



**Politecnico  
di Torino**

**Politecnico di Torino**

Corso di Laurea Magistrale in Ingegneria Edile

A.a. 2023/2024

Ottobre 2024

# **STUDIO SULL'INVARIANZA IDRAULICA E IDROLOGICA**

Confronto tra i Regolamenti Regionali

Relatore/i:

Prof. BUTERA Ilaria

Prof. BOANO Fulvio

Prof. GANORA Daniele

Candidato:

DAKAJ Serxhio

Matr. 319791



## SOMMARIO

1	INTRODUZIONE.....	6
2	QUADRO NORMATIVO.....	8
2.1	R.R. LOMBARDIA 19 APRILE 2019 .....	8
2.1.1	<i>Metodo di calcolo</i> .....	11
2.2	DPREG 083 DEL 2018 – FRIULI VENEZIA GIULIA.....	22
2.2.1	<i>Metodo di calcolo</i> .....	23
2.3	ART.47 DEL NTA DEL PAI – REGOLAMENTO SARDEGNA .....	34
2.3.1	<i>Metodi di calcolo</i> .....	35
2.4	D.D.G N° 102 23 GIUGNO 2021 – REGOLAMENTO REGIONE SICILIA.....	41
2.4.1	<i>Metodo di calcolo</i> .....	43
2.5	TABELLA DI CONFRONTO DEI REGOLAMENTI ADOTTATI .....	45
3	APPLICAZIONE .....	49
3.1	DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO .....	49
3.2	R.R. LOMBARDIA 19 APRILE 2019 .....	51
3.3	DPREG 083-2018 – FRIULI VENEZIA GIULIA .....	57
3.4	ART.47 DEL NTA DEL PAI – REGOLAMENTO SARDEGNA.....	61
3.5	D.D.G N° 102 23 GIUGNO 2021 – REGOLAMENTO REGIONE SICILIA.....	67
3.6	CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI.....	74
4	SOLUZIONE PROGETTUALE.....	75
5	CONCLUSIONI .....	86
6	BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA.....	87
	<i>Bibliografia</i> .....	87
	<i>Sitografia</i> .....	87

## INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 Idrogramma esemplificativo del principio di invarianza idraulica e idrologica (da regolamento Regione Sicilia D.D.G. n°102) .....	6
Figura 2 Esempio di scheda esemplificativa tratta dall'Allegato A del R.R. Lombardia 2019 .....	9
Figura 3 Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica .....	12
Figura 4 Legge di Horton. Andamenti della capacità di infiltrazione in presenza di sovrabbondanza di acqua sulla superficie disperdente da Allegato F del R.R.Lombardia 2019.....	15
Figura 5 Individuazione dell'evento critico $D_w$ e del corrispondente volume critico $W_0$ di laminazione da Allegato G del R.R.Lombardia 2019.....	18
Figura 6 Rappresentazione del processo di laminazione da Allegato G del R.R.Lombardia 2019.....	20
Figura 7 Laminazione ottimale a parità di volume invasato $W$ (sopra) e a parità di portata uscente massima $Q_u \max$ (sotto) da Allegato G del R.R.Lombardia 2019 .....	21
Figura 8 Abachi delle grandezze adimensionali $F, G$ .....	29
Figura 9 Stralcio in riferimento della tabella 5 del regolamento della Regione Sardegna	39
Figura 10 Tabella delle misure individuate dal PdG.....	41
Figura 11 Indicazione caso studio in rosso. Immagine da Google Earth .....	49
Figura 12 Masterplan del progetto ToDream .....	50
Figura 13 Schema esemplificativo numero 6 degli interventi a cui applicare le misure d'invarianza idraulica e idrologica da Allegato 1.....	51
Figura 14 Tabella A del R.R.Lombardia 19 aprile 2019.....	52
Figura 15 Ietogramma tipo Chicago di durata 30 minuti e tempo di ritorno 50 anni .....	53
Figura 16 Schema sottobacini .....	53
Figura 17 Idrogramma di piena dei singoli sottobacini.....	55
Figura 18 Idrogramma di piena.....	55
Figura 19 Ietogramma tipo Chicago di durata 30 minuti e tempo di ritorno 50 anni.....	58
Figura 20 Schematizzazione sottobacini .....	59
Figura 21 Idrogramma di piena dei singoli sottobacini.....	59
Figura 22 Idrogramma di piena totale nella rete.....	60
Figura 23 da Allegato 1-Coefficienti di afflusso e valori del CN del regolamento della Regione Sardegna .....	63
Figura 24 Ietogramma tipo Chicago di durata 30 minuti e tempo di ritorno 20 anni.....	63
Figura 25 Idrogramma di piena nello stato attuale e nello stato post-intervento.....	64
Figura 26 Tabella per la determinazione del parametro $k$ .....	65
Figura 27 Idrogramma di piena nello stato attuale e nello stato post-intervento.....	66
Figura 28 Schema del ciclo idrologico urbano dal manuale SWMM .....	67

Figura 29 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per il pluviometro.....	68
Figura 30 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per un sottobacino .....	68
Figura 31 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per una condotta.....	69
Figura 32 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per una giunzione.....	69
Figura 33 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per lo scarico .....	70
Figura 34 Schema delle componenti presenti dal manuale SWMM .....	70
Figura 35 Schematizzazione in sottobacini dell'area d'intervento.....	71
Figura 36 letogramma Chicago ottenuto in SWMM .....	72
Figura 37 Schermata indicante i parametri richiesti per la selezione del modello di infiltrazione.....	72
Figura 38 Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956].....	72
Figura 39 Idrogramma di piena generato dal software SWMM.....	73
Figura 40 Tabella di confronto dei risultati in base al regolamento applicato .....	74
Figura 41 Sceda tecnica T12 - Bacini d'infiltrazione da Allegato 4 regolamento Regione Sardegna.....	75
Figura 42 1. Esempio di bacino d'infiltrazione; 2.A changing neighbourhood, Mantes, Francia - Espace libre (fonte Allegato 4 regolamento Regione Sardegna) .....	76
Figura 43 Esempio di bacino d'infiltrazione, pianta (sopra) e sezione (sotto). (Fonte The SuDS Manual).....	77
Figura 44 Quota della falda reperita da Arpa Piemonte.....	77
Figura 45 Individuazione dei bacini d'infiltrazione in pianta (realizzato con Revit 2023) ...	78
Figura 46 Vista prospettica dello stato di progetto con individuazione dei bacini (realizzato con Revit 2023).....	79
Figura 47 Sezione trasversale bacino 1. (Realizzato con AutoCAD 2023).....	80
Figure 48 Sezione trasversale bacino 2 (Realizzato con AutoCAD 2023) .....	81
Figure 49 Sezione trasversale bacino 3 (Realizzato con AutoCAD 2023) .....	83
Figure 50 Render dei bacini (prodotti con Enscape).....	85

## INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 Tabella indicante la modalità di calcolo da R.R.Lombardia 2019 .....	13
Tabella 2 Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956].....	16
Tabella 3 livelli di significatività delle trasformazioni .....	24
Tabella 4 Interventi di mitigazione e metodi di calcolo idrologico idraulico.....	26
Tabella 5 Tabella dei valori indicativi di permeabilità idraulica rispetto al tipo di suolo...	32
Tabella 6 definizione delle classi degli interventi di trasformazione .....	35
Tabella 7 Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN).....	38
Tabella 8 Matrice sintetica delle diverse classi in funzione dei tipi di suolo (metodo SCS-CN).....	38
Tabella 9 Tabella dei valori del parametro correttivo k.....	39
Tabella 10 Tabella dei valori di riferimento dei coefficienti di afflusso da utilizzare nei metodi di calcolo.....	57
Tabella 11 Stralcio tabella 5 del regolamento regionale .....	61
Tabella 12 Perforazione PI 108939 da Arpa Piemonte.....	61
Tabella 13 Descrizione delle tipologie di suolo .....	62
Tabella 14 Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956] .....	78

# 1 INTRODUZIONE

La continua urbanizzazione del territorio ha cambiato drasticamente il ciclo idrologico naturale e la principale causa del degrado del suolo è rappresentata dalla sua impermeabilizzazione. La progressiva impermeabilizzazione del territorio, oltre ad accelerare i cambiamenti climatici, ha provocato un aumento del rischio di inondazioni e la perdita di fertilità nei terreni agricoli, minacciando, in questo modo, anche la biodiversità. Senza contare che, l'insieme delle cause menzionate, contribuisce significativamente "alla progressiva distruzione del paesaggio, soprattutto quello rurale"<sup>1</sup>. In molti contesti, ben noti sono i casi avvenuti nel territorio italiano, questa continua impermeabilizzazione è diventata una vera e propria minaccia per la sicurezza idraulica del territorio. Nello specifico, gli effetti più evidenti, dovuti a una minore permeabilità dei suoli, possono essere attribuiti alla diversa distribuzione temporale dei deflussi di durata minori ma picchi di portata maggiori e l'alterazione delle frazioni di pioggia infiltrata che riduce la ricarica delle falde dovuta all'estensione delle superfici impermeabili.

Per riequilibrare progressivamente il regime idrologico e idraulico naturale di un territorio in trasformazione ed evitare l'ulteriore propagazione di questi eventi, diventa fondamentale rispettare i principi di invarianza idraulica e idrologica. Questi principi possono essere riassunti tramite la Figura 1, che illustra, attraverso i diversi idrogrammi di piena di un bacino prima degli interventi di invarianza idraulica e idrologica, come l'applicazione di tali misure possono riportare le condizioni nello stato di pre-urbanizzazione con la laminazione e l'infiltrazione.

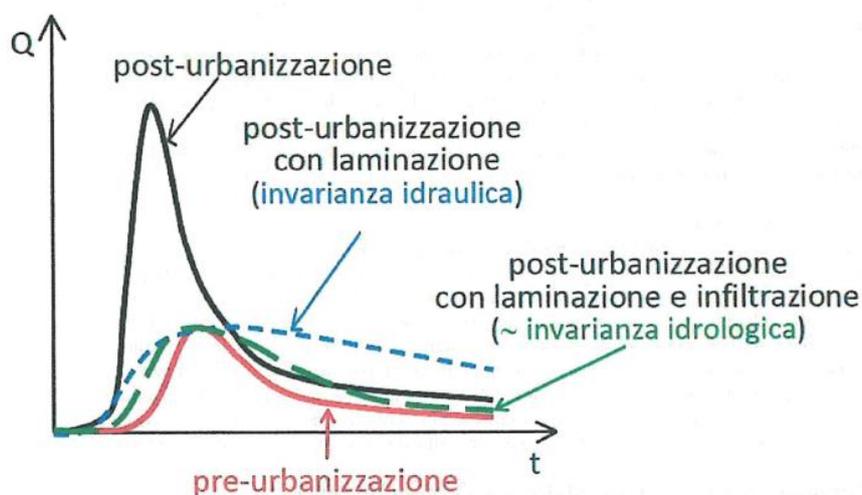


Figura 1 Idrogramma esemplificativo del principio di invarianza idraulica e idrologica (da regolamento Regione Sicilia D.D.G. n°102)

<sup>1</sup> Art.1 del D.D.G. 23 giugno 2021, n. 102

Come si evince dalla figura precedente, i deflussi generati in una situazione di post-urbanizzazione senza ulteriori interventi che finiranno in fognatura sono molto maggiori della situazione pre-urbanizzata; per questo motivo l'obiettivo diventa quello di razionalizzare il deflusso verso le reti di drenaggio urbano riducendo l'effetto degli scarichi sulle portate di piena dei corsi d'acqua e così il rischio idraulico nel territorio. Per ottenere tutto questo, occorre realizzare delle misure di compensazione atte al rispetto di tali principi, come vasche di laminazione che hanno il compito di attenuare e ritardare il valore di colmo della portata o come i sistemi di drenaggio urbani sostenibili (SuDS) che permettono l'infiltrazione nel suolo, in maniera più controllata, della portata di colmo. Il principale proposito dei SuDS consiste nel recupero delle funzioni idrologiche naturali del suolo e nella riduzione delle alterazioni al ciclo dell'acqua causate dall'impermeabilizzazione dei suoli.

Per fare in modo che gli interventi futuri siano effettuate nel rispetto del principio di invarianza idraulica e idrologica, risulta necessario disciplinare il deflusso nelle reti di drenaggio urbane, e per fare ciò diverse Regioni d'Italia si sono mosse in questa direzione redigendo dei regolamenti o delle linee guida. Dato che, in questo momento, sono presenti diversi riferimenti normativi regionali che riguardano l'applicazione di questo principio, l'obiettivo che si vuole ottenere attraverso questa tesi è quello, inizialmente, di analizzare i regolamenti presenti, evidenziandone, in questo modo, i punti di forza e di debolezza di ciascun regolamento, per poi farne un confronto per indicare i punti comuni ad ogni regolamento e quali sono le caratteristiche più particolari. Successivamente, verranno applicati i metodi di calcolo proposti a un caso studio, in modo tale da evidenziarne le differenze in termini quantitativi, proponendo in fine una soluzione per la gestione dei volumi così calcolati.

## 2 QUADRO NORMATIVO

In riferimento a quanto detto precedentemente, per regolamentare l'utilizzo del suolo in fase progettuale di un intervento di trasformazione e, quindi, garantire il rispetto dei principi d'invarianza idraulica e idrologica, in alcune Regioni d'Italia sono stati introdotti dei riferimenti normativi. I regolamenti regionali che sono stati considerati ai fini di questa tesi sono quelli redatti dalla Regione Lombardia, Regione Friuli-Venezia-Giulia, Regione Sardegna e Regione Sicilia. In questo capitolo, i regolamenti regionali, appena menzionati, verranno esposti in maniera tale da indicarne i punti principali, evidenziando successivamente gli elementi di forza e di debolezza e, infine, confrontare i regolamenti in forma tabellare.

### 2.1 R.R. LOMBARDIA 19 APRILE 2019

All'interno del regolamento, all'art.2, viene definita:

1. l'invarianza idraulica come il *"principio in base al quale le portate massime di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei ricettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione"*
2. l'invarianza idrologica come il *"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"*.

Una volta esposte le definizioni dei principi da rispettare, vengono distinti i seguenti interventi edilizi soggetti all'applicazione del regolamento:

- di ristrutturazione edilizia, solo per demolizione fino al piano campagna e aumento della superficie coperta;
- nuova costruzione, compresi ampliamenti ed escludendo sopraelevazioni che non aumentano la superficie coperta;
- ristrutturazione urbanistica;
- relativi a opere di pavimentazione e finitura di spazi esterni, includendo le aree di sosta, parcheggi e piazze con una superficie maggiore di 150 mq. Si escludono gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria della rete stradale, autostradale e ciclopedonale;
- pertinenziali che comportino la realizzazione di un volume inferiore al 20% del volume dell'edificio principale;

mentre i casi indicati sotto, rappresentano gli interventi in cui il regolamento non deve essere applicato:

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

- gli interventi di demolizione e ricostruzione e gli interventi di ripristino di edifici crollati o demoliti di immobili se questi non aumentano la superficie coperta;
- 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;
- 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.

In riferimento agli interventi appena esposti, il regolamento, all'interno dell'Allegato A, dispone di schemi esemplificativi per indentificare al meglio il caso d'appartenenza e capire, quindi, se si debbano applicare o meno le misure d'invarianza idraulica e idrologica.

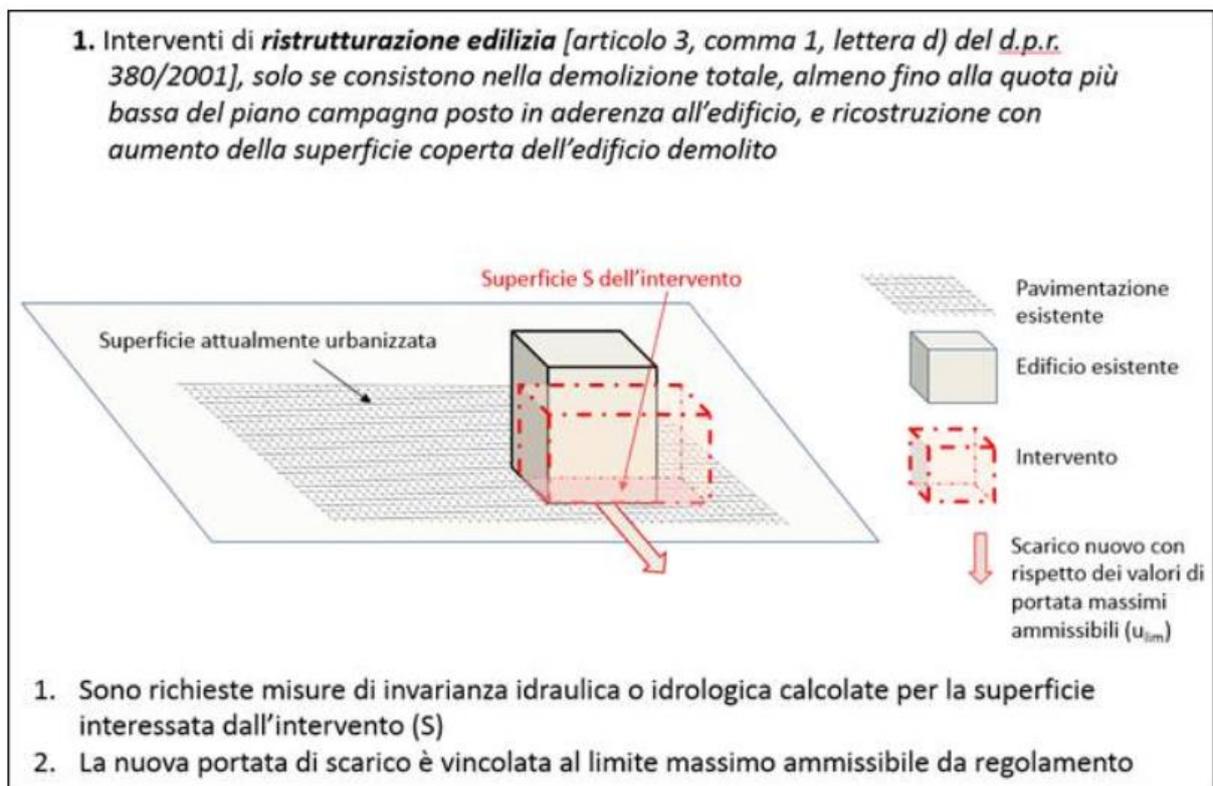


Figura 2 Esempio di scheda esemplificativa tratta dall'Allegato A del R.R. Lombardia 2019

Il controllo e la gestione delle acque pluviali è un compito da affidare necessariamente a sistemi che garantiscono l'infiltrazione, l'evapotraspirazione o il riuso. In questi casi, il regolamento indica, anche, un ordine di priorità su come deve avvenire lo smaltimento dei volumi invasati:

1. mediante il riuso dei volumi stoccati, in funzione dei vincoli di qualità e delle effettive possibilità, quali innaffiamento di giardini, acque grigie e lavaggio di pavimentazioni e auto;

2. mediante infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo, compatibilmente con le caratteristiche pedologiche del suolo e idrogeologiche del sottosuolo che possono essere verificate con indagini geologiche ed idrogeologiche;
3. scarico in corpo idrico superficiale naturale o artificiale, con i limiti di portata;
4. scarico in fognatura, con i limiti di portata.

Vengono, inoltre, mostrate e descritte, nel *“Allegato L -Indicazioni tecniche costruttive ed esempi di buone pratiche di gestione delle acque meteoriche in ambito urbano ”*, alcune indicazioni tecniche che si distinguono tra opere di laminazione, opere d’infiltrazione, tetti e pareti verdi, opere di scarico e manufatti di controllo.

Da considerare che all’interno del regolamento vengono esposti, e successivamente analizzati in maniera più approfondita, i contenuti del progetto di invarianza idraulica e idrologica, indicando i punti che devono essere presenti all’interno della relazione tecnica, mostrati di seguito:

- descrizione della soluzione progettuale di invarianza idraulica e idrologica e delle corrispondenti opere di raccolta, convogliamento, invaso, infiltrazione e scarico costituenti il sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico nel ricettore o di disperdimento nel suolo o negli strati superficiali del sottosuolo;
- calcolo delle precipitazioni di progetto;
- calcoli del processo di infiltrazione nelle aree e strutture a ciò destinate e relativi dimensionamenti;
- calcoli del processo di laminazione negli invasi a ciò destinati e relativi dimensionamenti;
- calcolo del tempo di svuotamento degli invasi di laminazione;
- calcoli e relativi dimensionamenti di tutte le componenti del sistema di drenaggio delle acque pluviali fino al punto terminale di scarico; dimensionamento del sistema di scarico terminale, qualora necessario, nel ricettore, nel rispetto dei requisiti ammissibili del presente regolamento;
- documentazione progettuale completa di planimetrie e profili in scala adeguata, sezioni, particolari costruttivi;
- piano di manutenzione ordinaria e straordinaria dell’intero sistema di opere di invarianza idraulica e idrologica e di recapito nei ricettori, secondo le disposizioni dell’articolo 13;
- asseverazione del professionista in merito alla conformità del progetto ai contenuti del presente regolamento, redatta secondo il modello di cui all’allegato E;

È utile precisare ancora che anche per interventi riguardanti le infrastrutture stradali, autostradali, loro pertinenza e parcheggi bisogna redigere un progetto di invarianza idraulica e idrologica.

Gli elementi caratterizzanti presenti all'interno del regolamento della Regione Lombardia sono sicuramente i meccanismi di promozione per incentivare l'applicazione delle misure di invarianza e la monetizzazione in alternativa all'impossibilità di realizzare gli interventi di compensazione. Per quanto riguarda il primo punto, i Comuni possono promuovere l'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica e idrologica e del drenaggio urbano sostenibile, per quegli interventi che ricadono nell'ambito d'applicazione, attraverso:

- l'incentivazione urbanistica, semplificando le procedure;
- riduzione degli oneri di urbanizzazione o anche del contributo di costruzione;
- l'uso degli introiti derivanti della monetizzazione o derivanti in alternativa alla diretta realizzazione per gli interventi in ambiti urbani caratterizzati da particolari condizioni urbanistiche o idrogeologiche.

