



Su mandato di:

- Consorzio Manutenzione delle opere di Arginatura del Pian Scairolo più riale di Carzo
- Consorzio Depurazione acque del Pian Scairolo
- Studio d'ingegneria Mauri T.& Banci F.

Canobbio, settembre 2007

Indice

1.	Introduzione	3
2.	Descrizione introduttiva dello studio	4
3.	Descrizione dei modelli	7
3.1	Il modello idrologico	7
3.2	Il modello idraulico	7
3.3	Il modello meteorologico	7
4.	Implementazione e taratura del modello	8
4.1	Primo sottomodulo (parte con elementi di ritenzione)	8
4.2	Secondo sottomodulo (parte senza elementi di ritenzione)	8
4.3	Taratura del modello numerico	9
4.4	Validazione del modello numerico	12
5.	Scenari e simulazioni	15
5.1	Scenari di urbanizzazione	15
5.2	Le simulazioni	16
6.	Confronto tra diversi scenari di urbanizzazione	17
6.1	Confronto tra situazione attuale e urbanizzazione completa del piano	17
6.2	Spostamento dell'ond	20
6.3	Confronto tra urbanizzazione completa senza vasche e con v	21
6.4	Comportamento delle vasche di ritenzione	24
7.	Simulazioni con variazione dei parametri delle vasche	25
8.	L'efficacia delle vasche nelle differenti zone	28
9.	Conclusioni riassuntive	30
	Bibliografia	32
	ALLEGATI	33
A.	Descrizione dei modelli	33
B.	Parametri del modello	39
C.	Piogge sintetiche di progetto	42
D.	Curve di dimensionamento vasche di ritenzione	43
E.	Validazione evento giugno 2006	44
F.	Il dimensionamento delle vasche	46

1. Introduzione

La fortissima urbanizzazione in corso sin dagli anni '80 nel Pian Scairolo, comporta un costante aumento delle superfici impermeabili e quindi una diminuzione della capacità del terreno di trattenere l'acqua meteorica, con conseguente aumento delle quantità di acqua che defluiscono nella roggia Scairolo.

L'impermeabilizzazione del terreno comporta inoltre una diminuzione del tempo di corrivazione dell'acqua nella roggia, concentrando nel tempo i deflussi in picchi di portata, che avvengono durante e immediatamente dopo i temporali.

Infine, l'urbanizzazione nelle immediate vicinanze della roggia fa in modo che ogni esondazione comporti irrimediabilmente dei danni alle cose e dei pericoli per le persone.

Questa edificazione ha portato ad una situazione di pericolo che non può essere trascurata. Le esondazioni hanno raggiunto una frequenza media di uno o più eventi all'anno.

Il consorzio Manutenzione Opere di Arginatura del Pian Scairolo e Collina + Riale di Carzo è tempestivamente intervenuto con opere idrauliche atte ad aumentare la portata massima della roggia nei tratti più critici e ad eliminare gli ostacoli dovuti ad una insufficiente luce dei ponti stradali.

Un ulteriore aumento delle portate della roggia non è più sostenibile dalle strutture, ma ciò non può evidentemente fermare l'ulteriore sviluppo urbanistico della zona.

Si prospetta quindi l'applicazione di **norme pianificatorie che evitino in caso di edificazione un ulteriore concentrazione nel tempo di deflusso dell'acqua dai singoli mappali**. Questo risultato può essere parzialmente ottenuto con la costruzione di vasche di ritenzione che sopperiscano alla mancata ritenzione naturale del terreno. Le vasche dovranno riuscire a trattenere l'acqua raccolta sulle superfici impermeabili e rilasciarla lentamente passato il picco di portata.

Norme pianificatorie di questo tipo sono già state messe in vigore, quale provvedimento urgente, alcuni anni orsono. **Scopo principale del presente studio è di verificare l'efficacia di tali vasche in uno scenario di ulteriore e completa urbanizzazione del piano e di studiare più approfonditamente il dimensionamento di tali manufatti.**

2. Descrizione introduttiva dello studio

I deflussi nella roggia vengono simulati tramite opportuni modelli idrologici ed idraulici e ciò con differenti scenari di precipitazione e di urbanizzazione, in presenza ed in assenza di vasche di ritenzione.

La prima fase del lavoro consiste nello sviluppo di un modello che simuli opportunamente la risposta della roggia ad eventi temporaleschi nello stato attuale di urbanizzazione e canalizzazione del Pian Scairolo. A tale scopo sono stati raccolti dati pluviometrici ed idraulici che permettono di tarare alcuni parametri e validare il modello ottenuto.

Avendo un modello funzionante, validato con dati storici, vengono poi apportate le modifiche (seconda fase) per descrivere una situazione di completa urbanizzazione del piano e valutato l'aumento dei deflussi nella roggia dovuto a questi interventi edilizi. Infine (terza fase) verranno eseguite delle simulazioni mirate allo scopo di verificare l'efficacia dei serbatoi artificiali di ritenzione. I parametri determinanti di questi manufatti, come volume totale e deflusso massimo verranno variati per poter ottimizzare il loro dimensionamento.

Per la modellazione è stato utilizzato l'applicativo HEC-HMS (*Hydrologic Modeling System* sviluppato dal *Hydrologic Engineering Center* dell'*US Army Corps of Engineers*®). Questo applicativo mette a disposizione una vasta scelta di modelli idrologici e idraulici per la trasformazione della pioggia in deflusso e dispone di una confortevole interfaccia grafica che permette anche di agevolmente importare dati e visualizzare ed esportare le uscite del modello.

Nel bacino dello Scairolo sono presenti due reti idrografiche: la prima è composta dalla roggia e dai suoi affluenti mentre la seconda comprende la rete di canalizzazioni con relativi manufatti. Le due reti sono in comunicazione tramite scaricatori di piena. In effetti, la rete delle canalizzazioni influisce durante gli eventi meteorici sulle portate della roggia a causa della presenza di vaste aree a smaltimento misto.

Il bacino imbrifero dello Scairolo che misura in totale 9.7 km² è stato suddiviso lungo l'asse della roggia in dieci unità (figura 1), conformemente alla suddivisione operata dallo Studio d'ingegneria Mauri & Banci nel *Concetto di Ritenzione e Verifica Idraulica della Roggia Scairolo* del 1997.

In ognuna di queste unità sono state individuate varie zone:

- **zona di versante** (comprendente prati, boschi e zone residenziali a smaltimento separato);
- **nuclei a smaltimento misto;**
- **zona industriale** (comprendente anche le strade principali);
- **zona di piano residua.**

La zona industriale è la zona maggiormente responsabile dei picchi immediati di portata, perché geograficamente più vicina alla Roggia e fortemente impermeabilizzata.

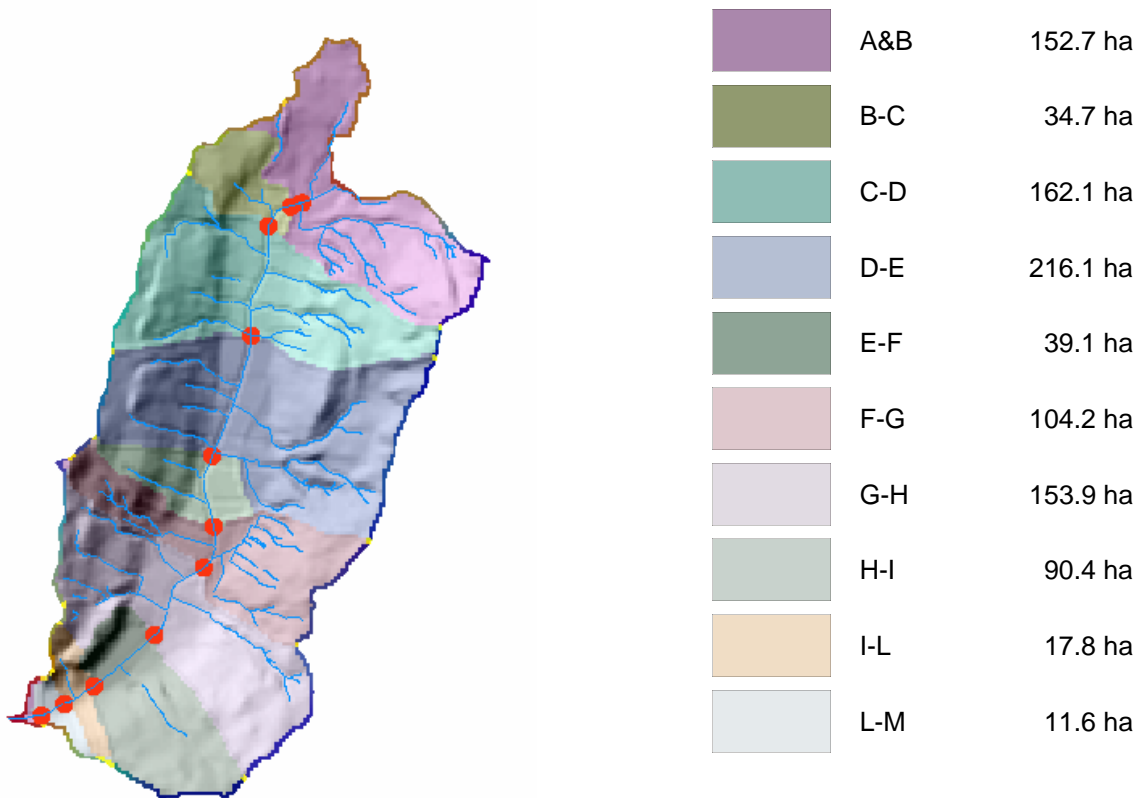


figura 1 - *Suddivisione del bacino lungo l'asse della roggia in unità principali con i punti di controllo (in rosso).*

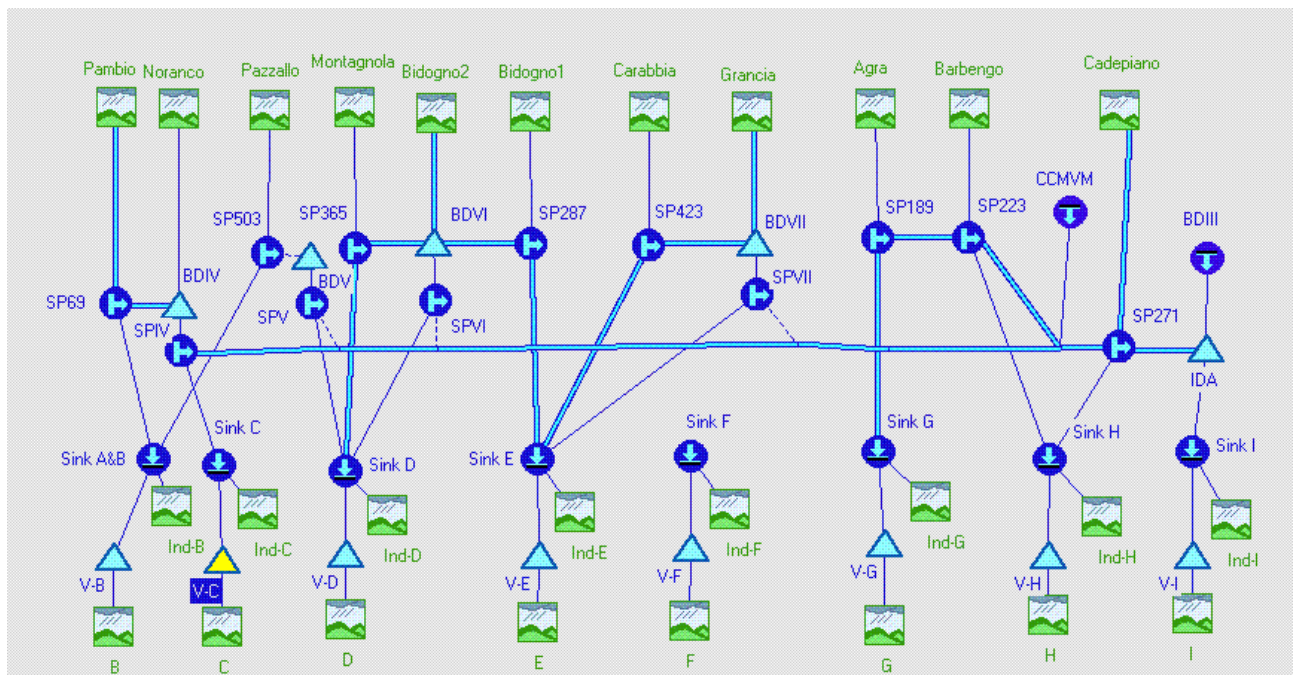


figura 2 - *Sottobacini imbriferi (zone industriale, stradale e residenziale a smaltimento misto) collegati da rete idraulica IDA (con relativi bacini e scaricatori di piena) e bacini di ritenzione*

I parametri fisici e idrologici che caratterizzano le singole zone e i vari sottobacini sono descritte nell'allegato B1.

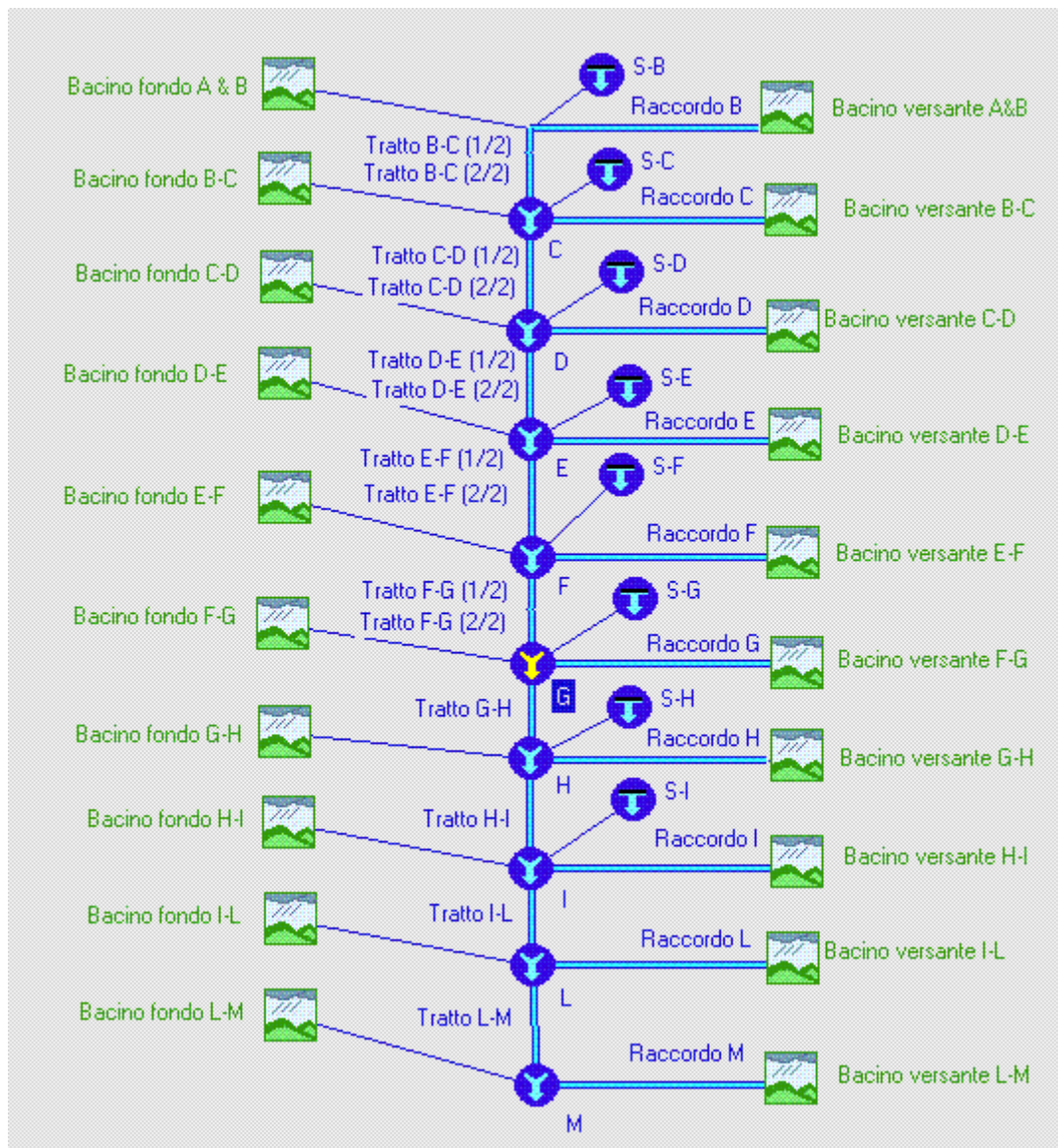


figura 3 - Sottobacini imbriferi (zone boschive, prative e residenziali a smaltimento separato) collegati da rete idraulica

La complessità della struttura del bacino ha reso necessaria la suddivisione del modello numerico globale del bacino in due modelli: il primo (figura 2) comprende le zone industriali e quelle residenziali a smaltimento misto, il secondo (figura 3) le zone di versante, di piano non industriale e i nuclei a smaltimento separato. Il significato dei simboli presenti nelle figure 2 e 3 è indicato nei paragrafi 4.1 e 4.2.

Le regioni del secondo modello convogliano liberamente le acque meteoriche nella roggia mentre le regioni del primo sono allacciate a manufatti quali canalizzazioni, bacini di stramazzo e vasche di ritenzione.

L'unione tra le due parti è implementata nel modello globale tramite pozzi (uscite del primo modello) che ricompaiono come sorgenti nel secondo.

La rete delle canalizzazioni delle acque miste è stata dedotta dalla carta "Planimetria schema idraulico (15 luglio 2004)" fornita dallo studio d'ingegneria Mauri & Banci.

La figura 2 mostra come è stata schematizzata, assieme agli scaricatori di piena e ai bacini di stramazzo (v. allegato B2).

3. Descrizione dei modelli

3.1 Il modello idrologico

La trasformazione pioggia/deflusso è composta da tre modelli concettuali:

- **un modello di infiltrazione**, che divide l'acqua meteorica in due parti. La prima parte si infiltra nel terreno e non è quindi immediatamente disponibile per il deflusso mentre la seconda viene convogliata nei corsi d'acqua;
- **un modello di deflusso**, che descrive come l'acqua ruscella lungo i pendii e scorre nei piccoli corsi d'acqua, fino a raggiungere la roggia Scairolo. Questa parte del modello descrive i fenomeni di ritardo tra precipitazione e deflusso e gli effetti di laminazione dei picchi;
- **un modello di flusso di base** che descrive la restituzione dell'acqua da parte della falda, cioè quella portata presente nei corsi d'acqua anche quando non piove.

Ognuno dei sottobacini in cui è stato suddiviso il Pian Scairolo è rappresentato con un separato modello di infiltrazione, di deflusso e di flusso di base.

3.2 Il modello idraulico

I sottobacini descritti sopra sono collegati tra loro tramite una rete (o albero) di canali le cui caratteristiche fisiche come dimensioni, forma, pendenza e rugosità ne determinano il comportamento idraulico. Per ogni tratto della roggia sono state determinate delle sezioni tipiche ed introdotte nel modello (Studio d'ingegneria Mauri & Banci- allegato B3) Appartengono al modello idraulico anche le vasche di ritenzione che dovranno raccogliere e trattenere momentaneamente i deflussi delle parti impermeabilizzate dall'edificazione (allegato B4).

I dettagli dei modelli idrologici ed idraulici sono descritti nell'allegato A.

3.3 Il modello meteorologico

Per quanto riguarda la fase di sviluppo e validazione del modello nello stato attuale del territorio, viene assunta una pioggia omogenea su tutto il bacino imbrifero secondo i valori pluviometrici misurati dalla stazione di Lugano, non essendo ancora disponibili dati pluviometrici significativi del Pian Scairolo. In questo rapporto è illustrato nel paragrafo 4.3 la simulazione relativa all'evento alluvionale del novembre 2002.


Durante la fase di valutazione degli effetti dell'urbanizzazione e delle vasche di ritenzione vengono invece considerati eventi standard con intensità determinata secondo diversi tempi medi di ritorno (piogge sintetiche di progetto usate: Z2.33, Z10, Z20 e Z50 – allegato C).

4. Implementazione e taratura del modello


La struttura del modello numerico globale, descritta in grandi linee nel capitolo 2 e rappresentata nella figura 2 e 3, è divisa in due parti (o sottomodelli). Nei paragrafi seguenti ne sono descritti alcuni dettagli informatici

4.1 Primo sottomodello (parte con elementi di ritenzione)


Questa parte rappresenta le zone residenziali di versante a smaltimento misto e tutta la zona industriale e stradale (arterie principali) ed è schematizzata nella figura 2.


I simboli  presenti nella figura 2 descrivono le singole zone residenziali di versante a smaltimento misto. In ognuno di questi sottobacini avviene la simulazione numerica dell'infiltrazione e convogliamento delle acque secondo i modelli descritti nel capitolo 3 e allegato A.

Nella fascia centrale della figura 2 si trovano gli elementi della rete di canalizzazione, come descritta nel documento "Planimetria Schema Idraulico" dello studio Mauri & Banci.

Le righe doppie  rappresentano un tratto di canalizzazione (orizzontalmente a metà disegno il collettore principale), le righe semplici un collegamento diretto, generalmente corto, per il quale si rinuncia a qualsiasi simulazione del comportamento idraulico.

