

CONSORZIO di BONIFICA VENETO ORIENTALE

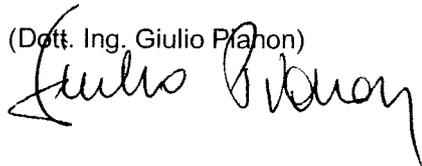
Portogruaro – San Donà di Piave

ANALISI IDROLOGICHE-IDRAULICHE PER L'APPLICAZIONE DEI CRITERI DELL'INVARIANZA IDRAULICA NEL COMPENSORIO DEL VENETO ORIENTALE

Il Dirigente

dell'Area Tecnica

(Dott. Ing. Giulio Pianon)



Il Direttore

(Dott. Ing. Sergio Grego)



San Donà di Piave, agosto 2012

1 PREMESSA

Il presente fascicolo tecnico rappresenta il documento di riferimento per la progettazione e la verifica delle opere di compensazione idraulica, a disposizione di privati cittadini, liberi professionisti, uffici tecnici ed ogni altro soggetto coinvolto nelle trasformazioni del territorio che siano in grado di modificare l'assetto idraulico ed il livello di impermeabilizzazione.

La sua diffusione si rende necessaria in risposta all'esigenza di rendere chiari ed univocamente definiti i criteri per il dimensionamento e la realizzazione delle opere di mitigazione idraulica che la normativa regionale impone di realizzare in attuazione del principio dell' "invarianza idraulica" sancito dalle D.G.R. 1322/2006, 2948/2009 e ss.mm.ii..

Nonostante un nuovo livello di attenzione alla tematica della sicurezza idraulica rappresenti un requisito anche per le trasformazioni territoriali minori, con prescrizioni in merito a tombinamenti, accessi, continuità delle vie di deflusso, punti di recapito, progettazione della rete di scolo ecc va specificato che la realizzazione di invasi compensativi è un aspetto cogente solo per interventi che determinino un'impermeabilizzazione potenziale modesta, significativa o marcata, secondo le definizioni dettate dalla citata normativa regionale:

Classe di Intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 0.1 e 1 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese fra 1 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0,3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici superiori a 10 ha con $Imp > 0,3$

Tabella 1.1: Classificazione interventi secondo D.G.R. 2948/2009 e ss.mm.ii.

Come stabilito dalla D.G.R. 2948/2009, il dimensionamento di tali opere compensative deve accompagnare, con diverso livello di definizione, tutte le fasi progettuali: dalla previsione strategica in sede di Piano di Assetto del Territorio, al dimensionamento specifico per ogni intervento in sede di Piano degli Interventi, fino alla progettazione di dettaglio per i Piani Urbanistici Attuativi, o per i progetti da attuare mediante accordi di programma o in esecuzione diretta.

Preme sottolineare già in questa sede che queste opere non si pongono come soluzione alle criticità idrauliche che caratterizzano alcuni ambiti del Comprensorio e che si manifestano con frequenti allagamenti in occasione degli eventi più gravosi, ma rappresentano solo il presupposto per mitigare l'aggravio che conseguirebbe all'impermeabilizzazione di nuovi spazi. A tal proposito, ricordando che i principali collettori e le opere di bonifica sono stati dimensionati per un territorio prevalentemente agricolo, e notando le criticità

che oggi caratterizzano alcune aree del Veneto Orientale, è fin superfluo ribadire l'esigenza di individuare aree a lento deflusso ed ambiti da predisporre alla laminazione anche al di fuori delle occasioni di trasformazione urbanistica, nell'ottica del miglioramento dello stato di fatto. La tematica, tuttavia, merita una trattazione separata che non rientra negli obiettivi del documento.

Al fine di ottenere una trattazione aggiornata e completa sul tema degli invasi compensativi, lo scrivente Consorzio ha ritenuto opportuno considerare anche la tendenza manifestatasi negli ultimi decenni ad avere eventi pluviometrici straordinariamente intensi. A tal fine, tramite l'Unione Veneta Bonifiche, è stata commissionata un'analisi regionalizzata delle precipitazioni, così da definire curve di possibilità pluviometrica aggiornate e riferite ad interi comparti territoriali anziché alle singole stazioni di misura.

Di seguito, sulla base dei nuovi dati di pioggia, sono stati dimensionati gli invasi necessari per compensare le trasformazioni territoriali caratterizzate da differenti gradi di impermeabilizzazione, facendo riferimento ai tradizionali metodi di calcolo della letteratura tecnica, ma riformulandone la trattazione analitica per adattarla alla nuova forma delle curve di pioggia.

Il lavoro è stato riassunto in tabelle e diagrammi di rapida consultazione, che possano offrire a professionisti e tecnici un dimensionamento parametrico dei volumi di laminazione da creare contestualmente alle trasformazioni territoriali.

Si rende però indispensabile verificare nel dettaglio sia in fase di progettazione sia in corso d'opera il comportamento del sistema rete-invaso-scarico e l'effettiva possibilità di riempimento dei volumi realizzati, definendo livellette idonee, manufatti di controllo allo scarico e rapportando l'altimetria del sito alla quota del ricettore finale, nonché adottando tutti gli accorgimenti tecnici atti a garantire l'efficienza, la manutenibilità e la funzionalità dei dispositivi.

Il lavoro di seguito esposto è stato condotto sulla scorta del documento *Linee Guida per la Valutazioni di Compatibilità Idraulica* redatto nell'ambito dei lavori del Commissario Delegato Allagamenti del Veneto; le indicazioni della struttura commissariale infatti, nonostante i territori del Comprensorio non siano tra quelli assoggettati alle Ordinanze speciali, rappresentano un punto di riferimento per tutto il Veneto e sono state assunte a modello per le elaborazioni e le considerazioni di seguito riportate.

2 ANALISI REGIONALIZZATA DELLE PRECIPITAZIONI

2.1 Premessa

Lo scopo di un'analisi pluviometrica consiste nel determinare, per un dato tempo di ritorno, una stima dell'altezza di pioggia puntuale per differenti durate dell'evento. Il tempo di ritorno è definito come l'intervallo temporale entro cui una certa altezza di precipitazione viene eguagliata o superata mediamente una volta e misura quindi il grado di rarità dell'evento. Di norma la stima dell'altezza di precipitazione attesa avviene mediante regolarizzazione statistica, individuando cioè una distribuzione teorica di probabilità che ben si accordi con i valori osservati.

La disponibilità di misure di precipitazione in Veneto è stata storicamente assicurata dal Servizio Idrografico del Magistrato delle Acque di Venezia, confluito poi come sezione autonoma nel Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale (SIMN) che ha registrato i dati giornalieri e massimi annui per eventi di 1, 3, 6, 12 e 24 ore consecutive, dagli anni '20 al 1996, pubblicandoli negli annali idrologici.

A seguito del trasferimento di competenze operato dal D.Lgs. 112/98, la Regione Veneto è diventata titolare delle attività di rilievo sistematico ed elaborazione dei dati termo-pluvio-nivometrici, pubblicando per il periodo 1997-2002 i dati giornalieri di precipitazione sul proprio sito internet. Il trasferimento ha comportato la soppressione di numerose stazioni e la uniformazione alla moderna rete di telemisura delle rimanenti.

Nel 1989 è stato istituito il Centro Meteorologico di Teolo (CMT) che, a seguito delle prime installazioni di stazioni meteorologiche nella Provincia di Belluno da parte del Centro Valanghe di Arabba (facente parte dell'A.R.P.A.V.), ha completato la rete nel territorio regionale di pianura: dal 1992 sono operative 150 stazioni automatiche telecontrollate via radio dalla centrale di Teolo. I dati sono informatizzati dal 1989 a oggi, hanno una scansione minima di 5 minuti trasmessa in telemisura, la rete di riferimento è dotata di moderna strumentazione oggetto di verifiche di qualità e il funzionamento delle stazioni è in continuo.

L'Unione Veneta Bonifiche ha affidato a Nordest Ingegneria S.r.l. il compito di condurre un'analisi regionalizzata delle precipitazioni, che miri quindi ad elaborare in forma congiunta le registrazioni operate in diverse stazioni di misura, valutando contestualmente il grado di omogeneità dei valori massimi annuali misurati nelle varie stazioni e la presenza di eventuali trend spaziali. Tale procedimento limita l'influenza di singole registrazioni eccezionali, individua le caratteristiche comuni del regime pluviometrico sull'intero territorio considerato e fornisce gli strumenti per un'eventuale suddivisione dell'area in sottoinsiemi omogenei, ai quali attribuire una singola curva segnalatrice di possibilità pluviometrica, ottenendo quindi un dato affetto da minor grado di incertezza e caratteristico per l'intero ambito omogeneo.

