

**Comune di Borgo di Terzo  
Provincia di Bergamo**

**p g t**

## **STUDIO GEOLOGICO A SUPPORTO DEL PIANO DI GESTIONE DEL TERRITORIO**

**ADEGUAMENTO DELLA COMPONENTE GEOLOGICA E  
SISMICA, AL PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI) E  
AL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)**

Sindaco

Vicesindaco

Tecnico referente



Dott. Geologo  
Luigi Paolo Salvetti  
Via Nazionale, 65A  
24060 Pianico (BG)

## **STUDIO DELLE DOTAZIONI INFRASTRUTTURALI E AREE A RISCHIO IDRAULICO**

**Documento semplificato di Rischio Idraulico  
R.R. n° 7 del 23/11/2017  
agg. R.R. n° 8 del 19/04/2019  
agg. R.R. n° 3 del 28/03/2025**

Adozione:

Approvazione:

Masterplanstudio srl  
Via Massena 18  
20145 Milano



**Scala 1 : 2.000**

## INDICE DEGLI ARGOMENTI

<b>1. Premessa.....</b>	<b>2</b>
<b>2. Applicazione del R.R.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Definizione della criticità idraulica .....</b>	<b>6</b>
<b>2.2 Obblighi dell'Amministrazione comunale.....</b>	<b>6</b>
<b>3. Stato attuale del rischio idraulico e idrologico a livello comunale.....</b>	<b>7</b>
<b>3.1 Reticolo idrografico principale, minore.....</b>	<b>7</b>
<b>3.2 Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) .....</b>	<b>8</b>
<b>3.3 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico .....</b>	<b>9</b>
<b>4. Considerazioni conclusive.....</b>	<b>9</b>
<b>4.1 Misure adeguamento reticolo principale .....</b>	<b>10</b>
<b>5. Normativa di riferimento .....</b>	<b>10</b>

## ALLEGATI

<b>ALLEGATO A</b>	Indicazioni tecniche costruttive ed esempi
<b>ALLEGATO B</b>	Analisi di bacino
<b>ALLEGATO C</b>	Planimetria per l'Invarianza Idraulica ed Idrologica



## 1. Premessa

Il presente studio per la gestione del Rischio Idraulico del Comune di Borgo di Terzo è stato redatto secondo le indicazioni dell'art. 14, comma 8 del Regolamento Regionale n° 7 del 23 novembre 2017, aggiornato prima con il Regolamento Regionale n° 8 del 19 aprile 2019. E successivamente con il Regolamento Regionale n° 3 del 28 marzo 2025.

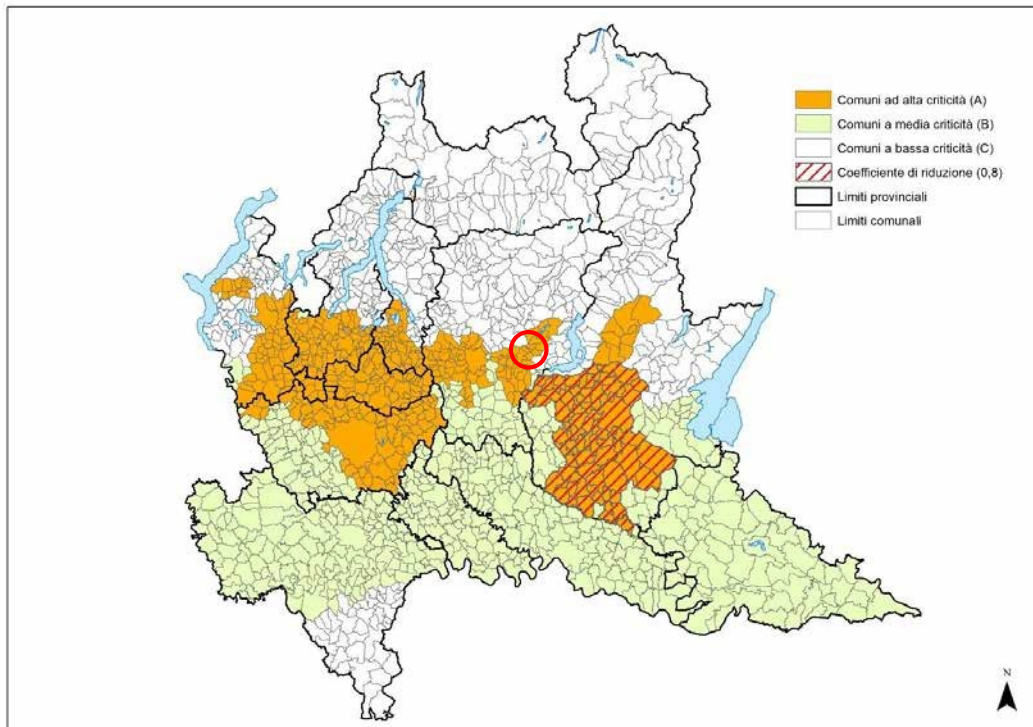
La Regione Lombardia con Deliberazione della Giunta Regionale n° 7372 del 20/11/2017 ha approvato il "Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12 (legge per il governo del territorio). Tale regolamento è stato pubblicato sul BURL – supplemento n° 48 del 27/11/2017 e costituisce il regolamento regionale 23 novembre 2017 – n° 7 secondo i principi di seguito elencati:

- **invarianza idraulica:** principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione;
- **invarianza idrologica:** principio in base al quale sia le portate sia i volumi di deflusso meteorico scaricati dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelli preesistenti all'urbanizzazione;

Il Comune di Borgo di Terzo è classificato con Criticità Idraulica "A" con Coefficiente P = 1, ovvero ad alta criticità idraulica (art. 7, comma 3, punto C e allegato B del Regolamento Regionale) ed è pertanto tenuto alla redazione della presente.

Nella redazione del Documento Semplificato si è fatto riferimento alla documentazione disponibile ed in particolare allo studio relativo alla Componente Geologica, Idrogeologica, Simica, alla cartografia del Piano di Gestione del Rischio Idrogeologico (PGRA) ed al Piano stralcio di Assetto Idrogeologico (PAI), allegati del Piano di Governo del Territorio comunale in corso di aggiornamento.





Questo studio è composto dalla presente relazione illustrativa e dalla tavola cartografica – *Carta delle dotazioni infrastrutturali e delle aree a rischio idraulico - scala 1 : 2.000.*

L'articolo 14 c.1 del regolamento prevede che "I comuni ricadenti nelle aree ad alta e media criticità idraulica, di cui all'articolo 7, sono tenuti a redigere lo studio comunale di gestione del rischio idraulico di cui al comma 7, ad approvarlo con atto del consiglio comunale e ad adeguare, di conseguenza, il PGT entro i termini di cui al comma 5. Tali comuni, nelle more della redazione dello studio comunale di gestione del rischio idraulico, redigono il documento semplificato del rischio idraulico comunale, con i contenuti di cui al comma 8, e lo approvano con atto del consiglio comunale. È facoltà dei comuni ricadenti nelle aree a media criticità limitare gli approfondimenti idraulici di cui al comma 7, lettera a), numero 3, solo agli ambiti più critici individuati nel documento semplificato del rischio idraulico comunale, ai sensi del comma 8, lettera a), numero 1 bis."

## **2. Applicazione del R.R**



Il principio fondamentale che traccia i fondamenti per l'interpretazione del regolamento è dettato dall'art. 1 del regolamento stesso (così modificato dal R.R. n° 8/2019) e recita:

“Al fine di perseguire l'invarianza idraulica e idrologica delle trasformazioni d'uso del suolo, riequilibrare progressivamente il regime idrologico e idraulico naturale, conseguire la riduzione quantitativa dei deflussi, l'attenuazione del rischio idraulico e la riduzione dell'impatto inquinante sui corpi idrici ricettori tramite la separazione e gestione locale delle acque meteoriche non suscettibili di inquinamento, il presente regolamento definisce, in attuazione dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio), criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica, che devono essere anche utilizzati dai regolamenti edilizi comunali per disciplinare le modalità per il conseguimento dei principi stessi, e specifica, altresì, gli interventi ai quali applicare tale disciplina ai sensi dell'articolo 58 bis, comma 2, della stessa l.r. 12/2005”

Sulla base del r.r. n° 7 del 2017 i principi di invarianza idraulica e invarianza idrologica si applicano agli interventi edilizi:

- nuova costruzione, compresi gli ampliamenti;
- demolizione, totale o parziale fino al piano terra, e ricostruzione indipendentemente dalla modifica o dal mantenimento della superficie edificata preesistente;
- ristrutturazione urbanistica comportanti un ampliamento della superficie edificata o una variazione della permeabilità rispetto alla condizione preesistente all'urbanizzazione;
- Interventi infrastrutturali quali strade, autostrade, loro pertinenze e i parcheggi;
- interventi di riassetto, adeguamento, allargamento di infrastrutture già presenti sul territorio.

Il regolamento precisa che “Le misure di invarianza idraulica e idrologica sono applicabili anche all'edificato e alle infrastrutture esistenti non vincolati al rispetto delle prescrizioni di cui al presente regolamento”.

Di contro non sono tenuti all'applicazione del regolamento regionale 7/2017 gli interventi di cui al seguente elenco (art. 3 comma 7 bis):

- a) gli interventi di cui all'articolo 3, comma 1, lettere a), b) e c), del d.p.r. 380/2001;



- b) gli interventi di demolizione e ricostruzione e gli interventi di ripristino di edifici crollati o demoliti di immobili sottoposti a vincoli ai sensi del decreto legislativo 22 gennaio 2004, n. 42 (Codice dei beni culturali e del paesaggio, ai sensi dell'articolo 10 della legge 6 luglio 2002, n. 137), solo se tali interventi di ricostruzione e ripristino non aumentano la superficie coperta dell'edificio crollato o demolito;
- c) gli interventi relativi alla realizzazione di aree verdi di qualsiasi estensione, se non sovrapposte a nuove solette comunque costituite e se prive di sistemi di raccolta e convogliamento delle acque, anche se facenti parte di un intervento di cui ai commi 2, 2 bis lettera a), e 3;
- d) le strutture di contenimento di acqua o altri liquidi realizzati a cielo libero, quali piscine, bacini, vasche di raccolta reflui, specchi d'acqua, fontane, ad esclusione delle opere realizzate ai fini del presente regolamento.

L'allegato A del R.R. elenca un'ampia serie di schemi esemplificativi, da ritenersi non esaustivi, degli interventi ai quali applicare o meno le misure di invarianza idraulica e idrologica.

L'Art. 12 comma 1 - Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 - Regolamento regionale 19 Aprile 2019 n. 8 prevede che:

Per gli interventi aventi superficie interessata dall'intervento minore o uguale a 300 mq, ovunque ubicati nel territorio regionale, il requisito minimo richiesto consiste in alternativa:

- a) nell'adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio. In questo caso non è richiesto il rispetto della portata massima di cui all'articolo 8 e non è necessario redigere il progetto di invarianza idraulica di cui agli artt. 6 e 10, *ferme restando la compilazione e trasmissione del modulo di cui all'allegato D, come definito all'articolo 6, comma 1, lettera e), e la dichiarazione, con specifico atto, del progettista, attestante l'applicazione della casistica di cui alla presente lettera; la dichiarazione non è dovuta per gli interventi di cui all'articolo*



3, comma 2, lettera d), che ricadono nell'ambito di applicazione di cui alla presente lettera;

- b) nell'adozione del requisito minimo indicato al comma 2, per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7.

*Art. 12 comma 2 - Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 - Regolamento regionale 19 Aprile 2019 n. 8*

Nel caso di interventi classificati ad impermeabilizzazione potenziale bassa, indipendentemente dalla criticità dell'ambito territoriale in cui ricadono, e nel caso di interventi classificati ad impermeabilizzazione potenziale media o alta e ricadenti nell'ambito territoriale di bassa criticità, ferma restando la facoltà del professionista di adottare la procedura di calcolo delle sole piogge o la procedura di calcolo dettagliata descritte nell'allegato G, il requisito minimo da soddisfare consiste nella realizzazione di uno o più invasi di laminazione, comunque configurati, dimensionati adottando i seguenti valori parametrici del volume minimo dell'invaso, o del complesso degli invasi, di laminazione:

- a) per le aree A ad alta criticità idraulica di cui all'articolo 7: 800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento *moltiplicato per il 'coefficiente P' di cui alla tabella riportata nell'Allegato C;*
- b) per le aree B a media criticità idraulica di cui all'articolo 7: 500 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- c) per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7: 400 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

## **2.1 Definizione della criticità idraulica**

Ai sensi dell'art. 7 del regolamento, l'allegato C del R.R. n° 7 del 2017 riporta la classe di tutti i comuni della Regione Lombardia in particolare il Comune di Borgo di Terzo risulta nella categoria A "alta criticità idraulica" con coefficiente "P" pari a 1.

## **2.2 Obblighi dell'Amministrazione comunale**

L'amministrazione comunale è tenuta alla individuazione delle aree da riservare per l'attuazione delle misure strutturali di invarianza idraulica e idrologica, sia per la parte già urbanizzata del territorio, sia per gli ambiti di nuova trasformazione, con



l'indicazione delle caratteristiche tipologiche di tali misure. A tal fine, tiene conto anche delle previsioni del piano d'ambito del servizio idrico integrato;

l'incentivazione dell'estensione delle misure di invarianza idraulica e idrologica anche sul tessuto edilizio esistente, la definizione di una corretta gestione delle aree agricole per l'ottimizzazione della capacità di trattenuta delle acque da parte del terreno, nonché delle altre misure non strutturali atte al controllo e possibilmente alla riduzione delle condizioni di rischio, quali misure di protezione civile, difese passive attivabili in tempo reale.

le misure strutturali di cui sopra, sono individuate dal comune con l'eventuale collaborazione del gestore del servizio idrico integrato;

mentre quelle non strutturali, sono individuate dal comune e devono essere recepite negli strumenti comunali di competenza, quali i piani di emergenza comunale.

### **3. Stato attuale del rischio idraulico e idrologico a livello comunale**

Nel presente capitolo vengono raccolti tutti gli elementi d'interesse già individuati da altri studi esistenti con l'intento di inquadrare il territorio, prima dal punto di vista geografico, geologico e idrologico, evidenziarne poi potenziali criticità che possano contribuire alla componente di rischio idrogeologico.

Nello specifico, sono stati analizzati sia studi di competenza comunale con prioritaria importanza al "documento semplificato di Invarianza Idraulica e Idrologica" e PGT, ma anche a scala più ampia come nel caso di PTCP, PGRA, PAI, PTR, ecc... in parte già recepiti dal documento semplificato citato. Oltre a studi di dettaglio relativi al territorio.

#### ***3.1 Reticolo idrografico principale, minore***

Dall'analisi dello studio "determinazione del reticolo idrico minore" viene rilevato che l'individuazione del reticolo principale e minore è stato attuato adottando i criteri I criteri al comma 4 Allegato B della D.G.R. Lombardia n. 7/13950 del 1 agosto 2003. Inoltre analizzando il D.G.R. n. X/7581 del 18 dicembre 2017.

Ne risulta quindi una cartografia che riporta:



- **Reticolo principale di competenza della Regione Lombardia:** comprendente tutti i corsi d'acqua riportati nell'allegato A della D.G.R. n. 8/8127 del 1 ottobre 2008 e nell'allegato A della D.G.R. n. X/7581 del 18 dicembre 2017.

- **Reticolo minore di competenza del Comune:** comprendente tutti i corsi d'acqua individuati nell'allegato D della D.G.R. n. 7/7868 del 25 gennaio 2002.

Unico altro elemento da rilevare è la definizione delle fasce di rispetto del reticolo idrico che tuttavia esula dalle eventuali conclusioni di questo documento poiché si tratta di aree già vincolate e dotate di specifiche norme che trovano ampio spazio nello studio della componente geologica del PGT.

Per il **reticolo idrografico principale**, costituito dal Fiume Cherio e dal Torrente Bragazzo, la fascia di rispetto è stata perimetrata con il criterio geometrico dei **10 m dal ciglio spondale** o dal piede arginale esterno delle difese spondali.

Per il **reticolo idrografico minore di competenza comunale**, la fascia di rispetto è stata perimetrata con il criterio geometrico dei **10 m dal ciglio spondale** o dal piede arginale esterno delle difese spondali.

L'allegato A riporta valutazioni anche quantitative relativamente al Torrente Valle del Castello.

### **3.2 Il Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)**

La Direttiva alluvioni 2007/60/CE - Revisione 2019, riporta le aree con diverso grado di pericolosità in base al tempo di ritorno degli eventi alluvionali.

Per il Comune di Borgo di Terzo relativamente alla pericolosità derivante dal Reticolo Principale (RP) le aree evidenziate sono tutte a ridosso del Fiume Cherio e interessate dalle diverse classi di pericolo H, M e L (vedi allegato).

Nello specifico si vede che le classi di pericolosità più alte (H blu scuro) a scenario frequente sono distribuite lungo il percorso del fiume nella parte nord-est e sostanzialmente a valle della S.S. 42.



Per quanto riguarda lo scenario M (celeste), troviamo un'ampia area mappata nella parte più a valle ovvero a Sud-Ovest ed a valle della S.S. 42.

Entrambi gli scenari descritti occupano l'intera area industriale.

Infine, lo scenario raro (L in azzurro chiaro) con TR500 ha una distribuzione areale poco estesa, interessando zone marginali poste perlopiù a ridosso della S.S. 42 nella zona a Nord-Est.

Relativamente alla pericolosità derivante dal Reticolo Collinare e Montano (RSCM) le aree evidenziate sono tutte a ridosso del Torrente Bragazzo e del Fiume Cherio e interessate dalle diverse classi di pericolo H, M e L (vedi allegato).

Nello specifico si vede che le classi di pericolosità più alte (H viola scuro) a scenario frequente sono distribuite lungo il percorso a valle della foce del torrente occupando l'intera parte di territorio a Sud-Ovest e sostanzialmente a valle della S.S. 42.

Per quanto riguarda lo scenario M (Viola chiaro), troviamo un'ampia area mappata nella parte più a valle ovvero a Sud-Ovest ed a valle e a monte della S.S. 42.

Entrambi gli scenari descritti occupano un'ampia area della zona industriale.

### ***3.3 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico***

Per quanto riguarda l'analisi del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Bacino del Po per la visione del quale si rimanda alle tavole allegare allo studio geologico, si sottolinea, pur non rilevando elementi che ricadono all'interno dell'abitato comunale, va sottolineata la presenza di un'ampia fascia definite come Fascia Fluviale B di Progetto che limita fortemente la disponibilità del territorio fino al limite di monte della Fascia Fluviale C poichè fino al collaudo delle opera di protezione tutta quest'area è soggetta ai vincoli della Fascia B che assume come portata di riferimento la piena con tempo di ritorno di 200 anni e pertanto molto restrittiva.

## **4. Considerazioni conclusive**

Le opere strutturali sul reticolo idrico principale devono essere definite dagli organi sovraordinati che gestiscono il reticolo. Si ritiene però di indicare in questo studio, con



finalità di pianificazione urbanistica, la definizione delle zone che potrebbero essere vincolate per future realizzazioni di eventuali opere strutturali del reticolo idrico principale.

Con tale finalità si sono analizzate zone del territorio dove permettere attività di laminazione del reticolo e ci si è resi coscienti del fatto che la particolare morfologia del territorio e la condizione di antropizzazione sia industriale sia residenziale sia contrasta duramente con le condizioni di pericolosità e rischio derivanti dal PGRA sia per il RP sia per il PGRA. A questi vanno aggiunte le previsioni di PAI che restringe ulteriormente l'area di manovra.

Unica area potenzialmente utile è quella occupata dal campo da calcio non facilmente raggiungibile se non con opera di notevole entità. Sarebbe auspicabile l'utilizzo delle aree con destinazione urbanistica tale che preveda un convenzionamento col comune, che potrebbe diventare un'importante occasione per ricavare spazi di laminazione creando zone da dedicare, in casi estremi di necessità, a cui indirizzare l'acqua in eccesso.

#### **4.1 Misure adeguamento reticolo principale**

Data la complessità della problematica e visti i molteplici attori coinvolti (AIPO, Regione Lombardia) la determinazione delle opere strutturali per la risoluzione definitiva delle problematiche connesse tra l'iterazione tra il Fiume Cherio e l'immissione del Torrente Bragazzo dovrà obbligatoriamente prevedere ulteriori studi ed approfondimenti tra tutti gli attori coinvolti tramite il coordinamento di Regione Lombardia.

Uguale considerazione per la messa in sicurezza dell'ampia area di pianura dove insiste la zona industriale. La presenza di una fascia fluviale definita B di Progetto prevede cospicui interventi strutturali dove gli attori coinvolti saranno necessariamente l'AIPO, ADBPO, la Regione Lombardia, il Comune auspicando il supporto dei privati interessati.

### **5. Normativa di riferimento**

Per i comuni localizzati in Regione Lombardia si fa riferimento al Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 contiene "Criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica e idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11



marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)”, come modificato dal Regolamento regionale 19 Aprile 2019 n. 8.

Si fa particolare riferimento al capitolo 7 “Criteri e accorgimenti tecnici per la realizzazione delle misure per l’invarianza idraulica (art. 9)” in cui vengono indicati i criteri da adottare per le verifiche d’invarianza idraulica.

<b>NORME E LEGGI DI RIFERIMENTO RIFERIMENTO NORMATIVO</b>	<b>DESCRIZIONE</b>
R R 28.03.2025, n 3 Regione Lombardia	Aggiornamento
RR 19.04.2019, n.8 Regione Lombardia	Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica.
RR 23.11.2017, n.7 Regione Lombardia	Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica.
LR 15.03.2016, n.4 Regione Lombardia	Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d’acqua
LR 21.11.2011, n.17 Regione Lombardia	Partecipazione della Regione Lombardia alla formazione e attuazione del diritto dell’Unione europea.
RR 24.03.2006, n.4 Regione Lombardia	Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne.
LR 11.03.2005, n.12 Regione Lombardia	Legge per il governo del territorio.