Il simbolo  rappresenta uno scaricatore, mentre  un serbatoio o vasca.


Gli scaricatori di piena deviano le eccedenze in "pozzi" (indicati dal simbolo ) che in questa parte del modello simulano le immissioni in roggia lungo il suo asse per il secondo sottomodello.


I bacini in basso nella figura rappresentano le parti industriali della zona di piano che sono state suddivise in porzioni allacciate, rispettivamente non allacciate a vasche di ritenzione. Le singole superfici di queste suddivisioni dipendono dalla presenza delle vasche di ritenzione mentre il grado di impermeabilità della superficie dipende dal grado di urbanizzazione. I simboli  nella parte bassa della figura rappresentano le vasche di ritenzione della zona industriale.

Nelle parcelle edificate della zona industriale è stato stimato un grado di impermeabilità del 70%.

4.2 Secondo sottomodello (parte senza elementi di ritenzione)

Questa parte, schematizzata in figura 3, rappresenta i versanti e le parti prative della zona piana. L'asse centrale verticale rappresenta la roggia Scairolo i cui singoli tratti sono stati modellati simulando il comportamento idraulico in base alle differenti sezioni tipiche lungo il suo asse (v. allegato B3).

Elementi importanti sono le "sorgenti", indicate dal simbolo . Non si tratta di vere sorgenti fisiche, ma simulano le immissioni calcolate nel primo sottomodello e rappresentano le zone industriali e gli scaricatori di piena delle zone a smaltimento misto.

I simboli  rappresentano punti di confluenza. Di particolare importanza è l'ultimo (punto M), perché unicamente in questo punto della roggia vi è un limnigrafo. Questo limnigrafo (gestito dall'IST) fornisce i dati di portata che vengono utilizzati nella fase di taratura per confronto con le uscite del modello.

4.3 Taratura del modello numerico

Il comportamento del modello, in particolare dei sottobacini è determinato da diversi parametri. Alcuni determinano i tempi di corrivazione e gli effetti di laminazione: essi dipendono sostanzialmente dall'orografia del terreno e dal tipo di suolo e non variano da evento ad evento. Altri parametri descrivono la capacità di assorbimento del suolo. Essi non dipendono unicamente dal tipo di suolo, ma soprattutto dall'umidità dello stesso all'inizio dell'evento e devono essere riadattati in ogni evento perché l'umidità iniziale del suolo varia di volta in volta.

L'elevato numero di sottobacini e quindi di parametri sconosciuti, non permette una taratura individuale di ogni singolo sottobacino, avendo unicamente delle misure di portata nel punto finale della roggia. È stato quindi necessario fare delle assunzioni supplementari sui bacini e tarare dei fattori di correzione comuni a tutti i sottobacini.

La taratura è stata eseguita in base a dati conosciuti di eventi storici.

Come esempio, viene di seguito illustrata la taratura sulla prima parte dell'importante evento del novembre 2002 e più precisamente durante i giorni dal 13 al 20 novembre. Il modello numerico usa i dati pluviometrici raccolti alla stazione ANETZ di Lugano e calibra i parametri essenziali facendo corrispondere al meglio (nel senso dei minimi quadrati) le uscite del modello per la portata della roggia Scairolo a Figino con le misure del limnigrafo IST in quel punto.

Il confronto tra i dati simulati e le misure è rappresentato in figura 4.

L'andamento della portata simulata riproduce in buona misura l'andamento della portata misurata con evidentemente delle differenze. Il valore che più interessa è quello della portata massima: la portata massima simulata è di $13,4 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre quella misurata vale $13,8 \text{ m}^3/\text{s}$ con una differenza relativa al valore misurato minore del 4%.

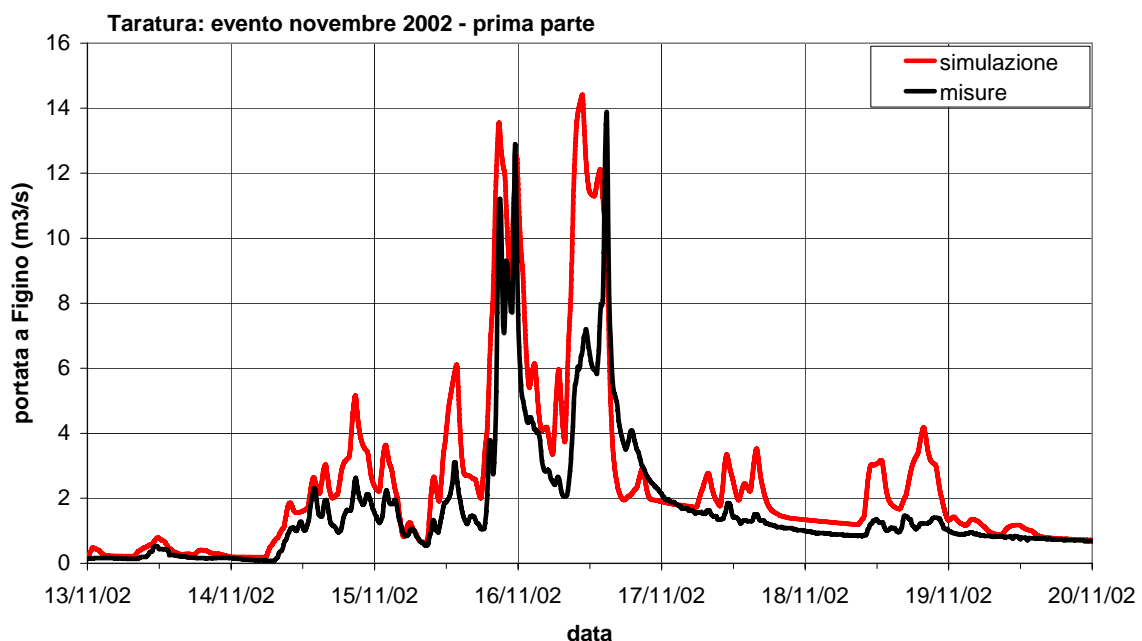


figura 4 - Confronto tra portata misurata e portata simulata a Figino- prima parte evento novembre 2002

Le differenze tra modello e misure sono dovute essenzialmente ad alcuni fattori principali:

- divisione del territorio in bacini;
- scelta del modello di trasformazione pioggia/deflusso (Si tratta di un modello concettuale che cerca di simulare gli effetti fisici con pochi parametri. Il modello è di tipo “concentrato” poiché un modello di tipo “distribuito”, che simula meglio i vari fenomeni fisici, richiederebbe la conoscenza delle caratteristiche dettagliate del suolo che non esiste);
- incertezza della misura di portata valutabile nel 10% del valore misurato (indicazione UFAEG);
- non uniformità della pioggia (la pioggia è misurata a Lugano, non disponendo di un pluviometro sul bacino dello Scairolo).

La mancata conoscenza della pioggia reale caduta sul bacino dello Scairolo gioca il ruolo più importante. La non uniformità della pioggia è mostrata in figura 5, dove è raffigurata la pioggia misurata a Lugano (sul tetto del Liceo) e a Stabio durante la prima parte dell'evento alluvionale del novembre 2002.

Dal 13.11.2005-00:00 al 20.11.2005-00:00 il pluviometro di Lugano ha misurato 235 mm di pioggia mentre quello di Stabio dà un valore di 260 mm (con una differenza relativa al valore di Lugano del 10%). Le figure 6a e 6b mostrano la stessa simulazione del bacino dello Scairolo rappresentata in figura 4, con l'aggiunta della simulazione eseguita usando i valori di pioggia misurata a Stabio. È evidente la grossa differenza fra le due simulazioni nella serata del 18 novembre dovuto a un picco di pioggia misurato a Stabio, meno importante a Lugano e praticamente inesistente nella portata misurata della roggia. Analogamente esaminando il picco di porta del 16 novembre alle 14:50, si vede come la portata misurata sia situata in mezzo alle due portate simulate con la pioggia cadute nei due diversi punti di misura. Una grossa differenza tra misure e simulazioni si nota nella tarda mattinata del 16 novembre: la portata misurata si aggira sui 7 m³/s mentre entrambe le simulazioni danno valori maggiori di 12 m³/s. La differenza potrebbe essere dovuta al fatto che il bacino dello Scairolo risultasse in qualche modo protetto dall'intensa precipitazione proveniente da sud.

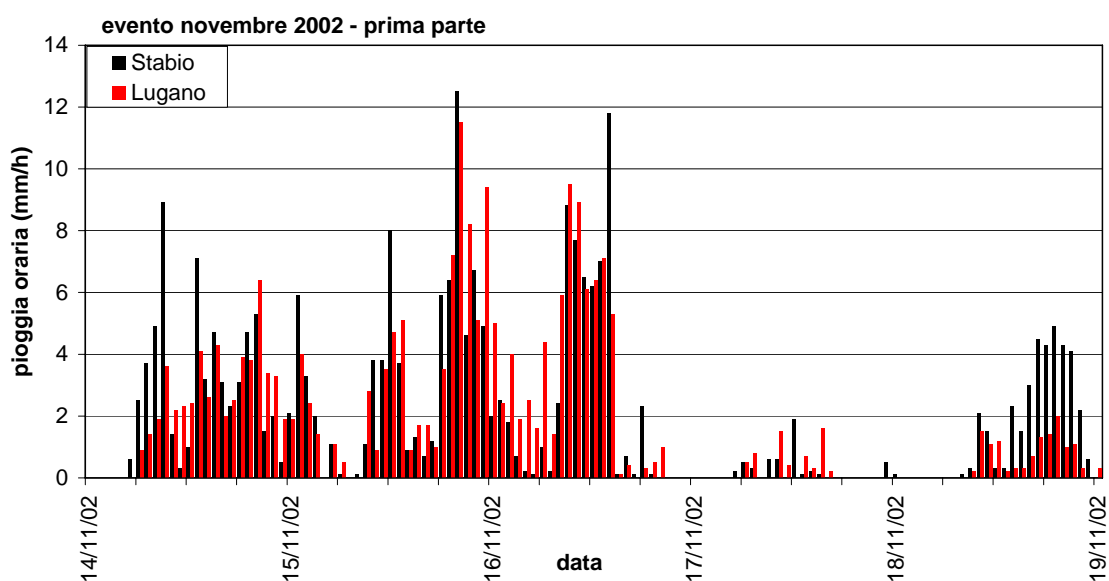


figura 5 - Confronto tra la pioggia oraria misurata a Stabio e a Lugano

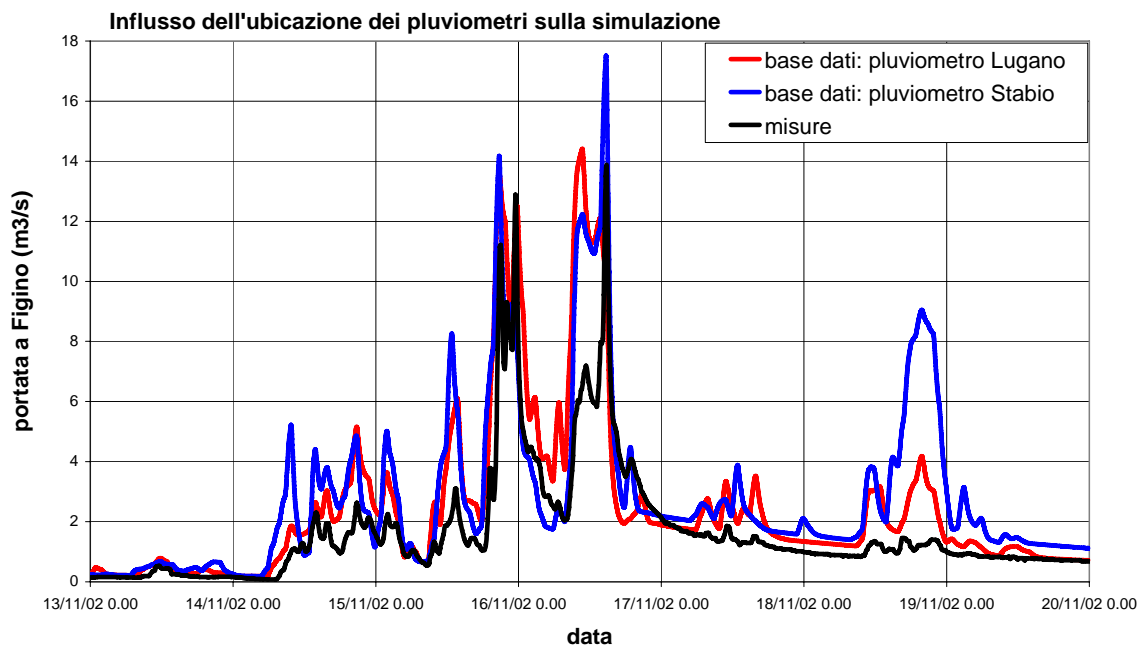


figura 6a - Confronto tra portata misurata e portate simulate a Figino (con piogge misurate a Lugano e a Stabio)- prima parte evento novembre 2002

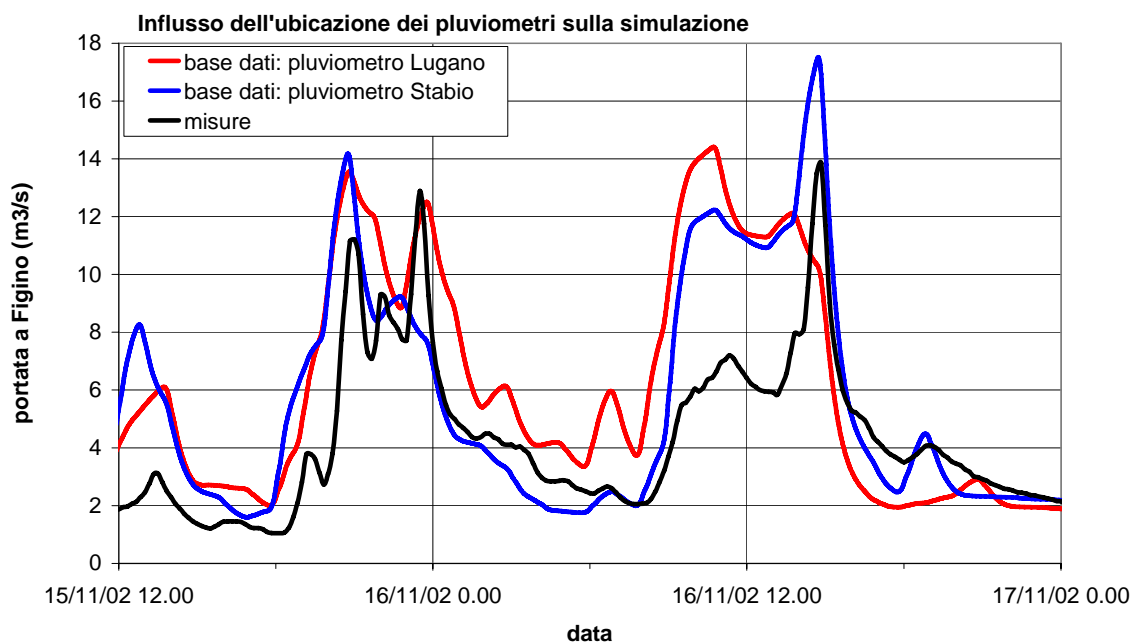


figura 6b - Confronto tra portata misurata e portate simulate a Figino (con piogge misurate a Lugano e a Stabio) - 16 novembre 2002

Va ancora notato che in queste simulazioni i valori misurati delle piogge, usate come input per il modello numerico, sono valori orari per cui le oscillazioni della portata misurata più corte di un'ora vengono mediate nella simulazione.

4.4 Validazione del modello numerico

Con gli stessi valori dei parametri di convogliamento ottenuti nella taratura appena descritta, è stata eseguita la validazione (o verifica) del modello numerico su diversi altri eventi. In questo rapporto sono riportate solo le simulazioni degli eventi del 20-22 novembre 2002 e del 01-02 novembre 2004.

Per queste simulazioni sono stati ovviamente adattati i parametri di infiltrazione dato che l'umidità iniziale del terreno cambia da evento a evento.

I risultati della validazione del modello sulla seconda parte dell'evento del novembre 2002, usando le piogge misurate a Lugano è mostrato nella figura 7 . Il modello riproduce molto bene le misure. La differenza fra misure e modello sul valore del picco di portata è minore di $0,3 \text{ m}^3/\text{s}$.

La figura 8 mostra invece il confronto tra la portata misurata e quella simulata per l'evento dell'inizio novembre 2004, usando le piogge misurate a Lugano.

Il modello riproduce bene i primi due picchi secondari ma sottovaluta la portata massima (di circa $1 \text{ m}^3/\text{s}$) che è anche ritardata di 2 ore. Le differenze possono essere dovute alla non uniformità spaziale della pioggia.

La figura 9 mostra i valori misurati della pioggia oraria nelle due stazioni più vicine al pian Scairolo. Il pluviometro di Lugano ha misurato dei picchi di pioggia tra le ore 15 e le ore 20 del 1° novembre , meno marcati a Stabio, e viceversa il 2 novembre a Stabio si sono misurati 12 mm di pioggia tra le ore 03 e 04 di notte mentre a Lugano nella stessa ora ne sono caduti solo 4 mm.

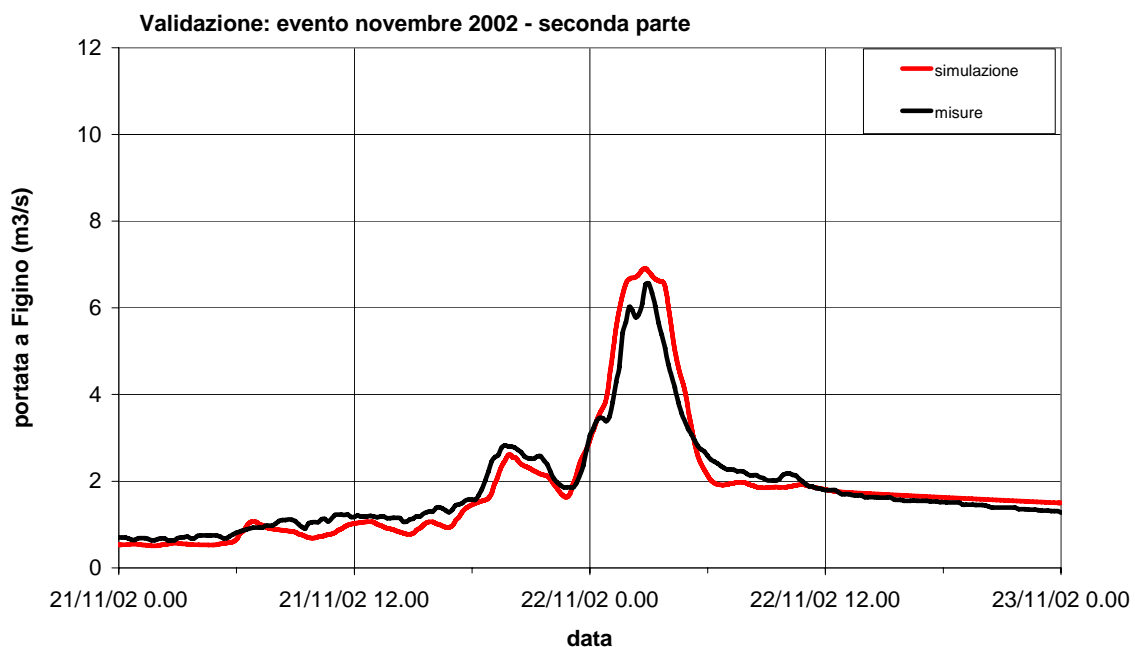


figura 7 - Confronto tra portata misurata e portata simulata a Figino - seconda parte evento novembre 2002

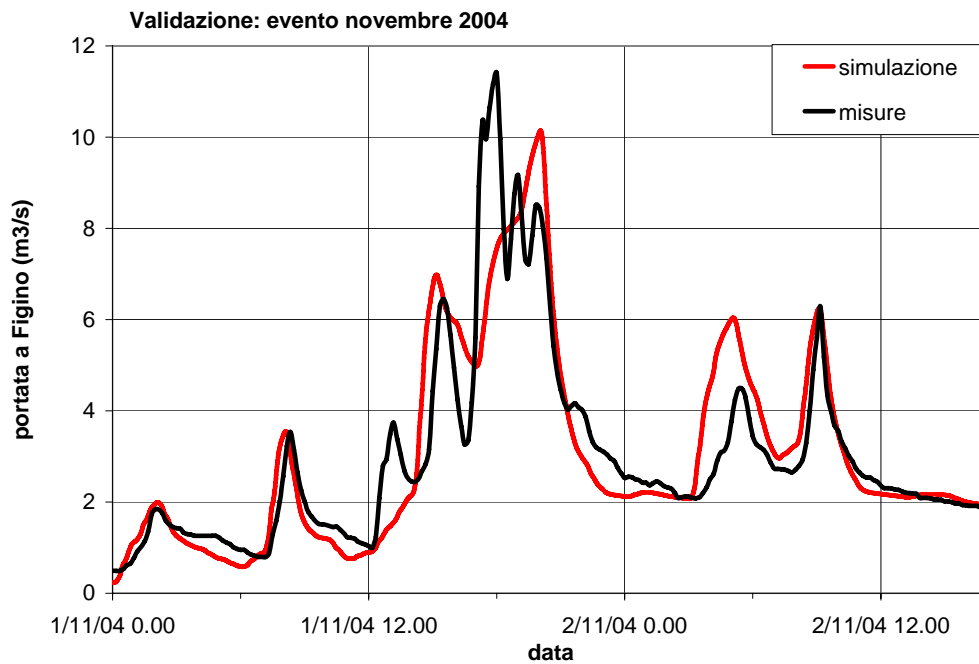


figura 8 - Confronto tra portata misurata e portata simulata a Figino- evento novembre 2004

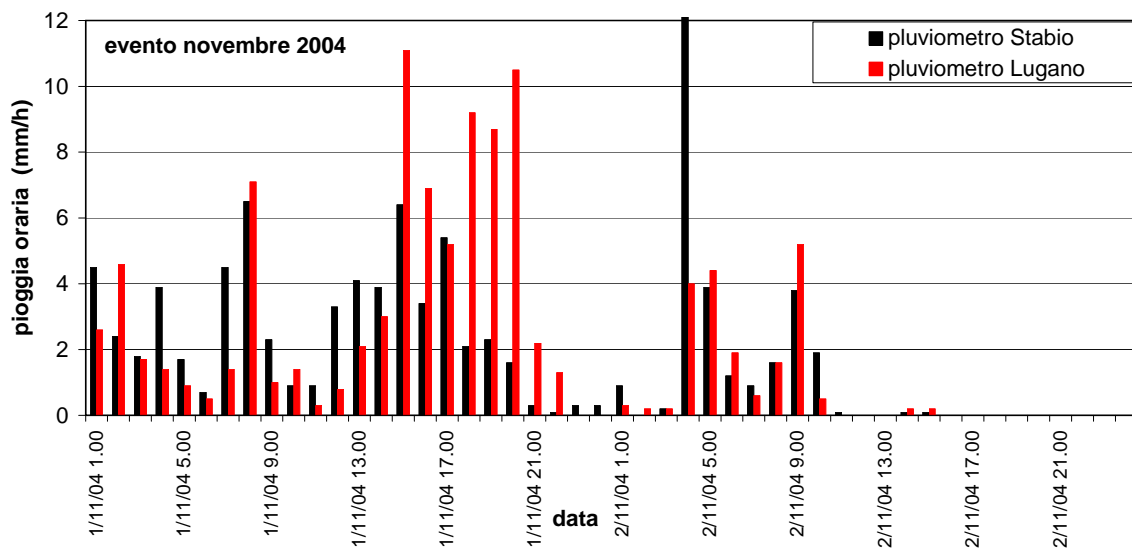


figura 9 - Confronto tra la pioggia oraria misurata a Stabio e a Lugano.