Gli autori dello studio hanno scelto di fondare l'analisi regionalizzata sui soli dati della rete CMT, escludendo i dati SIMN a seguito delle seguenti considerazioni:

- le durate di interesse nell'ambito di progetti di bonifica, di opere fognarie e di invasi di laminazione per l'invarianza idraulica sono quelle inferiori alle 24 ore, essendo così confrontabili con i tempi

caratteristici di corrivazione dei principali bacini di bonifica;

- negli ultimi anni si sono verificati eventi d'intensità decisamente straordinaria, specie se confrontati con le registrazioni del secolo scorso, facendo pensare che vi sia una significativa variazione nel tempo del regime delle precipitazioni intense; se così fosse, eventuali analisi e previsioni basate su serie storiche di notevole lunghezza esprimerebbero solo una caratterizzazione media dei fenomeni nel periodo di osservazione e non descriverebbero correttamente le maggiori sollecitazioni odierne;
- per durate inferiori a 1 ora, i dati SIMN sono disponibili per un numero estremamente ridotto di stazioni, con letture da registrazioni su carta e relative a intervalli differenti e non regolari

D'altro canto non era ipotizzabile l'uso congiunto di dati provenienti dalle stazioni SIMN e dalla rete CMT poiché le misure delle due reti differiscono per strumentazione, registrazione del dato e, naturalmente, per posizione.

2.2 Regionalizzazione

Lo studio, condotto su tutto il territorio regionale con la sola esclusione delle aree interessate dai provvedimenti del Commissario Allagamenti che già erano state oggetto di analisi regionalizzate precedente, ha suddiviso l'area di studio in aree che potessero essere ritenute omogenee dal punto di vista della variabilità dei dati di pioggia per tutte le durate di precipitazione.

A tal proposito è stato condotto il test statistico di Hosking e Wallis (Test H), che stima l'omogeneità dei dati tra le stazioni del Comprensorio per le diverse durate. Poiché nel caso del Consorzio Veneto Orientale il valore di H è sempre minore di 1, (unica eccezione $H=1,009$ per durata pari a 45 minuti) la curva di possibilità climatica di riferimento è unica per l'intero comprensorio.

Le stazioni utilizzate per la regionalizzazione delle piogge nell'area Veneto Orientale sono state 11, con almeno 8 anni di letture: Portogruaro-Lison, Fossalta di Portogruaro, Lugugnana di P.gruaro, Eraclea, Roncade, Ponte di Piave, Cavallino, Mogliano Veneto e Venezia Cavanis. Non tutti i siti di raccolta dati si trovano all'interno dell'area d'interesse, poiché alcuni sono utilizzati come condizione al contorno al fine di circoscrivere la stessa.

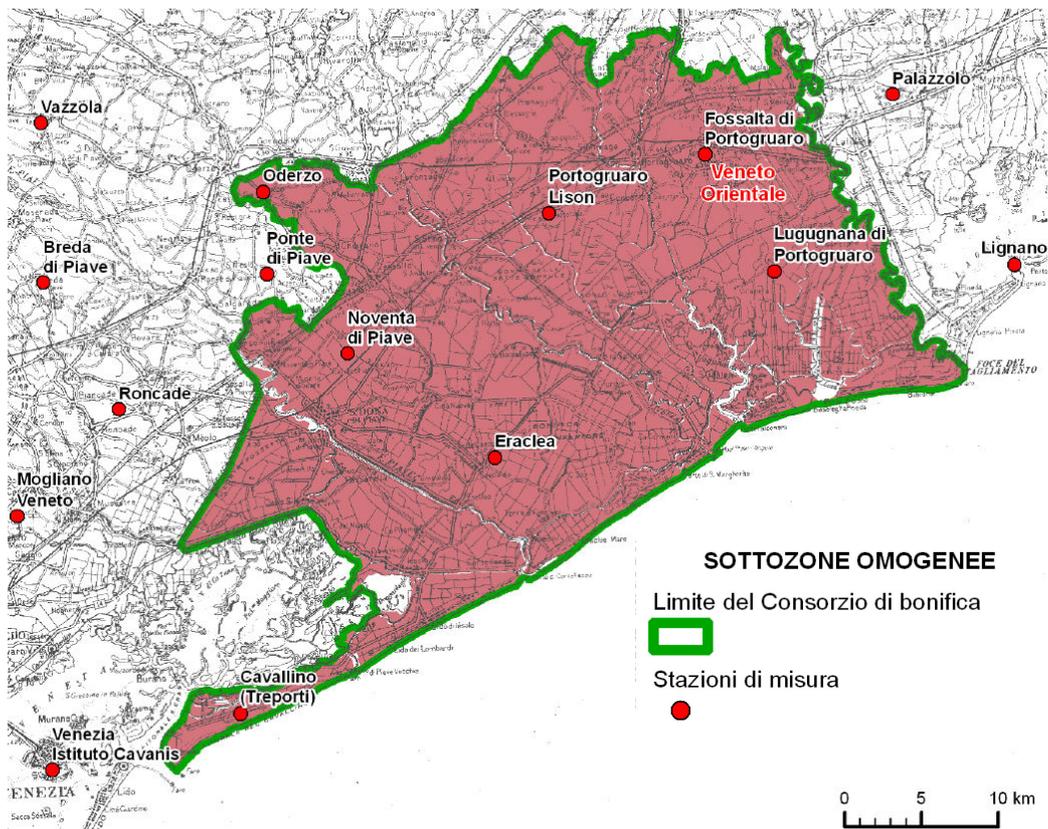


Figura 2.1 Sottozona omogenea unica per il Consorzio di Bonifica Veneto Orientale

Nome stazione	Quota [m s.l.m.]	Anno attivazione	Interno all'area
Cavallino	1	1992	Sì
Eraclea	-1	1992	Sì
Fossalta di Portogruaro	4	1992	Sì
Lugugnana di	0	1992	Sì
Mogliano Veneto	5	1997	No
Noventa di Piave	2	1992	Sì
Oderzo	8	1992	Sì
Ponte di Piave	6	1995	No
Portogruaro Lison	2	1992	Sì
Roncade	6	1992	No
Venezia Cavanis	20	2000	No

Tabella 2.1 Stazioni pluviometriche di riferimento per l'analisi regionalizzata

2.3 Elaborazione

Il risultato finale dell'analisi condotta è dato dalla curva segnalatrice di possibilità pluviometrica (CPP), formula che esprime la precipitazione h o l'intensità media $j = h/t$, in funzione della durata t dell'evento meteorico, per ogni tempo di ritorno. Tutte le relazioni proposte in letteratura evidenziano la legge fisica in base alla quale l'intensità di pioggia diminuisce con la durata del fenomeno. Una delle formule più diffuse ha struttura a tre parametri:

$$h = \frac{a}{(t+b)^c} t$$

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

Imponendo $b = 0$ e $n = 1 - c$, si ottiene la formula cosiddetta "italiana" o a due parametri:

$$h = at^n$$

La stima dei parametri delle curve segnalatrici bi-parametriche avveniva tipicamente per regressione lineare sui logaritmi, per cui a ed n venivano calcolati come la pendenza e l'intercetta della rette che approssima i punti sperimentali:

$$h = at^n \leftrightarrow \log(h) = \log(a) + \log(t^n) = \log(a) + n \log(t)$$

Il calcolo di a ed n avviene nel caso di curva "italiana" minimizzando con il metodo dei minimi quadrati gli errori relativi sulle stime di h .

La stima dei coefficienti della formula a tre parametri deve essere eseguita mediante ottimizzazione numerica: per analogia si è quindi provveduto a minimizzare la somma dei quadrati degli errori relativi, in modo che tutte le durate da 5 minuti a 24 ore "pesino" in misura simile sulla procedura di calcolo.

Poiché i valori massimi di precipitazione da 1 a 5 giorni sono riferiti ad intervalli vincolati alla mezzanotte del giorno, differentemente dai valori di durata inferiore, l'analisi ha calcolato separatamente le curve segnalatrici a tre parametri relative a durata da 5 minuti a 24 ore e le curve segnalatrici a due parametri per le precipitazioni con durata tra 1 e 5 giorni.