LR 12.12.2003, n.26 Regione Lombardia	Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche.
Piano stralcio per il rischio idrogeologico – Regione Emilia-Romagna	Piano stralcio per il rischio idrogeologico - “Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, ai sensi degli artt. 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano” - Adottata dal Comitato Istituzionale con delibera n. 3/2 del 20 ottobre 2003 e s.m.i., come da variante di coordinamento PGRA-PAI, adottata dal C.I. con delibera 2/2 del 7/11/2016 (D.G.R. 2112/2016).
D.P.Reg. 27 marzo 2018 n. 83 – Regione Friuli-Venezia Giulia	Regolamento recante disposizioni per l’applicazione del principio dell’invarianza idraulica di cui all’articolo 14, comma 1, lettera k) della legge regionale 29 aprile 2015, n. 11 (Disciplina organica in materia di difesa del suolo e di utilizzazione delle acque).
UN/TS 1445:2012	Impianti per la raccolta e utilizzo dell’acqua piovana per usi diversi dal consumo umano. Progettazione, installazione e manutenzione.
UNI 9184	Sistemi di scarico delle acque meteoriche - Criteri di progettazione, collaudo e gestione.



UNI EN 1717:2012	Protezione dall'inquinamento dell'acqua potabile negli impianti idraulici e requisiti generali dei dispositivi atti a prevenire l'inquinamento da riflusso.
UNI EN 12053-3	Sistema d'intercettazione, raccolta ed evacuazione (superfici di raccolta, bocchettoni, canali di gronda, doccioni, pluviali, pozzetti, caditoie, collettori differenziati ed opere di drenaggio).

Di seguito è riportato l'elenco delle principali norme della Regione Lombardia, alle quali si fa riferimento all'interno del documento semplificato del rischio idraulico comunale

- r.r. 19 aprile 2019, n 8 disposizioni sull'applicazione dei principi di invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7
- r.r. 23 novembre 2017 n° 7 "Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12"
- l.r. 28 novembre 2014 n°31 "Disposizioni per la riduzione del consumo di suolo e per la riqualificazione del suolo degradato"
- l.r. 15 marzo 2016 n° 4 "Revisione della normativa regionale in materia di difesa del suolo, di prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e di gestione dei corsi d'acqua"
- l.r. 1 febbraio 2012 n° 1 "Riordino normativo in materia di procedimento amministrativo, diritto di accesso ai documenti amministrativi, semplificazione amministrativa, potere sostitutivo e potestà sanzionatoria"

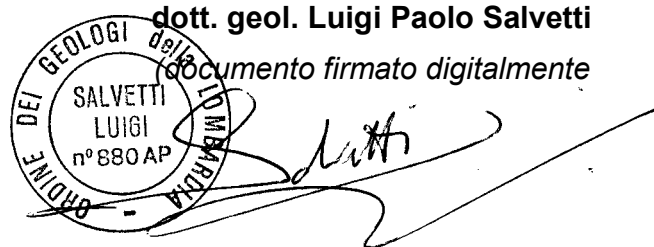


- r.r. 24 marzo 2006 n° 4 "Disciplina dello smaltimento delle acque di prima pioggia e di lavaggio delle aree esterne, in attuazione dell'articolo 52, comma 1, lettera a) della legge regionale 12 dicembre 2003, n. 26"
- l.r. 11 marzo 2005 n° 12 "legge per il governo del territorio"
- l.r. 12 dicembre 2003 n°26 "Disciplina dei servizi locali di interesse economico generale. Norme in materia di gestione dei rifiuti, di energia, di utilizzo del sottosuolo e di risorse idriche"

Nell'allegato che segue si riportano alcune indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione della acque meteoriche in ambito urbano ed esempi di configurazioni del collegamento tra l'uscita di un vaso di laminazione e lo scarico nel ricettore

**Pianico, marzo 2026**

**dott. geol. Luigi Paolo Salvetti**  
*documento firmato digitalmente*



**ALLEGATO A**

Indicazioni tecniche costruttive ed esempi



ESEMPI DI CONFIGURAZIONI DEL COLLEGAMENTO TRA L'USCITA DI UN INVASO DI LAMINAZIONE E LO SCARICO NEL RICETTORE

Nelle figure seguenti sono riportati alcuni esempi di configurazioni del collegamento tra l'uscita di un invaso di laminazione e lo scarico nel ricettore, sia per scarichi a gravità che per sollevamento.

Figura 16 – Particolari vasca di laminazione con scarico a gravità, con e senza deposito ad uso irriguo (da: Comune di Trento)

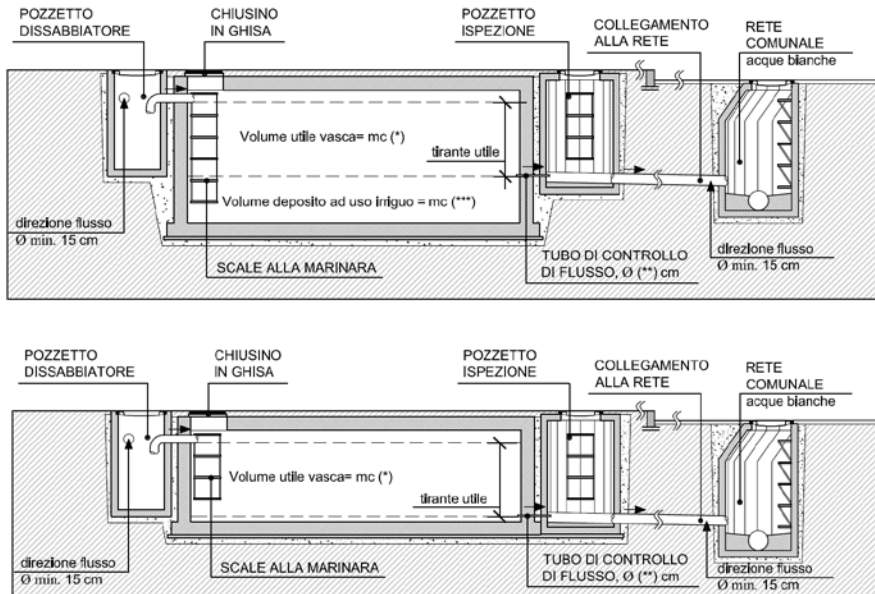
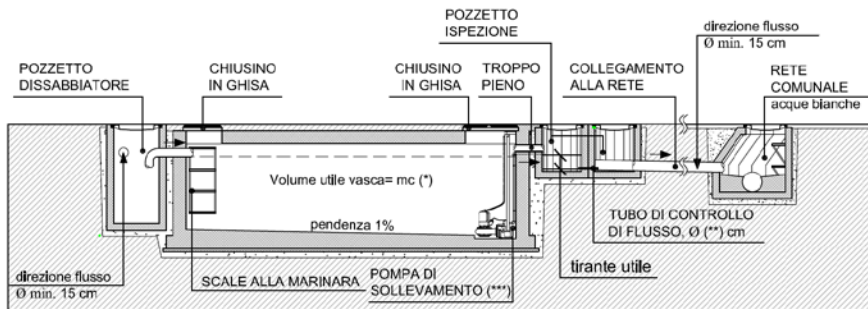


Figura 17 - Particolari vasca di laminazione con scarico mediante pompaggio, senza deposito ad uso irriguo (da: Comune di Trento)



**INDICAZIONI TECNICHE COSTRUTTIVE ED ESEMPI DI BUONE PRATICHE DI GESTIONE DELLA ACQUE METEORICHE IN AMBITO URBANO****1. GENERALITÀ**

Nel presente capitolo sono sinteticamente esposte alcune indicazioni tecniche per la realizzazione delle infrastrutture finalizzate al rispetto degli obiettivi e dei limiti indicati nei precedenti capitoli.

Si tratta di indicazioni di primo orientamento in merito alle strutture, alle caratteristiche e alle dimensioni necessarie per il conseguimento degli obiettivi richiesti. Per le determinazioni e le progettazioni di dettaglio è necessario riferirsi alla vasta letteratura tecnica dell'ingegneria idraulica del settore.

**2. OPERE DI LAMINAZIONE****Generalità**

Le strutture di laminazione atte all'abbattimento delle portate pluviali e meteoriche entro determinati limiti rappresentano la famiglia più numerosa di tecniche di mitigazione degli allagamenti. Questi manufatti hanno la funzione di invasare provvisoriamente una parte, anche notevole, dei volumi idrici derivanti dagli eventi meteorici, per inviarli successivamente alla depurazione o per restituirli al ricettore finale, con portata ridotta e con essi compatibile. Sono classificabili tra le strutture di immagazzinamento anche quelle che non contemplano uno scarico verso valle ma lo svuotamento attraverso l'infiltrazione.

In generale la classificazione delle opere di laminazione viene effettuata sulla base di differenti criteri, di seguito brevemente descritti:

- funzione assoluta: DETENZIONE o RITENZIONE
- posizione rispetto alla rete drenante: TRANSITO (in linea) o CATTURA (fuori linea)
- posizione rispetto al piano campagna: SUPERFICIALE o SOTTERRANEA

*Detenzione:* tutti i deflussi o parte di essi vengono temporaneamente invasati e contemporaneamente rilasciati attraverso gli scarichi nel sistema di drenaggio di valle, con portata limitata nei limiti prescritti al punto 1. In questo caso il volume invasato è trattenuto solo temporaneamente nell'invaso e l'onda laminata uscente da esso si sviluppa nel corso dello stesso evento meteorico.

*Ritenzione:* tutti i deflussi o parte di essi vengono invasati, generalmente per un lungo periodo, e non vengono rilasciati durante l'evento meteorico nel ricettore in quanto le acque accumulate vengono smaltite mediante infiltrazione, evaporazione o riuso. In questo caso quindi il volume invasato è trattenuto a lungo o permanentemente nell'invaso e l'eventuale scarico si sviluppa dopo l'evento meteorico, senza contribuire alla formazione della piena a valle. Possono venire progettati per mantenere all'interno un certo volume di acque (bacini umidi, wetland) con una vasca permanente che consente lunghi tempi di residenza idraulica, permettendo così di raggiungere elevati rendimenti di rimozione degli inquinanti, oppure possono essere disegnati in maniera da svuotarsi completamente (bacini asciutti).

*Invasi di transito (in linea):* tutti i deflussi derivanti dall'area scolante entrano direttamente nell'invaso e contemporaneamente escono dallo stesso passando attraverso una o più bocche di scarico limitanti la portata consegnata a valle.

*Invasi di cattura (fuori linea):* l'invaso è posto in derivazione rispetto al condotto o canale convogliante i deflussi derivanti dall'area scolante e viene interessato solo per portate in arrivo maggiori di un valore di soglia prefissato.

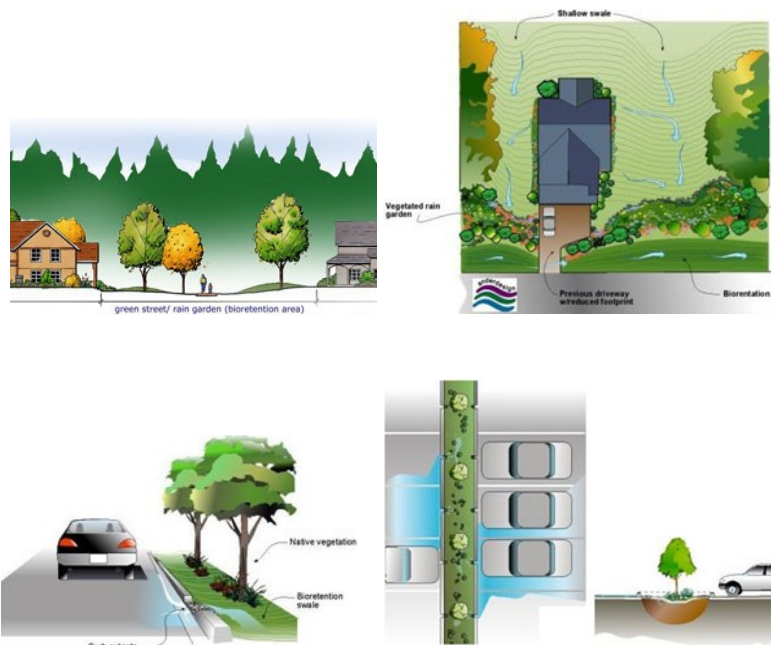
*Sotterraneo:* serbatoi chiusi costruiti in situ o prefabbricati, al di sotto del piano campagna e non visibili dall'esterno. La funzione da essi assolta è quella di laminazione (detenzione o ritenzione), a volte può essere previsto il trattamento delle acque.

*Superficiale*: aree aperte già esistenti o adattate o appositamente sbancate per la laminazione, visibili dall'esterno e almeno in parte destinabili ad altre finalità (agricoltura, fruizione pubblica, paesaggio, ecc.) nei periodi di asciutta. Possono essere aree naturali o artificiali o miste e possono anche integrare la funzione idraulica con la depurazione delle acque invase mediante sistemi vegetati (wetlands, cunette vegetate, filter strips). Scarico anche per infiltrazione.

**Strutture superficiali di laminazione**

Questo tipo di strutture può essere costituito da aree depresse naturali o appositamente costruite, di estensione e forma tale da garantire un volume di ritenzione pari a quello di progetto. Esse possono essere dotate di scarico di fondo, di scarico di emergenza di superficie, di fondo impermeabile (per particolari condizioni di vulnerabilità dell'acquifero sotterraneo o per altre particolari esigenze o rischio di inquinamento delle acque di drenaggio) o di fondo drenante.

**Figura 18 - Schemi di aree di ritenzione/laminazione proposte nei sistemi LID ecc.**

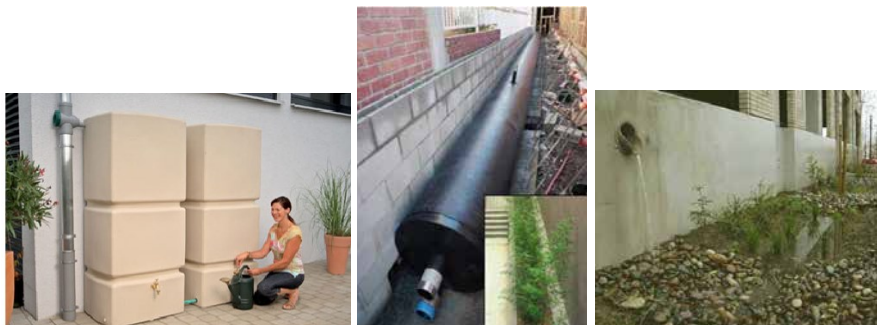


**Figura 19 – Esempi di strutture superficiali di laminazione costituite da vasche e canali a cielo aperto**





Figura 20 – Esempi di strutture di laminazione fuori terra delle acque dei tetti, strutturabili sia per la sola laminazione sia per il riuso



### Strutture sotterranee di laminazione

Questo tipo di strutture può essere costituito da serbatoi o vasche in c.a. o altro materiale, prefabbricate o realizzate in opera, di dimensioni e forme differenti in funzione del volume, del materiale utilizzato, dell’allocazione, del riutilizzo o meno delle acque.

Nel presente capitolo vengono riportati alcuni schemi applicativi e alcuni esempi relativi a strutture sia “compatte”, sia “distribuite” in senso longitudinale. Si configura in questo secondo sistema anche il sovradimensionamento del sistema fognario necessario per il drenaggio di una determinata area, purché fornito da opportuni sistemi per limitare, a valle, la portata scaricata entro i valori massimi imposti.

I componenti di base di una struttura interrata di laminazione sono: una copertura sicura (dimensionata in funzione dei carichi attesi), un sistema di accesso per manutenzione e/o pulizia, un sistema di schermatura per le zanzare e altri animali, un sistema di filtrazione per evitare l’immissione di materiale grossolano (es. foglie o rifiuti), un tubo di troppo pieno (o, comunque, un’uscita controllata), un sistema di gestione delle

emergenze (es. alloggiamento pompe). Le caratteristiche supplementari possono includere un indicatore di livello dell'acqua, una trappola di sedimenti, o la possibilità di estendere modularmente il volume di accumulo.

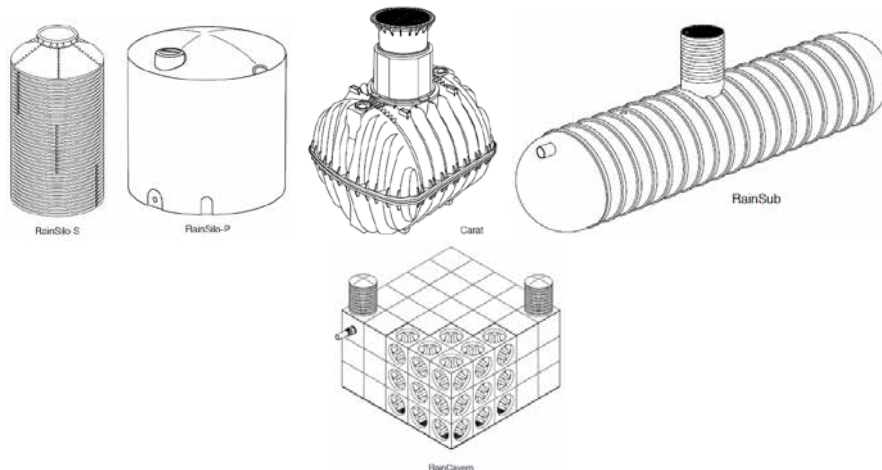
**Figura 21 – Esempio di vasca di laminazione sotterranea in c.a.**



**Figura 22 – Esempi di applicazione di vasche di laminazione sotterranee per piccole e medie estensioni, strutturabili sia per la sola laminazione con scarico in sistema di infiltrazione, sia per il riuso (tratte dal sito <http://www.3ptechnik.it/it/home.html>)**



**Figura 23 – Schemi di serbatoi interrati per piccole, medie e grandi installazioni (dal sito <http://www.conservationtechnology.com>)**



Una possibile installazione di strutture sotterranee di infiltrazione/ detenzione prevede l'utilizzo di tubazioni di grande diametro in c.a. o di serbatoi prefabbricati in polietilene. In questo caso la pavimentazione è di tipo tradizionale (impermeabile) e l'alimentazione avviene attraverso caditoie frequentemente corredate da filtri più o meno complessi. Le strutture serbatoio possono essere filtranti ovvero impermeabili garantendo unicamente la detenzione temporanea dei deflussi.

**Figura 24 – Esempio di strutture di laminazione costituite da tubazioni sotterranee e sovradimensionamento del sistema di drenaggio delle superfici impermeabili**



### **Gestione e manutenzione delle opere di laminazione**

In generale, è fondamentale per il corretto funzionamento degli invasi e per il mantenimento delle caratteristiche iniziali la corretta manutenzione e gestione delle opere strutturali previste. Esse dipenderanno (in termini di cosa fare e quando farlo) dalle caratteristiche proprie delle opere (interrate, superficiali, con infiltrazione, con pompaggio, ecc.).

Per quanto riguarda, in particolare, i sedimenti, occorrerà prevedere adeguati interventi di rimozione dei materiali dal bacino stesso, con modalità differenti in funzione del rischio di inquinamento degli stessi e delle loro caratteristiche.

In generale gli invasi richiedono almeno un'ispezione annuale che ne valuti le condizioni: solitamente un bacino dovrebbe essere ripulito se la profondità dei depositi è maggiore o uguale a un terzo dell'altezza dal fondo del più basso fra le aperture di afflusso e/o afflusso e i condotti presenti. La pulizia può essere effettuata sia manualmente che per mezzo di apparecchiature apposite.

Nel caso di vasche chiuse in calcestruzzo, diversi studi hanno dimostrato che i sistemi più efficaci e meno costosi per la rimozione dei rifiuti sono quelli che sfruttano il flusso dell'acqua ad alta velocità: esistono, a riguardo, differenti tecnologie basate tutte sulla creazione di un'onda di lavaggio che dilava i sedimenti dal fondo della vasca al termine di ogni episodio di riempimento-svuotamento della vasca, la principale differenza è nella modalità con cui l'acqua necessaria per il lavaggio viene accumulata e poi scaricata bruscamente all'interno della vasca stessa (Figura 21).

### **3. OPERE DI INFILTRAZIONE**

#### ***Generalità***

Le opere strutturali più diffuse che incentivano lo smaltimento per infiltrazione nel terreno di una parte dei deflussi meteorici sono le seguenti:

- trincee di infiltrazione,
- pozzi drenanti,
- bacini di infiltrazione,
- pavimentazioni permeabili,
- caditoie filtranti

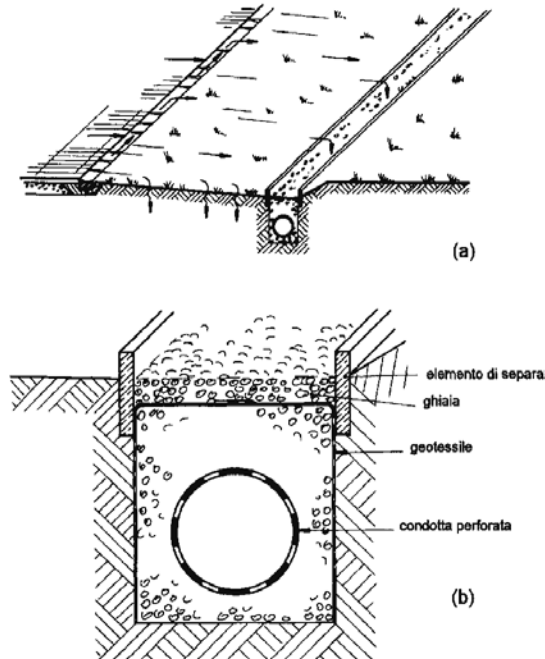
#### ***Trincee d'infiltrazione***

La trincea d'infiltrazione (Figura 25) può descriversi, schematicamente, come uno scavo lungo e profondo (generalmente la profondità è compresa tra 1 e 3 metri) riempito con materiale ad alta conduttività idraulica, ad esempio ghiaia o ghiaietto. La trincea viene generalmente costruita in corrispondenza di una cunetta ribassata rispetto al terreno da drenare, così che il deflusso superficiale si possa accumulare temporaneamente all'interno della trincea e gradualmente infiltrarsi nel terreno circostante attraverso le superfici laterali e il fondo.