Ne consegue che le piogge usate nella simulazione della figura 8 non rappresentano le piogge reali cadute sul bacino dello Scairolo, per cui anche la portata simulata può essere solo un'approssimazione di quella misurata.

La figura 10 evidenzia quanto appena affermato. In essa è rappresentato l'istogramma della pioggia oraria misurata dai due pluviometri di Stabio (in nero) e Lugano (in rosso) e

la portata della roggia Scaiolo misurata a Figino (curva blu) tra il 25 e il 29 giugno 2005. Mentre nella roggia è stato misurato un picco di portata nella notte tra il 27 e il 28 giugno, i due pluviometri non hanno registrato quantità particolari di pioggia, contrariamente a quanto avvenuto il 25 e 29 giugno dove alle misure di pioggia corrisponde anche un picco di portata.

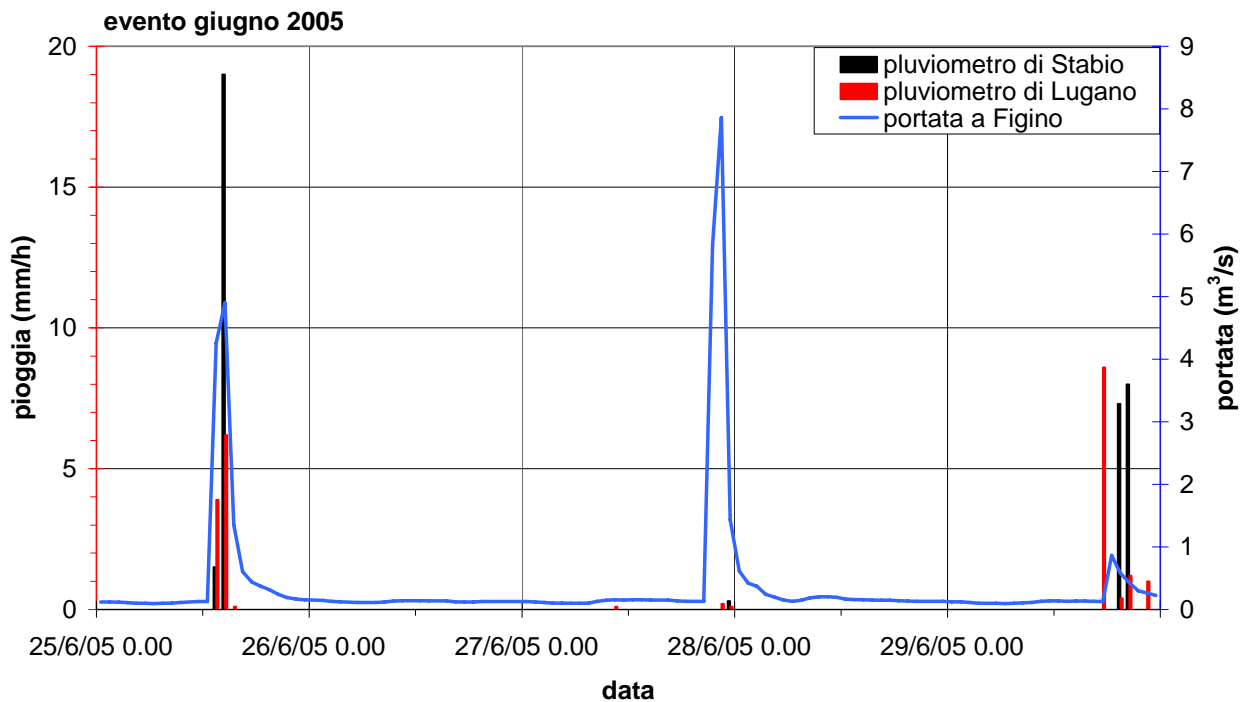


figura 10 – confronto pioggia oraria (Stabio e Lugano) e portata della roggia a Figino

Evidentemente la simulazione di questo evento con il modello numerico, che ha come input la pioggia misurata a Lugano o a Stabio, non può restituire il picco di portata del 27 giugno.

Questo mostra l'importanza e la necessità di poter disporre di un pluviometro nel centro del Pian Scaiolo.

Da aprile 2006 è in funzione un pluviometro automatico installato sul tetto dello stabile che ospita l'Ikea. La simulazione di un evento avvenuto alla fine di giugno 2006 è presentata nell'allegato E.

5. Scenari e simulazioni

5.1 Scenari di urbanizzazione

Per valutare gli effetti di urbanizzazione e soprattutto di ritenzione sulle piene dello Scairolo sono stati elaborati quattro differenti scenari.

- **U1: Situazione attuale** (2004/2005) di urbanizzazione e ritenzione. Questo scenario è stato utilizzato per la taratura del modello (anche se gli eventi utilizzati risalgono a qualche anno prima). Esso ha le seguenti caratteristiche: 70% della zona industriale è edificata e, mediamente, il 15% delle superfici industriali edificate sono allacciate a vasche di ritenzione. Il valore percentuale dello stato di urbanizzazione, pari al 70%, è una stima fatta in assenza di dati più affidabili. Il valore del 15% di superfici industriali dotate di vasche di ritenzione è stato calcolato in base ai dati forniti dallo studio d'ingegneria Mauri & Banci.
- **U2: Urbanizzazione completa senza vasche.** Tutte le superfici industriali sono edificate, nessuna vasca di ritenzione presente.
- **U3: Urbanizzazione completa con vasche su nuove edificazioni.** Tutte le superfici industriali sono edificate, tutte le nuove costruzioni sono dotate di vasche di ritenzione. Questo dovrebbe rappresentare uno scenario realistico per il futuro a medio termine.
- **U4: Urbanizzazione completa con vasche ovunque.** Tutte le superfici industriali sono edificate, quasi tutte le costruzioni principali (80% della superficie industriale) sono allacciate a vasche di ritenzione. Questo rappresenta uno scenario possibile in un futuro lontano quando gran parte degli edifici, in seguito a ristrutturazione, si sono dotati di vasche di ritenzione.

Per tutti e quattro gli scenari è stato assunto un grado di impermeabilizzazione medio del 70% sulle particelle industriali edificate. È stato assunto (per gli scenari U3 e U4) un dimensionamento medio delle vasche (portata in uscita q_{ab} , volume V) secondo le relazioni:

$$q_{ab} = Area \cdot 80 \frac{l}{ha \cdot s} \quad e \quad V = Area \cdot 150 \frac{m^3}{ha},$$

dove $Area$ rappresenta la superficie della particella.

Il valore di $80 \frac{l}{ha \cdot s}$ è il quantitativo che può essere scaricato direttamente nella

roggia, secondo le indicazioni dello studio Mauri & Banci, mentre il valore di $150 \frac{m^3}{ha}$ è stato stimato in base ad una media dei volumi delle vasche già realizzate.

Alcune considerazioni sul dimensionamento delle vasche sono contenute nel capitolo 9.

Da notare che i differenti scenari implicano cambiamenti solo nella zona industriale e quindi nella prima parte del modello (v. paragrafo 4.1) lasciando invece invariata la seconda (v. paragrafo 4.2).

5.2 Le simulazioni

Ogni scenario di urbanizzazione/ritenzione è stato ripetuto usando delle piogge sintetiche di progetto aventi diversi tempi medi di ritorno (allegato C).

L'elenco delle simulazioni è riportato in tabella 3, dove A indica le simulazioni con i parametri costruttivi delle vasche secondo le norme vigenti, B con variazioni sui parametri delle vasche (volume e portata) e C con variazione della zona in cui sono ubicate.

Scenario	Z2,33	Z10	Z20	Z50
U1	A	A	A	A
U2	A	A	A	A
U3	A	A	A	A
U4	A	A/B/C	A	A

Tabella 3: elenco delle simulazioni

A: simulazione con parametri costruttivi delle vasche secondo le norme vigenti

B: simulazioni con variazioni sui parametri delle vasche (volume e portata)

C: simulazioni con vasche solo in alcune zone

Le simulazioni sono state scelte per ottenere risposta alle domande seguenti.

- **Quale sarà l'impatto della futura edificazione** nella zona industriale mantenendo le attuali norme di ritenzione? Si vuole quindi dare delle indicazioni sulla sostenibilità di una ulteriore edificazione nella situazione normativa vigente o se occorre pensare a norme più incisive sulla ritenzione delle acque meteoriche. A questo scopo, le portate (calcolate dai modelli) in caso di completa edificazione con vasche su edificazioni nuove (U3) verranno confrontate con la situazione attuale (U1).
- **Quanto servono le vasche** di ritenzione così come dimensionate attualmente? Si vuole evidenziare l'utilità o meno dei provvedimenti urgenti applicati attualmente. A questo scopo, le portate in caso di completa edificazione con vasche su quasi tutte le superfici industriali (U4) verranno confrontate con la situazione senza vasche (U2).
- **Qual è il migliore dimensionamento** Le simulazioni con variazione dei parametri delle vasche (B in tabella) daranno delle indicazioni sul dimensionamento delle uscite e sul volume necessario perché siano efficaci durante eventi meteorici con tempi di ritorno di 10 anni. In particolare vengono indagate le situazioni con deflusso massimo consentito q_{ab}^{*MAX} pari a $80l/s ha$ (valore consentito attualmente), $60l/s ha$ e $40l/s ha$.

6. Confronto tra diversi scenari di urbanizzazione

6.1 Confronto tra situazione attuale e urbanizzazione completa del piano

I grafici seguenti (figura 11a, b, c, d) mostrano i risultati delle simulazioni, ripetute cambiando le piogge sintetiche di progetto. In essi, la simulazione con lo stato attuale di urbanizzazione e ritenzione (scenario U1, linea nera) viene messa a confronto con la simulazione in cui tutte le superfici industriali sono edificate e tutte le nuove costruzioni sono munite di vasche di ritenzione (scenario U3, linea rossa).

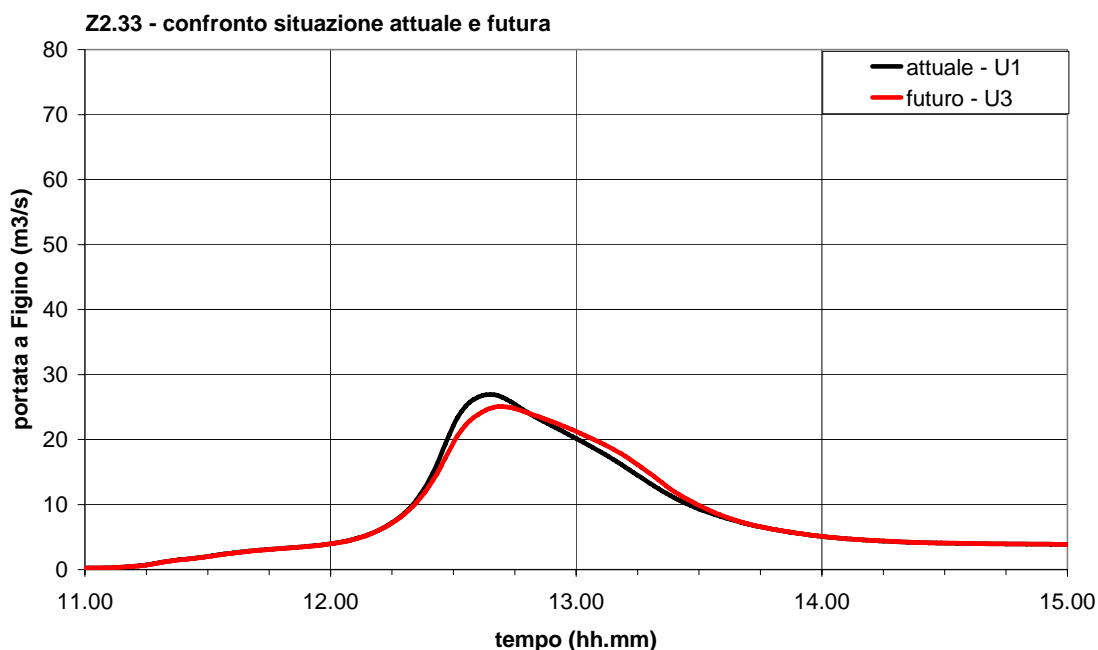


figura 11a - Confronto U1 – U3 con Z2.33

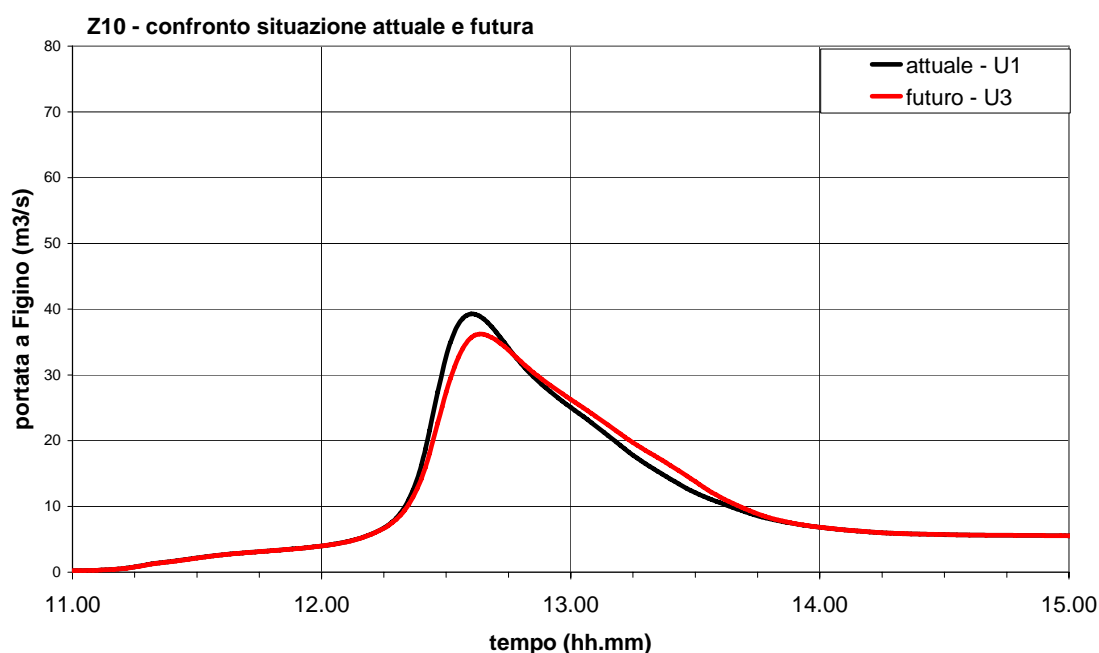


figura 11b - Confronto U1 – U3 con Z10

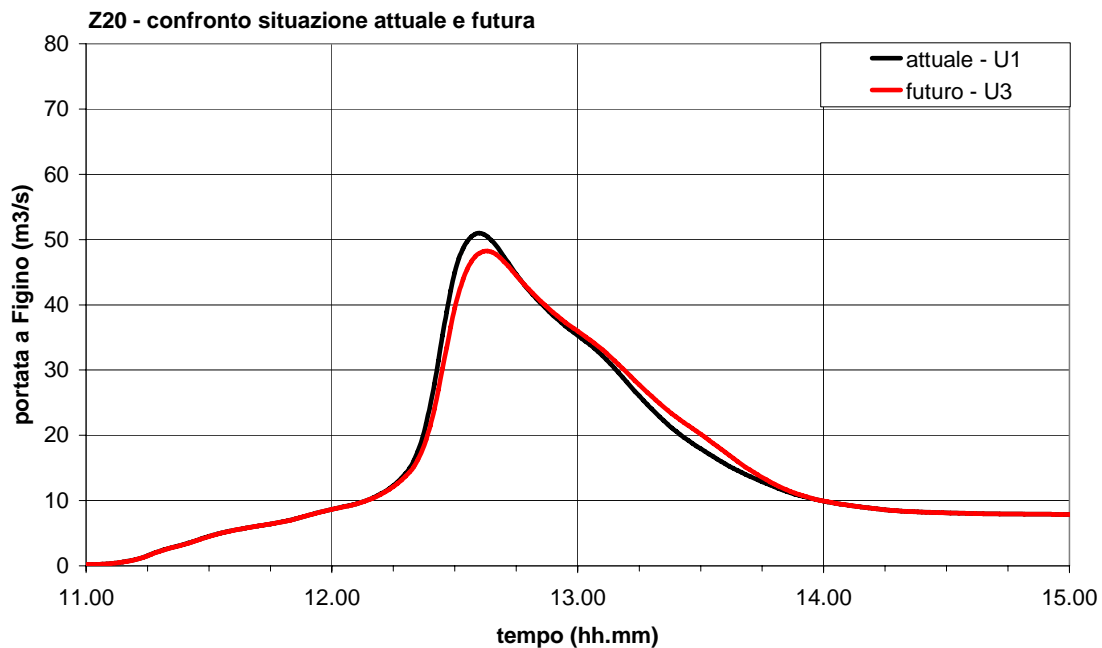


figura 11c - Confronto U1 – U3 con Z20

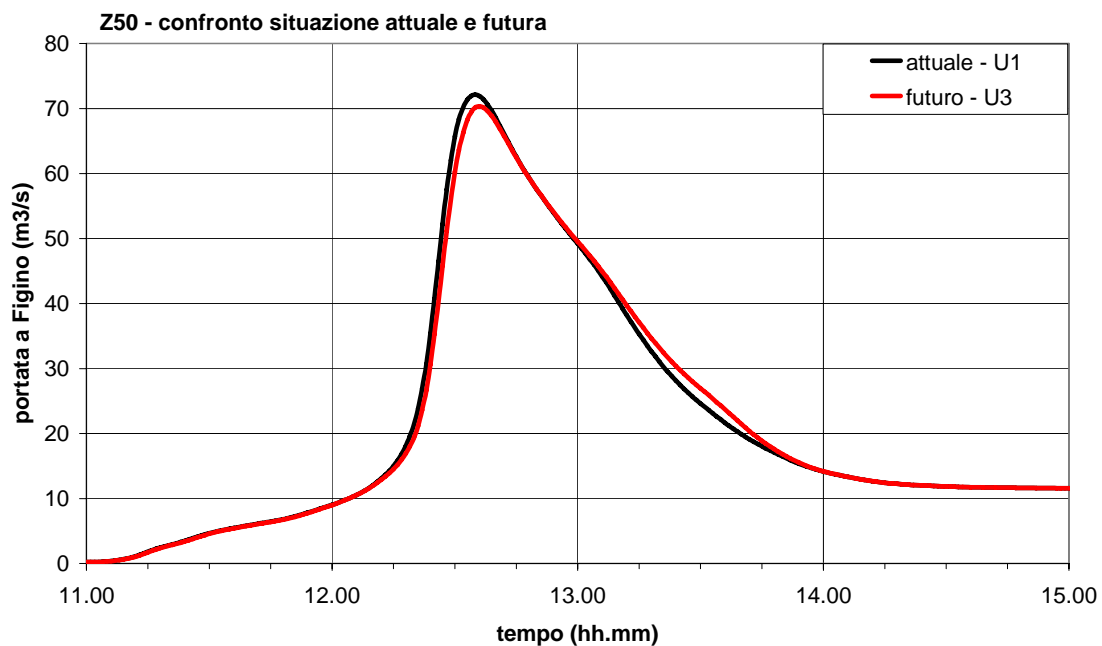


figura 11d - Confronto U1 – U3 con Z50

In tutti i quattro scenari di pioggia, la portata simulata supponendo tutte le superfici industriali edificate e allacciate a vasche di ritenzione è leggermente più bassa della simulazione della situazione attuale. L'esiguità della differenza fra le due portate si spiega considerando che la zona industriale/stradale occupa solo 108 ha dei quali il 70% è stato stimato come edificato attualmente. La simulazione U3 implica un aumento della zona edificata di 32,4 ha, rispetto alla simulazione U1, e quindi un aumento della superficie impermeabile di 22,7 ha (e questo corrisponde solo al 2,3% della superficie totale del bacino).