I casi in cui la monetizzazione è consentita, sono esposti in maniera esaustiva all'articolo 16 del presente regolamento, specificando, però, che gli interventi relativi alle infrastrutture stradali sono esclusi.

Infine, sono utili da segnalare i punti che riguardano il piano di manutenzione, da redigere con un dettaglio conforme alla complessità dell'intervento di trasformazione e le modalità di integrazione tra pianificazione urbanistica comunale e previsioni del piano d'ambito, al fine del conseguimento degli obiettivi di invarianza idraulica e idrologica, che fornisce le indicazioni necessarie per la redazione del documento del rischio idraulico comunale.

### *2.1.1 Metodo di calcolo*

Innanzitutto, per tenere conto dei diversi effetti che l'apporto di nuove acque meteoriche possono causare ai sistemi di drenaggio urbane ed extraurbane, il regolamento suddivide il territorio in funzione del livello di criticità idraulica dei bacini dei corsi d'acqua ricettori. La suddivisione è la seguente:

- aree A, ovvero ad alta criticità idraulica: aree che comprendono i territori dei comuni, elencati nell'allegato C, ricadenti, anche parzialmente, nei bacini idrografici elencati nell'allegato B;
- aree B, ovvero a media criticità idraulica: aree che comprendono i territori dei comuni, elencati nell'allegato C, non rientranti nelle aree A e ricadenti, anche parzialmente, all'interno dei comprensori di bonifica e Irrigazione;

- aree C, ovvero a bassa criticità idraulica: aree che comprendono i territori dei comuni, elencati nell'allegato C, non rientranti nelle aree A e B.

Per individuare l'area di appartenenza del comune in cui l'opera di trasformazione verrà realizzata, all'interno dell'"Allegato B – Elenco dei bacini idrografici o delle porzioni di bacino idrografico ad alta criticità idraulica e cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica" viene indicata una mappa della Regione Lombardia mostrante le aree di criticità (Figura 3) e i bacini idrografici ad alta criticità.

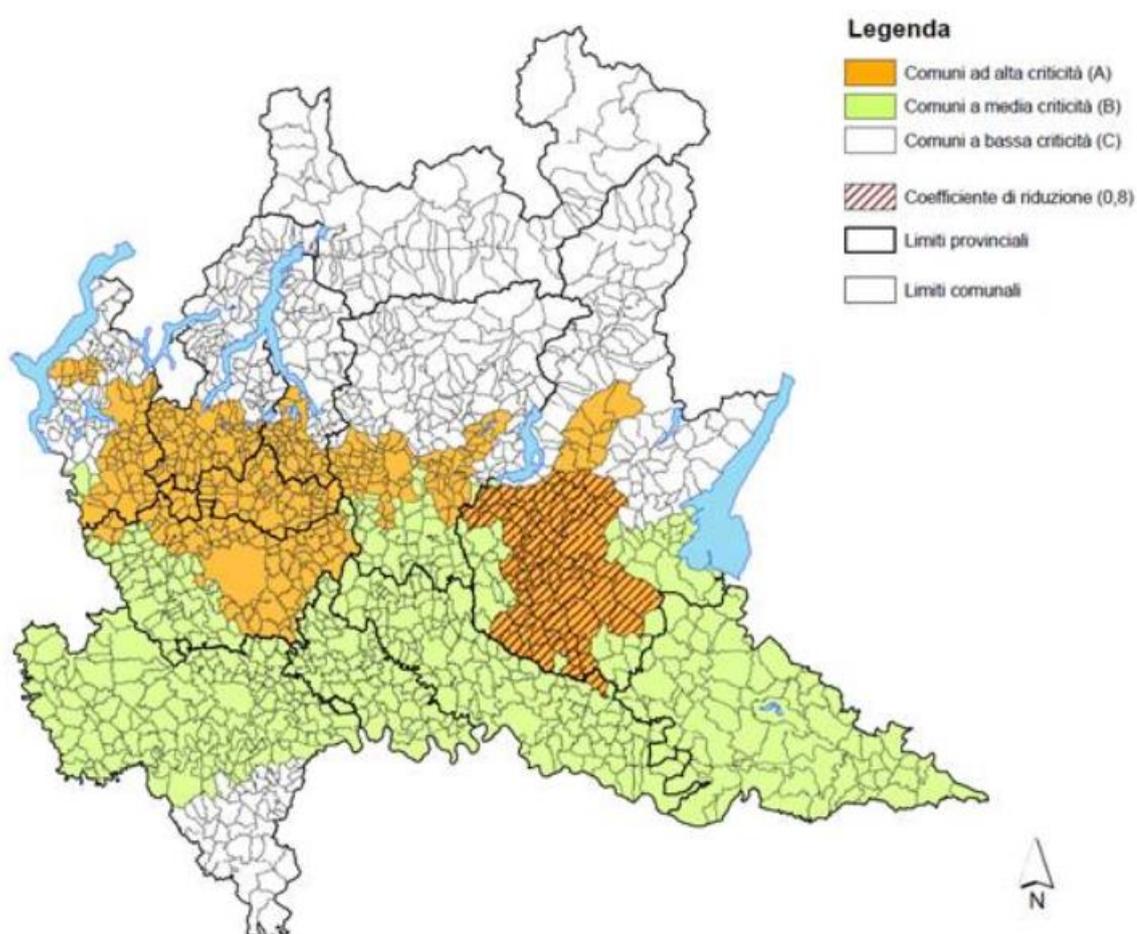


Figura 3 Cartografia degli ambiti a diversa criticità idraulica

In base alla area di criticità, in termini di scarico in fognatura o in corpo idrico superficiale artificiale o naturale, il Regolamento Regionale definisce i valori ammissibili della portata meteorica scaricabile nei recettori ( $u_{lim}$ ), qui elencate:

- per le aree A: 10 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- per le aree B 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- per le aree C: 20 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;

- le portate degli scarichi nel ricettore, provenienti da sfioratori di piena delle reti fognarie unitarie o da reti pubbliche di raccolta delle acque meteoriche di dilavamento, relativamente alle superfici scolanti, ricadenti nelle aree A e B già edificate o urbanizzate e già dotate di reti fognarie, sono limitate mediante l'adozione di interventi atti a contenerne l'entità entro valori compatibili con la capacità idraulica del ricettore e comunque entro il valore massimo ammissibile di 40 l/s per ettaro di superficie scolante impermeabile.

Bisogna, comunque, sottolineare che il gestore dei recettori, in caso di limitata capacità idraulica, può imporre dei valori solamente se più restrittivi.

Una volta individuata l'area di criticità in cui si ricade, attraverso la consultazione della Tabella 1, viene determinata la classe di intervento a cui appartiene la trasformazione edilizia, che dipende da:

- superficie, che è da intendere quella del lotto interessato e non all'intero comparto;
- coefficiente di deflusso medio ponderale, definito come

$$\varphi_m = \frac{\sum A_i * \varphi_i}{\sum A_i}$$

dove A indica la superficie e  $\varphi$  e il coefficiente di deflusso dell'i-esimo sottobacino.

Il regolamento specifica che la permeabilità del suolo da considerare è quella preesistente all'urbanizzazione.

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO		
			AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)		
			Aree A, B	Aree C	
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Tabella 1 Tabella indicante la modalità di calcolo da R.R.Lombardia 2019

Quindi, si determinata la classe di intervento di appartenenza e, tramite un controllo incrociato, viene assegnata la modalità di calcolo da adottare per il calcolo dei volumi da gestire. Per le diverse modalità di calcolo, il regolamento regionale richiede un tempo di ritorno pari a:

- TR=50 anni per il dimensionamento delle opere di laminazione o anche infiltrazione con un adeguato grado di sicurezza delle stesse;
- TR=100 anni per la verifica del grado sicurezza delle opere come sopra dimensionate. Tale verifica è mirata a valutare che, in presenza di un evento con TR = 100, non si determinino esondazioni che arrechino danni a persone o a cose, siano esse le opere stesse o le strutture presenti nell'intorno.

In caso di intervento di classe 0, viene indicato l'utilizzo dei requisiti minimi che consistono:

- nell'adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore;
- nell'adozione dei valori per la classe di intervento 1

Per il caso di intervento ad impermeabilizzazione potenziale bassa, classe 1, il regolamento, all'art.12, dà la possibilità di utilizzare dei valori parametrici di volume minimo da realizzare, che sono i seguenti:

- *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*
- *per le aree B a media criticità idraulica di cui all'articolo 7: 500 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;*
- *per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7: 400 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.*

Invece, per gli interventi ad impermeabilizzazione potenziale media e alta si devono usare il metodo delle sole piogge per il primo caso e la procedura dettagliata per il secondo.

Per entrambi i metodi, si procede con il calcolo delle precipitazioni di progetto; il regolamento rimanda ai parametri caratteristici delle curve di possibilità pluviometrica riportati da ARPA Lombardia, lasciando la possibilità di utilizzo di valori diversi solo se si disponga i dati ufficiali più specifici o più aggiornati per la località oggetto dell'intervento, dichiarandone l'origine e la validità. I parametri della curva sono espressi nella forma:

$$h = a_1 w_T D^n$$
$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left[ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right]$$

in cui  $h$  è l'altezza di pioggia,  $D$  è la durata,  $\alpha_i$  è il coefficiente pluviometrico orario,  $w_T$  è il coefficiente probabilistico legato al tempo di ritorno  $T$ ,  $n$  è l'esponente della curva,  $\alpha$ ,  $\varepsilon$ ,  $k$  sono i parametri delle leggi probabilistiche GEV adottate.

Successivamente si passa alla valutazione delle perdite idrogeologiche per il calcolo dell'idrogramma netto di piena in arrivo nell'opera di laminazione. Per determinare l'idrogramma netto, si può procedere con il calcolo del processo d'infiltrazione oppure con l'adozione di un metodo semplificato.

Per quanto riguarda il primo caso, per infiltrazione si intende la portata per unità di superficie che all'istante  $t$  che si infiltra nel sottosuolo, misurata in mm/h. Il modello di infiltrazione suggerito dal regolamento consiste nell'utilizzo di modelli di Horton che individua una legge decrescente di tipo esponenziale per rappresentare l'andamento nel tempo dell'infiltrazione. Questo modello segue una legge che decresce da un valore massimo iniziale  $f_0$ , che è legato al tipo di suolo ed al suo stato di imbibizione all'inizio dell'evento, ad un valore minimo asintotico  $f_c$ , che eguaglia la conduttività idraulica a saturazione  $K_s$ , la quale è legata alle caratteristiche di porosità del terreno, alla stratigrafia del sottosuolo, alla presenza e distanza dalla falda. La rapidità dell'esponenziale, misurata dal parametro  $k$ , con cui l'infiltrazione tende al valore asintotico è anch'essa legata al tipo di suolo. Nei calcoli di dimensionamento delle opere di infiltrazione, per rimanere a favore di sicurezza, è opportuno riferirsi al valore minimo asintotico  $f_c$  che residua dopo che sia sostanzialmente terminato il processo di saturazione del suolo. Tanto più che l'evento meteorico intenso può avvenire dopo piogge che hanno già contribuito a saturare il suolo.

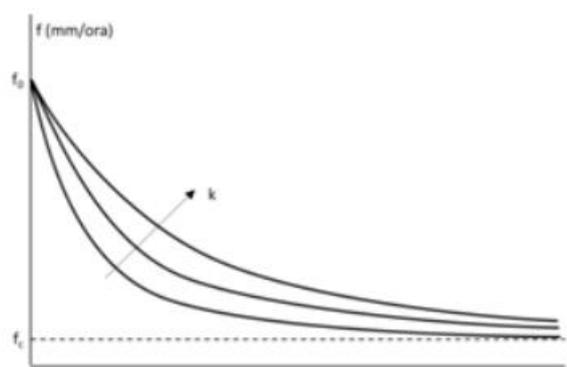


Figura 4 Legge di Horton. Andamenti della capacità di infiltrazione in presenza di sovrabbondanza di acqua sulla superficie disperdente da Allegato F del R.R.Lombardia 2019

Per quanto riguarda i valori da attribuire ai parametri della legge di Horton, il Soil Conservation Service (SCS) [1956], adesso Natural Resources Conservation Service, propone le seguenti quattro classi (A, B, C, D) di suoli con copertura erbosa:

- Classe A – Scarsa potenzialità di deflusso: comprende sabbie profonde con scarsissimo limo e argilla; anche ghiaie profonde, molto permeabili;
- Classe B – Potenzialità di deflusso moderatamente bassa: comprende la maggior parte dei suoli sabbiosi meno profondi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità di infiltrazione anche a saturazione;
- Classe C – Potenzialità di deflusso moderatamente alta: comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità di argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D; il gruppo ha scarsa capacità di infiltrazione a saturazione;
- Classe D – Potenzialità di deflusso molto alta: comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.

Classe suolo	$f_0$ [mm/ora]	$f_C$ [mm/ora]	$k$ [ore <sup>-1</sup> ]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

*Tabella 2 Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956]*

Inoltre, è utile specificare che per il calcolo del processo di infiltrazione, il regolamento non consente la possibilità d'infiltrazione dell'afflusso meteorico se la falda è prossima al piano campagna. Tuttavia, la quota della falda non è l'unica discriminante, infatti, l'infiltrazione è da escludere anche in funzione della qualità delle acque meteoriche, della stabilità dei versanti o della possibile interferenza con le fondazioni o dei piani interrati degli edifici esistenti.

In caso in cui non si abbiano dati sufficienti per procedere con il metodo descritto sopra, la valutazione delle perdite idrologiche per il calcolo dell'idrogramma netto di piena può essere effettuata, in via semplificata, utilizzando i seguenti valori:

- pari a 1 per tutte le sotto-aree interessate da tetti, coperture, e pavimentazioni continue di strade, vialetti, parcheggi;
- pari a 0,7 per i tetti verdi, i giardini pensili e le aree verdi sovrapposti a solette comunque costituite, per le aree destinate all'infiltrazione delle acque gestite ai sensi del presente regolamento e per le pavimentazioni discontinue drenanti o semipermeabili di strade, vialetti, parcheggi;
- pari a 0,3 per le sotto-aree permeabili di qualsiasi tipo, comprese le aree verdi munite di sistemi di raccolta e collettamento delle acque ed escludendo dal computo le superfici incolte e quelle di uso agricolo;

Una volta determinato l'idrogramma netto, o tramite il calcolo del processo d'infiltrazione oppure tramite l'uso di valori standardizzati, il punto successivo consiste nell'applicazione del metodo delle sole piogge o della procedura dettagliata.

Nel caso di intervento di classe 2, è necessaria l'utilizzo del metodo delle sole piogge che è basato sull'assunzione che l'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa  $Q_e(t)$ , nell'invaso di laminazione sia un'onda rettangolare avente durata  $D$  e portata costante  $Q_e$  pari al prodotto dell'intensità media di pioggia, dedotta dalla curva di possibilità pluviometrica, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso. In questo modo si ammette che, data la limitata estensione del bacino scolante, sia trascurabile l'effetto della trasformazione afflussi-deflussi operata dal bacino e dalla rete drenante afferente all'invaso. Di conseguenza l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento. La portata costante entrante è quindi pari a:

$$Q_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1}$$

e il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

$$W_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n$$

in cui  $S$  è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso,  $\varphi$  è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo,  $D$  è la durata di pioggia,  $a = a_{TW_T}$  e  $n$  sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica.

L'onda uscente  $Q_u(t)$  è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante  $Q_{u,lim}$  (laminazione ottimale) e commisurata al limite prefissato in aderenza alle indicazioni sulle portate massime ammissibili, ed è quindi pari a:

$$Q_{u,lim} = S \cdot \varphi \cdot u_{lim}$$

e il volume uscito nel corso della durata  $D$  dell'evento è pari a:

$$W_u = S \cdot \varphi \cdot u_{lim} \cdot D$$

in cui  $u_{lim}$  è la portata specifica limite ammissibile allo scarico.

Basandoci su queste ipotesi semplificative il volume di laminazione è rappresentato, per ogni durata di pioggia considerata, dalla differenza tra i volumi dell'onda entrante e dell'onda uscente calcolati al termine della durata di pioggia. In questo modo, il volume di dimensionamento della vasca è pari al volume critico di laminazione, cioè quello calcolato per l'evento di durata critica che rende massimo il volume di laminazione. Quindi, il volume massimo  $\Delta W$  che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica  $D$  è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u$$

Se si esprime la condizione di massimo matematicamente, e quindi derivando rispetto alla durata  $D$  la differenza  $\Delta W$ , si ricava, in primo luogo, la durata critica  $D_w$  per l'invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione  $W_0$ :

$$D_w = \left( \frac{Q_{u,lim}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - Q_{u,maz} \cdot D_w$$

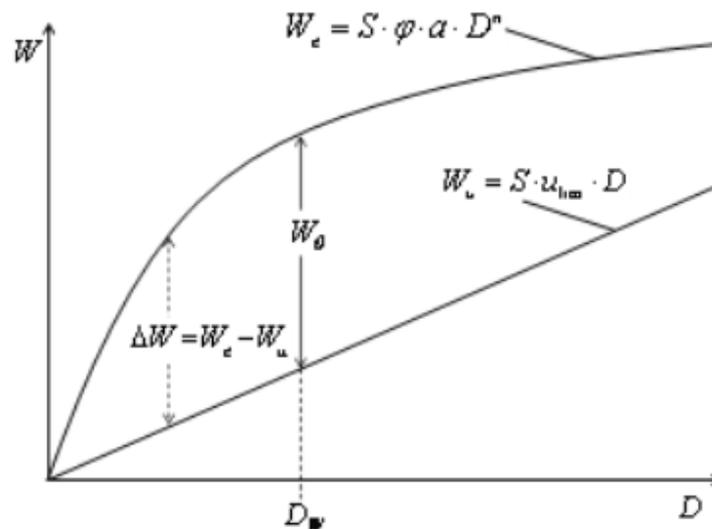


Figura 5 Individuazione dell'evento critico  $D_w$  e del corrispondente volume critico  $W_0$  di laminazione da Allegato G del R.R.Lombardia 2019

Nel caso di intervento di classe 3, il regolamento richiede l'adozione della procedura dettagliata. Pertanto, si deve computare in dettaglio la trasformazione afflussi-deflussi del bacino fino alla sezione di ingresso nell'invaso di laminazione in progetto. I criteri di scelta, che devono essere adottati, sono i seguenti:

- Ietogramma di progetto e della sua durata complessiva a partire dalla curva di possibilità pluviometrica valida per l'area in esame; viene suggerito l'utilizzo di uno ietogramma di progetto tipo Chicago avente una durata poco superiore al tempo di corrivazione del bacino sotteso dall'invaso;
- la procedura di calcolo dello ietogramma netto in funzione delle perdite idrologiche per accumuli iniziali e per infiltrazione, in relazione alle tipologia del suolo e della urbanizzazione in progetto;
- il modello di trasformazione afflussi netti-deflussi idoneo a rappresentare sia la formazione degli idrogrammi di piena nelle diverse sotto-aree, sia la loro propagazione e formazione dell'idrogramma complessivo  $Q_e(t)$  in corrispondenza della sezione di ingresso nell'invaso di laminazione in progetto; viene suggerito l'utilizzo del modello di trasformazione aree-tempi (metodo di corrivazione) del bacino afferente di laminazione.

Lo ietogramma tipo Chicago, suggerito anche per la relazione con i parametri della legge probabilistica GEV utilizzata precedentemente per l'analisi pluviometrica, è caratterizzato da un picco di intensità massima e da una un'intensità media per ogni durata pari a quella ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica. La sua costruzione può essere effettuata assegnando una durata  $D$  e individuando l'altezza di pioggia dalla curva di possibilità pluviometrica espressa nella forma DDF (Depth-Duration-Frequency, altezza-durata-frequenza) e quindi dalla formula precedentemente descritta:

$$h = a \cdot D^n$$

Considerando che il picco può verificarsi in un istante  $t_r=rD$ , con  $r$  compreso tra 0 e 1, si sceglie di porre  $r$  pari a 0,4 che, in caso di mancate informazioni specifiche, risulta essere un valore medio dagli studi in materia riportati in letteratura. Quindi, lo ietogramma, così definito, viene descritto da due equazione, una riferita prima del picco e l'altra riferita al ramo decrescente successiva al picco:

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t_r - t}{r}\right)^{n-1} \quad \text{per } t \leq t_r$$

$$i(t) = n \cdot a \cdot \left(\frac{t - t_r}{1 - r}\right)^{n-1} \quad \text{per } t \geq t_r$$

Per la scelta della durata dello ietogramma è importante utilizzare una durata maggiore del tempo di corrivazione in quanto la caratteristica di questo tipo di grafico consiste nel fatto che è poco sensibile al variare della durata. Infatti, all'aumentare della durata rimane immutata la zona attorno al picco, mentre si allungano le parti estreme del grafico, questo comporta che uno ietogramma di durate superiori comprendono anche quelli di durata inferiore con la possibilità, così di considerare anche tutti i sottobacini presenti.

