} = ((3.141592 * (D/100)^2 * 0,25) * L)$ .

→  $((3.141592 * (80/100)^2 * 0,25) * 696) =$

→  $((3.141592 * 0,64 * 0,25) * 696) \sim \mathbf{350 \text{ m}^3}$

Passo 15. Determinazione del volume specifico di invaso.

Calcolo di  $V_s = V_{TI} / (B_s / 10000)$ .

→  $350 / (10000 / 10000) =$

→  $350 / (10000 / 10000) = \mathbf{350 \text{ m}^3/ha}$

Passo 16. Calcolo parametro della bocca tassata ovvero diametro del foro entro il pozzettone di laminazione.

Calcolo di  $D_1 = (((4 * (Q_U / 1000)) / (3.141592 * 0.61 * ((2 * 9.801 * (D / 100))^{0.5})))^{0.5}) * 1000$ .

→  $((4 * (28.94 / 1000)) / (3.141592 * 0.61 * ((2 * 9.801 * (80 / 100))^{0.5})))^{0.5} * 1000 =$

→  $((4 * 0.02894) / (3.141592 * 0.61 * (15.6816^{0.5})))^{0.5} * 1000 =$

→  $((0.11572 / (3.141592 * 0.61 * 3.960))^{0.5}) * 1000 =$

→  $((0.11572 / 7.58883)^{0.5}) * 1000 =$

→  $(0.123507) * 1000 \sim \mathbf{124 \text{ mm}}$ .

Passo 17. Viene determinato il diametro effettivo del foro di laminazione. Per tener conto del rischio intasamento si prevede in prima approssimazione che il foro nello stramazzo del pozzettone di laminazione non possa mai avere un diametro inferiore a 4 cm.

Calcolo di  $D_2 = D_1$  : IF  $D_2 < 40$  THEN  $D_2 = 40$ .

→  $D_2 = D_1 = \mathbf{124 \text{ mm}}$  : IF  $D_2 < 40$  THEN  $D_2 = 40$  non necessaria.

Passo 18. Volume di pioggia caduta nel sottobacino **A**.

Calcolo di  $V_{TP} = ((A * (T_{EST} / 60)^N) / 1000) * B_s$ .

→  $((59.97 * (180 / 60)^{0.231}) / 1000) * 10000 =$

→  $((77.0497) / 1000) * 10000 \sim \mathbf{773 \text{ m}^3}$ .

Passo 19. Stima del volume di pioggia trattenuto nel bacino.

Calcolo di  $V_{P1} = V_{TP} - (((A * (T_{EST} / 60)^N) / 1000) * \Phi_{BS1} / 1000) * B_s$ .

→  $773 - (((59.97 * (180 / 60)^{(4 * 0.231) / 3}) * 0.67) / 1000) * 10000 =$

→  $773 - (((59.97 * 3)^{(0.308) * 0.67} / 1000) * 10000) =$

→  $773 - (((56.3588 / 1000) * 10000) \sim \mathbf{210 \text{ m}^3}$ .

Passo 20. Ricalcolo diretto valore  $q_{MAX1}$  (controllo corrispondenza con calcolo passo 10).

Calcolo  $q_{MAX} = [((A_{ORA} * ((T_{EST} / 60)^{(4 * N_{ORA} / 3))} / 1000) * B_s * \Phi_{BS1} * 1000) / ((T_{EST} + T_{INT}) * 60)] * [1 + T_{INT} / T_{EST}]$ .

→  $[((59.97 * ((180 / 60)^{(4 * 0.231 / 3))} / 1000) * 10000 * 0.67 * 1000) / ((180 + 35) * 60)] * [1 + 35 / 180] =$

→  $[((59.97 * 3^{0.308}) / 1000) * 6700000] / [12900] * [1.194] =$

→  $[0.084132 * 36700000] / [12900] * [1.194] \sim \mathbf{52.17 \text{ l/s}}$ .

$q_{MAX1} = q_{MAX} * (1 - P) = 52.17 * (1 - 0.45) = 28.7 \text{ l/s}$ .

Nel rispetto delle ipotesi preliminari per l'area di superficie  $10.000 \text{ m}^2$  (sottobacino **A**), si arriva ad abbassare del 45% il contributo di portata del sottobacino **A** alla sezione **B** in corrispondenza alla pioggia che massimizza la portata alla medesima sezione attraverso un invaso realizzato con 696 m di condotta diametro 80 cm e gestendo lo sbocco con una bocca tassata realizzata attraverso un foro di diametro 124 mm con tirante massimo in corrispondenza della portata di laminazione pari a 80 cm.

# ALLEGATO N

## ANALISI STATISTICO PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI

L'elaborazione dei dati di pioggia si esegue ricercando la relazione fra altezza  $h_p$  delle precipitazioni e la loro durata  $t$  con funzioni generalmente del tipo  $h_p = at^n$ , dove  $a$  ed  $n$  sono opportune costanti. L'analisi viene fatta tenendo conto del cosiddetto tempo di ritorno ( $T_R$ ), cioè di quel periodo nel quale un determinato evento pluviometrico è mediamente uguagliato o superato. Per determinare le equazioni relative all'Area Metropolitana sono stati utilizzati i dati degli Annali Idrologici, pubblicati fino al 1995 dal Servizio Idrografico e Mareografico della Presidenza del Consiglio dei Ministri (ora A.P.A.T. - Venezia), con riferimento alla stazione di Padova. Dopo il 1995 la base di dati viene integrata con i dati regionali ARPAV (Orto Botanico).

PADOVA	PIANURA FRA BRENTA E ADIGE	0° 33' Ovest	45° 24'	12	Pr				
Anno dati	t = 15 min	t = 30 min	t = 45 min	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore	
1925	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	42,7	
1926	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	41,8	
1927	13,1	>>	>>	>>	>>	>>	>>	58	
1931	17,4	>>	>>	>>	>>	>>	>>	>>	
1933	>>	32,6	>>	>>	>>	>>	>>	>>	
1936	>>	>>	>>	10	20	22	33,4	43,4	
1937	>>	>>	>>	25,3	40,8	49,8	70,4	74,4	
1938	>>	>>	>>	59	66	67	67	67	
1939	19	>>	>>	23	23	28,6	39,6	41	
1940	>>	>>	>>	37	38	39,8	39,8	39,8	
1941	>>	>>	>>	23,2	68	90	101	104	
1942	>>	>>	>>	15,8	17,8	19,4	20,2	20,2	
1943	9	>>	>>	12	22	24,4	25,6	29	
1944	>>	6,5	[9]	11,7	29,5	47	75	94,1	
1946	>>	22,4	[25]	28	31,2	31,2	43,8	61,2	
1947	>>	30	[28]	44	66,4	82	120	134,8	
1948	>>	25	[26]	28	30	36	52,8	87	
1949	>>	28,4	[29]	29,6	29,6	39,2	39,2	50,2	
1950	>>	23,6	[24]	24,4	24,6	38	44	57	
1951	>>	19,6	[20]	21,6	41,2	47,8	47,8	54,4	
1952	>>	22	[23]	23,8	31,6	49	60	73,6	
1953	>>	>>	>>	23,8	43,2	50,2	54,4	60,6	
1954	>>	>>	>>	27	29,2	29,6	36,8	37,4	
1955	>>	32,4	[42]	54	68,6	71,2	71,2	71,2	
1956	>>	>>	>>	19,8	27	29,2	39,6	68,6	
1957	>>	22,6	30,4	31,4	39,6	39,8	42,2	57,2	
1958	>>	35	[46]	56	71,8	75	79,6	82,8	
1959	14,2	[16]	[19]	23	32,2	36,4	37,4	50,2	
1960	18	[20]	[22]	25,6	31	36,2	50,4	52,6	
1961	>>	>>	>>	24,6	28,4	36,6	38,6	53,8	
1962	7,8	11,4	11,5	12	21,8	29,2	37,8	55,4	
1963	>>	>>	>>	38,4	40,2	41,4	44,8	48,6	
1964	24,5	[25]	[26]	26,4	27,6	41,2	42,4	42,4	
1965	20,4	[23]	[25]	27	35	42,2	48,4	52	
1966	10,6	16,2	[19]	22,8	36,5	46,4	60	81,5	
1967	19	21	29,6	35,9	87	112,6	116,2	116,2	
1968	19,6	23,4	26,4	30,4	48,8	73,8	77	77,6	
1969	20,6	30,8	36	46,8	73,4	75,6	76,4	87	
1970	28,6	31,6	32	32,8	38,8	39	39,2	39,2	
1971	22	27,6	30,8	35	38	38	38	49	
1972	10	15,8	22,4	29	43,6	47,6	48,8	48,8	
1973	14,2	15,4	15,8	16,6	24	30	40,8	54,8	
1985	10,4	12,8	21,2	21,2	21,2	28	45	70	
1986	20	26,2	30,2	36,2	40,4	44,5	59,8	87,5	
1987	16	30	34	37	50	70	86	96,6	
1989	13	23	40	41,4	43	62,4	76	97	
1990	27,4	35,6	35,8	36,2	36,4	38	65	68,6	
1994	25	40	55	62	77	80,6	80,6	88,8	
1995 (*)	>>	>>	>>	31,6	39,2	40,6	43,8	76	
1996 (*)	5,3	10,7	16,1	21,4	34,6	43,4	69,4	81,6	
1997 (*)	5,5	11,0	16,5	22,0	33,8	33,8	33,8	41,2	
1998 (*)	5,0	10,0	15,0	20,0	36,6	48,8	55,2	65,0	
1999 (*)	4,3	8,5	12,8	17	22,6	25,4	34,6	50,8	
2000 (*)	5,4	10,9	16,4	21,8	39,0	39,0	39,0	48,4	
2001 (*)	24,0	29,4	32,3	33,2	43,6	48,8	60,4	70,0	
2002 (*)	19,8	24,8	38,8	40,4	49,8	50,2	62,0	62,6	
2003 (*)	13,4	15,4	15,4	15,8	24,2	27,8	40,4	59,6	
2004 (*)	24,2	30,0	30,6	31,0	44,8	49,8	53,6	73,6	
2005 (*)	26,4	32,8	48,8	56,8	70,2	70,2	88,8	107,0	
2006 (*)	20,4	37,5	44,0	45,8	57,4	90,2	107,8	116,8	
2007 (*)	20,4	28,2	32,8	35,0	35,8	42,0	58,6	58,6	

(\*) = dati ARPAV (Orto Botanico - Padova)

E' noto come la partecipazione di un bacino alla formazione del deflusso é in relazione alla durata dell'evento pluviometrico; in genere si può assumere che per una precipitazione estesa a tutto il bacino porti alla portata

massima quando alla sezione di chiusura giungano insieme i contributi di tutte le parti che formano l'area scolante; questo intervallo è definito tempo di corrivazione. Nel presente studio, esteso ad una realtà territoriale comunale, si ritiene sufficiente considerare durate di precipitazione dell'ordine dei possibili tempi di corrivazione (da qualche decina di minuti a 24 ore). I dati disponibili comprendono con relativa continuità gli anni dal 1925 al 2007.

Scopo dell'analisi statistico-probabilistica è quello di far corrispondere ad ogni valore di una variabile la probabilità che si verifichi un evento maggiore o uguale a quel valore, ossia di individuare per ogni evento il suo tempo di ritorno  $T_R$ , definito come il numero di anni nel quale un determinato evento è mediamente uguagliato o superato. L'analisi probabilistica è necessaria in quanto, mentre per i dati rilevati in passato si può definire la frequenza (numero di volte in cui un evento si è presentato in una serie di manifestazioni), per i dati futuri occorre introdurre il concetto di probabilità, ovvero il rapporto tra il numero di casi favorevoli al verificarsi di un certo evento ed il numero dei casi ugualmente possibili. In generale non è lecito identificare frequenza con probabilità. Se anche ciò fosse possibile non sarebbero comunque note le frequenze relative a periodi più lunghi di quello esaminato; per questo è necessario estendere artificialmente il campo delle osservazioni individuando una distribuzione di probabilità che si adatti alla serie di osservazioni note. L'analisi probabilistica consente di valutare eventi con  $T_R$  superiore al numero di anni definito dalla consistenza del campione di dati, con una attendibilità che si riduce però all'aumentare dello stesso  $T_R$ . Nella elaborazione probabilistica i dati di precipitazione si considerano variabili casuali, governate cioè dalla legge del caso e si suppone che la serie dei valori osservati nel passato costituisca un campione estratto dalla popolazione di tale variabile casuale. Si definisce funzione densità di probabilità  $p(x)$  quella funzione che moltiplicata per l'ampiezza infinitesima  $dx$ , rappresenta la probabilità che si verifichi un valore nell'intervallo  $[x, x+dx]$ . Tale funzione è legata alla funzione di probabilità  $P(x \leq X)$ , denominata anche probabilità cumulata di non superamento, secondo la relazione

$$P(x \leq X) = \int_{-\infty}^x p(x) dx \quad (\int = \text{integrale da } -\infty \text{ a } X) .$$

Poiché la probabilità che la variabile  $x$  assuma un qualsiasi valore compreso tra  $-\infty$  e  $+\infty$  è uguale a 1 (evento certo) avremo che  $\int_{-\infty}^{+\infty} p(x) dx = 1$  ( $\int$ =integrale da  $-\infty$  a  $+\infty$ ). Per essere  $P(x \leq X)$  la probabilità cumulata di non superamento e  $P(x > X)$  la probabilità cumulata di superamento, si può scrivere

$$P(x \leq X) = 1 - P(x > X) = 1 - (1/T_R) = (T_R - 1)/T_R$$

in quanto  $T_R$  è definito come il numero di anni per cui un determinato evento è eguagliato o superato (ovvero  $T_R = 1/P(x > X)$ ). Nel nostro caso il campione è costituito dai massimi valori annuali di precipitazione effettiva di varia durata; tale campione può essere assimilato ad un sotto campione particolare di tutti i possibili valori verificatisi nel periodo di osservazione. Tale particolare sotto campione degli eventi viene studiato soprattutto per la ricerca degli eventuali rischi di progetto da assumere; sono state quindi proposte delle distribuzioni di probabilità tipiche per i massimi valori. Tali distribuzioni, che derivano dallo studio del comportamento della distribuzione di probabilità  $P(x)$  per valori molto grandi della variabile  $x$ , sono la forma asintotica cui tende  $P(x)$  al crescere di  $x$  stessa. Una distribuzione di probabilità molto utilizzata è la distribuzione generalizzata dei valori estremi (Generalized Extreme Value, conosciuta con la sigla GEV). La GEV è stata sviluppata da Jenkinson e costituisce una generalizzazione delle distribuzioni proposte nel 1929 da Fisher-Tippett. La GEV presenta le seguenti espressioni:

$$P(x \leq X) = e^{-\left(1 + k((X-u)/\alpha)\right)^{1/k}} \quad \text{se } k \neq 0,$$

$$P(x \leq X) = e^{-e^{-((X-u)/\alpha)}} \quad \text{se } k = 0.$$

Se il parametro  $k$  assume il valore 0 la GEV coincide con la nota distribuzione doppio esponenziale di Gumbel; per  $k > 0$  la GEV coincide con la distribuzione di Weibull ( $x$  risulta limitata superiormente al valore  $X_{MAX} = u + \alpha/k$ ), infine per  $k < 0$  coincide con la distribuzione di Fréchet ( $x$  è limitata inferiormente dal valore  $X_{MIN} = u + \alpha/k$ ). I 3 parametri della GEV sono conosciuti col nome di parametro di forma  $k$ , parametro di scala  $\alpha$  e parametro di posizione  $u$ . Se  $k \neq 0$  il quantile vale

$$x(P) = u + (\alpha/k) [1 - (-\ln P)^k];$$

se  $k = 0$  ritroviamo il valore inverso di  $P(x)$  della distribuzione di Gumbel, ovvero

$$\mathbf{x}(\mathbf{P})=\mathbf{u}-\alpha\ln(-\ln\mathbf{P})).$$

Nel presente studio è stata utilizzata la distribuzione doppio esponenziale di Gumbel. Per trovare i parametri della Gumbel si possono utilizzare stime desunte direttamente dal campione; l'efficacia o meno della valutazione di tali stime si può verificare controllando la distribuzione intorno al valore reale del parametro dei valori ottenuti (stime) per un notevole numero di campioni. Tale procedimento è possibile con l'utilizzo di elaboratori che possono generare numerosissime serie di dati casuali (campioni) a partire da una certa distribuzione nota (metodo Montecarlo); si analizzano poi tali serie di dati utilizzando il metodo da controllare e si verifica che la stima dei parametri porti a distribuzioni vicine a quella da cui i campioni sono stati generati. Per determinare i parametri caratteristici della Gumbel si possono utilizzare vari metodi (citiamo, ad esempio, lo stesso metodo di Gumbel, quello della massima verosimiglianza, quello dei momenti pesati in probabilità); nel presente studio viene utilizzato l'adattamento secondo il metodo dei momenti pesati in probabilità (MPP). Il metodo MPP generalmente consente di ottenere stime affette da piccola distorsione e varianza; venne proposto nel 1979 da Greenwood ed altri. Il metodo MPP si basa sulla definizione di momento pesato in probabilità: se  $\mathbf{F}(\mathbf{x})=\mathbf{P}(\mathbf{x}\leq\mathbf{X})$  è la distribuzione di probabilità della variabile casuale  $\mathbf{x}$ , il generico momento pesato in probabilità è definito da

$$\mathbf{M}_{\mathbf{P},\mathbf{R},\mathbf{S}}=E[(\mathbf{x}(\mathbf{F}))^{\mathbf{P}}(\mathbf{F}(\mathbf{x}))^{\mathbf{R}}(1-\mathbf{F}(\mathbf{x}))^{\mathbf{S}}]$$

dove  $\mathbf{P}$ ,  $\mathbf{R}$  e  $\mathbf{S}$  sono numeri reali ed  $E[ \ ]$  indica l'evento atteso della variabile casuale  $\mathbf{x}$ . Sfruttando la definizione statistica dell'evento atteso abbiamo in definitiva

$$\mathbf{M}_{\mathbf{P},\mathbf{R},\mathbf{S}}=\int[(\mathbf{x}(\mathbf{F}))^{\mathbf{P}}\mathbf{F}^{\mathbf{R}}(1-\mathbf{F})^{\mathbf{S}}]d\mathbf{F} \ ,$$

(dove  $\int$  indica la funzione integrale da 0 a 1).