2.4 Risultati: curve di possibilità climatica per il Veneto Orientale

Le elaborazioni sopra riassunte hanno portato per l'intera area di studio alla definizione delle curve di possibilità climatica di tipo tri-parametrico per durate dai 5 minuti alle 24 ore (ma estrapolabili fino a 48 ore) e di tipo bi-parametrico per durate comprese tra 1 e 5 giorni. Di seguito vengono riportati i risultati per il Comprensorio del Veneto Orientale. Per quanto riguarda le durate inferiori alle 24 ore, con riferimento alla curva:

$$h = \frac{a}{(t+b)^c} t$$

in cui il tempo di pioggia t va inserito in minuti ed il risultato h di pioggia attesa è restituito in millimetri, i parametri individuati per i diversi tempi di ritorno sono riassunti nella seguente tabella:

T	a	b	c
2	18.5	10.8	0.819
5	23.8	11.8	0.813
10	25.4	11.7	0.799
20	25.9	11.3	0.781
30	25.8	10.9	0.769
50	25.4	10.4	0.754
100	24.5	9.6	0.732
200	23.2	8.7	0.709

Tabella 2.2 Parametri relativi alla curve tri-parametriche per diversi tempi di ritorno

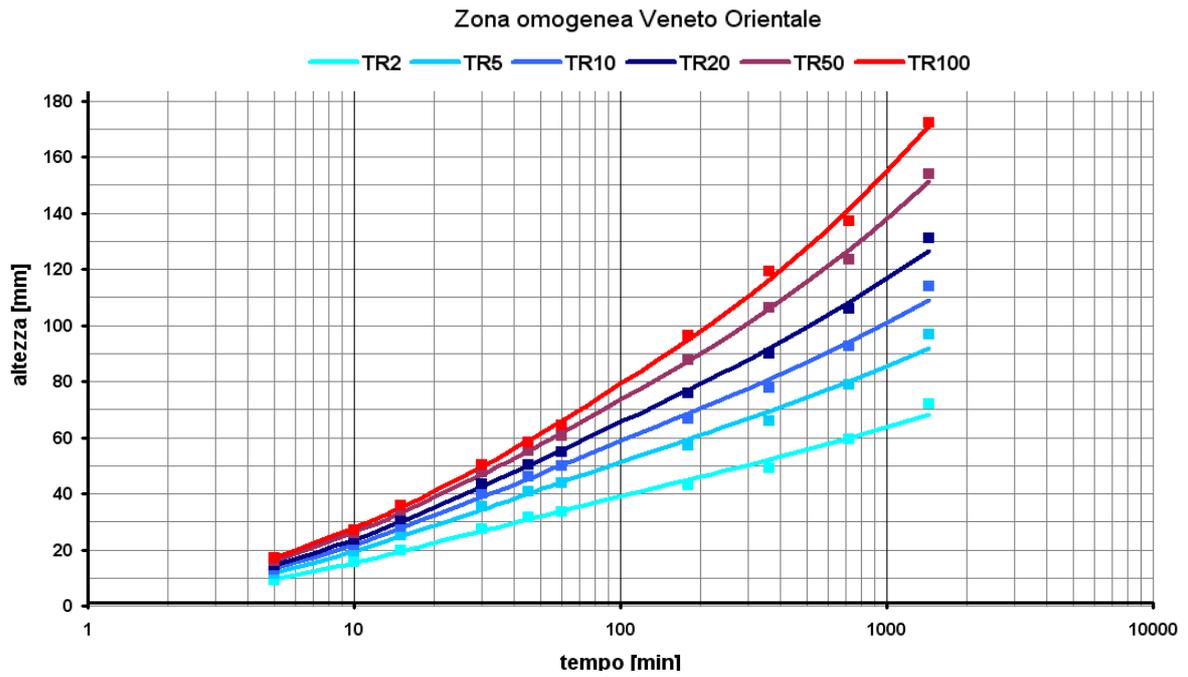


Figura 2.2 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica tri-parametriche per eventi di durata inferiore alle 24 ore per diversi tempi di ritorno

Con riferimento invece alle durate superiori, la curva bi-parametrica di riferimento è:

$$h = at^n$$

in cui la durata dell'evento t va inserita in giorni; il risultato di pioggia attesa h è espresso in millimetri.

T	a	n
2	65	0.325
5	88.4	0.325
10	104.9	0.326
20	121.6	0.327
30	131.5	0.328
50	144.4	0.329
100	162.5	0.331
200	181.5	0.333

Tabella 2.3: Parametri relativi alla curve bi-parametriche per diversi tempi di ritorno

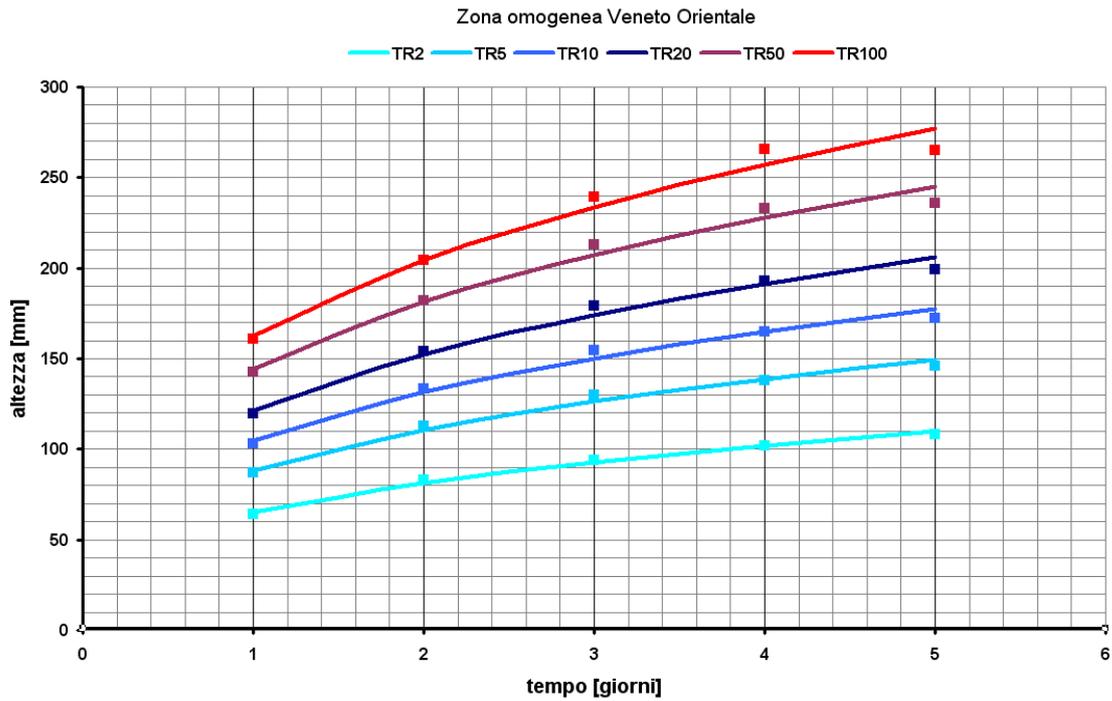


Figura 2.3 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica bi-parametriche per eventi giornalieri per diversi tempi di ritorno.

Durata precipitazione (min. e ore)	Precipitazione massima effettiva (mm)							
	Tr=2 anni	Tr=5 anni	Tr=10 anni	Tr=20 anni	Tr=30 anni	Tr=50 anni	Tr=100 anni	Tr=200 anni
5'	9,2	11,5	13,0	14,4	15,2	16,1	17,3	18,5
10'	15,7	19,6	21,8	23,7	24,6	25,8	27,1	28,3
15'	19,9	25,2	28,3	30,9	32,2	33,8	35,7	37,4
30'	27,5	35,4	39,9	43,6	45,5	47,7	50,3	52,6
45'	31,5	40,9	46,1	50,4	52,7	55,2	58,3	61,0
1 h	33,7	44,0	49,9	54,9	57,6	60,7	64,5	67,9
3 h	43,0	57,4	67,0	76,1	81,3	87,9	96,6	105,4
6 h	49,5	66,3	78,2	90,3	97,5	106,8	120,0	133,7
12 h	59,6	79,3	92,9	106,2	114,1	124,1	137,9	121,1
24 h	72,5	97,3	114,5	131,6	141,8	154,8	172,8	191,5

Tabella 2.4 Valori attesi di precipitazione massima effettiva per diverse durate e tempi di ritorno.

3 DIMENSIONAMENTO DEGLI INVASI COMPENSATIVI

Conclusa l'analisi regionalizzata delle precipitazioni, avendo dunque a disposizione una previsione aggiornata ed affidabile della quantità di pioggia attesa al suolo per i diversi tempi di ritorno, è stato possibile quantificare l'entità dei volumi di laminazione da realizzare per garantire l'invarianza idraulica delle singole trasformazioni.

In linea con la D.G.R. 1322/2006, 2948/2009 e ss.mm.ii., tali opere compensative vanno dimensionate facendo riferimento ad un tempo di ritorno cinquantennale imponendo che la portata in uscita dall'ambito di trasformazione sia invariata rispetto allo stato ante-operam.

Tenendo presente che l'intensità di pioggia decresce all'aumentare della durata, sapendo che gli eventi in grado di mettere maggiormente in crisi il sistema sono quelli con durata paragonabile al tempo di riempimento della rete, si deduce che le curve di possibilità climatica di riferimento per il dimensionamento degli invasi compensativi sono quelle tri-parametriche per durate 5 minuti – 24 ore.

Come previsto dal concetto di "invarianza idraulica" sancito dalle citate Delibere Regionali, si rende necessario determinare caso per caso quale sia la portata in uscita dall'ambito di trasformazione allo stato antecedente la trasformazione, così da assumerla a riferimento per la progettazione degli invasi. Per comodità tale valore viene esplicitato in letteratura per unità di superficie, ovvero come coefficiente udometrico u , espresso in $l/(s*ha)$.