Ogni trincea viene generalmente dotata di una condotta forata centrale, del diametro minimo DN200 mm, che ha la funzione di distribuire omogeneamente le acque lungo tutta la trincea e, ove previsto, di condurre le acque non infiltrate alla rete di scarico. Attraverso tale condotta è pure possibile operare interventi di pulizia o manutenzione straordinaria della trincea stessa.

Per mantenere più a lungo possibile le caratteristiche idrauliche della trincea, è sempre opportuno installare a monte delle trincee dei pre-trattamenti per la rimozione del particolato sottile al fine di evitare problemi di ostruzione della struttura.

Figura 25 – Trincea drenante



Le trincee possono essere allocate in superficie o nel sottosuolo: quelle in superficie ricevono il deflusso superficiale direttamente dalle aree adiacenti mentre quelle nel sottosuolo possono ricevere il deflusso da altre reti drenanti, ma richiedono l'utilizzo di ulteriori pre-trattamenti per impedire che particolato grossolano, terreno e foglie occludano la struttura.

In Figura 26 è possibile osservare una tipica trincea d'infiltrazione. Essa è costituita da uno scavo nel quale sono posti tre strati di terreno:

1. il primo, partendo dall'alto, è uno strato che ha buone qualità relativamente alla crescita della vegetazione. Si evidenzia, a proposito, un aspetto molto importante: la vegetazione, nelle trincee e, generalmente, nelle aree di infiltrazione, è fondamentale non solo per garantire l'aspetto estetico, ma anche per la rimozione dei nutrienti e la fitodepurazione delle acque e, non ultimo, perché migliora la permeabilità del suolo;
2. il secondo (opzionale), sabbioso, ha buone caratteristiche filtranti;
3. il terzo è costituito da ghiaia o materiale naturale di elevata permeabilità per l'accumulo temporaneo d'acqua piovana.

I tre strati prima detti sono caratterizzati inoltre dall'aver conduttività idraulica crescente dall'alto verso il basso. Al contorno dello strato di detenzione è, generalmente, collocato un tessuto permeabile (geotessuto) che ostacola l'ingresso delle particelle fini all'interno del sistema.

In superficie si installa uno scarico di troppo pieno munito di pozzo d'osservazione, utile ad allontanare l'acqua in eccesso che provocherebbe inondazione in superficie.

Infine, nella trincea si colloca una condotta verticale forata, avente un diametro di circa 100÷200mm e munita di coperchio in superficie, allo scopo di osservare in ogni momento il livello idrico nello strato di base.

Per quel che riguarda il materiale di riempimento dello strato di base della struttura, può essere convenzionale (es. granito frantumato) ovvero non convenzionale (es. gabbie modulari in materiale plastico).

che a parità di volume di scavo garantiscono un maggiore volume dei vuoti). Nel primo caso il diametro massimo degli aggregati non deve eccedere i 40÷80 mm, il volume dei vuoti del riempimento deve aggirarsi intorno il 30-40% e l'intero strato di riempimento è circondato da un tessuto filtrante.

La pendenza in superficie della trincea d'infiltrazione deve essere inferiore al 5%, mentre è consigliabile che quella del fondo sia prossima a zero per evitare che il liquido trovi delle traiettorie preferenziali d'infiltrazione.

Tra i vantaggi delle trincee vi sono la possibilità di essere posizionate al di sotto della superficie del terreno (installazione sotto le zone di parcheggio) e la richiesta di spazi ridotti, fatto che le rende idonee alle zone urbane. Tra gli svantaggi vi sono gli elevati costi di costruzione e manutenzione e la possibilità di intasamento.

Figura 26 - Trincea d'infiltrazione (Technical Guidelines for Western Sydney 2004)

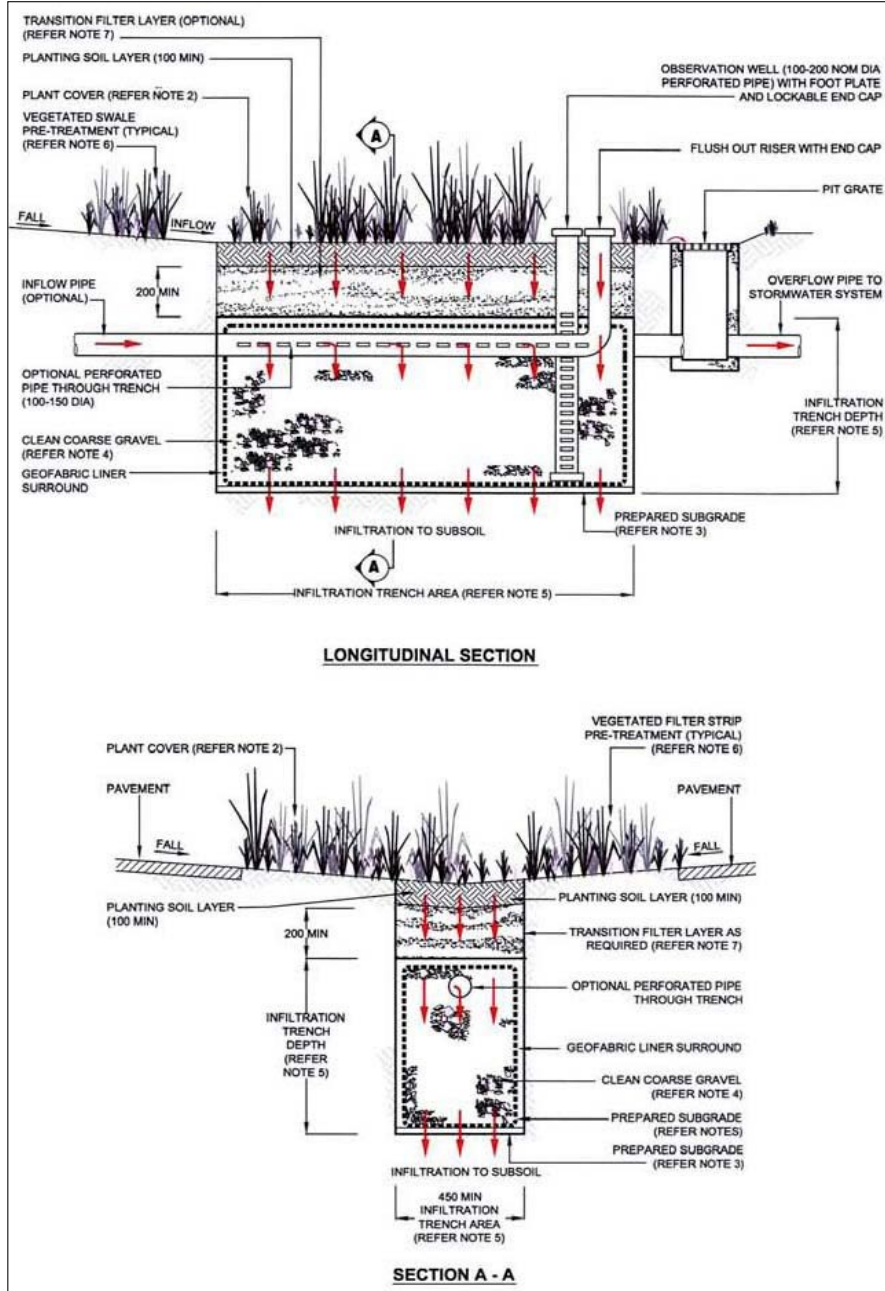


Figura 27 - Opere di infiltrazione [da: Urbonas e Stahre, 1993]

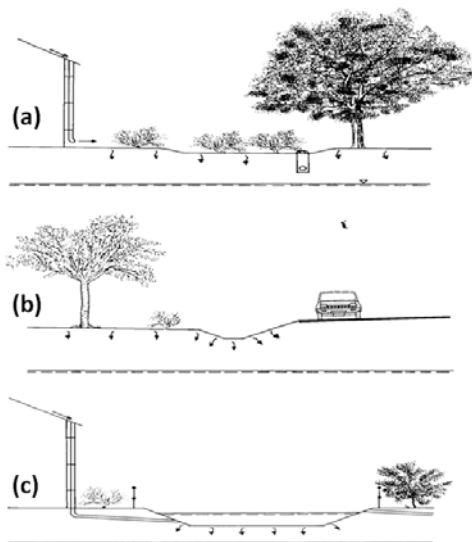


Figura 28 – Esempi di trincee d’infiltrazione



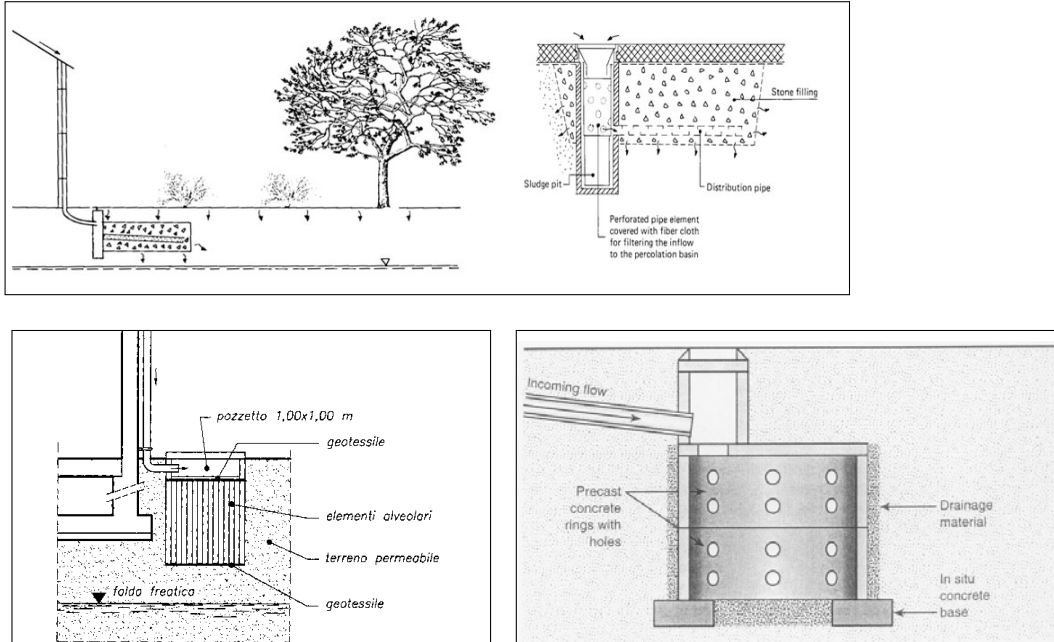
### Pozzi d’infiltrazione

I pozzi d’infiltrazione sono strutture sotterranee localizzate, utilizzate principalmente per raccogliere ed infiltrare le acque di pioggia provenienti dai tetti di edifici residenziali e commerciali e/o dai piazzali (mentre, come visto, le trincee di infiltrazione sono preferibilmente utilizzate nelle strutture lineari).

I pluviali, per esempio, possono essere estesi fino al pozzo (Figura 29), che deve essere posizionato a distanza adeguata (almeno 3 metri) dalle fondamenta degli edifici.

La struttura esterna è generalmente prevista in materiale rigido (per esempio in cemento), mentre l’interno viene riempito con materiale inerte (ghiaia) con una porosità di almeno il 30%. I pozzi perdenti sono preferibilmente dotati di accesso ispezionabile al fine di garantirne la manutenzione e le prestazioni nel tempo.

Figura 29 – Esempi di pozzi d’infiltrazione



Anche per i pozzi d’infiltrazione può essere necessario prevedere l’inserimento di pre-trattamenti per l’intercettazione di sedimenti ed oli che possono ostruire la struttura. È opportuno inserire nelle grondaie dei filtri al fine di intrappolare particelle, foglie ed altri detriti.

Esistono anche in commercio dei piccoli manufatti che si inseriscono nelle grondaie e consentono il transito dell’acqua e l’espulsione delle foglie (Figura 30).

Figura 30 – Esempi di applicazioni per limitare il rischio di intasamento delle strutture di infiltrazione: filtro autopulente, filtro deviatore in linea, griglia per fogliame. (Questi esempi sono tratti, in particolare, dal sito [www.3PTechnik.it](http://www.3PTechnik.it))



**Bacini e vasche d’infiltrazione**

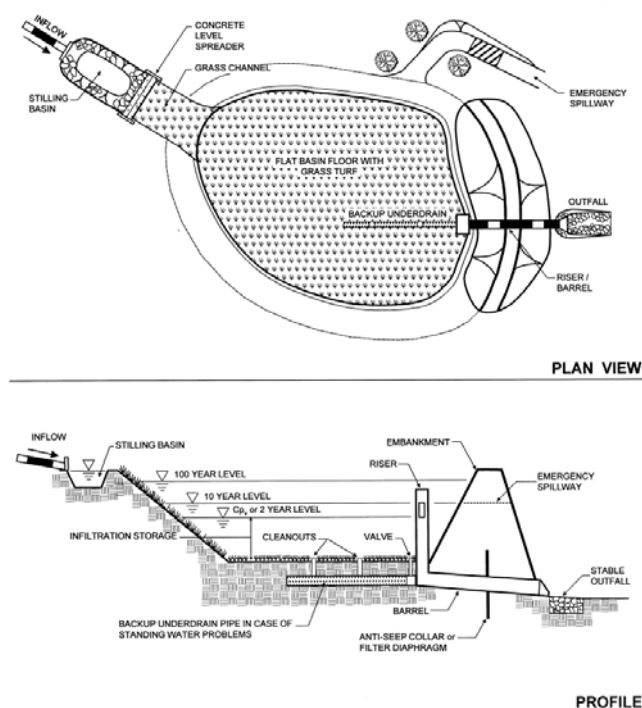
Le vasche e i bacini d’infiltrazione sono invasi a fondo permeabile.

I primi hanno generalmente i muri di contenimento in calcestruzzo e possono essere strutture anche sotterranee, mentre i secondi sono ricavati da depressioni naturali o artificiali nel terreno, quindi sempre a cielo aperto.

In entrambi i casi è indispensabile la formazione di una capacità di accumulo, come volano tra l'idrogramma di piena in arrivo e il regime delle portate infiltrate.

Nei bacini d'infiltrazione, in genere le pareti e il fondo del bacino sono ricoperte da un tappeto erboso, al fine sia di stabilizzare queste aree sia di esercitare un'azione filtrante per rimuovere le sostanze inquinanti presenti nelle acque di pioggia, come nutrienti e metalli disciolti. Inoltre, le radici vegetali possono aumentare la capacità di infiltrazione di un terreno poiché creano nello stesso dei condotti preferenziali in cui l'acqua si infiltra. Un esempio schematico di un bacino d'infiltrazione è riportato in Figura 31, mentre nella precedente Figura 19 sono riportate alcune immagini di bacini con funzione di laminazione e infiltrazione.

**Figura 31 - Schema di un bacino di infiltrazione (Scheuler, 1992)**



La profondità del bacino viene calcolata tenendo conto di un tempo massimo di ritenzione dell'acqua nel bacino stesso, usualmente posto inferiore alle 48 ore.

Uno dei problemi principali e delle critiche mosse a queste strutture è il rischio di inquinamento della falda. Se le acque di pioggia contengono elevate quantità di inquinanti, per esempio acque provenienti da siti industriali o da altre superfici suscettibili di inquinamento, i bacini d'infiltrazione non dovrebbero essere utilizzati, oppure dovrebbero essere preceduti da opportuni pre-trattamenti (come filtri o disoleatori). In ogni caso, è opportuno collocare il fondo del bacino a distanza di sicurezza dal livello massimo della falda. Devono, inoltre, essere rispettati i vincoli di rispetto delle aree di salvaguardia (pozzi, aree di ricarica della falda, ecc.) indicati nella normativa.

Anche con riferimento alle strutture (edifici) esistenti o in progetto, è bene collocare il bacino a distanza di sicurezza (indicativamente almeno pari ad un rapporto pari 1:1 tra la distanza dal piano seminterrato o interrato dell'edificio più vicino e il dislivello tra fondo vasca e quota dello stesso piano), per evitare problemi di infiltrazioni e conseguenti danni ai materiali.

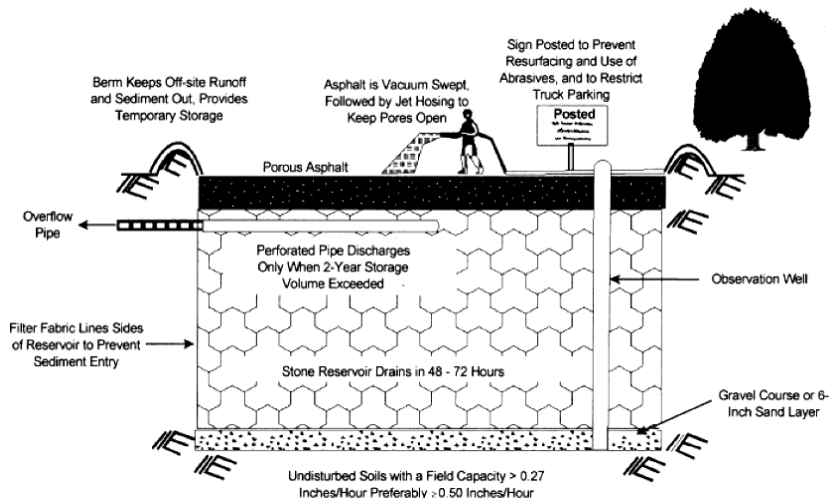
Tra i rischi di errato dimensionamento o mancanza di manutenzione di queste strutture, vi è la possibilità di mal funzionamento dovuto a terreno inadatto o ad intasamento, che possono portare a produzione di cattivi odori e al proliferare di insetti (zanzare, moscerini).

Per quanto riguarda la manutenzione, occorre provvedere alla rimozione regolare di foglie e detriti e nel prevedere una frequente potatura delle piante, degli arbusti e della vegetazione in genere. Occorre inoltre prevedere ogni 5÷10 anni di dissodare il terreno, in modo da rinnovarne lo strato superficiale.

### Pavimentazioni permeabili

Le pavimentazioni permeabili sono una valida alternativa ai convenzionali lastricati di marciapiedi o zone pedonali che si propone di aumentare la permeabilità delle superfici e, conseguentemente, di minimizzare il deflusso superficiale (Figura 32).

Figura 32 - Schema di una pavimentazione permeabile (US EPA, 1998)



Esistono due tipi di pavimentazioni permeabili: continue e discontinue.

Le pavimentazioni permeabili continue sono realizzate in modo apparentemente simile alle pavimentazioni stradali normali, ma con conglomerati bituminosi o calcestruzzi permeabili, ottenuti eliminando dalla miscela la sabbia e gli altri inerti di granulometria fine. Le pavimentazioni permeabili discontinue sono invece ottenute accostando elementi prefabbricati in CLS, perforati e autobloccanti (Figura 33). In entrambi i casi al disotto della pavimentazione si realizza un sottofondo filtrante, composto da strati di granulometria crescente. Lo strato filtrante sottostante può anche essere isolato con una guaina impermeabile, trasformandosi in una specie di vasca di laminazione.

Le pavimentazioni permeabili discontinue permettono l'immediata infiltrazione di acqua di pioggia nella struttura sottostante la superficie. Un esempio sono i blocchi di calcestruzzo ed erba che formano una griglia di vuoti circondati da calcestruzzo compresso e offrono uno spazio di circa l'80% della superficie complessiva per far crescere l'erba e far infiltrare l'acqua.

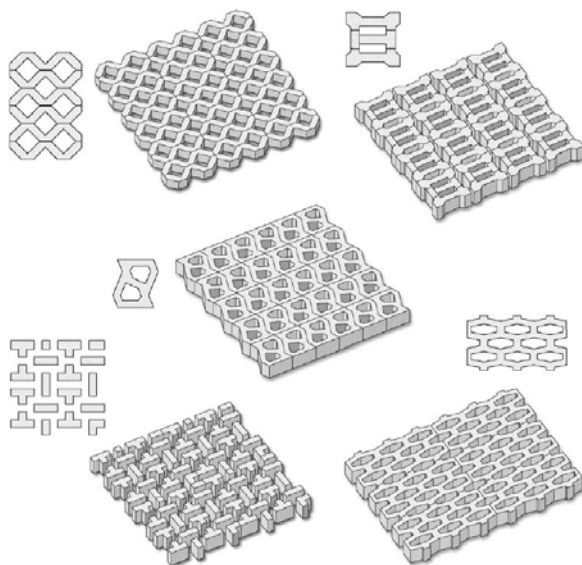
Il vantaggio che le pavimentazioni permeabili discontinue presentano rispetto alle continue è in fase di ricostruzione per perdita di funzionalità. I mattoni o moduli permeabili sono rimossi, puliti e riutilizzati,

riducendo così i costi di ricostruzione, invece l'asfalto è rimosso e non più utilizzabile. Sempre in fase di rifacimento il letto di ghiaia e il tessuto filtrante sono sostituiti, mentre lo strato di base è ripristinato.