Per i momenti  $\mathbf{M}_{1,\mathbf{R},0}$  e  $\mathbf{M}_{1,0,\mathbf{S}}$  sono state proposte due stime desunte dal campione; una distorta, che risente cioè delle dimensioni del campione, e una indistorta, che dovrebbe tendere cioè al valore reale in modo asintotico. Per determinare  $\mathbf{k}$  (stima del parametro di forma) viene risolta l'equazione

$$(3\mathbf{M}_{1,2,0}-\mathbf{M}_{1,0,0})/(2\mathbf{M}_{1,1,0}-\mathbf{M}_{1,0,0})=(1-3^{-\mathbf{k}})/(1-2^{-\mathbf{k}})$$

per tentativi, essendo:

$$\mathbf{M}_{1,\mathbf{R},0}=(1/\mathbf{N})\Sigma[(\mathbf{i}-1)(\mathbf{i}-2)\dots(\mathbf{i}-\mathbf{R})]/((\mathbf{N}-1)(\mathbf{N}-2)\dots(\mathbf{N}-\mathbf{R}))]\mathbf{x}_i,$$

dove la sommatoria  $\Sigma$  da  $\mathbf{i}=1$  a  $\mathbf{i}=\mathbf{N}$  produce una stima indistorta del campione di dimensioni  $\mathbf{N}$ ; ovvero

$$\mathbf{M}_{1,\mathbf{R},0}=(1/\mathbf{N})\Sigma[\mathbf{P}^{\mathbf{R}}]_{\mathbf{i},\mathbf{N}}\mathbf{x}_i$$

dove la sommatoria  $\Sigma$  fra  $\mathbf{i}=1$  a  $\mathbf{i}=\mathbf{N}$  produce una stima distorta del campione di dimensioni  $\mathbf{N}$ . Per determinare  $\alpha$  (stima del parametro di scala) viene risolta l'equazione

$$\alpha=((2\mathbf{M}_{1,1,0}-\mathbf{M}_{1,0,0})\mathbf{k})/((\Gamma(1+\mathbf{k})(1-2^{-\mathbf{k}}))$$

essendo  $\Gamma$  la funzione gamma. Per determinare infine la stima  $\mathbf{u}$  del parametro di posizione viene usata l'equazione

$$\mathbf{u}=\mathbf{M}_{1,0,0}+(\alpha/\mathbf{k})*(\Gamma(1+\mathbf{k})-1).$$

La distribuzione di probabilità di Gumbel viene adattata al campione stesso attraverso la determinazione di parametri caratteristici; si è perciò assunta come vera l'ipotesi statistica che la variabile casuale, cioè il valore dei massimi annuali, sia distribuita secondo una assegnata funzione di probabilità. E' necessario dunque verificare l'accettabilità di tale ipotesi e di conseguenza valutare l'adattamento della GEV al campione. Tale verifica può essere effettuata con l'utilizzo di test statistici, cioè di procedimenti numerici che consentono di decidere, sulla base

delle osservazioni di cui si dispone, se accettare o meno una generica ipotesi statistica indicata con  $H_0$ . Nel caso in cui l'ipotesi statistica si basi sulla distribuzione di un determinato parametro il test è detto parametrico. Con l'utilizzo di test parametrici si introduce una variabile con distribuzione di probabilità nota e si verifica che il valore del parametro desunto dallo studio del campione sia inferiore ad un determinato valore critico che dipende dal livello di significatività prescelto. Il livello di significatività  $\xi$  indica la probabilità di rigettare l'ipotesi statistica  $H_0$  quando invece questa sia verificata (errore del primo tipo); si può così individuare anche una regione di accettazione alla quale corrisponde la probabilità  $(1-\xi)$ , cioè la probabilità che il parametro stimato cada all'interno della regione prefissata: in tal caso l'ipotesi statistica  $H_0$  viene accettata. Se invece si accetta l'ipotesi statistica  $H_0$  quando nella realtà risulta valida l'ipotesi statistica alternativa  $H_1$ , allora si compie un errore del secondo tipo e ad esso si associa una probabilità  $\beta$ . Usualmente in idrologia il valore corrente del livello di significatività  $\xi$  è 0,05: questo significa che la probabilità massima con cui si accetta di rischiare di compiere un errore del primo tipo, cioè di rigettare una ipotesi statistica quando invece è vera, è del 5%. La verifica dell'ipotesi che la variabile casuale segua effettivamente una funzione di probabilità assegnata viene qui effettuata con due test parametrici, quello del  $\chi^2$  (chi quadro) e quello di Kolmogorov-Smirnov. Secondo il test del "chi quadro" l'ipotesi che un campione abbia la distribuzione di probabilità prescelta viene verificata mediante il parametro  $\chi^2$ , definito dalla relazione

$$\chi^2 = (\sum (N_i - F_i)^2) / F_i$$

( $\Sigma$ =sommatoria estesa fra 1 e  $N_c$ , dove  $N_c$  indica il numero di classi in cui è suddiviso il campione,  $i$  indica classe generica,  $N_i$  il numero di osservazioni effettivamente ricadenti nella classe  $i$ -esima,  $F_i$  il numero teorico di osservazioni che dovrebbero ricadere in tale classe). Gli estremi delle classi sono determinati tramite la funzione inversa (quantile) nota la probabilità cumulata di non superamento dell'estremo stesso. Il valore del  $\chi^2$  ottenuto per i casi esaminati viene confrontato con un valore critico dipendente dal livello di significatività  $\xi$  prescelto e dal grado di libertà della distribuzione  $\nu$  a sua volta definito dalla relazione

$$\nu = N_c - N_p - 1.$$

Nei principali libri di statistica idrologica è possibile trovare i valori limite del  $\chi^2$  in funzione del livello di significatività e del grado di libertà. Il test di Kolmogorov-Smirnov è basato sull'esame dello spostamento fra la funzione di frequenza cumulata del campione  $F(x)$  e la funzione di probabilità  $P(x)$ . La funzione  $F(x)$  per un campione di dimensione  $N$  è definita dalla relazione

$$F(x) = i / (N + 1)$$

dove, in questo caso,  $i$  indica il numero delle osservazioni di valore inferiore o uguale a  $x$ , mentre  $P(x)$  viene determinata con

$$P(x \leq X) = e^{-(1+k((X-u)/\alpha))^{(1/k)}}$$

entrando con i dati del campione e utilizzando i parametri determinati dal processo di adattamento. La grandezza adottata come misura dello scostamento è la massima differenza  $\Delta N$  in valore assoluto tra le due funzioni  $F(x)$  e  $P(x)$ . I valori critici di  $\Delta N$  per l'accettabilità della distribuzione di probabilità con un prefissato livello di significatività  $\xi$  (nel nostro caso  $\xi=0,05$ ), sono riportati (ad esempio) nel testo citato in nota di Maione e Moisello, in funzione della dimensione del campione. Si è già detto come le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica (CSPP) indichino la variazione dell'altezza massima di precipitazione al variare della durata dell'evento di pioggia. Come anticipato in precedenza usiamo ora la nota espressione a due parametri

$$h_p = h_p(t) = at^n;$$

la determinazione dei coefficienti  $a$  ed  $n$  si effettua interpolando i punti calcolati con le rette interpolatrici della distribuzione Gumbel per determinati tempi di ritorno. Fissato  $T_R$  per il quale si vuole ricavare la curva di possibilità pluviometrica, è possibile risalire al valore della precipitazione  $h_p$  per ogni durata. I valori di ogni durata per assegnato tempo di ritorno si possono interpolare con il metodo dei minimi quadrati in un diagramma bilogaritmico, in quanto  $h_p = h_p(t) = at^n$ , passando ai logaritmi, diventa la retta

$$\ln h_p = \ln a + n \ln t.$$

Ponendo  $\alpha = \ln a$ ,  $x_i = \ln t_i$ ,  $\beta = n$ ,  $y_i = \ln h_i$ , si minimizza lo scarto quadratico medio

$$SQM = \sum (\alpha + \beta x_i - y_i)^2$$

( $\Sigma$ =sommatoria estesa al numero di durate) derivando rispetto ad  $\alpha$  e  $\beta$ . Si determina così un sistema di 2 equazioni in 2 incognite che presenta le soluzioni date dalle relazioni

$$\alpha = [(\sum x_i^2 \sum y_i) - (\sum x_i \sum x_i y_i)] / [N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2]$$

e

$$\beta = [N(\sum x_i y_i) - (\sum x_i \sum y_i)] / [N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2].$$

La valutazione della qualità della regressione viene fatta calcolando il coefficiente di correlazione  $C_c$  fra  $x_i$  e  $y_i$  con l'equazione

$$C_c = [(\sum \Delta x_i \Delta y_i)] / [(\sum \Delta x_i^2)^{1/2} (\sum \Delta y_i^2)^{1/2}]$$

essendo  $\Delta x_i = (x_i - \bar{x})$ ,  $\Delta y_i = (y_i - \bar{y})$ ,  $\bar{x}$  e  $\bar{y}$  i corrispondenti valori medi.  $C_c$  consente di verificare la correttezza della regressione, garantita con valori prossimi ad 1.

Lo studio della pluviometria viene eseguito solamente per il tempo di ritorno di 50 anni. Per i motivi evidenziati nella Relazione di Valutazione di Compatibilità Idraulica sono stati presi in considerazione "blocchi" di 3 durate: piogge di 0,25; 0,5; 0,75 ore, piogge di 0,5; 0,75; 1 ora; ... e così via fino alle piogge di 6, 12 e 24 ore (in tutto quindi abbiamo 6 "blocchi" di durate). Si è passati quindi a regolarizzare le precipitazioni secondo la Gumbel con adattamento MPP ottenendo i parametri della distribuzione con stima distorta e indistorta. I test statistici del  $\chi^2$  e di Kolmogorov-Smirnov si sono in genere conclusi positivamente per ogni durata e per ogni tipo di stima; quindi la Gumbel può rappresentare con attendibilità statistica i campioni di dati analizzati. Si è quindi passato a determinare, coi minimi quadrati, le CSPP per i tempi di ritorno prefissati e per i metodi di stima utilizzati. L'esame dei risultati delle elaborazioni e dei grafici probabilistici evidenzia che: a) in genere le elaborazioni statistiche sono confortate dal buon esito dei test parametrici; b) quando presenti gli intervalli di accettabilità per i valori di precipitazione (sia con stime distorte che con stime indistorte) ricomprendono i valori di precipitazione, almeno per i tempi di ritorno che ci interessano; c) il confronto fra valori teorici e dati sperimentali, per quanto riguarda i massimi dei campioni, mostrano distribuzioni relativamente gradualità; d) in genere i coefficienti di correlazione evidenziano livelli di regressione accettabili. Motivazioni legate alla grado di sicurezza ed attendibilità da dare allo studio in oggetto consigliano di scegliere, come CSPP rappresentative della piovosità di Padova per il tempo di ritorno di 50 anni e per fasce omogenee di durate, le seguenti funzioni tabellate:

$$\begin{aligned} 0 < t \leq 37 \text{ min} &\rightarrow 0 < t \leq 0,62 \text{ ore} \rightarrow h_p = 61,04 t^{0,418} \\ 37 < t \leq 50 \text{ min} &\rightarrow 0,62 < t \leq 0,84 \text{ ore} \rightarrow h_p = 61,79 t^{0,444} \\ 50 < t \leq 61 \text{ min} &\rightarrow 0,84 < t \leq 1,02 \text{ ore} \rightarrow h_p = 60,16 t^{0,286} \\ 61 < t \leq 271 \text{ min} &\rightarrow 1,02 < t \leq 4,52 \text{ ore} \rightarrow h_p = 61,99 t^{0,247} \\ 271 < t \leq 469 \text{ min} &\rightarrow 4,52 < t \leq 7,82 \text{ ore} \rightarrow h_p = 63,70 t^{0,229} \\ t > 469 \text{ min} &\rightarrow t > 7,82 \text{ ore} \rightarrow h_p = 66,65 t^{0,207} \end{aligned}$$

Con approssimazione accettabile per  $T_R = 50$  anni è possibile utilizzare la funzione  $h_p = (61 + 0,7t)t^{((1/3)(1/t^{0,23}))}$  essendo  $t$  in ore e  $h_p$  in mm. Di seguito vengono rappresentati i risultati principali delle elaborazioni per i sei gruppi di dati considerati.

## PARTE 1 - PIOGGE DI 15 minuti, 30 minuti, 45 minuti

Tabella 1

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo .25 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	4.30	1.02	0.9796	0.0204						
2	5.00	1.04	0.9592	0.0408						
3	5.00	1.07	0.9388	0.0612						
4	5.30	1.09	0.9184	0.0816						
5	5.40	1.11	0.8980	0.1020						
6	5.50	1.14	0.8776	0.1224						
7	7.80	1.17	0.8571	0.1429						
8	10.00	1.20	0.8367	0.1633						
9	10.00	1.23	0.8163	0.1837						
10	10.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	10.00	1.29	0.7755	0.2245						
12	10.40	1.32	0.7551	0.2449						
13	10.60	1.36	0.7347	0.2653						
14	12.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	13.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	13.40	1.48	0.6735	0.3265						
17	14.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	14.20	1.58	0.6327	0.3673						
19	15.00	1.63	0.6122	0.3878						
20	15.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	15.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	16.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	17.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	18.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	18.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	18.00	2.13	0.4694	0.5306						
27	18.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	18.00	2.33	0.4286	0.5714						
29	19.00	2.45	0.4082	0.5918						
30	19.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	19.80	2.72	0.3673	0.6327						
32	20.00	2.88	0.3469	0.6531						
33	20.00	3.06	0.3265	0.6735						
34	20.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	20.40	3.50	0.2857	0.7143						
36	20.40	3.77	0.2653	0.7347						
37	20.40	4.08	0.2449	0.7551						
38	20.50	4.45	0.2245	0.7755						
39	20.60	4.90	0.2041	0.7959						
40	22.00	5.44	0.1837	0.8163						
41	22.00	6.13	0.1633	0.8367						
42	24.00	7.00	0.1429	0.8571						
43	24.20	8.17	0.1224	0.8776						
44	24.50	9.80	0.1020	0.8980						
45	25.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	26.40	16.33	0.0612	0.9388						
47	27.40	24.50	0.0408	0.9592						
48	28.60	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
16.23	41.3495	42.2292	6.430	6.4984	0.396	0.4005	-58.56	-62.406	-0.220	2.192

Tabella 2

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo .5 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	6.50	1.02	0.9796	0.0204						
2	8.50	1.04	0.9592	0.0408						
3	10.00	1.07	0.9388	0.0612						
4	10.70	1.09	0.9184	0.0816						
5	10.90	1.11	0.8980	0.1020						
6	11.00	1.14	0.8776	0.1224						
7	11.40	1.17	0.8571	0.1429						
8	12.80	1.20	0.8367	0.1633						
9	14.00	1.23	0.8163	0.1837						
10	15.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	15.40	1.29	0.7755	0.2245						
12	15.40	1.32	0.7551	0.2449						
13	15.80	1.36	0.7347	0.2653						
14	16.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	16.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	16.00	1.48	0.6735	0.3265						
17	16.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	17.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	19.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	20.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	20.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	21.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	22.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	22.40	1.96	0.5102	0.4898						
25	22.60	2.04	0.4898	0.5102						
26	23.00	2.13	0.4694	0.5306						
27	23.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	23.40	2.33	0.4286	0.5714						
29	23.60	2.45	0.4082	0.5918						
30	24.80	2.58	0.3878	0.6122						
31	25.00	2.72	0.3673	0.6327						
32	25.00	2.88	0.3469	0.6531						
33	26.20	3.06	0.3265	0.6735						
34	27.60	3.27	0.3061	0.6939						
35	28.20	3.50	0.2857	0.7143						
36	28.40	3.77	0.2653	0.7347						
37	29.40	4.08	0.2449	0.7551						
38	30.00	4.45	0.2245	0.7755						
39	30.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	30.00	5.44	0.1837	0.8163						
41	30.80	6.13	0.1633	0.8367						
42	31.60	7.00	0.1429	0.8571						
43	32.40	8.17	0.1224	0.8776						
44	32.80	9.80	0.1020	0.8980						
45	35.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	35.60	16.33	0.0612	0.9388						
47	37.50	24.50	0.0408	0.9592						
48	40.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
22.07	68.2449	69.6969	8.261	8.3485	0.374	0.3782	74.76	79.665	0.133	2.143

Tabella 3

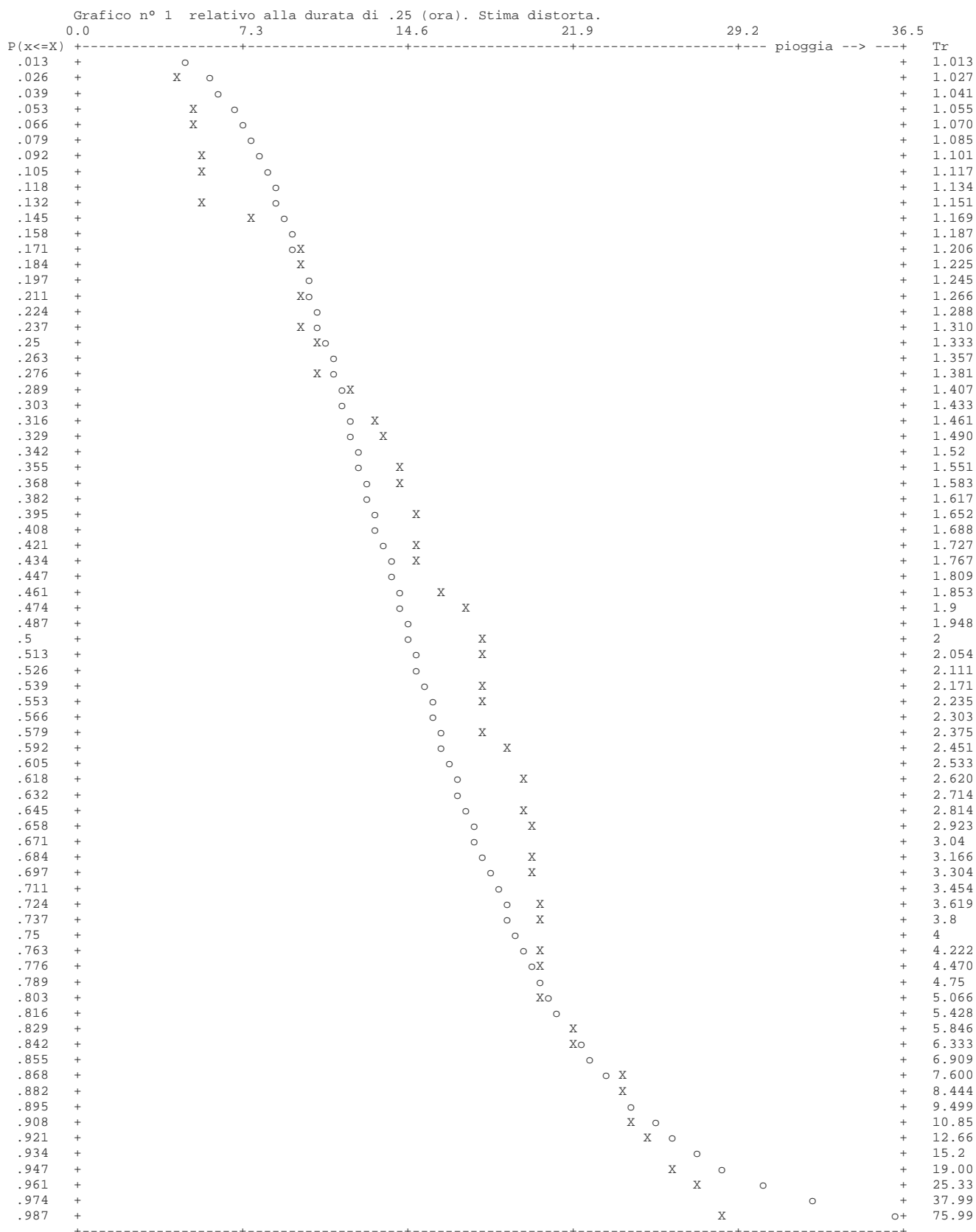
Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo .75 (ora)

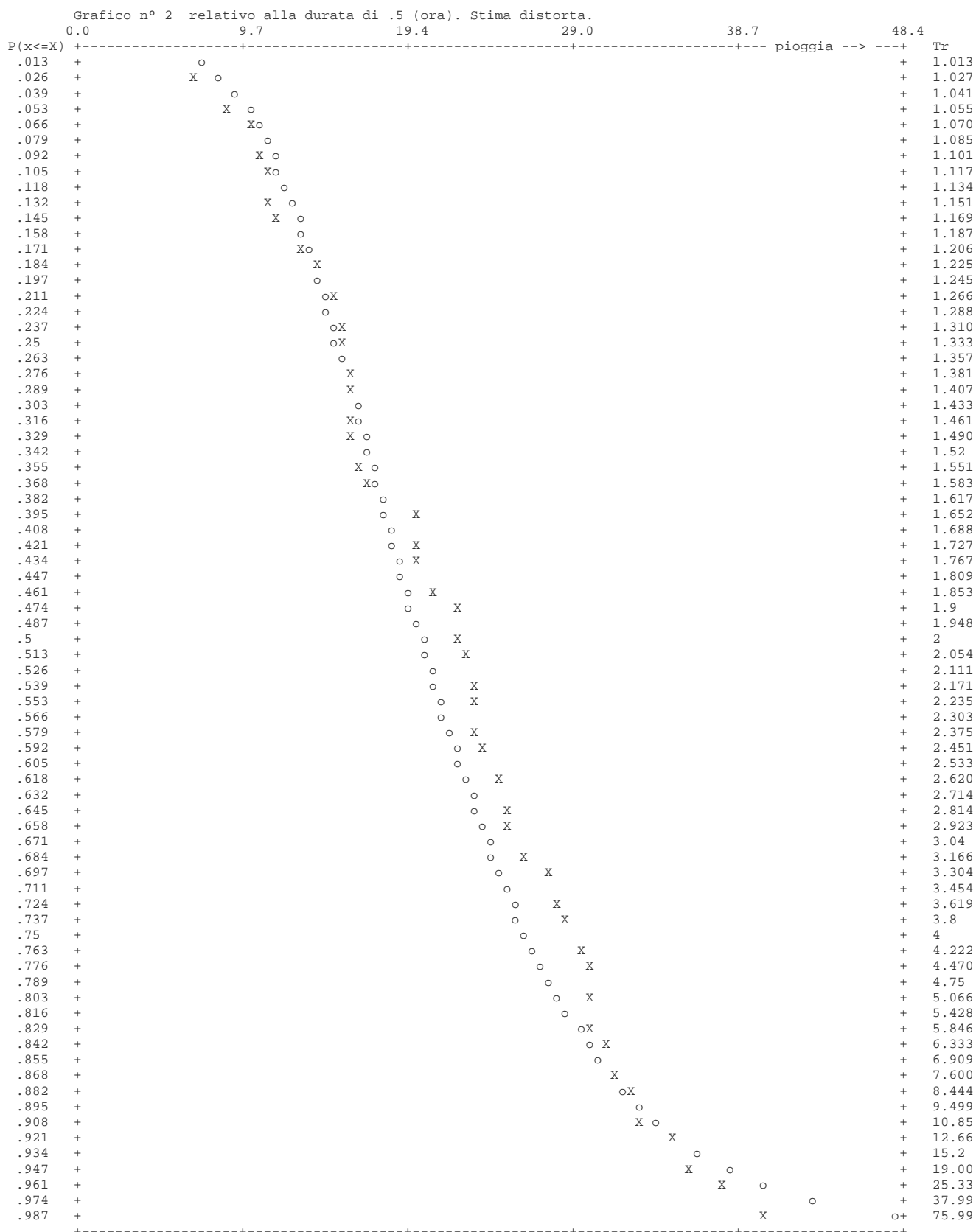
N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	9.00	1.02	0.9796	0.0204						
2	11.50	1.04	0.9592	0.0408						
3	12.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	15.00	1.09	0.9184	0.0816						
5	15.40	1.11	0.8980	0.1020						
6	15.80	1.14	0.8776	0.1224						
7	16.10	1.17	0.8571	0.1429						
8	16.40	1.20	0.8367	0.1633						
9	16.50	1.23	0.8163	0.1837						
10	19.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	19.00	1.29	0.7755	0.2245						
12	19.80	1.32	0.7551	0.2449						
13	20.00	1.36	0.7347	0.2653						
14	20.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	20.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	21.00	1.48	0.6735	0.3265						
17	21.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	22.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	22.40	1.63	0.6122	0.3878						
20	23.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	24.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	25.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	25.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	25.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	26.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	26.00	2.13	0.4694	0.5306						
27	26.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	26.40	2.33	0.4286	0.5714						
29	29.00	2.45	0.4082	0.5918						
30	29.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	30.00	2.72	0.3673	0.6327						
32	30.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	30.40	3.06	0.3265	0.6735						
34	30.60	3.27	0.3061	0.6939						
35	30.80	3.50	0.2857	0.7143						
36	32.00	3.77	0.2653	0.7347						
37	32.30	4.08	0.2449	0.7551						
38	32.80	4.45	0.2245	0.7755						
39	34.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	35.80	5.44	0.1837	0.8163						
41	36.00	6.13	0.1633	0.8367						
42	38.80	7.00	0.1429	0.8571						
43	40.00	8.17	0.1224	0.8776						
44	42.00	9.80	0.1020	0.8980						
45	44.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	46.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	48.80	24.50	0.0408	0.9592						
48	55.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
26.82	99.9662	102.0932	9.998	10.1041	0.373	0.3767	674.85	719.173	0.675	3.153

Parametri distribuzione EV1 con stima distorta. Tempo in (ora).