A questo scopo, nonostante il valore di u sia variabile caso per caso a seconda delle condizioni geomorfologiche, pedologiche ed idrauliche del sito specifico, ricordando che condizioni particolari possono richiedere l'assunzione di valori cautelativamente più bassi, si assume per il Comprensorio consortile, con riferimento a terreni non urbanizzati, un coefficiente udometrico di $10 l/(s*ha)$.

Durata precipitazione (min. e ore)	Volume specifico per ettaro (espresso in mm)											
	1 $l/(s*ha)$	2 $l/(s*ha)$	4 $l/(s*ha)$	6 $l/(s*ha)$	10 $l/(s*ha)$	15 $l/(s*ha)$	20 $l/(s*ha)$	50 $l/(s*ha)$	80 $l/(s*ha)$	100 $l/(s*ha)$	200 $l/(s*ha)$	
5'	0,0	0,1	0,1	0,2	0,3	0,5	0,6	1,5	2,4	3,0	6,0	
10'	0,1	0,1	0,2	0,4	0,6	0,9	1,2	3,0	4,8	6,0	12,0	
15'	0,1	0,2	0,4	0,5	0,9	1,4	1,8	4,5	7,2	9,0	18,0	
30'	0,2	0,4	0,7	1,1	1,8	2,7	3,6	9,0	14,4	18,0	36,0	
45'	0,3	0,5	1,1	1,6	2,7	4,1	5,4	13,5	21,6	27,0	54,0	
1 h	0,4	0,7	1,4	2,2	3,6	5,4	7,2	18,0	28,8	36,0	72,0	
3 h	1,1	2,2	4,3	6,5	10,8	16,2	21,6	54,0	86,4	108,0	216,0	
6 h	2,2	4,3	8,6	13,0	21,6	32,4	43,2	108,0	172,8	216,0	432,0	
12 h	4,3	8,6	17,3	25,9	43,2	64,8	86,4	216,0	345,6	432,0	864,0	
24 h	8,6	17,3	34,6	51,8	86,4	129,6	172,8	432,0	691,2	864,0	1.728,0	

Tabella 3.1 Volume specifico per ettaro (espresso in mm) per diversi valori di portata specifica $l/(s*ha)$.

Vengono di seguito riportati due distinti approcci per il dimensionamento delle opere compensative, conosciuti come "metodo delle piogge o dei serbatoi" e "metodo dell'invaso"; si ripropongono i principali passaggi analitici delle due procedure di calcolo che hanno portato alla definizione delle tabelle e dei

diagrammi riportati come risultati per ognuno dei due metodi, fruibili direttamente da tecnici e progettisti in sede di dimensionamento.

Le trattazioni che seguono, presenti nei testi di letteratura, sono state in questa sede esplicitate in funzione della nuova forma tri-parametrica della curva di possibilità climatica.

È opportuno specificare che entrambi gli sviluppi analitici riportati assumono come ipotesi l'evento meteorico sia caratterizzato da uno ietogramma di pioggia costante nel tempo.

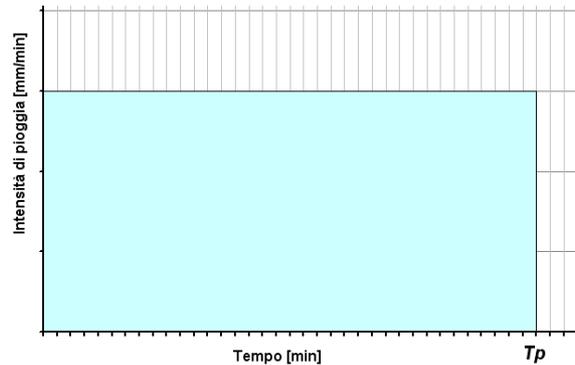


Figura 3.1 Schema ietogramma costante nel tempo

3.1 Metodo delle piogge o dei serbatoi

Il metodo è basato su un semplice bilancio tra il volume d'acqua in ingresso alla rete e quello in uscita, individuando come quantità da invasare la differenza tra quanto affluisce alla rete e quanto può uscire dalla stessa nel rispetto del vincolo sul coefficiente udometrico sopra esposto.

Si ha pertanto:

$$V_{da_invasare} = V_{IN} - V_{OUT} \quad (1)$$

Essendo:

$$V_{IN} = S \cdot \varphi \cdot h(t)$$

Dove:

- V_{IN} = Volume in ingresso alla rete per l'evento di progetto
- S = Superficie afferente all'invaso in esame
- φ = Coefficiente di deflusso medio dell'area in esame
- $h(t)$ = Altezza di pioggia attesa al suolo secondo le curve di possibilità climatica per $Tr=50$ anni

Secondo le curve di possibilità climatica definite tramite l'analisi regionalizzata sopra richiamata, sarà:

$$V_{IN} = S \cdot \varphi \cdot \frac{a \cdot t}{(b + t)^c}$$

Essendo t il tempo di pioggia, ovvero la durata dell'evento di progetto.

Noto che il volume in uscita dal sistema è pari al prodotto tra la portata ammessa in uscita e la durata dell'evento, la (1) può essere riscritta come:

$$V_{da_invasare} = S \cdot \varphi \cdot \frac{a \cdot t}{(b + t)^c} - Q_{out} \cdot t \quad (2)$$

All'aumentare del tempo di pioggia t , il volume in ingresso alla rete continua a crescere ma la pendenza di crescita va diminuendo; il volume in uscita $Q_{out} \cdot t$, invece, cresce con pendenza invariata, essendo la portata un valore costante, determinato dal coefficiente udometrico ammesso in uscita a garanzia dell'invarianza.

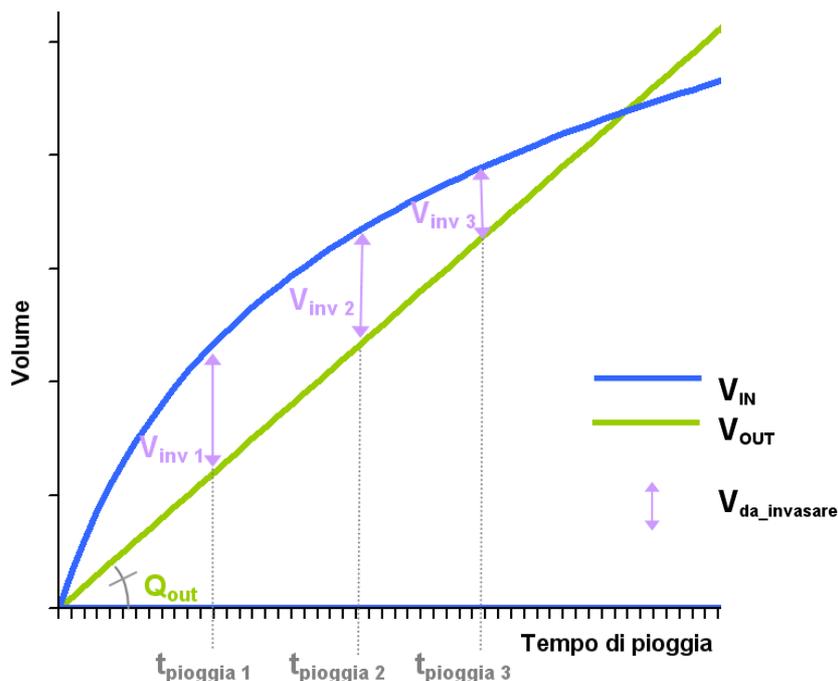


Figura 3.2: Schema concettuale dimensionamento invasi compensativi secondo il metodo delle piogge

Per ogni durata di pioggia, dunque, è possibile determinare per differenza tra le due funzioni quale sia il volume di esubero rispetto alla quantità scaricabile (V_{inv1} per tempo di pioggia pari a $t_{pioggia1}$, V_{inv2} per tempo di pioggia pari a $t_{pioggia2}$).

Si rende necessario, pertanto, individuare quale sia la durata di pioggia critica per il sistema, ovvero quella che massimizza il volume necessario all'invaso. Ciò può essere determinato per via analitica, trovando il massimo della funzione (2), ossia imponendo per questa abbia derivata nulla:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = 0 \Rightarrow \frac{\varphi \cdot a \left[(b+t)^c - t \cdot c \cdot (b+t)^{c-1} \right]}{(b+t)^{2c}} - u = 0 \quad (3)$$

Essendo il coefficiente udometrico $u = \frac{Q_{out}}{S}$

L'espressione (3), funzionale a determinare la durata di pioggia t che massimizza l'invaso da realizzare, non è esplicitabile in t e pertanto va risolta per via numerica mediante metodi di convergenza quali la *Regula Falsi*, implementabili con macro nei fogli di calcolo o con un eseguibile.