Il dimensionamento dell'invaso di laminazione avviene poi applicando le equazioni seguenti al fine di computare l'idrogramma uscente  $Q_u(t)$  dalla rete di scarico dell'invaso e quindi verificare il rispetto del valore della massima portata ammissibile nel caso in esame e del tempo massimo di svuotamento. Il processo di laminazione nel tempo  $t$  è descritto matematicamente dal seguente sistema di equazioni:

- equazione di continuità:

$$Q_e(t) - Q_u(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

- legge di efflusso che governa le opere preposte allo scarico dall'invaso o in generale allo svuotamento dell'invaso:

$$Q_e = Q_u[H(t)]$$

- curva d'invaso, esprime il legame geometrico tra il volume invasato ed il battente idrico  $H$  nell'invaso:

$$W = W[H(t)]$$

dove,  $Q_e(t)$  rappresenta la portata entrante,  $Q_u(t)$  quella complessivamente uscente dall'insieme delle opere di scarico e/o di infiltrazione e/o di riuso,  $W(t)$  il volume invasato,  $H(t)$  il battente idrico nell'invaso. Integrando il sistema di queste equazioni consente di calcolare le tre funzioni incognite  $Q_u(t)$ ,  $H(t)$ ,  $W(t)$  e, quindi si possono ricavare i rispettivi massimi verificando che essi siano compatibili con i vincoli assegnati. Riportando in un grafico le onde entranti e uscenti da un vaso generico, il massimo volume d'invaso  $W_{max}$  è dato dall'area compresa tra le due curve fino al raggiungimento della portata uscente massima  $Q_{u,max}$  (Figura 6). Si può osservare che l'effetto di laminazione consiste sia nella riduzione della portata al colmo uscente  $Q_{u,max}$  rispetto alla portata al colmo entrante  $Q_{e,max}$ , sia nello sfasamento temporale tra i due colmi con un benefico rallentamento complessivo della piena uscente rispetto a quella entrante.

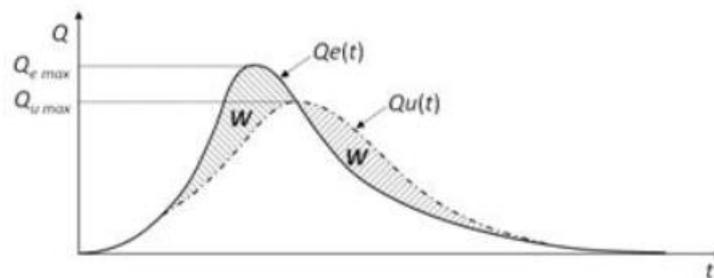


Figura 6 Rappresentazione del processo di laminazione da Allegato G del R.R.Lombardia 2019

In particolare, risulta significativo il caso semplificato di "laminazione ottimale", intesa come la laminazione che si ottiene quando la portata uscente è costante durante la fase di colmo (Figura 7). Si può notare che, se viene prefissato il valore  $Q_{u,max}$  e si mantiene costantemente pari ad esso la portata uscente, è minimo il volume di laminazione  $W_0$  necessario; vale a dire che a parità di volume di invaso disponibile  $W_0$ , il conseguente valore di  $Q_{u,max}$  risulta minimo ottenendosi così il massimo effetto di laminazione.

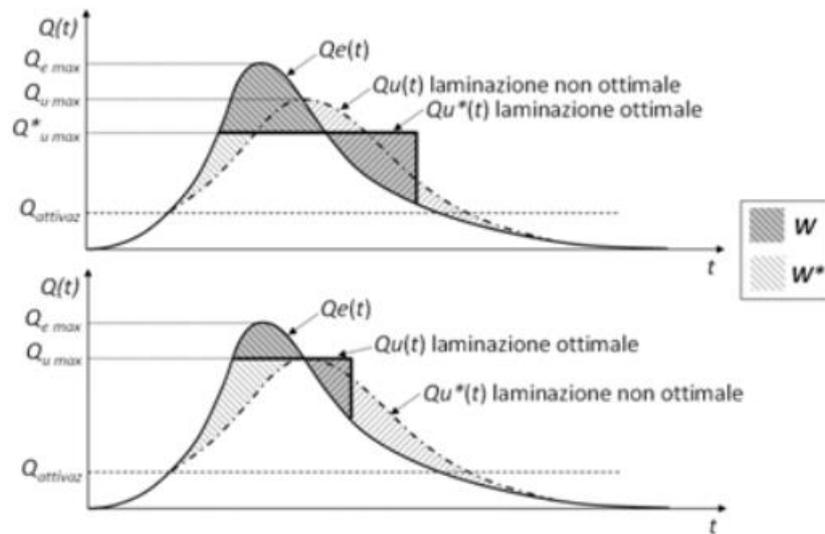


Figura 7 Laminazione ottimale a parità di volume invasato  $W$  (sopra) e a parità di portata uscente massima  $Q_u\ max$  (sotto) da Allegato G del R.R.Lombardia 2019

Una volta ricavato il volume da gestire, il Regolamento Regionale segna un valore limite per il tempo di svuotamento degli invasi di laminazione pari a 48 ore, per tenere conto di possibili eventi meteorici ravvicinati. Questo viene calcolato in funzione delle portate uscenti e di quelle di infiltrazione a partire dal massimo invaso, è, dunque, pari a

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_u + Q_{inf}}$$

## 2.2 DPREG 083 DEL 2018 – FRIULI VENEZIA GIULIA

A differenza del regolamento precedente, in questo caso viene definito esclusivamente il principio di invarianza idraulica come il “ *principio secondo il quale la trasformazione di un’area avviene senza provocare aggravio della portata di piena del corpo idrico o della rete di drenaggio ricevente i deflussi originati dall’area stessa; l’invarianza idraulica non costituisce misura per il risanamento e la messa in sicurezza delle aree soggette a pericolosità idraulica, bensì rappresenta un criterio elementare di sviluppo sostenibile che consente di pianificare le trasformazioni in modo da non aggravare le situazioni esistenti*”

Per il rispetto di tale principio vengono definiti i seguenti ambiti di applicazione soggetti al presente regolamento:

- *gli strumenti urbanistici comunali generali e loro varianti, qualora comportino trasformazioni urbanistico-territoriali e necessitino del parere geologico;*
- *i piani territoriali infraregionali inclusi i piani regolatori portuali i piani regolatori particolareggiati comunali qualora comportino trasformazioni urbanistico-territoriali;*
- *i progetti degli interventi edilizi soggetti al rilascio di titolo abilitativo nonché quelli subordinati a segnalazione certificata di inizio attività – SCIA;*
- *i progetti degli interventi edilizi consistenti nella realizzazione sul territorio regionale delle opere pubbliche di competenza statale, regionale o comunale;*
- *i progetti degli interventi di trasformazione fondiaria.*

Mentre gli interventi che non sono soggetti all’applicazione del presente regolamento vengono elencati in seguito:

- *subordinati a SCIA, purché la superficie di riferimento “S” sia inferiore od uguale alla superficie di riferimento minima “SMIN”, di cui, rispettivamente, alle lettere s) e t) del comma 1 dell’articolo 3;*
- *soggetti a comunicazione di conformità urbanistica con o senza comunicazione di inizio lavori, purché la superficie di riferimento “S” sia inferiore od uguale alla superficie di riferimento minima “SMIN”;*
- *in attività edilizia libera indipendentemente dalla superficie di riferimento “S” interessata.*

Dal momento in cui si rientri nei casi soggetti all’applicazione del regolamento, si dovrà redigere un elaborato tecnico denominato “Studio di compatibilità idraulica ai fini dell’invarianza idraulica”, seguendo le indicazioni fornite dal regolamento stesso, solo se la trasformazione è considerata significativa, nel caso contrario viene sostituito da asseverazione attestante che la trasformazione non è significativa ai fini dell’invarianza idraulica. Inoltre, deve essere emesso il parere di conformità, da parte della struttura

competente in materia di difesa del suolo, che è vincolante ed è allegato al parere geologico.

I contenuti minimi dello studio di compatibilità idraulica, che vanno riportate in una tabella riassuntiva presente all'interno del regolamento, devono contenere i seguenti punti:

1. Descrizione della trasformazione oggetto dello studio di compatibilità idraulica e delle caratteristiche dei luoghi;
2. Valutazione delle caratteristiche dei luoghi ai fini della determinazione delle misure compensative caratteristiche della rete drenante esistente;
3. Misure compensative e/o di mitigazione del rischio idraulico proposte;
4. Conclusioni dello studio.

Anche in questo caso, viene richiesto un piano di manutenzione, finalizzato al mantenimento dell'efficienza e dell'efficacia e della condizione di sicurezza idraulica sul territorio, ai fini del rilascio del titolo edilizio. Essendo questo a spese e a cura dei proprietari delle aree interessate, al fine di facilitare le operazioni di manutenzione i proprietari possono stipulare convenzioni con gli enti gestori.

Le trasformazioni del territorio vengono suddivise in livelli di significatività; la trasformazione è considerata:

- non significativa, nei casi in cui:
  - la superficie di riferimento  $S$  è inferiore od uguale alla superficie di riferimento  $S_{MIN}$  ovvero  $S \leq S_{MIN}$ ;
  - $S$  è maggiore di  $S_{MIN}$  e il coefficiente di afflusso medio ponderale rimane costante oppure si riduce a seguito della trasformazione;
  - lo scarico delle acque meteoriche provenienti dalla superficie trasformata è recapitato direttamente a mare o in laguna o in altro corpo idrico ricettore il cui livello idrico non risulta influenzato in modo apprezzabile dagli apporti meteorici.
- contenuta, moderata, media, elevata o molto elevata, nel caso di trasformazioni urbanistico-territoriali.
- moderato, medio o elevato, nel caso di trasformazioni fondiarie.

### *2.2.1 Metodo di calcolo*

Anche in questo caso, il livello di significatività in cui si ricade dipende dalla superficie interessata dell'intervento e dal coefficiente di deflusso medio ponderale, suddivisa secondo i criteri riportati in Tabella 3. Per la determinazione del coefficiente di deflusso, si rimanda ai valori di riferimento da utilizzare nei metodi di calcolo all'interno, presenti in

forma tabellare all'interno del regolamento. Nella Tabella 4, invece, si possono osservare gli interventi di mitigazione e il tipo di analisi per la determinazione del volume minimo di invaso da adottare per le trasformazioni urbanistico-territoriale e fondiaria, in base al livello di significatività corrispondente.

Il coefficiente idrometrico massimo ammissibile,  $U_{MAX}$  [ $l/s*ha$ ], definito come la portata massima specifica ammissibile che può essere scaricata nel sistema di drenaggio di valle nella situazione post operam dalla superficie trasformata, viene, in questo caso, fornito o concordato con l'ente gestore del sistema di drenaggio di valle. In assenza dell'indicazione del valore deve essere determinato nella condizione ante operam attraverso i metodi di calcolo proposti.

Livello di significatività della trasformazione art. 5	Trasformazioni urbanistico-territoriali			Trasformazioni fondiaria art.2, c.1 lettera e)
	Strumenti urbanistici comunali generali e loro varianti art.2, c.1 lettera a)	Piani territoriali infraregionali, piani regolatori portuali, piani regolatori particolareggiati comunali art.2, c.1 lettera b)	Interventi edilizi art.2, c.1, lettere c), d)	
<b>NON SIGNIFICATIVO</b> oppure <b>TRASCURABILE</b> art. 5, c. 3	$S \leq 500$ mq oppure $S > 500$ mq e $\Psi_{medio}$ rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 500$ mq oppure $S > 500$ mq e $\Psi_{medio}$ rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 500$ mq oppure $S > 500$ mq e $\Psi_{medio}$ rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	$S \leq 1.0$ ha oppure $S > 1.0$ ha e $\Psi_{medio}$ rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...
<b>CONTENUTO</b>	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	$500 \text{ mq} < S \leq 1000 \text{ mq}$	
<b>MODERATO</b>	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1000 \text{ mq} < S \leq 5000 \text{ mq}$	$1.0 \text{ ha} < S \leq 10 \text{ ha}$
<b>MEDIO</b>	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	$10 \text{ ha} < S \leq 50 \text{ ha}$
<b>ELEVATO</b>	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} < 0.4$	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} < 0.4$	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} < 0.4$	$S > 50 \text{ ha}$
<b>MOLTO ELEVATO</b>	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} \geq 0.4$	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} \geq 0.4$	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} \geq 0.4$	

Tabella 3 livelli di significatività delle trasformazioni

Trasformazioni urbanistico-territoriali		
Livello di significatività della trasformazione	Estensione della superficie di riferimento S e valore del coefficiente $\Psi_{medio}$	Interventi di mitigazione e tipo di analisi per la determinazione del volume minimo di invaso
<b>NON SIGNIFICATIVO oppure TRASCURABILE</b> art. 5, c. 3	$S \leq 500$ mq oppure $S > 500$ mq e $\Psi_{medio}$ rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' raccomandato l'utilizzo delle buone pratiche costruttive</li> <li>• Lo studio di compatibilità idraulica è sostituito da asseverazione</li> </ul>
<b>CONTENUTO</b>	$500 < S \leq 1000$ mq	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche costruttive</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica in forma semplificata: non sono obbligatori i volumi di invaso per soddisfare l'invarianza idraulica e vanno descritti gli interventi mitigatori introdotti (ad es. buone pratiche costruttive)</li> </ul>
<b>MODERATO</b>	$1000 < S \leq 5000$ mq	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche costruttive</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica con la determinazione dei volumi di invaso utilizzando la soluzione più conservativa tra due dei proposti metodi di calcolo idrologico-idraulico scelti a piacere: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Metodo dell'invaso italiano diretto</li> <li>o Metodo del serbatoio lineare (Paoletti-Rege Gianas, 1979)</li> <li>o Modello delle sole piogge</li> </ul> </li> </ul>
<b>MEDIO</b>	$0.5 \text{ ha} < S \leq 1 \text{ ha}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche costruttive</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica con la determinazione dei volumi di invaso utilizzando la soluzione più conservativa tra due dei proposti metodi di calcolo idrologico-idraulico scelti a piacere: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Metodo del serbatoio lineare (Paoletti-Rege Gianas, 1979)</li> <li>o Metodo cinematico o della corrivazione (Alfonsi-Orsi, 1987)</li> <li>o Modello delle sole piogge</li> </ul> </li> </ul>
<b>ELEVATO</b>	$1 \text{ ha} < S \leq 5 \text{ ha}$ oppure $S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} < 0.4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche costruttive</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica con la determinazione dei volumi di invaso utilizzando la soluzione più conservativa tra due dei proposti metodi di calcolo idrologico-idraulico scelti a piacere: <ul style="list-style-type: none"> <li>o Metodo del serbatoio lineare (Paoletti-Rege Gianas, 1979)</li> <li>o Metodo cinematico o della corrivazione (Alfonsi-Orsi, 1987)</li> <li>o Modellistica idrologico-idraulica</li> </ul> </li> </ul>
<b>MOLTO ELEVATO</b>	$S > 5 \text{ ha}$ e $\Psi_{medio} \geq 0.4$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche costruttive</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica ed esso deve prevedere un approccio matematico che includa l'utilizzo della modellistica idrologico-idraulica</li> </ul>

Trasformazioni fondiarie		
Livello di significatività della trasformazione	Estensione della superficie di riferimento S	Requisiti e tipo di analisi per la determinazione del volume minimo di invaso
<b>NON SIGNIFICATIVO oppure TRASCURABILE</b> art. 5, c. 5	$S \leq 1.0$ ha oppure $S > 1.0$ ha e $\Psi_{\text{medio}}$ rimane costante o diminuisce oppure scarico diretto a mare, laguna, ...	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' raccomandato l'utilizzo delle buone pratiche agricole</li> <li>• Lo studio di compatibilità idraulica è sostituito da asseverazione</li> </ul>
<b>MODERATO</b>	$1.0 \text{ ha} < S \leq 10 \text{ ha}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche agricole</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica con la determinazione dei volumi di invaso utilizzando il metodo dell'invaso italiano diretto</li> </ul>
<b>MEDIO</b>	$10 \text{ ha} < S \leq 50 \text{ ha}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche agricole</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica con la determinazione dei volumi di invaso utilizzando il metodo del serbatoio lineare (Paoletti-Rege Gianas, 1979)</li> </ul>
<b>ELEVATO</b>	$S > 50 \text{ ha}$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• E' obbligatorio l'utilizzo delle buone pratiche agricole</li> <li>• E' obbligatorio lo studio di compatibilità idraulica ed esso deve prevedere un approccio matematico che includa l'utilizzo della modellistica idrologico-idraulica</li> </ul>

Tabella 4 Interventi di mitigazione e metodi di calcolo idrologico idraulico

L'analisi pluviometrica viene effettuata attraverso l'applicativo RainMap FVG, di proprietà regionale, che fornisce le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e la rappresentazione tabellare delle precipitazioni massime orarie attese, in funzione della durata e del tempo di ritorno per una determinata località assegnate le coordinate di riferimento. Le caratteristiche del software e le modalità di utilizzo vengono esposti all'interno del regolamento. Il tempo di ritorno delle piogge cui fare riferimento e da assumere negli studi idraulici di dimensionamento delle opere viene definito pari a 50 anni, per tenere conto della crescita dell'urbanizzazione ed i cambiamenti climatici in atto.

In riferimento dei metodi di calcolo idrologico ed idraulico che possono essere utilizzati per il dimensionamento dei volumi di invaso, in base al livello di significatività come riportato nella Tabella 4, sono i seguenti:

- il metodo italiano diretto;
- Il metodo del serbatoio lineare (Paoletti-Rege Gianas, 1979);
- il metodo delle sole piogge;
- il metodo cinematico o della corrivazione (Alfonsi-Orsi, 1967);
- la modellistica idrologico-idraulica

Una volta ricavati i volumi minimi, il presente regolamento consiglia, comunque, di aumentare il valori ottenuti di almeno il 20% dato il comportamento ideale dei fenomeni idrologici ed idraulici ipotizzato dai proposti metodi di calcolo.

Come indicato dalla tabella, il criterio da adottare, in merito ai requisiti e il tipo di analisi per la determinazione del volume minimo d'invaso, per gli interventi ricadenti nei livelli di significatività moderato, medio o elevato è quello di utilizzare la soluzione più conservativa scegliendo almeno due dei metodi proposti descritti in seguito. Invece, l'utilizzo delle buone pratiche costruttive è obbligatorio per tutti i livelli di significatività ad esclusione delle trasformazione non significative, dove vengono solamente raccomandati.

Il metodo italiano diretto, particolarmente indicato nel caso di trasformazioni di suoli agricoli, permette, in maniera diretta, di calcolare i volumi d'invaso necessari per regolare il picco di piena semplicemente mantenendo costante il coefficiente udometrico al variare del coefficiente di deflusso  $\varphi$ . Quindi si scrive che

$$w = w_0 \left( \frac{\varphi}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - v_0 I - w_0 P$$

con:

$$\varphi_0 = 0.9 \cdot Imp^0 + 0.2 \cdot Per^0$$

$$\varphi = 0.9 \cdot Imp + 0.2 \cdot Per$$

dove:

$w$  = volume specifico di laminazione da calcolare espresso in  $m^3/ha$

$w_0$  = volume specifico naturalmente disponibile espresso in  $m^3/ha$

$\varphi_0$  = coefficiente di deflusso ante operam

$\varphi$  = coefficiente di deflusso post operam

$Imp^0$  = frazione area totale da ritenersi impermeabile ante operam

$Imp$  = frazione area totale da ritenersi impermeabile post operam

$Per^0$  = frazione area totale da ritenersi permeabile ante operam

$Per$  = frazione area totale da ritenersi permeabile post operam

$n$  = esponente della curva di possibilità pluviometrica

$I$  = frazione di superficie impermeabile e permeabile trasformata rispetto all'area allo stato iniziale

$P$  = frazione di superficie inalterata rispetto allo stato iniziale (nota:  $I + P = 100\%$ )

$v_0$  = valore del volume specifico ( $m^3/ha$ ), si tratta di un valore convenzionale e riferito alla superficie post operam che varia tra 10 a 25  $m^3/ha$  e valori maggiori si attribuiscono a superfici irregolari ed a debole pendenza.

Per il calcolo vengono indicati anche dei valori di  $w_0$  che si hanno in generale:

- $w_0 = 100 \div 150 m^3/ha$  nel caso di trasformazione di aree agricole e di bonifica (ad es. indipendenza dallo stato dei terreni e loro sistemazione, tipo di lavorazione, stato vegetazionale)
- $w_0 = 40 \div 50 m^3/ha$  nel caso di trasformazione di aree in ambito urbano non completamente impermeabilizzate e dotate di fognatura (piccoli invasi dovuti, ad es., a velo idrico, caditoie stradali, ristagni in piccoli avvallamenti del terreno)
- $w_0 = 10 \div 15 m^3/ha$  nel caso di trasformazione di aree in ambito urbano (territorio impermeabilizzato) tenendo conto solo del velo idrico superficiale.

Il secondo metodo esposto è il metodo del serbatoio lineare che si basa sull'ipotesi che il bacino a monte dell'invaso di laminazione si comporti come un invaso lineare e quindi che le portate in ingresso possano essere stimate mediante il modello dell'invaso. Per la ricerca dell'evento critico dell'invaso di laminazione, si determinano gli andamenti delle seguenti grandezze adimensionali seguendo l'approccio degli studiosi Paoletti e Rege Gianas:

$$F(n, m) = \frac{\theta_w}{k}$$

$$G(n, m) = \frac{W_0}{k \cdot Q_c}$$

dove

$k$  = costante d'invaso del bacino (in genere vale  $k = 0,7 \cdot \theta_c$  con  $\theta_c$  = tempo di corrivazione ovvero durata della pioggia che origina la portata critica  $Q_c$ ; in genere si può assumere  $\theta_c = t_e + t_r$  dove  $t_e$  = tempo di entrata nel sistema,  $t_r$  = tempo di rete)

$\theta_c$  = durata critica della pioggia per l'invaso di laminazione (ovvero quella che conduce al minimo volume d'invaso  $W_0$ ). Si evidenzia che, normalmente,  $\theta_w > \theta_c$  dove  $\theta_c$  è la durata della pioggia che origina la portata critica  $Q_c$  del bacino che è la massima portata che transita nel sistema considerato

$W_0$  = volume d'invaso

$Q_c$  = portata critica di invaso (POST OPERAM)

Le grandezze  $F$  e  $G$  sono funzioni del parametro  $n$  della curva di possibilità pluviometrica, della funzione  $D(n)$ , assume valori variabili tra 0,64 e 0,70 nell'ipotesi di  $n$  compreso tra

0,25 e 0,70, e del valore di  $m$ , che corrisponde al rapporto tra le portate critiche calcolate con il metodo dell'invaso lineare.