In tutte le figure 11 si vede come agiscono le vasche: ritenzione di una parte di pioggia con abbassamento del valore del picco di portata e susseguente immissione nella roggia quando il valore della pioggia diventa minore del quantitativo permesso di rilascio.

Dalle simulazioni si conclude quindi che una completa edificazione della zona industriale con le norme di ritenzione vigenti non fa aumentare, la portata della roggia a Figino.

Questo risultato appare sorprendente ed è spiegabile con la laminazione dei picchi di piena grazie ai manufatti di ritenzione idrica.

Un terreno prativo della piana dello Scairolo presenta, secondo il modello SCS-CN utilizzato nel progetto, il seguente comportamento del deflusso specifico in risposta alla pioggia Z10 usata nel modello (durata dell'evento: 2 ore; precipitazione cumulata : 60 mm; massimo d'intensità per 5 minuti: 180 mm/h).

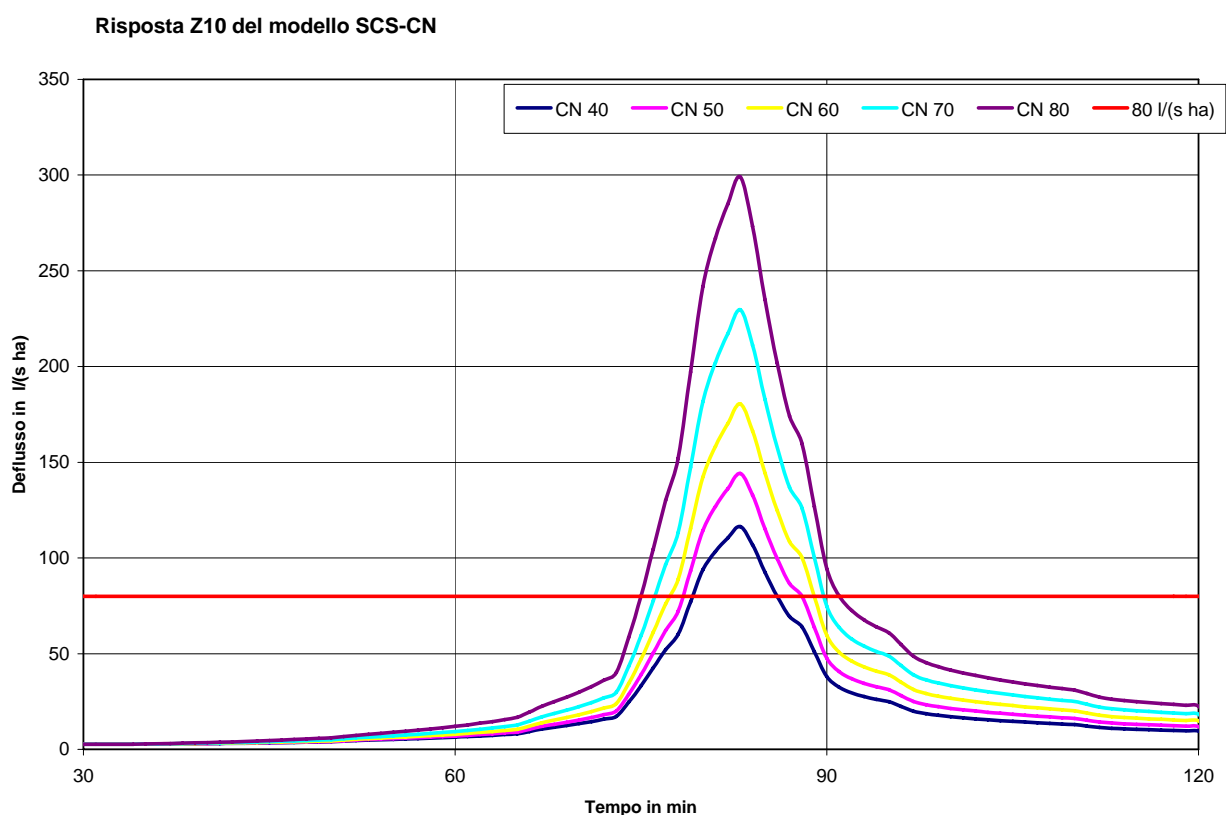


figura 11e – Deflusso specifico di un terreno prativo con pioggia Z10

La figura mostra come i deflussi per tali terreni superino ampiamente il limite di 80 l/(s ha) e quindi una limitazione di tali deflussi fanno diminuire le portate fintanto che le vasche di ritenzione non giungono al completo riempimento.

In particolare si vede come nell'istante del picco con il valore CN=60 adottato nel modello, il deflusso supera il doppio del limite di 80 l/(s ha). Ciò non sorprende dato che il picco dell'afflusso di 180 mm/h corrisponde a 500 l/(s.ha).

Inoltre si rileva che il deflusso cumulato durante l'evento ammonta a 18.1 mm, il coefficiente di deflusso è quindi 30%.

Ovviamente l'edificazione aumenta i deflussi, ma questi vengono trattiene dalle vasche di ritenzione, portando all'effetto complessivo di laminazione delle piene descritto dal modello.

6.2 Spostamento dell'onda di piena

Lo spostamento dell'onda di piena nello scenario U3, simulato con una pioggia sintetica avente tempo di ritorno di 10 anni, è raffigurato nella figura 12. Tra il primo punto di controllo (punto C – ponte pedonale a Pambio Noranco) e l'ultimo (punto M – ponte parcheggio Figino) intercorrono circa 12 minuti mentre la portata massima passa da $9,4\text{m}^3/\text{s}$ (punto C) a $36,2\text{ m}^3/\text{s}$ (punto M).

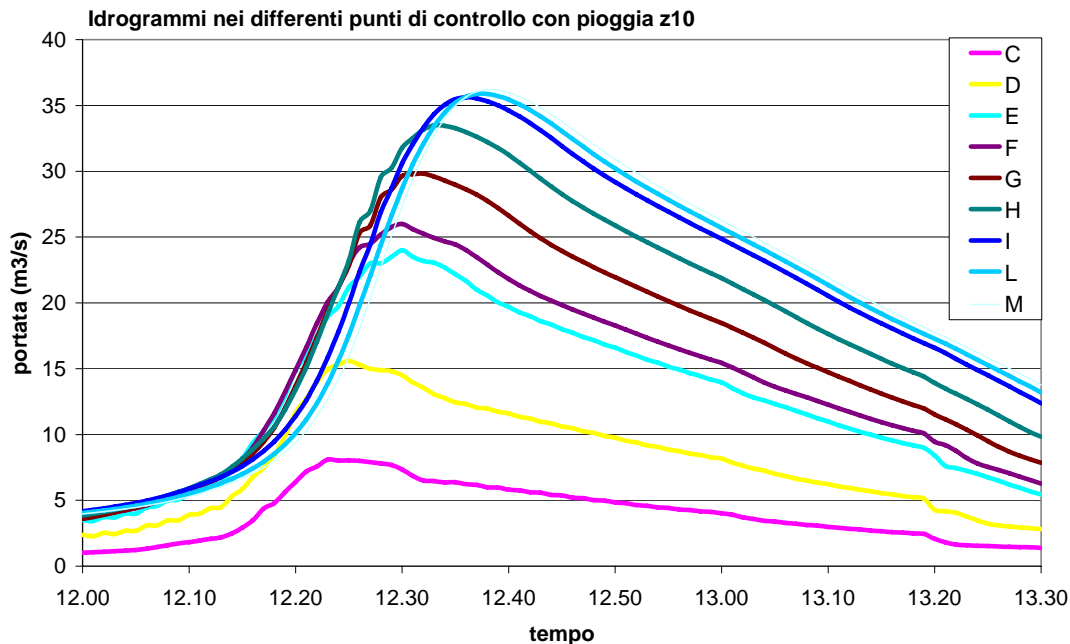


figura 12 – Propagazione dell'onda di piena

In figura 13 è rappresentato il valore di massima portata lungo la roggia per i 4 scenari di pioggia.

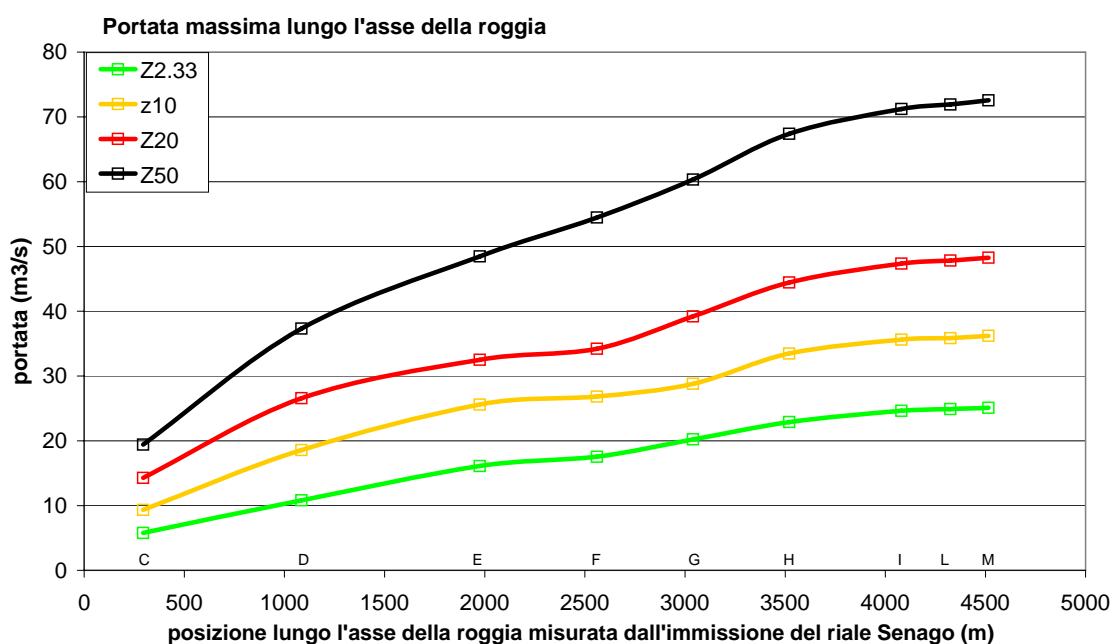


figura 13 – Propagazione dell'onda di piena

6.3 Confronto tra urbanizzazione completa senza vasche e con vasche

I grafici seguenti (figure 14a, b, c, d) mostrano i risultati delle simulazioni, ripetute cambiando le piogge sintetiche di progetto. In essi viene messo a confronto lo scenario in cui tutte le superfici industriali sono edificate senza alcuna vasca di ritenzione (scenario U2, linea nera) e lo stesso scenario ma in cui le vasche sono presenti (scenario U4 linea rossa). In colore blu è rappresentata la diminuzione di portata dovuta alle vasche. Valori positivi si hanno durante la fase di riempimento delle vasche, negativi durante lo svuotamento

In tutti i grafici si nota l'effetto di laminazione del picco di portata dovuto alla presenza delle vasche.

Con Z2,33 la riduzione della portata massima è di $3,8 \text{ m}^3/\text{s}$ (14% del picco); la capienza delle vasche non è sfruttata completamente.

Con Z10 l'effetto di laminazione è massimo: la portata massima viene ridotta di $7,1 \text{ m}^3/\text{s}$ (pari al 18% del picco). Con questo tipo di pioggia sintetica il funzionamento delle vasche raggiunge il suo limite. Le vasche vanno in saturazione pochi minuti dopo il picco di deflusso della zona industriale e 18 minuti prima dell'arrivo del picco dovuto ai versanti. Esse ritardano il picco di portata di 15 minuti rispetto alla situazione senza vasche.

L'effetto di laminazione si riduce con l'aumentare dell'intensità della pioggia. Con la pioggia sintetica Z20 la riduzione del picco di portata risulta essere di $6,3 \text{ m}^3/\text{s}$ (pari al 12%); la saturazione delle vasche interviene nell'istante del picco di deflusso della zona industriale e quindi non hanno più influsso sulla portata della roggia quando arriva il picco di deflusso dovuto ai versanti.

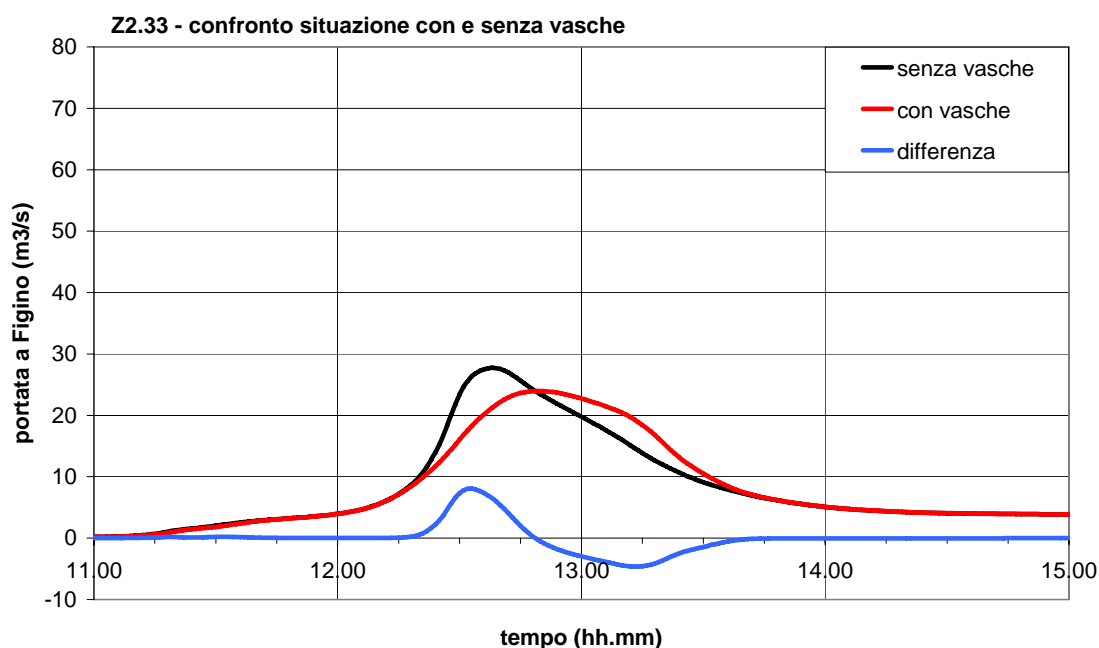


figura 14a - Confronto U2-U4 con Z2,33

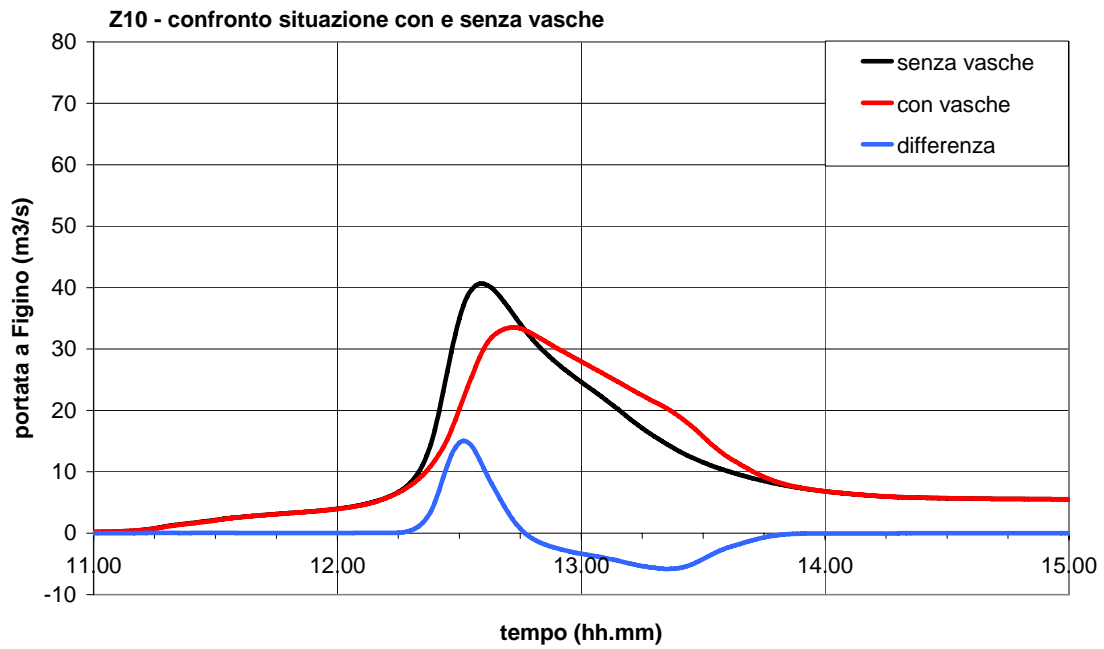


figura 14b - Confronto U2-U4 con Z10

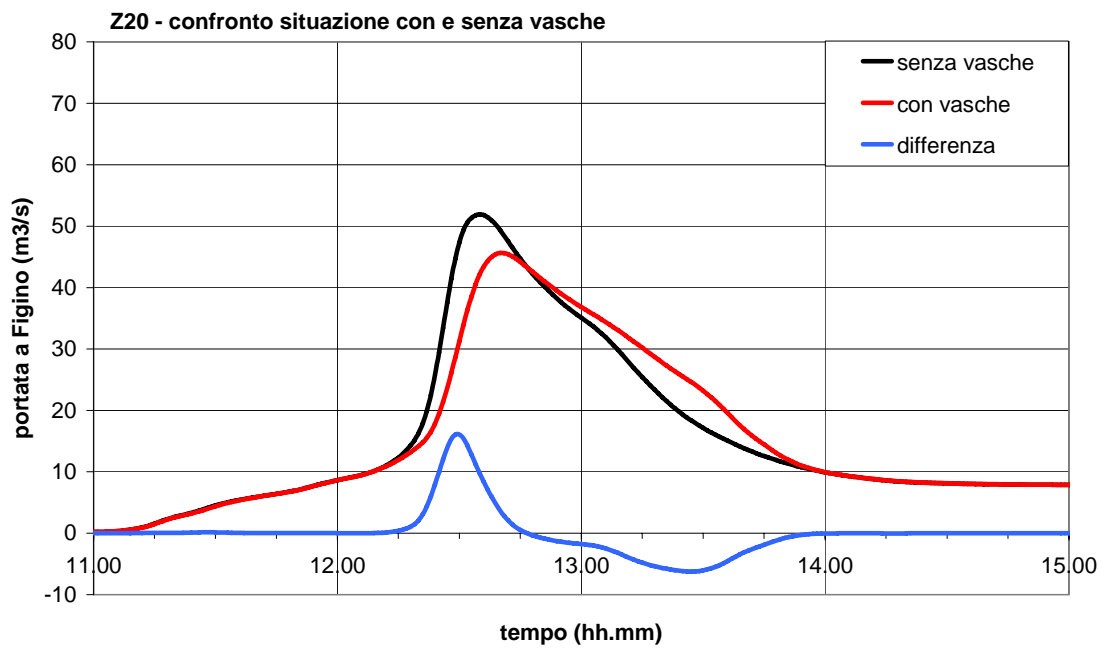


figura 14c - Confronto U2-U4 con Z20

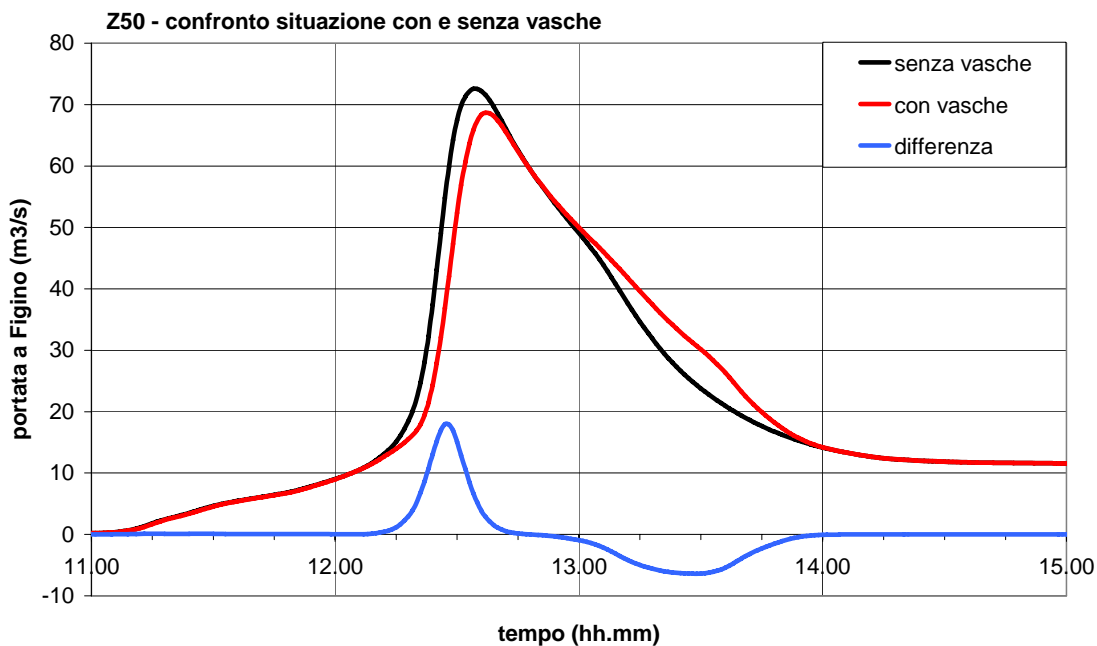


figura 14d - Confronto U2-U4 con Z50

Con la pioggia sintetica Z50 la riduzione del picco di portata è di soli $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$, pari al 5% della portata massima. La saturazione avviene prima del picco di deflusso della zona industriale.