Determinato così il tempo critico t maggiormente gravoso per il sistema, è sufficiente sostituirne il valore nella (2) e determinare il Volume di invaso necessario per laminare quell'evento.

Il calcolo è stato condotto dagli uffici tecnici del Consorzio risolvendo la (3) mediante una MACRO su foglio elettronico, determinando così per ogni coefficiente di deflusso di progetto φ e per ogni coefficiente udometrico ammesso in uscita u , la durata dell'evento più gravoso per la rete e di conseguenza il Volume di invaso da realizzare.

I risultati sono riportati nella tabella e nel diagramma seguente, in cui è evidenziata la soluzione relativa ad $u=10 \text{ l/(s*ha)}$ poiché, fatte salve situazioni particolari da valutare caso per caso in relazione alle condizioni al contorno del sito, tale valore rappresenta la portata specifica di riferimento per lo stato ante-operam di ambiti agricoli da trasformare o comunque si avvicina al valore per cui è stata dimensionata la rete di bonifica.

In sede di progettazione della trasformazione urbanistica, pertanto, è sufficiente stimare il coefficiente di deflusso di progetto φ dipendente dal livello di impermeabilizzazione e con questo dato, assumendo salvo casi particolari una portata specifica in uscita pari a 10 l/(s*ha) , entrare nella tabella o nel grafico di seguito riportati e determinare il volume specifico di invaso.

Il valore specifico così determinato va da ultimo moltiplicato per l'estensione dell'area afferente all'invaso, che generalmente coincide con l'ambito di trasformazione o con quota parte di questo nel caso di invasi multipli.

$$V_{da_invasare} = v_{da_invasare} \cdot S$$

Essendo:

- $V_{da_invasare} [mc]$ l'invaso da realizzare
- $v_{da_invasare} [mc/ha]$ l'invaso specifico da realizzare, determinato con la tabella o il grafico di seguito riportati

- $S [ha]$ la superficie afferente all'invaso

Tale invaso può essere realizzato in più modalità, mediante sovra-dimensionamento della rete o realizzazione di aree depresse, come indicato al paragrafo finale *linee guida*.

Volumi di invaso necessari per ottenere l'invarianza idraulica - Metodo delle Piogge

Valori espressi in funzione del coefficiente di afflusso ϕ e del coefficiente udometrico imposto u allo scarico
 Zona Veneto Orientale - $Tr = 50$ anni (CPP a 3 parametri)

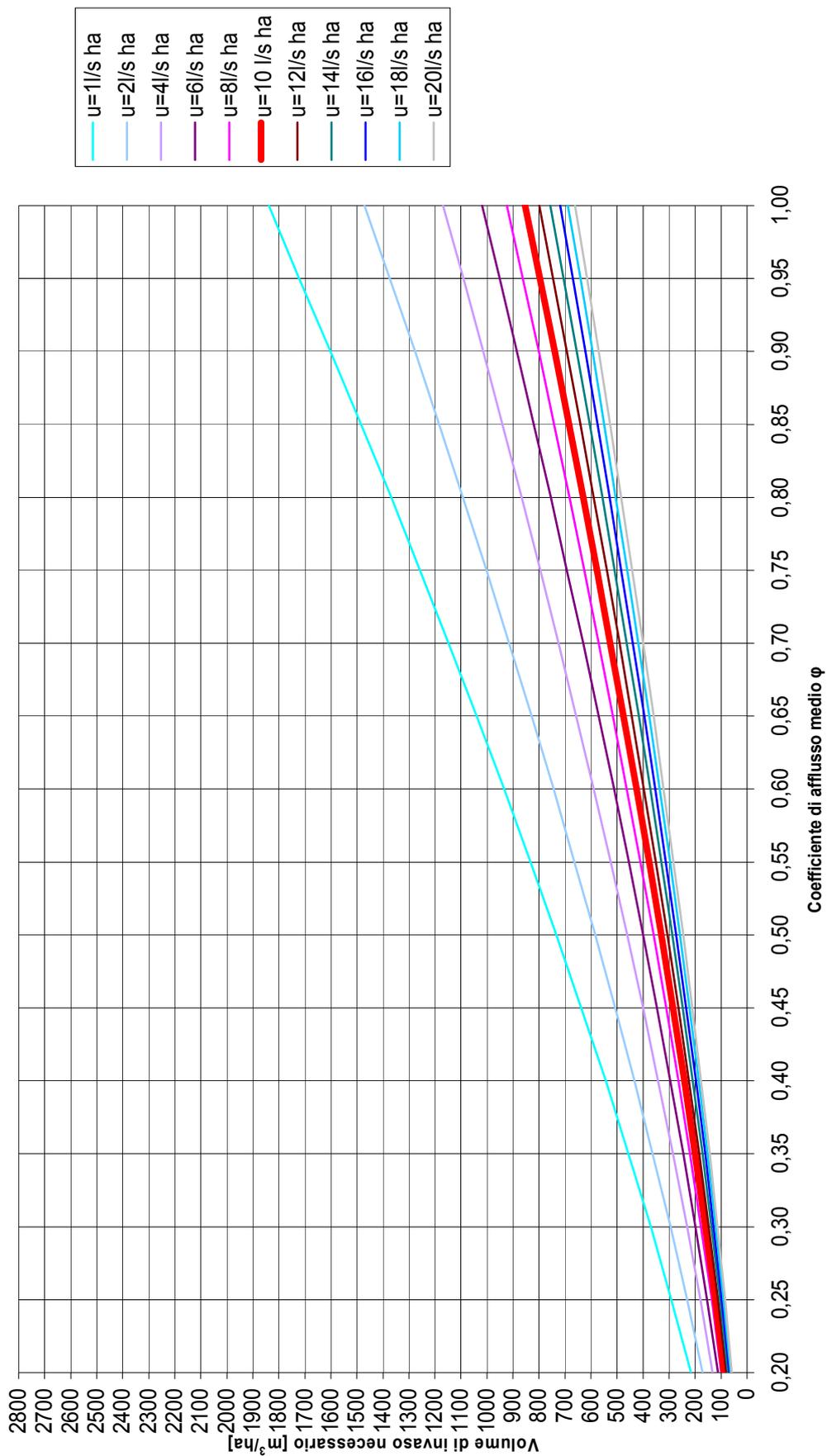


Figura 3.3 Volumi specifici di invaso da realizzare per diversi gradi di impermeabilizzazione e diversi coefficienti udometrici ammessi in uscita secondo il metodo delle piogge $Tr=50$ anni

3.2 Metodo dell'invaso

Il metodo dell'invaso, basato sull'ipotesi di linearità tra il volume contenuto in un serbatoio e la portata in uscita da questo, è tradizionalmente usato per il dimensionamento e la verifica di reti di fognatura meteorica urbana. La trattazione del metodo, a partire dall'equazione di continuità, traduce un concetto fisico evidente nelle reti di fognatura, ovvero il legame tra la quantità d'acqua immagazzinata a monte, il carico idraulico che se ne determina e la portata in uscita dalla rete. Le equazioni chiave della trattazione del metodo possono essere ritenute tre:

- equazione di continuità (bilancio di massa tra quanto piove, quanto si immagazzina in rete e quanto defluisce verso valle)
- equazione del moto nella rete (approssimata a moto uniforme)
- imposizione tempo di pioggia = tempo di riempimento della rete (evento di crisi del sistema)

Nei classici problemi di dimensionamento, il metodo è usato per determinare diametro necessario affinché la rete di progetto sia in grado di rispondere all'evento meteorico di riferimento, calcolando sia la portata di picco Q_0 sia il Volume V_0 invasato a monte della sezione di chiusura.

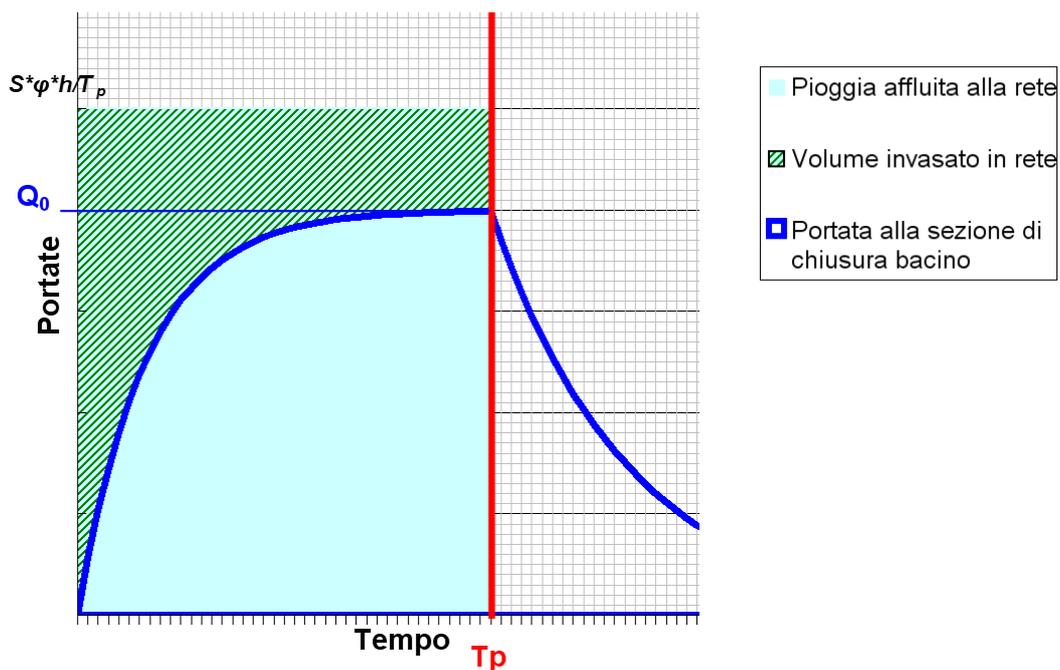


Figura 3.4 Schema concettuale di funzionamento delle reti idrauliche secondo il metodo dell'invaso