Tempo	alfa	u
0.25	5.4175	13.1001
0.50	7.0250	18.0181
0.75	8.2641	22.0508

Le rette regolarizzatrici sono del tipo:  $X = u + \text{alfa} \cdot Y$





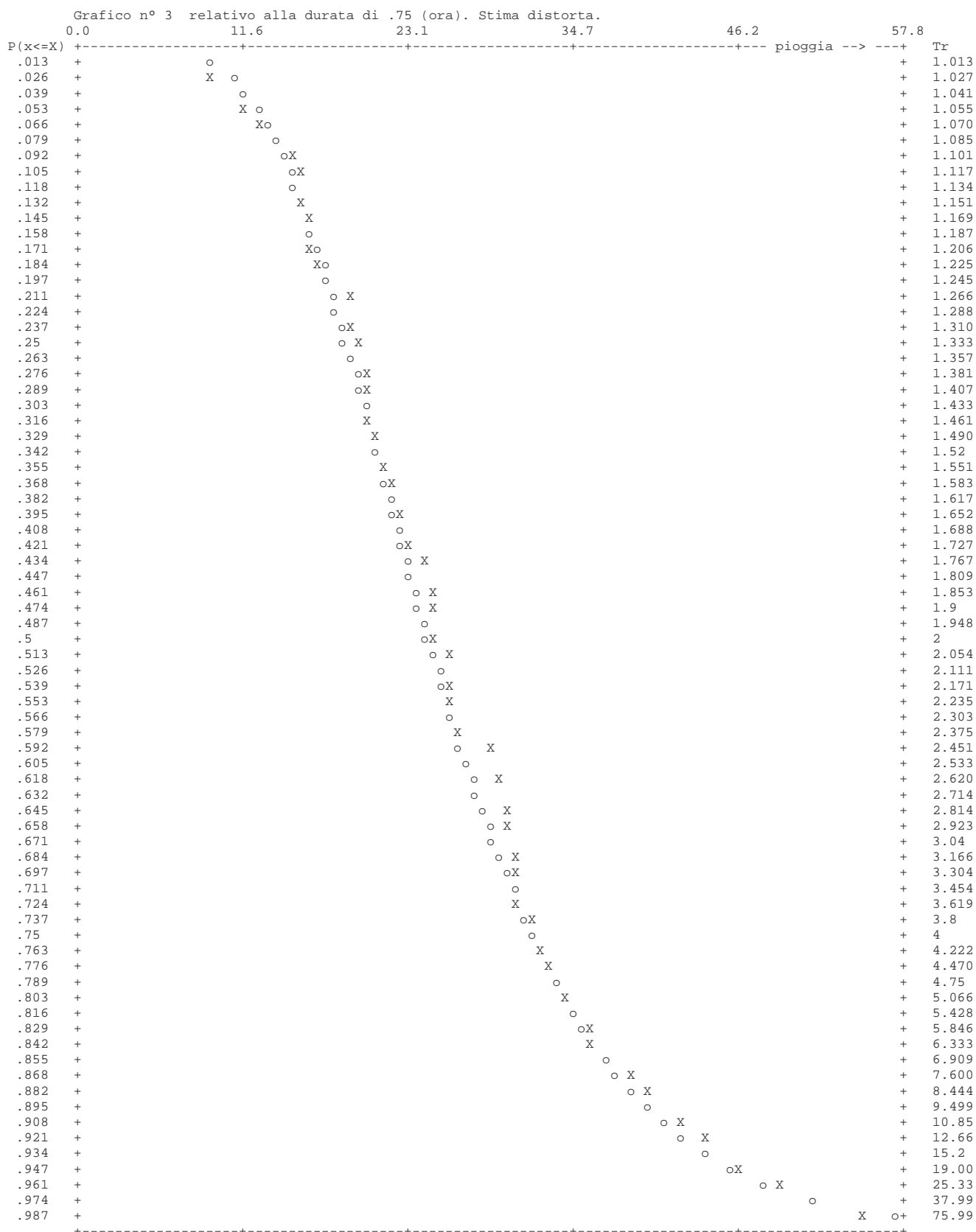


Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata .25 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	8.58	7	4.80	2.20	4.84
2	0.10	0.20	0.80	10.52	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	12.09	2	4.80	-2.80	7.84
4	0.10	0.40	0.60	13.57	2	4.80	-2.80	7.84
5	0.10	0.50	0.50	15.09	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	16.74	1	4.80	-3.80	14.44
7	0.10	0.70	0.30	18.69	6	4.80	1.20	1.44
8	0.10	0.80	0.20	21.23	11	4.80	6.20	38.44
9	0.10	0.90	0.10	25.29	6	4.80	1.20	1.44
10	0.10	1.00	0.00	75.47	3	4.80	-1.80	3.24

Parametro CHI2 calcolato: 16.58

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione non risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata .5 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	12.16	7	4.80	2.20	4.84
2	0.10	0.20	0.80	14.68	2	4.80	-2.80	7.84
3	0.10	0.30	0.70	16.71	8	4.80	3.20	10.24
4	0.10	0.40	0.60	18.63	1	4.80	-3.80	14.44
5	0.10	0.50	0.50	20.59	3	4.80	-1.80	3.24
6	0.10	0.60	0.40	22.74	4	4.80	-0.80	0.64
7	0.10	0.70	0.30	25.26	7	4.80	2.20	4.84
8	0.10	0.80	0.20	28.56	4	4.80	-0.80	0.64
9	0.10	0.90	0.10	33.83	8	4.80	3.20	10.24
10	0.10	1.00	0.00	98.90	4	4.80	-0.80	0.64

Parametro CHI2 calcolato: 12.00

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata .75 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	15.16	4	4.80	-0.80	0.64
2	0.10	0.20	0.80	18.12	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	20.52	6	4.80	1.20	1.44
4	0.10	0.40	0.60	22.77	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	25.08	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	27.60	4	4.80	-0.80	0.64
7	0.10	0.70	0.30	30.57	5	4.80	0.20	0.04
8	0.10	0.80	0.20	34.45	6	4.80	1.20	1.44
9	0.10	0.90	0.10	40.65	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	117.19	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 1.17

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test di KOLMOGOROV-SMIRNOV. Stima distorta.

Num.di .25 .5 .75  
ordine P(X) F(X) per ogni valore temporale (ora)

1	0.020	0.006	0.006	0.008
2	0.041	0.012	0.021	0.028
3	0.061	0.012	0.044	0.047
4	0.082	0.015	0.059	0.096
5	0.102	0.016	0.064	0.107
6	0.122	0.017	0.066	0.119
7	0.143	0.070	0.077	0.128
8	0.163	0.170	0.122	0.138
9	0.184	0.170	0.170	0.141
10	0.204	0.170	0.215	0.235
11	0.224	0.170	0.234	0.235
12	0.245	0.193	0.234	0.269
13	0.265	0.205	0.254	0.278
14	0.286	0.294	0.264	0.278
15	0.306	0.361	0.264	0.278
16	0.327	0.388	0.264	0.321
17	0.347	0.442	0.274	0.330
18	0.367	0.442	0.315	0.366
19	0.388	0.495	0.450	0.383
20	0.408	0.495	0.470	0.410
21	0.429	0.495	0.470	0.454
22	0.449	0.557	0.520	0.497
23	0.469	0.615	0.567	0.497
24	0.490	0.667	0.585	0.497
25	0.510	0.667	0.594	0.538
26	0.531	0.667	0.611	0.538
27	0.551	0.667	0.611	0.538
28	0.571	0.667	0.628	0.554
29	0.592	0.714	0.636	0.650
30	0.612	0.740	0.683	0.670
31	0.633	0.748	0.691	0.682
32	0.653	0.756	0.691	0.689
33	0.673	0.756	0.732	0.695
34	0.694	0.756	0.774	0.701
35	0.714	0.771	0.791	0.707
36	0.735	0.771	0.796	0.741
37	0.755	0.771	0.820	0.749
38	0.776	0.775	0.834	0.762
39	0.796	0.778	0.834	0.790
40	0.816	0.824	0.834	0.827
41	0.837	0.824	0.850	0.831
42	0.857	0.875	0.865	0.877
43	0.878	0.879	0.879	0.892
44	0.898	0.885	0.885	0.914
45	0.918	0.895	0.915	0.932
46	0.939	0.918	0.921	0.946
47	0.959	0.931	0.939	0.961
48	0.980	0.944	0.957	0.982
< P - F >	0.177	0.098	0.058	
< P - F >cr	0.194	0.194	0.194	

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Curva di possibilità pluviometrica (stima distorta)

Tr = 50.00 (anni)      H = 61.04 \* t ^ 0.418 (mm)      CC = 1.000

## PARTE 2 - PIOGGE di 30 minuti, 45 minuti e 1 ora

Tabella 1

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo .5 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	6.50	1.02	0.9796	0.0204						
2	8.50	1.04	0.9592	0.0408						
3	10.00	1.07	0.9388	0.0612						
4	10.70	1.09	0.9184	0.0816						
5	10.90	1.11	0.8980	0.1020						
6	11.00	1.14	0.8776	0.1224						
7	11.40	1.17	0.8571	0.1429						
8	12.80	1.20	0.8367	0.1633						
9	14.00	1.23	0.8163	0.1837						
10	15.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	15.40	1.29	0.7755	0.2245						
12	15.40	1.32	0.7551	0.2449						
13	15.80	1.36	0.7347	0.2653						
14	16.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	16.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	16.00	1.48	0.6735	0.3265						
17	16.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	17.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	19.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	20.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	20.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	21.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	22.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	22.40	1.96	0.5102	0.4898						
25	22.60	2.04	0.4898	0.5102						
26	23.00	2.13	0.4694	0.5306						
27	23.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	23.40	2.33	0.4286	0.5714						
29	23.60	2.45	0.4082	0.5918						
30	24.80	2.58	0.3878	0.6122						
31	25.00	2.72	0.3673	0.6327						
32	25.00	2.88	0.3469	0.6531						
33	26.20	3.06	0.3265	0.6735						
34	27.60	3.27	0.3061	0.6939						
35	28.02	3.50	0.2857	0.7143						
36	28.40	3.77	0.2653	0.7347						
37	29.40	4.08	0.2449	0.7551						
38	30.00	4.45	0.2245	0.7755						
39	30.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	30.00	5.44	0.1837	0.8163						
41	30.80	6.13	0.1633	0.8367						
42	31.60	7.00	0.1429	0.8571						
43	32.40	8.17	0.1224	0.8776						
44	32.80	9.80	0.1020	0.8980						
45	35.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	35.60	16.33	0.0612	0.9388						
47	37.50	24.50	0.0408	0.9592						
48	40.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m.	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
22.07	68.1996	69.6506	8.258	8.3457	0.374	0.3782	75.11	80.046	0.133	2.146

Tabella 2

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo .75 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	9.00	1.02	0.9796	0.0204						
2	11.50	1.04	0.9592	0.0408						
3	12.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	15.00	1.09	0.9184	0.0816						
5	15.40	1.11	0.8980	0.1020						
6	15.80	1.14	0.8776	0.1224						
7	16.10	1.17	0.8571	0.1429						
8	16.40	1.20	0.8367	0.1633						
9	16.50	1.23	0.8163	0.1837						
10	19.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	19.00	1.29	0.7755	0.2245						
12	19.80	1.32	0.7551	0.2449						
13	20.00	1.36	0.7347	0.2653						
14	20.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	20.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	21.00	1.48	0.6735	0.3265						
17	21.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	22.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	22.40	1.63	0.6122	0.3878						
20	23.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	24.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	25.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	25.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	25.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	26.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	26.00	2.13	0.4694	0.5306						
27	26.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	26.40	2.33	0.4286	0.5714						
29	29.00	2.45	0.4082	0.5918						
30	29.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	30.00	2.72	0.3673	0.6327						
32	30.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	30.40	3.06	0.3265	0.6735						
34	30.60	3.27	0.3061	0.6939						
35	30.80	3.50	0.2857	0.7143						
36	32.00	3.77	0.2653	0.7347						
37	32.30	4.08	0.2449	0.7551						
38	32.80	4.45	0.2245	0.7755						
39	34.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	35.80	5.44	0.1837	0.8163						
41	36.00	6.13	0.1633	0.8367						
42	38.80	7.00	0.1429	0.8571						
43	40.00	8.17	0.1224	0.8776						
44	42.00	9.80	0.1020	0.8980						
45	44.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	46.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	48.80	24.50	0.0408	0.9592						
48	55.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
26.82	99.9662	102.0932	9.998	10.1041	0.373	0.3767	674.85	719.173	0.675	3.153

Tabella 3

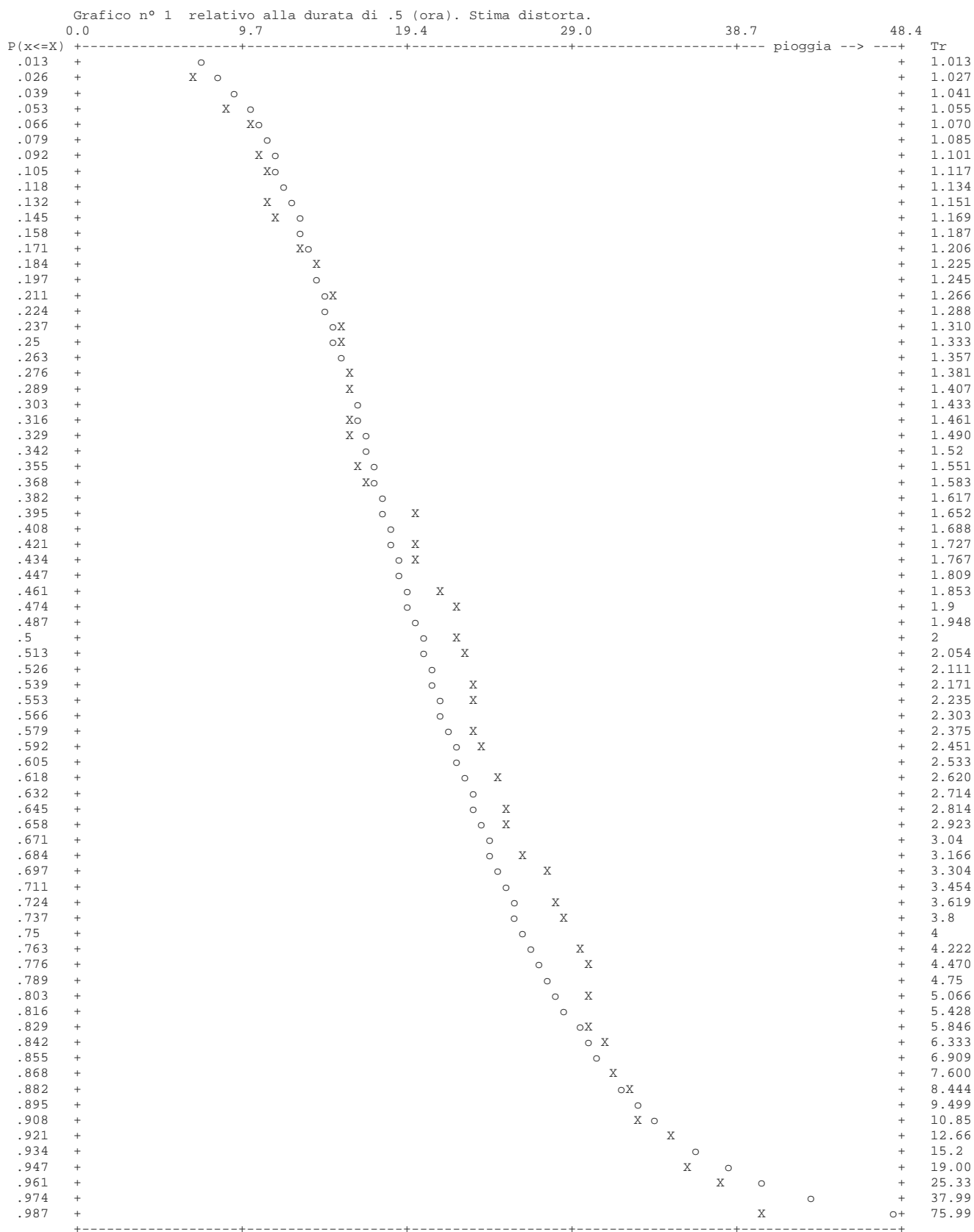
Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 1 (ora)

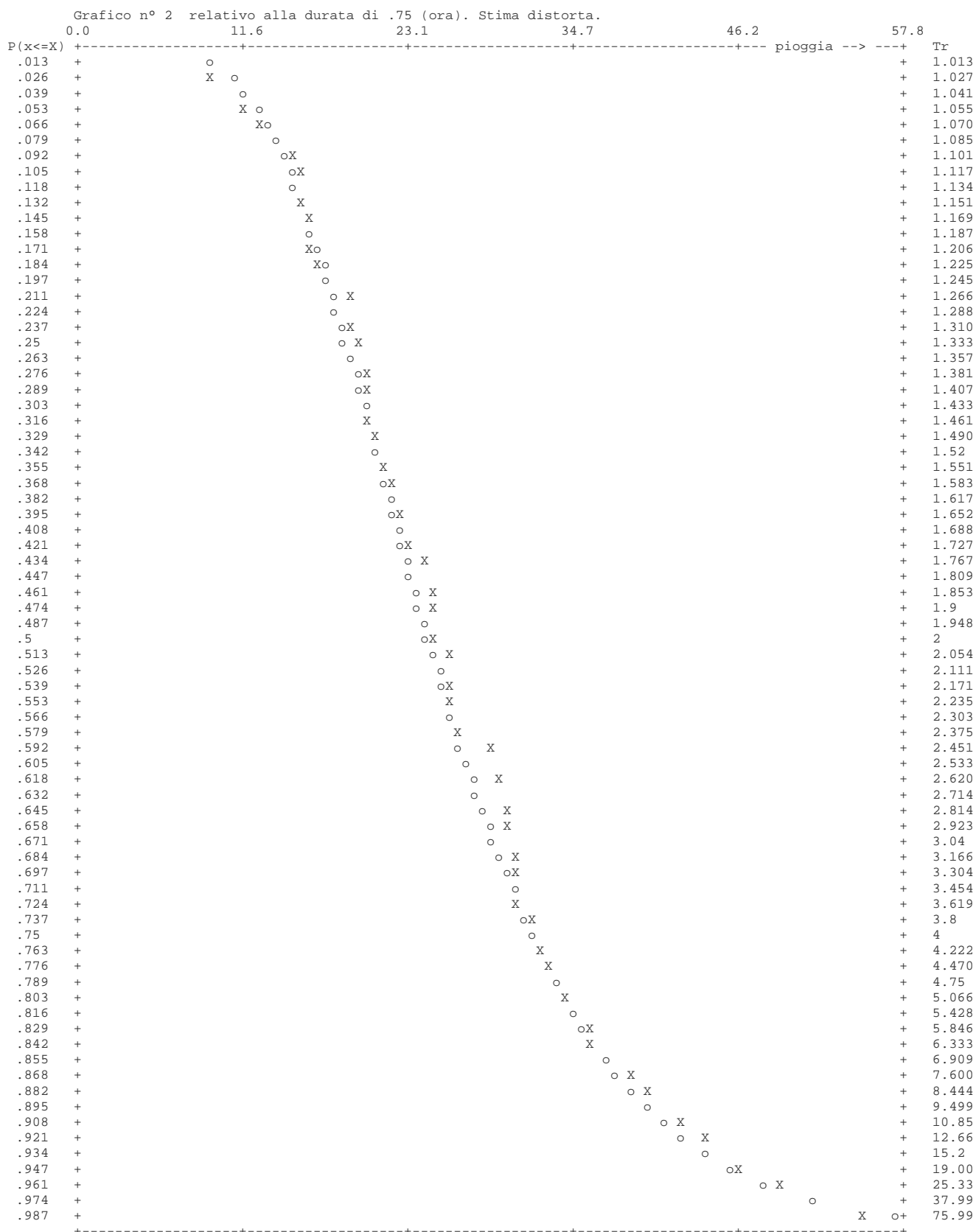
N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	11.70	1.02	0.9796	0.0204						
2	12.00	1.04	0.9592	0.0408						
3	15.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	16.60	1.09	0.9184	0.0816						
5	17.00	1.11	0.8980	0.1020						
6	19.80	1.14	0.8776	0.1224						
7	20.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	21.20	1.20	0.8367	0.1633						
9	21.40	1.23	0.8163	0.1837						
10	21.60	1.26	0.7959	0.2041						
11	21.80	1.29	0.7755	0.2245						
12	22.00	1.32	0.7551	0.2449						
13	22.80	1.36	0.7347	0.2653						
14	23.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	23.80	1.44	0.6939	0.3061						
16	23.80	1.48	0.6735	0.3265						
17	24.40	1.53	0.6531	0.3469						
18	24.60	1.58	0.6327	0.3673						
19	25.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	26.40	1.69	0.5918	0.4082						
21	27.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	27.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	28.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	28.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	29.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	29.60	2.13	0.4694	0.5306						
27	30.40	2.23	0.4490	0.5510						
28	31.00	2.33	0.4286	0.5714						
29	31.40	2.45	0.4082	0.5918						
30	31.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	32.80	2.72	0.3673	0.6327						
32	33.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	35.00	3.06	0.3265	0.6735						
34	35.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	35.90	3.50	0.2857	0.7143						
36	36.20	3.77	0.2653	0.7347						
37	36.20	4.08	0.2449	0.7551						
38	37.00	4.45	0.2245	0.7755						
39	38.40	4.90	0.2041	0.7959						
40	40.40	5.44	0.1837	0.8163						
41	41.40	6.13	0.1633	0.8367						
42	44.00	7.00	0.1429	0.8571						
43	45.80	8.17	0.1224	0.8776						
44	46.80	9.80	0.1020	0.8980						
45	54.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	56.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	56.80	24.50	0.0408	0.9592						
48	62.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m.	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
30.73	131.3226	134.1167	11.460	11.5809	0.373	0.3768	1235.55	1316.698	0.821	3.329

Parametri distribuzione EV1 con stima distorta. Tempo in (ora).