Le grandezze  $F$ ,  $G$  sono calcolabili utilizzando le seguenti equazioni:

$$n \cdot F + (1 - n) \cdot \ln \left( \frac{\frac{m}{D} \cdot F^{m-1}}{\frac{m}{D} \cdot F^{m-1} - 1} \right) - \frac{\frac{D}{m} \cdot F^{2-n}}{1 - e^{-F}} = 0$$

$$G(n, m) = g(n, m) \cdot F(n, m)$$

$$g(n, m) = \frac{F^{n-1}}{D} - \frac{F^{n-2}}{D} \cdot \ln \left( \frac{\frac{m}{D} \cdot F^{m-1}}{\frac{m}{D} \cdot F^{m-1} - 1} \right) - \frac{1}{m} - \frac{1}{m \cdot F} \cdot \ln \left[ \left( \frac{m \cdot F^{m-1}}{D} - 1 \right) \cdot (1 - e^{-F}) \right]$$

In alternativa le due grandezze  $F$ ,  $G$  possono essere determinate anche mediante l'uso degli abachi esposti in seguito.

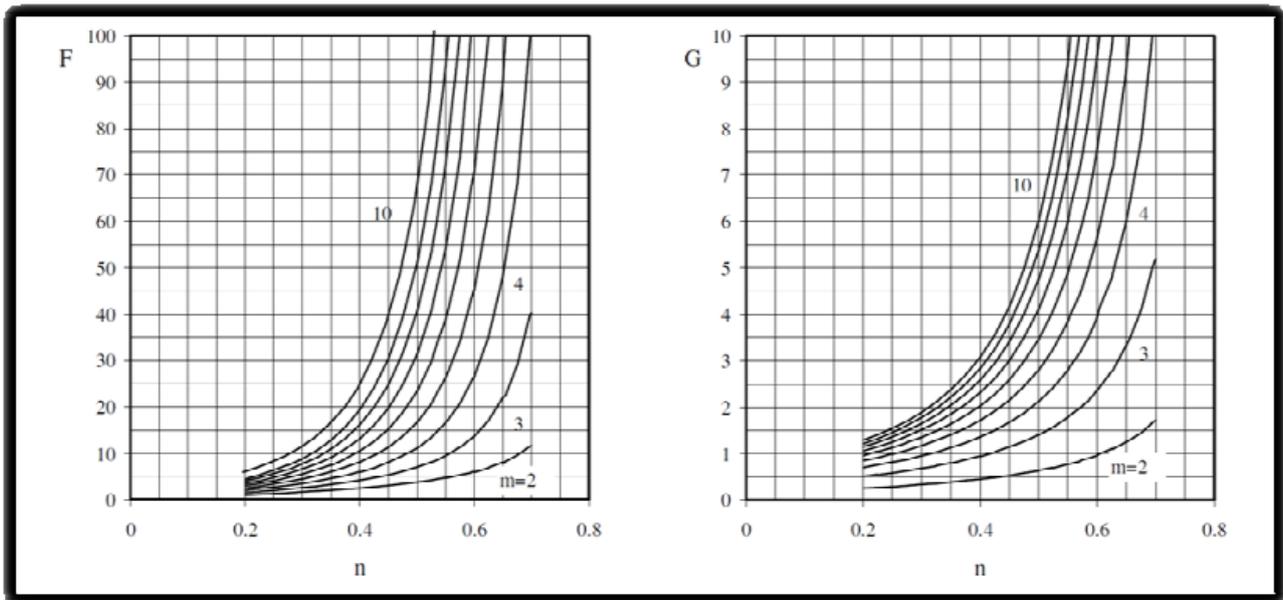


Figura 8 Abachi delle grandezze adimensionali  $F$ ,  $G$

Successivamente, per quanto riguarda il metodo della corrivazione, si comincia ipotizzando che l'intero bacino sia espresso come un sistema composto da tanti canali lineari disposti in parallelo, dove i fenomeni di traslazione dell'acqua vengono considerati prevalenti all'interno del bacino di scolo e la schematizzazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino di monte è di tipo cinematico.

Quindi, il calcolo del volume critico dell'invaso di laminazione avviene nelle seguenti ipotesi semplificate:

- ietogrammi netti di pioggia ad intensità costante
- curva aree-tempi lineare
- svuotamento a portata costante pari a  $Q_{max}$  (laminazione ottimale)

In questo modo, il volume  $W$  invasato può essere ottenuto in funzione della durata  $\theta$  della pioggia, del tempo di corrivazione  $T_0$  del bacino, della portata massima uscente dall'invaso  $Q_{umax}$ , del coefficiente di afflusso  $\Psi$ , della superficie di riferimento  $S$  e dei parametri pluviometrici  $a$  ed  $n$ :

$$W = \Psi \cdot S \cdot a \cdot \theta^n + T_0 \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta^{1-n}}{\Psi \cdot S \cdot a} - Q_u \cdot \theta - Q_u \cdot T_0$$

imponendo la condizione di massimo per il volume  $W$  tramite la derivazione dell'equazione appena descritta rispetto alla durata  $\theta$  ed eguagliando a zero si trova:

$$n \cdot \Psi \cdot S \cdot a \cdot \theta_w^{n-1} + (1-n) \cdot T_0 \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta_w^{-n}}{\Psi \cdot S \cdot a} - Q_u = 0$$

A questo punto attraverso questa relazione la durata critica  $\theta_w$  riferita all'invaso di laminazione può facilmente ottenuta e, inserendo nell'equazione per il calcolo di  $W$ , consente di ricavare il valore, espresso in  $m^3$ , da assegnare all'invaso stesso  $W_0$ :

$$W_0 = 10 \cdot \Psi \cdot S \cdot a \cdot \theta_w^n + 1.295 \cdot T_0 \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta_w^{1-n}}{\Psi \cdot S \cdot a} - 3.6 \cdot Q_u \cdot \theta_w - 3.6 \cdot Q_u \cdot T_0$$

Si evidenzia che nell'uso tradizionale la formula razionale viene utilizzata adottando il metodo di corrivazione. Pertanto, la portata critica  $Q_c$  (l/s) ha una durata critica pari al tempo di corrivazione del bacino  $T_0$  (ore) e può essere calcolata con la seguente espressione:

$$Q_c = 2.78 \cdot S \cdot \Psi \cdot a \cdot T_0^{n-1}$$

Nel caso in cui si ricada nel livello di significatività molto elevata, il regolamento impone l'utilizzo del metodo della modellistica idrologico-idraulica. Il modello, che è più adatto per la verifica di reticoli drenanti complessi aventi media o elevata estensione, deve seguire i seguenti passaggi:

1. individuazione della pioggia di progetto (ietogramma) con  $Tr=50$  anni, con i parametri pluviometrici calcolati utilizzando RainMap FVG;
2. suddivisione del bacino in sottobacini;
3. schematizzazione di ciascun sottobacino (approccio concettuale);

4. calcolo della trasformazione afflussi-deflussi (modulo idrologico) per ogni singolo sottobacino;
5. calcolo della propagazione dei deflussi di piena in rete (modulo idraulico);
6. dimensionamento delle opere e dei manufatti di laminazione.

Se disponibili, viene consigliata la calibrazione e la verifica del modello con serie storiche di dati. È da evidenziare l'ampia libertà di scelta del metodo di calcolo purché l'approccio includa necessariamente i seguenti punti:

- la determinazione della pioggia netta (utilizzando, a scelta, il metodo di Green-Ampt, Horton oppure Curve Number);
- l'utilizzo di uno o più ietogrammi di progetto di tipo Chicago (in quanto lo ietogramma di tipo costante conduce spesso ad una sottostima dei valori critici e la sua intensità risulta inferiore all'intensità di picco degli eventi reali);
- l'indicazione degli eventi critici di progetto ovvero la determinazione delle condizioni critiche che si riferiscono, a seconda del manufatto da dimensionare, alla portata di picco che il sistema dovrà essere in grado di smaltire ed al volume di piena che l'opera o le opere (ad es. vasche volano) dovranno laminare in funzione dei vincoli di portata allo scarico.

L'adozione delle buone pratiche costruttive e agricole, che sono richieste in qualsiasi livello di significatività in cui si ricade, ha la funzione principale di attenuare i volumi e i picchi di piena, riguardando, specificatamente, il controllo delle acque meteoriche superficiali che si originano da una superficie drenante. Dunque, le buone pratiche costruttive hanno come obiettivo quello del raggiungimento di una minore impermeabilizzazione del suolo, all'agevolazione dell'evapotraspirazione nonché all'infiltrazione delle acque meteoriche superficiali nel suolo nel rispetto della vigente normativa ambientale. Per quanto riguarda la consultazione delle buone pratiche, all'interno del regolamento vengono espone e descritte quelle maggiormente utilizzate.

Una volta determinati i volumi minimi d'invaso secondo i criteri richiesti, la gestione di questi volumi deve essere affidata a dei dispositivi di compensazione che possono essere adottati ai fini del rispetto dell'invarianza idraulica, nel regolamento vengono indicati i seguenti:

- vasche volano: elementi componibili prefabbricati che possono essere disposti in serie o essere costituiti da elementi monolitici. Queste vasche possono essere installati in superficie oppure interrati;
- bacini di detenzione: hanno la funzione di trattenere il deflusso delle acque piovane. Sono realizzati, tipicamente, in depressioni naturali o artificiali del terreno e possono essere svuotati o lasciati permanentemente riempiti per funzioni paesaggistiche e ricreative;

- supertubi: sono collettori di diametro molto superiore a quelli situati subito a monte e a valle di essi e la portata viene regolata da una bocca d'efflusso in grado di limitare la portata in uscita.

Tali dispositivi, dotati di piano di manutenzione, devono essere monitorati nel tempo al fine del mantenimento delle prestazioni. In aggiunta, i dispositivi devono essere muniti di eventuali dispositivi di troppo pieno di sicurezza con recapito in rete di smaltimento superficiale con quota d'innescò superiore a quella della tubazione entrante e devono svuotarsi entro 48 ore onde ripristinare la capacità d'invaso quanto prima possibile.

Per garantire un'infiltrazione facilitata le cui acque di origine meteorica non necessitano di un trattamento, si possono utilizzare dei dispositivi idraulici. Questi dispositivi, il cui uso non è obbligatorio, si possono predisporre laddove sono verificate in contemporanea le seguenti condizioni:

- la soggiacenza minima della falda acquifera rispetto al piano campagna e la distanza della stessa dal fondo dell'opera disperdente deve essere pari ad almeno 2,0 m;
- non devono sussistere pericoli di instabilità dei suoli e sottosuoli ovvero deve essere preservato il grado di sicurezza di eventuali opere di fondazione presenti (vanno, ad esempio, posizionati ad opportuna distanza e/o profondità);
- le dispersioni nel terreno delle acque meteoriche superficiali non devono causare inquinamenti delle falde acquifere presenti;
- i terreni devono possedere un adeguato grado di permeabilità idraulica ovvero  $K \geq 10^{-5}$  m/s. Tale valore può essere verificato attraverso una tabella indicativa (Tabella 5).

<b>Tipo di suolo</b>	<b>Permeabilità idraulica K (m/s)</b>
Ciottoli, ghiaia (senza elementi fini)	$10^{-2} - 1.0$
Sabbia pulita, sabbia e ghiaia	$10^{-5} \div 10^{-2}$
Sabbia molto fine	$10^{-6} \div 10^{-4}$
Limo e sabbia argillosa	$10^{-9} \div 10^{-5}$
Limo	$10^{-9} \div 10^{-6}$
Argilla sovraconsolidata fessurata	$10^{-9} \div 10^{-4}$
Argilla omogenea sotto falda	$< 10^{-9}$
Roccia non fessurata	$10^{-12} \div 10^{-10}$

Tabella 5 Tabella dei valori indicativi di permeabilità idraulica rispetto al tipo di suolo

Anche in questo caso vengono indicati i dispositivi idraulici che sono maggiormente utilizzati nel campo delle costruzioni.

Sempre in merito ai dispositivi idraulici, è importante tenere conto che questi dispositivi possono essere utilizzati come misura compensativa per la laminazione delle piene fino ad un massimo del 50% degli incrementi di portata. Si può arrivare ad una incidenza massima del 75% degli incrementi di portata qualora la funzionalità del sistema a smaltire gli eccessi di portata prodotti dalle superfici trasformate rispetto alle condizioni originarie. In questo caso, il tempo di ritorno di progetto viene mantenuto a 50 anni nei territori di collina e montagna ma aumentato a 100 anni nei territori di pianura.

## 2.3 ART.47 DEL NTA DEL PAI – REGOLAMENTO SARDEGNA

Il regolamento inizia definendo i seguenti punti dall'articolo 47 del NTA del PAI:

1. *“Per invarianza idraulica si intende il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei recettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione”.*
2. *I comuni in sede di redazione degli strumenti urbanistici generali o di loro varianti generali e in sede di redazione degli strumenti urbanistici attuativi, stabiliscono che le trasformazioni dell'uso del suolo rispettino il principio dell'invarianza idraulica.*
3. *Gli strumenti urbanistici generali ed attuativi individuano e definiscono le infrastrutture necessarie per soddisfare il principio dell'invarianza idraulica per gli ambiti di nuova trasformazione e disciplinano le modalità per il suo conseguimento, anche mediante la realizzazione di vasche di laminazione.*
4. *Sono fatte salve eventuali normative già adottate dai comuni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica.*
5. *La Regione approva normative specifiche con l'obiettivo di incentivare il perseguimento del principio della invarianza idraulica anche per i contesti edificati esistenti.*

Oltre alle analisi di tipo idrologico e idraulico, è necessario che vengano considerati anche i seguenti aspetti:

- L'invarianza del punto di recapito. Quindi è necessario convogliare le acque nel medesimo ricettore utilizzato nello stato attuale, al fine di non aggravare le reti limitrofe.
- L'invarianza delle quote altimetriche. Mantenendo, in questo, fissa la quota del piano campagna in modo tale da evitare effetti negativi per le aree limitrofe. Si può alterare tale quota solo nel caso di miglioramento delle condizioni di drenaggio e ritenzione.
- L'invarianza nella capacità di dreno delle aree limitrofe.

La classificazione delle trasformazioni territoriali, che dipendono, in questo caso, solo dalla superficie interessata dall'intervento, vengono suddivise secondo quanto indicato nella Tabella 6.

<b>Classe</b>	<b>Livello di impermeabilizzazione potenziale</b>	<b>Superficie territoriale</b>
<b>a</b>	trascurabile	inferiore a 0.1 ha
<b>b</b>	modesta	compresa tra 0.1 e 0.5 ha
<b>c</b>	significativa	compresa tra 0.5 e 10 ha
<b>d</b>	sostanziale	superiore a 10 ha

*Tabella 6 definizione delle classi degli interventi di trasformazione*

In questo caso, il regolamento della Regione Sardegna richiede l'applicazione delle linee guida a qualsiasi intervento di trasformazione ricadente in una delle classi d'intervento, indipendentemente dall'area di pericolosità PAI, ad esclusione dei piani particolareggiati dei centri di antica e prima formazione indicati dal PPR e dei piani attuativi, comprese loro varianti, già utilizzati in maniera definitiva con deliberazione del Consiglio Comunale alla data del 23/11/2016.

Nel caso si ricada in classe d'intervento a, si richiede solamente l'utilizzo dei buoni criteri costruttivi delle reti di dreno in modo tale che sia assicurato un margine di sicurezza per le sezioni, la riduzione delle superfici impermeabili a favore di soluzioni più permeabili.

Per gli interventi di classe b, si ritiene opportuno il sovradimensionamento della rete di dreno con la realizzazione di volumi compensativi, con funzione di laminazione, nelle condotte e nei canali che, quindi, non devono solo occuparsi del trasporto della portata di picco.

In classe c si dovrà assicurare che la portata massima defluente dall'area non superi i valori precedenti la trasformazione. Dunque, si ritiene necessaria la verifica del ricettore e la realizzazione di opere di compensazione costituiti di elaborati grafici e relazioni tecnica.

Gli interventi ricadenti nella classe d, di sostanziale impermeabilizzazione potenziale, rispetto alla classe precedente, è richiesta un'ulteriore analisi della trasformazione nel contesto più ampio del bacino idrografico di appartenenza. In questo caso, bisogna considerare le possibili interazioni con il bacino e i vincoli derivanti da quest'ultimo per la scelta delle misure di compensazione da adottare.

### *2.3.1 Metodi di calcolo*

I metodi di calcolo vengono esposti in maniera dettagliata per ogni classe. I tempi di ritorno da utilizzare sono:

1.  $Tr=50$  anni per la verifica complessiva del principio di invarianza idraulica

2.  $T_r=20$  anni per il dimensionamento della rete di drenaggio interna all'intervento, evidenziando che tale valore può essere modificato solo in termini di aumento del tempo di ritorno

L'altezza di pioggia  $h$  corrispondente alla durata e al tempo di ritorno considerato viene calcolato sulla base delle curve di possibilità pluviometrica regionalizzate per la Regione Sardegna.

In seguito, vengono esposti i metodi di calcolo proposti dal regolamento per la valutazione delle portate di picco e i volumi d'invaso da realizzare in base alla classificazione degli interventi di trasformazione.

I calcoli da effettuare per la classe b sono i seguenti:

- determinazione del coefficiente di afflusso nello stato attuale ( $\varphi_a$ ) e nello stato post-intervento ( $\varphi_p$ ) calcolati come medie pesate. I valori dei coefficienti di afflusso e del CN sono consultabili all'interno dell'allegato 1.
- stima dell'idrogramma di piena tramite il metodo razionale che esprime la portata nel seguente modo

$$Q = \frac{\varphi \cdot ARF \cdot S \cdot h}{3.6 \cdot \tau}$$

nella quale:

$\varphi$  è il coefficiente di afflusso;

$ARF$  (Areal Reduction Factor – Coefficiente di Riduzione Areale) esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia media su tutto il bacino e l'altezza di pioggia in un punto (centro di scroscio) al suo interno, valutati a parità di durata e di tempo di ritorno;

$S$  è la superficie dell'intervento (espressa in  $\text{km}^2$ );

$h$  è l'altezza di precipitazione, in mm, che cade in un punto del bacino in una durata di precipitazione pari a  $\tau$  e con l'assegnato tempo di ritorno.

L'evento di precipitazione è dato da uno ietogramma ad intensità costante avente una durata di 15 minuti

Si ricavano in questo modo la portata di piena nello stato attuale ( $Q_a$ ) e post-intervento ( $Q_p$ ); la differenza indica l'incremento di portata al colmo dovuto all'intervento di trasformazione territoriale;

- determinazione, quindi, dei volumi  $V_a$  e  $V_p$  la cui differenza  $\Delta V$  indica il volume minimo di accumulo;

Infine, è utile segnalare che viene riportato un esempio applicativo riguardanti gli interventi di modesta impermeabilizzazione potenziale nell'Allegato 2 del regolamento.

Per quanto riguarda un intervento di “significativa impermeabilizzazione potenziale”, classe c, richiede un’analisi più approfondita. Innanzitutto, è necessaria la redazione di uno studio di compatibilità idraulica con riferimento al compluvio interessato dall’intervento sulla base delle Linee Guida del PAI, nel caso in cui il comune non sia dotato di tale studio, altrimenti si può richiedere l’estensione all’intero bacino idrografico in cui ricade l’area in esame.

Il procedimento da seguire, come indicato dal regolamento, consiste, in primo luogo, nella caratterizzazione del suolo con riferimento al metodo SCS-CN attraverso uno studio specifico geo-pedologico della zona di intervento. Il tipo di suolo viene selezionato in base a quanto viene riportato in Tabella 7. Nella Tabella 8 viene indicata una sintesi dei parametri caratteristici dei diversi tipi di suolo.

Il passo successivo consiste nell’individuazione del parametro *CN* nello stato attuale, ricavabile tramite l’utilizzo di una tabella, presente all’interno del regolamento, attraverso la quale è possibile stimare il valore del  $CN-I_{\alpha}$  medio. Tuttavia, viene specificato che tali valori sono da utilizzare in fase preliminare e che si debbano condurre rilievi e analisi specialistiche, da effettuare in situ e da documentare, per la definizione dell’uso del suolo.

<b>Tipo di suolo</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b> deflusso superficiale potenziale basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) basso, ed è alta la permeabilità. Sono caratterizzati da avere meno del 10% di argilla e oltre il 90% di sabbia e/o ghiaia e la tessitura è sabbiosa o ghiaiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) è maggiore di 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con alta permeabilità per fratturazione e/o carsismo
<b>B</b> deflusso superficiale potenziale moderatamente basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente basso, e l'acqua attraversa il suolo senza impedimenti. Sono caratterizzati da avere tra il 10% e il 20% di argilla e tra il 50 e il 90% di sabbia e la tessitura è sabbioso-franca, franco-sabbiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 3,6 e 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm. Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità, medio-alta e media, per fratturazione e/o carsismo
<b>C</b> Deflusso superficiale potenziale moderatamente alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente alto, e l'acqua attraversa il suolo con qualche limitazione. Sono caratterizzati da avere tra il 20% e il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è prevalentemente franca, franco-limosa, franco-argilloso-sabbioso, franco-argillosa, e franco-argilloso-limosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 0,36 e 3,6 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm Appartengono a questo gruppo anche le rocce con bassa e medio-bassa permeabilità per fratturazione e/o carsismo
<b>D</b> deflusso superficiale potenziale alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) alto, e l'acqua attraversa il suolo con forti limitazioni. Sono caratterizzati da avere oltre il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è argillosa, talvolta anche espandibili. La conducibilità idraulica (Ksat) è $\leq 0,36$ cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è compresa tra 50 cm e 100 cm, e la profondità della falda superficiale è entro i 60 cm Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità molto bassa, le rocce impermeabili e le aree non rilevate o non classificate.