Le pavimentazioni permeabili discontinue sono collocate sopra una struttura riempita di ghiaia molto permeabile in modo che i vuoti fungano da bacino di accumulo del deflusso. Un filtro in tessuto è posto sotto il riempimento, in modo da evitare che le sottili particelle di terreno entrino nella struttura provocandone l'ostruzione.

In ogni caso le pavimentazioni permeabili continue e discontinue possono essere sagomate in modo da consentire la raccolta e laminazione anche parziale delle acque, prima dell'immissione nel sistema di drenaggio.

**Figura 33 - Elementi modulari prefabbricati in calcestruzzo per pavimentazioni erbose (ASSOBETON, Associazione Nazionale Industrie Manifatti in Calcestruzzo Sezione Blocchi e Pavimenti)**



**Figura 34 - Esempi di pavimentazioni permeabili**



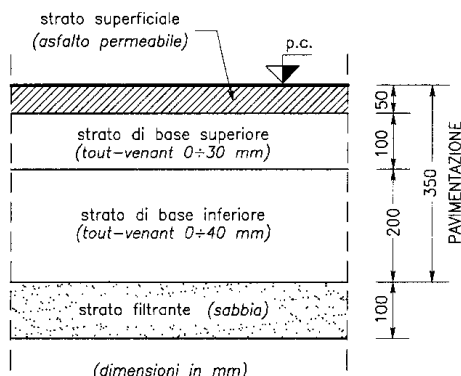
Nel progettare questo tipo di strutture è necessario considerare una serie di fattori come l'efficienza, l'impatto inquinante sul corpo ricettore e la localizzazione di siti adatti.

L'efficienza di una pavimentazione permeabile dipende, oltre che dalla corretta esecuzione e manutenzione dello strato più superficiale, dalla tipologia adottata per gli strati sottostanti, posti fra quello più superficiale

e il terreno di base. A sua volta, tale tipologia dipende dalla natura del sottosuolo: risulta infatti chiaro che, qualora questo possieda già buone caratteristiche drenanti, tali strati hanno solo la funzione di vettori delle portate infiltrate e di eventuale filtro nei confronti degli inquinanti da queste veicolate; invece, qualora non sussistano le garanzie di permeabilità del sottosuolo, l'intera pavimentazione assume un ruolo di accumulo, anche se temporaneo, delle acque infiltrate, che vengono gradualmente restituite al sistema drenante di cui la pavimentazione deve essere dotata e che è direttamente collegato al ricettore.

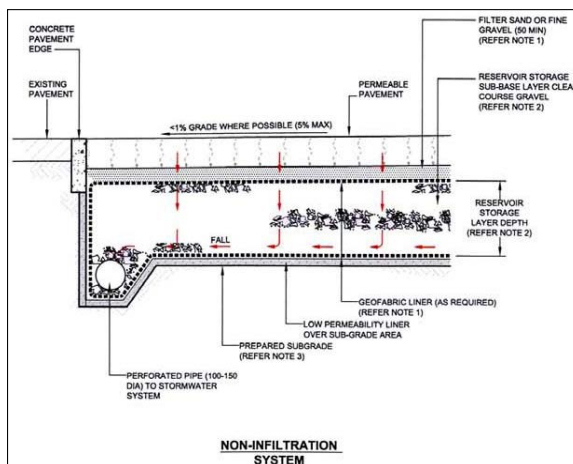
Nella seguente Figura 35, è riportato uno schema di pavimentazione permeabile continua: da essa si rileva chiaramente l'obiettivo di garantire una sufficiente permeabilità della pavimentazione stessa, grazie a due strati in ghiaia o pietrisco di pezzatura non superiore a 30÷40 mm, oltre che di proteggere il sottosuolo dalla filtrazione di inquinanti, mediante lo strato di sabbia (Watanabe, 1995).

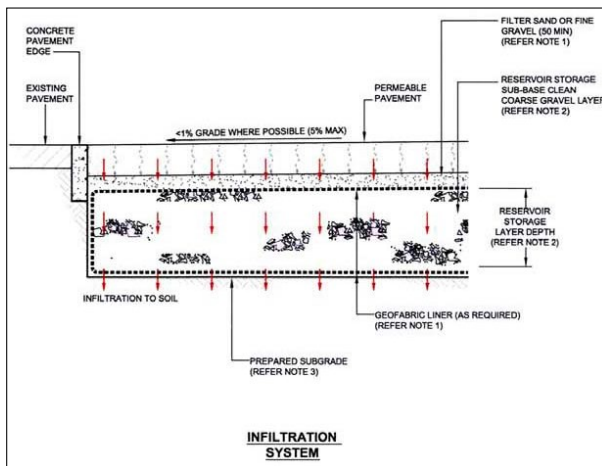
Figura 35 – Esempio di pavimentazione porosa



Invece nella seguente Figura 36 vengono riportati due schemi di pavimentazioni drenanti con due differenti “strutture a serbatoio”, dimensionate al fine di garantire una prefissata capacità di accumulo. la prima struttura prevede uno scarico solamente mediante la rete di drenaggio, la seconda prevede l’infiltrazione. Oltre ai materiali tradizionali (sabbia, ghiaia), possono essere utilizzati anche quelli sintetici, caratterizzati da una percentuale di vuoti superiore al 90%, grazie alla particolare forma a nido d'ape (Balades e altri, 1995).

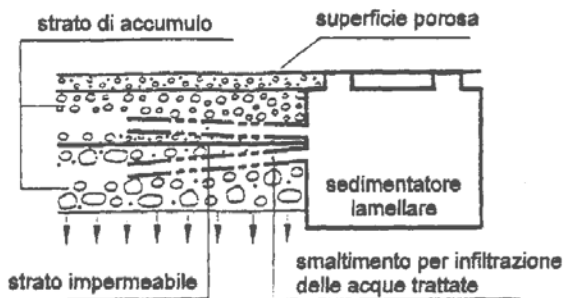
Figura 36 – Schema di pavimentazioni drenanti con due diversi tipi di drenaggio (Technical Guidelines for Western Sydney 2004)





Nel caso in cui si voglia proteggere il sottosuolo dalla propagazione di inquinanti, e in particolar modo dai pericoli di occlusione prodotta dalla presenza di eccessive concentrazioni di solidi sospesi nelle acque infiltrate, si può ricorrere alla realizzazione di due strutture serbatoio sovrastanti, in comunicazione mediante due sistemi di dreni collegati da un bacino di sedimentazione, attraverso il quale le acque devono obbligatoriamente passare per raggiungere il serbatoio sottostante (Figura 37) (Balades e altri, 1991).

**Figura 37 - Esempio di strutture serbatoio con pretrattamento delle acque a monte dell'infiltrazione nel suolo (Balades e altri, 1991)**



Indagini su campo eseguite in Florida hanno evidenziato che le pavimentazioni filtranti utilizzate nelle aree di parcheggio, se correttamente installate e controllate, continuano ad infiltrare le acque piovane anche dopo 15 anni.

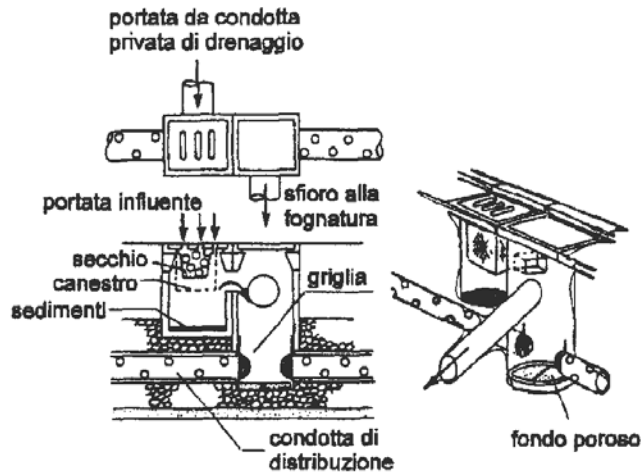
**Caditoie filtranti**

Attraverso l'utilizzo delle caditoie filtranti si cerca di facilitare l'infiltrazione nel suolo delle acque di origine meteorica che si raccolgono sui tetti o sulle superfici stradali (Figura 38).

Le acque accumulate lungo le cunette stradali sono scaricate in caditoie munite di una prima camera finalizzata alla separazione dei solidi grossolani (foglie e inerti); successivamente, le acque passano in una seconda camera, munita di fondo drenante, da cui si diparte la trincea drenante.

L'ingresso in questa è protetto da una griglia, al fine di evitare pericoli di occlusione; anche in questo caso, un tubo centrale consente l'avvio delle acque in fognatura, qualora venga superata la capacità d'infiltrazione del sistema, evitando così il pericolo di allagamenti superficiali. La manutenzione di tali strutture consiste nella rimozione dei materiali grigliati o sedimentati alcune volte l'anno.

Figura 38 - Esempio di caditoia utilizzata per lo smaltimento delle acque provenienti da superfici stradali (Fujita, 1994)



In relazione al dimensionamento delle caditoie si può fare riferimento agli stessi metodi validi per le trincee drenanti.

#### 4. ALTRE OPERE DI INVARIANZA IDROLOGICA: TETTI E PARETI VERDI

Il verde pensile e le pareti verdi si inseriscono a pieno titolo tra gli strumenti di mitigazione e compensazione ambientale, presentando le seguenti utilità:

- riducono gli afflussi ai sistemi di drenaggio mediante la ritenzione e la detenzione delle acque meteoriche;
- permettono di contenere l'aumento delle temperature, attraverso l'evapotraspirazione e l'assorbimento della radiazione solare incidente
- abbattano considerevolmente il ricircolo delle polveri inquinanti, mediante la capacità di assorbimento e trattenuta delle stesse
- preservano la biodiversità grazie alla creazione di nuovi ambienti di vita per animali e piante;
- mitigano l'inquinamento acustico con la riduzione della riflessione del suono all'esterno e della diffusione all'interno;
- attuano i processi del ciclo dell'acqua, tramite la ritenzione (immagazzinamento e dispersione) del volume di pioggia.

Le diverse tecnologie attualmente impiegate per la realizzazione dei tetti verdi e, in generale, del verde pensile, devono riprodurre, in linea di principio, una stratificazione composta da diversi elementi, oltre all'elemento di supporto strutturale (soletta, copertura) e all'elemento di tenuta (impermeabilizzazione) che rappresentano la superficie di posa per il verde pensile. Vengono, infatti, generalmente impiegati i seguenti elementi:

1. strato antiradice (integrato o meno) e strato d'accumulo e protezione meccanica;
2. strato drenante;
3. strato filtrante;
4. substrato di vegetazione;
5. accessori (per il drenaggio e l'irrigazione);
6. vegetazione.

Figura 39 - Tecniche costruttive convenzionali di tetto verde estensivo (tratti dall'articolo Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services, pubblicato sul sito <http://www.bioone.org> dell'American Institute of Biological Sciences). (a) Impianti completi: ogni componente, compresa la membrana del tetto, viene installato come parte integrante del tetto. (b) Impianti modulari: vassoi di vegetazione coltivata ex situ vengono installati al di sopra del sistema di copertura esistente. (c) strati di vegetazione precoltivata: il terreno di coltura, le piante, stuoie di drenaggio, e le barriere vengono srotolate sulla copertura esistente. Grafica: Jeremy Lundholm

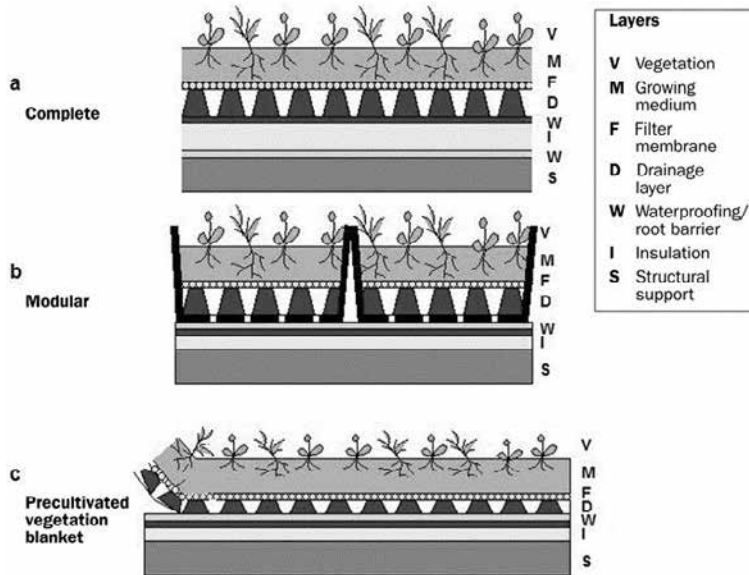


Figura 40 – Schema della composizione di un tetto verde (da Palla et al, Università di Genova, in atti del corso di aggiornamento Stadium tenuto dal Politecnico di Milano – Marzo 2012)

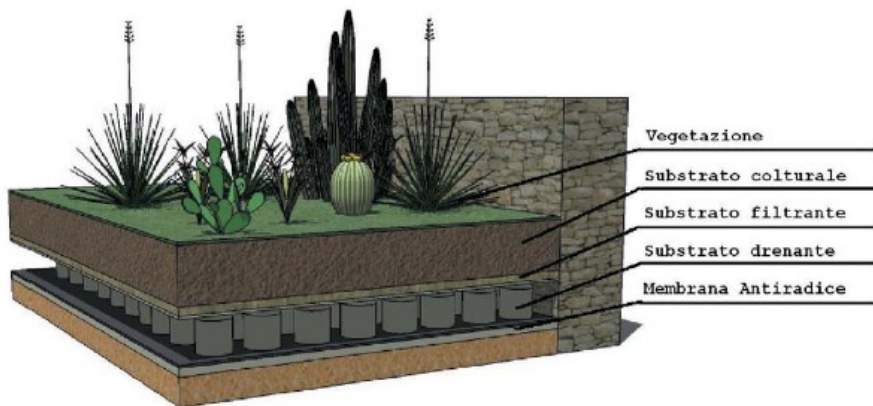


Figura 41 - Esempio pratico di tecnica costruttiva di tetto verde/ verde pensile



Le esperienze effettuate su molteplici siti pilota, ad esempio quelle effettuate presso l'Università di Genova, indicano che le prestazioni idrauliche di una copertura verde sono molto influenzate dalle condizioni meteo climatiche in cui avviene la precipitazione, comportando comunque riduzioni significative sia dei volumi idrici scaricati sia delle portate di picco degli idrogrammi per effetto della volatizzazione esercitata dal volume idrico contenuto nel substrato dell'apparato sia del consumo per evapotraspirazione dell'acqua di imbibizione del medesimo.

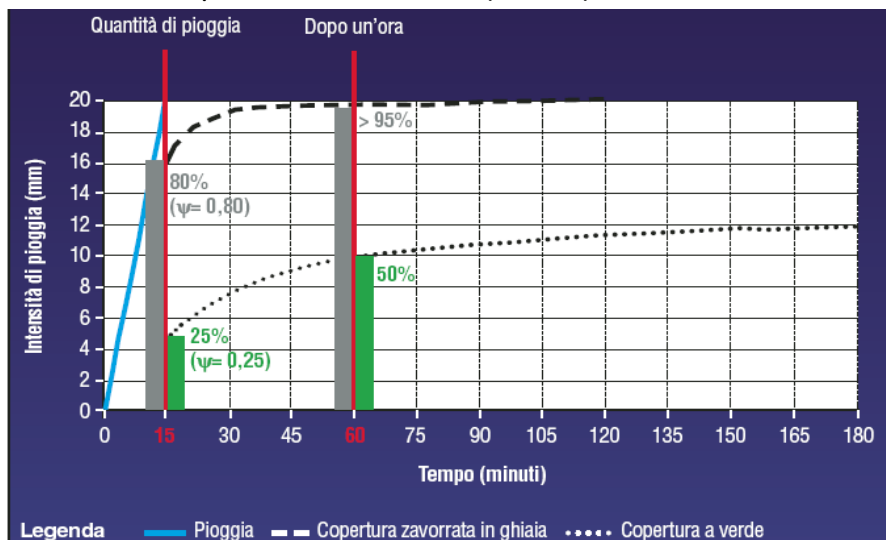
Alcune indicazioni tecniche possono essere ricavate dal sito dell'EPA (United States Environmental Protection Agency), agenzia governativa statunitense per la protezione dell'ambiente, il cui sito internet risulta molto esaustivo e utile ([www.epa.gov](http://www.epa.gov)), anche in base alla lunga esperienza in termini di utilizzo di sistemi LID.

Nel sito sono presenti anche utili riferimenti a studi condotti in merito all'efficienza dei tetti. Si riportano qui, in particolare, le conclusioni del seguente studio pubblicato dall'EPA: EPA/600/R-09/026 February, 2009 (Il lavoro è stato svolto dal Penn State Green Roof Center of The Pennsylvania State University at University Park, PA)

Questo progetto ha valutato i tetti verdi come strumento di gestione delle acque piovane, in termini di riduzione del volume scaricato e del controllo degli inquinanti. In particolare, sono stati confrontati: la quantità e la qualità del deflusso dai tetti verdi e asfaltati pianeggianti; l'evapotraspirazione da tetti verdi piantumati e l'evaporazione da tetti spogli. Sono stati studiati l'influenza del tipo e dello spessore del supporto e l'effetto dei periodi asciutti (e secchi) durante l'impianto del sistema verde, sullo sviluppo delle piante e sulla gestione a lungo termine del pH dei supporti. L'obiettivo del progetto era quello di fornire dati di alta qualità che possano essere utilizzati per fornire indicazioni attendibili di volumi di deflusso e di carichi prevedibili dai tetti verdi, oltre a valutare i fattori di impatto sulla crescita e lo sviluppo delle piante. I risultati indicano che i tetti verdi sono in grado di rimuovere il 50% del volume annuale delle precipitazioni da un tetto attraverso la conservazione e l'evapotraspirazione. La rimanente parte di precipitazione deve essere trattenuta mediante una laminazione. Naturalmente ogni precipitazione reale può generare effetti molto variabili in funzione delle sue caratteristiche in termini di durata, intensità, nonché in funzione dello stato del supporto all'inizio del fenomeno. Si sottolinea anche il fatto che il deflusso dal tetto verde contiene concentrazioni non trascurabili di alcune sostanze nutritive e di altri parametri, ma i valori riscontrati sono in linea con altri sistemi piantumati.

Un'altra fonte (Figura 42) mostra di fatto lo stesso ordine di grandezza di efficacia del verde pensile in termini di laminazione delle acque meteoriche.

**Figura 42 - Confronto tra la capacità di regimazione idrica di una copertura con zavoratura in ghiaia e una copertura a verde pensile estensivo con spessore del substrato di 10 cm (Germania)**



**Figura 43 - Esempi di applicazione di verde pensile orizzontale e inclinato**



I tetti e le pareti verdi, oltre ai suddetti indubbi vantaggi di tipo idrologico e ambientale, anche per le ottime ricadute in termini di minore esigenza energetica di condizionamento degli ambienti interni, presentano per contro oneri manutentivi (soprattutto le pareti verdi) non indifferenti che devono essere opportunamente considerati in un bilancio costi-benefici complessivo.

## 5. OPERE DI SCARICO E MANUFATTI DI CONTROLLO

Il manufatto idraulico per la regolazione e restituzione alla fognatura o al corpo idrico ricevente della portata di acque meteoriche ammessa al recapito dovrà essere costituito da pozzetto a doppia camera, tale da consentire l'ispezionabilità dello scarico e la misura delle portate scaricate e delle tubazioni di collegamento con il ricettore. Gli schemi riportati in Allegato I possono essere un utile riferimento tecnico.

Sarà opportuno, per le installazioni relative a piccole estensioni e per le quali, quindi, risulta più problematico garantire contemporaneamente una ridotta portata di deflusso e la garanzia di non ostruzione della tubazione di scarico, installare, in corrispondenza dello scarico, opportuni sistemi di regolazione di portata a luce variabile (Figura 44) o i regolatori di portata a vortice (Figura 45).

Il loro scopo è quello di mantenere la portata in uscita il più possibile costante al variare del carico idraulico. Generalmente sono bocche a battente con paratoie regolabili, con imbocco mobile o deformabile.