Tempo	alfa	u
0.50	7.0226	18.0157
0.75	8.2641	22.0508
1.00	9.3548	25.3337

Le rette regolarizzatrici sono del tipo:  $X = u + \text{alfa} * Y$





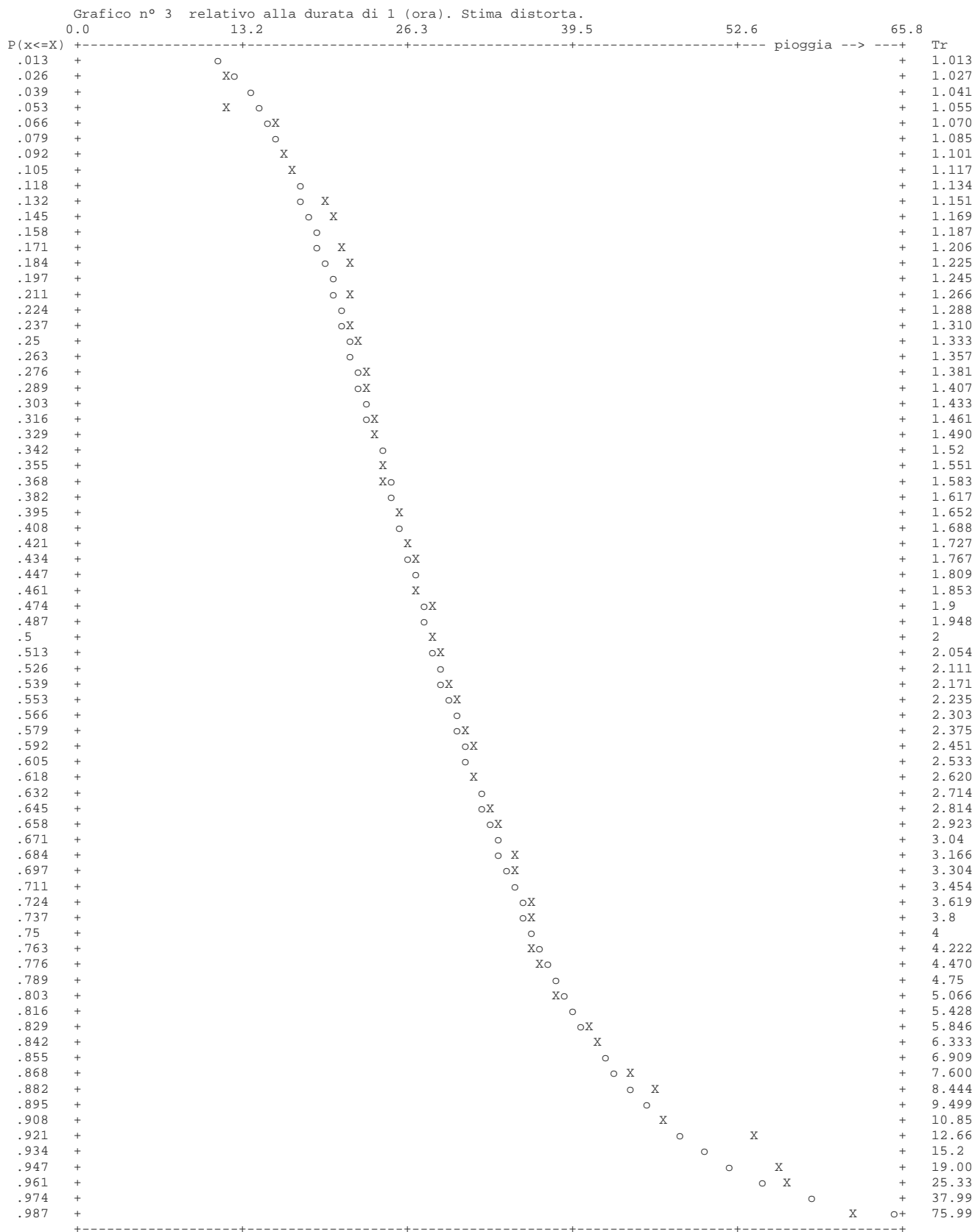


Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata .5 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	12.16	7	4.80	2.20	4.84
2	0.10	0.20	0.80	14.67	2	4.80	-2.80	7.84
3	0.10	0.30	0.70	16.71	8	4.80	3.20	10.24
4	0.10	0.40	0.60	18.63	1	4.80	-3.80	14.44
5	0.10	0.50	0.50	20.59	3	4.80	-1.80	3.24
6	0.10	0.60	0.40	22.73	4	4.80	-0.80	0.64
7	0.10	0.70	0.30	25.26	7	4.80	2.20	4.84
8	0.10	0.80	0.20	28.55	4	4.80	-0.80	0.64
9	0.10	0.90	0.10	33.82	8	4.80	3.20	10.24
10	0.10	1.00	0.00	98.87	4	4.80	-0.80	0.64

Parametro CHI2 calcolato: 12.00

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata .75 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	15.16	4	4.80	-0.80	0.64
2	0.10	0.20	0.80	18.12	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	20.52	6	4.80	1.20	1.44
4	0.10	0.40	0.60	22.77	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	25.08	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	27.60	4	4.80	-0.80	0.64
7	0.10	0.70	0.30	30.57	5	4.80	0.20	0.04
8	0.10	0.80	0.20	34.45	6	4.80	1.20	1.44
9	0.10	0.90	0.10	40.65	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	117.19	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 1.17

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 1 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	17.53	5	4.80	0.20	0.04
2	0.10	0.20	0.80	20.88	2	4.80	-2.80	7.84
3	0.10	0.30	0.70	23.60	7	4.80	2.20	4.84
4	0.10	0.40	0.60	26.15	5	4.80	0.20	0.04
5	0.10	0.50	0.50	28.76	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	31.62	6	4.80	1.20	1.44
7	0.10	0.70	0.30	34.98	2	4.80	-2.80	7.84
8	0.10	0.80	0.20	39.37	7	4.80	2.20	4.84
9	0.10	0.90	0.10	46.39	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	133.04	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 5.75

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test di KOLMOGOROV-SMIRNOV. Stima distorta.

Num.di ordine	.5 P(X)	.75 F(X)	1 per ogni valore temporale (ora)
1	0.020	0.006	0.008 0.014
2	0.041	0.021	0.028 0.016
3	0.061	0.044	0.047 0.063
4	0.082	0.059	0.096 0.079
5	0.102	0.064	0.107 0.087
6	0.122	0.066	0.119 0.164
7	0.143	0.077	0.128 0.171
8	0.163	0.122	0.138 0.211
9	0.184	0.170	0.141 0.218
10	0.204	0.215	0.235 0.225
11	0.224	0.234	0.235 0.232
12	0.245	0.234	0.269 0.240
13	0.265	0.254	0.278 0.270
14	0.286	0.264	0.278 0.277
15	0.306	0.264	0.278 0.308
16	0.327	0.264	0.321 0.308
17	0.347	0.274	0.330 0.331
18	0.367	0.315	0.366 0.339
19	0.388	0.450	0.383 0.378
20	0.408	0.471	0.410 0.410
21	0.429	0.471	0.454 0.433
22	0.449	0.520	0.497 0.433
23	0.469	0.567	0.497 0.471
24	0.490	0.585	0.497 0.471
25	0.510	0.594	0.538 0.509
26	0.531	0.612	0.538 0.531
27	0.551	0.612	0.538 0.559
28	0.571	0.628	0.554 0.579
29	0.592	0.637	0.650 0.593
30	0.612	0.683	0.670 0.599
31	0.633	0.691	0.682 0.638
32	0.653	0.691	0.689 0.650
33	0.673	0.732	0.695 0.701
34	0.694	0.775	0.701 0.701
35	0.714	0.786	0.707 0.724
36	0.735	0.796	0.741 0.731
37	0.755	0.821	0.749 0.731
38	0.776	0.834	0.762 0.750
39	0.796	0.834	0.790 0.781
40	0.816	0.834	0.827 0.819
41	0.837	0.850	0.831 0.836
42	0.857	0.865	0.877 0.873
43	0.878	0.879	0.892 0.894
44	0.898	0.885	0.914 0.904
45	0.918	0.915	0.932 0.954
46	0.939	0.921	0.946 0.963
47	0.959	0.940	0.961 0.966
48	0.980	0.957	0.982 0.980
< P - F >	0.098	0.058	0.048
< P - F >cr	0.194	0.194	0.194

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Curva di possibilità pluviometrica (stima distorta)

Tr = 50.00 (anni)      H = 61.79 \* t ^ 0.444 (mm)      CC = 1.000

### PARTE 3 - PIOGGE di 45 minuti, 1 ora e 3 ore

Tabella 1

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo .75 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	9.00	1.02	0.9796	0.0204						
2	11.50	1.04	0.9592	0.0408						
3	12.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	15.00	1.09	0.9184	0.0816						
5	15.40	1.11	0.8980	0.1020						
6	15.80	1.14	0.8776	0.1224						
7	16.10	1.17	0.8571	0.1429						
8	16.40	1.20	0.8367	0.1633						
9	16.50	1.23	0.8163	0.1837						
10	19.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	19.00	1.29	0.7755	0.2245						
12	19.80	1.32	0.7551	0.2449						
13	20.00	1.36	0.7347	0.2653						
14	20.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	20.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	21.00	1.48	0.6735	0.3265						
17	21.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	22.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	22.40	1.63	0.6122	0.3878						
20	23.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	24.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	25.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	25.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	25.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	26.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	26.00	2.13	0.4694	0.5306						
27	26.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	26.40	2.33	0.4286	0.5714						
29	28.00	2.45	0.4082	0.5918						
30	29.00	2.58	0.3878	0.6122						
31	29.60	2.72	0.3673	0.6327						
32	30.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	30.40	3.06	0.3265	0.6735						
34	30.60	3.27	0.3061	0.6939						
35	30.80	3.50	0.2857	0.7143						
36	32.00	3.77	0.2653	0.7347						
37	32.30	4.08	0.2449	0.7551						
38	32.80	4.45	0.2245	0.7755						
39	34.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	35.80	5.44	0.1837	0.8163						
41	36.00	6.13	0.1633	0.8367						
42	38.80	7.00	0.1429	0.8571						
43	40.00	8.17	0.1224	0.8776						
44	42.00	9.80	0.1020	0.8980						
45	44.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	46.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	48.80	24.50	0.0408	0.9592						
48	55.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
26.78	99.7829	101.9059	9.989	10.0948	0.373	0.3770	686.69	731.788	0.689	3.175

Tabella 2

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 1 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	11.70	1.02	0.9796	0.0204						
2	12.00	1.04	0.9592	0.0408						
3	15.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	16.60	1.09	0.9184	0.0816						
5	17.00	1.11	0.8980	0.1020						
6	19.80	1.14	0.8776	0.1224						
7	20.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	21.20	1.20	0.8367	0.1633						
9	21.40	1.23	0.8163	0.1837						
10	21.60	1.26	0.7959	0.2041						
11	21.80	1.29	0.7755	0.2245						
12	22.00	1.32	0.7551	0.2449						
13	22.80	1.36	0.7347	0.2653						
14	23.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	23.80	1.44	0.6939	0.3061						
16	23.80	1.48	0.6735	0.3265						
17	24.40	1.53	0.6531	0.3469						
18	24.60	1.58	0.6327	0.3673						
19	25.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	26.40	1.69	0.5918	0.4082						
21	27.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	27.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	28.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	28.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	29.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	29.60	2.13	0.4694	0.5306						
27	30.40	2.23	0.4490	0.5510						
28	31.00	2.33	0.4286	0.5714						
29	31.40	2.45	0.4082	0.5918						
30	31.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	32.80	2.72	0.3673	0.6327						
32	33.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	35.00	3.06	0.3265	0.6735						
34	35.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	35.90	3.50	0.2857	0.7143						
36	36.20	3.77	0.2653	0.7347						
37	36.20	4.08	0.2449	0.7551						
38	37.00	4.45	0.2245	0.7755						
39	38.40	4.90	0.2041	0.7959						
40	40.40	5.44	0.1837	0.8163						
41	41.40	6.13	0.1633	0.8367						
42	44.00	7.00	0.1429	0.8571						
43	45.80	8.17	0.1224	0.8776						
44	46.80	9.80	0.1020	0.8980						
45	54.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	56.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	56.80	24.50	0.0408	0.9592						
48	62.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
30.73	131.3226	134.1167	11.460	11.5809	0.373	0.3768	1235.55	1316.698	0.821	3.329

Tabella 3

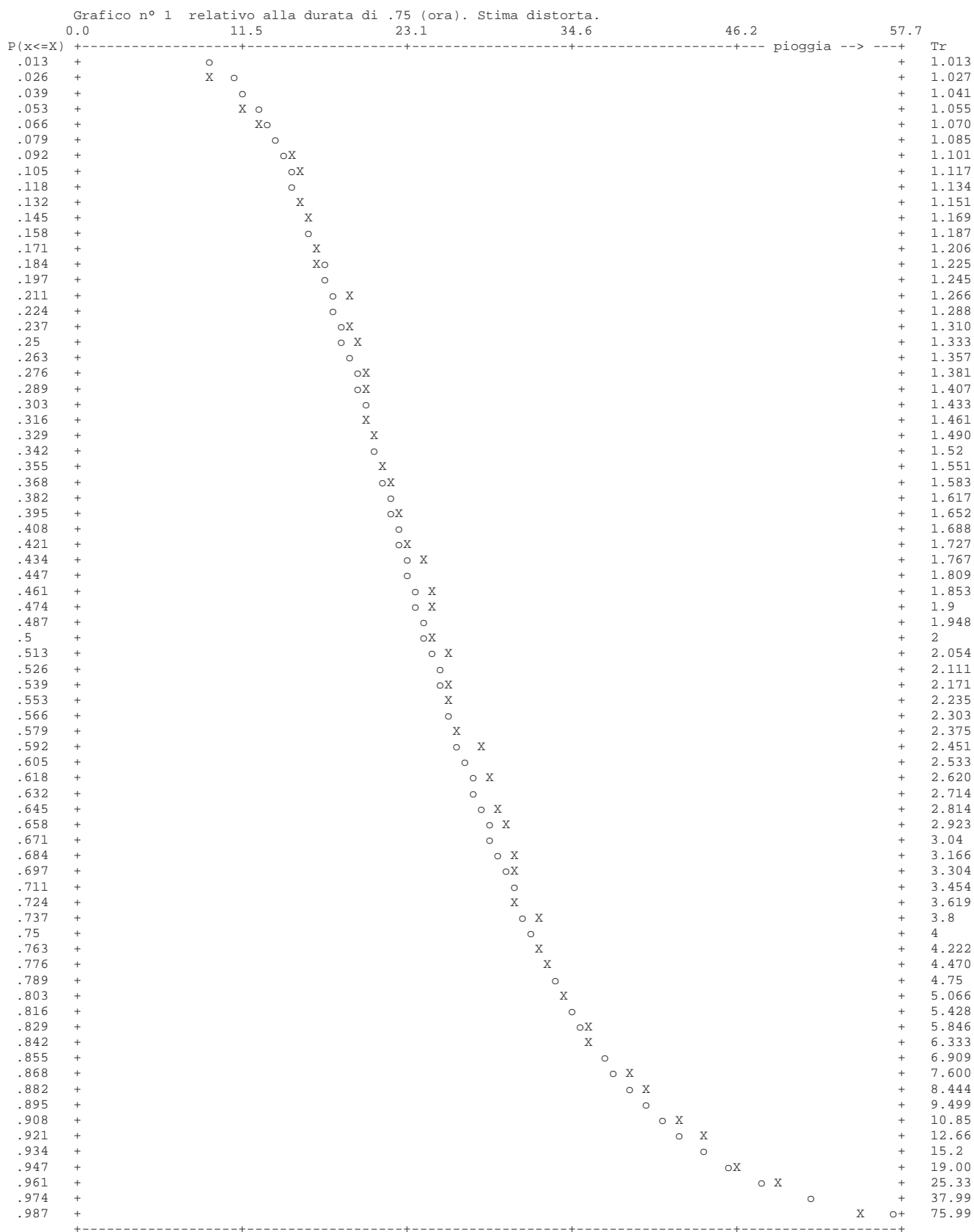
Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 3 (ora)

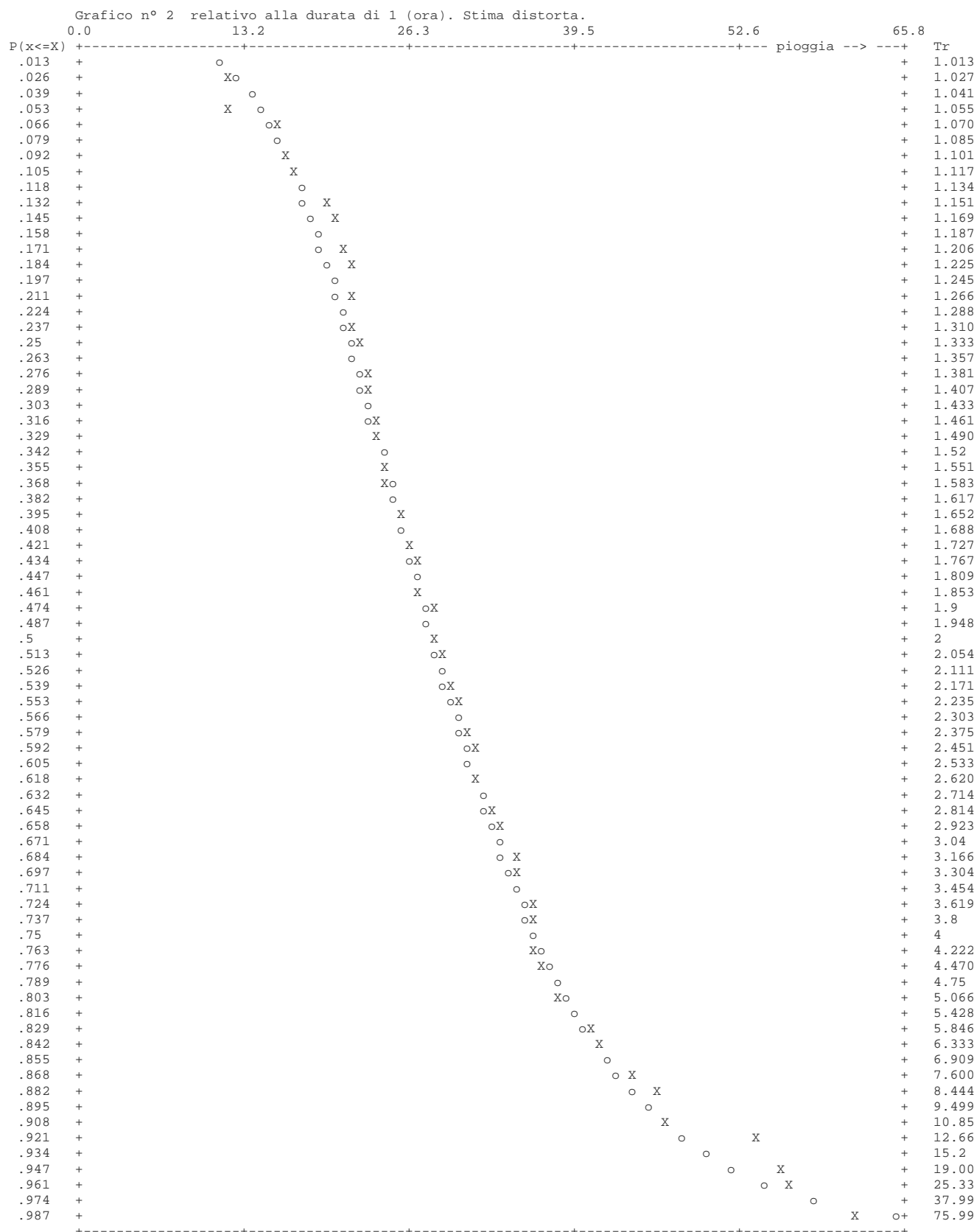
N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	21.20	1.02	0.9796	0.0204						
2	21.80	1.04	0.9592	0.0408						
3	22.60	1.07	0.9388	0.0612						
4	24.00	1.09	0.9184	0.0816						
5	24.20	1.11	0.8980	0.1020						
6	24.60	1.14	0.8776	0.1224						
7	27.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	27.60	1.20	0.8367	0.1633						
9	28.40	1.23	0.8163	0.1837						
10	29.20	1.26	0.7959	0.2041						
11	29.50	1.29	0.7755	0.2245						
12	29.60	1.32	0.7551	0.2449						
13	30.00	1.36	0.7347	0.2653						
14	31.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	31.20	1.44	0.6939	0.3061						
16	31.60	1.48	0.6735	0.3265						
17	32.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	33.80	1.58	0.6327	0.3673						
19	34.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	35.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	35.80	1.75	0.5714	0.4286						
22	36.40	1.81	0.5510	0.4490						
23	36.50	1.88	0.5306	0.4694						
24	36.60	1.96	0.5102	0.4898						
25	38.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	38.80	2.13	0.4694	0.5306						
27	39.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	39.20	2.33	0.4286	0.5714						
29	39.60	2.45	0.4082	0.5918						
30	40.20	2.58	0.3878	0.6122						
31	40.40	2.72	0.3673	0.6327						
32	41.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	43.00	3.06	0.3265	0.6735						
34	43.20	3.27	0.3061	0.6939						
35	43.60	3.50	0.2857	0.7143						
36	43.60	3.77	0.2653	0.7347						
37	44.80	4.08	0.2449	0.7551						
38	48.80	4.45	0.2245	0.7755						
39	49.80	4.90	0.2041	0.7959						
40	50.00	5.44	0.1837	0.8163						
41	57.40	6.13	0.1633	0.8367						
42	66.40	7.00	0.1429	0.8571						
43	68.60	8.17	0.1224	0.8776						
44	70.20	9.80	0.1020	0.8980						
45	71.80	12.25	0.0816	0.9184						
46	73.40	16.33	0.0612	0.9388						
47	77.00	24.50	0.0408	0.9592						
48	87.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza	S.q.m	S.q.m.	Cff.di	Cff. C	Mom.3	Mom.3	Coeff.	Kurtosis
		corretta		corretto	vari.C	corretto		corretto	asimm.	
41.03	245.7021	250.9298	15.675	15.8408	0.382	0.3861	4622.24	4925.828	1.200	3.724

Parametri distribuzione EV1 con stima distorta. Tempo in (ora).