Tabella 7 Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN)

S = sabbiosa; SF = sabbiosa-franca; FS = franco-sabbiosa; F = franca; FL = franco-limosa; FAS = franco-argillosa-sabbiosa; FA = franco-argillosa; FAL = franco-argillosa-limosa; L = limosa; A = argillosa; AS = argillosa-sabbiosa; AL = argillosa-limosa; NR = non rilevato; NC = non classificato

<b>Gruppo idrologico di suolo</b>	<b>Classe tessiturale</b>	<b>Profondità dello strato impermeabile all'acqua (cm)</b>	<b>Profondità della superficie piezometrica (cm)</b>	<b>K<sub>sat</sub> dello strato meno permeabile (cm/h)</b>	<b>Grado di permeabilità</b>
A	S	> 50	> 60	> 14,4	Alto
B	SF - FS	> 50	> 60	3,5 – 14,4	Medio-alto Media
C	F - FL – FAS FA – FAL - L	> 50	> 60	0,36 – 3,6	Medio-basso Basso
D	A – AS - AL	$\geq 50 \leq 100$	< 60	< 0,36	Molto basso
D	qualsiasi	< 50	< 60	< 0,0036	Impermeabile
D	NR /NC				

Tabella 8 Matrice sintetica delle diverse classi in funzione dei tipi di suolo (metodo SCS-CN)

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
SIMILI)					
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE (TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95
DISCARICHE	1321	90	92	94	95
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85
PRATI ARTIFICIALI. COLTURE FORAGGERE OVE SI PUÒ RICONOSCERE UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I SEMINATIVI E UNA CERTA PRODUTTIVITÀ, SONO SEMPRE POTENZIALMENTE RICONVERTITI A SEMINATIVO, POSSONO ESSERE RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE					

Figura 9 Stralcio in riferimento della tabella 5 del regolamento della Regione Sardegna

Per la stima dei valori del  $CN-II_p$ , si deve calcolare una media pesata dei valori corrispondenti alle diverse superfici e tipi di copertura, presenti nell'Allegato I. Per il calcolo della precipitazione netta, il valore del  $CN-II_p$  (AMC II) deve essere opportunamente convertito in  $CN-III_p$  (AMC III).

Per la stima della portata e dell'idrogramma di piena viene richiesto l'utilizzo di un idetogramma tipo Chicago avente una durata di 30 minuti con posizione del picco  $r=0,4$ . Non viene specificato il modello di trasformazione afflussi-deflussi da adottare per la costruzione dell'idrogramma di piena. Una volta ricavato la portata massima defluente dall'intera area nella situazione attuale, possono essere applicati dei fattori correttivi secondo quanto indicato nella Tabella 10. Tali coefficienti dipendono dalla capacità del riceettore di smaltire le portate generate ed è compito del Comune indicare lo stato del riceettore e, quindi, assegnare una delle categorie riportate in tabella.

Capacità di smaltimento del riceettore	Parametro correttivo $k$
Alta	1
Media	0.8
Bassa	0.5

$$Q_{amm} = k Q_a$$

Tabella 9 Tabella dei valori del parametro correttivo  $k$

dove  $Q_a$  è la portata di picco nello stato attuale.

Per la classe d'intervento d, si dovrà estendere la metodologia descritta in precedenza per la classe c, con la specifica che l'approccio di aggregazione e di stima unitaria del

CN deve essere modificata, in maniera opportuna, con l'uso di una modellazione di tipo distribuito.

Una volta ricavati i volumi da gestire, che corrispondono alla differenza tra i volumi ottenuti nello stato attuale e i volumi ottenuti nello stato post-intervento, viene richiesta la realizzazione di misure di compensazione. A questo proposito, all'Allegato 4 del regolamento, vengono esposte varie opzioni, con specifiche schede di approfondimento. Inoltre, ogni soluzione è contraddistinta da una matrice che aiuta il progettista a scegliere la misura più adatta, individuando, tra le altre cose, la destinazione d'uso, tipo di suolo, rischio idraulico, il tempo di svuotamento. Per la scelta dei dispositivi da adottare, la richiesta del regolamento è quella preferire delle modalità che promuovano la realizzazione di servizi per la collettività (parchi, giardini, ecc.), incrementando, in questo modo, il valore ecologico e favorendo la biodiversità.

## 2.4 D.D.G N° 102 23 GIUGNO 2021 – REGOLAMENTO REGIONE SICILIA

In merito al principio di invarianza idraulica e idrologica, il regolamento definisce:

- *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 quelli preesistenti all'urbanizzazione. Tecnicamente l'invarianza idraulica si ottiene, prevalentemente, con la laminazione (accumulo temporaneo) delle portate/volumi di piena.*
- *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. Tecnicamente l'invarianza idrologica si ottiene, prevalentemente, mediante sistemi di infiltrazione nel terreno.*

Tali principi sono da applicare ai seguenti ambiti:

- alle attività di pianificazione urbanistica e territoriale in senso ampio del termine e nelle fasi di rilascio dei provvedimenti abilitativi alla realizzazione dell'attività edilizia
- alle trasformazioni edili ed urbanistiche come nuove costruzioni, demolizioni parziali o totali, ricostruzioni indipendentemente dalla modifica o mantenimento della superficie edificata preesistente e qualsiasi intervento che aumenti la superficie edificata o varia la permeabilità rispetto la condizione preesistente.
- alle infrastrutture di trasporto, cioè strade e autostrade, e loro pertinenze e ai parcheggi che riducono la permeabilità del suolo.

In aggiunta ai metodi proposti, si deve tenere conto delle misure stabilite dal Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sicilia (PdG) e quelle de Piano di Gestione del Rischio alluvioni (PGRA). Infatti, vengono indicate delle misure per la riduzione dei carichi provenienti dal ruscellamento e dall'erosione, esposte in Figura 9.

ID KTM	Descrizione KTM	Codice Azione	Misura	tipologia di Misu	Azione
KTM17	Measures to reduce sediment loads from soil erosion and surface run-off	E22St	Misura di tutela ambientale	Strutturali	Mantenimento della permeabilità dei suoli e della capacità di invaso
KTM17	Measures to reduce sediment loads from soil erosion and surface run-off	C1Re	Misure per ridurre i carichi puntuali	Regolamentazioni	Definizione norme edilizie ed urbanistiche, per i nuovi insediamenti, per l'applicazione di criteri costruttivi volti alla limitazione delle superfici impermeabilizzate
KTM17	Measures to reduce sediment loads from soil erosion and surface run-off	E7In	Misura di tutela ambientale	Incentivazione	Incentivazione delle operazioni di riqualificazione delle aree urbane degradate al fine di ridurre il consumo di suolo

Figura 10 Tabella delle misure individuate dal PdG

È utile evidenziare che il presente regolamento definisce i riferimenti tecnici da adottare come provvisori, in attesa che vengano integrate le linee guida già presenti dall'Autorità di Bacino del Distretto Idrografico della Sicilia.

Al fine di rispettare il principio d'invarianza idraulica e idrologica, il regolamento richiede l'utilizzo di sistemi di drenaggio urbano sostenibile (SuDS) o alle Misure di Ritenzione Naturale delle Acque (NWRM), descritte ed esposte in maniera dettagliata come misure di compensazione. In riferimento a quanto detto, viene esposto un ordine di priorità per tipologia di soluzioni SuDS o NWRM:

1. mantenimento in condizioni di permeabilità naturale della porzione più ampia possibile della superficie oggetto di trasformazione, e quindi deve essere privilegiato uno sviluppo in verticale delle costruzioni e ridurre al minimo la costipazione del suolo naturale rimodellato;
2. riuso delle acque di pioggia defluenti dalle coperture, tenendo conto dei reali fabbisogni e dei vincoli di qualità per gli usi compatibili;
3. infiltrazione nel suolo o negli strati superficiali del suolo, in maniera compatibile con le caratteristiche del suolo, eventualmente da escludere in caso di falde freatiche poco profonde;
4. scarico in corpo idrico superficiale, naturale o artificiale entro i limiti della sua capacità di portata, previa eventuale laminazione e trattamento di depurazione.
5. Scarico in fognatura entro i limiti della sua capacità di portata o dei limiti imposti dal gestore, previa eventuale laminazione

In aggiunta, viene evidenziata che, nella pianificazione regionale, si debba incentivare, tramite, per esempio, la riduzione degli oneri di urbanizzazione, l'intercettazione e il riuso delle acque meteoriche, misure finalizzate alla riduzione e al rallentamento del deflusso delle acque (realizzazione di tetti verdi, giardini pensili ecc.). Vengono ancora suggeriti ulteriori indicazioni riguardanti la pianificazione regionale quali:

- l'introduzione di parametri urbanistici e edilizi coerenti con il principio d'invarianza idraulica ed idrologica come la superficie minima a verde pertinenziale oppure superfici minime permeabili, ecc.
- sostenere la realizzazione di infrastrutture stradali con superfici drenanti, in modo tale da favorirne l'infiltrazione;
- la separazione, ove possibile, delle acque reflue da quelle meteoriche, prevenendo, in questo caso, il divieto di convogliare le acque meteoriche, escludendo quelle di prima pioggia, nella rete fognaria;
- previsione di interventi di de-impermeabilizzazione di piazzali esiste, qualora non necessari, negli interventi di ristrutturazione edilizia con cambio di destinazione d'uso di edifici produttivi;
- il recupero delle acque meteoriche non solo per la manutenzione delle aree verdi e per la pulizia delle superfici pavimentate, ma anche per l'alimentazione integrativa dei sistemi antincendio.

### 2.4.1 Metodo di calcolo

Il tempo di ritorno, che viene richiesto nel regolamento, è pari a 30 anni, mentre si deve utilizzare pari a 50 anni per la verifica delle opere in condizioni limite e per il dimensionamento e la verifica delle misure locali di protezione idraulica dei beni insediati.

Da tenere conto che, in questo caso, non è presente alcuna indicazione riguardante all'analisi pluviometrica e, quindi, su come ricavare l'altezza di pioggia da utilizzare nei metodi di calcolo. Il valore del coefficiente di deflusso può essere espresso, in maniera semplificata, per tipologia di suolo:

1. Superfici impermeabili:  $\varphi=1$
2. Pavimentazioni drenanti o semipermeabili:  $\varphi=0,7$
3. Aree permeabili:  $\varphi=3$
4. Incolto e uso agricolo:  $\varphi=0$

In riferimento al calcolo dei sistemi di infiltrazione, il regolamento specifica che si dovrà verificare, in maniera preventiva, la quota piezometrica della falda. In base alla distanza dal piano campagna è ammessa l'infiltrazione dell'afflusso meteorico, tenendo sempre in considerazione la qualità delle acque da raccogliere. Si dovrà, inoltre, usare dei valori dei coefficienti di permeabilità cautelativi che includano la tendenza dei materassi permeabili all'intasamento.

Per quanto riguarda la portata limite ammessa allo scarico, questa dipende dall'area di pericolosità del P.A.I in cui l'area di trasformazione ricade, e quindi, il coefficiente udometrico è impostato pari a 10 l/s per ettaro di superficie impermeabilizzata nel caso in cui si ricade all'interno dell'area P3 e P4 del P.A.I, altrimenti il valore sale a 20 l/s\*ha.

Ln questo caso il criterio di calcolo viene suddiviso nella seguente maniera:

- Per interventi aventi superficie interessata minore a 10,000 m<sup>2</sup> si richiede l'applicazione dei requisiti minimi per la realizzazione dei sistemi di raccolta, infiltrazione e laminazione delle acque piovane. Il volume minimo complessivo di queste opere non deve essere inferiore a 500 m<sup>3</sup> per ettaro di superficie scolante impermeabile, ad esclusione delle superfici permeabili adibite a verde e non compattate.
- Per interventi di ristrutturazione, demolizione e ricostruzione o rifacimento di pavimentazione, con aumento della superficie coperta o impermeabilizzata, inferiori a 1000 m<sup>2</sup>, la misura da adottare consiste nell'istallazione di pozzi perdenti di volume compreso tra i 5 e 100 m<sup>3</sup>, in base ai risultati di test di infiltrazione *in situ*.
- Per interventi con superficie maggiore di 10,000 m<sup>2</sup> è richiesta l'elaborazione dello studio sull'invarianza idraulica e idrologica. Ai fini di determinare gli idrogrammi netti, possono essere applicati qualsiasi metodo di trasformazione afflussi-deflussi. Il calcolo del volume di invaso per la laminazione è, infine ricavato adottando il

metodo delle sole piogge attraverso la seguente relazione, già descritta precedentemente

$$V_{\max} = S \cdot \varphi \cdot a \cdot \left( \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{n}{n-1}} - Q_{IMP} \cdot \left( \frac{Q_{IMP}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

- Per interventi con superficie maggiore di 10,000 m<sup>2</sup> e coefficiente di deflusso medio ponderale  $\varphi_i > 50\%$ , si dovranno utilizzare metodi di modellazione numerica, (SWMM, HEC-HMS, ecc.). Inoltre, per ciò che riguarda l'infiltrazione, è necessaria, in fase preliminare, l'esecuzione di prove di permeabilità superficiale e di infiltrazione in situ, per il dimensionamento del sistema disperdente.

Nel calcolo del sistema di laminazione, è ammesso considerare il contributo del volume dei piccoli invasi dovuti a pozzanghere e discontinuità di asfalti ecc., che vengono stimati, in letteratura, pari a 3 mm/m<sup>2</sup>, mentre il massimo riempimento consentito nelle tubazioni fognarie viene fissato al 70%. Il tempo di svuotamento del corpo idrico ricettore o della rete fognaria esistente non deve essere maggiore di 48 ore, affinché venga ripristinata la capacità d'invaso quanto prima.

Infine, viene richiesta:

- l'invarianza del punto di recapito all'interno dello stesso ricettore nello stato di fatto, in caso contrario lo spostamento è richiesta una verifica idrologico-idraulica.
- limitare, se necessario, la variazione della quota del piano campagna della trasformazione a un massimo di 20 cm. Per valori superiori è necessario valutare sistemi che impediscano l'incremento del deflusso sulle aree limitrofe, garantendo il mantenimento o il miglioramento della capacità di drenaggio di tali reti.

## 2.5 TABELLA DI CONFRONTO DEI REGOLAMENTI ADOTTATI

Conclusa la descrizione dei regolamenti regionali, che verranno successivamente applicati a un caso studio, è utile riassumere in questo paragrafo, in maniera sintetica, i vantaggi e gli svantaggi evidenziati nei paragrafi precedenti riguardanti ciascun regolamento considerato, in modo tale da indicare gli elementi che li caratterizzano. Tale caratterizzazione sarà una ottima base di partenza per il confronto.

- **REGOLAMENTO REGIONE LOMBARDIA**

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Completezza di argomenti</li><li>✓ Diversificazione specifica sui criteri di applicazione</li><li>✓ Fornisce esempi sull'applicazione</li><li>✓ Presenza di modalità di integrazione e pianificazione urbanistica comunale</li><li>✓ Meccanismi di promozione dell'applicazione dei principi</li><li>✓ Monetizzazione in alternativa alla realizzazione</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Presenza di requisiti minimi elevati</li></ul>

- **REGOLAMENTO REGIONE FRIULI-VENEZIA-GIULIA**

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"><li>✓ Disponibilità di diversi metodi di calcolo con descrizione</li><li>✓ Diversificazione tra trasformazioni urbane e fondiari</li><li>✓ Presenza di una tabella riassuntiva aventi gli elementi principali dello studio di compatibilità idraulica</li><li>✓ Presenza di tabella dei coefficienti di afflusso di riferimento</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>✗ Possibilità di utilizzare dispositivi idraulici per un incidenza massima del 75% degli incrementi di portata</li><li>✗ Mancanza di meccanismi di promozione</li></ul>

- **REGOLAMENTO SARDEGNA**

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Disponibilità di tabelle per i valori del CN</li> <li>✓ Presenza di tabella per l'individuazione del CN dello stato attuale semplificata</li> <li>✓ Disponibilità di foglio di calcolo elettronico e presenza di esempi per l'applicazione dei metodi di calcolo</li> <li>✓ Definizione del valore di portata massima ammissibile pari alla portata dello stato attuale a meno di un coefficiente correttivo</li> <li>✓ Presenza di schede qualitative per la scelta del metodo di compensazione</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Mancanza di indicazioni precise sulla documentazione da redigere</li> <li>✗ Mancanza di indicazioni differenziate riguardanti i casi in cui non si applica il regolamento</li> <li>✗ Mancanza di meccanismi di promozione</li> </ul>

- **REGOLAMENTO SICILIA**

VANTAGGI	SVANTAGGI
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Promozione di sistemi di drenaggio sostenibili</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✗ Da implementare</li> <li>✗ Mancanza di informazione sulla raccolta dati pluviometrici</li> <li>✗ Poca diversificazione delle classi d'intervento</li> </ul>

- TABELLA DI CONFRONTO

	<u>R.R.</u> <u>LOMBARDIA</u>	<u>R.R.</u> <u>FRIULI-VENEZIA-GIULIA</u>	<u>R.R.</u> <u>SARDEGNA</u>	<u>R.R.</u> <u>SICILIA</u>
Definisce il principio di invarianza idraulica e idrologica	●	Solo idraulica	Solo idraulica	●
Individua ambiti territoriali a seconda della criticità idraulica	●	●	Dipende dal Comune e dal ricettore	●
Differenzia per tipologia di intervento (nuova costruzione, ristrutturazione, demolizione parziale)	●	In base alla superficie minima	●	●
Indica chi è escluso dall'applicazione del regolamento	●	●	●	●
Fornisce un metodo di calcolo per l'infiltrazione	●	●	●	●
Fornisce un metodo di calcolo del volume per la laminazione	●	●	●	●
Fornisce metodo di calcolo per il tempo di svuotamento e valori limite	●	Solo valore limite	Solo valore limite	Solo valore limite
Indica e descrive metodi di compensazione	●	●	●	●
Fornisce dove trovare i dati pluviometrici	●	●	●	●
Indica meccanismi di incentivazione edilizia	●	●	●	●

Suggerisce la monetizzazione per impossibilità di realizzazione degli interventi per l'invarianza	750 €/m <sup>3</sup> d'invaso	●	●	●
Indica la documentazione necessaria per gli interventi	●	●	●	●
Si riferisce esplicitamente anche a infrastrutture (es.strade)	●	●	●	●
Valori massimi scaricabili	10 – 20 l/s per ettaro	Se non indicato, concordato con Ente Gestore	Portata massima nello stato attuale a meno di coefficiente correttivo	10 – 20 l/s per ettaro
Tempi di ritorno richiesti	50 -100 anni	50 anni	20-50 anni	30-50 anni
Coefficienti di deflusso in alternativa a metodi complessi per la stima	1;0,7;0,3	Tabella con valori di riferimento	Tabella con valori di riferimento	1;0,7;0,3
Misura delle portate scaricate	●	●	●	●
Definisce valori minimi di volume da realizzare	800-500-400 m <sup>3</sup> /ha	●	●	500 m <sup>3</sup> /ha
Definisce classi d'intervento a seconda di superficie e/o coefficiente di deflusso	●	●	●	●
Indicazione sulla manutenzione ordinaria e straordinaria	●	●	●	●
Indicazioni per il monitoraggio	●	●	●	●
Distingue tra trasformazioni urbanistico territoriale e fondiari	●	●	●	●
Suggerisce l'integrazione della pianificazione urbanistica	●	●	●	●
Suggerisce modalità e priorità d'intervento	●	Solo modalità	Solo modalità	●

● Presente all'interno del regolamento

● Mancante all'interno del regolamento

### 3 APPLICAZIONE

Una volta analizzati, nel capitolo precedente, i criteri per la determinazione dei sistemi di compensazione da realizzare al fine di rispettare il principio d'invarianza idraulica e idrologica, il prossimo passo consiste nell'applicazione dei regolamenti regionali a un caso studio con l'obiettivo di valutare operativamente quali sono le differenze, e da cosa dipendono, in termini di volumi minimi da gestire.

#### 3.1 DESCRIZIONE DEL CASO STUDIO

Il caso studio preso in esame è un lotto in cui è prevista la realizzazione di un comparto del distretto urbano ToDream. Il progetto, riguardante la costruzione di un polo di attrazione, situato in Corso Romania a Torino (vedi Figura 11), consiste nella riqualificazione dell'ex area industriale Michelin a Torino con una area d'intervento complessiva pari a 270,000 m<sup>2</sup>. Il progetto prevede, inoltre, la realizzazione di negozi, ristoranti e altri servizi che contribuiscono a formare centro all-day experience.

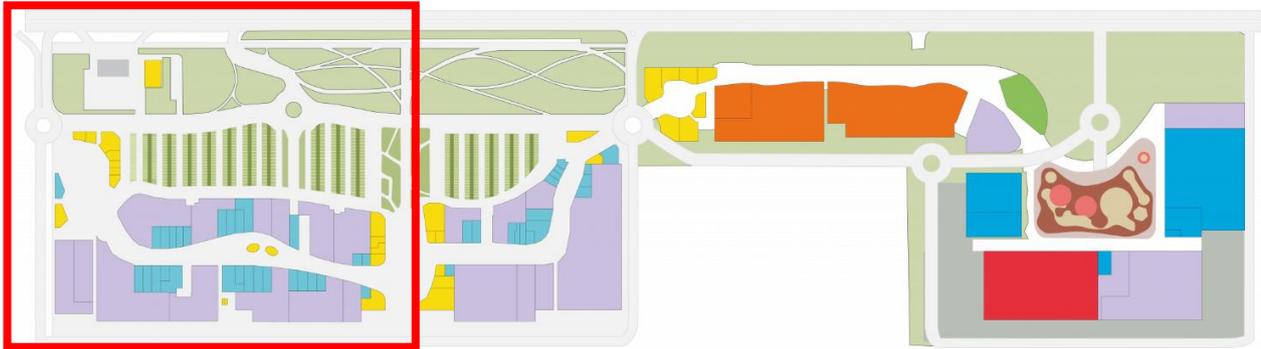


Figura 11 Indicazione caso studio in rosso. Immagine da Google Earth

Per l'applicazione dei metodi di calcolo proposti dai regolamenti regionali, l'area di interesse per il calcolo, evidenziata in rosso in Figura 12, comprende una superficie totale pari a circa 89.000 m<sup>2</sup>, di cui:

- 25.000 m<sup>2</sup> adibita a negozi e servizi;
- 15.000 m<sup>2</sup> dedicata ad area verde;

- 49.000 m<sup>2</sup> destinati a viabilità e parcheggi.