**Figura 44 - Sistemi di regolazione di portata a luce variabile per la gestione delle portate scaricate dalle opere di laminazione**

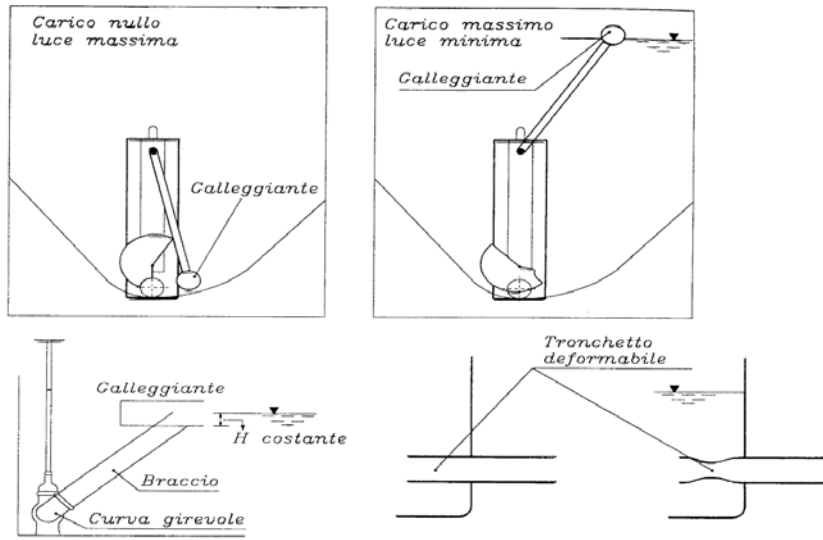
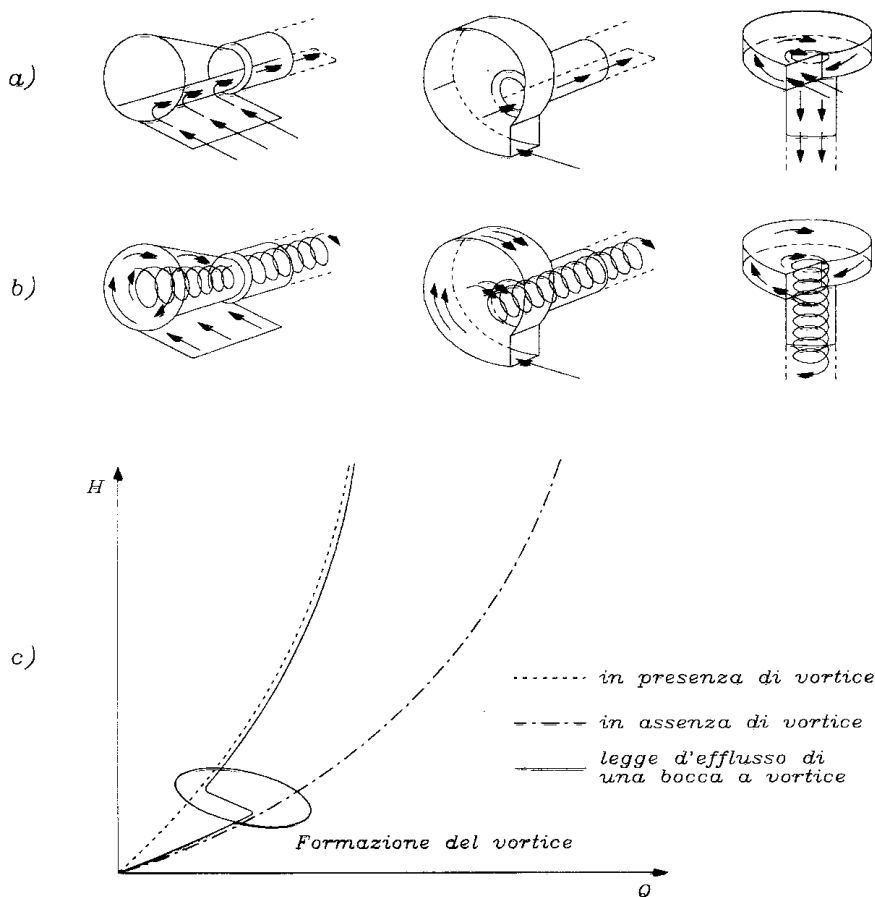


Figura 45 - Regolatori di portata a vortice



Essi vengono chiamati anche hydrobrake o vortex amplifier nella terminologia anglosassone. Possono essere a due o a tre vie. Il moto vorticoso riduce sensibilmente il coefficiente d'efflusso a valori prossimi a  $(0.2 \div 0.3)$ . La loro installazione consente di mantenere le luci di efflusso più ampie, quindi meno intasabili, e di garantire l'autopulizia dello scarico per effetto del vortice.

Infine, qualora fosse temibile il rigurgito dal ricettore, risulta opportuno installare sull'uscita una valvola di non ritorno o ventilabro, a protezione degli invasi propri, a salvaguardia dalla intromissione di acque parassite per il sistema acque meteoriche.

## CALCOLO DEL COSTO UNITARIO PARAMETRICO PER LA MONETIZZAZIONE

Ai fini dell'applicazione del comma 5, lettera g) dell'articolo 58bis della legge regionale 12/2005, è opportuno premettere che ogni deroga alla realizzazione diretta dell'invarianza idraulica e idrologica all'interno di un intervento soggetto al presente regolamento comporta che il corrispondente deflusso sia immesso tal quale nel ricettore, con ciò penalizzando il principio della riduzione dei deflussi meteorici *a monte* del ricettore stesso. Infatti, il successivo intervento del comune, a compenso del principio di invarianza idraulica, avviene inevitabilmente *a valle* dell'intervento, e precisamente laddove lungo il reticolo del ricettore, anche molto a valle dell'intervento, sia stata prevista la realizzazione della struttura centralizzata di controllo dei deflussi nello Studio comunale di gestione del rischio idraulico o nel Documento semplificato del rischio idraulico comunale di cui all'articolo 14 del regolamento. Ne consegue la necessità di delimitare rigorosamente i casi in cui sia ammissibile l'impossibilità a ottemperare direttamente ai principi di invarianza idraulica e idrologica, delimitazione contenuta nell'art 16, commi 1 e 2 del regolamento.

La suddetta delimitazione dei casi ammissibili è anche necessaria per consentire ai comuni di tenerne conto ai fini di una corretta predisposizione del suddetto Studio comunale di gestione del rischio idraulico o del Documento semplificato del rischio idraulico comunale nel quale sono previsti gli interventi pubblici necessari per soddisfare i principi di invarianza idraulica e idrologica.

Le superfici necessarie per la realizzazione dei volumi di laminazione per l'invarianza idraulica e idrologica risultano contenute in una frazione ridotta della superficie interessata dall'intervento anche nei casi in cui il volume di laminazione raggiunga i valori specifici massimi, ad esempio dell'ordine di 1.000 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, ovvero di 0,1 mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Gli invasi di laminazione hanno costo di costruzione molto variabile in funzione della loro tipologia e configurazione adottata dal progetto. In particolare le "infrastrutture verdi", oltre a soddisfare il generale interesse ambientale, urbanistico e paesistico di riqualificazione dei territori urbani, presentano un costo di costruzione e manutenzione molto contenuto rispetto agli invasi realizzati in strutture murarie o in calcestruzzo aperte o chiuse.

Infatti, un invaso realizzato modellando opportunamente un'area verde (Figura 46 a) presenta un costo di costruzione dell'ordine massimo di 50 – 100 euro/mc, ma in molti casi anche sensibilmente inferiore e al limite nullo, qualora esso sia attentamente considerato nell'insieme della progettazione multidisciplinare dell'intervento. Per contro un invaso realizzato con una vasca chiusa in calcestruzzo (Figura 46 b) presenta un costo medio di costruzione dell'ordine di 500 – 800 euro/mc in funzione anche della complessità del suo equipaggiamento elettromeccanico e di controllo.

Figura 46. Invasi di laminazione realizzati con interventi "verdi" (a) o con vasche chiuse in calcestruzzo (b).



a)



b)

In ogni caso il costo di costruzione dei volumi di laminazione è percentualmente modesto, anche nei casi di vasche chiuse, rispetto al costo globale di un intervento edilizio.

Infatti ricordando che i volumi di invaso derivanti dalle modalità di calcolo previste nel presente regolamento possono avere valori da 400 a circa 1.000 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento, ovvero di  $0,04 \div 0,1$  mc per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento, il loro costo di costruzione è pari a:

- costo vasca =  $50 \div 800$  euro/mc x  $0,04 \div 0,1$  mc/mq =  $2 \div 80$  euro per mq di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Per contro il costo medio unitario di costruzione di un intervento edilizio è maggiore del precedente di uno - due ordini di grandezza per edificazioni di un solo piano o di due -tre ordini di grandezza e anche più nel caso di edificazioni che prevedano più piani sovrapposti.

Essendo dunque molto ridotto il peso economico delle misure di invarianza idraulica poste a carico del soggetto attuatore dell'intervento ed essendo per contro usualmente rilevante il costo di costruzione delle infrastrutture pubbliche di laminazione poste a carico dei comuni o dei gestori d'ambito del servizio idrico integrato, è opportuno che la monetizzazione a favore dei comuni per i casi di impossibilità di cui all'articolo 16, comma 1 del regolamento sia commisurata al costo unitario di costruzione delle vasche strutturalmente e tecnologicamente costose.

Occorre inoltre tener conto della capitalizzazione dei costi di esercizio e manutenzione trasferiti al comune che nel lungo arco di vita dell'opera può commisurarsi almeno al 30% del costo di costruzione.

Il costo unitario di costruzione di una vasca di volanizzazione o laminazione o di trattenimento/disperdimento da assumere in caso di monetizzazione è definito a partire da un costo medio alto (570 €/mc, relativo a vasche tecnologicamente avanzate) aumentato del 30% (costi di esercizio e manutenzione), ottenendo un costo pari a 750 euro per mc di invaso.

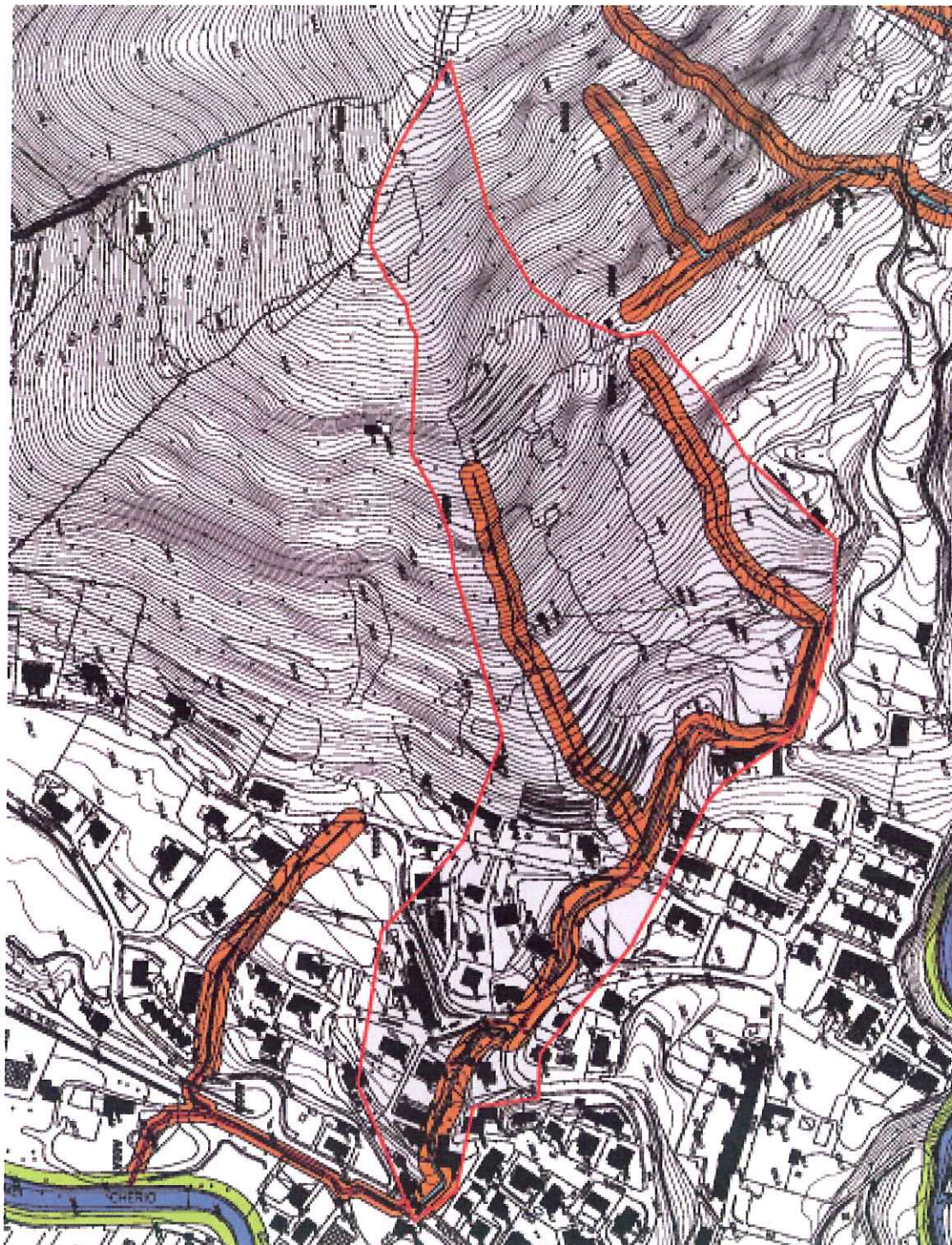
<b>ALLEGATO B</b>	Analisi di bacino
-------------------	-------------------



## **ALLEGATO**

### **CARATTERISTICHE DEL BACINO**

Il bacino idrografico del torrente denominato A02, con sezione di chiusura in corrispondenza della, 288 ha un'estensione pari a circa 0.15 km<sup>2</sup>, e un'altitudine media pari a circa 424.00 m s.l.m. Essendo la sezione di chiusura alla quota 288.00 m s.l.m., l'altitudine media del bacino sulla sezione di chiusura risulta di m 136.00.



## CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Il calcolo della portata di piena (per un assegnato tempo di ritorno) può essere fatto o mediante l'uso delle numerose formule empiriche esistenti in letteratura, o attraverso l'analisi della pluviometria della zona e la successiva applicazione di un modello di trasformazione afflussi - deflussi.

### **Formule empiriche**

Date le dimensioni modeste del bacino, la formula di Gherardelli - Marchetti:

$$Q'_{\max} = Q_{100} (S/100)^{-2/3}$$

darebbe valori di portata troppo elevati. E' invece applicabile la formula, ricavata da Mongiardini modificando la precedente per poterla applicare a bacini di piccole dimensioni:

$$Q'_{\max} = Q_{100} (S/100)^{-1/2}$$

dove:

$Q'_{\max}$  = contributo di massima piena [mc/sec kmq];

S = area del bacino [kmq];

$Q_{100}$  = parametro caratteristico della regione idrologica a cui appartiene il bacino [mc/sec kmq]  
(rappresenta il contributo di massima piena relativo ad un'area scolante di 100 kmq);

Per i bacini lombardi prelacuali, Gherardelli e Marchetti hanno condotto osservazioni sperimentali che indicano valori di  $Q_{100}$  compresi fra 3 e 5 mc/sec kmq.

Adottando il valore  $Q_{100} = 4$ , si ricava:

$$Q'_{\max} = 4 \times (0.15/100)^{-1/2} = 104.96 \text{ mc/sec Km}^2$$

e quindi la portata di massima piena  $Q_{\max}$  risulta:

$$Q_{\max} = Q'_{\max} \times S = 104.96 \times 0.15 = 15.24 \text{ mc/sec}$$

La formula di Forti:

$$Q'_{\max} = 3.25 \times [500/(S + 125)] + 1$$

valida per bacini in cui la pioggia massima giornaliera è compresa fra 200 e 400 mm e dove:

$Q'_{\max}$  = contributo di massima piena [mc/sec kmq];

S = area del bacino [kmq];

conduce ad un valore di portata di piena inferiore:

$$Q'_{\max} = 3.25 \times [500/(0.15 + 125)] + 1 = 13.98 \text{ mc/(sec Km}^2)$$

$$Q_{\max} = Q'_{\max} \times S = 13.98 \times 0.15 = 2.03 \text{ mc/sec}$$

Come è evidente, si tratta di valori eccessivi. Altre formule empiriche danno valori di portata più elevati, e non sono in definitiva attendibili, essendo state ricavate per bacini di dimensioni maggiori (Tonini) o soggetti a piogge molto più elevate (De Marchi).

### **Modelli di trasformazione afflussi - deflussi**

Per il calcolo probabilistico delle portate di deflusso conseguenti agli eventi meteorici vengono utilizzate le cosiddette curve di possibilità climatica.

Detta  $h$  l'altezza di precipitazione in funzione della durata  $t$  delle piogge stesse, si stabilisce per le curve di possibilità climatica una relazione monomia del tipo:

$$h = a t^n$$

dedotta classificando in ordine decrescente le massime precipitazioni verificatesi in passato ed involupando superiormente i dati di pari ordine.

Ci si affida cioè ad un'analisi probabilistica che consenta di trovare una relazione del tipo suddetto collegata ad una assegnata probabilità di superamento: si vuole cioè trovare l'altezza di pioggia  $h$ , relativa ad una certa durata  $t$ , che abbia una bassa probabilità di essere uguagliata o superata durante il periodo di un anno.

Per il calcolo delle portate di piena in un bacino naturale sulla base delle quali dimensionare le opere di difesa e di regimazione fluviale è opportuno assumere tale probabilità minore o uguale all'1%, o, in altri termini, assegnare all'evento un tempo di ritorno ( $T$ ) superiore o uguale a 100 anni. Appare cioè corretto, in considerazione degli ingenti danni che possono derivare da situazioni di insufficienza idraulica dei corsi d'acqua, dimensionare le opere di protezione facendo riferimento a piogge che, mediamente e in senso probabilistico, non vengono superate più di una volta in 100 anni.

Il concetto di tempo di ritorno non deve comunque essere scambiato con il rischio di superamento della grandezza  $h$  in un determinato intervallo di tempo.

Il rischio viene infatti definito come la probabilità  $P$  che il massimo annuale  $h$  venga superato almeno una volta in  $N$  anni ed è legato al tempo di ritorno  $T$  dall'espressione:

$$P = 1 - (1 - 1/T)^N$$

Quindi, la probabilità (o il rischio) di superamento in  $N$  anni di un evento il cui tempo di ritorno sia di 200 anni, sarà:

- in 1 anno:  $P = 1 - (1-1/200)^1 = 0,005 = 0.5\%$
- in 10 anni:  $P = 1 - (1-1/200)^{10} = 0,096 = 4.9\%$
- in 20 anni:  $P = 1 - (1-1/200)^{20} = 0,182 = 9.5\%$
- in 50 anni:  $P = 1 - (1-1/200)^{50} = 0,395 = 22.2\%$
- in 100 anni:  $P = 1 - (1-1/200)^{100} = 0,634 = 39.4\%$
- in 200 anni:  $P = 1 - (1-1/200)^{200} = 0,634 = 63.3\%$
- in 500 anni:  $P = 1 - (1-1/200)^{500} = 0,634 = 91.8\%$
- in 1000 anni:  $P = 1 - (1-1/200)^{1000} = 0,634 = 99.3\%$

Sono state esaminate ed elaborate le serie storiche degli eventi meteorici massimi annui registrati dal pluviografo del Servizio Idrografico Italiano di Bergamo (Quota: m 366 s.l.m.) ritenuti validi anche per il bacino in esame.

La tabella 1 fornisce, per ciascun anno di osservazione, le altezze di pioggia h (in mm), in funzione della durata t, associate a tali eventi.

La distribuzione di probabilità adottata è quella di Gumbel o del massimo valore:

$$h = u - (1/\alpha) \ln \{ \ln [T/(T-1)] \}$$

in cui:

h = altezza di pioggia [mm];

T = tempo di ritorno [anni];

u =  $\mu' - 0.45 S$ ;

$\alpha = 1.283 / S$ ;

$\mu'$  = media dei valori delle altezze;

S = scarto quadratico medio delle altezze.

I valori di u e  $\alpha$  per ogni durata sono riportati nella stessa tabella.

I punti corrispondenti alle coppie di valori  $\log(h) - \log(t)$ , dove t è la durata dell'evento, sono stati elaborati statisticamente per ogni tempo di ritorno, con il metodo dei minimi quadrati, ottenendo le rette che forniscono le costanti a ed n delle curve di possibilità climatica con

n = pendenza della retta

ed

a valore di h per  $\log(t) = 0$  (durata pari ad un'ora)

Nella tabella 2 sono riportati i valori dei parametri a ed n caratteristici di tali curve per ciascun tempo di ritorno, mentre nella figura 1 sono rappresentate le curve di possibilità climatica, relative alla stazione considerata, ottenuti regredendo le coppie di valori Logh-Logt per tempi di ritorno compresi tra 10 e 500 anni.