Nel casi applicativi del principio di invarianza idraulica si rende necessario invece, fissata a priori la portata massima (Q_0) in uscita verso valle, determinare il Volume (V_0) da realizzare a monte per sostenere l'evento pluviometrico più gravoso. Il calcolo viene condotto per unità di superficie afferente (S) e pertanto la portata massima in uscita dal sistema sarà espressa come coefficiente udometrico:

$$u [l/(s*ha)] = Q_0 / S$$

ed il volume da invasare a monte della sezione di chiusura, incognita del problema, sarà un volume specifico:

$$v_0 [mc/ha] = V_0/S$$

La trattazione analitica parte dall'equazione di continuità, che descrive il processo di riempimento-vuotamento di qualsiasi serbatoio:

$$p \cdot dt = Qdt + dV \quad (4)$$

Dove:

- $p(t)$ rappresenta la portata affluente alla rete all'istante t , esplicitabile come:

$p = \varphi \cdot j \cdot S$, essendo φ il coefficiente di deflusso medio, j l'intensità di pioggia ed S la superficie scolante

- $Q(t)$ indica la portata che defluisce attraverso la sezione di chiusura del bacino S e dipende dal volume invasato $V(t)$
- dV è la variazione del volume invasato a monte della sezione nell'intervallo dt

All'equazione di continuità (4), che costituisce semplicemente un bilancio di massa, va affiancata l'equazione del moto. Si assume che all'interno della rete la legge del moto possa essere semplificata, immaginando che l'onda di piena si sviluppi come successione di stati di moto uniforme e pertanto valga la nota legge del moto uniforme:

$$v = K_s \cdot R_h^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad \text{e quindi, essendo } Q = v \cdot A \text{ sarà:}$$

$$Q = A \cdot K_s \cdot (A/P)^{2/3} \cdot \sqrt{i} \quad (5)$$

Con:

- $Q(t)$ portata in uscita dalla sezione di chiusura
- A l'area della sezione liquida
- P il perimetro bagnato della sezione
- i la pendenza del fondo
- K_s il coefficiente di scabrezza del collettore secondo Gauckler – Strickler
- R_h il raggio idraulico della sezione bagnata, pari a A/P

- v la velocità nella rete

Come risulta dalla (5), la portata in transito alla sezione di chiusura può essere definita come funzione dell'area della sezione liquida, secondo una legge che dipende dalla geometria della rete e che è definita "scala delle portate". Raccogliendo in un coefficiente c tutti i termini indipendenti dal tirante d'acqua in rete e ricordando che -fissata una sezione geometrica per il collettore in esame- è univocamente definita la legge che lega l'area bagnata al perimetro bagnato, l'equazione (5) può dunque essere semplificata come funzione dell'area bagnata:

$$Q = c \cdot A^\alpha \quad (6)$$

essendo α il coefficiente di forma che rappresenta dal punto di vista fisico il legame tra la portata in uscita dalla rete e l'area bagnata nella rete di monte, che a sua volta funzione della dimensione della rete stessa e del tirante idraulico che vi si verifica.

Come evidente dalla (6), per $\alpha = 1$ si ha un legame di tipo lineare e quindi al raddoppiare dell'area bagnata si registra un raddoppio della portata in uscita. Valori di $\alpha > 1$ andranno invece a descrivere il comportamento di bacini idraulici più "sensibili" agli aumenti di area bagnata. Tali considerazioni dipendono naturalmente dalla legge che lega il rapporto tra l'area bagnata ed il perimetro bagnato, entrambi termini influenti per la determinazione della portata in uscita Q .

Da letteratura si ha:

- $\alpha = 1.0$ per reti in condotta
- $\alpha = 1.5$ per reti a sezione aperta

La (6) consente di definire il rapporto tra la portata generica Q e la massima portata Q_0 che la rete può condurre:

$$\frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{A}{A_0} \right)^\alpha$$

Poiché per ipotesi di moto uniforme il tirante è sempre parallelo al fondo e quindi il volume invasato in rete è proporzionale all'area bagnata mediante il fattore moltiplicativo $L =$ lunghezza della rete, si ha:

$$\frac{V}{V_0} = \frac{L \cdot A}{L \cdot A_0} = \frac{A}{A_0}$$

$$\Rightarrow \frac{Q}{Q_0} = \left(\frac{V}{V_0} \right)^\alpha$$

Questa notazione, che esprime il legame tra il grado di riempimento del volume disponibile in rete ed la quantità di portata transitabile in uscita rispetto al massimo registrabile, può essere scritta in forma differenziale:

$$\frac{\partial V}{\partial t} = \frac{\partial V}{\partial Q} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (7)$$

La (7), che è conseguenza dell'aver assunto il moto come uniforme e che rappresenta il legame tra il volume immagazzinato in rete ad ogni istante temporale e la portata in uscita dal sistema, può essere inserita nell'equazione di continuità (4), così da legare il comportamento della rete nel tempo alla pioggia in arrivo al sistema:

$$p - Q = \frac{V_0 \cdot Q^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \frac{\partial Q}{\partial t} \quad (4)+(7)$$

Poiché è necessario determinare il tempo di riempimento della rete, la precedente viene esplicitata rispetto a ∂t :

$$\partial t = \frac{V_0}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \frac{Q^{(1-\alpha)/\alpha}}{(p-Q)} \cdot \partial Q$$

Indicando con z il rapporto dimensionale tra la portata in uscita (Q) e la portata in ingresso al sistema (pioggia netta):

$$z = \frac{Q}{p} \quad (8)$$

$$\Rightarrow \partial t = \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \frac{z^{(1-\alpha)/\alpha}}{(1-z)} \cdot \partial z$$

Ricordando che V_0 rappresenta il massimo volume contenibile in rete e Q_0 la massima portata fluente, integrando la (8) tra 0 e tr si ottiene l'espressione del tempo di riempimento della rete.

$$\int_0^{tr} \partial t = \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \int_0^z \frac{z^{(1-\alpha)/\alpha}}{(1-z)} \cdot \partial z \quad (9)$$

Per integrare la (9) ed avere un'espressione esplicita del tempo di riempimento della rete, che sia funzione soltanto delle caratteristiche geometriche della rete e della pioggia in ingresso al sistema, si rende necessario condurre alcuni passaggi analitici per i quali verranno richiamati concetti di matematica analitica quali la risoluzione di serie note.

Ricordando la soluzione nota della serie $\sum_{k=0}^{\infty} z^k = \frac{1}{1-z}$, moltiplicando entrambi i termini per $z^{(1-\alpha)/\alpha}$

si ha:

$$\sum_{k=0}^{\infty} z^k \cdot z^{(1-\alpha)/\alpha} = \frac{z^{(1-\alpha)/\alpha}}{1-z}$$

E pertanto la (9) può essere scritta come:

$$\begin{aligned} \int_0^{\text{tr}} \partial t &= \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \int_0^z \sum_{k=0}^{\infty} z^k \cdot z^{(1-\alpha)/\alpha} \partial z \\ &\Rightarrow \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \int_0^z \sum_{k=0}^{\infty} z^{k + \frac{1-\alpha}{\alpha}} \partial z \end{aligned} \quad (10)$$

Ricordando che la risoluzione di un generico integrale è:

$$\int_0^x a \cdot x^n = \frac{a \cdot x^{n+1}}{n+1} + \text{costante}$$

Allora la (10) può essere così risolta:

$$\begin{aligned} t_r - 0 &= \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \left[\sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{\frac{1-\alpha+k\alpha}{\alpha} + 1}}{\frac{1-\alpha+k\alpha}{\alpha} + 1} - 0 \right] \\ t_r &= \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{\frac{1-\alpha+k\alpha+\alpha}{\alpha}}}{\frac{1-\alpha+k\alpha+\alpha}{\alpha}} \\ t_r &= \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{\alpha Q_0^{1/\alpha}} \cdot z^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \frac{1}{1/\alpha} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^{\frac{k\alpha}{\alpha}}}{1+k\alpha} \end{aligned}$$

Semplificando si giunge all'espressione del tempo di riempimento in funzione delle caratteristiche della rete V_0 , Q_0 e α e del rapporto z tra Q e p .

$$t_r = \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{Q_0^{1/\alpha}} \cdot z^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{1+k\alpha}$$

Ponendo per semplicità di notazione:

$$\sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{1+k\alpha} = \xi(z)$$

Sarà:

$$t_r = \frac{V_0 \cdot p^{(1-\alpha)/\alpha}}{Q_0^{1/\alpha}} \cdot z^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \xi(z)$$

$$t_r = \frac{V_0 \cdot p^{1/\alpha} \cdot p^{-1}}{Q_0^{1/\alpha}} \cdot z^{\frac{1}{\alpha}} \cdot \xi(z)$$

$$t_r = \frac{V_0}{p} \cdot \xi(z) \quad (11)$$

Lasciando per un momento l'espressione (11) verrà ora definita l'espressione del tempo τ definito come la durata dell'evento di pioggia.