Da questo si deduce che per le piogge di forte intensità occorrerebbero delle vasche di capacità maggiore o, non potendone aumentare le dimensioni, sarebbe opportuno aumentare il deflusso permesso in modo tale che esse non arrivino alla saturazione prima dell'arrivo del picco di pioggia. Così facendo però si annulla la loro funzione per piogge di intensità minore. Come consigliato su "Gestion quantitative des eaux pluviales – Canton de Genève", risulterebbe quindi auspicabile poter regolare il deflusso permesso in base all'intensità della pioggia. Esistono sul mercato dei regolatori di portata relativamente semplici che soddisfano questa esigenza (regolatori di portata a effetto vortex; regolatori a membrana;ecc.)

6.4 Comportamento delle vasche di ritenzione

Il comportamento delle vasche di ritenzione nello scenario U4 è illustrato nella figura 15 (è rappresentato il volume di acqua accumulato complessivo nelle vasche in funzione del tempo per i quattro scenari di pioggia). La capacità massima delle vasche per lo scenario U4 è stimata in circa 13'000 m³.

Con una pioggia sintetica avente tempo di ritorno di 2,33 anni, le vasche appaiono sovradimensionate (curva in colore verde): solo circa il 65% del loro volume viene riempito.

Con una pioggia sintetica avente tempo di ritorno di 10 anni, le vasche sono colme 3 minuti dopo il picco di deflusso delle zone industriali e rimangono in saturazione per circa 10 minuti. Durante questo intervallo di tempo sopraggiunge però il picco di deflusso proveniente dai versanti per cui le vasche, dopo aver contribuito a mantenere bassa la portata, ora non sono più in grado di adempiere al loro compito di laminazione.

In questa situazione (per la quale sono state effettivamente concepite) le vasche appaiono leggermente sottodimensionate. Indicazioni a riguardo si trovano nell'allegato E.

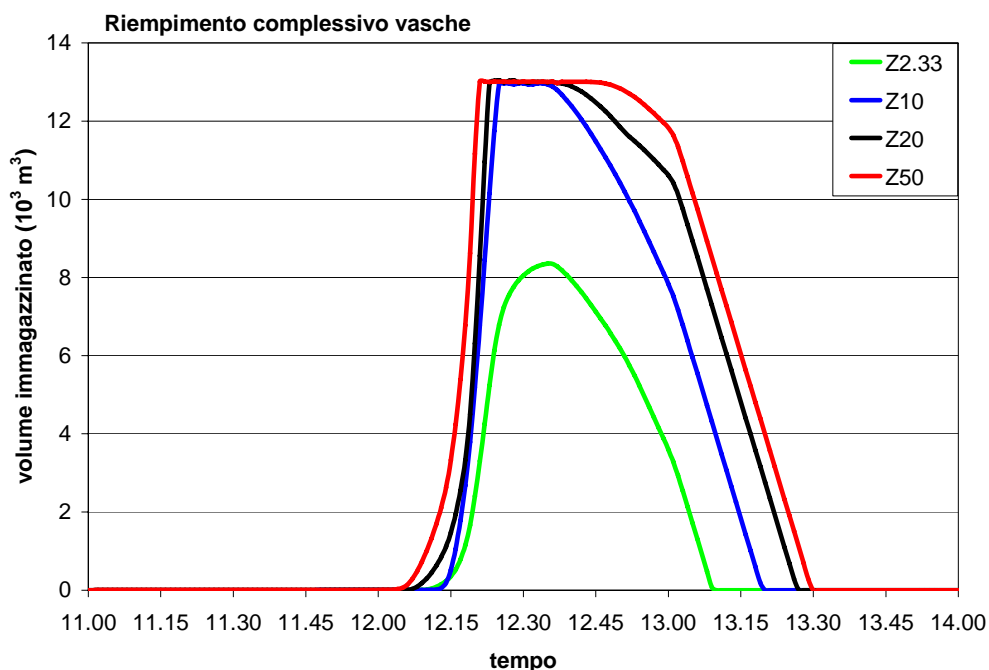


figura 15 - Comportamento delle vasche

Per piogge sintetica aventi tempo di ritorno di 20 e 50 anni, le vasche vengono completamente riempite ancora prima che arrivi il picco di portata nella roggia. Esse ritengono acqua quando la portata nella roggia è relativamente bassa, riempiendosi molto velocemente e perdendo la loro capacità di laminazione della portata.

Per queste situazioni le vasche sono sottodimensionate.

7. Simulazioni con variazione dei parametri delle vasche

In questo capitolo si studia l'influenza del deflusso massimo ammesso sulla portata della roggia. Lo scenario utilizzato a tale scopo è quello con completa edificazione e vasche generalizzate, perché solo questo riesce ad evidenziare le variazioni di portata.

Per il calcolo dei volumi delle vasche è stata utilizzata la metodologia attuale, che porta ad un dimensionamento leggermente insufficiente delle vasche, le quali vanno in saturazione durante l'evento. Per la problematica sul dimensionamento delle vasche si rimanda all'allegato E (vedi anche "Gestion quantitative des eaux pluviales, République et Canton de Genève").

Il volume complessivo delle vasche, nelle differenti situazioni, risulta essere di

$q^*_{ab\ MAX}$	80l/s ha	60l/s ha	40l/s ha
V_{TOT}	12886m ³	15892m ³	20617m ³
Variazione	-	+23%	+60%

tabella 4 – Volumi complessivi delle vasche in funzione del deflusso ammesso

La tabella mostra i volumi complessivi di tutte le vasche di ritenzione del pian Scairolo in funzione del deflusso massimo ammesso. La simulazione mostra che questi volumi non sono comunque sufficienti per non saturarsi in un evento Z10. Nell'ultima riga della tabella sono indicati gli aumenti percentuali di volume necessari, rispetto all'attuale situazione con $q^*_{ab\ MAX} = 80\text{l/s ha}$. Questo dato occorre per eventualmente valutare il rapporto costo-beneficio.

Confronto tra diversi dimensionamenti delle vasche (Z10)

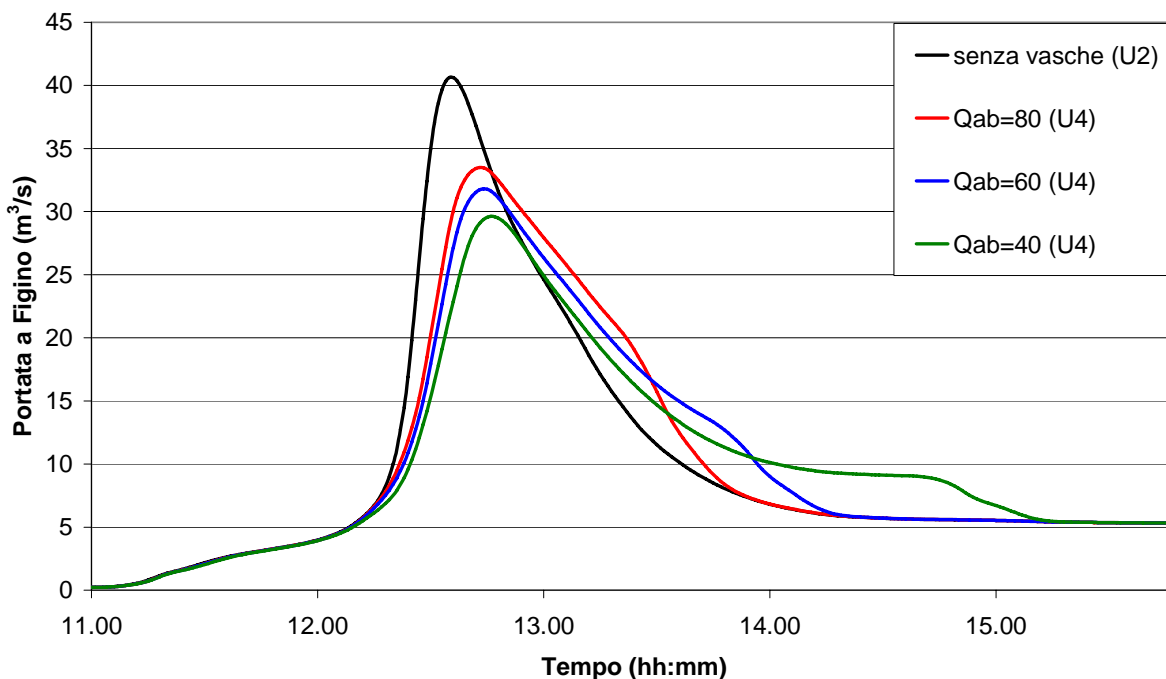


figura 16 – Portata a Figino con differenti valori di deflusso massimo

Nella figura 16 sono indicati i risultati del modello per le portate a Figino: in nero la situazione senza vasche di ritenzione, in rosso, blu e verde per i limiti di deflusso di

80l/s ha , 60l/s ha e rispettivamente 40l/s ha . I valori massimi di portata a Figino sono riportati nella tabella seguente.

q^*_{abMAX}	senza vasche	80l/s ha	60l/s ha	40l/s ha
P_{MAX}	40.7 m ³ /s	33.5 m ³ /s	31.8 m ³ /s	29.6 m ³ /s
Variazione	-	-18%	-21%	-27%

tabella 5 – Portata di picco a Figino con differenti valori di deflusso massimo permesso

Nell'ultima riga sono riportate le diminuzioni percentuali di portata ottenute grazie alle strutture di ritenzione, rapportate alla situazione senza vasche.

Questi risultati indicano che pur essendoci significative differenze tra la situazione $q^*_{abMAX} = 80l/s ha$ e $q^*_{abMAX} = 40l/s ha$, la parte predominante dell'effetto di laminazione viene ottenuto anche con i limiti attualmente adottati.

La seguente simulazione evidenzia le conseguenze dovute alla saturazione delle vasche. Sono state effettuate le medesime simulazioni, ma con vasche di volume sufficiente a raccogliere l'eccesso di acqua.

Confronto con vasche di volume sufficiente

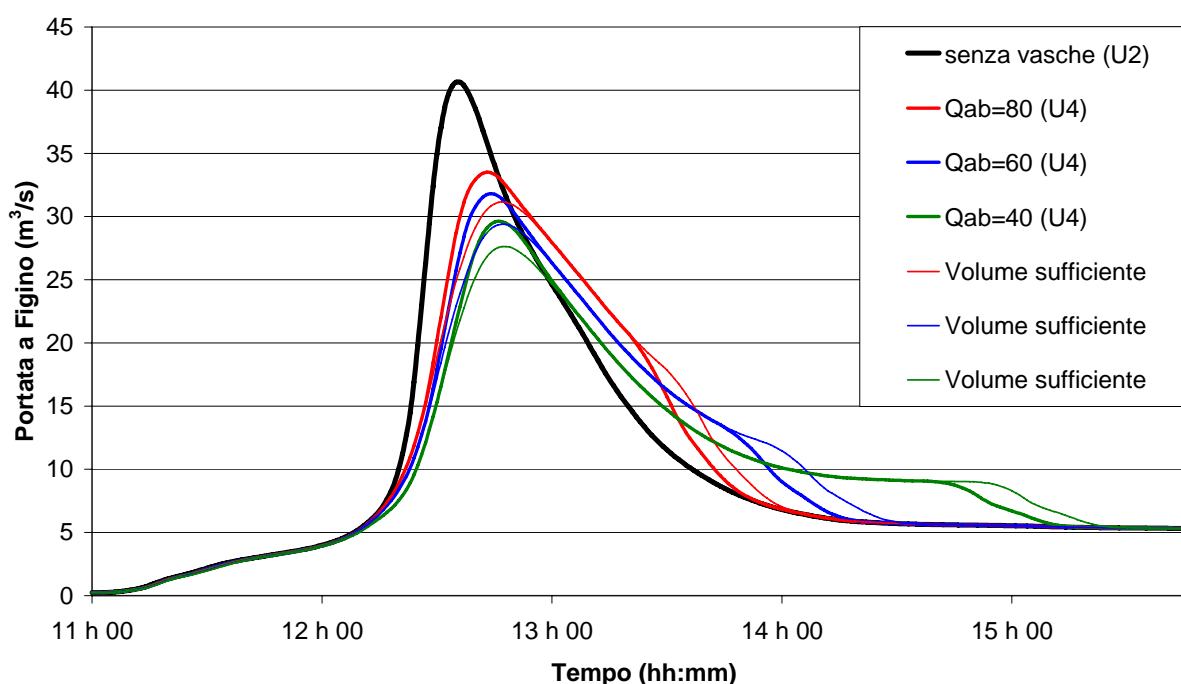


figura 17 – Confronto della portata a Figino con vasche di volume sufficiente

La figura 17 riporta oltre alle curve precedenti (linee spesse) le curve di portata che il modello indica per i medesimi limiti di deflusso q^*_{abMAX} , ma con vasche di volume sufficiente per non essere saturate (linee sottili del medesimo colore).

Nella tabella seguente vengono confrontati i volumi originali e quelli necessari secondo il modello.

$q_{ab}^{* MAX}$	80l/s ha	60l/s ha	40l/s ha
V_{TOT} (criteri attuali)	12886m ³	15892m ³	20617m ³
V_{TOT} (senza saturazione)	16641m ³	19334m ³	22991m ³
Variazione	+12%	+22%	+29%
V_{TOT} (metodo proposto)	17181m ³	20617m ³	24654m ³

tabella 6 – Volumi complessivi di tutte le vasche del pian Scairolo dimensionate secondo differenti criteri

La tabella 6 indica quindi i volumi secondo i metodi di dimensionamento attualmente applicati, i volumi necessari per non essere saturate secondo il modello, la differenza percentuale nonché i volumi che si ottengono applicando le regole descritte nell'allegato E.

La figura 18 riassume i risultati delle sei simulazioni presentate in questo capitolo, mettendo in relazione l'effetto di laminazione di ciascuna situazione con il volume di ritenzione complessivo necessario per il suo ottenimento.

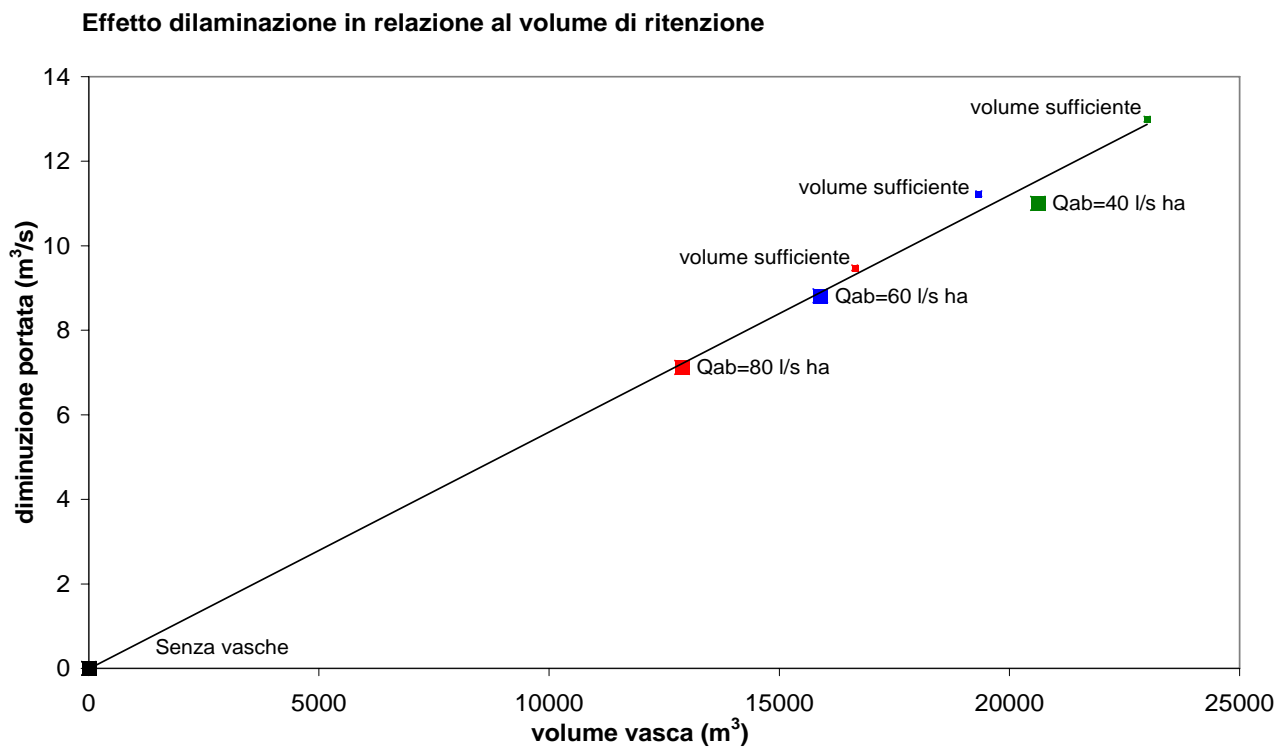


figura 18 – Effetto di laminazione a Figino in relazione al volume complessivo di ritenzione

8. L'efficacia delle vasche nelle differenti zone

L'efficacia delle vasche può diminuire se manca il coordinamento temporale dei deflussi. L'effetto di ritardo del picco di portata potrebbe portare addirittura ad una sincronizzazione dei picchi di portata di bacini differenti. Come descritto nell'allegato A5 le vasche diminuiscono la portata nella fase di accumulo e aumentano la portata nella fase di rilascio.

Nel nostro caso le vasche defluiscono nella roggia e quindi occorre accertare che il picco di portata della roggia, dovuto alla parte di bacino imbrifero drenante nella roggia a monte del singolo impianto di ritenzione considerato, si trovi nella fase di accumulo dell'impianto e non nella fase di rilascio, perché ciò porterebbe ad un aumento di portata (almeno nel punto di immissione nella roggia).

Allo scopo di studiare questi aspetti sono state eseguite delle simulazioni, in cui sono state eliminate selettivamente le vasche di ritenzione di alcune zone.

Le simulazioni sono stata eseguite per lo scenario di completa edificazione con vasche di ritenzione diffuse (scenario U4), per un evento con tempo di ritorno di 10 anni ($Z=10$) e con vasche di ritenzione di volume sufficiente per non essere saturate.

Le simulazioni effettuate sono riassunte nella tabella seguente.

Nome della simulazione	Zone B, C	Zona D	Zona E	Zone F, G, H, I
Tutte le zone	SI	SI	SI	SI
Parte media e bassa		SI	SI	SI
Parte media		SI	SI	
Parte alta e media	SI	SI	SI	
Parta alta	SI	SI		

tabella 7 – Simulazioni con differenti presenze delle vasche (SI: vasche presenti)

Le denominazioni delle zone fanno riferimento allo studio *“Concetto di ritenzione e verifica idraulica della roggia Scairolo”* dello Studio di ingegneria Mauri & Banci (vedi anche figura 3).