Stazione pluviometrica del S.I.I. n° 1021 Bergamo (Quota: m 366 s.l.m.) Serie storica dei massimi annuali delle piogge Altezza massima annuale (mm) per piogge della durata di 1 - 3 - 6 - 12 - 24 ore					
ANNO	DURATE (ore)				
	1	3	6	12	24
1936	21.6	31.6		46.0	74.6
1937	55.0	56.6		69.6	87.6
1938	51.4	54.6	54.8		
1939	45.4	52.4	77.8	109.0	151.0
1940	39.4	48.0	73.0	97.6	
1941	27.8	29.2	30.6	44.0	46.0
1942	28.0	37.0	42.0	47.0	75.0
1943	20.0	31.4	36.0	43.6	56.4
1944	31.0	42.4	58.6	74.2	78.0
1945	19.0	32.6	43.5	53.6	60.0
1946	23.0	26.2	40.0	46.2	48.0
1947	35.8	42.6	43.2	43.2	80.0
1948	26.0	35.0	55.0	56.0	67.0
1949					
1950	44.6	54.0	54.0	64.4	71.8
1951	28.0	30.8	48.0	63.0	116.0
1952	38.0	42.2	46.0	57.0	69.0
1953	43.6	50.0	57.4	59.0	66.4
1954	18.0	23.4	24.6	38.6	49.4

1955	39.0	40.6	46.4	54.4	55.0
1956	18.2	20.0	24.6	40.6	62.0
1957	36.0	42.5	45.0	45.2	67.4
1958	22.6	32.0	37.4	43.4	59.0
1959	60.0	87.8	107.0	109.0	109.0
1960	41.2	52.4	58.0	86.4	103.0
1961	35.2	39.8	39.8	47.0	58.4
1962					
1963	36.8	55.2	55.2	74.2	119.0
1964	32.8	36.4	45.6	47.6	70.0
1965	41.4	48.2	51.8	56.2	76.4
1966	35.3	45.0	67.6	73.8	93.2
1967	24.8	25.8	33.6	46.6	60.8
1968	53.0	54.2	61.6	68.2	78.0
1969	33.4	41.0	41.4	42.6	51.8
1970	36.0	47.8	68.2	73.8	85.6
1971	21.8	24.0	46.0	56.4	68.6
1972	35.0	56.6	64.6	66.8	79.6
1973	40.0	45.4	46.0	61.8	95.8
1974	20.2	20.2	25.6	40.2	59.0
1975	32.2	39.4	44.6	44.6	50.1
1976	29.6	34.8	43.4	62.2	62.2
1977	33.8	36.0	36.8	63.4	79.8
1978	20.8	40.2	47.8	48.2	61.0
1979	20.0	40.0	49.4	84.8	109.6
1980	11.2	16.8	22.8	32.5	65.0
1981	27.0	29.4	44.8	70.8	110.8
1982	20.0	31.6	44.6	60.6	67.0
1983	27.6	29.4	30.6	31.0	62.0
1984	29.8	35.6	48.3	54.0	54.6
1985	15.1	21.7	22.2	34.2	50.6
Num. dati	48	48	46	47	46
h*	31.78	39.37	47.50	58.14	74.36
S	10.94	12.88	15.75	18.18	22.33
u	26.85	33.58	40.42	49.96	64.31
$\alpha$	0.1172	0.0996	0.0814	0.0706	0.0575

Tabella 1

Parametri A ed N della curva di possibilità climatica						
T	10	20	50	100	200	500
A	44.20	50.12	57.77	63.51	69.22	76.77
N	0.25	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24

Tabella 2

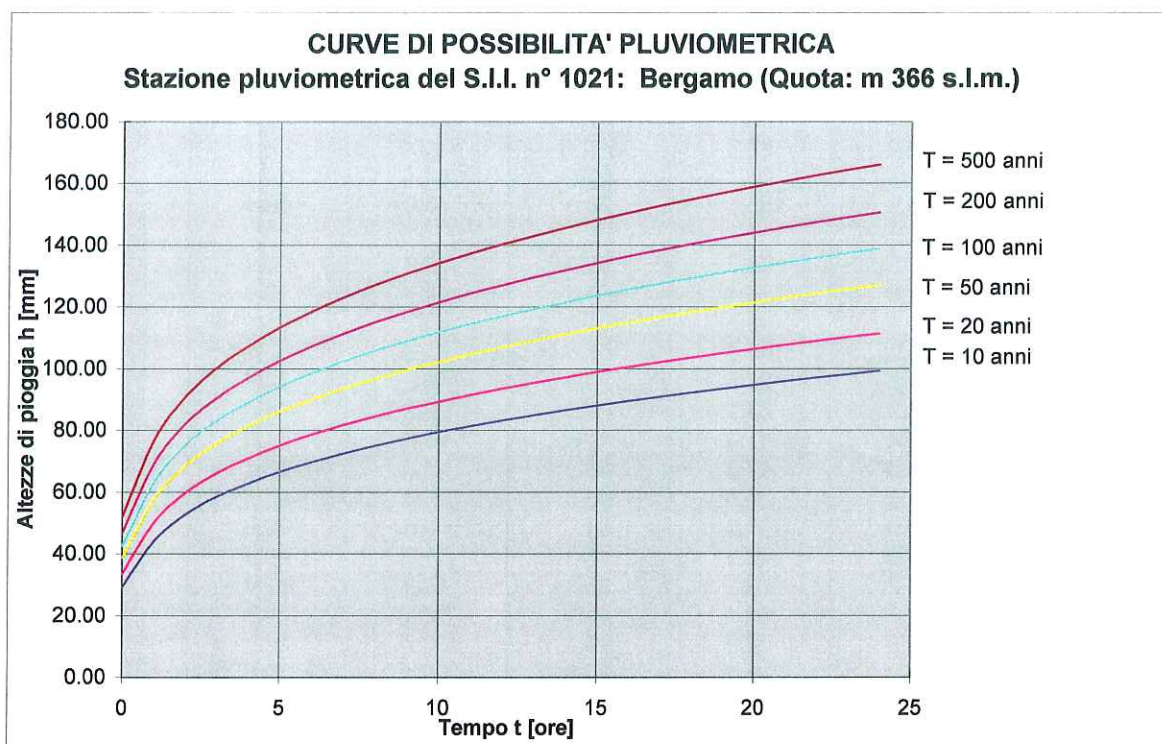


Figura 1

Le curve di possibilità pluviometrica assunte valide per il bacino in esame sono pertanto, per i diversi tempi di ritorno T, le seguenti:

T = 10 anni	$h = 44.203 \times t^{0.255}$
T = 20 anni	$h = 50.116 \times t^{0.251}$
T = 50 anni	$h = 45.732 \times t^{0.248}$
T = 100 anni	$h = 63.507 \times t^{0.246}$
T = 200 anni	$h = 54.138 \times t^{0.371}$
T = 500 anni	$h = 59.674 \times t^{0.370}$

La determinazione dell'onda di piena critica è stata condotta con opportune metodologie per la trasformazione afflussi - deflussi, partendo da piogge sintetiche critiche dedotte dalle curve di possibilità pluviometrica e assumendo che la piena così ottenuta abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha prodotta.

Tra i diversi tipi di piogge sintetiche più comunemente utilizzate nella progettazione di opere idrauliche, si è scelto di utilizzare lo ietogramma cosiddetto Chicago, che, presentando andamenti temporali non costanti, consente una migliore rappresentazione del fenomeno meteorico intenso, normalmente caratterizzato dalla presenza di picchi di intensità di pioggia.

La principale caratteristica di questo ietogramma consiste nel fatto che per ogni durata, anche parziale, l'intensità media della precipitazione dedotta dallo ietogramma stesso è congruente con quella definita dalla curva di possibilità climatica. Inoltre imponendo che la durata della pioggia sia maggiore del tempo di corrivazione del bacino, si ottiene, proprio per la caratteristica prima detta, che lo scroscio critico è certamente contenuto nella pioggia di progetto.

La costruzione dello ietogramma Chicago è stata eseguita numericamente, ad intervalli di 1 minuto, attraverso l'equazione:

$$i(t) = n \cdot a \cdot (t_b/r)^{n-1}$$

nel tratto precedente il picco, e

$$i(t) = n \cdot a \cdot (t_a/(1-r))^{n-1}$$

nel tratto successivo al picco

In tali equazioni,  $i(t)$  è l'intensità all'istante  $t$ ,  $a$  e  $n$  i parametri della curva di possibilità pluviometrica,  $t_a$  e  $t_b$  i tempi (contati rispettivamente dal picco verso la fine dell'evento e dal picco verso l'inizio dello stesso),  $r$  la posizione del picco lungo l'asse dei tempi (rapporto tra il tempo di picco e la durata totale).

Si è successivamente eseguito il ragguaglio degli ietogrammi così determinati all'area del bacino, mediante la procedura di Wallingford, tarata in base ad un consistente numero di osservazioni sperimentali, che ha la forma:

$$ARF = 1 - f_1 \cdot t^{-f_2}$$

dove  $t$  è la durata della pioggia in ore  $f_1$  ed  $f_2$  sono due parametri che dipendono dall'area  $A$  [km<sup>2</sup>] del bacino secondo le relazioni:

$$f_1 = 0.0394 \cdot A^{0.354}$$

$$f_2 = 0.40 - 0.0208 \cdot \ln(4.6 - \ln(A))$$

valide per  $A$  compreso tra 0 e 20 km<sup>2</sup>, e

$$f_1 = 0.0394 \cdot A^{0.354}$$

$$f_2 = 0.40 - 0.00382 \cdot (4.6 - \ln(A))^2$$

valide per  $A$  compreso tra 20 e 100 km<sup>2</sup>, e

A partire da queste piogge sintetiche, si è proceduto alla determinazione delle onde di piena prodotte nel bacino scolante attraverso la trasformazione afflussi - deflussi eseguita assumendo un modello idrologico lineare di tipo globale, in grado di fornire la risposta del bacino alle sollecitazioni meteoriche.

Nelle figure 2, 3, 4, 5, 6, 7 e 8 sono rappresentati gli ietogrammi tipo Chicago relativi rispettivamente a tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni.