Tempo	alfa	u
0.75	8.2507	22.0169
1.00	9.3548	25.3337
3.00	12.2931	33.9336

Le rette regolarizzatrici sono del tipo:  $X = u + \text{alfa} \cdot Y$





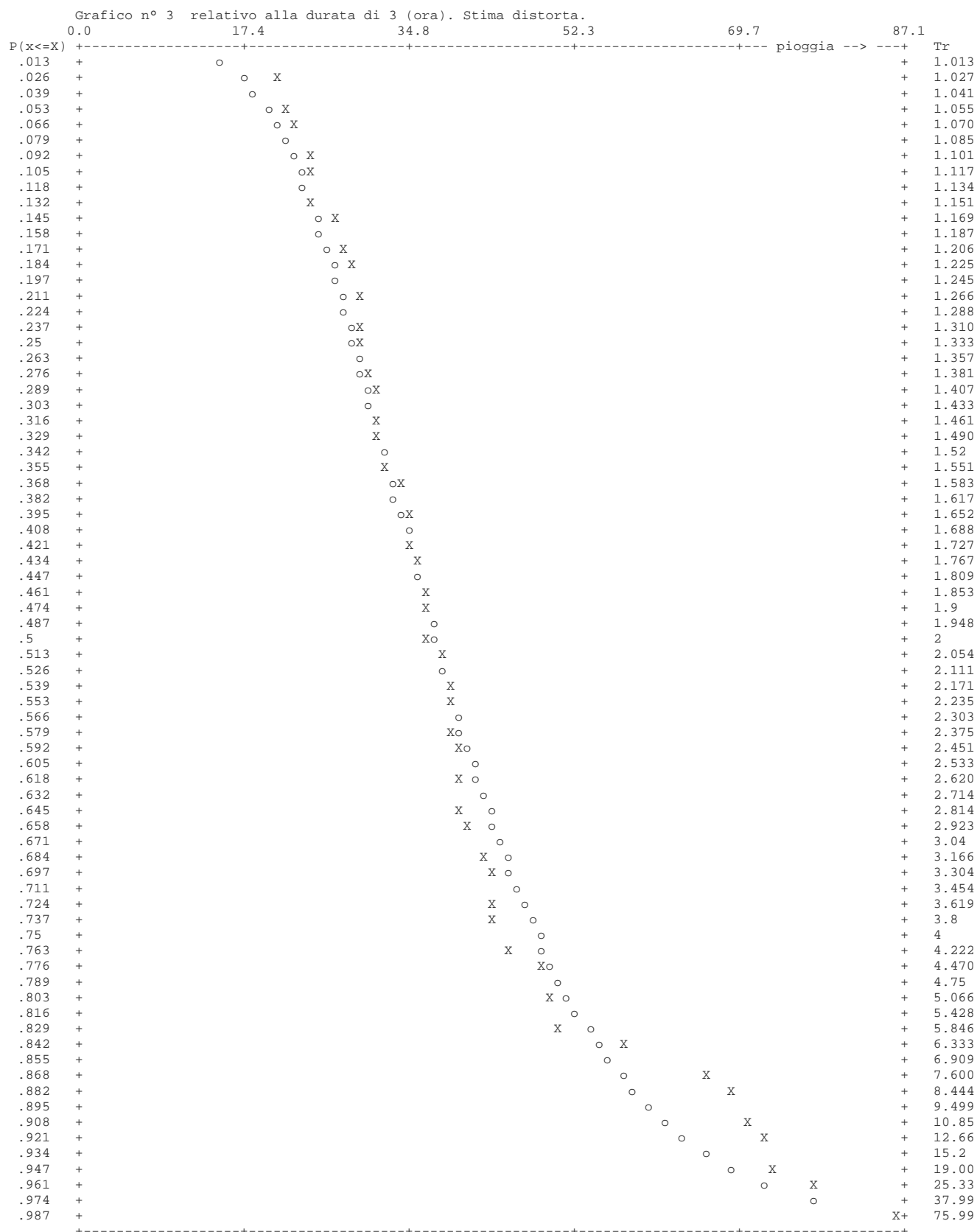


Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata .75 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	15.14	4	4.80	-0.80	0.64
2	0.10	0.20	0.80	18.09	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	20.49	6	4.80	1.20	1.44
4	0.10	0.40	0.60	22.74	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	25.04	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	27.56	4	4.80	-0.80	0.64
7	0.10	0.70	0.30	30.52	5	4.80	0.20	0.04
8	0.10	0.80	0.20	34.39	6	4.80	1.20	1.44
9	0.10	0.90	0.10	40.58	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	117.01	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 1.17

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 1 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	17.53	5	4.80	0.20	0.04
2	0.10	0.20	0.80	20.88	2	4.80	-2.80	7.84
3	0.10	0.30	0.70	23.60	7	4.80	2.20	4.84
4	0.10	0.40	0.60	26.15	5	4.80	0.20	0.04
5	0.10	0.50	0.50	28.76	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	31.62	6	4.80	1.20	1.44
7	0.10	0.70	0.30	34.98	2	4.80	-2.80	7.84
8	0.10	0.80	0.20	39.37	7	4.80	2.20	4.84
9	0.10	0.90	0.10	46.39	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	133.04	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 5.75

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 3 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	23.68	3	4.80	-1.80	3.24
2	0.10	0.20	0.80	28.08	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	31.65	8	4.80	3.20	10.24
4	0.10	0.40	0.60	35.01	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	38.44	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	42.19	7	4.80	2.20	4.84
7	0.10	0.70	0.30	46.61	5	4.80	0.20	0.04
8	0.10	0.80	0.20	52.37	3	4.80	-1.80	3.24
9	0.10	0.90	0.10	61.60	1	4.80	-3.80	14.44
10	0.10	1.00	0.00	175.46	7	4.80	2.20	4.84

Parametro CHI2 calcolato: 8.67

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test di KOLMOGOROV-SMIRNOV. Stima distorta.

Num.di .75 1 3  
ordine P(X) F(X) per ogni valore temporale (ora)

1	0.020	0.008	0.014	0.060
2	0.041	0.028	0.016	0.068
3	0.061	0.047	0.063	0.081
4	0.082	0.096	0.079	0.106
5	0.102	0.108	0.087	0.110
6	0.122	0.120	0.164	0.118
7	0.143	0.129	0.171	0.172
8	0.163	0.139	0.211	0.187
9	0.184	0.142	0.218	0.208
10	0.204	0.237	0.225	0.230
11	0.224	0.237	0.232	0.238
12	0.245	0.270	0.240	0.241
13	0.265	0.279	0.270	0.252
14	0.286	0.279	0.277	0.281
15	0.306	0.279	0.308	0.287
16	0.327	0.323	0.308	0.298
17	0.347	0.332	0.331	0.316
18	0.367	0.367	0.339	0.364
19	0.388	0.385	0.378	0.388
20	0.408	0.412	0.410	0.400
21	0.429	0.456	0.433	0.424
22	0.449	0.498	0.433	0.441
23	0.469	0.498	0.471	0.444
24	0.490	0.498	0.471	0.447
25	0.510	0.540	0.509	0.488
26	0.531	0.540	0.531	0.510
27	0.551	0.540	0.559	0.516
28	0.571	0.556	0.579	0.521
29	0.592	0.616	0.593	0.532
30	0.612	0.651	0.599	0.548
31	0.633	0.671	0.638	0.554
32	0.653	0.690	0.650	0.575
33	0.673	0.696	0.701	0.620
34	0.694	0.702	0.701	0.625
35	0.714	0.708	0.724	0.634
36	0.735	0.742	0.731	0.634
37	0.755	0.750	0.731	0.662
38	0.776	0.763	0.750	0.742
39	0.796	0.791	0.781	0.760
40	0.816	0.828	0.819	0.763
41	0.837	0.832	0.836	0.862
42	0.857	0.877	0.873	0.931
43	0.878	0.893	0.894	0.942
44	0.898	0.915	0.904	0.949
45	0.918	0.933	0.954	0.955
46	0.939	0.947	0.963	0.960
47	0.959	0.962	0.966	0.970
48	0.980	0.982	0.980	0.987
< P - F >	0.049	0.048	0.101	
< P - F >cr	0.194	0.194	0.194	

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Curva di possibilità pluviometrica (stima distorta)

Tr = 50.00 (anni) H = 60.16 \* t ^ 0.286 (mm) CC = 0.993

## PARTE 4 - PIOGGE di 1 ora, 3 ore e 6 ore

Tabella 1

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 1 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	11.70	1.02	0.9796	0.0204						
2	12.00	1.04	0.9592	0.0408						
3	15.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	16.60	1.09	0.9184	0.0816						
5	17.00	1.11	0.8980	0.1020						
6	19.80	1.14	0.8776	0.1224						
7	20.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	21.20	1.20	0.8367	0.1633						
9	21.40	1.23	0.8163	0.1837						
10	21.60	1.26	0.7959	0.2041						
11	21.80	1.29	0.7755	0.2245						
12	22.00	1.32	0.7551	0.2449						
13	22.80	1.36	0.7347	0.2653						
14	23.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	23.80	1.44	0.6939	0.3061						
16	23.80	1.48	0.6735	0.3265						
17	24.40	1.53	0.6531	0.3469						
18	24.60	1.58	0.6327	0.3673						
19	25.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	26.40	1.69	0.5918	0.4082						
21	27.00	1.75	0.5714	0.4286						
22	27.00	1.81	0.5510	0.4490						
23	28.00	1.88	0.5306	0.4694						
24	28.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	29.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	29.60	2.13	0.4694	0.5306						
27	30.40	2.23	0.4490	0.5510						
28	31.00	2.33	0.4286	0.5714						
29	31.40	2.45	0.4082	0.5918						
30	31.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	32.80	2.72	0.3673	0.6327						
32	33.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	35.00	3.06	0.3265	0.6735						
34	35.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	35.90	3.50	0.2857	0.7143						
36	36.20	3.77	0.2653	0.7347						
37	36.20	4.08	0.2449	0.7551						
38	37.00	4.45	0.2245	0.7755						
39	38.40	4.90	0.2041	0.7959						
40	40.40	5.44	0.1837	0.8163						
41	41.40	6.13	0.1633	0.8367						
42	44.00	7.00	0.1429	0.8571						
43	45.80	8.17	0.1224	0.8776						
44	46.80	9.80	0.1020	0.8980						
45	54.00	12.25	0.0816	0.9184						
46	56.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	56.80	24.50	0.0408	0.9592						
48	62.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
30.73	131.3226	134.1167	11.460	11.5809	0.373	0.3768	1235.55	1316.698	0.821	3.329

Tabella 2

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 3 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	21.20	1.02	0.9796	0.0204						
2	21.80	1.04	0.9592	0.0408						
3	22.60	1.07	0.9388	0.0612						
4	24.00	1.09	0.9184	0.0816						
5	24.20	1.11	0.8980	0.1020						
6	24.60	1.14	0.8776	0.1224						
7	27.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	27.60	1.20	0.8367	0.1633						
9	28.40	1.23	0.8163	0.1837						
10	29.20	1.26	0.7959	0.2041						
11	29.50	1.29	0.7755	0.2245						
12	29.60	1.32	0.7551	0.2449						
13	30.00	1.36	0.7347	0.2653						
14	31.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	31.20	1.44	0.6939	0.3061						
16	31.60	1.48	0.6735	0.3265						
17	32.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	33.80	1.58	0.6327	0.3673						
19	34.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	35.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	35.80	1.75	0.5714	0.4286						
22	36.40	1.81	0.5510	0.4490						
23	36.50	1.88	0.5306	0.4694						
24	36.60	1.96	0.5102	0.4898						
25	38.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	38.80	2.13	0.4694	0.5306						
27	39.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	39.20	2.33	0.4286	0.5714						
29	39.60	2.45	0.4082	0.5918						
30	40.20	2.58	0.3878	0.6122						
31	40.40	2.72	0.3673	0.6327						
32	41.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	43.00	3.06	0.3265	0.6735						
34	43.20	3.27	0.3061	0.6939						
35	43.60	3.50	0.2857	0.7143						
36	43.60	3.77	0.2653	0.7347						
37	44.80	4.08	0.2449	0.7551						
38	48.80	4.45	0.2245	0.7755						
39	49.80	4.90	0.2041	0.7959						
40	50.00	5.44	0.1837	0.8163						
41	57.40	6.13	0.1633	0.8367						
42	66.40	7.00	0.1429	0.8571						
43	68.60	8.17	0.1224	0.8776						
44	70.20	9.80	0.1020	0.8980						
45	71.80	12.25	0.0816	0.9184						
46	73.40	16.33	0.0612	0.9388						
47	77.00	24.50	0.0408	0.9592						
48	87.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
41.03	245.7021	250.9298	15.675	15.8408	0.382	0.3861	4622.24	4925.828	1.200	3.724

Tabella 3

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 6 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)
1	25.40	1.02	0.9796	0.0204
2	27.80	1.04	0.9592	0.0408
3	28.00	1.07	0.9388	0.0612
4	29.20	1.09	0.9184	0.0816
5	29.20	1.11	0.8980	0.1020
6	29.60	1.14	0.8776	0.1224
7	30.00	1.17	0.8571	0.1429
8	31.20	1.20	0.8367	0.1633
9	33.80	1.23	0.8163	0.1837
10	36.00	1.26	0.7959	0.2041
11	36.20	1.29	0.7755	0.2245
12	36.40	1.32	0.7551	0.2449
13	36.60	1.36	0.7347	0.2653
14	38.00	1.40	0.7143	0.2857
15	38.00	1.44	0.6939	0.3061
16	38.00	1.48	0.6735	0.3265
17	39.00	1.53	0.6531	0.3469
18	39.00	1.58	0.6327	0.3673
19	39.20	1.63	0.6122	0.3878
20	39.80	1.69	0.5918	0.4082
21	40.60	1.75	0.5714	0.4286
22	41.20	1.81	0.5510	0.4490
23	41.40	1.88	0.5306	0.4694
24	42.00	1.96	0.5102	0.4898
25	42.20	2.04	0.4898	0.5102
26	43.40	2.13	0.4694	0.5306
27	44.50	2.23	0.4490	0.5510
28	46.40	2.33	0.4286	0.5714
29	47.00	2.45	0.4082	0.5918
30	47.60	2.58	0.3878	0.6122
31	47.80	2.72	0.3673	0.6327
32	48.00	2.88	0.3469	0.6531
33	48.80	3.06	0.3265	0.6735
34	49.00	3.27	0.3061	0.6939
35	49.80	3.50	0.2857	0.7143
36	50.20	3.77	0.2653	0.7347
37	50.20	4.08	0.2449	0.7551
38	62.40	4.45	0.2245	0.7755
39	70.00	4.90	0.2041	0.7959
40	70.20	5.44	0.1837	0.8163
41	71.20	6.13	0.1633	0.8367
42	73.80	7.00	0.1429	0.8571
43	75.00	8.17	0.1224	0.8776
44	75.60	9.80	0.1020	0.8980
45	80.60	12.25	0.0816	0.9184
46	82.00	16.33	0.0612	0.9388
47	90.20	24.50	0.0408	0.9592
48	112.60	49.00	0.0204	0.9796