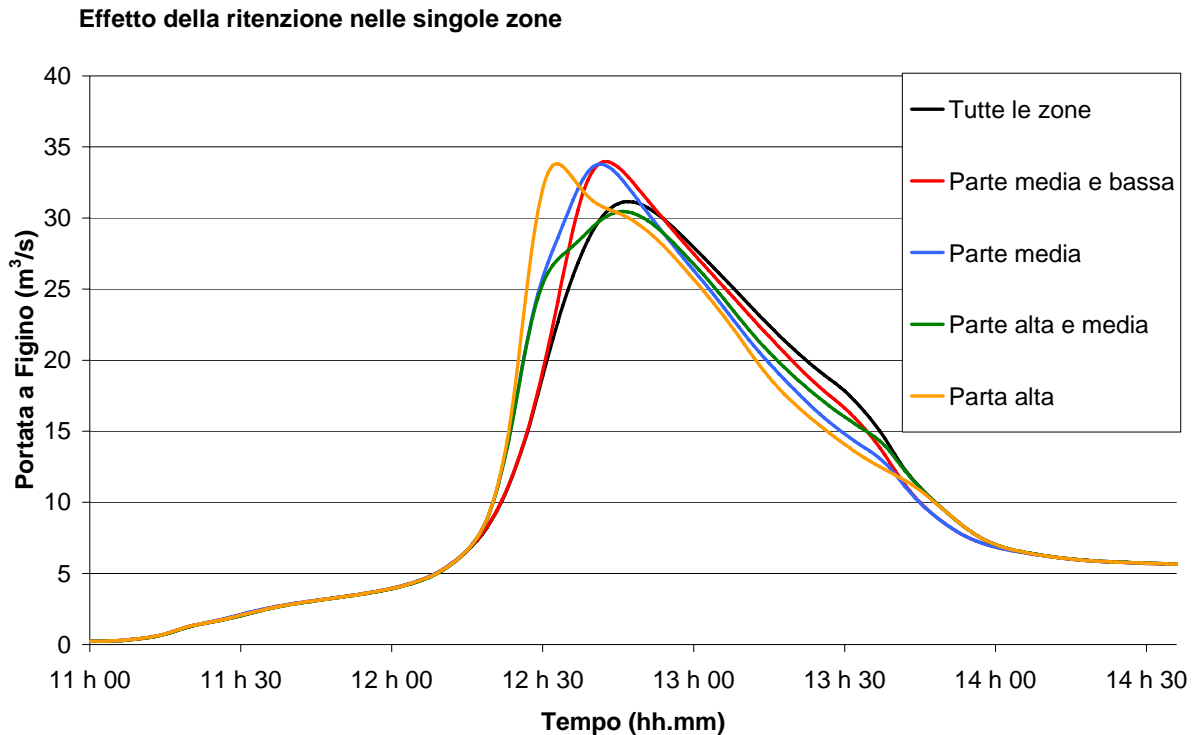


figura 19 – Portata a Figino con impianti di ritenzione non generalizzati a tutte le zone.

Il grafico mostra i risultati ottenuti per la portata della roggia a Figino (punto di controllo M) nei diversi casi.

È molto interessante vedere come la rinuncia alle installazioni di ritenzione, in qualsiasi zona, porta ad immediati aumenti della portata massima a Figino, tranne per gli impianti nella parte bassa della roggia. **Infatti togliendo le installazioni di ritenzione nelle zone basse (F, G, H, I) il modello non indica alcun aumento di portata.**

Questo risultato si spiega anche intuitivamente. Considerando sincroni i deflussi dei singoli bacini imbriferi lungo la roggia, gli apporti dei bacini nelle zone alte della roggia subiscono un ritardo dovuto ai tempi di propagazione dell'onda lungo l'asse della roggia. I deflussi dei bacini bassi evacuerebbero prima dell'onda di piena proveniente dai bacini più alti, se non venissero ritardati dalle installazioni di ritenzione. L'effetto positivo della laminazione viene mitigato dall'effetto dovuto al ritardo, in questo caso negativo perché sincronizza il deflusso dei bacini con l'onda di piena della roggia.

Sicuramente si potrebbe migliorare l'efficacia di questi impianti con dei sistemi di regolazione dei deflussi, che impediscano la sincronizzazione sopra descritta. Alternativamente si potrebbero impiegare le risorse risparmiate negli impianti di questa zona bassa in installazioni nella zona alta, ottenendo effetti maggiori.

9. Conclusioni riassuntive

Il modello elaborato ha dimostrato di descrivere appropriatamente il comportamento idrologico del bacino imbrifero della roggia Scairolo.

Una verifica più accurata del funzionamento del modello numerico (taratura del modello) necessiterebbe però di altri dati: in particolare sarebbe auspicabile disporre di dati pluviometrici misurati nel centro del bacino.

Da aprile 2006 è funzionante un pluviometro automatico situato nel centro del bacino. Per ora però è capitato un solo evento degno di nota (vedi allegato E), oltretutto durato poche ore e quindi insufficiente per essere utilizzato per la taratura, ma solo per una validazione ulteriore del modello.

Inoltre sarebbe interessante verificare il funzionamento delle vasche di ritenzione durante gli eventi meteorici dotandone una, presa ad esempio, di un limnigrafo.

Questa misurazione darebbe utilissime informazioni sul comportamento idrologico delle parcelle industriali edificate, comportamento fino ad ora non verificato, che rappresenta uno delle maggiori fonti di incertezza del modello.

Va inoltre notato che il comportamento idrologico dei vari sottobacini e quindi anche di tutto il bacino imbrifero della roggia Scairolo, è influenzato, in maniera determinante, dallo stato iniziale del terreno. Un evento meteorico anche modesto porta a forti deflussi se trova un terreno saturo dopo un periodo di piogge frequenti, viceversa un evento con precipitazioni importanti può portare a effetti modesti se il terreno è in grado di assorbire una grande parte dell'acqua. Questo implica che piogge decennali non necessariamente portano a deflussi decennali, lo stato iniziale del terreno è determinante quanto le precipitazioni (vedi allegato E).

Ciononostante il modello dà valide risposte tramite il confronto tra differenti scenari. In particolare le uscite del modello indicano quanto segue.

- Il confronto tra la situazione con e senza vasche dimostra l'efficacia delle stesse, ma dimostra pure che il loro dimensionamento è adeguato per eventi minori, fino a piogge decennali, risulta invece insufficiente per eventi meteorici più importanti.
- Le simulazioni del capitolo 6 indicano che l'edificazione delle vasche secondo le norme di ritenzione vigenti, permette di non aggravare la situazione idraulica della roggia a causa dell'ulteriore urbanizzazione delle zone industriali del piano (vedi figure 11a-d).
- Le simulazioni del capitolo 7 con variazione del valore di q_{abMAX}^* mettono ulteriormente in evidenza l'efficacia delle vasche. Con un $q_{abMAX}^* = 40l/s \cdot ha$ si ottiene un abbassamento del picco di portata di oltre il 25% (con una pioggia sintetica Z10). Con l'attuale limite di $q_{abMAX}^* = 80l/s \cdot ha$ si ottiene comunque una laminazione del 18% (vedi figura 16). Se le vasche fossero dimensionate in maniera tale da non saturare (con un evento Z10) la laminazione sarebbe ulteriormente migliorata (vedi figura 17).

- Secondo le linee guida del canton Ginevra, il dimensionamento specifico deve essere eseguito secondo il deflusso medio $\overline{q_{ab}^*}$ e non secondo il deflusso massimo ammesso q_{abMAX}^* , per tener conto della portata reale in uscita delle vasche (vedi allegato E). Questo fatto indica che occorre anche valutare l'opportunità di installare (semplici) dispositivi di regolazione della portata di deflusso delle vasche. Questi dispositivi aiutano anche a prevenire problemi di otturazione dello scarico.
- Le simulazioni del capitolo 8 indicano che occorre valutare attentamente la distribuzione delle vasche di ritenzione lungo l'asse della Roggia. In particolare si vede che le risorse investite nelle installazioni di ritenzione nella parte bassa della roggia hanno effetti limitati, esse potrebbero essere impiegate in maniera più efficace se investite nella parte alta della roggia (vedi figura 19).
- Alcune conclusioni (capitolo 7 e successivi) si riferiscono ad un evento meteorico del tipo Z10, scelto in base alle indicazioni dello Studio di ingegneria Mauri&Banci, ritenendo un intervallo medio di 10 anni tra le esondazioni accettabile.

Per concludere questo rapporto invitiamo i committenti a formulare osservazioni e richieste di approfondimento per un proseguimento del progetto.

Bibliografia

Bundesamt für Statistik, Digitale Bodeneignungskarte, 2000.

Chow V.T., D.R. Maidment & L.W. Mays, *Applied Hydrology*, McGraw-Hill, 1988.

Istituto Scienze della Terra, *Annuario idrologico del Canton Ticino*, 2000..2004.

Michela Conti, *Distribuzione delle intensità di pioggia e sua incidenza nel calcolo di una piena centenaria*, rapporto interno no 026, Istituto Geologico Cantonale, agosto 1993.

Moisello U., *Pioggia-Sintesi di ietogrammi di progetto*, Pavia, dicembre 1999.

Nash JE, Sutcliffe JV, *River flow forecasting through conceptual models Part I*, Journal of hydrology. 10(3), 1970.

République et Canton de Genève, *Gestion quantitative des eaux pluviales – Méthode simplifiée pour le dimensionnement et la conception des ouvrages de rétention pour les petits bassins versants urbanisés*, febbraio 2005.

Studio d'ingegneria Mauri T. & Banci F., *Verifica idraulica della roggia Scairolo – Relazione tecnica*, Pregassona, dicembre 1997.

Studio d'ingegneria Mauri T. & Banci F. C.M.A.P.S. *Concetto di ritenzione e verifica idraulica della roggia Scairolo – Planimetria generale*, marzo 1997.

Studio d'ingegneria Mauri T. & Banci F, C.M.A.P.S. *Planimetria schema idraulico*, luglio 2004.

US Army Corps of Engineers, *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Reference Manual*, March 2000.

US Army Corps of Engineers, *Hydrologic Modeling System HEC-HMS User's Manual*, January 2001.

Zeller J., H. Geiger , G. Röthlisberger, *Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes*, vol. 5 Wallis und Tessin, Eidgenössische Anstalt für das forstliche Versuchswesen, 1981, Birmensdorf

ALLEGATI

A. Descrizione dei modelli

A1. Il modello di infiltrazione

Questa parte del modello ha il compito di separare l'acqua meteorica in due parti. La prima è quella che si infiltra nel terreno per riemergere solo dopo diverso tempo come flusso di base o evapotraspirazione mentre la seconda parte, che è quella che più interessa in questo studio, si raccoglierà nella rete idrografica. Nell'attuale stato del territorio i versanti sono prevalentemente boschivi e prativi, le zone edificate sono relativamente modeste e di tipo residenziale. In queste zone residenziali rimane ancora una grande riserva di terreni non ancora edificati.

Il fondovalle è prevalentemente industriale e artigianale nella parte iniziale della roggia Scaiolo (vicina alla città di Lugano) e prativa o residenziale nella parte più vicina alla sua foce a lago. La zona industriale presenta ancora una considerevole riserva di edificazione. L'edificazione rende impermeabile una parte del terreno (tetti, viali e posteggi) raccogliendo quindi l'acqua piovana caduta su queste porzioni di terreno e facendola defluire quasi istantaneamente nella rete idrografica.

Si può ragionevolmente stimare che la superficie impermeabile corrisponda a circa il 40% del mappale nelle zone edificate in maniera residenziale estensiva e all'70% nelle zone di nucleo e nelle zone industriali.

Il modello di infiltrazione scelto (SCS-CN) tiene conto dell'urbanizzazione facendo defluire istantaneamente l'acqua caduta sulla porzione di terreno impermeabile e lasciando invece in parte infiltrare nella falda acquifera e in parte defluire l'acqua caduta sulla parte restante del terreno secondo le equazioni seguenti:

$$E = \begin{cases} 0 & \text{se } P \leq I_a \\ \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)} & \text{se } P > I_a \end{cases}$$

dove E è il volume di deflusso accumulato (in mm) detto anche *eccesso di precipitazione* accumulata, P è il volume di precipitazione accumulata (in mm) caduta nella parte non impermeabile, I_a è la capacità di intercettazione in superficie nelle rugosità del terreno e S è il volume della capacità di immagazzinamento massimo stimato negli orizzonti di suolo (in mm).

La capacità di immagazzinamento (in mm) negli orizzonti di suolo è stimabile dalla seguente relazione:

$$S = 254 \cdot \frac{100 - CN}{CN},$$

dove CN è un parametro adimensionale, variabile da 1 a 100 che esprime le condizioni idrologiche del suolo al momento dell'inizio della pioggia. Il parametro CN dipende sia dal tipo di suolo che dall'umidità iniziale dello stesso.

A questo volume di deflusso E si aggiunge ovviamente la pioggia caduta sulla porzione di superficie impermeabile.

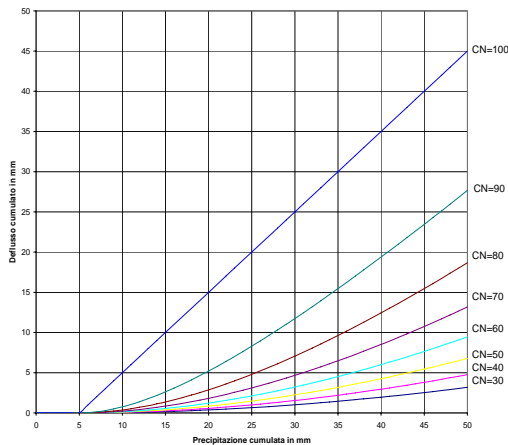


figura A1 - Relazione tra precipitazioni e deflussi totali nel caso di una intercettazione superficiale di 5 mm

La figura A1 illustra la relazione tra precipitazione e deflusso per differenti valori di CN .

Si vede in figura come con il perdurare della precipitazione le curve raggiungano la pendenza pari ad 1 (nessun ulteriore infiltrazione). Il modello tiene quindi conto del progressivo aumento dell'umidità nello strato di copertura del terreno, fino a giungere alla saturazione. In questa situazione anche il terreno naturale non è più in grado di assorbire ulteriore acqua.

Ne consegue che la portata della roggia, come risposta a due eventi meteorologici identici, potrà essere molto diversa dipendendo fortemente dallo stato iniziale del terreno.

I dati relativi alla capacità di assorbimento iniziale del terreno (CN) sono stati ricavati dalle "Carte nazionali sull'uso del suolo". Il modello SCS-CN è largamente utilizzato in tutto il mondo ed ha dato ottime conferme di validità. Esso è pure implementato presso l'IST nel modello di previsione della quota del lago Verbano in caso di alluvione.

Il metodo del CN permette di simulare abbastanza bene il processo di infiltrazione e ruscellamento relativi al primo picco importante di pioggia mentre ha difficoltà, a causa delle ipotesi su cui si basa il metodo, nel simulare i processi provocati dai picchi di pioggia successivi. Nel presente studio, a parte la fase di taratura, vengono usate le piogge sintetiche di progetto che presentano un unico picco di intensità.

A2. Il modello di deflusso

Questa parte del modello si occupa di descrivere il trasporto dell'acqua non infiltrata dal punto in cui cade fino alla sezione di chiusura del (sotto)bacino. Il trasporto avviene in due fasi: il trasporto di versante e il trasporto nella rete idrografica.

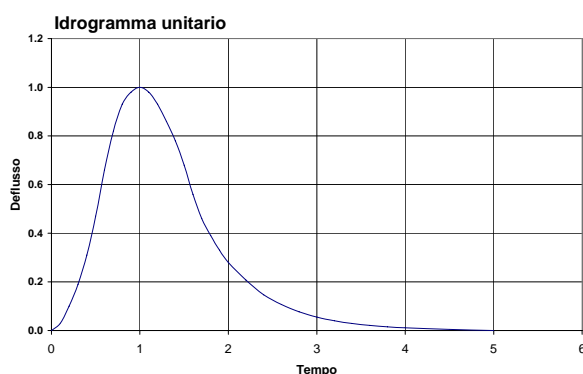


figura A2 - Idrogramma unitario

Il metodo utilizzato si basa sul concetto di *idrogramma unitario* e di *idrogramma sintetico*.

Un impulso unitario (di volume totale pari ad uno) di precipitazione (non infiltrata) distribuita sull'area del bacino produrrà una risposta unitaria alla sezione di chiusura. Questa risposta sarà ritardata rispetto all'impulso di precipitazione e distribuita nel tempo.

Tipicamente otterremo una risposta simile alla figura A2.

Ammettendo che il bacino imbrifero sia descrivibile come un sistema dinamico lineare, cioè che valga un principio di proporzionalità tra precipitazione e deflusso ed un principio di superposizione, si otterrà la risposta ad un eccesso di precipitazione qualsiasi $e(t)$ come convoluzione tra precipitazione e idrogramma unitario $h(t)$:

$$q(t) = \int_0^t e(\tau)h(t-\tau)d\tau.$$

Secondo il modello di Snyder tutti i bacini presentano idrogrammi unitari simili (la curve hanno la stessa forma) e sono descrivibili tramite due parametri t_p e C_p (*tempo di ritardo* del bacino e *coefficiente di picco*) che dipendono dalle caratteristiche morfologiche e idrologiche del bacino.

Il primo parametro descrive il tempo di ritardo della risposta del bacino all'impulso di pioggia e dipende da dimensione, forma e pendenze dei versanti e dalla rete idrografica. Più il territorio è urbanizzato e più si riduce questo tempo di ritardo.



figura A3 - Influenza dell'urbanizzazione sull'idrogramma unitario

Il secondo parametro descrive la capacità di laminazione dei picchi. Anche in questo caso l'urbanizzazione riduce questa capacità del bacino.

La figura A3 evidenzia l'influenza tipica dell'urbanizzazione sulla risposta del bacino. La curva di risposta presenta un minore ritardo del picco e soprattutto perde la capacità di laminare i picchi di deflusso.

I parametri t_p e C_p dei sottobacini dello Scairolo sono stati ricavati secondo la teoria di Snyder dalla morfologia degli stessi.

La proposta di Snyder per la stima del parametro t_p è la seguente:

$$t_p = 0.75C_t(L \cdot L_c)^{0.3}.$$

L'USACE Los Angeles District propone invece:

$$t_p = 0.75C_t \left(\frac{L \cdot L_c}{\sqrt{S}} \right)^{0.33}.$$

L rappresenta la lunghezza dell'asta, L_c la lunghezza dell'asta tra la sezione di chiusura e il punto più vicino al centroide del bacino, S la pendenza media dell'asta. Questi parametri (v. allegato F) sono stati ricavati dalla mappa del bacino mentre C_p e C_t sono stati determinati tramite taratura. Presso l'IST sono stati eseguiti studi su bacini simili che hanno permesso di ricavare una base di riferimento per tali valori.

A3. Il modello di flusso di base

Questa parte descrive unicamente l'acqua restituita dalla falda acquifera, in pratica le portate presenti nella rete idrografica anche quando non piove, che in caso di precipitazioni vanno comunque ad aggiungersi ai contributi descritti sopra.

In un bacino come lo Scairolo, a carattere torrentizio, queste portate di base sono trascurabili rispetto alle portate dovute ai deflussi superficiali e non influiscono sui picchi di piena. Per completezza del modello vengono comunque tenute in conto con un modello a decadimento esponenziale (bounded recession) che descrive la coda dell'evento in modo più realistico.

A4. Il modello idraulico dei canali

Questa parte descrive la propagazione dell'onda di piena nei canali. Per lo Scairolo si è scelto il modello di *Muskingum-Cunge* che tiene conto della forma e della pendenza del canale nonché della scabrezza delle sue superfici. Questo modello parte da un presupposto di flusso uniforme e non riesce quindi a descrivere effetti di riflusso dovuti ad esempio a ponti che intralciano il corso d'acqua o a forti immissioni laterali nel canale che modificano lo scorrimento dello stesso. Allo stesso modo non tiene conto in caso di cambiamento di sezione dei reflussi creati dal tratto a valle verso quello a monte.

Le forme e le pendenze tipiche dei differenti tratti di canale sono state fornite dallo studio di ingegneria Mauri & Banci (allegato B3) mentre la scabrezza è stata ricavata dalla letteratura in base al tipo di rivestimento presente nel canale.

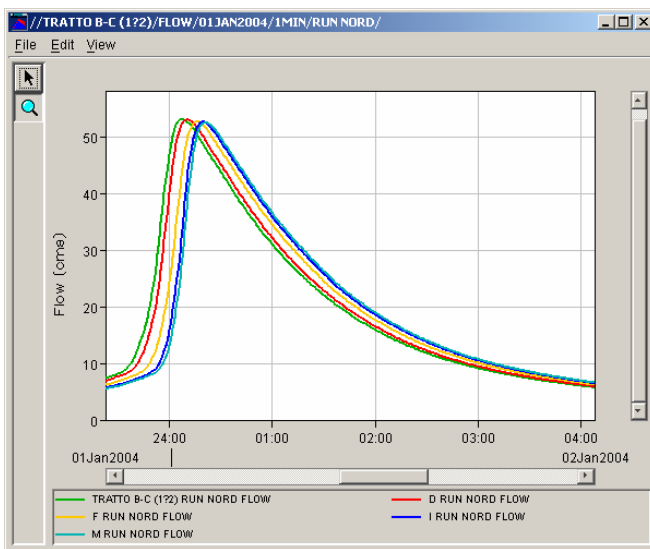


figura A4 - Propagazione di un'onda di piena lungo l'asse della roggia Scairolo.

A titolo di esempio, nella figura A4 è rappresentato un picco di portata nel punto di raccolta B dello Scairolo (figura 3), ottenuto simulando un impulso di pioggia solo sul bacino iniziale della roggia, e la sua propagazione lungo lo stesso fino alla foce (la data nella figura A4 non corrisponde a un evento reale). Le curve rappresentano le portate nei vari punti di controllo della roggia.

Il tempo di propagazione dell'onda di piena varia tra 15 e 25 minuti sull'intera lunghezza della roggia e dipende fortemente dalla portata. Il tempo di propagazione diminuisce all'aumentare della portata ed è quindi breve durante gli eventi problematici.