*Figura 12 Masterplan del progetto ToDream*

Inoltre, per la definizione dei coefficienti di deflusso le superfici dedicate a parcheggi e le coperture degli edifici vengono considerate, inizialmente, come superfici impermeabili, data la mancanza di informazioni riguardanti la tipologia di superficie che verrà utilizzata.

### 3.2 R.R. LOMBARDIA 19 APRILE 2019

In fase preliminare è stato verificato quale degli schemi esemplificativi, presenti nell'Allegato 1 del R.R. Lombardia, corrisponde meglio al caso in esame. In questo caso, trattandosi di un intervento di demolizione e successiva nuova costruzione, lo schema mostrato in Figura 13 è risultato il più consono degli schemi esposti. Osservando, quindi, quanto mostrato dalla scheda, viene richiesta l'applicazione del regolamento.

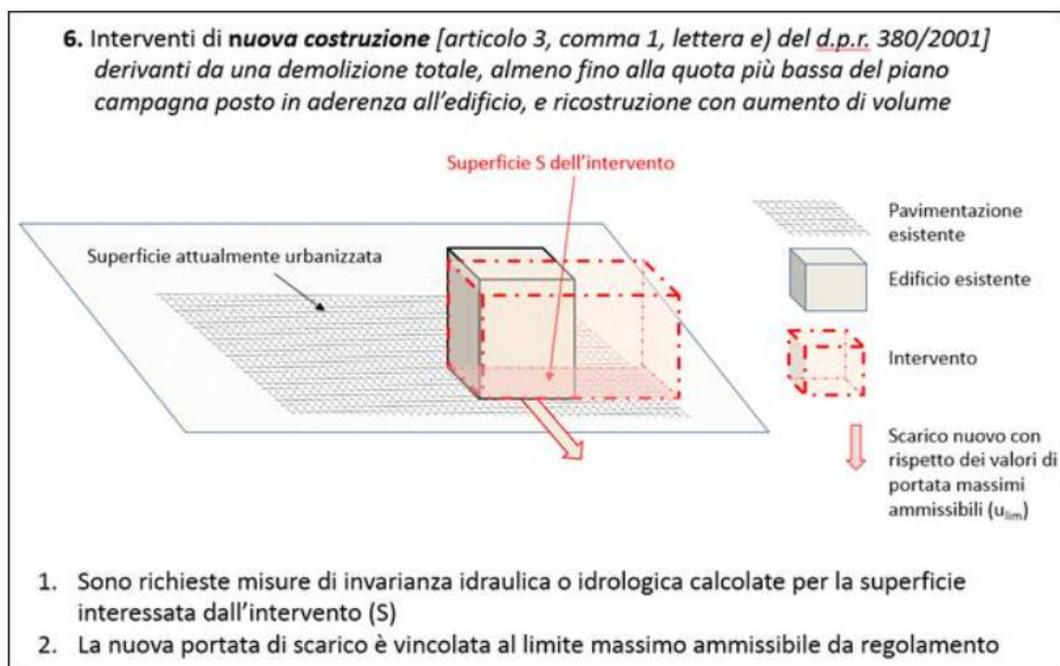


Figura 13 Schema esemplificativo numero 6 degli interventi a cui applicare le misure di invarianza idraulica e idrologica da Allegato 1

In primo luogo, per l'applicazione delle misure di invarianza idraulica e idrologica, sono stati considerati, in via semplificata, i seguenti coefficienti di deflusso per tipologia di suolo, come suggerito dal regolamento stesso:

- superfici impermeabili  $\varphi=1$ ;
- superfici permeabili  $\varphi=0,3$ ;

esprimendo le superfici in ettari, è stato calcolato il coefficiente di deflusso medio ponderale:

$$\varphi_m = \frac{(4.9 \text{ ha} * 1) + (2.5 \text{ ha} * 1) + (1.5 \text{ ha} * 0,3)}{8.9 \text{ ha}} = 0,88$$

con una superficie complessiva interessata pari 8.9 ha e un coefficiente di deflusso medio ponderale maggiore di 0,4, ipotizzando come ambito territoriale l'area B, si ricade nella classe d'intervento 3, impermeabilizzazione potenziale alta, e quindi, si dovrà adottare la procedura dettagliata per il calcolo del volume d'invaso.

CLASSE DI INTERVENTO	SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO		
			AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)		
			Aree A, B	Aree C	
0	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,03 ha (≤ 300 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
1	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 mq a ≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
2	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,03 a ≤ 0,1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G)	Requisiti minimi articolo 12 comma 2
		da > 0,1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq)	qualsiasi		
		da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	≤ 0,4		
3	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Figura 14 Tabella A del R.R.Lombardia 19 aprile 2019

Successivamente, per il calcolo della pioggia di progetto, si procede con la costruzione dello ietogramma di tipo Chicago, come indicato dal regolamento, di durata pari a 30 minuti, maggiore del tempo di corrivazione, con posizione del picco  $r=0,4$ . I parametri della curva di possibilità pluviometrica sono stati ricavati consultando la banca dati dell'Arpa Piemonte, ottenendo i seguenti valori:

$$a_1=30,84 \text{ mm/h}^n$$

$$n=0,26$$

$$\text{Fattore di crescita } K_{50}=1.933$$

In base ai parametri appena citati, si ottiene il seguente ietogramma distribuito nell'arco di 30 minuti con un passo temporale di 1 minuto:

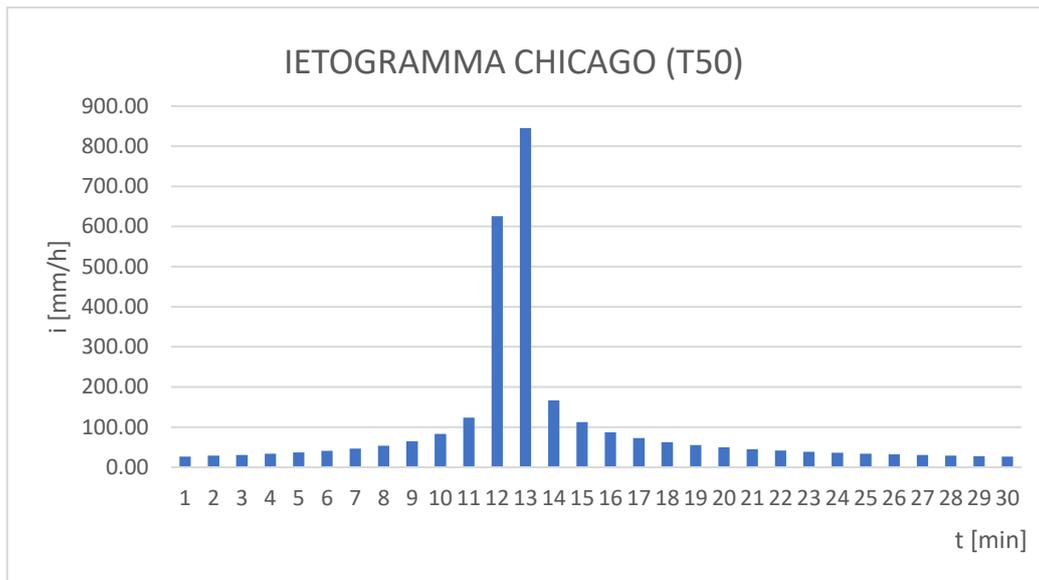


Figura 15 Ietogramma tipo Chicago di durata 30 minuti e tempo di ritorno 50 anni

Per la determinazione dell'idrogramma di piena, si utilizza il metodo di corrivazione come modello afflussi-deflussi. Per applicare il metodo indicato, l'area in esame è stata suddivisa, in maniera semplificata, in tre sottobacini come in Figura 16. Il valore del tempo di corrivazione per ciascun sottobacino è stato ottenuto tramite la somma del tempo di entrata in rete,  $t_e$ , e del tempo in condotta,  $t$ . Per valutare il tempo di entrata in rete, è stato assegnato, in maniera indicativa, il valore in base alla tipologia di suolo e alla superficie presente, quindi assegnando un tempo maggiore per il sottobacino caratterizzato dall'area verde (15 min) e tempi minori per i restanti sottobacini (10 min).

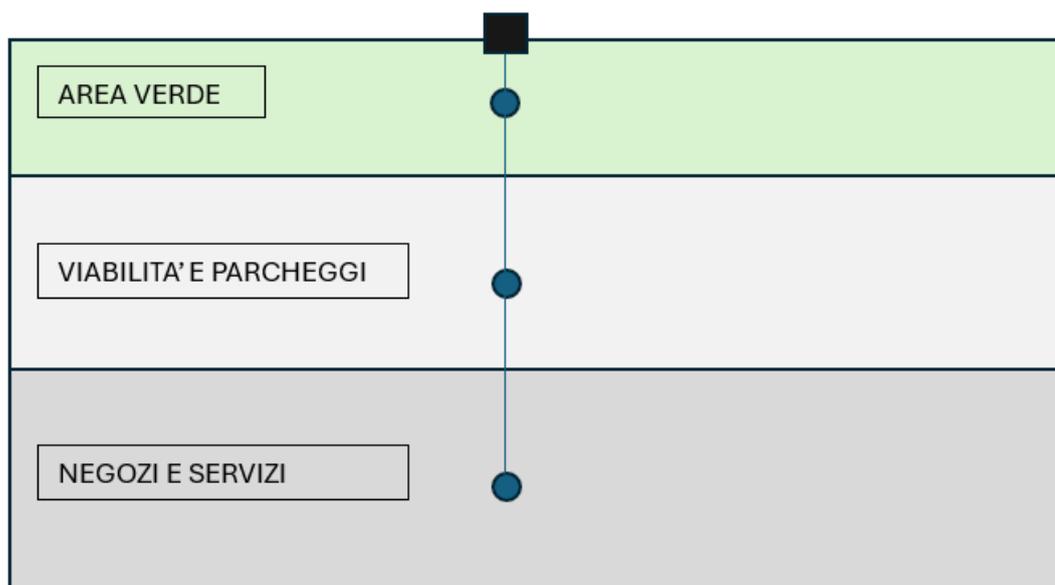


Figura 16 Schema sottobacini

Seguendo lo schema proposto, sono stati assegnati i seguenti valori, considerando per tutti i casi una velocità in condotta pari a 0,5 m/s:

- Area verde:
  - tempo di entrata in rete,  $t_e=15 \text{ min}$
  - tempo in condotta,  $t = L/v = 30 \text{ m}/0,5 \text{ m/s} = 1 \text{ min}$
  - tempo di corrivazione,  $t_r=t_e+t=16 \text{ min}$
- Viabilità e parcheggi:
  - tempo di entrata in rete,  $t_e=10 \text{ min}$
  - tempo in condotta,  $t = L/v = 75 \text{ m}/0,5 \text{ m/s} = 2.5 \text{ min}$
  - tempo di corrivazione,  $t_r=t_e+t=12.5 \text{ min}$
- Negozi e servizi:
  - tempo di entrata in rete,  $t_e=10 \text{ min}$
  - tempo in condotta,  $t = L/v = 145 \text{ m}/0,5 \text{ m/s} = 4.8 \text{ min}$
  - tempo di corrivazione,  $t_r=t_e+t=14.8 \text{ min}$

Dati i differenti tempi di corrivazione dei sottobacini, è stato ricavato il valore dei tempi di uscita, espressi come  $t_r=t_e+\Delta t$ , con  $\Delta t$  che indica l'intervallo di tempo dello ietogramma. Noti questi dati, l'idrogramma di piena è stato ricavato calcolando la portata  $Q$  [ $\text{m}^3/\text{s}$ ] come:

$$Q_i(t_r) = i(t) \cdot A_i \cdot \varphi_i$$

dove:

$i$  è l'intensità di pioggia ricavata dallo ietogramma;

$A_i$  è la superficie del  $i$ -esimo sottobacino;

$\varphi_i$  è il coefficiente di deflusso del  $i$ -esimo sottobacino.

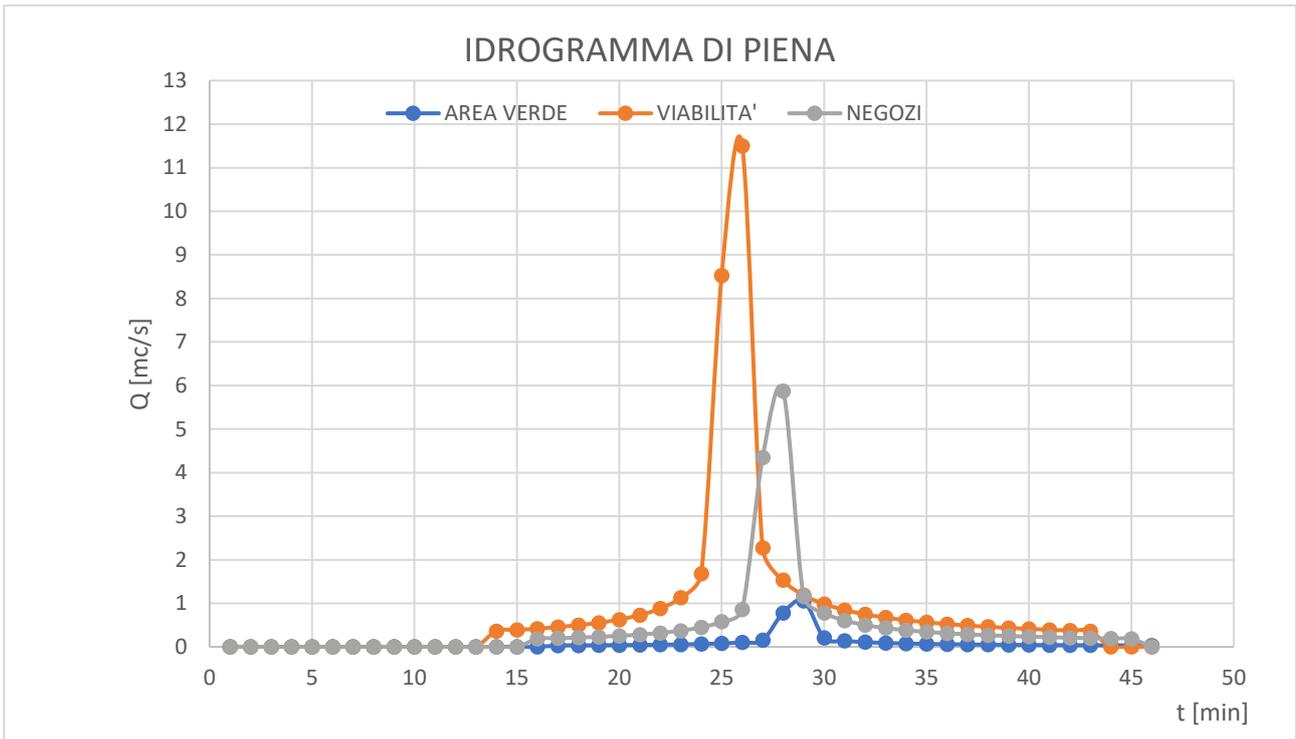


Figura 17 Idrogramma di piena dei singoli sottobacini

Successivamente, si ricava

$$Q_{tot}(t_r) = \sum Q_i(t_r)$$

ottenendo così il seguente grafico delle portate in ingresso:

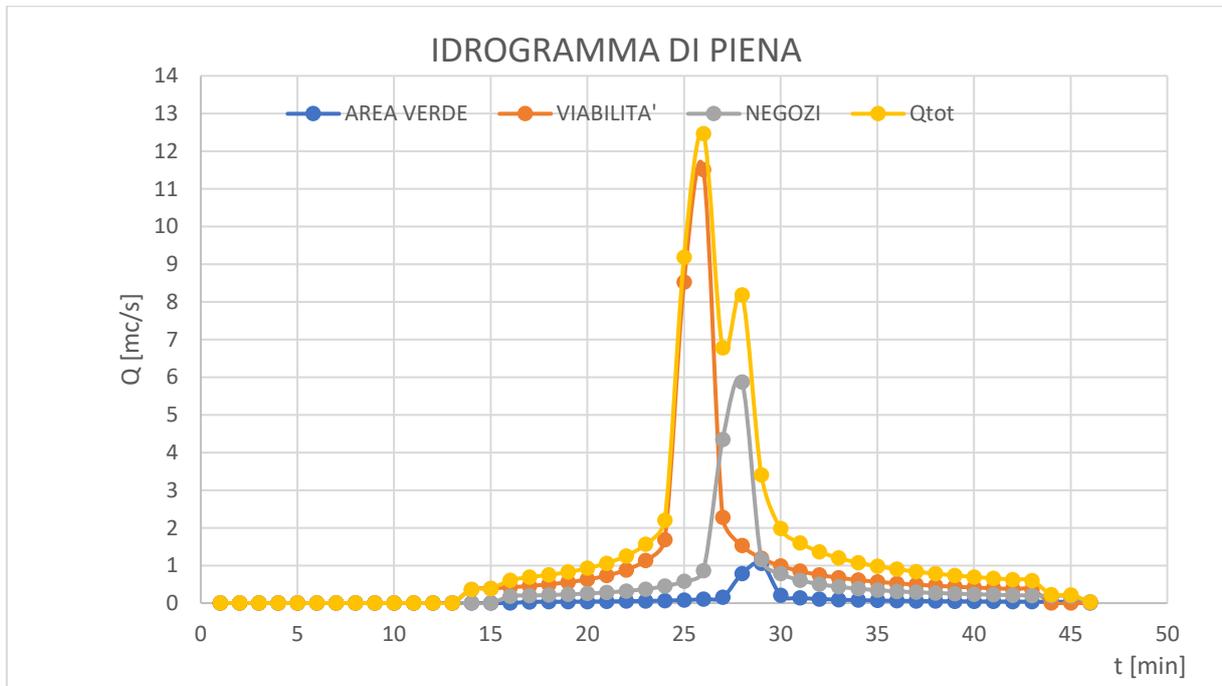


Figura 18 Idrogramma di piena

Considerando un valore di portata scaricabile ammissibile,  $u_{MAX}=20 \text{ l/s}\cdot\text{ha}$ , come indicato dal regolamento per area a media criticità, si ricava il volume d'invaso tramite la seguente relazione:

$$V = (Q_i(t) - u_{MAX} \cdot S_{TOT} \cdot \varphi_m) \cdot \Delta T \quad \text{se } Q_i(t) > u_{MAX} \cdot S_{TOT} \cdot \varphi_m$$

$$V = 0 \quad \text{se } Q_i(t) < u_{MAX} \cdot S_{TOT} \cdot \varphi_m$$

dove  $\Delta T$  corrisponde al passo temporale utilizzato per la costruzione dello ietogramma Chicago. Si ottiene, quindi, un valore di volume d'invaso pari a

$$V=3605 \text{ m}^3$$

che equivale a una volume specifico pari a:

$$v = \frac{V}{\varphi_m \cdot S} = \frac{3908}{0,88 \cdot 8,9} = 498 \text{ m}^3/\text{ha}$$

Il valore così ottenuto è, però, minore del parametro di requisito minimo pari a  $500 \text{ m}^3/\text{ha}$  per l'area B ed è necessario, quindi, adottare il seguente volume per il progetto della vasca di laminazione:

$$V = 500 \frac{\text{m}^3}{\text{ha}} \cdot \varphi_m \cdot S = 3925 \text{ m}^3$$

### 3.3 DPREG 083-2018 – FRIULI VENEZIA GIULIA

In questo caso, si procede, inizialmente, con il calcolo del coefficiente di deflusso medio ponderale dove vengono usati i valori forniti dal regolamento, prendendo il valore medio dei parametri presenti:

Uso del suolo	$\Psi$
Tetti a falde	0.90-1.00
Tetti metallici	0.90-1.00
Tetti a tegole	0.80-0.90
Tetti piani con rivestimento in cls	0.70-0.80
Tetti piani ricoperti di terra	0.30-0.40
Coperture piane con ghiaietto	0.80-0.90
Coperture piane seminate ad erba	0.20-0.30
Rivestimenti bituminosi	0.90-1.00
Pavimentazioni asfaltate	0.80-0.90
Pavimentazioni con asfalto poroso	0.40-0.50
Massiciata in strade ordinarie	0.40-0.80
Pavimentazioni di pietra o mattonelle	0.80-0.90

Tipologia urbana	$\Psi$
Costruzioni dense	0.80-0.90
Costruzioni spaziate	0.70-0.80
Aree con grandi cortili e giardini	0.50-0.60
Quartieri urbani con fabbricati radi	0.30-0.50
Zone a villini	0.30-0.40
Giardini, prati e zone non destinate a costruzioni e a strade	0.20-0.30
Parchi e boschi	0.10-0.20

Tabella 10 Tabella dei valori di riferimento dei coefficienti di afflusso da utilizzare nei metodi di calcolo

Dunque, si ricava che,

$$\varphi_m = \frac{(4.9 \text{ ha} * 0.85) + (2.5 \text{ ha} * 0.95) + (1.5 \text{ ha} * 0,25)}{8.9 \text{ ha}} = 0,78$$

dove le superfici e le tipologie di suolo sono quelli espressi nel paragrafo precedente.

Avendo una superficie d'intervento maggiore di 5 ettari e un coefficiente di deflusso ponderale superiore al valore di 0,4 si ricade in livello di significatività molto elevata. In questo caso viene imposto, oltre l'utilizzo delle buone pratiche costruttive e lo studio di compatibilità idraulica, anche l'adozione della modellistica idrologico-idraulica.