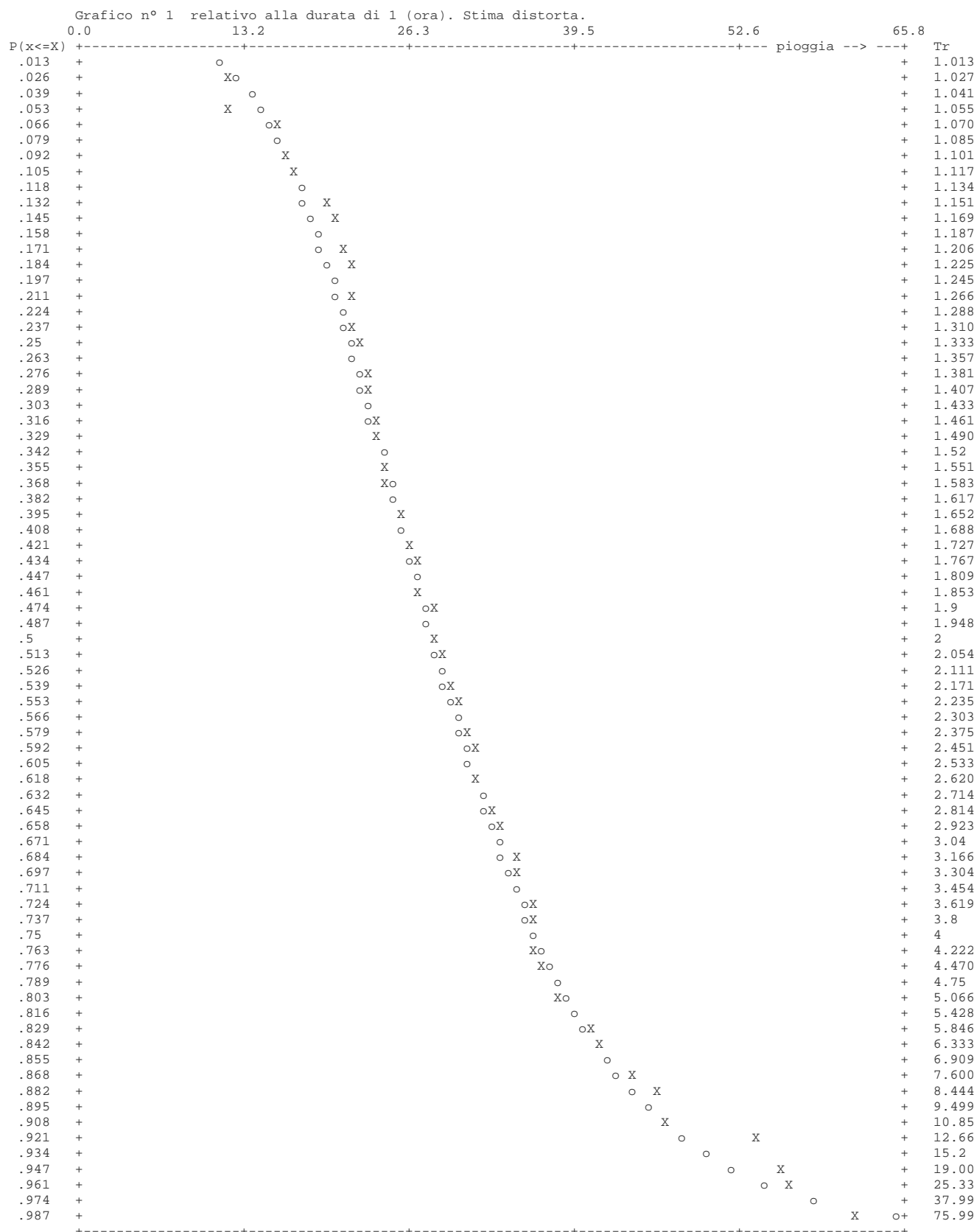
  

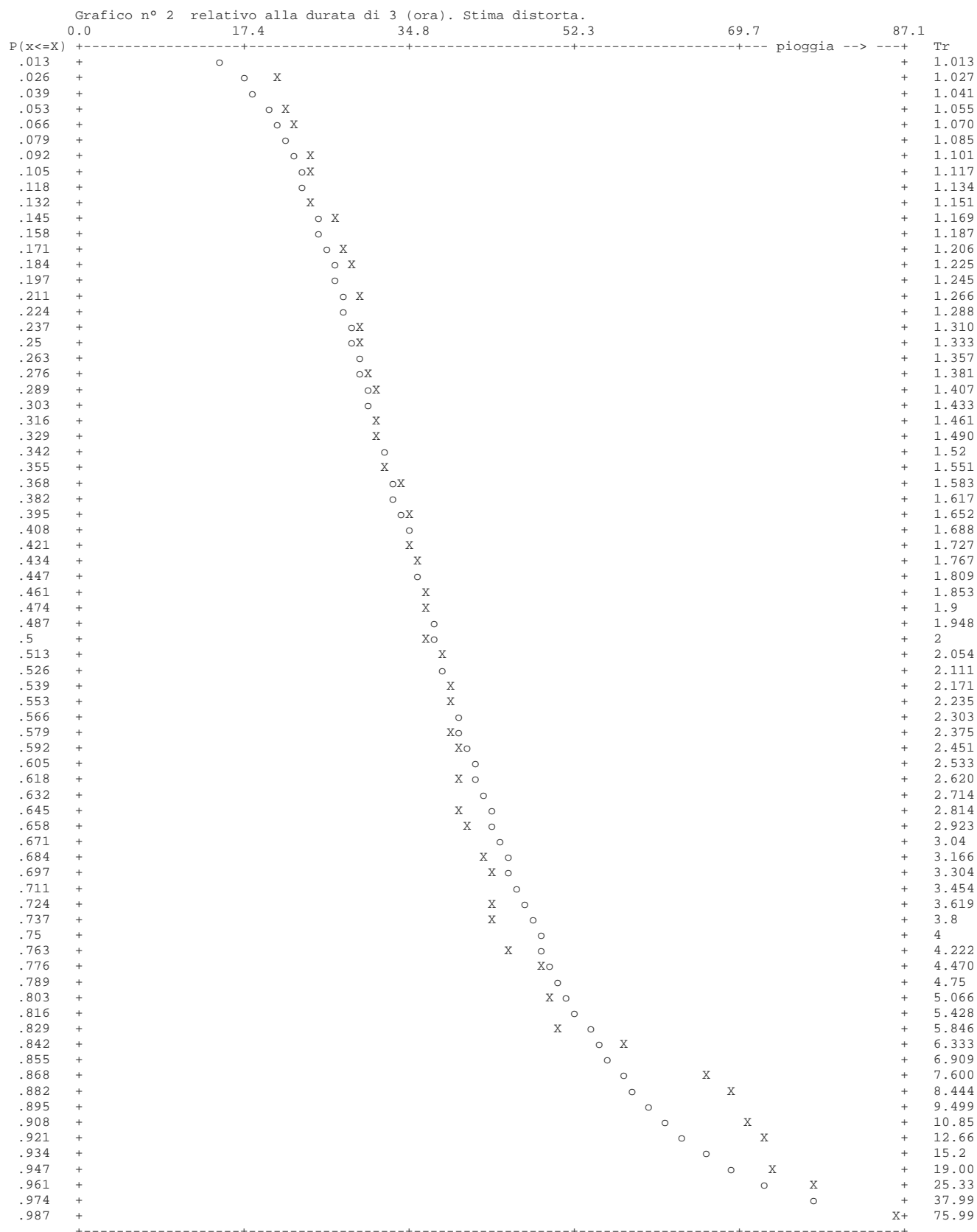
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
48.42	346.5765	353.9505	18.617	18.8136	0.384	0.3886	8715.58	9288.021	1.351	4.512

Parametri distribuzione EV1 con stima distorta. Tempo in (ora).

Tempo	alfa	u
1.00	9.3548	25.3337
3.00	12.2931	33.9336
6.00	14.3802	40.1185

Le rette regolarizzatrici sono del tipo:  $X = u + \alpha \cdot Y$





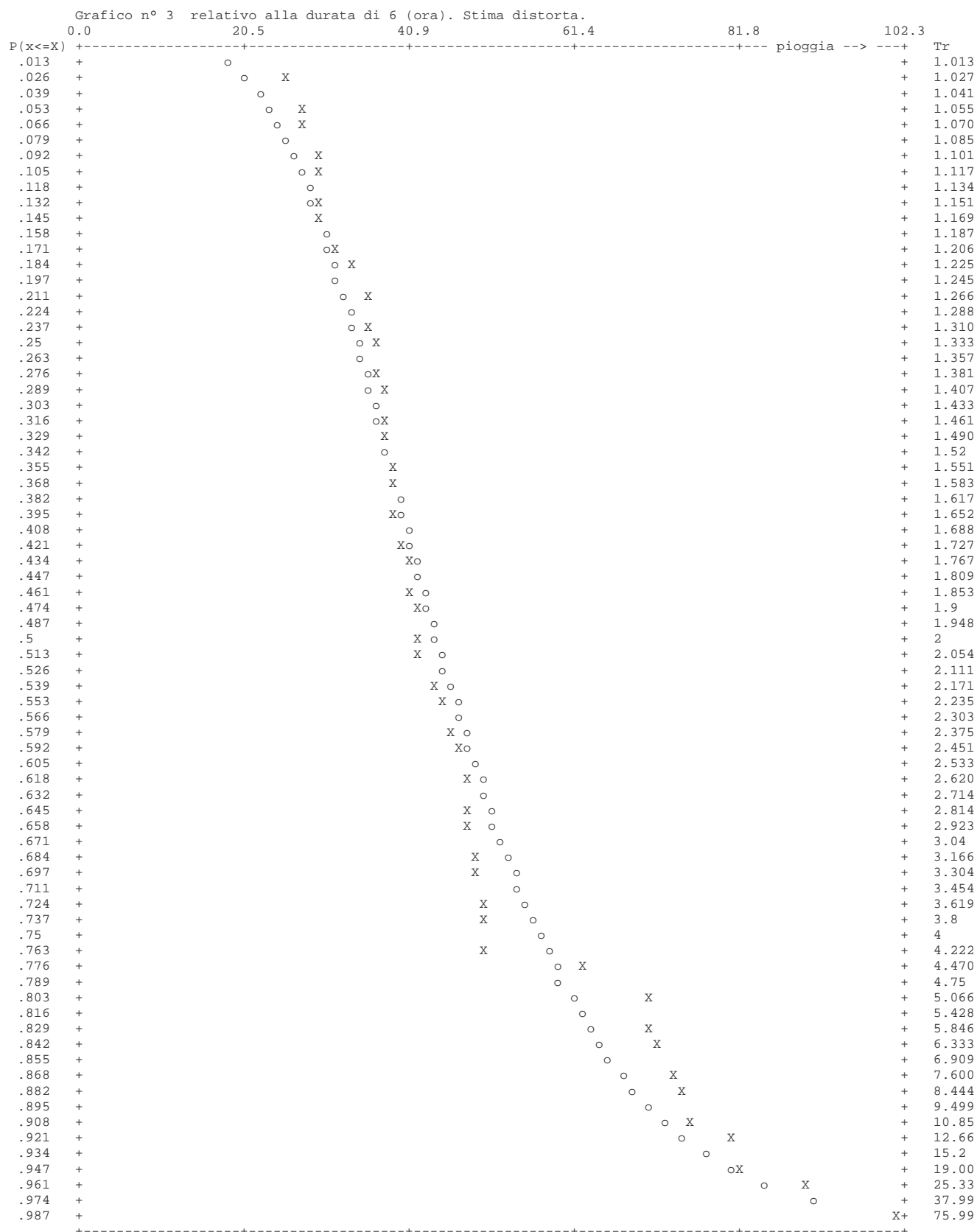


Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 1 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	17.53	5	4.80	0.20	0.04
2	0.10	0.20	0.80	20.88	2	4.80	-2.80	7.84
3	0.10	0.30	0.70	23.60	7	4.80	2.20	4.84
4	0.10	0.40	0.60	26.15	5	4.80	0.20	0.04
5	0.10	0.50	0.50	28.76	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	31.62	6	4.80	1.20	1.44
7	0.10	0.70	0.30	34.98	2	4.80	-2.80	7.84
8	0.10	0.80	0.20	39.37	7	4.80	2.20	4.84
9	0.10	0.90	0.10	46.39	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	133.04	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 5.75

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 3 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	23.68	3	4.80	-1.80	3.24
2	0.10	0.20	0.80	28.08	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	31.65	8	4.80	3.20	10.24
4	0.10	0.40	0.60	35.01	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	38.44	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	42.19	7	4.80	2.20	4.84
7	0.10	0.70	0.30	46.61	5	4.80	0.20	0.04
8	0.10	0.80	0.20	52.37	3	4.80	-1.80	3.24
9	0.10	0.90	0.10	61.60	1	4.80	-3.80	14.44
10	0.10	1.00	0.00	175.46	7	4.80	2.20	4.84

Parametro CHI2 calcolato: 8.67

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 6 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	28.12	3	4.80	-1.80	3.24
2	0.10	0.20	0.80	33.28	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	37.45	5	4.80	0.20	0.04
4	0.10	0.40	0.60	41.38	9	4.80	4.20	17.64
5	0.10	0.50	0.50	45.39	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	49.78	7	4.80	2.20	4.84
7	0.10	0.70	0.30	54.94	3	4.80	-1.80	3.24
8	0.10	0.80	0.20	61.69	0	4.80	-4.80	23.04
9	0.10	0.90	0.10	72.48	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	205.68	7	4.80	2.20	4.84

Parametro CHI2 calcolato: 12.00

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test di KOLMOGOROV-SMIRNOV. Stima distorta.

Num.di ordine	P(X)	1 F(X)	3 per ogni	6 valore temporale (ora)
------------------	------	-----------	---------------	-----------------------------

1	0.020	0.014	0.060	0.062
2	0.041	0.016	0.068	0.095
3	0.061	0.063	0.081	0.098
4	0.082	0.079	0.106	0.118
5	0.102	0.087	0.110	0.118
6	0.122	0.164	0.118	0.125
7	0.143	0.171	0.172	0.133
8	0.163	0.211	0.187	0.156
9	0.184	0.218	0.208	0.212
10	0.204	0.225	0.230	0.264
11	0.224	0.232	0.238	0.269
12	0.245	0.240	0.241	0.274
13	0.265	0.270	0.252	0.279
14	0.286	0.277	0.281	0.314
15	0.306	0.308	0.287	0.314
16	0.327	0.308	0.298	0.314
17	0.347	0.331	0.316	0.339
18	0.367	0.339	0.364	0.339
19	0.388	0.378	0.388	0.344
20	0.408	0.410	0.400	0.360
21	0.429	0.433	0.424	0.380
22	0.449	0.433	0.441	0.396
23	0.469	0.471	0.444	0.401
24	0.490	0.471	0.447	0.416
25	0.510	0.509	0.488	0.421
26	0.531	0.531	0.510	0.451
27	0.551	0.559	0.516	0.478
28	0.571	0.579	0.521	0.524
29	0.592	0.593	0.532	0.538
30	0.612	0.599	0.548	0.552
31	0.633	0.638	0.554	0.556
32	0.653	0.650	0.575	0.561
33	0.673	0.701	0.620	0.579
34	0.694	0.701	0.625	0.583
35	0.714	0.724	0.634	0.600
36	0.735	0.731	0.634	0.609
37	0.755	0.731	0.662	0.609
38	0.776	0.750	0.742	0.809
39	0.796	0.781	0.760	0.882
40	0.816	0.819	0.763	0.884
41	0.837	0.836	0.862	0.891
42	0.857	0.873	0.931	0.908
43	0.878	0.894	0.942	0.915
44	0.898	0.904	0.949	0.919
45	0.918	0.954	0.955	0.942
46	0.939	0.963	0.960	0.947
47	0.959	0.966	0.970	0.970
48	0.980	0.980	0.987	0.994
< P - F >	0.048	0.101	0.146	
< P - F >cr	0.194	0.194	0.194	

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione non risulta accettabile (stima distorta).

Curva di possibilità pluviometrica (stima distorta)

Tr = 50.00 (anni)      H =  $61.99 * t^{0.247}$  (mm)      CC = 1.000

## PARTE 5 - PIOGGE di 3 ore, 6 ore e 12 ore

Tabella 1

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 3 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	21.20	1.02	0.9796	0.0204						
2	21.80	1.04	0.9592	0.0408						
3	22.60	1.07	0.9388	0.0612						
4	24.00	1.09	0.9184	0.0816						
5	24.20	1.11	0.8980	0.1020						
6	24.60	1.14	0.8776	0.1224						
7	27.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	27.60	1.20	0.8367	0.1633						
9	28.40	1.23	0.8163	0.1837						
10	29.20	1.26	0.7959	0.2041						
11	29.50	1.29	0.7755	0.2245						
12	29.60	1.32	0.7551	0.2449						
13	30.00	1.36	0.7347	0.2653						
14	31.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	31.20	1.44	0.6939	0.3061						
16	31.60	1.48	0.6735	0.3265						
17	32.20	1.53	0.6531	0.3469						
18	33.80	1.58	0.6327	0.3673						
19	34.60	1.63	0.6122	0.3878						
20	35.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	35.80	1.75	0.5714	0.4286						
22	36.40	1.81	0.5510	0.4490						
23	36.50	1.88	0.5306	0.4694						
24	36.60	1.96	0.5102	0.4898						
25	38.00	2.04	0.4898	0.5102						
26	38.80	2.13	0.4694	0.5306						
27	39.00	2.23	0.4490	0.5510						
28	39.20	2.33	0.4286	0.5714						
29	39.60	2.45	0.4082	0.5918						
30	40.20	2.58	0.3878	0.6122						
31	40.40	2.72	0.3673	0.6327						
32	41.20	2.88	0.3469	0.6531						
33	43.00	3.06	0.3265	0.6735						
34	43.20	3.27	0.3061	0.6939						
35	43.60	3.50	0.2857	0.7143						
36	43.60	3.77	0.2653	0.7347						
37	44.80	4.08	0.2449	0.7551						
38	48.80	4.45	0.2245	0.7755						
39	49.80	4.90	0.2041	0.7959						
40	50.00	5.44	0.1837	0.8163						
41	57.40	6.13	0.1633	0.8367						
42	66.40	7.00	0.1429	0.8571						
43	68.60	8.17	0.1224	0.8776						
44	70.20	9.80	0.1020	0.8980						
45	71.80	12.25	0.0816	0.9184						
46	73.40	16.33	0.0612	0.9388						
47	77.00	24.50	0.0408	0.9592						
48	87.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
41.03	245.7021	250.9298	15.675	15.8408	0.382	0.3861	4622.24	4925.828	1.200	3.724

Tabella 2

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 6 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	25.40	1.02	0.9796	0.0204						
2	27.80	1.04	0.9592	0.0408						
3	28.00	1.07	0.9388	0.0612						
4	29.20	1.09	0.9184	0.0816						
5	29.20	1.11	0.8980	0.1020						
6	29.60	1.14	0.8776	0.1224						
7	30.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	31.20	1.20	0.8367	0.1633						
9	33.80	1.23	0.8163	0.1837						
10	36.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	36.20	1.29	0.7755	0.2245						
12	36.40	1.32	0.7551	0.2449						
13	36.60	1.36	0.7347	0.2653						
14	38.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	38.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	38.00	1.48	0.6735	0.3265						
17	39.00	1.53	0.6531	0.3469						
18	39.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	39.20	1.63	0.6122	0.3878						
20	39.80	1.69	0.5918	0.4082						
21	40.60	1.75	0.5714	0.4286						
22	41.20	1.81	0.5510	0.4490						
23	41.40	1.88	0.5306	0.4694						
24	42.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	42.20	2.04	0.4898	0.5102						
26	43.40	2.13	0.4694	0.5306						
27	44.50	2.23	0.4490	0.5510						
28	46.40	2.33	0.4286	0.5714						
29	47.00	2.45	0.4082	0.5918						
30	47.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	47.80	2.72	0.3673	0.6327						
32	48.80	2.88	0.3469	0.6531						
33	48.80	3.06	0.3265	0.6735						
34	49.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	49.80	3.50	0.2857	0.7143						
36	50.20	3.77	0.2653	0.7347						
37	50.20	4.08	0.2449	0.7551						
38	62.40	4.45	0.2245	0.7755						
39	70.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	70.20	5.44	0.1837	0.8163						
41	71.20	6.13	0.1633	0.8367						
42	73.80	7.00	0.1429	0.8571						
43	75.00	8.17	0.1224	0.8776						
44	75.60	9.80	0.1020	0.8980						
45	80.60	12.25	0.0816	0.9184						
46	82.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	90.20	24.50	0.0408	0.9592						
48	112.60	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
48.44	346.5756	353.9496	18.617	18.8135	0.384	0.3884	8698.25	9269.554	1.348	4.507

Tabella 3

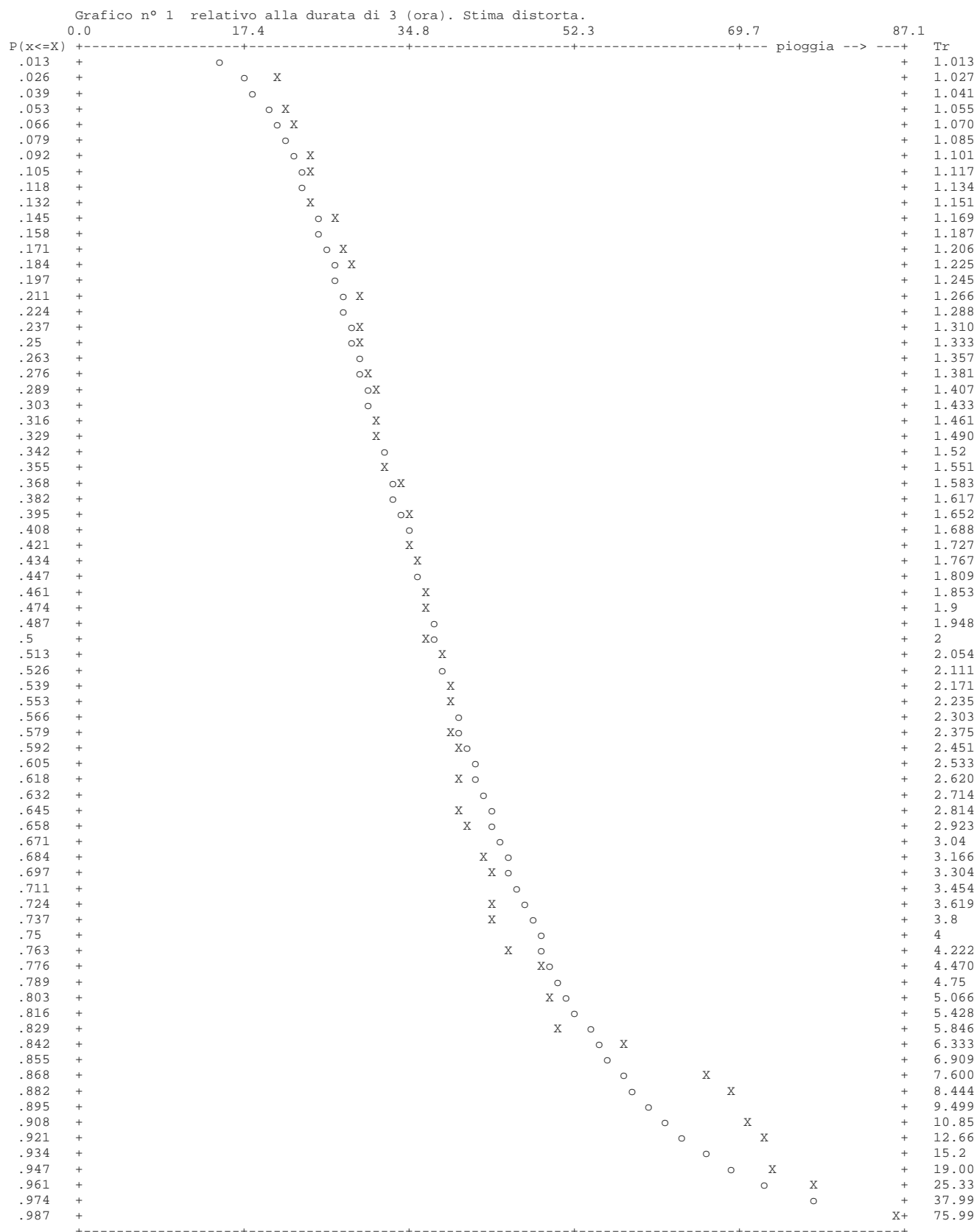
Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 12 (ora)