L'effetto di laminazione dei picchi di portata è irrisorio: in condizioni di portata anche molto differenti tra loro, il valore di picco della portata si attenua solamente di circa 1,5%.

A5. Il modello idraulico delle vasche

Le vasche di ritenzione sono bacini di accumulo e rilascio di acque chiare impiegate per garantire i limiti di deflusso imposti, quando questi non possono essere raggiunti con dispositivi di infiltrazione.

Esse raccolgono le acque meteoriche rilasciandole gradualmente e sono caratterizzate da:

- un volume utile massimo $V_{r,MAX}$, dimensionato in maniera tale da poter accogliere tutta l'acqua meteorica non infiltrata o rilasciata immediatamente, rispettando quindi i limiti di rilascio imposti;

- da una particolare relazione tra portata in uscita e volume immagazzinato $q_{ab}(V_r)$.

Questi due parametri sono determinati dagli elementi costruttivi principali dell'impianto e cioè dalla vasca di raccolta e dal dispositivo di regolazione della portata.

La vasca di raccolta può essere costituita sia da avvallamenti nel terreno che da vasche in duro, tetti piani o piazzali inondabili.

Secondo le leggi dell'idrodinamica la portata del tubo d'uscita dipende dalla differenza di pressione alle sue estremità e quindi dal livello del pelo d'acqua nella vasca. L'applicazione di questa legge presuppone la conoscenza dei dati costruttivi delle vasche, che però non sono disponibili per le vasche esistenti, tantomeno per quelle di futura edificazione.

Le vasche sono quindi descritte semplicemente da un volume utile massimo e da una portata d'uscita costante (allegato B4), fintanto che l'acqua immagazzinata non raggiunge il volume massimo. In questo istante la vasca è piena e in seguito la sua portata d'uscita viene incrementata repentinamente, entrando in funzione lo stramazzo.

Un tale comportamento è poco realistico, ma è stato scelto per necessità a causa dell'assenza di informazioni precise sul comportamento reale delle vasche.

A questo proposito si rimanda al capitolo 7 e le relative osservazioni sul confronto tra vasche ottimali e reali.

Le installazioni di ritenzione accumulano l'acqua durante gli eventi meteorici garantendo la limitazione delle portate di deflusso. Due sono gli effetti ottenuti:

- la laminazione, cioè la diminuzione della portata di picco,
- un ritardo nell'istante del picco.

Effetto delle installazioni di ritenzione

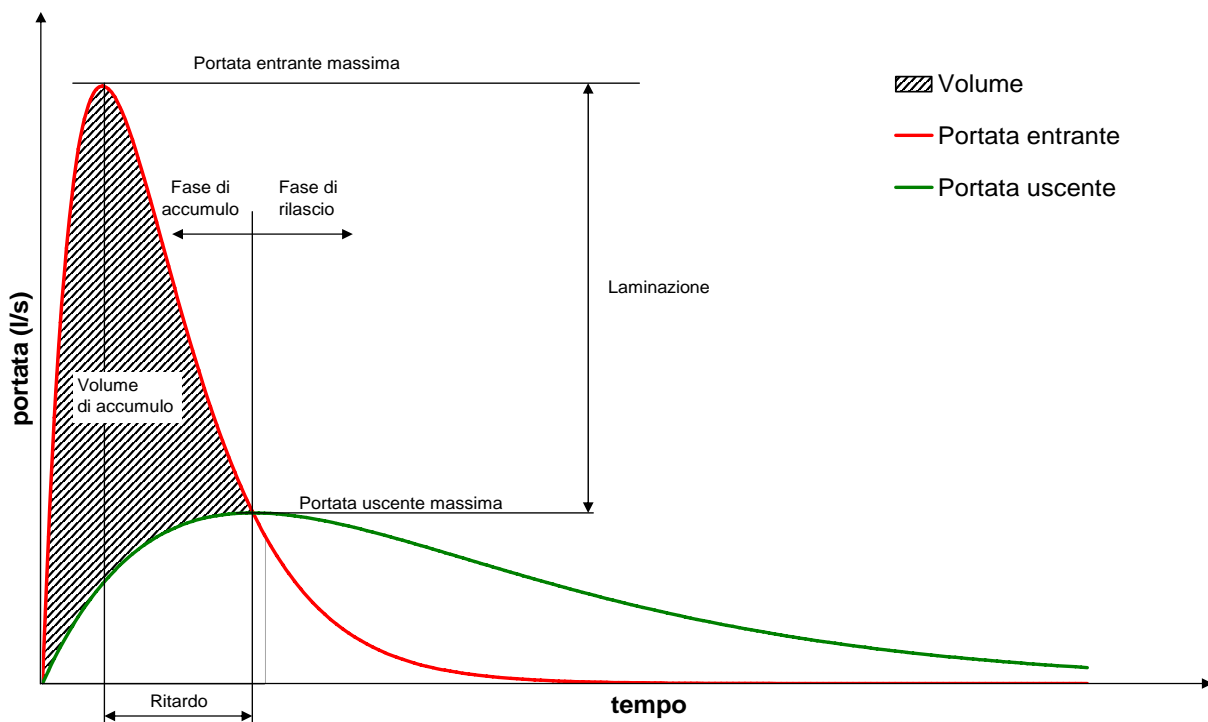


figura A5: Principio di comportamento di una installazione di ritenzione.

Nella figura A5 è rappresentata in rosso la portata che entra nella vasca (pioggia) e in verde la portata in uscita

Nel grafico sono visibili:

- gli effetti di laminazione, cioè diminuzione della portata di picco,
- gli effetti di ritardo, cioè lo spostamento del tempo del picco di piena,
- la fase di accumulo, in cui la portata entrante supera quella uscente,
- la fase di rilascio, in cui la portata uscente supera quella entrante,
- il volume di vasca necessario indicato dall'area tratteggiata, che corrisponde alla differenza tra portata entrante e uscente integrata sulla fase di accumulo.

Si ottiene quindi una diminuzione della portata di uscita, rispetto alla portata in entrata, nella fase di accumulo ed un aumento di portata nella fase di rilascio.

La descrizione matematica nel modello è data dalla relazione

$$\Delta V(t) = (q_{in}(t) - q_{out}(V(t)))\Delta t \quad ,$$

che descrive la variazione di volume di acqua accumulato nell'intervallo di tempo Δt dove $q_{in}(t)$ è la portata in entrata e $q_{out}(V)$ la relazione che descrive la portata d'uscita in funzione del volume d'acqua immagazzinato.

Come detto sopra quest'ultima portata ($q_{out}(V)$), nel modello, viene assunta costante in presenza di acqua nella vasca ed è mantenuta tale fino al riempimento completo della vasca per poi aumentare repentinamente (vasca con deflusso ottimale).

A6. Il modello idraulico degli scaricatori

Gli scaricatori di piena sono manufatti che permettono di deviare le acque dal loro percorso normale in caso di piena, scaricandole su di una via eccezionale. Durante i temporali le acque meteoriche raccolte dalle zone a smaltimento misto caricano a tal punto le canalizzazioni che si rende necessario scaricare l'eccedenza d'acqua nella roggia. Nel modello numerico, gli scaricatori sono caratterizzati da una portata critica, oltre la quale l'eccedenza viene indirizzata sulla via eccezionale:

$$q_{normale} = \min\{q_{crit}, q_{in}\} \quad , \quad q_{eccezionale} = q_{in} - q_{crit} \quad .$$

B. Parametri del modello

In questo allegato sono riportati i dati principali utilizzati per la definizione del modello. Essi sono sia frutto di misure e calcolo, che stime fatte per analogia con bacini simili. Si rinuncia ad elencare la totalità dei parametri.

Il nome dei bacini e i punti di controllo fanno riferimento a *Concetto di ritenzione e verifica idraulica della roggia Scairolo*.

B1. Parametri fisici e idrologici delle zone

Nome Bacino	Area Totale (ha)	Area (ha)		Pendenza Versante (°)	Snyder tp		Snyder Cp		Flusso di base (m ³ /s)	
		Piana	Versante		Versante	Versante	Piana	Versante		
A&B	152.7	27.0	125.7	21.0	0.26125	0.21	0.0082	0.0384		
B-C	34.7	8.6	26.1	17.1	0.13268	0.21	0.0026	0.0080		
C-D	162.1	36.1	126.1	22.7	0.20763	0.21	0.0110	0.0385		
D-E	216.1	45.3	170.8	26.2	0.22818	0.21	0.0138	0.0522		
E-F	39.1	19.0	20.1	32.4	0.13943	0.21	0.0058	0.0061		
F-G	104.2	17.9	86.3	27.3	0.17412	0.21	0.0055	0.0263		
G-H	153.9	29.4	124.6	24.8	0.21499	0.21	0.0090	0.0380		
H-I	90.4	14.6	75.8	28.5	0.21117	0.21	0.0045	0.0231		
I-L	17.8	3.6	14.2	30.1	0.10211	0.21	0.0011	0.0043		
L-M	11.6	3.8	7.8	29.3	0.10478	0.21	0.0011	0.0024		
Totale	982.6	205.2	777.4				0.0626	0.2374		

tabella B1 – Parametri fisici ed idrologici delle zone

B2. Scaricatori di piena, vasche di stramazzo e di ritenzione

Bacini di stramazzo della rete IDA (ricavati da CPS, Piano regionale di smaltimento, planimetria schema idraulico e Schede tecniche bacini di stramazzo per acque meteoriche).

Bacino	Volume (m ³)	Portata deflusso (l/s)	Area a smaltimento misto gravitante (ha)
BD4	260	86.5	17.10
BD5	110	41.4	8.78
BD6	230	25.9	24.50
BD7	260	18.1	16.78
IDA	150	515.6	18.02
Totale	1010	687.5	85.18

tabella B2 – Dimensioni dei bacini di stramazzo

Vasche di ritenzione attualmente esistenti marzo 2005 (scenario U1) dati forniti da Studio Ing. Mauri&Banci

Nome	Punto di raccolta	Volume (m ³)	Portata outflow (m ³ /s)	Area gravitante (ha)	Già in funzione
P+R	B	200	0.106	1.32	SI
M2	B	95	0.098	1.23	NO
PORSCHE	D	60	0.034	0.43	NO
TITANIC	D	50	0.079	0.99	SI
IBSA	D	93	0.035	0.44	NO
AUTOSTRADA	E	405	0.032	0.40	SI
IKEA	E	180	0.112	1.40	SI
CONFORAMA	E	170	0.120	1.50	SI
KESSEL	E	21	0.051	0.64	SI
PROPLUG	F	78	0.049	0.61	NO
BELOMETTI	F	45	0.020	0.25	SI
FRANZI	G	105	0.078	0.98	SI
FARMACEUTICA	G	150	0.063	0.79	SI
FREY	G	80	0.037	0.46	SI
TOTALE		1732	0.9152	11.44	

Punto di raccolta	Volume complessivo (m ³)	Portata complessiva (m ³ /s)	Area gravitante totale (ha)
B	295	0.204	2.55
D	203	0.1488	1.86
E	776	0.3152	3.94
F	123	0.0688	0.86
G	335	0.1784	2.23
	1732	0.9152	11.44

tabella B3 – Dimensioni delle vasche di stramazzo esistenti

Vasche di ritenzione negli scenari ipotetici (scenari U2, U3, U4).

Scenario U2				Scenario U3				Scenario U4			
Nessuna ritenzione				Ritenzione su nuove edificazioni				Ritenzione generalizzata			
Punto di raccolta	Volume complessivo (m3)	Portata complessiva (m3/s)	Area gravitante totale (ha)	Punto di raccolta	Volume complessivo (m3)	Portata complessiva (m3/s)	Area gravitante totale (ha)	Punto di raccolta	Volume complessivo (m3)	Portata complessiva (m3/s)	Area gravitante totale (ha)
B	0.0	0.000	0.00	B	893.3	0.059	0.06	B	1786.5	0.944	0.12
C	0.0	0.000	0.00	C	385.8	0.025	0.03	C	771.5	0.408	0.05
D	0.0	0.000	0.00	D	1443.8	0.095	0.10	D	2887.5	1.526	0.19
E	0.0	0.000	0.00	E	1924.0	0.127	0.13	E	3848.0	2.033	0.25
F	0.0	0.000	0.00	F	809.7	0.053	0.05	F	1619.4	0.856	0.11
G	0.0	0.000	0.00	G	414.8	0.027	0.03	G	829.7	0.438	0.05
H	0.0	0.000	0.00	H	475.4	0.031	0.03	H	950.8	0.502	0.06
I	0.0	0.000	0.00	I	156.2	0.010	0.01	I	312.5	0.165	0.02
Tot.	0.0	0.000	0.00	Tot.	6502.9	0.43	0.43	Tot.	13006	6.872	0.86

tabella B4 – Dimensioni delle vasche di ritenzione per gli scenari analizzati

B3. Sezioni tipiche della roggia

Sezioni tipiche della roggia utilizzate nel modello (le sezioni fanno riferimento a “Concetto di ritenzione e verifica idraulica della roggia Scairolo” Mauri & Banci)

	lunghezza (m)	pendenza (‰)	Sezione
Tratto B-C	120	18.8	N°3
	150	18.3	N°4
Tratto C-D	220	8.0	N°5
	570	12.5	N°6
Tratto D-E	600	4.0	N°8
	290	2.3	N°10
Tratto E-F	200	13.0	
	385	12.0	N°12
Tratto F-G	120	4.5	
	360	5.0	
Tratto G-H	480	7.0	N°15
Tratto H-I	560	4.8	N°18
Tratto I-L	245	2.9	N°20
Tratto L-M	190	4.5	Via alla Foce

tabella B5 – Sezioni della roggia Scairolo

C. Piogge sintetiche di progetto

Idrogrammi delle piogge di progetto ricavate in base a curve IDF di Lugano, Starkniederschläge des schweizerischen Alpen- und Alpenrandgebietes.

Il picco di pioggia massima della durata di 5 minuti è posizionato a 2/3 della durata dell'evento (durata 2 ore) e non alla fine dello stesso, perché valutato più realistico (vedi Michela Conti IST, rapporto interno 026, 1993).

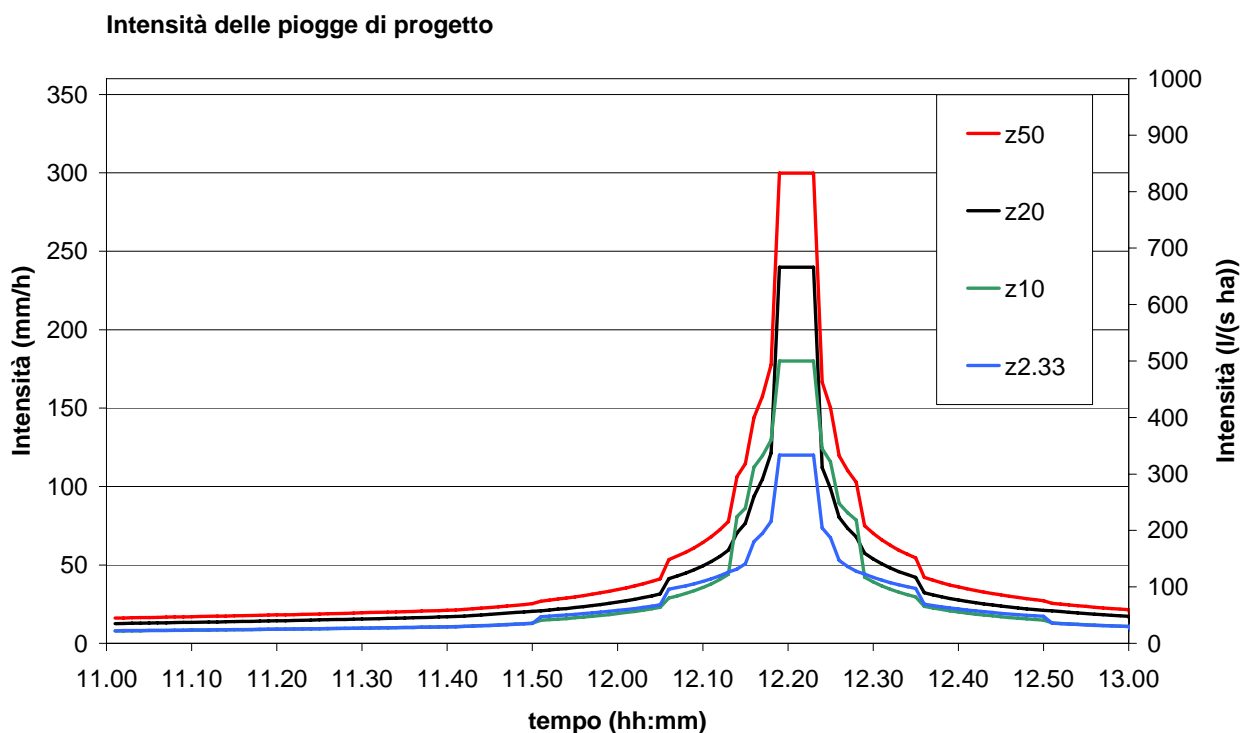


figura C1 – Piogge sintetiche

	Intensità massima (mm/h)	Precipitazione totale (mm) in 2 ore
Z 2.33	120	50
Z 10	180	60
Z 20	240	80
Z 50	300	100

Tabella C1 – Parametri principali delle piogge sintetiche

D. Curve di dimensionamento vasche di ritenzione

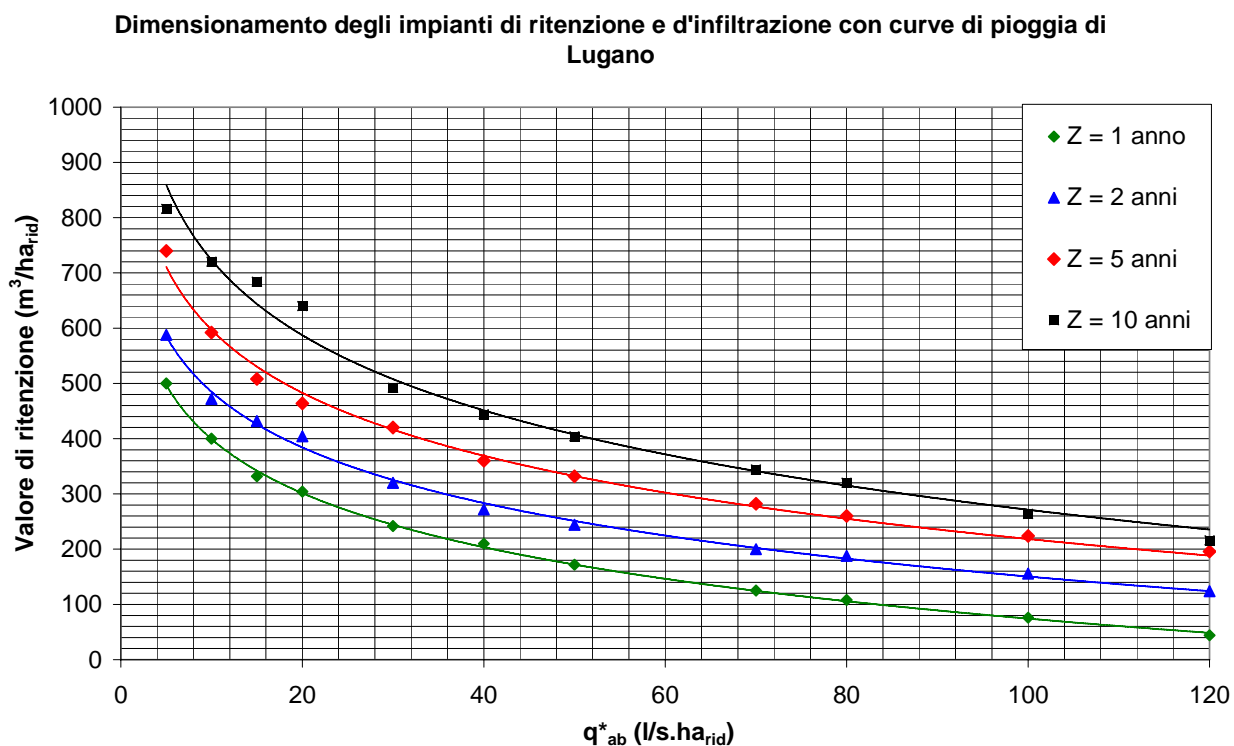


figura D1 – Curve di dimensionamento delle vasche di ritenzione (vedi allegato E)

E. Validazione evento giugno 2006

Da aprile 2006 è stato installato nel centro del bacino (sul tetto dello stabile che ospita l'IKEA) un pluviometro automatico. L'unico evento meteorologico degno di nota, misurato fino a luglio 2006, è avvenuto nella notte tra il 25 e il 26 giugno ed è rappresentato nella figura E1.