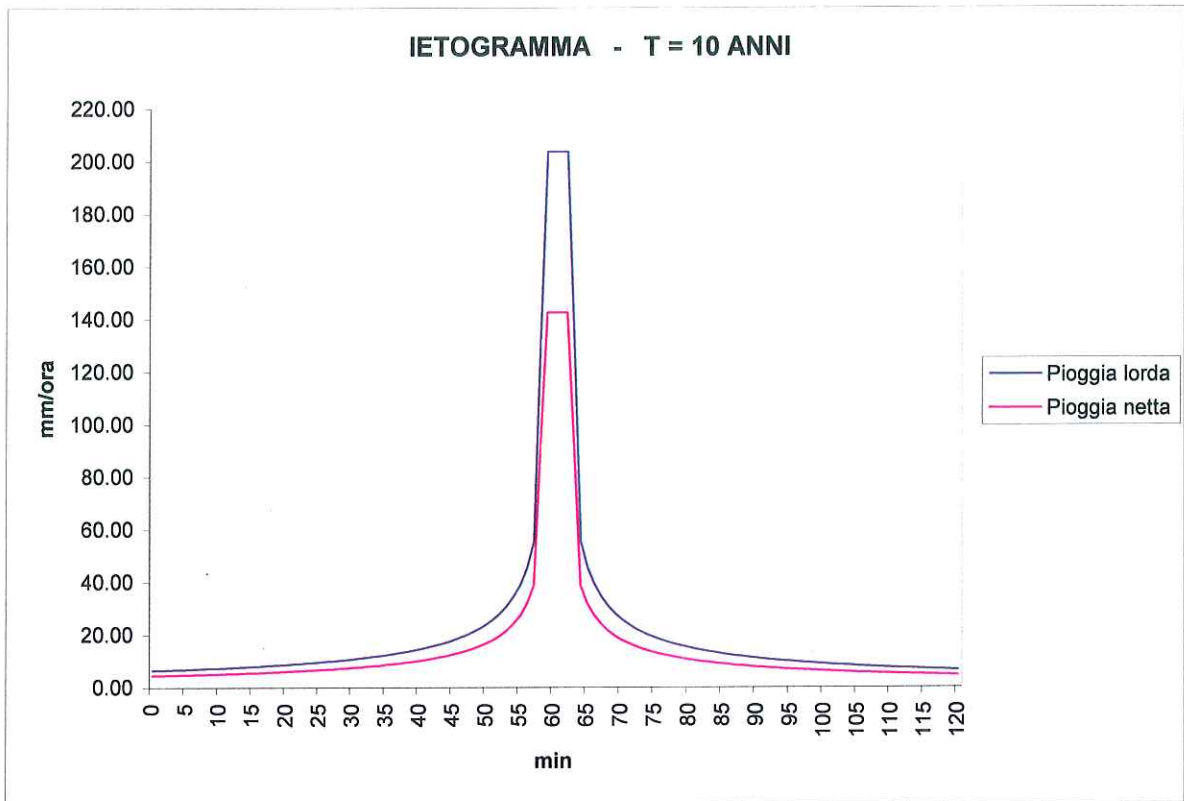


Figura 2

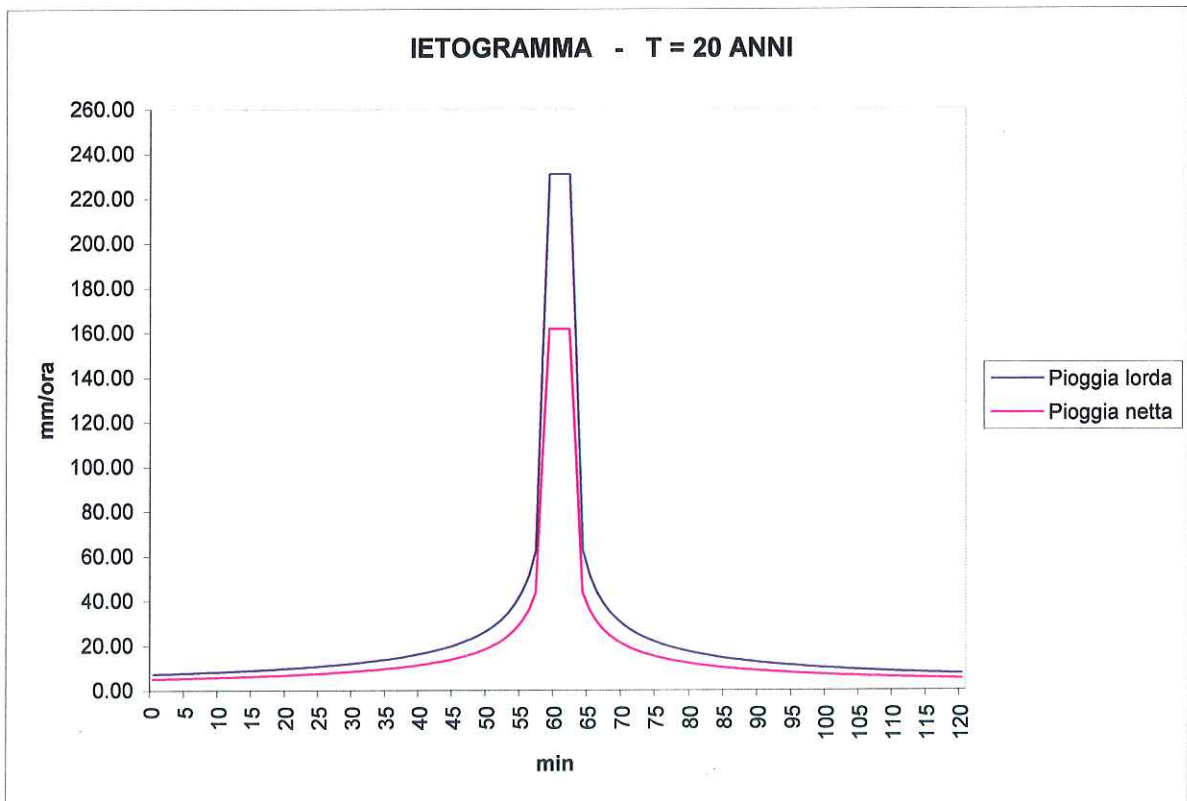


Figura 3

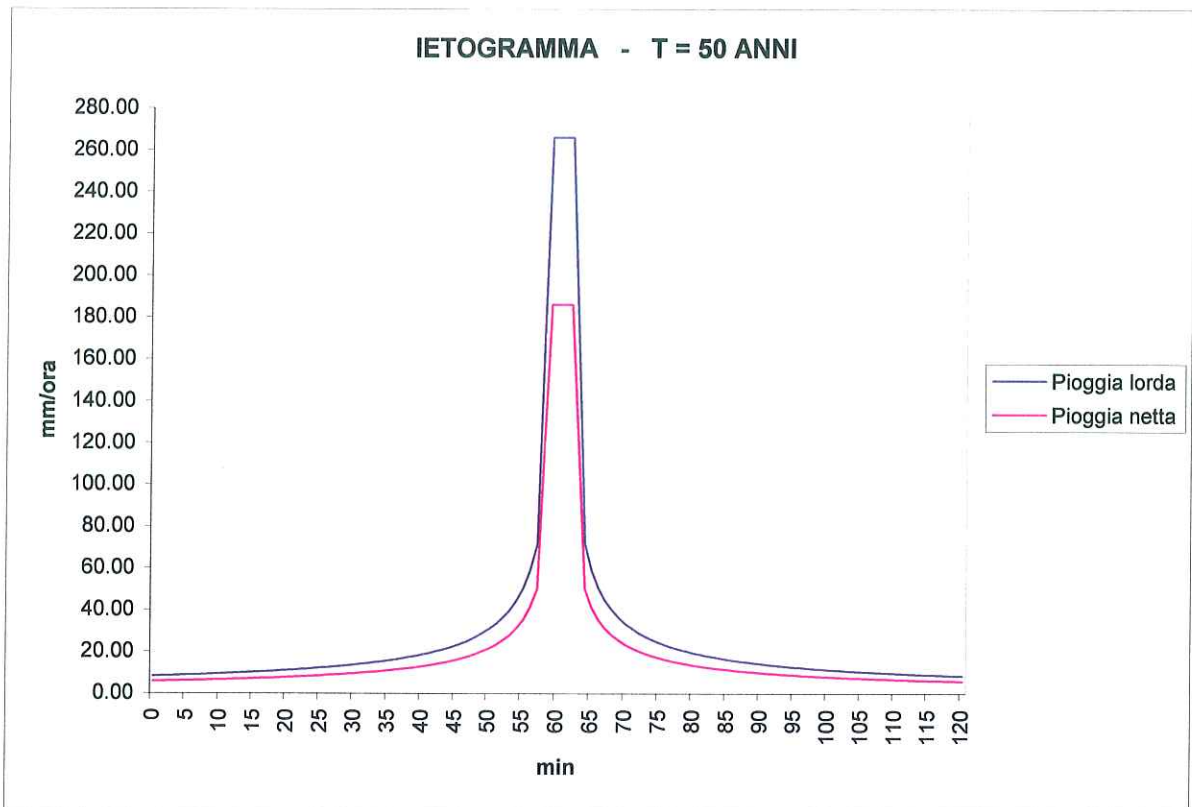


Figura 4

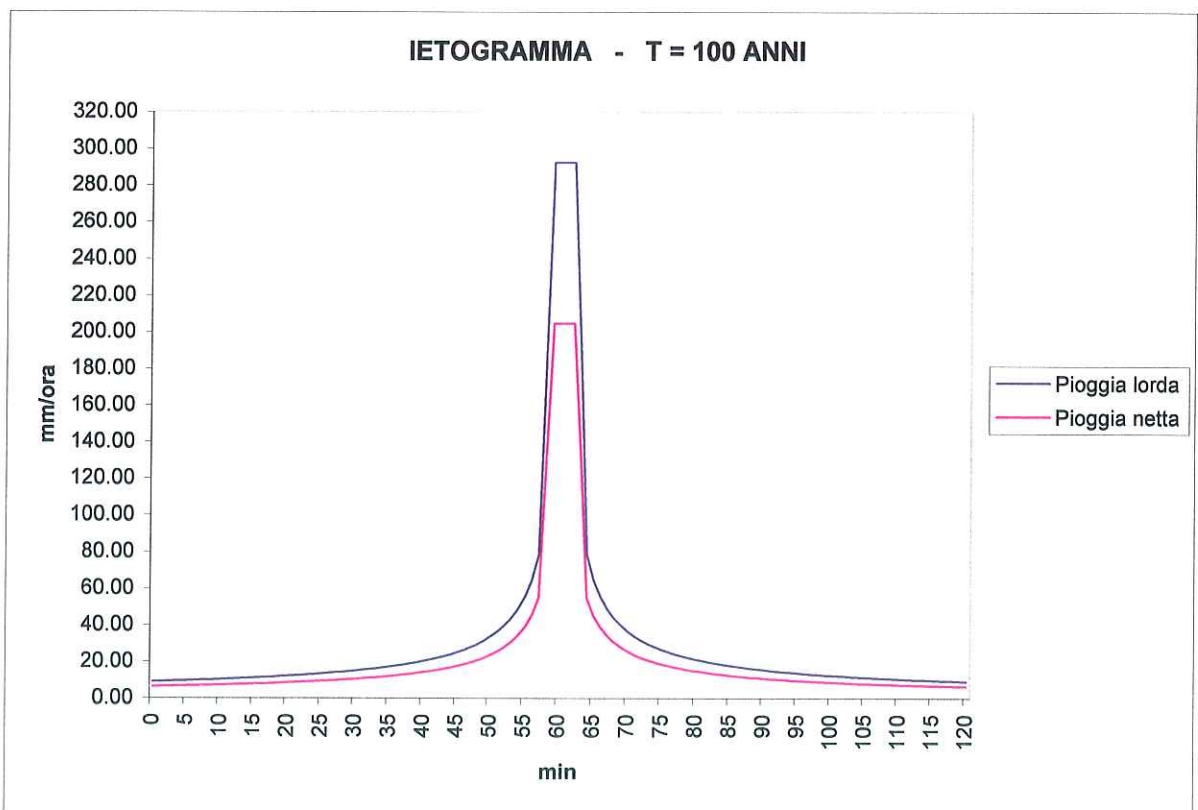


Figura 5

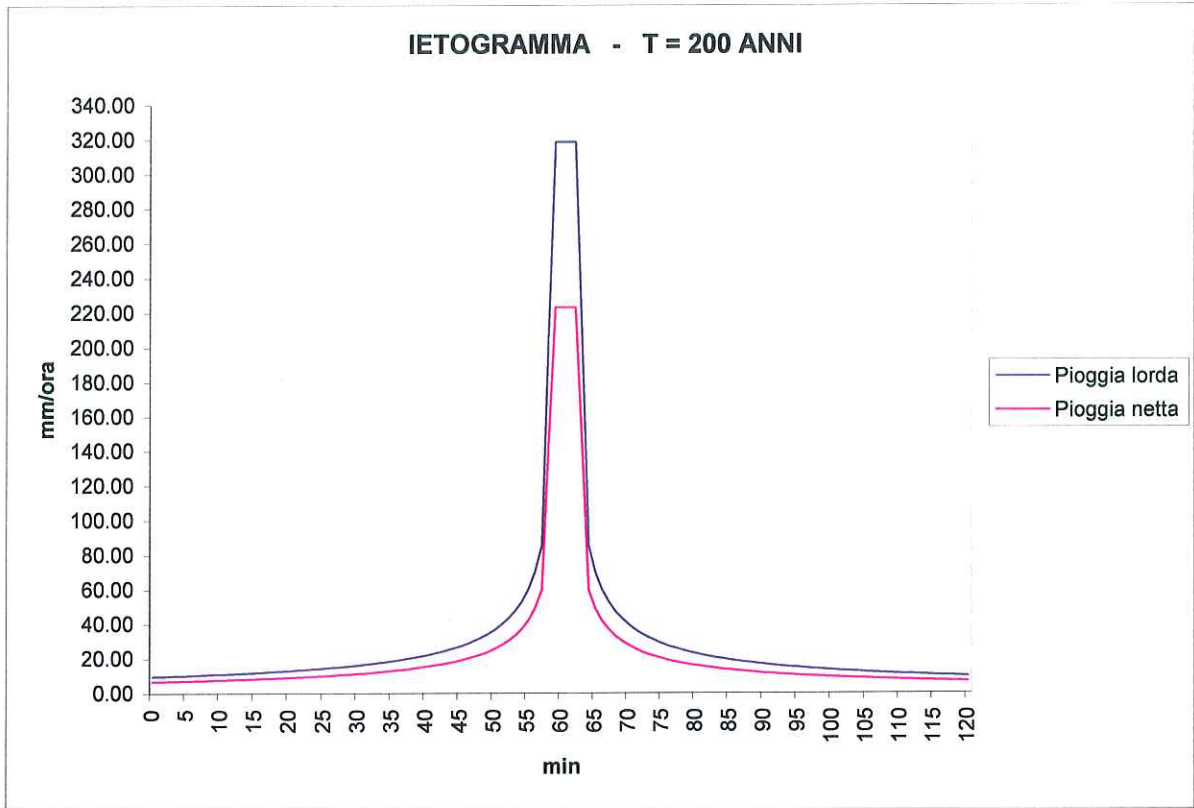


Figura 6

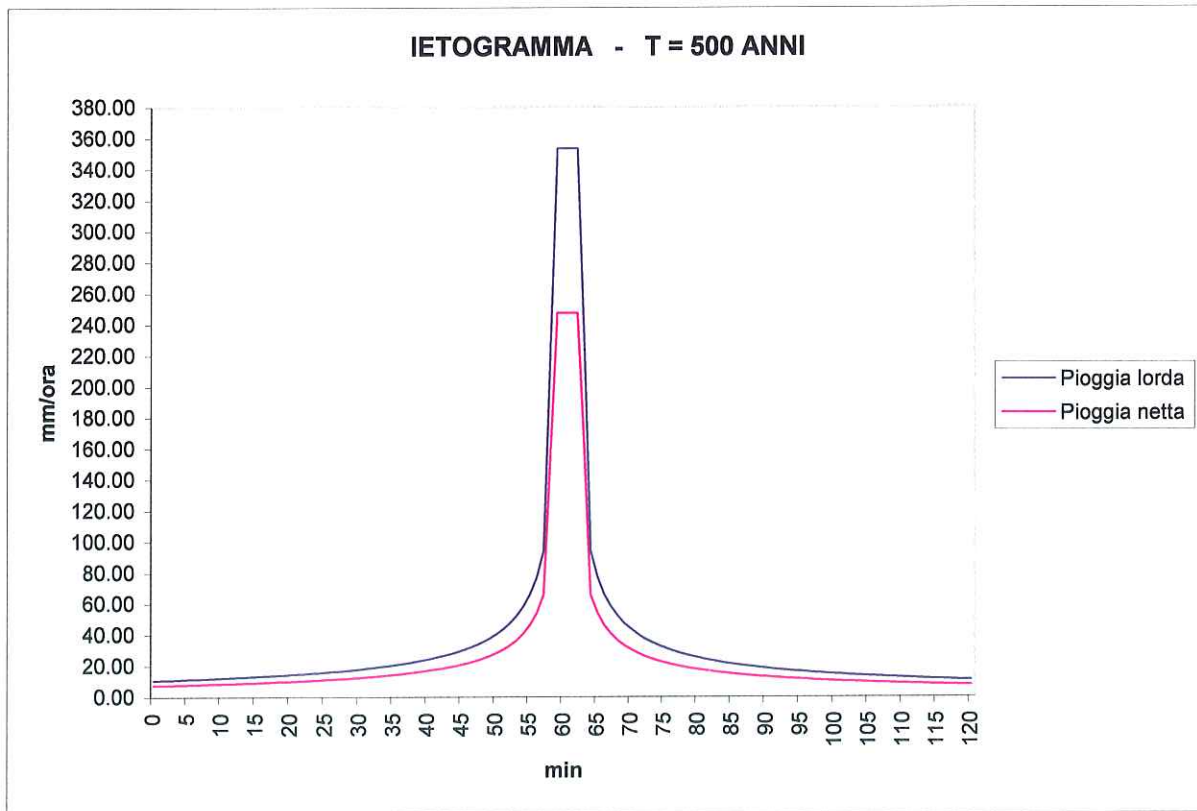


Figura 7

Tale modello viene impiegato per la trasformazione in deflussi dei cosiddetti afflussi netti, cioè depurati dalle perdite idrologiche (infiltrazione sotterranea, evapotraspirazione, ecc.).

Per definire tali perdite ideologiche si è adottato il metodo percentuale, che equivale a considerare la pioggia netta ricadente sull'intero bacino come una percentuale della pioggia lorda, ottenuta con l'adozione di un coefficiente di afflusso ( $\varphi$ ) assunto, nel caso in esame, pari a 0.70, sulla base dell'esperienza e dopo attente valutazioni dei risultati ottenuti con coefficienti d'afflusso di valori differenti.

Il modello adottato si basa sulla teoria dell'idrogramma unitario istantaneo, in cui la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi viene eseguita numericamente attraverso la convoluzione di un idrogramma unitario istantaneo (IUH), scelto opportunamente tra i diversi tipi esistenti.

L'IUH racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che interessano la formazione delle piene, e quindi la capacità di invaso, il tempo di risposta del bacino, ecc.

Si sono utilizzati i seguenti modelli:

#### Modello di corrivazione

Considera prevalenti nel bacino i fenomeni di traslazione d'acqua ed è rappresentato dalla:

$$h(t) = \frac{1}{S} \cdot \frac{ds(t)}{dt}$$

e cioè dalla curva derivata dalla curva aree-tempi, rapportata alla superficie del bacino.

La curva  $h(t)$  ha in questo caso un tempo di base definito pari al tempo di corrivazione  $t_c$ , cioè al tempo necessario ad una particella d'acqua per percorrere l'intero bacino lungo il percorso idraulicamente più lungo.

Per bacini naturali  $t_c$  è valutabile mediante molte formule empiriche, fra cui molto usata in Italia è la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4 A^{1/2} + 1.5L}{0.8 H^{1/2}}$$

dove:

$t_c$  = tempo di corrivazione [ore];

A = superficie del bacino [kmq];

L = lunghezza del percorso idraulicamente più lungo del bacino [km];

H = altitudine media del bacino rispetto alla sezione di chiusura [m].

Benchè, anche per una pioggia uniforme e costante, il tempo di corrivazione reale non sia univocamente definito, dato che la velocità di scorrimento dell'acqua sul bacino varia al variare delle condizioni fisiche ed in funzione del tirante idrico; si può tuttavia considerare una velocità costante, e quindi un tempo di corrivazione univocamente definito.

Si ottiene:

$$t_c = \frac{4 \times 0.15^{1/2} + 1.5 \times 1.215}{0.8 \times 136.00^{1/2}} = 0.36 \text{ ore} = 21 \text{ min}$$

A questo tempo di corrivazione corrisponde una velocità media della corrente pari a:

$$V = \frac{L}{t_c} = \frac{1'215}{0.36 \times 3600} = 0.94 \text{ m/sec}$$

Tale valore appare tuttavia troppo basso, in relazione alla conformazione e all'elevata pendenza del bacino; sulla base di una valutazione più ampia di tali caratteristiche, si è ritenuto di assumere un valore della velocità  $V =$  m/sec, che corrisponde ad un tempo di corrivazione  $t_c = 0.36$  ore = 21 minuti.

#### Modello di Nash

Schematizza il bacino come una cascata di serbatoi lineari secondo l'espressione:

$$h(t) = \frac{1}{K(n-1)!} \cdot (t/K)^{n-1} \cdot e^{-t/K}$$

dove  $K$  è la costante caratteristica dei serbatoi ed  $n$  il loro numero.

Si è assunto  $n = 3$  e  $K$  correlato al tempo di corrivazione del bacino  $t_c$  e al numero  $n$  secondo l'espressione:

$$K = 0.5 \cdot \frac{t_c}{(n-1)}$$

#### Modello dell'invaso

Si basa sull'ipotesi che la formazione della piena nel bacino avvenga per fenomeni d'invaso del tipo di quelli che hanno luogo in un serbatoio soggetto ad afflussi variabili nel tempo e a deflussi dipendenti dalle caratteristiche idrauliche della sua bocca d'uscita; il modello è descritto dall'espressione:

$$h(t) = \frac{1}{K} e^{-t/K}$$

con  $t$  durata dell'evento e  $k$  costante d'invaso, legata al tempo di corrivazione del bacino dall'espressione:

$$K = 0.7 t_c$$

Nelle Figure 8, 9 e 10 sono raffigurati gli idrogrammi unitari istantanei per il bacino in esame, relativi, nell'ordine, al modello di corrivazione, di Nash e dell'invaso.

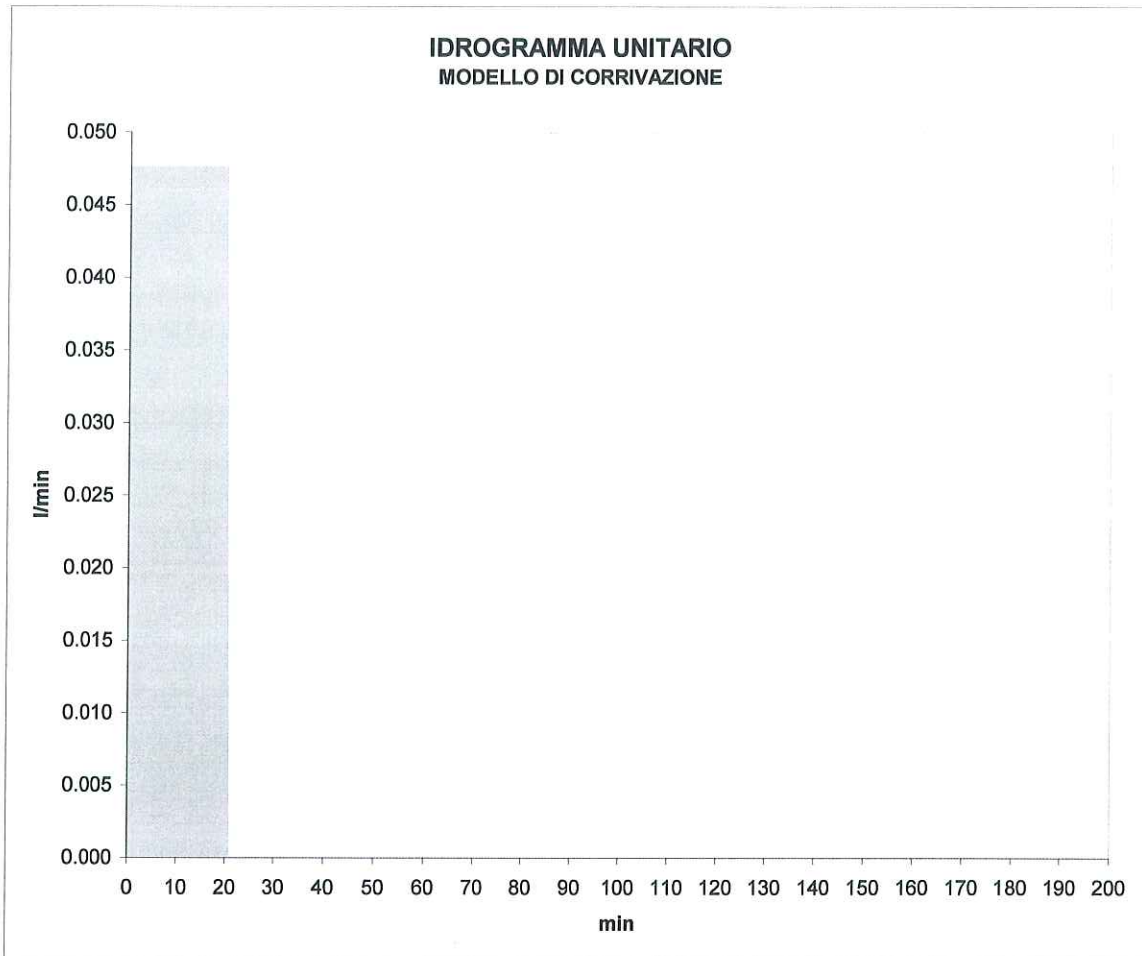


Figura 8

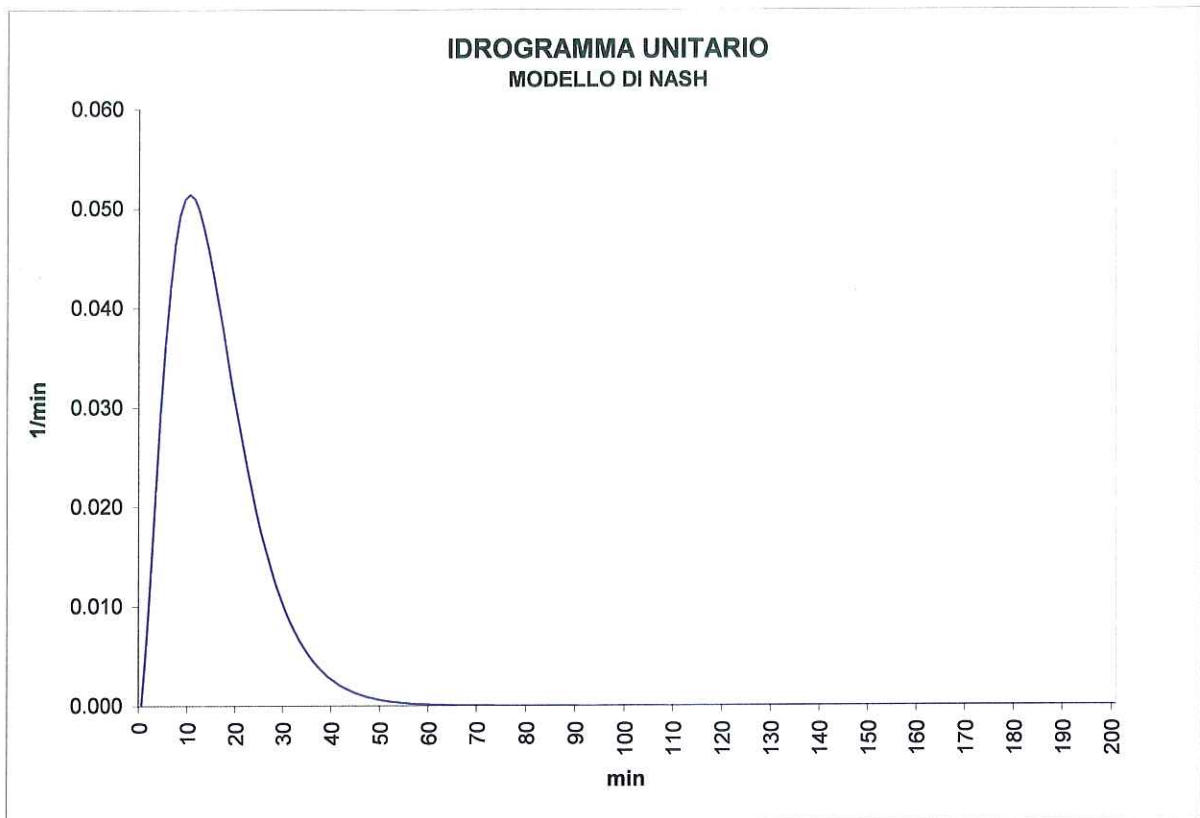


Figura 9

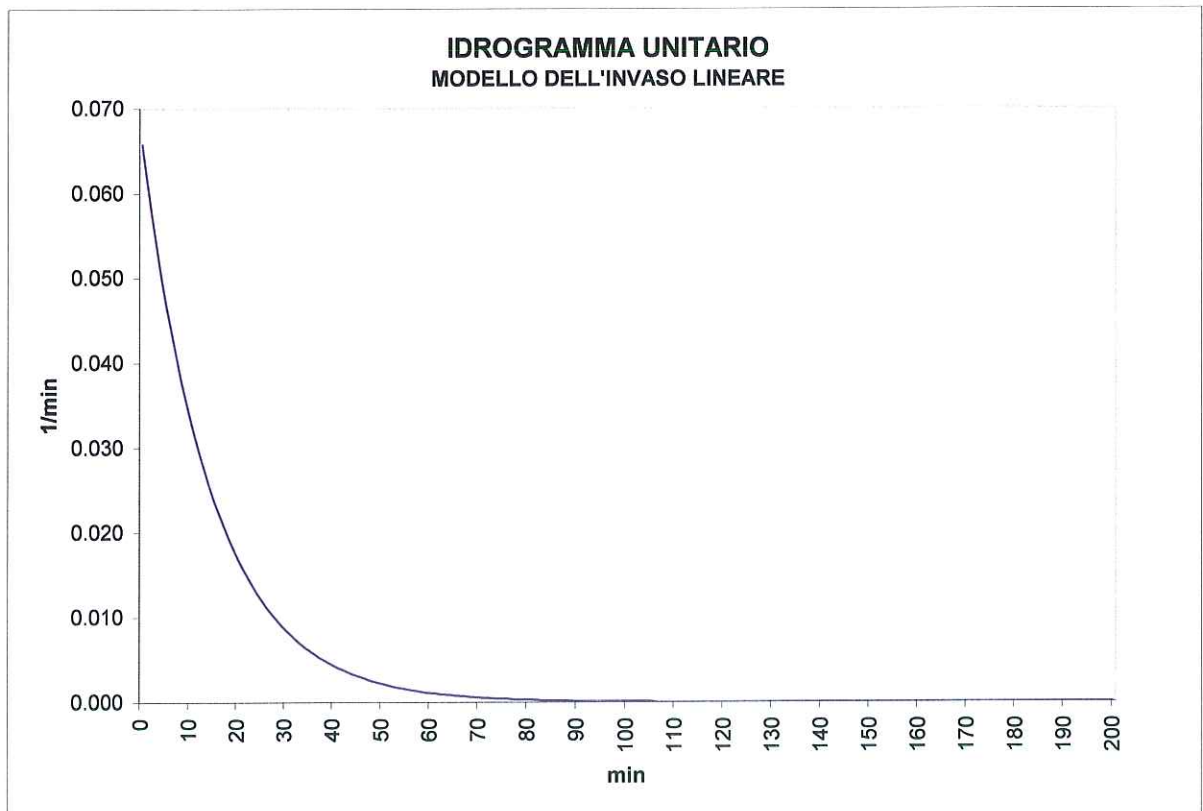


Figura 10

E' stata infine eseguita la trasformazione degli ietogrammi sintetici in onde di piena per tempi di ritorno di 10, 20, 50, 100, 200, 500 anni, e con riferimento ai tre modelli matematici utilizzati; tali onde di piena sono rappresentate nelle figure 11, 12, 13, 14, 15 e 16.