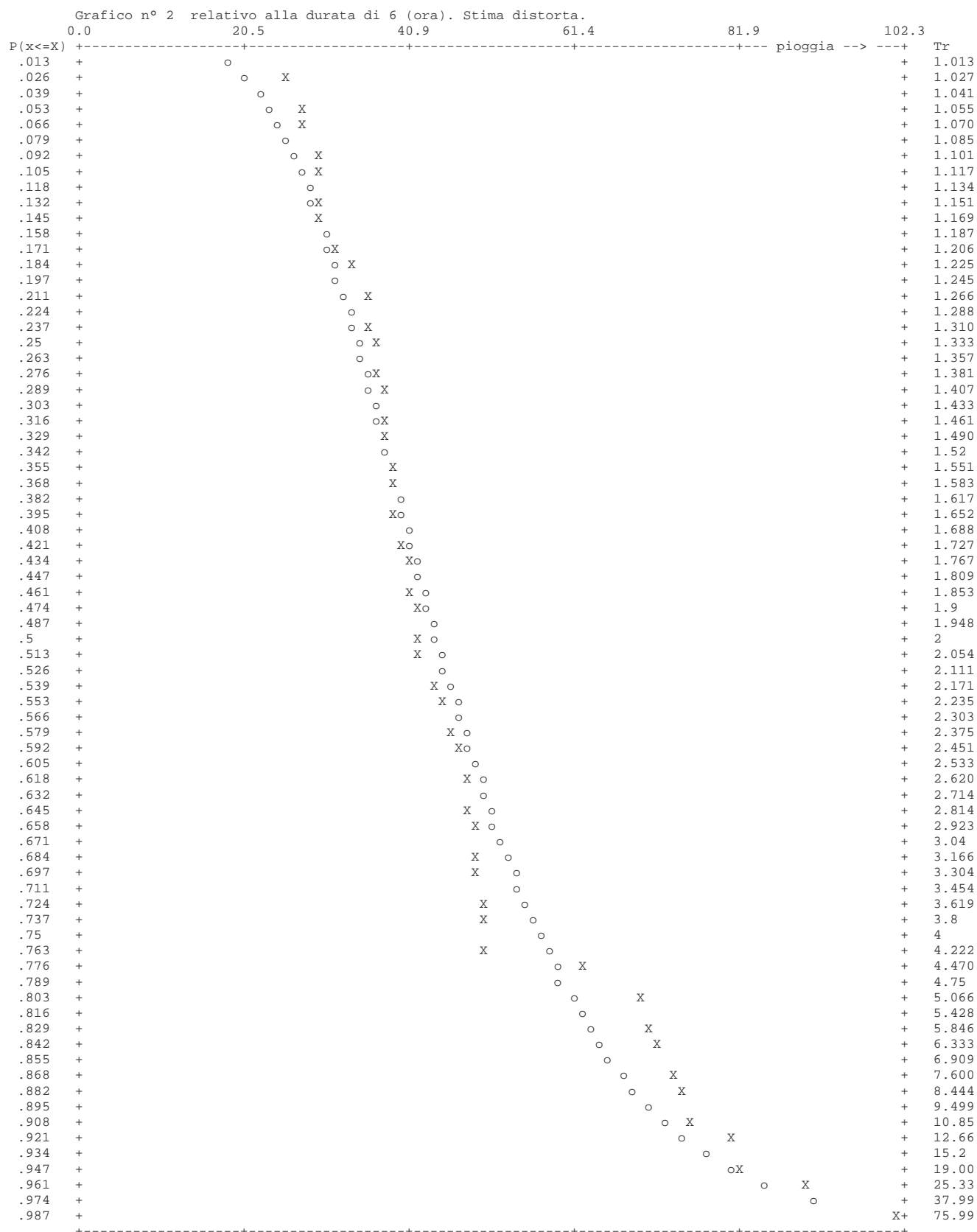
N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	33.80	1.02	0.9796	0.0204						
2	34.60	1.04	0.9592	0.0408						
3	36.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	37.40	1.09	0.9184	0.0816						
5	37.80	1.11	0.8980	0.1020						
6	38.00	1.14	0.8776	0.1224						
7	38.60	1.17	0.8571	0.1429						
8	39.00	1.20	0.8367	0.1633						
9	39.20	1.23	0.8163	0.1837						
10	39.20	1.26	0.7959	0.2041						
11	39.60	1.29	0.7755	0.2245						
12	40.40	1.32	0.7551	0.2449						
13	40.80	1.36	0.7347	0.2653						
14	42.20	1.40	0.7143	0.2857						
15	42.40	1.44	0.6939	0.3061						
16	43.80	1.48	0.6735	0.3265						
17	43.80	1.53	0.6531	0.3469						
18	44.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	44.80	1.63	0.6122	0.3878						
20	45.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	47.80	1.75	0.5714	0.4286						
22	48.40	1.81	0.5510	0.4490						
23	48.80	1.88	0.5306	0.4694						
24	50.40	1.96	0.5102	0.4898						
25	52.80	2.04	0.4898	0.5102						
26	53.60	2.13	0.4694	0.5306						
27	54.40	2.23	0.4490	0.5510						
28	55.20	2.33	0.4286	0.5714						
29	58.60	2.45	0.4082	0.5918						
30	59.80	2.58	0.3878	0.6122						
31	60.00	2.72	0.3673	0.6327						
32	60.00	2.88	0.3469	0.6531						
33	60.40	3.06	0.3265	0.6735						
34	62.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	65.00	3.50	0.2857	0.7143						
36	69.40	3.77	0.2653	0.7347						
37	71.20	4.08	0.2449	0.7551						
38	75.00	4.45	0.2245	0.7755						
39	76.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	76.40	5.44	0.1837	0.8163						
41	77.00	6.13	0.1633	0.8367						
42	79.60	7.00	0.1429	0.8571						
43	80.60	8.17	0.1224	0.8776						
44	86.00	9.80	0.1020	0.8980						
45	88.80	12.25	0.0816	0.9184						
46	107.80	16.33	0.0612	0.9388						
47	116.20	24.50	0.0408	0.9592						
48	120.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
57.55	440.7375	450.1148	20.994	21.2159	0.365	0.3687	11635.43	12399.645	1.258	4.114

Parametri distribuzione EV1 con stima distorta. Tempo in (ora).

Tempo	alfa	u
3.00	12.2931	33.9336
6.00	14.3879	40.1308
12.00	16.5509	47.9968

Le rette regolarizzatrici sono del tipo:  $X = u + \text{alfa} * Y$





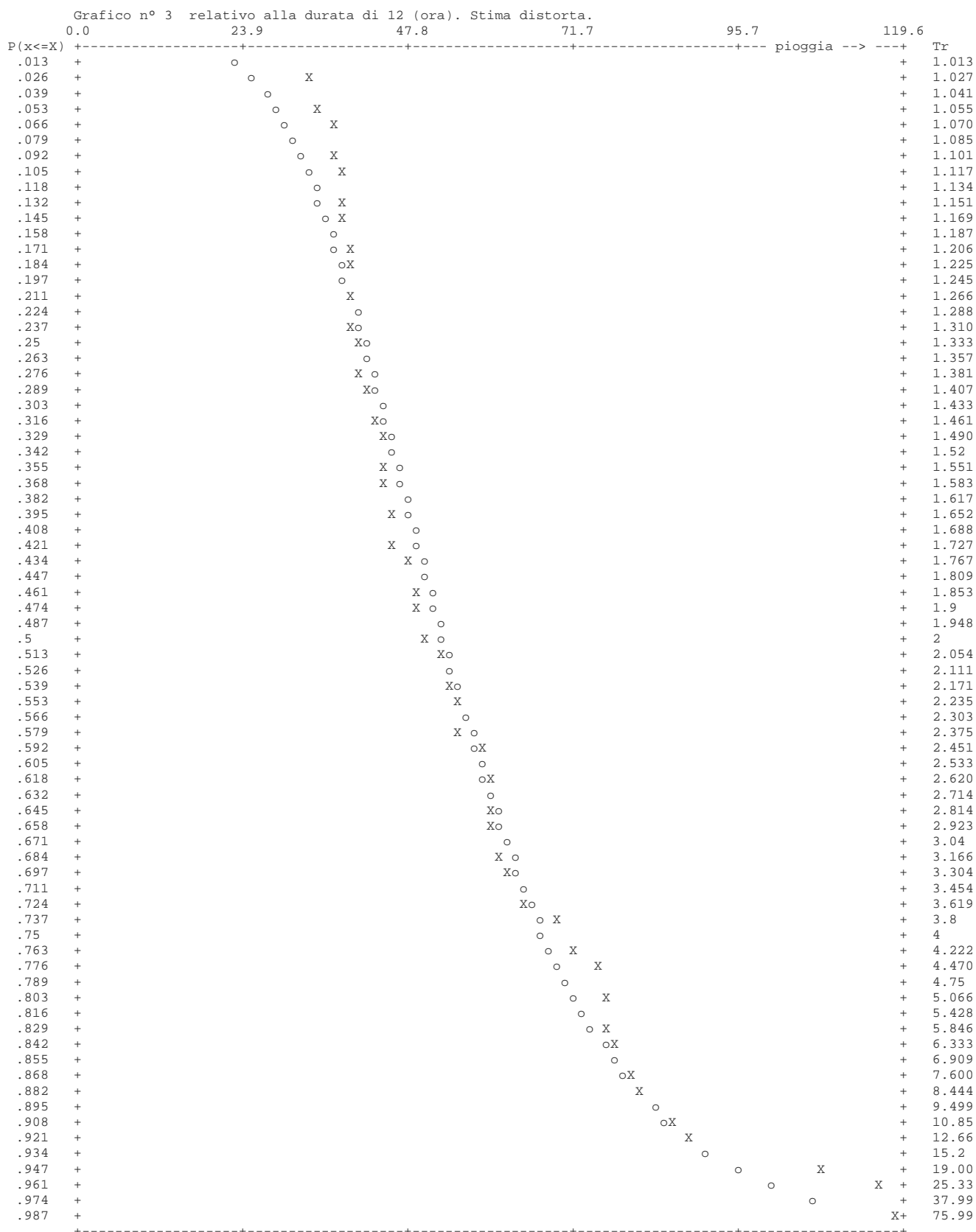


Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 3 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	23.68	3	4.80	-1.80	3.24
2	0.10	0.20	0.80	28.08	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	31.65	8	4.80	3.20	10.24
4	0.10	0.40	0.60	35.01	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	38.44	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	42.19	7	4.80	2.20	4.84
7	0.10	0.70	0.30	46.61	5	4.80	0.20	0.04
8	0.10	0.80	0.20	52.37	3	4.80	-1.80	3.24
9	0.10	0.90	0.10	61.60	1	4.80	-3.80	14.44
10	0.10	1.00	0.00	175.46	7	4.80	2.20	4.84

Parametro CHI2 calcolato: 8.67  
Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 6 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	28.13	3	4.80	-1.80	3.24
2	0.10	0.20	0.80	33.28	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	37.46	5	4.80	0.20	0.04
4	0.10	0.40	0.60	41.39	9	4.80	4.20	17.64
5	0.10	0.50	0.50	45.40	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	49.80	7	4.80	2.20	4.84
7	0.10	0.70	0.30	54.96	3	4.80	-1.80	3.24
8	0.10	0.80	0.20	61.71	0	4.80	-4.80	23.04
9	0.10	0.90	0.10	72.51	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	205.78	7	4.80	2.20	4.84

Parametro CHI2 calcolato: 12.00  
Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 12 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	34.19	1	4.80	-3.80	14.44
2	0.10	0.20	0.80	40.12	10	4.80	5.20	27.04
3	0.10	0.30	0.70	44.92	8	4.80	3.20	10.24
4	0.10	0.40	0.60	49.44	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	54.06	3	4.80	-1.80	3.24
6	0.10	0.60	0.40	59.11	3	4.80	-1.80	3.24
7	0.10	0.70	0.30	65.06	6	4.80	1.20	1.44
8	0.10	0.80	0.20	72.82	2	4.80	-2.80	7.84
9	0.10	0.90	0.10	85.24	6	4.80	1.20	1.44
10	0.10	1.00	0.00	238.55	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 14.50  
Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione non risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test di KOLMOGOROV-SMIRNOV. Stima distorta.

Num.di	3	6	12
ordine	P(X)	F(X)	per ogni valore temporale (ora)

1	0.020	0.060	0.062	0.095
2	0.041	0.068	0.095	0.106
3	0.061	0.081	0.098	0.140
4	0.082	0.106	0.118	0.150
5	0.102	0.110	0.118	0.157
6	0.122	0.118	0.125	0.161
7	0.143	0.172	0.132	0.171
8	0.163	0.187	0.156	0.179
9	0.184	0.208	0.212	0.182
10	0.204	0.230	0.264	0.182
11	0.224	0.238	0.269	0.190
12	0.245	0.241	0.274	0.205
13	0.265	0.252	0.279	0.213
14	0.286	0.281	0.314	0.242
15	0.306	0.287	0.314	0.246
16	0.327	0.298	0.314	0.276
17	0.347	0.316	0.339	0.276
18	0.367	0.364	0.339	0.280
19	0.388	0.388	0.344	0.297
20	0.408	0.400	0.359	0.302
21	0.429	0.424	0.380	0.364
22	0.449	0.441	0.395	0.377
23	0.469	0.444	0.400	0.386
24	0.490	0.447	0.416	0.421
25	0.510	0.488	0.421	0.473
26	0.531	0.510	0.451	0.490
27	0.551	0.516	0.478	0.507
28	0.571	0.521	0.524	0.524
29	0.592	0.532	0.538	0.590
30	0.612	0.548	0.552	0.613
31	0.633	0.554	0.556	0.616
32	0.653	0.575	0.578	0.616
33	0.673	0.620	0.578	0.623
34	0.694	0.625	0.583	0.651
35	0.714	0.634	0.600	0.699
36	0.735	0.634	0.609	0.760
37	0.755	0.662	0.609	0.782
38	0.776	0.742	0.808	0.822
39	0.796	0.760	0.882	0.832
40	0.816	0.763	0.884	0.835
41	0.837	0.862	0.891	0.841
42	0.857	0.931	0.908	0.862
43	0.878	0.942	0.915	0.870
44	0.898	0.949	0.919	0.904
45	0.918	0.955	0.942	0.919
46	0.939	0.960	0.947	0.973
47	0.959	0.970	0.970	0.984
48	0.980	0.987	0.994	0.987
< P - F >	0.101	0.147	0.107	
< P - F >cr	0.194	0.194	0.194	

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione non risulta accettabile (stima distorta).

Curva di possibilità pluviometrica (stima distorta)

Tr = 50.00 (anni)      H = 63.70 \* t ^ 0.229 (mm)      CC = 1.000

## PARTE 6 - PIOGGE di 6 ore, 12 ore e 24 ore

Tabella 1

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 6 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	25.40	1.02	0.9796	0.0204						
2	27.80	1.04	0.9592	0.0408						
3	28.00	1.07	0.9388	0.0612						
4	29.20	1.09	0.9184	0.0816						
5	29.20	1.11	0.8980	0.1020						
6	29.60	1.14	0.8776	0.1224						
7	30.00	1.17	0.8571	0.1429						
8	31.20	1.20	0.8367	0.1633						
9	33.80	1.23	0.8163	0.1837						
10	36.00	1.26	0.7959	0.2041						
11	36.20	1.29	0.7755	0.2245						
12	36.40	1.32	0.7551	0.2449						
13	36.60	1.36	0.7347	0.2653						
14	38.00	1.40	0.7143	0.2857						
15	38.00	1.44	0.6939	0.3061						
16	38.00	1.48	0.6735	0.3265						
17	39.00	1.53	0.6531	0.3469						
18	39.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	39.20	1.63	0.6122	0.3878						
20	39.80	1.69	0.5918	0.4082						
21	40.60	1.75	0.5714	0.4286						
22	41.20	1.81	0.5510	0.4490						
23	41.40	1.88	0.5306	0.4694						
24	42.00	1.96	0.5102	0.4898						
25	42.20	2.04	0.4898	0.5102						
26	43.40	2.13	0.4694	0.5306						
27	44.50	2.23	0.4490	0.5510						
28	46.40	2.33	0.4286	0.5714						
29	47.00	2.45	0.4082	0.5918						
30	47.60	2.58	0.3878	0.6122						
31	47.80	2.72	0.3673	0.6327						
32	48.80	2.88	0.3469	0.6531						
33	48.80	3.06	0.3265	0.6735						
34	49.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	49.80	3.50	0.2857	0.7143						
36	50.20	3.77	0.2653	0.7347						
37	50.20	4.08	0.2449	0.7551						
38	62.40	4.45	0.2245	0.7755						
39	70.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	70.20	5.44	0.1837	0.8163						
41	71.20	6.13	0.1633	0.8367						
42	73.80	7.00	0.1429	0.8571						
43	75.00	8.17	0.1224	0.8776						
44	75.60	9.80	0.1020	0.8980						
45	80.60	12.25	0.0816	0.9184						
46	82.00	16.33	0.0612	0.9388						
47	90.20	24.50	0.0408	0.9592						
48	112.60	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
48.44	346.5756	353.9496	18.617	18.8135	0.384	0.3884	8698.25	9269.554	1.348	4.507

Tabella 2

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 12 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)						
1	33.80	1.02	0.9796	0.0204						
2	34.60	1.04	0.9592	0.0408						
3	36.80	1.07	0.9388	0.0612						
4	37.40	1.09	0.9184	0.0816						
5	37.80	1.11	0.8980	0.1020						
6	38.00	1.14	0.8776	0.1224						
7	38.60	1.17	0.8571	0.1429						
8	39.00	1.20	0.8367	0.1633						
9	39.20	1.23	0.8163	0.1837						
10	39.20	1.26	0.7959	0.2041						
11	39.60	1.29	0.7755	0.2245						
12	40.40	1.32	0.7551	0.2449						
13	40.80	1.36	0.7347	0.2653						
14	42.20	1.40	0.7143	0.2857						
15	42.40	1.44	0.6939	0.3061						
16	43.80	1.48	0.6735	0.3265						
17	43.80	1.53	0.6531	0.3469						
18	44.00	1.58	0.6327	0.3673						
19	44.80	1.63	0.6122	0.3878						
20	45.00	1.69	0.5918	0.4082						
21	47.80	1.75	0.5714	0.4286						
22	48.40	1.81	0.5510	0.4490						
23	48.80	1.88	0.5306	0.4694						
24	50.40	1.96	0.5102	0.4898						
25	52.80	2.04	0.4898	0.5102						
26	53.60	2.13	0.4694	0.5306						
27	54.40	2.23	0.4490	0.5510						
28	55.20	2.33	0.4286	0.5714						
29	58.60	2.45	0.4082	0.5918						
30	59.80	2.58	0.3878	0.6122						
31	60.00	2.72	0.3673	0.6327						
32	60.00	2.88	0.3469	0.6531						
33	60.40	3.06	0.3265	0.6735						
34	62.00	3.27	0.3061	0.6939						
35	65.00	3.50	0.2857	0.7143						
36	69.40	3.77	0.2653	0.7347						
37	71.20	4.08	0.2449	0.7551						
38	75.00	4.45	0.2245	0.7755						
39	76.00	4.90	0.2041	0.7959						
40	76.40	5.44	0.1837	0.8163						
41	76.60	6.13	0.1633	0.8367						
42	77.00	7.00	0.1429	0.8571						
43	80.60	8.17	0.1224	0.8776						
44	86.00	9.80	0.1020	0.8980						
45	88.80	12.25	0.0816	0.9184						
46	107.80	16.33	0.0612	0.9388						
47	116.20	24.50	0.0408	0.9592						
48	120.00	49.00	0.0204	0.9796						
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m.	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
57.49	438.1648	447.4875	20.932	21.1539	0.364	0.3680	11638.27	12402.666	1.269	4.166

Tabella 3

Regolarizzazione delle precipitazioni secondo la distribuzione Doppio Esponenziale di Gumbel (EV1) con adattamento secondo i Momenti Pesati in Probabilità (PWM), stima distorta, per il tempo 24 (ora)

N.	Pgg (mm)	Tr (anni)	P(x>X)	P(x<=X)
1	37.40	1.02	0.9796	0.0204
2	39.20	1.04	0.9592	0.0408
3	41.20	1.07	0.9388	0.0612
4	42.40	1.09	0.9184	0.0816
5	48.40	1.11	0.8980	0.1020
6	48.60	1.14	0.8776	0.1224
7	48.80	1.17	0.8571	0.1429
8	49.00	1.20	0.8367	0.1633
9	50.20	1.23	0.8163	0.1837
10	50.20	1.26	0.7959	0.2041
11	50.80	1.29	0.7755	0.2245
12	52.00	1.32	0.7551	0.2449
13	52.60	1.36	0.7347	0.2653
14	53.80	1.40	0.7143	0.2857
15	54.40	1.44	0.6939	0.3061
16	54.80	1.48	0.6735	0.3265
17	55.40	1.53	0.6531	0.3469
18	57.00	1.58	0.6327	0.3673
19	57.20	1.63	0.6122	0.3878
20	58.60	1.69	0.5918	0.4082
21	59.60	1.75	0.5714	0.4286
22	60.60	1.81	0.5510	0.4490
23	61.20	1.88	0.5306	0.4694
24	62.60	1.96	0.5102	0.4898
25	65.00	2.04	0.4898	0.5102
26	68.60	2.13	0.4694	0.5306
27	68.60	2.23	0.4490	0.5510
28	70.00	2.33	0.4286	0.5714
29	70.00	2.45	0.4082	0.5918
30	71.20	2.58	0.3878	0.6122
31	73.60	2.72	0.3673	0.6327
32	73.60	2.88	0.3469	0.6531
33	76.00	3.06	0.3265	0.6735
34	77.60	3.27	0.3061	0.6939
35	81.50	3.50	0.2857	0.7143
36	81.60	3.77	0.2653	0.7347
37	82.80	4.08	0.2449	0.7551
38	87.00	4.45	0.2245	0.7755
39	87.00	4.90	0.2041	0.7959
40	87.50	5.44	0.1837	0.8163
41	88.80	6.13	0.1633	0.8367
42	94.10	7.00	0.1429	0.8571
43	96.60	8.17	0.1224	0.8776
44	97.00	9.80	0.1020	0.8980
45	107.00	12.25	0.0816	0.9184
46	116.20	16.33	0.0612	0.9388
47	116.80	24.50	0.0408	0.9592
48	134.80	49.00	0.0204	0.9796