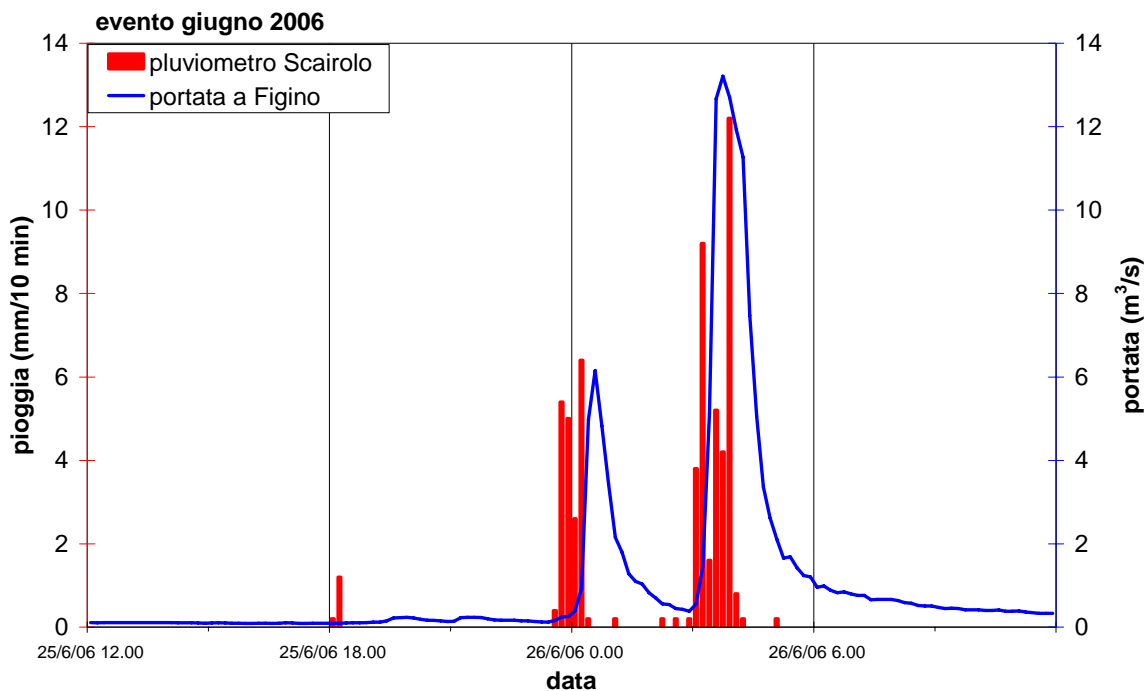


figura E1 – pioggia misurata dal pluviometro sull'IKEA e portata della roggia a Figino

L'evento è costituito da due temporali: con il primo temporale sono stati misurati 20 mm di pioggia e con il secondo 37,8 mm. Il coefficiente di deflusso, calcolato sulla prima parte dell'evento, vale solo circa 0,10 e, sulla seconda parte 0,17. Questi valori sono estremamente bassi e sono dovuti al fatto che l'evento è arrivato dopo un periodo siccitoso per cui una buona parte della pioggia è stata assorbita dal terreno secco e un'altra parte si è infiltrata accumulandosi nella falda senza defluire nella roggia.

La figura E2 mostra il confronto tra la portata della roggia misurata a Figino e il risultato della simulazione. I parametri usati dal modello sono gli stessi derivati dalla taratura descritta nel paragrafo 4.3 a meno del numero CN che tiene conto dello stato di saturazione iniziale del terreno. Nella simulazione della figura E2 si è scelto un numero CN pari a 23 che rappresenta un valore molto al di sotto dei valori medi (ad esempio per la taratura dell'evento di novembre 2002 il valore del parametro CN è compreso tra 50 e 60).

Il coefficiente di Nash-Sutcliffe vale 0.855, per cui la qualità del confronto è definita come eccellente.

Per mostrare come il comportamento del bacino, e quindi della portata della roggia, sia legato allo stato iniziale del terreno, è stata ripetuta la simulazione dell'evento di giugno 2006 cambiando il parametro CN (più il valore del parametro CN è alto più viene simulato uno stato del terreno vicino alla saturazione).

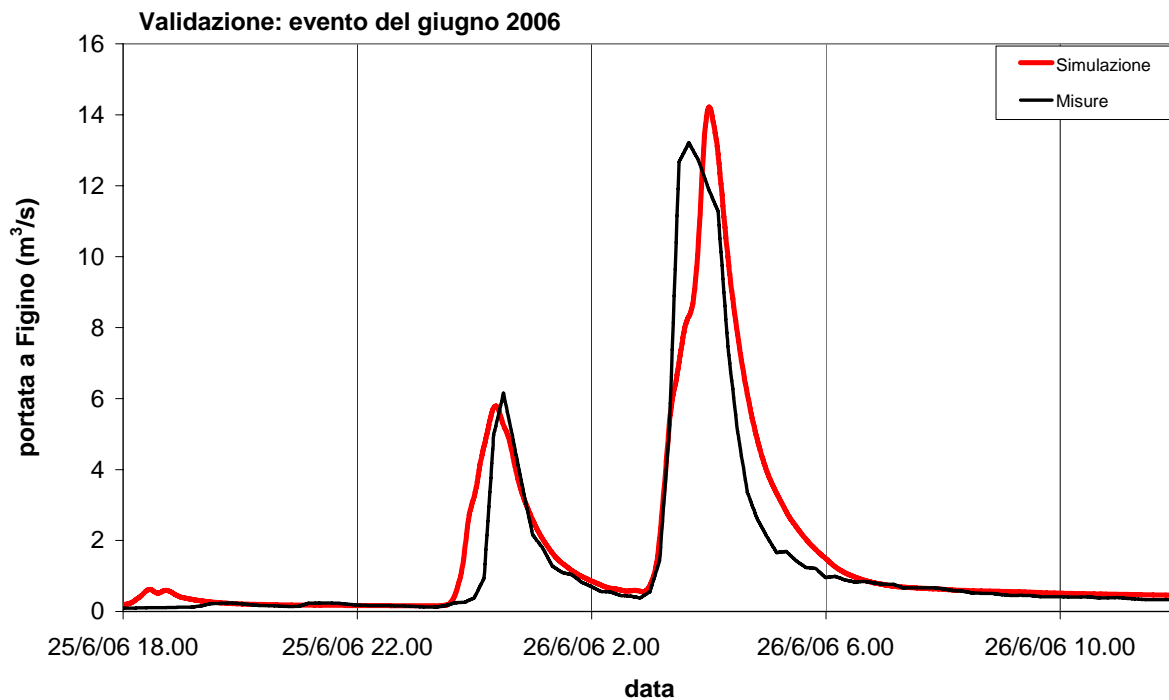


figura E2 – confronto tra portata simulata e portata misurata a Figino

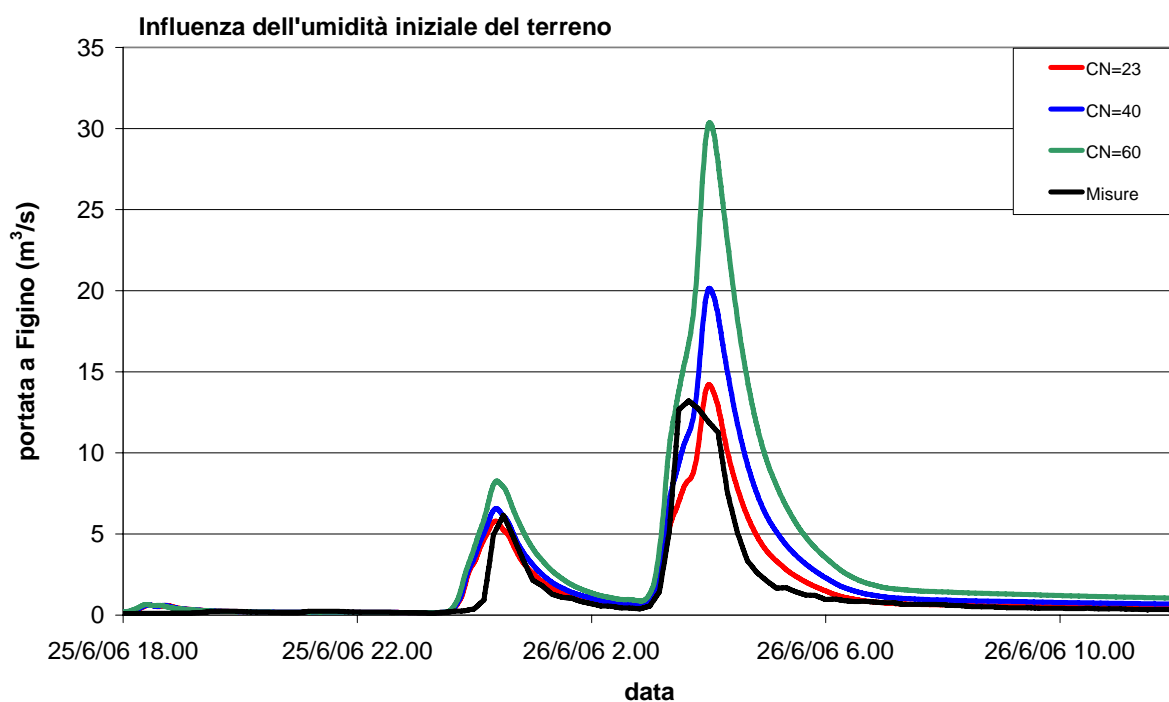


figura E3 – confronto tra portata simulata con CN diversi e portata misurata a Figino

La figura E3 mostra la simulazione con tre valori diversi del parametro CN per simulare tre diversi stati di umidità iniziale del terreno: con un $\text{CN}=60$ la portata di picco simulata è doppia di quella misurata.

Risulta quindi evidente che eventi meteorologici identici non necessariamente comportano picchi di portata identici.

F. Il dimensionamento delle vasche

F1 Premessa

In questo capitolo si analizza il dimensionamento delle vasche e l'influsso dello stesso sulla portata. Punto di partenza sono i seguenti due parametri fissati dalle autorità competenti:

- Il deflusso di acqua meteorica massimo scaricabile in roggia durante un evento eccezionale;
- l'eccezionalità dell'evento che va fissata mediante un'indicazione di un tempo di ritorno medio.

Il deflusso massimo ammesso va valutato in base alle caratteristiche del bacino imbrifero e alle dimensioni della roggia e della rete idrologica più in generale.

L'eccezionalità dell'evento va fissata valutando l'accettabilità del ripetersi nel tempo di eventi di esondazione e dei relativi danni.

L'infiltrazione di tutta l'acqua meteorica sarebbe auspicabile, ma difficilmente realizzabile a causa dei terreni poco permeabili della zona. Si cerca di immagazzinare temporaneamente l'acqua che non si infila in un bacino di ritenzione, limitandone lo scarico ai valori ammessi.

Attualmente per lo Scairolo sono fissati i parametri:

tempo di ritorno $Z = 10$ anni ,

deflusso massimo $q_{abMAX}^* = 80l/s ha$.

Occorre quindi provvedere affinché da ogni particella edificata della zona industriale non defluiscano più di $80l/s ha$, tranne durante eventi che si ripetono mediamente in tempi superiori ai 10 anni.

Il dimensionamento del volume necessario non è facile da determinare, esso dipende da diversi fattori:

- area del bacino gravitante;
- capacità residua di infiltrazione del terreno (rispettivamente coefficiente di deflusso ψ);
- la piovosità della zona;
- la relazione volume immagazzinato - portata in uscita alla vasca.

Per ogni regione svizzera sono definite le relazioni utili per il dimensionamento corretto delle vasche, esse sono state ricavate in base alle curve IDF tramite il software di simulazione SASUM. Le curve relative al Pian Scairolo (Lugano) sono riportate nell'allegato D.

Il dimensionamento avviene in tre fasi:

- determinazione dei deflussi del bacino imbrifero, cioè delle portate in entrata alla vasca di laminazione;
- determinazione della portata in uscita dalla vasca di laminazione;
- determinazione del volume di ritenzione necessario ad accogliere l'eccedenza per tutta la durata dell'evento.

F2 Determinazione dei deflussi del bacino imbrifero

Generalmente si applica una formula estremamente semplice per il calcolo della portata

$$q_i(t) = \psi \cdot F \cdot r_i(t) \text{ oppure } q_i(t) = F_{\text{rid}} \cdot r_i(t)$$

dove:

$q_i(t)$: portata,

ψ : coefficiente di deflusso ($0 \leq \psi \leq 1$),

F : area del bacino,

$r_i(t)$: intensità delle precipitazioni (ietogramma),

$F_{\text{rid}} = \psi \cdot F$: area ridotta.

Questa formula non tiene conto della saturazione del terreno nel corso dell'evento meteorico e non tiene conto dei meccanismi di convogliamento delle acque con conseguente ritardo e laminazione.

Questo modello si giustifica solo per bacini di piccola dimensione e fortemente impermeabilizzati, nei quali quindi i tempi di scorrimento sono trascurabili e la capacità di infiltrazione del suolo può essere ritenuta costante. Esso non può essere applicato in nessun modo ai bacini versante estesi e/o in condizioni naturali.

F3 Determinazione della portata in uscita dalla vasca di laminazione

Spesso si parla di un'ipotesi di laminazione ottimale. Ciò significa che la portata in uscita segue esattamente la portata in entrata fino all'istante in cui la prima supera la portata di soglia, a questo punto la portata in uscita si mantiene costante, pari al valore di soglia, fino a quando, dopo la fine dell'evento, la vasca si svuota completamente. Questo comportamento difficilmente corrisponde alla realtà, in quanto la portata non è costante, ma dipende dalla differenza di pressione sull'orifizio d'uscita e quindi dallo stato di riempimento della vasca.

Per un orifizio calibrato semplice vale approssimativamente (fluido ideale)

$$q_{ab}(t) = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot h(t)}$$

dove:

μ : coefficiente di efflusso (pari ad 1 se non si ha contrazione della vena effluente),

$q_{ab}(t)$: portata in uscita,

A : sezione dell'orifizio,

$g = 9.81 \text{ m/s}^2$: accelerazione di gravità,

$h(t)$: livello dell'acqua sopra l'orifizio.

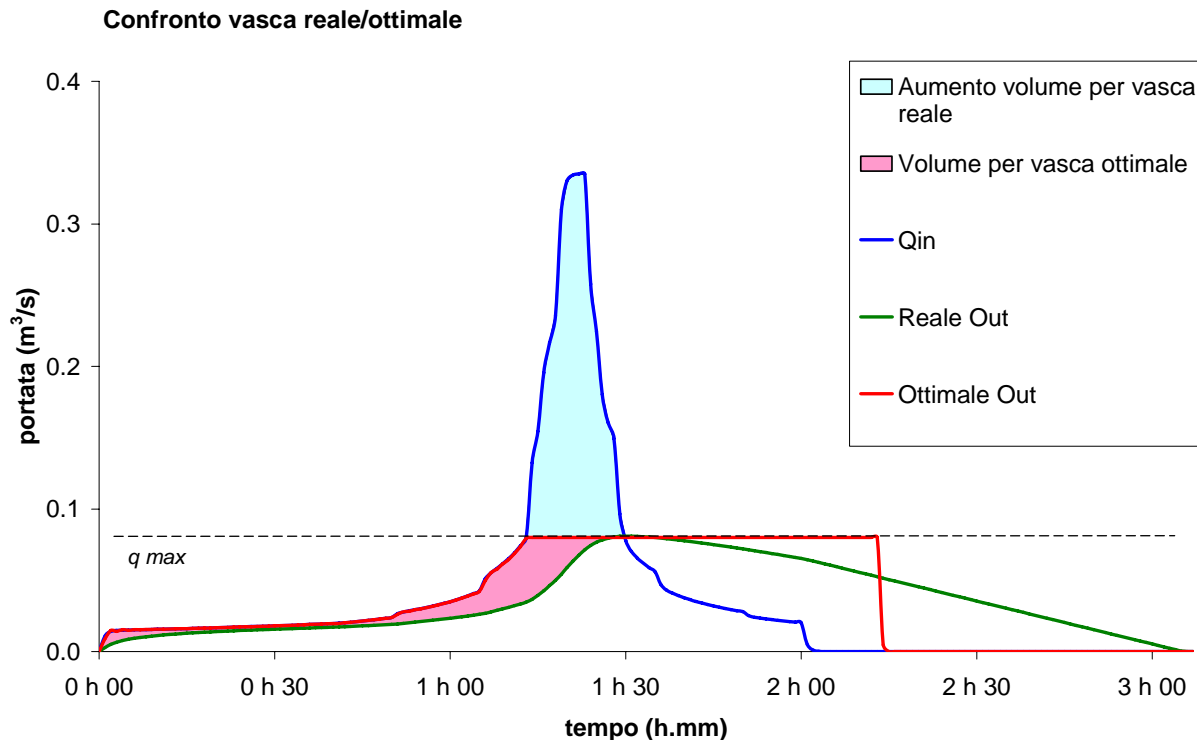


Figura 20: Confronto tra laminazione ottimale e laminazione reale con orifizio semplice.

La figura 20 mostra come durante la fase di accumulo dell'evento il deflusso di una vasca reale con orifizio calibrato (curva verde) sia inferiore a quello di una vasca ottimale (curva rossa). La conseguenza di questo inferiore deflusso è una superiore necessità di immagazzinamento come rappresentato nella stessa figura (superficie celeste per vasca ottimale, rosa più celeste per vasca reale).

Questa problematica viene considerata nel dimensionamento considerando un deflusso medio al posto del deflusso massimo ammesso. Per semplicità spesso si ammette la semplificazione:

$$\overline{q^*_{ab}} = \alpha \cdot q^*_{abMAX}$$

dove:

$\overline{q^*_{ab}}$: portata specifica media,

$\alpha = 2/3$: coefficiente di proporzionalità.

Questa portata media dovrà essere utilizzata per il dimensionamento del volume utile della vasca.

Occorre spendere alcune parole sugli organi di regolazione di deflusso. La soluzione ottimale, cioè a portata costante in presenza di acqua nella vasca, è difficilmente realizzabile tranne nei casi di utilizzo di una pompa di scarico.

Un orifizio calibrato rappresenta la soluzione tecnicamente più semplice ma presenta degli inconvenienti:

- portata piccola durante la fase di riempimento con conseguente prematuro riempimento della vasca;
- pericolo di otturazione a causa di sezioni insufficienti nel caso di portate massime esigue (aree gravitanti piccole).

Allo scopo di mitigare questi problemi, sono stati sviluppati e si trovano in commercio diversi regolatori (a ghigliottina, a membrana, a vortice, ecc.).

Tra questi dispositivi ve ne sono alcuni passivi, quindi senza dispositivo di controllo o apporto esterno di energia oppure perfino senza parti mobili.

Ad esempio il regolatore a vortice è costituito da una camera ellissoidale attraverso la quale l'acqua defluisce con facilità fino a quando le velocità sono ridotte mentre quando la portata si avvicina al valore di dimensionamento si instaura un regime vorticoso che limita l'ulteriore accrescimento della portata. Il vantaggio è rappresentato dal fatto che la portata raggiunge anche con poca acqua nel serbatoio il valore di soglia senza poi aumentare ulteriormente. Inoltre, la sezione libera di un tale dispositivo è fino a 6 volte maggiore rispetto all'oreificio calibrato di medesima portata, con conseguente inferiore pericolo di ostruzione.

F4 Esempio di calcolo del volume di ritenzione necessario

La determinazione del volume viene fatta in base a curve specifiche per ogni regione, ricavate tramite simulazione di eventi meteorici con il codice di calcolo SASUM. Il dimensionamento viene illustrato mediante un esempio di calcolo, seguendo le indicazioni contenute in "*Gestion quantitative des eaux pluviales, République et Canton de Genève*".

Ammettiamo di avere una particella di 2.1 ha dei quali vengono sfruttati e allacciati al bacino di ritenzione 1.5 ha. La superficie da considerare in tutti i calcoli è $F = 1.5$ ha e non la superficie complessiva della particella. La parte restante della particella, non allacciata allo scarico delle acque chiare e al serbatoio di ritenzione, continuerà a lasciar defluire nella rete idrica naturale il proprio contributo naturale di acqua ruscellante.

Ammettiamo un coefficiente di deflusso $\psi = 3/4$, abbiamo quindi una superficie ridotta

$$F_{\text{rid}} = \psi \cdot F = 1.125 \text{ ha}.$$

Il significato di tale superficie è il seguente: l'acqua che defluisce da F è pari all'acqua piovuta su F_{rid} .

Ora ammettiamo che il legislatore abbia fissato un deflusso massimo per i terreni edificati di $q_{\text{abMAX}}^* = 80 \text{ l/s ha}$ che rappresenta il massimo deflusso nel momento in cui la vasca di ritenzione è completamente piena. Ma, come indicato prima, ciò significa un deflusso medio inferiore, valutabile, in mancanza di indicazioni più precise, come

$$\overline{q_{\text{ab}}} = \frac{\alpha \cdot q_{\text{abMAX}}^*}{\psi} = 71.1 \text{ l/s ha}_{\text{rid}}.$$

Questo valore va utilizzato nella "Curva di Dimensionamento dei Volumi di Ritenzione" (allegato xxx). Ammettendo ora che il tempo di ritorno imposto dal legislatore sia di 10 anni ($Z = 10$), leggiamo nel grafico in basso un volume specifico

$$V_r^* = 340 \text{ m}^3 / \text{ha}_{\text{rid}}.$$

Il volume della vasca di ritenzione necessario per la particella dell'esempio sarà quindi

$$V_r = V_r^* \cdot F_{\text{rid}} = 382 \text{ m}^3.$$

Occorre rimarcare che il coefficiente α , che dipende essenzialmente dalla relazione altezza-portata dell'uscita dello scarico, influenza notevolmente il volume di ritenzione necessario. Ciò significa che un dispositivo di regolazione della portata di uscita permette di risparmiare volume di ritenzione.