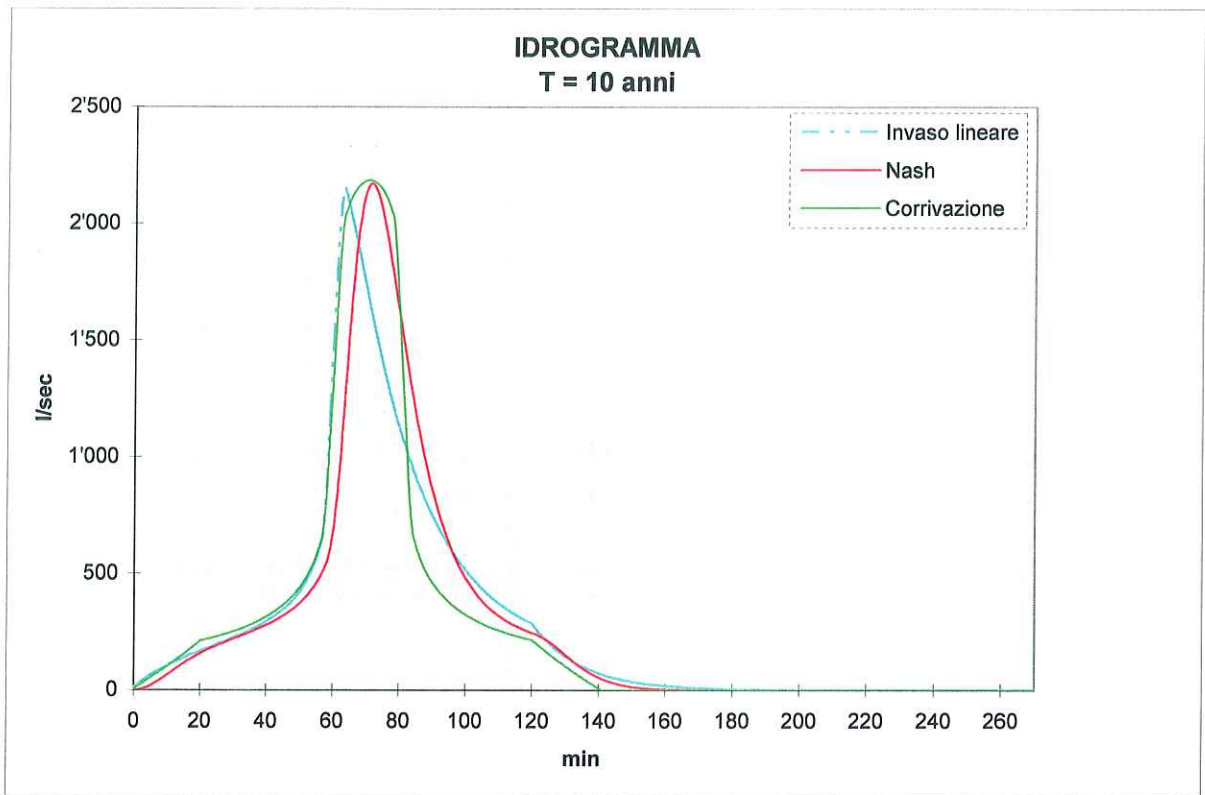


Figura 11

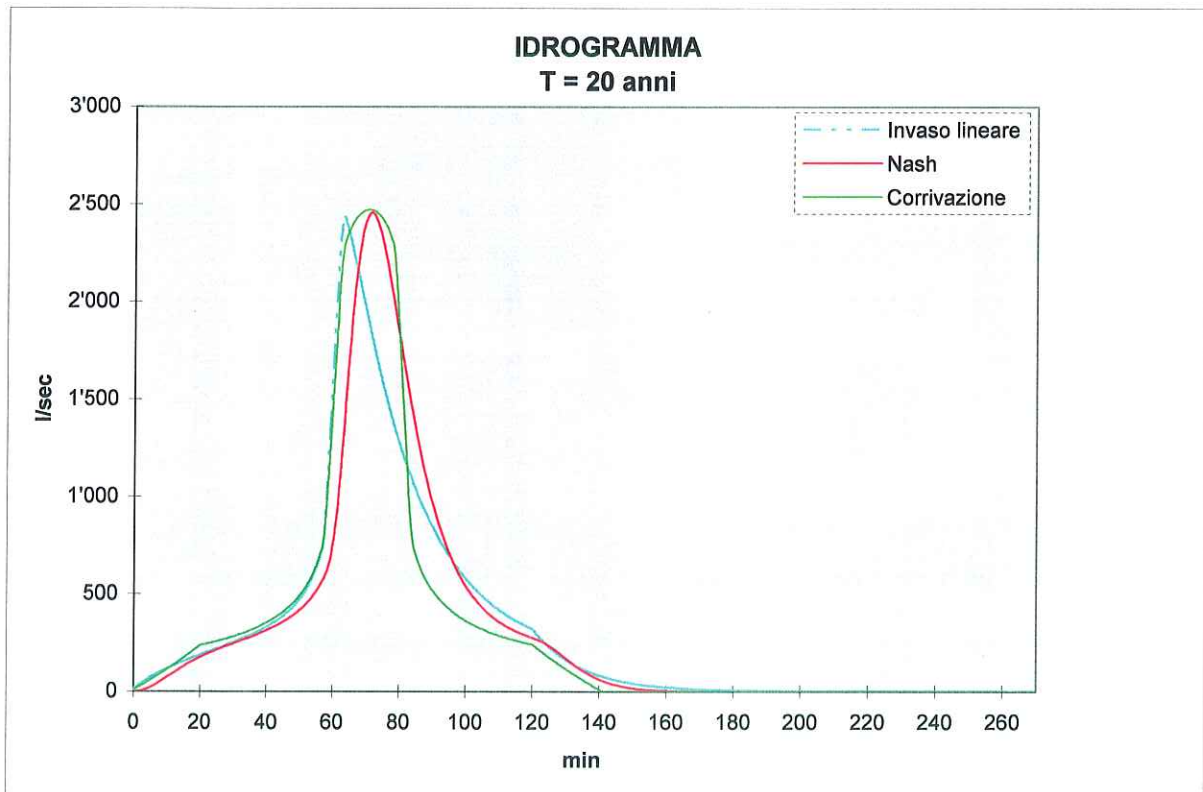


Figura 12

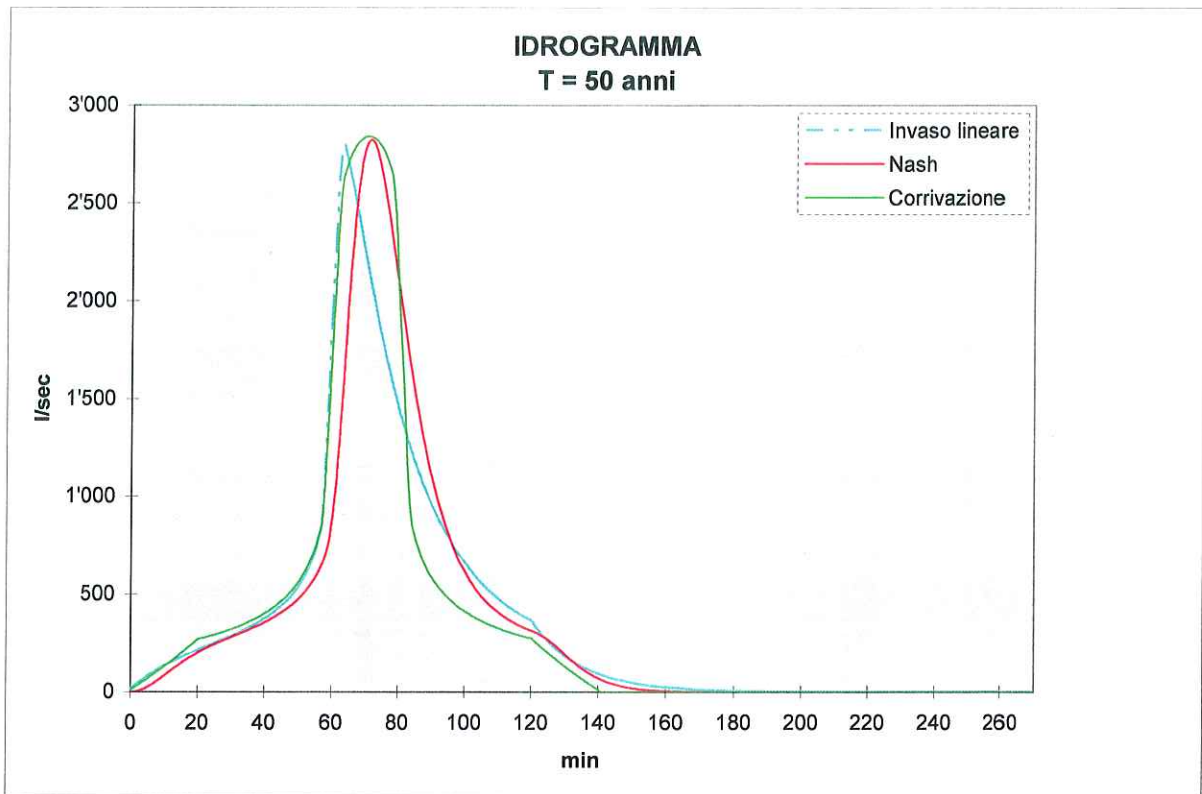


Figura 13

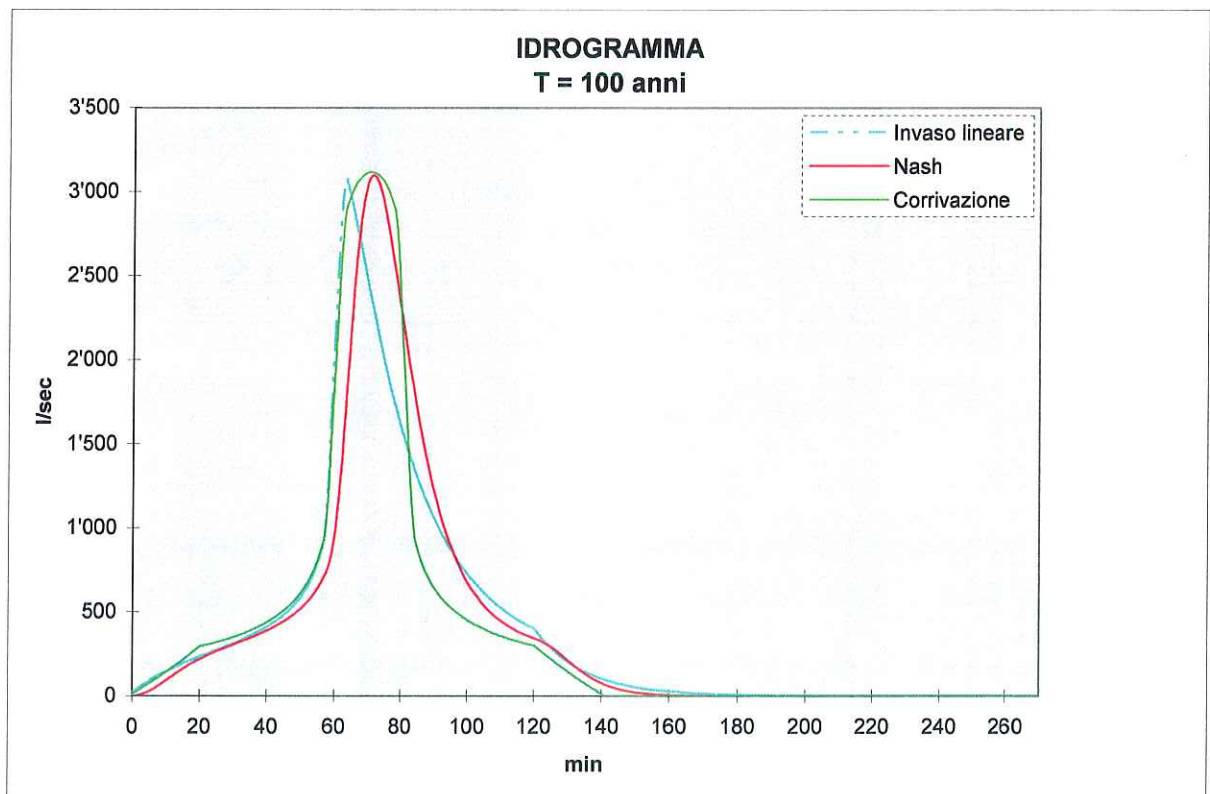


Figura 14

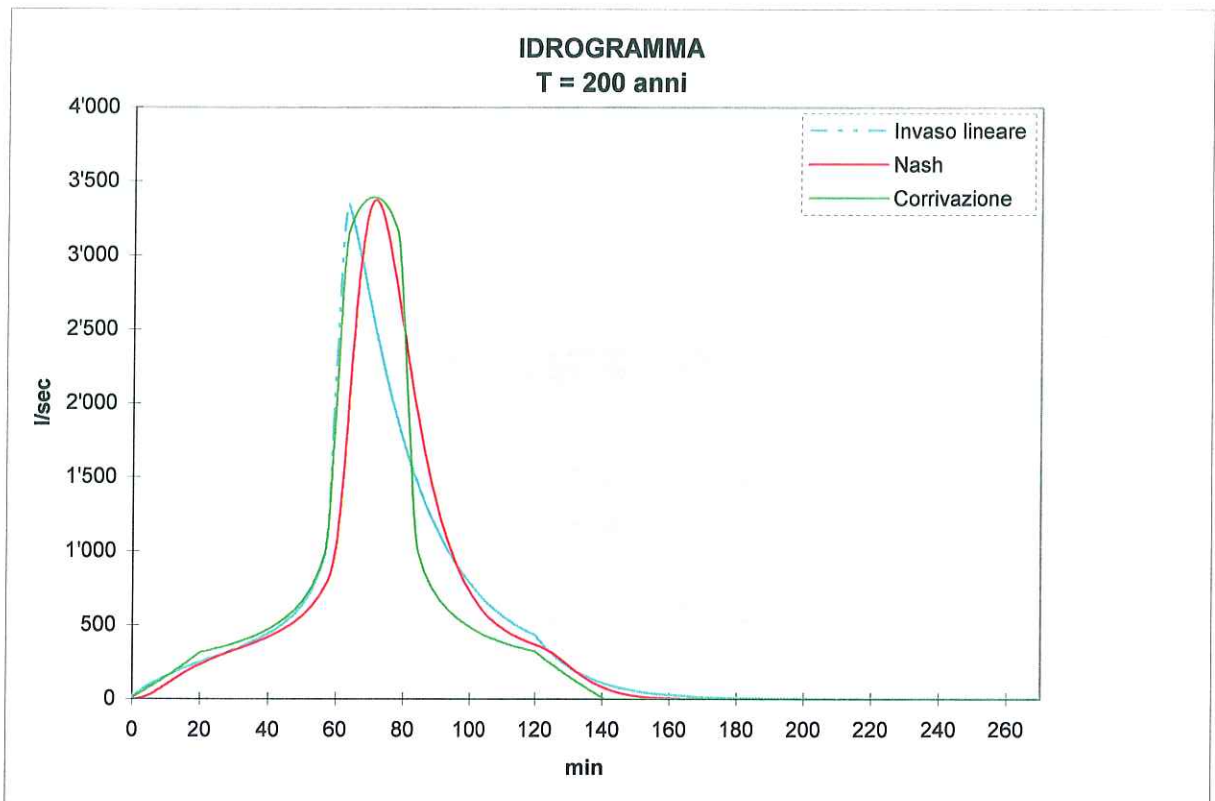


Figura 15

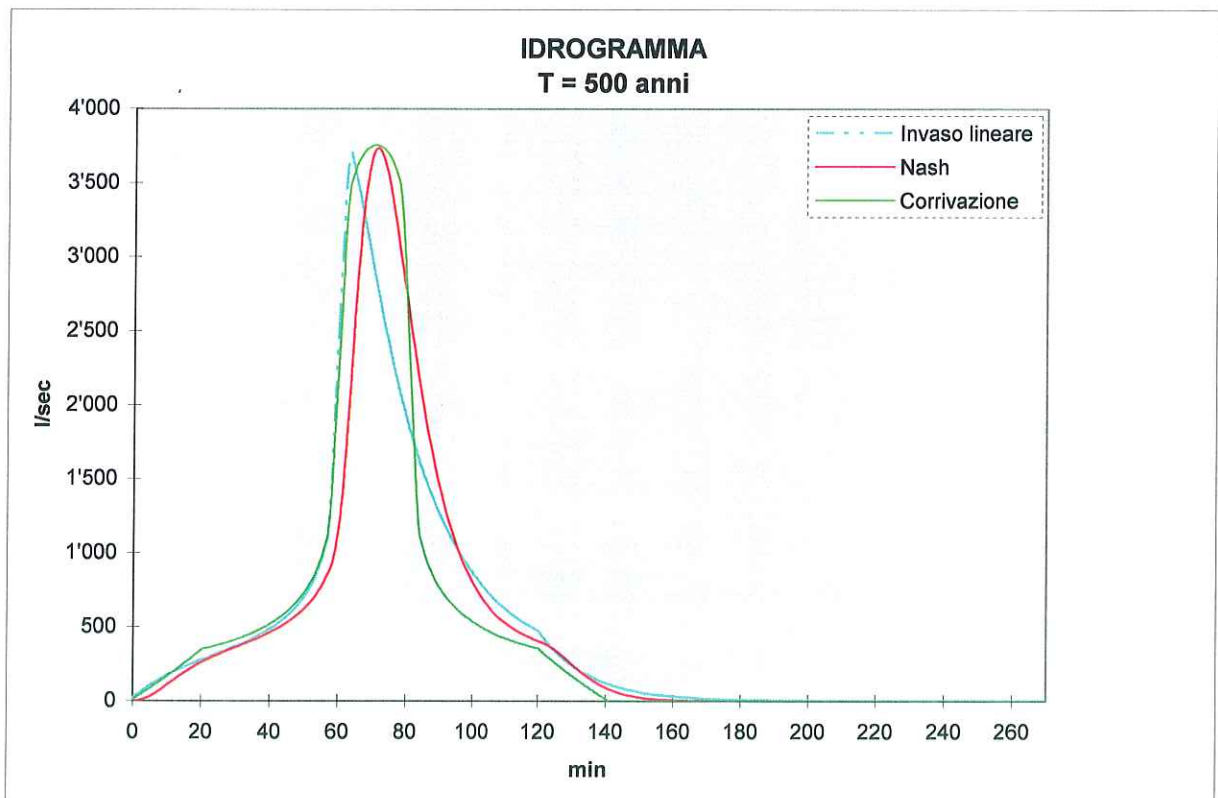


Figura 16

Nel presente studio si è deciso di fare riferimento al modello di trasformazione afflussi - deflussi di Nash, particolarmente adatto per la rappresentazione dei fenomeni in bacini naturali.

Relativamente ai tre modelli (unico invaso lineare, Nash, corrivazione), nella tabella n° 3 sono riportate, in funzione del tempo di ritorno, le portate di piena stimate, mentre in figura 17 è rappresentato il legame tra tempo di ritorno e portata al colmo.

PORTATE AL COLMO [l/sec]						
T	10	20	50	100	200	500
invaso	2'151	2'433	2'799	3'072	3'344	3'703
nash	2'172	2'456	2'823	3'098	3'372	3'734
serb. lineare	2'186	2'471	2'840	3'117	3'392	3'755

Tabella 3

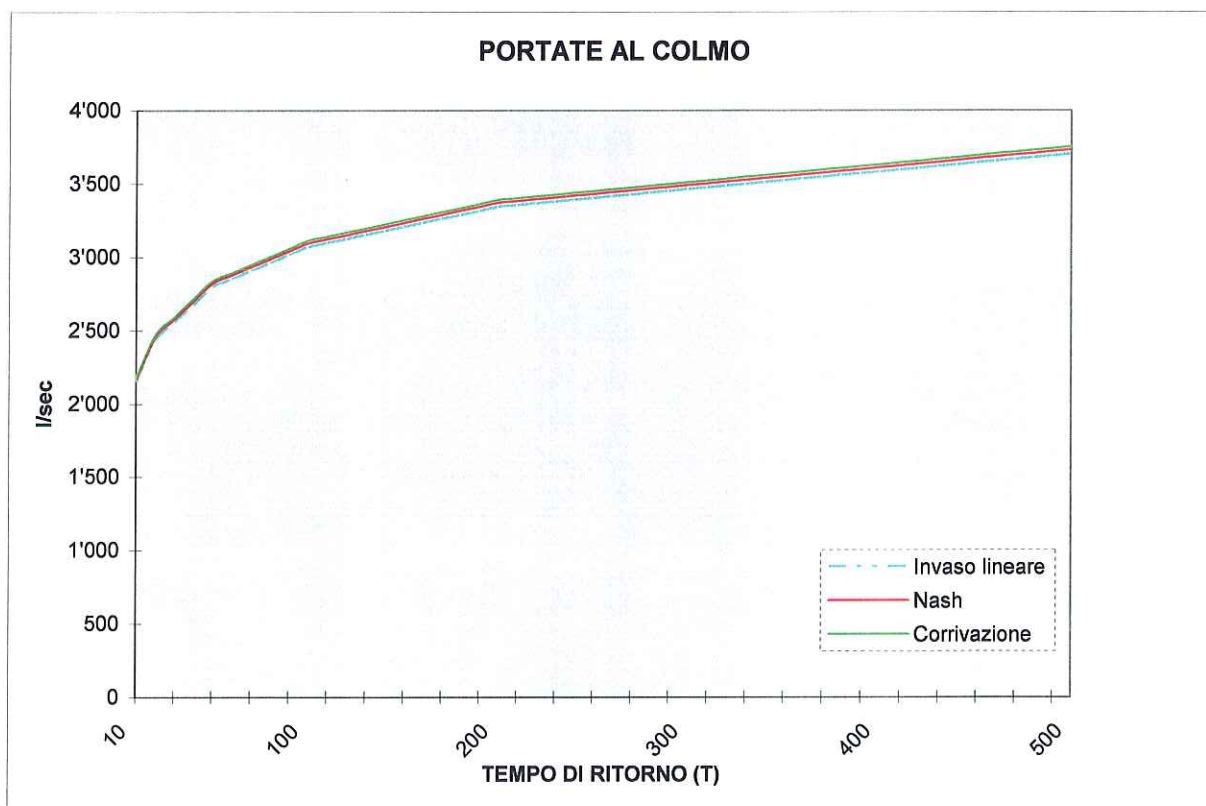


Figura 17

### **VERIFICHE IDRAULICHE**

I livelli idrici massimi che si possono verificare nell'alveo del torrente denominato A02, in corrispondenza del tratto tombato (condotta in cemento diametro 100 cm), sono stati valutati analiticamente ipotizzando la corrente unidimensionale in moto permanente.

Pertanto si è proceduto alla determinazione delle diverse grandezze idrauliche della corrente e del profilo di pelo libero che si instaura in condizioni di moto permanente lungo il tratto analizzato.

Sono state determinate le seguenti caratteristiche geometriche delle sezioni bagnate in funzione dell'altezza idrica h:

A = area della sezione bagnata;

H = altezza del pelo libero;

P = perimetro bagnato;

R = raggio idraulico.

E' quindi stata costruita la scala di deflusso di moto uniforme che rappresenta il legame  $Q(h_0)$  tra portata e livello idrico. Detto legame è stato valutato tramite la formula di Chèzy:

$$Q = A \times V = A \times \chi * (R * I)^{1/2}$$

dove:

Q = portata di transito [mc/sec];

I = pendenza dell'alveo;

V =  $\chi * (R * I)^{1/2}$  = velocità della corrente [m/sec];

$\chi$  =  $[100 * (R)^{1/2}] / [(R)^{1/2} + m]$ ;

m = coefficiente di scabrezza di Kutter.

La pendenza dell'alveo è pari a 0.017, e la portata di riferimento, con tempo di ritorno T = 200 anni, è di 3372 l/sec. Il coefficiente di scabrezza m è stato assunto in base ai dati di letteratura pari a 0.25, in via prudenziale.

La portata della condotta, con un riempimento dell'80% (altezza del pelo libero pari a 0,8 D) risulta di l/sec 3430, e quindi la condotta è in grado di smaltire con sufficiente margine la portata di piena.



<b>ALLEGATO C</b>	Planimetria per l'Invarianza Idraulica ed Idrologica
-------------------	--