Sapendo che la portata di pioggia netta in ingresso alla rete è data dal prodotto tra l'intensità di precipitazione, il coefficiente di deflusso e la superficie afferente, inserendo l'espressione tri-parametrica delle curve di possibilità climatica, sarà:

$$p = \varphi \cdot j \cdot S \Rightarrow \varphi \cdot \frac{h}{\tau} \cdot S \Rightarrow \varphi \cdot \frac{a}{(b + \tau)^c} \cdot S$$

Esplicitando il tempo di pioggia sarà:

$$\tau = \left(\frac{a \cdot \varphi \cdot S}{p} \right)^{\frac{1}{c}} - b$$

Che indicando con z il rapporto tra la pioggia in ingresso al bacino e la portata in uscita diventa:

$$\tau = \left(\frac{a \cdot \varphi \cdot z \cdot S}{Q} \right)^{\frac{1}{c}} - b \quad (12)$$

L'ultimo passaggio logico per arrivare a definire l'invaso necessario a sopportare l'evento più gravoso consiste nel determinare la durata critica per il sistema, eguagliando il tempo di pioggia con il tempo di riempimento:

$$\tau = t_r$$

Questo significa che la portata generica Q della (12) diventa Q_0 , poiché l'evento di questa durata sarà quello che vede passare la massima portata dalla sezione di chiusura:

$$\left(\frac{a \cdot \varphi \cdot z \cdot S}{Q} \right)^{\frac{1}{c}} - b = \frac{V_0}{p} \cdot \xi(z)$$

(11)+(12)

$$\left(\frac{V_0}{p} \cdot \xi(z) + b \right)^c = \frac{a \cdot \varphi \cdot z \cdot S}{Q_0}$$

Esplicitando la portata in uscita dalla rete per l'evento più critico:

$$Q_0 = \frac{a \cdot \varphi \cdot z \cdot S}{\left(\frac{V_0}{p} \cdot \xi(z) + b \right)^c}$$

Il dato per comodità viene espresso in termini specifici, ovvero per unità di superficie sia per la portata Q_0 , sia per il volume V_0 :

$$u = \frac{Q_0}{S} = \frac{a \cdot \varphi \cdot z}{\left(\frac{v_0}{u} \cdot z \cdot \xi(z) + b \right)^c}$$

$$u = \left(v_0 \cdot z \cdot \xi(z) + b \cdot u \right)^{\frac{1}{1-c}} \cdot (a \cdot \varphi \cdot z)^{\frac{1}{1-c}} \quad (13)$$

Come evidente dalla (13), la portata specifica in uscita dal sistema ha una forma implicita e, qualora data la geometria della rete la si volesse determinare, bisognerebbe risolvere l'equazione per tentativi.

Con riferimento al dimensionamento dei volumi di laminazione, tuttavia, la grandezza da determinare è v_0 , corrispondente al volume specifico di invaso da realizzare per garantire che la portata in uscita sia pari ad u , coefficiente udometrico imposto dal principio dell'invarianza idraulica.

La formula, pertanto, viene esplicitata per v_0 :

$$v_0 = \frac{\left[u^{\frac{c-1}{c}} \cdot (a \cdot \varphi \cdot z)^{\frac{1}{c}} \right] - b \cdot u}{z \cdot \xi(z)} \quad (14)$$

Il calcolo è stato condotto dagli uffici tecnici del Consorzio risolvendo la (14) mediante una MACRO su foglio elettronico, determinando così per ogni coefficiente di deflusso di progetto φ e per ogni coefficiente udometrico ammesso in uscita u , la durata dell'evento più gravoso per la rete e di conseguenza il Volume di invaso da realizzare.

I risultati sono riportati nella tabella e nel diagramma seguente, in cui è evidenziata a titolo di esempio la soluzione relativa ad $u=10 \text{ l/(s*ha)}$ poiché, fatte salve situazioni particolari da valutare caso per caso in relazione alle condizioni al contorno del sito, tale valore rappresenta la portata specifica di riferimento per lo stato ante-operam di ambiti agricoli da trasformare o comunque si avvicina al valore per cui è stata dimensionata la rete di bonifica.

In sede di progettazione della trasformazione urbanistica, pertanto, è sufficiente stimare il coefficiente di deflusso di progetto φ dipendente dal livello di impermeabilizzazione e con questo dato, assumendo la portata specifica in uscita u che meglio rappresenta le condizioni particolari del sito ante – operam (in prima approssimazione si può assumere $u= 10 \text{ l/s*ha}$), utilizzando la tabella o il grafico di seguito riportati, determinare il volume specifico di invaso.

Il valore così determinato va da ultimo moltiplicato per l'estensione dell'area afferente all'invaso, che generalmente coincide con l'ambito di trasformazione o con quota parte di questo nel caso di invasi multipli.

$$V_{da_invasare} = v_{da_invasare} \cdot S$$

Essendo:

- $V_{da_invasare} [mc]$ l'invaso da realizzare
- $v_{da_invasare} [mc/ha]$ l'invaso specifico da realizzare, determinato con la tabella o il grafico di seguito riportati
- $S [ha]$ la superficie afferente all'invaso

Tale invaso può essere realizzato in più modalità, mediante sovra-dimensionamento della rete o realizzazione di aree depresse, come indicato al paragrafo finale riportante le *Linee guida*.

Zona Veneto Orientale - Tr = 50 anni		Comuni: Annone Veneto, Caorle, Ceggia, Cessalto, Chiarano, Cinto Caomaggiore, Concordia Sagittaria, Eraclea, Fossalta di Portogruaro, Gorgo al Monticano, Gruaro, Motta di Livenza, Noventa di Piave, Oderzo, Portogruaro, Pramaggiore, S.Donà di Piave, S.Michele al Tagliamento, S.Stino di Livenza, Saigareda, Teglio Veneto, Torre di Mosto.																	
a	25,4	[mm min ⁻¹]																	
b	10,4	[min]																	
c	0,754	[.]																	
Esponente scala portate		1																	
VOLUME DI INVASO SPECIFICO [m ³ /ha] NECESSARIO PER OTTENERE L'INVARIANZA IDRAULICA - METODO DELL'INVASO (CPP a 3 parametri)			Coefficiente udometrico imposto allo scarico [l/s,ha]																
ψ	1	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20								
0,1	105	82	63	53	46	41	37	33	30	28	25								
0,15	181	143	111	95	84	76	69	64	59	55	52								
0,2	265	210	165	142	127	115	106	99	93	87	82								
0,25	357	283	223	193	173	158	147	137	129	122	116								
0,3	455	361	285	247	223	204	190	178	168	160	152								
0,35	558	444	351	305	275	253	236	222	210	199	190								
0,4	666	530	420	365	330	304	284	267	253	241	231								
0,45	779	620	492	428	387	357	334	315	299	285	273								
0,5	896	713	566	493	446	412	386	364	346	330	317								
0,55	1017	810	643	561	508	469	439	415	395	377	362								
0,6	1142	909	722	630	571	528	495	468	445	426	409								
0,65	1270	1011	804	701	636	588	552	522	497	475	457								
0,7	1401	1116	887	775	702	650	610	577	550	526	506								
0,75	1535	1223	973	850	771	714	669	634	604	579	556								
0,8	1673	1333	1060	926	840	778	730	692	660	632	608								
0,85	1813	1444	1149	1004	911	844	793	751	716	687	661								
0,9	1955	1558	1240	1084	984	912	856	811	774	742	714								
0,95	2101	1674	1333	1165	1058	980	921	873	833	799	769								
1	2249	1792	1427	1247	1133	1050	987	935	893	856	825								

Tabella 3.2: Volumi specifici di invaso da realizzare per diversi gradi di impermeabilizzazione e diversi coefficienti udometrici ammessi in uscita secondo il metodo dell'invaso Tr=50 anni