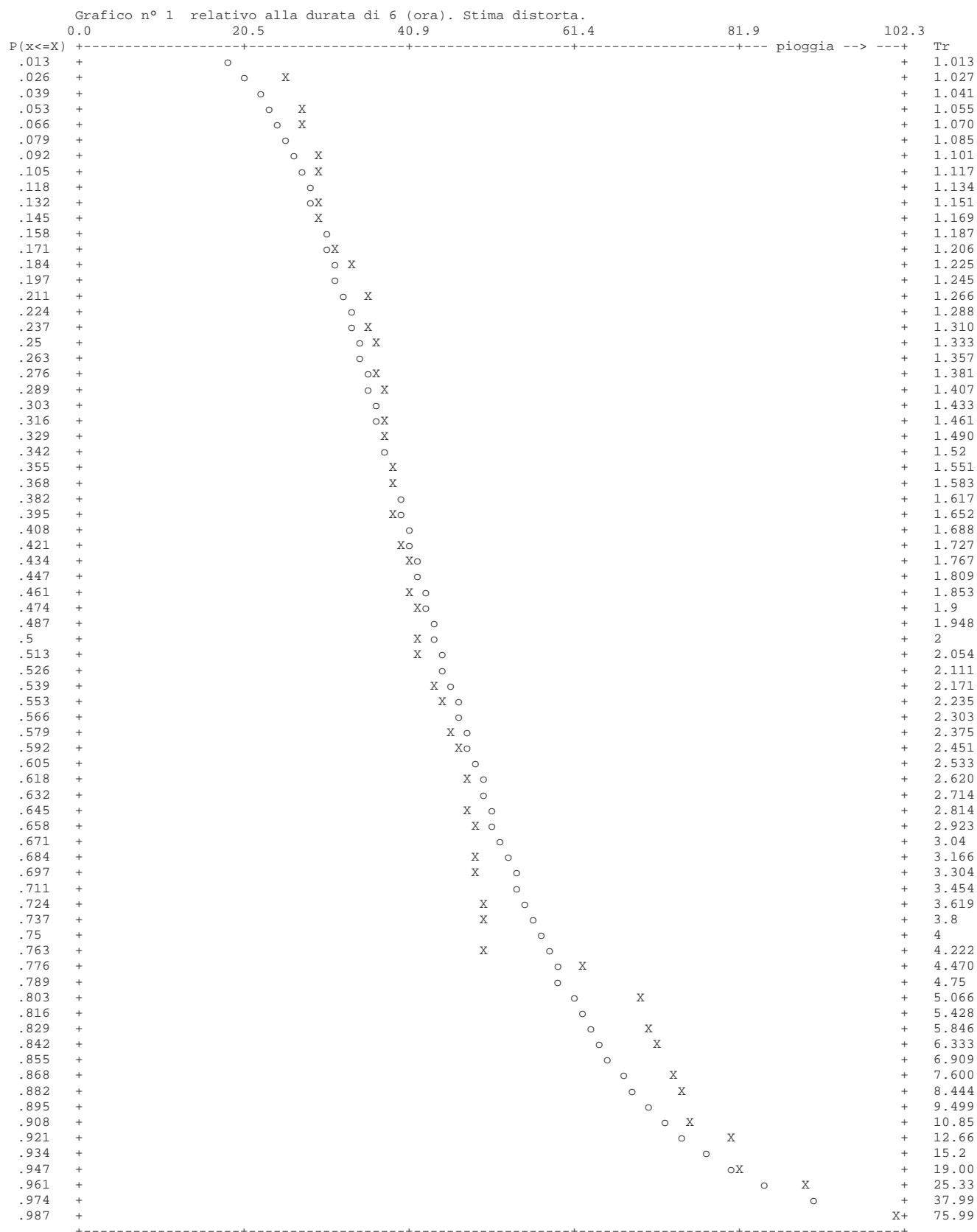
  

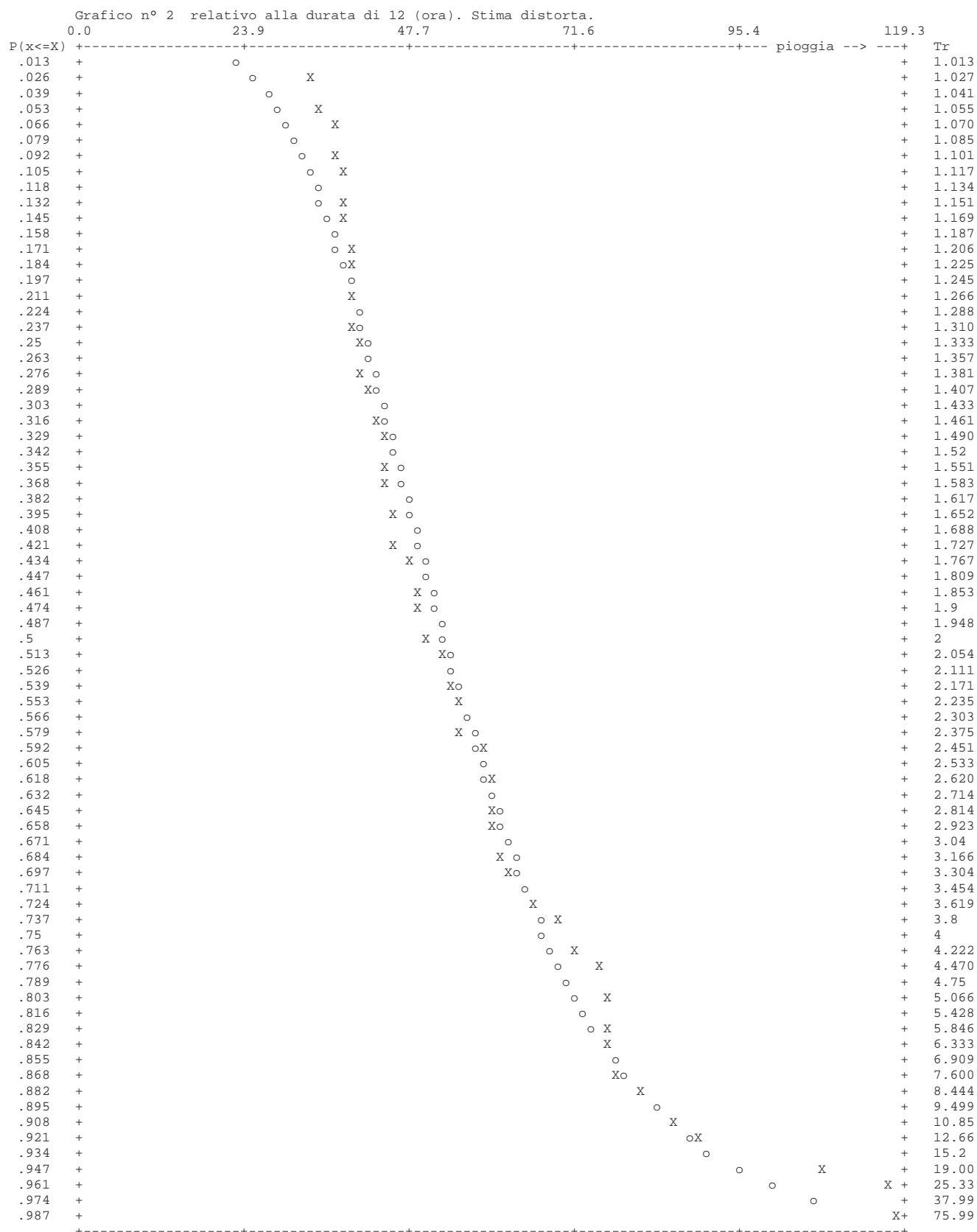
Media	Varianza	Varianza corretta	S.q.m	S.q.m. corretto	Cff.di vari.C	Cff. C corretto	Mom.3	Mom.3 corretto	Coeff. asimm.	Kurtosis
69.14	471.4967	481.5285	21.714	21.9438	0.314	0.3174	9531.76	10157.811	0.931	3.490

Parametri distribuzione EV1 con stima distorta. Tempo in (ora).

Tempo	alfa	u
6.00	14.3879	40.1308
12.00	16.4851	47.9723
24.00	17.7913	58.8746

Le rette regolarizzatrici sono del tipo:  $X = u + \text{alfa} * Y$





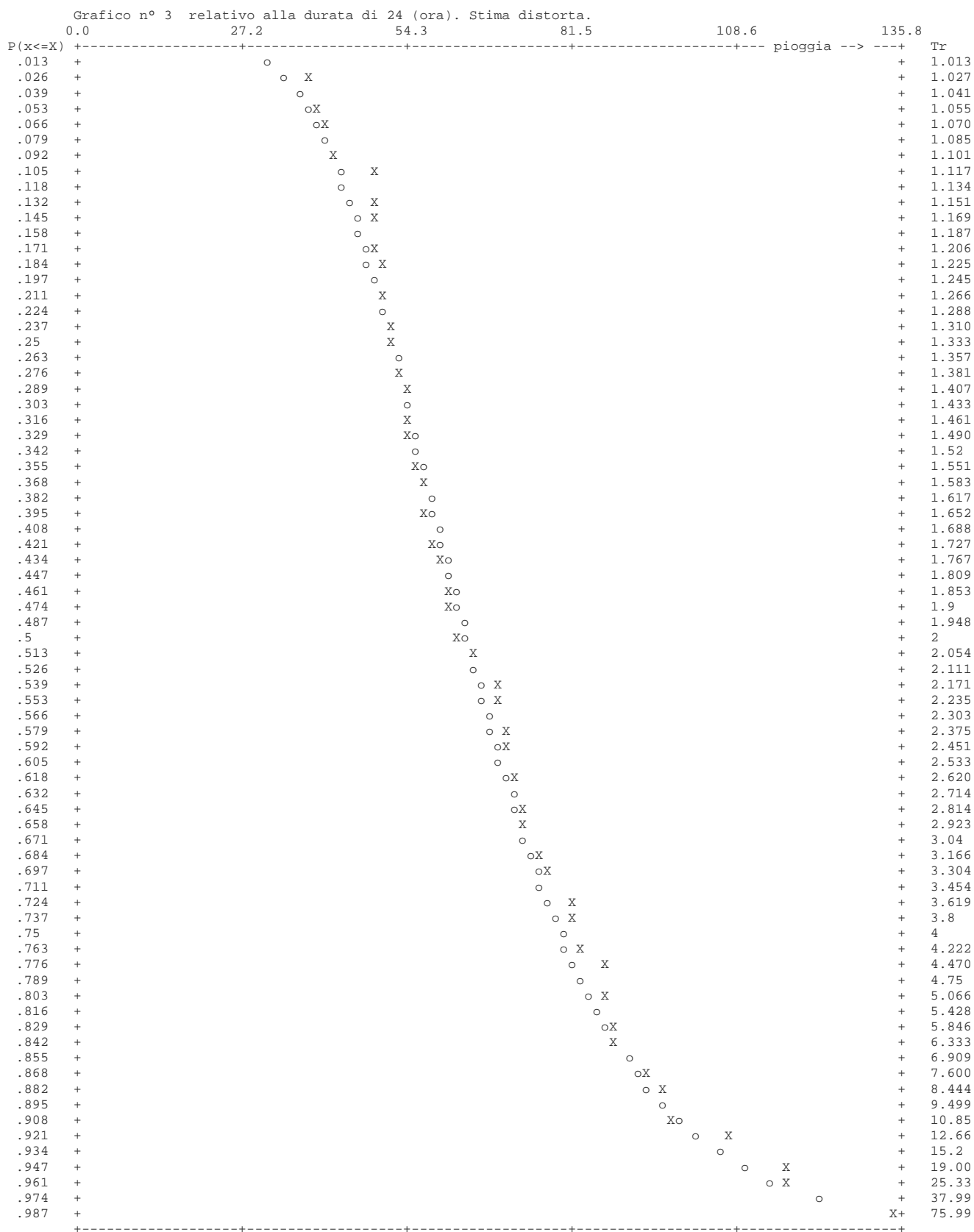


Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 6 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	28.13	3	4.80	-1.80	3.24
2	0.10	0.20	0.80	33.28	5	4.80	0.20	0.04
3	0.10	0.30	0.70	37.46	5	4.80	0.20	0.04
4	0.10	0.40	0.60	41.39	9	4.80	4.20	17.64
5	0.10	0.50	0.50	45.40	5	4.80	0.20	0.04
6	0.10	0.60	0.40	49.80	7	4.80	2.20	4.84
7	0.10	0.70	0.30	54.96	3	4.80	-1.80	3.24
8	0.10	0.80	0.20	61.71	0	4.80	-4.80	23.04
9	0.10	0.90	0.10	72.51	4	4.80	-0.80	0.64
10	0.10	1.00	0.00	205.78	7	4.80	2.20	4.84

Parametro CHI2 calcolato: 12.00

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 12 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	34.22	1	4.80	-3.80	14.44
2	0.10	0.20	0.80	40.13	10	4.80	5.20	27.04
3	0.10	0.30	0.70	44.91	8	4.80	3.20	10.24
4	0.10	0.40	0.60	49.41	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	54.01	3	4.80	-1.80	3.24
6	0.10	0.60	0.40	59.05	3	4.80	-1.80	3.24
7	0.10	0.70	0.30	64.97	5	4.80	0.20	0.04
8	0.10	0.80	0.20	72.70	3	4.80	-1.80	3.24
9	0.10	0.90	0.10	85.07	6	4.80	1.20	1.44
10	0.10	1.00	0.00	237.76	5	4.80	0.20	0.04

Parametro CHI2 calcolato: 13.25

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test CHI2 (stima distorta) per la durata 24 (ora)

Num.di ordine	Densità di probabilità	P(x<=X)	P(x>X)	Estremo sup. di classe	Frequenza assoluta N	Frequenza attesa F	N - F	(N-F)2
1	0.10	0.10	0.90	44.04	4	4.80	-0.80	0.64
2	0.10	0.20	0.80	50.41	6	4.80	1.20	1.44
3	0.10	0.30	0.70	55.57	7	4.80	2.20	4.84
4	0.10	0.40	0.60	60.43	4	4.80	-0.80	0.64
5	0.10	0.50	0.50	65.40	4	4.80	-0.80	0.64
6	0.10	0.60	0.40	70.83	4	4.80	-0.80	0.64
7	0.10	0.70	0.30	77.22	4	4.80	-0.80	0.64
8	0.10	0.80	0.20	85.56	4	4.80	-0.80	0.64
9	0.10	0.90	0.10	98.91	7	4.80	2.20	4.84
10	0.10	1.00	0.00	263.70	4	4.80	-0.80	0.64

Parametro CHI2 calcolato: 3.25

Parametro CHI2 critico : 14.10

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione risulta accettabile (stima distorta).

Tabella del test di KOLMOGOROV-SMIRNOV. Stima distorta.

Num.di            6        12        24  
ordine   P(X)   F(X) per ogni valore temporale (ora)

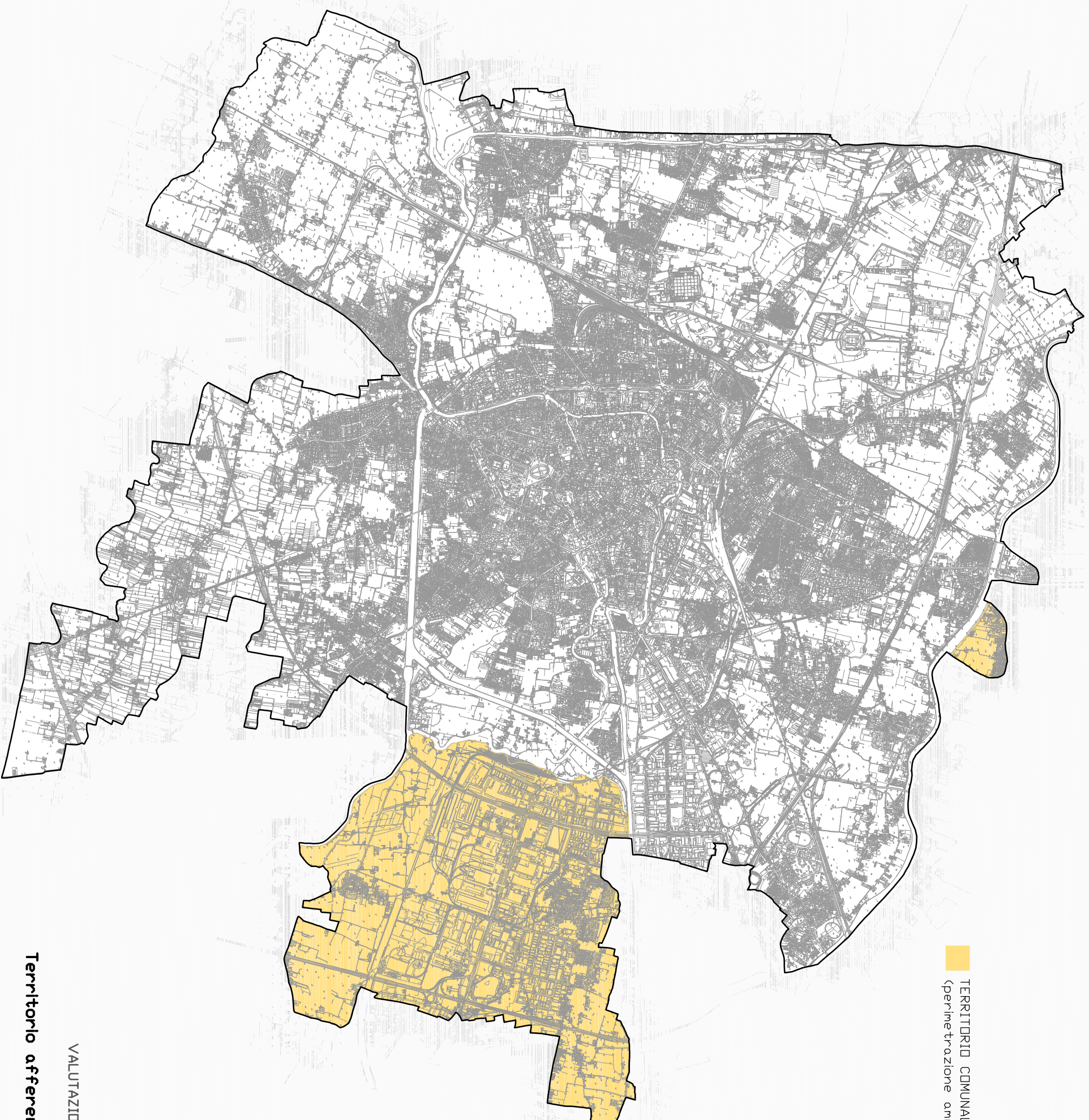
1	0.020	0.062	0.094	0.035
2	0.041	0.095	0.105	0.049
3	0.061	0.098	0.140	0.067
4	0.082	0.118	0.150	0.080
5	0.102	0.118	0.157	0.165
6	0.122	0.125	0.160	0.168
7	0.143	0.132	0.171	0.172
8	0.163	0.156	0.178	0.175
9	0.184	0.212	0.182	0.196
10	0.204	0.264	0.182	0.196
11	0.224	0.269	0.190	0.207
12	0.245	0.274	0.205	0.230
13	0.265	0.279	0.213	0.241
14	0.286	0.314	0.242	0.264
15	0.306	0.314	0.246	0.276
16	0.327	0.314	0.276	0.284
17	0.347	0.339	0.276	0.297
18	0.367	0.339	0.280	0.329
19	0.388	0.344	0.298	0.333
20	0.408	0.359	0.302	0.362
21	0.429	0.380	0.364	0.383
22	0.449	0.395	0.377	0.404
23	0.469	0.400	0.386	0.416
24	0.490	0.416	0.422	0.444
25	0.510	0.421	0.474	0.492
26	0.531	0.451	0.491	0.561
27	0.551	0.478	0.508	0.561
28	0.571	0.524	0.525	0.586
29	0.592	0.538	0.592	0.586
30	0.612	0.552	0.614	0.606
31	0.633	0.556	0.617	0.646
32	0.653	0.578	0.617	0.646
33	0.673	0.578	0.625	0.683
34	0.694	0.583	0.652	0.705
35	0.714	0.600	0.700	0.756
36	0.735	0.609	0.761	0.757
37	0.755	0.609	0.783	0.771
38	0.776	0.808	0.824	0.814
39	0.796	0.882	0.833	0.814
40	0.816	0.884	0.837	0.819
41	0.837	0.891	0.839	0.830
42	0.857	0.908	0.842	0.871
43	0.878	0.915	0.871	0.887
44	0.898	0.919	0.905	0.889
45	0.918	0.942	0.919	0.935
46	0.939	0.947	0.974	0.961
47	0.959	0.970	0.984	0.962
48	0.980	0.994	0.987	0.986
< P - F >	0.147	0.106	0.063	
< P - F >cr	0.194	0.194	0.194	

Al livello di significatività .05 la regolarizzazione non risulta accettabile (stima distorta).

Curva di possibilità pluviometrica (stima distorta)

Tr = 50.00 (anni)        H =  $66.65 * t^{0.207}$  (mm)        CC = 0.999





 TERRITORIO COMUNALE INTERNO AL BACINO SCOLANTE IN LAGUNA  
(perimetrazione amministrativa, parzialmente corrispondente alla realtà)