Seguendo i passaggi già esposti in precedenza, sono stati ricavati i parametri della curva di possibilità pluviometrica per un tempo di ritorno  $T_r = 50$  anni, sempre ottenuti dalla banca dati di Arpa Piemonte, che corrispondono a quelli adottati nel caso precedente:

$$\alpha_1 = 30,84 \text{ mm/h}^n$$

$$n = 0,26$$

Fattore di crescita  $K_{50} = 1.933$

e si è ottenuto il seguente ietogramma Chicago di durata 30 minuti e posizione del picco pari a  $r = 0,4$ , per l'individuazione della pioggia di progetto

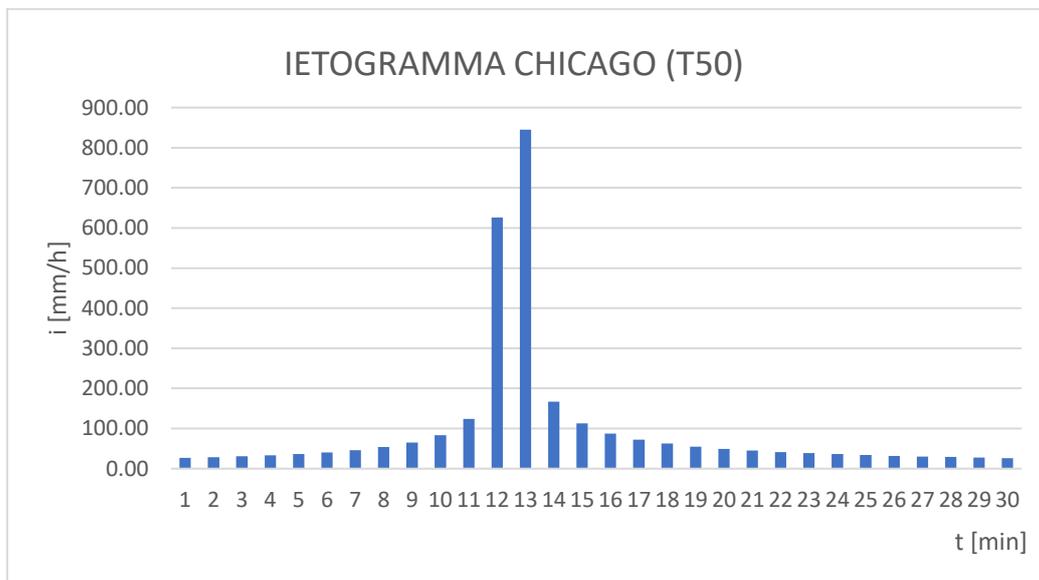


Figura 19 Ietogramma tipo Chicago di durata 30 minuti e tempo di ritorno 50 anni

Successivamente, usando un approccio concettuale, è stato suddiviso il bacino in sottobacini e schematizzato ciascun sottobacino.

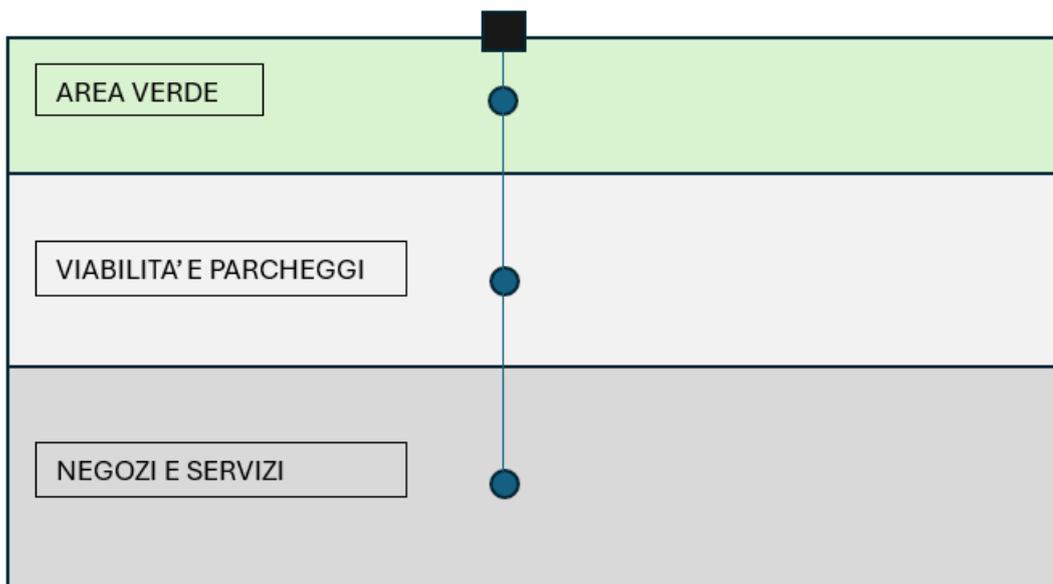


Figura 20 Schematizzazione sottobacini

Per ogni singolo bacino è stato calcolato la trasformazione afflussi-deflussi con il metodo della corrivazione e analogamente al caso del regolamento della Regione Lombardia, è stato costruito il grafico indicante la propagazione dei deflussi di piena in rete.

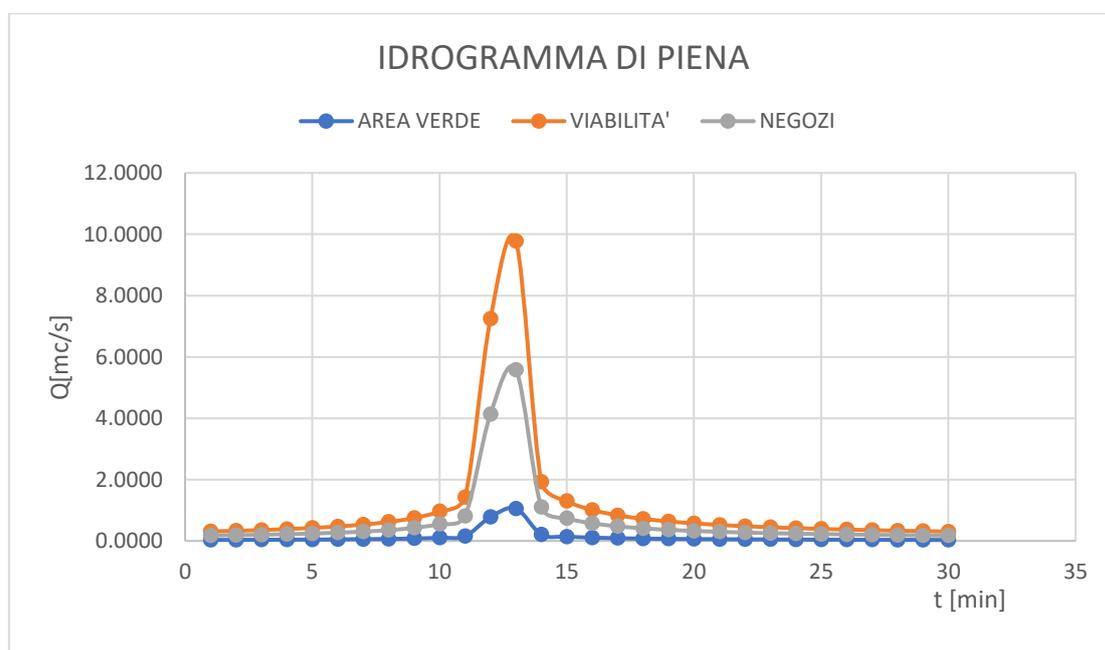


Figura 21 Idrogramma di piena dei singoli sottobacini

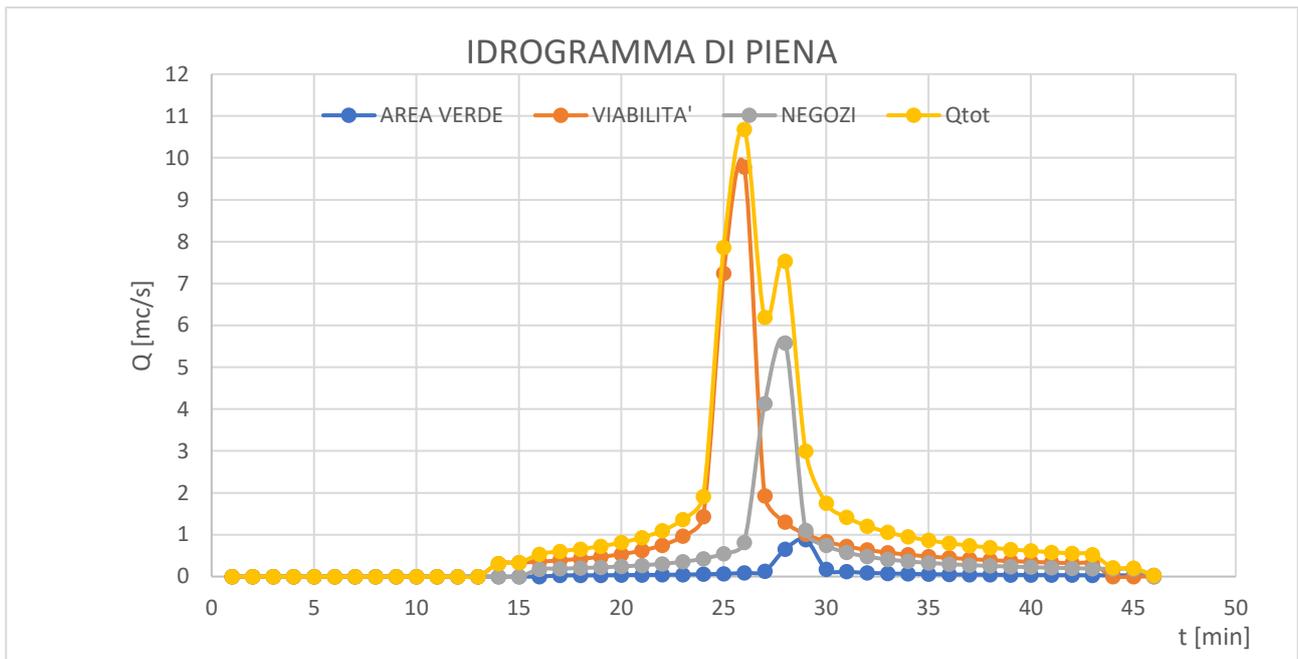


Figura 22 Idrogramma di piena totale nella rete

Infine, per il calcolo delle opere di laminazione da realizzare, considerando un coefficiente udometrico pari a  $20 \text{ l/s*ha}$  si ottiene il volume

$$V=3194 \text{ m}^3$$



Tipo di suolo	Descrizione
<b>A</b>  deflusso superficiale potenziale basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) basso, ed è alta la permeabilità. Sono caratterizzati da avere meno del 10% di argilla e oltre il 90% di sabbia e/o ghiaia e la tessitura è sabbiosa o ghiaiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) è maggiore di 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm.  Appartengono a questo gruppo anche le rocce con alta permeabilità per fratturazione e/o carsismo
<b>B</b>  deflusso superficiale potenziale moderatamente basso	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente basso, e l'acqua attraversa il suolo senza impedimenti. Sono caratterizzati da avere tra il 10% e il 20% di argilla e tra il 50 e il 90% di sabbia e la tessitura è sabbioso-franca, franco-sabbiosa. La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 3,6 e 14,4 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm.  Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità, medio-alta e media, per fratturazione e/o carsismo
<b>C</b>  Deflusso superficiale potenziale moderatamente alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) moderatamente alto, e l'acqua attraversa il suolo con qualche limitazione. Sono caratterizzati da avere tra il 20% e il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è prevalentemente franca, franco-limosa, franco-argilloso-sabbioso, franco-argillosa, e franco-argilloso-limosa.  La conducibilità idraulica (Ksat) varia tra 0,36 e 3,6 cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è maggiore di 50 cm, e la profondità della falda superficiale è superiore a 60 cm  Appartengono a questo gruppo anche le rocce con bassa e medio-bassa permeabilità per fratturazione e/o carsismo
<b>D</b>  deflusso superficiale potenziale alto	I suoli di questo gruppo, quando sono completamente saturi, hanno deflusso superficiale potenziale (runoff) alto, e l'acqua attraversa il suolo con forti limitazioni. Sono caratterizzati da avere oltre il 40% di argilla e meno del 50% di sabbia e la tessitura è argillosa, talvolta anche espandibili.  La conducibilità idraulica (Ksat) è $\leq 0,36$ cm/h per tutta la profondità, la profondità dell'orizzonte impermeabile è compresa tra 50 cm e 100 cm, e la profondità della falda superficiale è entro i 60 cm  Appartengono a questo gruppo anche le rocce con permeabilità molto bassa, le rocce impermeabili e le aree non rilevate o non classificate.

Tabella 13 Descrizione delle tipologie di suolo

Dunque, alla luce delle considerazioni appena fatte è stato ricavato il valore del  $CN-II_a$  pari a 92. Secondo le procedure indicate dall'SCS, questo parametro è stato convertito in  $CN-III_a$  tramite la seguente relazione:

$$CN - III_a = \frac{CN - II_a}{0,43 + (0,0057 \cdot CN - II_a)}$$

ottenendo così un valore pari a 96.4.

Allo stesso modo, gli stessi parametri vengono determinati nello stato post-intervento. Il parametro  $CN-II_p$  viene calcolato come la media pesata dei valori di CN delle diverse tipologie di suolo, ottenuti prendendo il valore medio di quelli indicati nella tabella, presente nel regolamento:

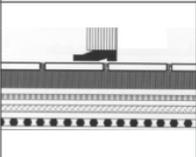
	SEZIONE INDICATIVA O IMMAGINE TIPO	DESCRIZIONE SUPERFICIE	SPECIFICHE O VARIANTI	NORME DI RIFERIMENTO, VALORI LIMITE O INDICAZIONI	$\phi$	CN
S1		Superfici a verde su suolo profondo, prati, orti, superfici boscate ed agricole			0,1	71-78
P10		Pavimentazioni in asfalto o cls			0,9	93-99
				Quando le superfici siano parte integrante di un sistema per il riutilizzo delle acque piovane	Valore da determinare analiticamente e documentare in funzione alla capacità ritenitiva del sottofondo	
C6		Coperture continue con finitura in materiali sigillati (terrazze, lastrici solari, superfici poste sopra a volumi interrati)		Inclinazione > 3°	0,90	93-99
				Inclinazione < 3°	0,85	92,5-98,5
				Quando le superfici siano parte integrante di un sistema per il riutilizzo delle acque piovane	Valore da determinare analiticamente e documentare in funzione al sistema di riutilizzo	

Figura 23 da Allegato 1-Coefficienti di afflusso e valori del CN del regolamento della Regione Sardegna

ottenendo così un valore del CN-II<sub>p</sub> pari a 92.4 e quindi un valore del CN-III<sub>p</sub> pari a 96.6.

L'analisi pluviometrica è stata effettuata tramite la consultazione della banca dati Arpa Piemonte ottenendo così i seguenti parametri della curva pluviometrica per un tempo di ritorno Tr=20 anni

$$\alpha_i = 30,84 \text{ mm/h}^n$$

$$n = 0,26$$

$$\text{Fattore di crescita } K_{20} = 1.661$$

considerando uno ietogramma Chicago con durata 30 minuti, passo temporale 1 minuto e posizione del picco  $r=0,4$ , si ricava il seguente grafico:

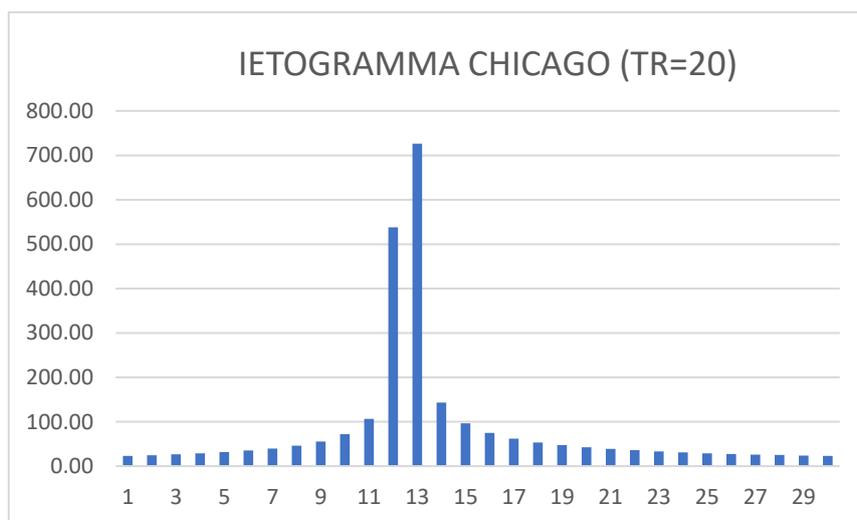


Figura 24 Ietogramma tipo Chicago di durata 30 minuti e tempo di ritorno 20 anni

Successivamente, con riferimento al metodo CN-SCS per il calcolo dell'idrogramma netto, si procede con il calcolo del volume specifico che si infiltrare nel terreno,  $S$  [mm] e il valore della perdita iniziale  $I_a$  [mm], tramite le seguenti relazioni:

$$S = 25.4 \cdot \left( \frac{1000}{CN - III} - 10 \right)$$

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

dove il valore di  $I_a$ , come indicato in letteratura, viene stimato come descritto sopra in mancanza di altre informazioni, secondo il SCS.

In questo modo si ottengono i seguenti valori nello stato attuale e post-intervento:

	CN-III <sub>a</sub>	S [mm]	I [mm]
attuale	96,4	9,50	1,90
post-intervento	96,6	9,01	1,80

calcolando, poi, la pioggia netta,  $P_e$  con la seguente relazione:

$$P_e = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S} \text{ per } P > I_a$$

$$P_e = 0 \text{ per } P < I_a$$

Si ricava l'idrogramma di piena corrispondente:

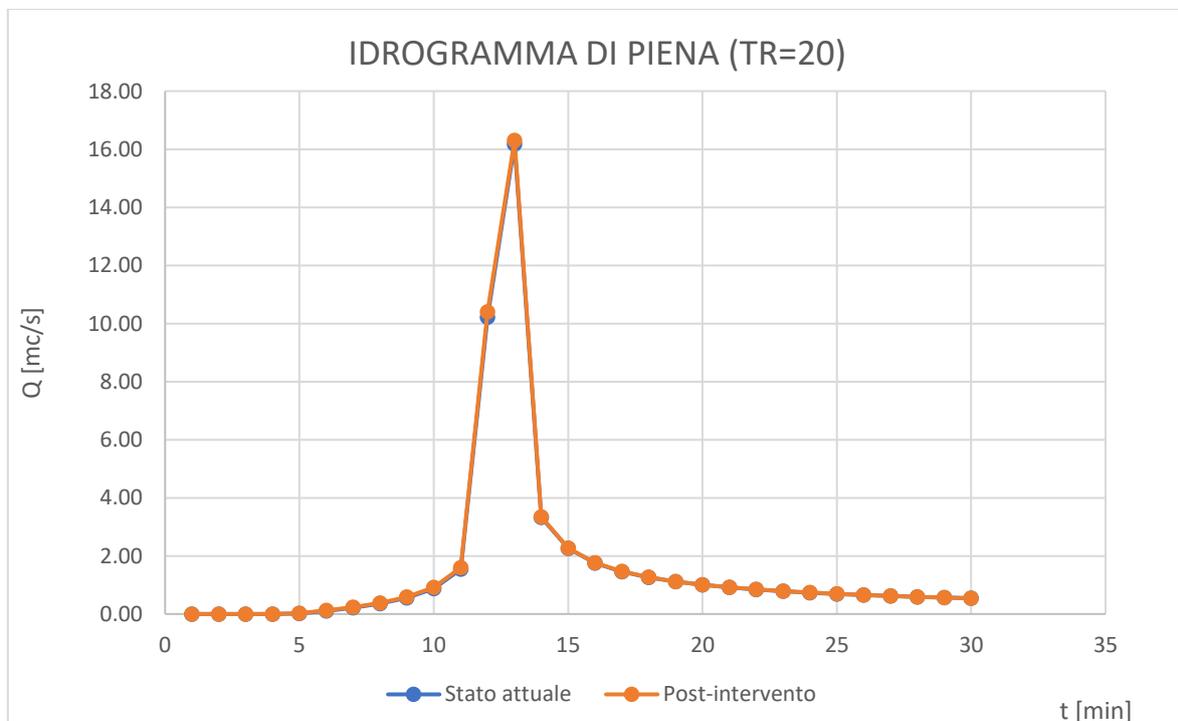


Figura 25 Idrogramma di piena nello stato attuale e nello stato post-intervento

e quindi si osservano i seguenti dati, dove si rileva che nel caso in esame la differenza tra le portate è di 0,13 m<sup>3</sup>/s:

Volume di piena		
TR=20 anni		
attuale	V <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> ]	2952
post	V <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> ]	2989

Portate di picco		
TR=20 anni		
ante	Q <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> /s]	16.18
post	Q <sub>p</sub> [m <sup>3</sup> /s]	16.31
	differenza [m <sup>3</sup> /s]	0.13

Quindi, tenendo in considerazione la seguente relazione e la Figura 26,

Capacità di smaltimento del recettore	Parametro correttivo <i>k</i>
Alta	1
Media	0.8
Bassa	0.5

Figura 26 Tabella per la determinazione del parametro *k*

$$Q_{amm} = k \cdot Q_a$$

attribuito una capacità di smaltimento del ricettore alta, la portata da gestire rimane la differenza tra le portate.