Volumi di invaso necessari per ottenere l'invarianza idraulica - Metodo dell'Invaso

Valori espressi in funzione del coefficiente di afflusso ϕ e del coefficiente udometrico imposto u allo scarico
 Zona Veneto Orientale - Tr = 50 anni (CPP a 3 parametri)

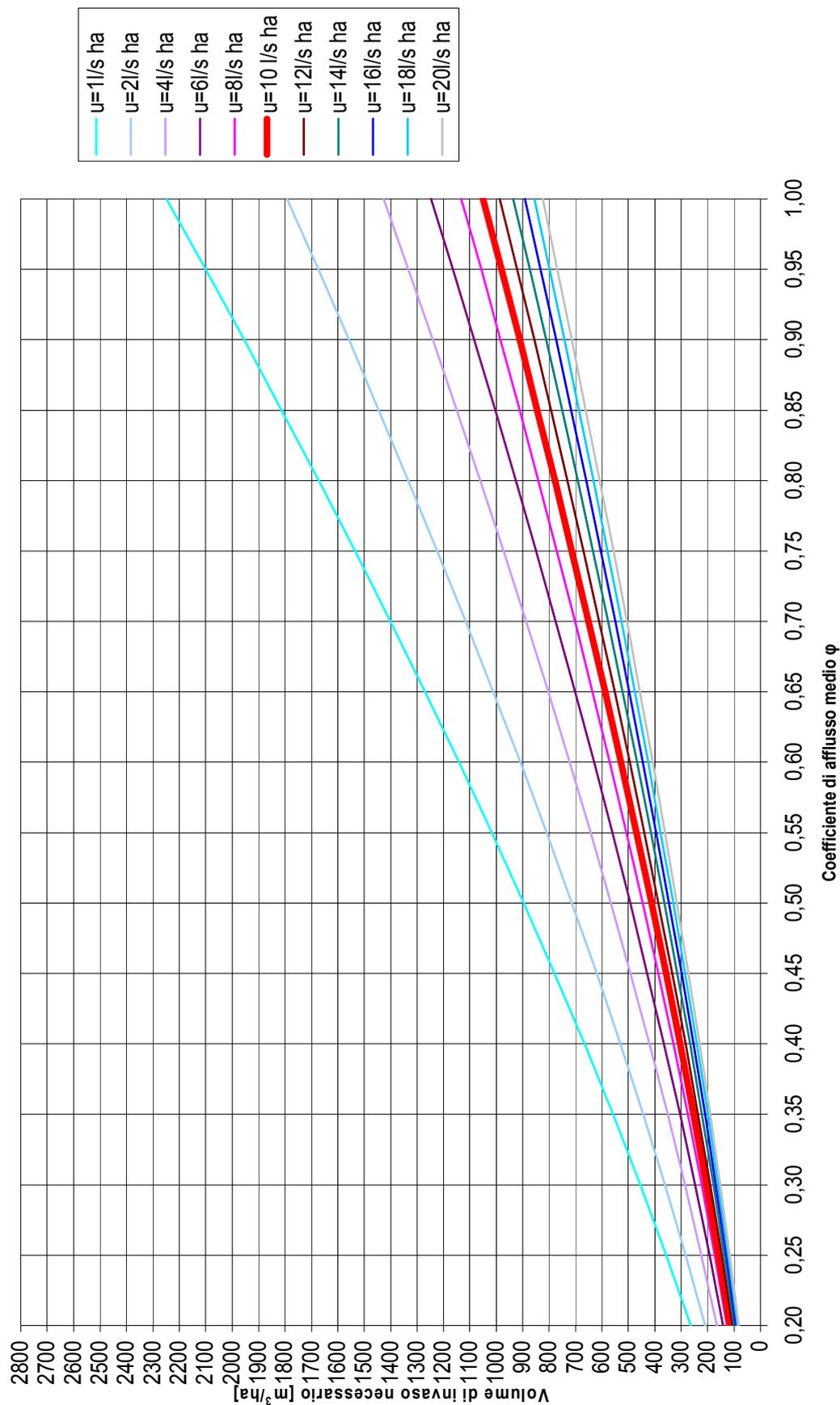


Figura 3.6 Volumi specifici di invaso da realizzare per diversi gradi di impermeabilizzazione e diversicoefficienti udometrico ammessi in uscita secondo il metodo dell'invaso Tr=50 anni

Va tenuto presente infine, come sottolinea la trattazione teorica classica del metodo, che quota parte del volume di invaso v_0 si realizza per accumulo di portata nei manufatti presenti all'interno della rete quali pozzetti e caditoie, nonché per effetto del velo idrico di qualche millimetro che copre le superfici scolanti prima di raggiungere per ruscellamento la rete stessa. La somma di questi due fenomeni secondari origina il "volume dei piccoli invasi", il cui contributo, in sede di dimensionamento delle opere compensative da realizzare, va sottratto dal volume necessario totale V_0 desunto dal grafico sopra riportato essendo:

$$V_0 = v_{0_piccoli_invasi} + v_{0_da_realizzare}$$

Il contributo dei "piccoli invasi" può variare tra i 35 ed i 45 mc/ha, in dipendenza dalla morfologia e dalla destinazione d'uso della superficie afferente. In questa sede la variabilità di tale apporto è stata schematizzata come funzione del livello di impermeabilizzazione del suolo secondo la seguente tabella di riferimento:

TIPOLOGIA SUPERFICIE AFFERENTE	VOLUME PER VELO IDRICO SUPERFICIALE	VOLUME PER INVASO IN POZZETTI / CADITOIE	SOMMA VOLUME PICCOLI INVASI [mc/ha]
Superfici a verde	25	10	35
Superfici parzialmente drenanti, semi-permeabili, ghiaia, terra battuta	17	24	41
Superfici asfaltate, edificate o comunque fortemente impermeabilizzate	10	35	45

Tabella 3.3: Contributo specifico dei "piccoli invasi" per diverse tipologie di superficie

Il metodo dell'invaso descritto precedentemente, traendo le sue deduzioni dalla realtà fisica secondo cui al realizzarsi di un evento pluviometrico oltre al deflusso da una data sezione si instaura anche un fenomeno di riempimento della rete a monte della stessa, risulta essere il metodo di calcolo da privilegiarsi nel calcolo delle portate meteorologiche stante la sua miglior approssimazione delle situazioni che effettivamente si vengono a realizzare a seguito di un evento meteorologico.

4 LINEE GUIDA PER LA REALIZZAZIONE DEGLI INVASI COMPENSATIVI

In sede di progettazione di nuove trasformazioni urbanistiche, noto il coefficiente udometrico u ammesso in uscita dall'ambito di trasformazione per garantire l'invarianza idraulica dell'intervento, stimato il coefficiente di deflusso medio di progetto, mediante i diagrammi e le tabelle esposte nel capitolo precedente possono essere dimensionati i volumi di compensazione idraulica. È fondamentale, tuttavia, che sia la progettazione sia la realizzazione delle opere di mitigazione rispettino i criteri di seguito riportati, così da renderle efficaci, funzionali e manutenibili.

Il volume di invaso va realizzato in genere come somma di due componenti:

- un invaso profondo da ricavare mediante sovra-dimensionamento della rete di fognatura meteorica
- un invaso superficiale ricavabile ad esempio mediante depressione delle aree a verde.

In entrambi i casi è necessario porre particolare attenzione al rapporto tra l'altimetria del sito in esame, il profilo altimetrico delle condotte di progetto e la quota del ricettore. A tal fine lo studio idraulico da redigere per il dimensionamento delle opere deve riportare il profilo della rete di progetto rapportata al punto di scarico.

I sistemi di controllo e/o regolazione finale dovranno essere studiati e definiti in funzione delle caratteristiche dello specifico intervento in accordo con gli uffici tecnici del Consorzio in modo da condividerne tipologia e dimensioni così da definire le migliori soluzioni funzionali e d'interfaccia con le opere consortili.

5 BIBLIOGRAFIA

Bixio V. et alii, *Analisi regionalizzata delle precipitazioni per l'individuazione di curve segnalatrici di possibilità pluviometrica di riferimento*, Nordest Ingegneria S.r.l.- UVB, 2011.

Cerni M., *Metodo delle piogge per il calcolo dei volumi d'invaso per l'invarianza idraulica*, Consorzio di Bonifica (ex) Dese Sile

Cerni M., *Riscrittura delle equazioni del metodo dell'invaso per curve di possibilità pluviometrica a tre parametri*, Consorzio di Bonifica (ex) Dese Sile

Commissario delegato per l'emergenza concernente gli eccezionali eventi meteorologici del 26 settembre 2007, *Linee guida per la Valutazione di compatibilità idraulica*, 2009

Da Deppo L, Datei C, *Fognature*, Cortina, 2005

Xausa A., *Analisi dell'invarianza idraulica del bacino del reghena Superiore: il caso dell'area Malcantone*, Tesi di Laurea, Trieste, 2011