È interessante notare, in questo caso, come un cambiamento progettuale riguardante la tipologia di suolo da adottare, in fase preliminare, possa sensibilmente migliorare la situazione appena descritta. Infatti, nel caso in cui si adottasse la seguente tipologia di suolo:

	SEZIONE INDICATIVA O IMMAGINE TIPO	DESCRIZIONE PAVIMENTAZIONE	SPECIFICHE O VARIANTI	NORME DI RIFERIMENTO, VALORI LIMITE O INDICAZIONI	φ	CN
P1		Pavimentazioni porose su sottofondo drenante		Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s 10 <sup>5</sup> - 10 <sup>6</sup>	0,3	79-87
				Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s < 10 <sup>4</sup>	1	100

si ottengono i seguenti valori:

$$CN-III_p = 93,1$$

$$S = 18,94 \text{ mm}$$

$$I_a = 3,79 \text{ mm}$$

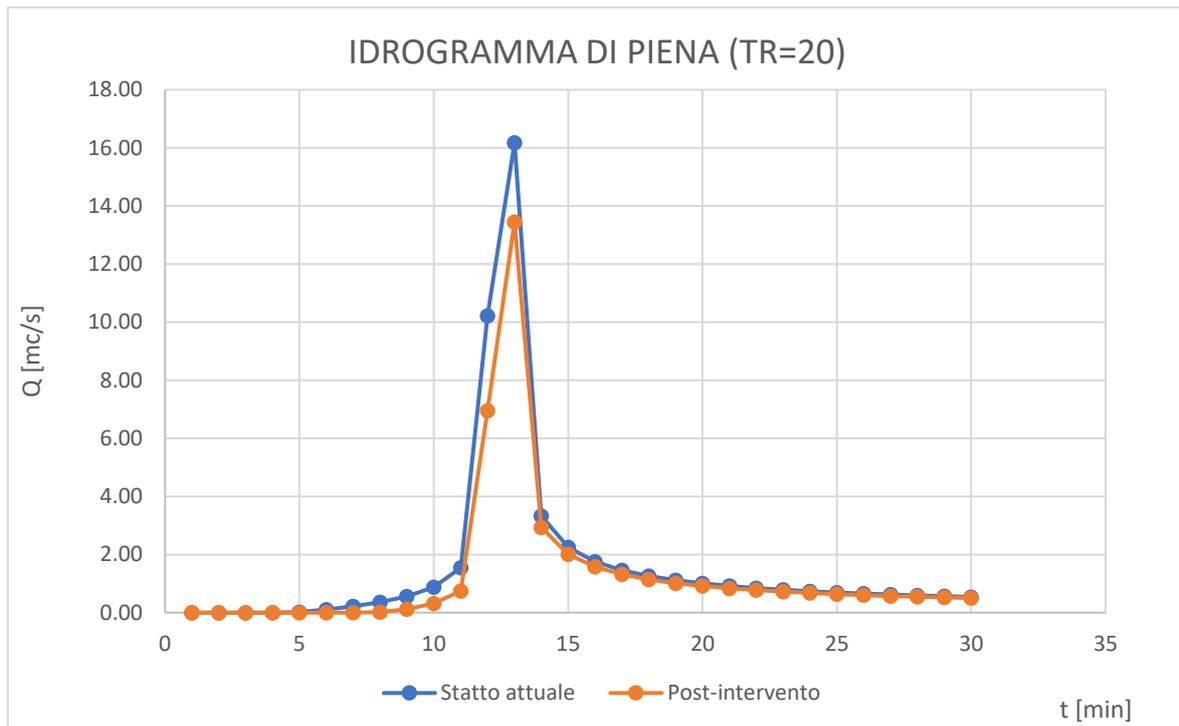


Figura 27 Idrogramma di piena nello stato attuale e nello stato post-intervento

Volume di piena		
TR=20 anni		
attuale	$V_a [m^3]$	2952
post	$V_p [m^3]$	2335

Portate di picco		
TR=20 anni		
ante	$Q_a [m^3/s]$	16.18
post	$Q_p [m^3/s]$	13.46
	differenza $[m^3/s]$	-2.72

Dunque, se la tipologia di suolo fosse stata una pavimentazione drenante, essendo la portata  $Q_p < Q_{amm}$  si sarebbe rispettato il principio d'invarianza idraulica senza alcuna realizzazione di opere di laminazione.

### 3.5 D.D.G N° 102 23 GIUGNO 2021 – REGOLAMENTO REGIONE SICILIA

Avendo a disposizione una superficie d'intervento maggiore dei 10,000 m<sup>2</sup>, il regolamento richiede che l'approccio da adottare sia quello di utilizzare il metodo da modellazione numerica. Per questa ragione, ai fini del calcolo delle portate di piena, è stato utilizzato il software EPA SWMM 5.2 (Storm Water Management Model).

Il software, fornito dall'U.S. Environmental Protection Agency, consiste in un modello di simulazione dinamico di trasformazione afflussi-deflussi in grado di simulare sia la quantità che la qualità dei deflussi, per eventi singoli o a lungo termine, su principalmente le aree urbane.

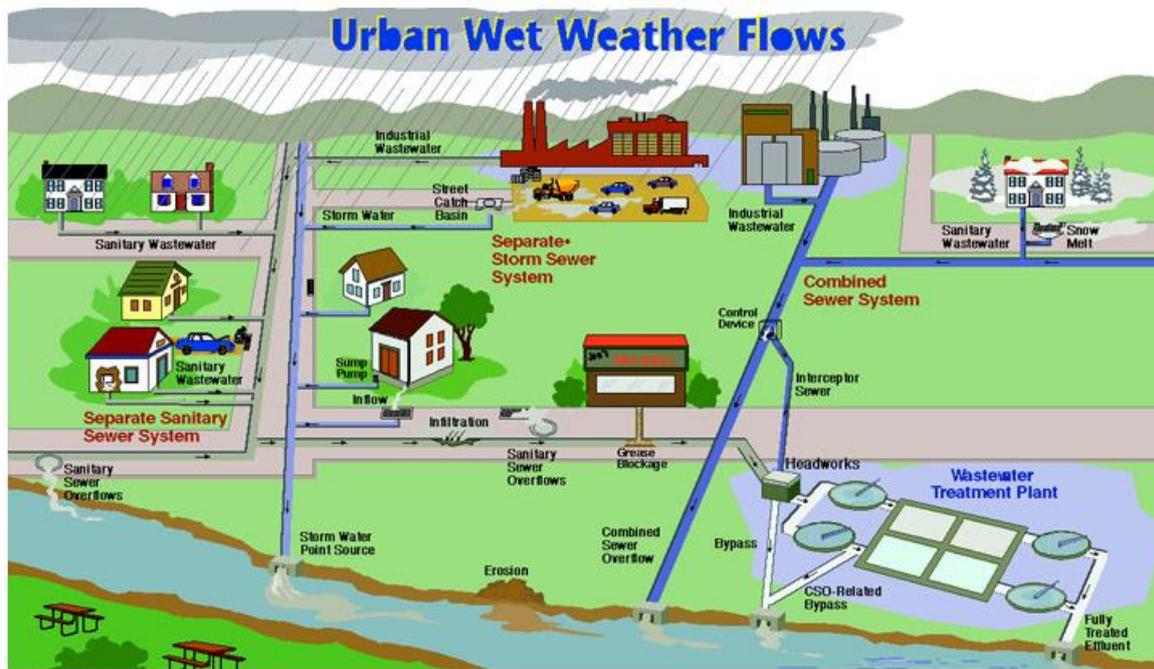


Figura 28 Schema del ciclo idrologico urbano dal manuale SWMM

L'applicativo SWMM opera, concettualmente, con dei sottobacini che ricevono una precipitazione e genera un deflusso, tutto trasportato da sistemi di tubi, canali, depositi.

Le componenti principale per poter costruire il sistema per questo caso studio sono:

- Pluviometri (Rain Gages): forniscono le informazioni della precipitazione per uno o più sottobacini nella regione in esame. La precipitazione può essere inserita manualmente o da un file esterno. I principali dati di input richiesti dal software sono:
  - tipologia di dato della precipitazione (intensità, volume o volume cumulato)
  - durata dell'evento da considerare

Rain Gage Pluv1	
Property	Value
Name	Pluv1
X-Coordinate	1710.059
Y-Coordinate	6662.722
Description	
Tag	
Rain Format	INTENSITY
Time Interval	0:01
Snow Catch Factor	1.0
Data Source	TIMESERIES
TIME SERIES:	
- Series Name	TS30

Figura 29 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per il pluviometro

- Sottobacini (Subcatchments): sono delle superfici la cui topografia e gli elementi del sistema di drenaggio dirigono il deflusso superficiale verso un unico punto di scarico. Questi sottobacini si differenziano tra permeabili o impermeabili. Nel caso di aree permeabili, l'infiltrazione può essere descritta dai seguenti modelli: Horton, Green-Ampt, SCS Curve Number. I principali dati di input richiesti sono:
  - assegnazione del pluviometro
  - il nodo o sottobacino su cui scarica il deflusso generato
  - la superficie
  - la percentuale di impermeabilità
  - pendenza media
  - larghezza caratteristica

Subcatchment SB3	
Property	Value
Name	SB3
X-Coordinate	6114.462
Y-Coordinate	2955.604
Description	
Tag	
Rain Gage	Pluv1
Outlet	G3
Area	4.9
Width	950
% Slope	0.5
% Imperv	100

Figura 30 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per un sottobacino

- Condotte (Conduits): sono tubazioni o canali che spostano l'acqua da un nodo all'altro. Si possono scegliere le sezioni trasversali, anche irregolari. I principali dati di input richiesti sono:
  - assegnazione del nodo di entrata e uscita;
  - la quota del nodo
  - lunghezza
  - scabrezza di Manning (n)
  - geometria della sezione

Conduit C2	
Property	Value
Name	C2
Inlet Node	G2
Outlet Node	G1
Description	
Tag	
Shape	CIRCULAR
Max. Depth	7
Length	45
Roughness	0.015
Inlet Offset	0
Outlet Offset	0

Figura 31 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per una condotta

- Giunzioni (Junctions): sono i nodi dei sistemi di drenaggio e sono i punti di raccordo delle condotte.

Junction G2	
Property	Value
Name	G2
X-Coordinate	5011.834
Y-Coordinate	5017.751
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	89
Max. Depth	0
Initial Depth	0
Surcharge Depth	0

Figura 32 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per una giunzione

- Scarichi (Outfalls): sono i nodi terminali del sistema di drenaggio usati per determinare i confini finali a valle.

Outfall SC1	
Property	Value
Name	SC1
X-Coordinate	4076.923
Y-Coordinate	7349.112
Description	
Tag	
Inflows	NO
Treatment	NO
Invert El.	87
Tide Gate	NO
Route To	
Type	FREE

Figura 33 Schermata dei parametri utilizzati in questo caso per lo scarico

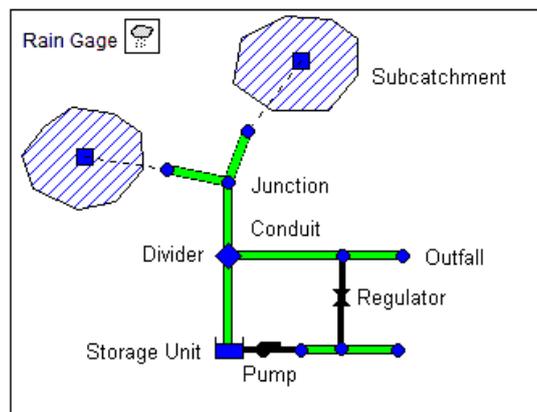


Figura 34 Schema delle componenti presenti dal manuale SWMM

La simulazione è stata portata avanti seguendo i passi sopracitati e quindi il primo passo è stato schematizzare l'area in esame, suddividendola in sottobacini, all'interno dell'ambiente SWMM.

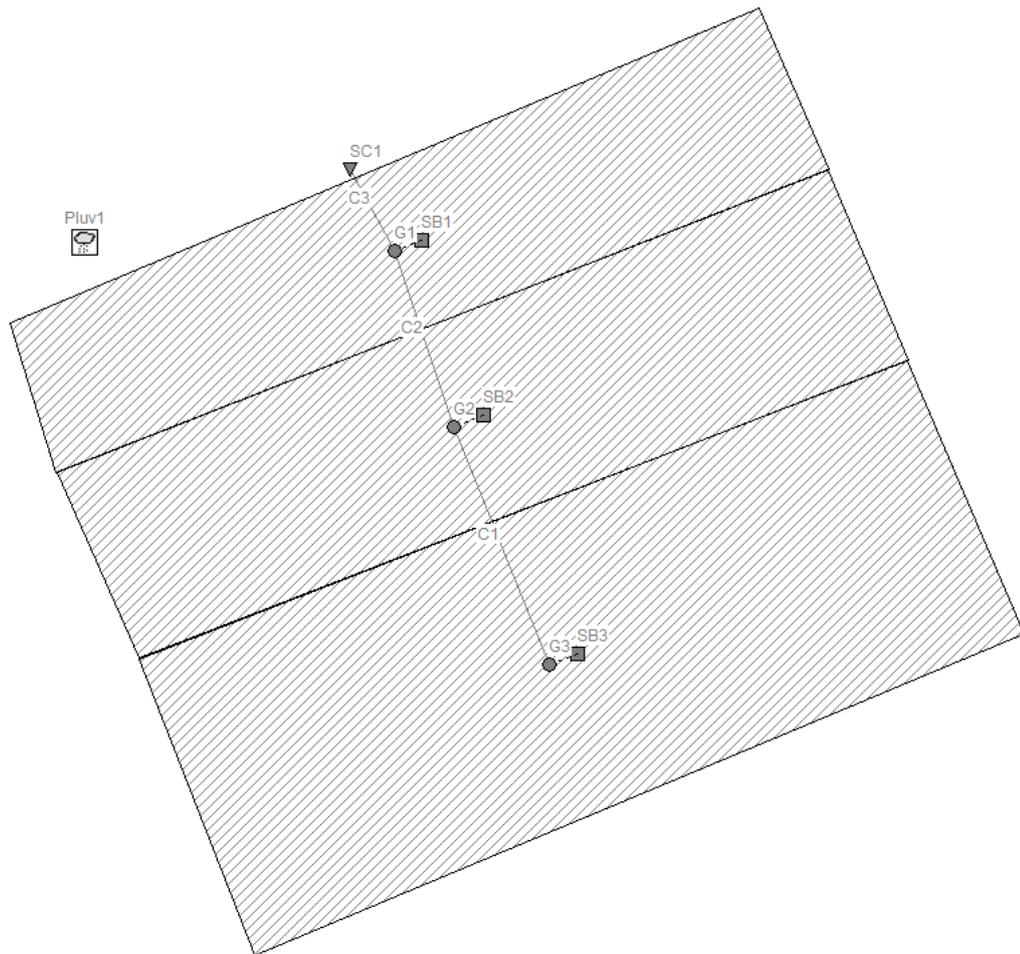


Figura 35 Schematizzazione in sottobacini dell'area d'intervento

L'analisi pluviometrica è stata effettuata in maniera analoga ai precedenti casi ricavando i parametri da Arpa Piemonte. Dato che il regolamento richiede un tempo di ritorno pari a 30 anni, il valore del coefficiente di crescita  $K$  è stato ricavato tramite interpolazione lineare, ottenendo i seguenti valori:

$$a_i = 30,84 \text{ mm/h}^n$$

$$n = 0,26$$

$$\text{Fattore di crescita } K_{30} = 1,748$$

inserendo i valori di intensità, calcolati manualmente, all'interno del software si è ricavato il seguente ietogramma Chicago, con tempo di ritorno 30 anni, durata 30 minuti e passo temporale 1 minuto:

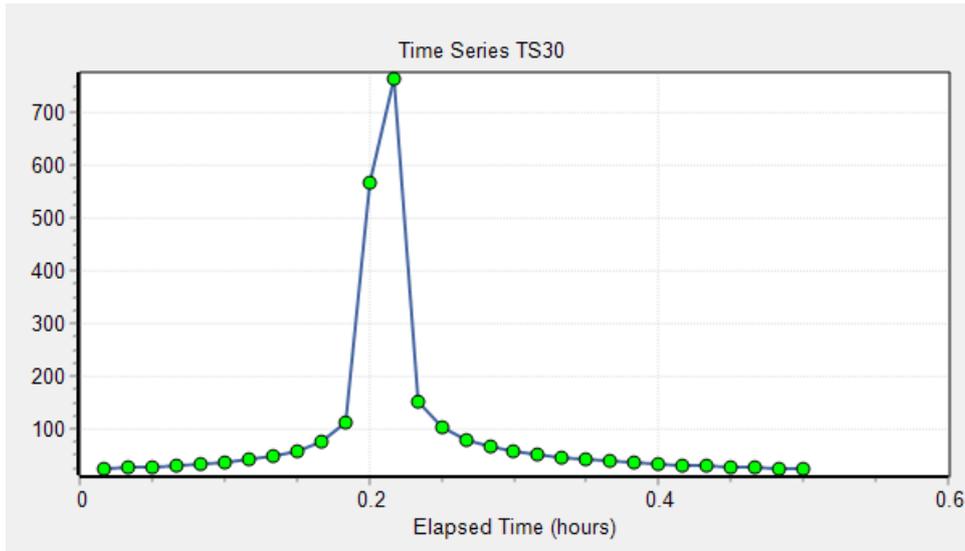


Figura 36 Ietogramma Chicago ottenuto in SWMM

Il modello di infiltrazione che è stato utilizzato è quello di Horton, e scegliendo la classe di suolo B, sono stati inseriti i parametri richiesti dal programma.

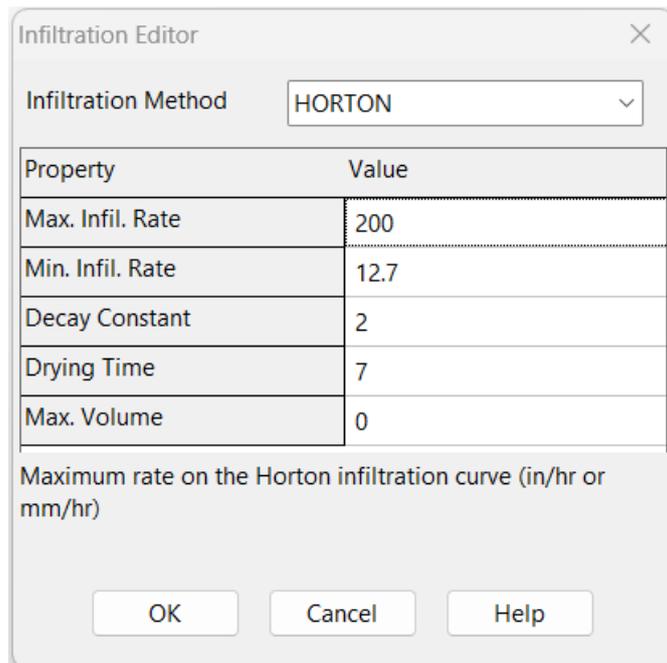


Figura 37 Schermata indicante i parametri richiesti per la selezione del modello di infiltrazione

Classe suolo	$f_0$ [mm/ora]	$f_C$ [mm/ora]	$k$ [ore <sup>-1</sup> ]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

Figura 38 Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956]

Una volta inseriti in parametri necessari, è stata lanciata l'analisi, con un modello dinamico, ottenendo l'idrogramma piena seguente:

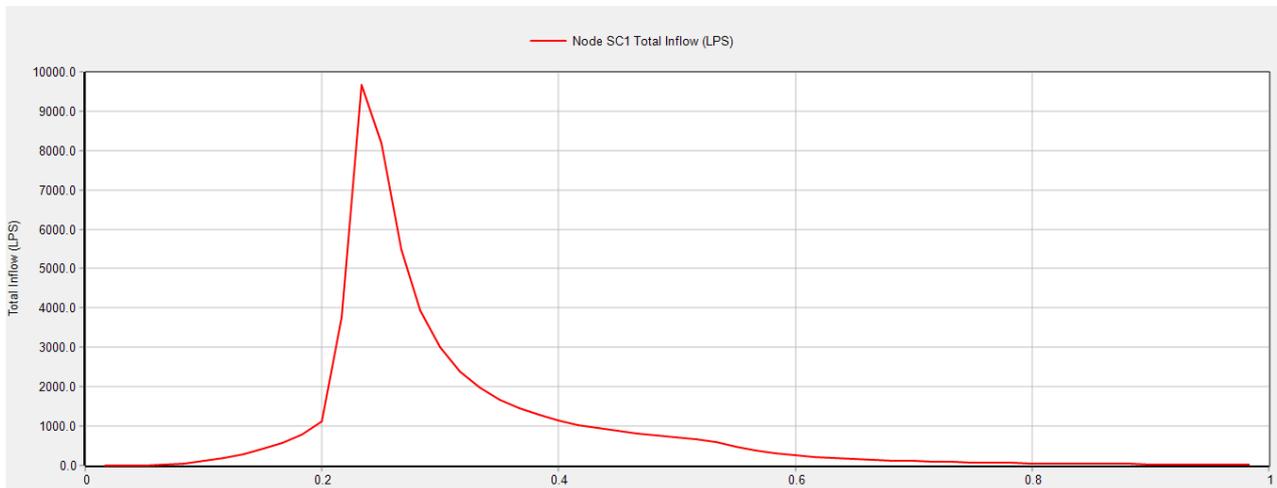


Figura 39 Idrogramma di piena generato dal software SWMM

Infine, ipotizzando che la superficie d'interesse ricade all'interno dell'area P.A.I 2 e quindi il coefficiente udometrico da considerare è  $u_{MAX}=20$  l/s\*ha, si ricava il seguente valore di volume minimo d'invaso:

$$V=3037 \text{ m}^3$$

### 3.6 CONFRONTO DEI RISULTATI OTTENUTI

Conclusa l'applicazione dei regolamenti considerati a un caso studio, si è ritenuto interessante fare un confronto dei risultati ottenuti attraverso la discussione dei volumi minimi calcolati. In particolare, si evidenzia, avendo dei dati di partenza analoghi per tutti i casi, quanto cambiano i risultati.

	Normativa di riferimento	Metodo di trasformazione afflussi-deflussi richiesto	Tr [anni]	V <sub>piena</sub> [m <sup>3</sup> ]	V <sub>invaso</sub> [m <sup>3</sup> ]
<b>Regione Lombardia</b>	R.R. Lombardia 19 aprile 2019	Metodo della corrivazione	50	3908	3925
<b>Regione Friuli Venezia Giulia</b>	DPREG 083-2018	Metodo della corrivazione	50	3442	3194
<b>Regione Sardegna</b>	Art.47 del NTA del P.A.I.	Metodo SCS-CN	20	2335	-
<b>Regione Sicilia</b>	D.D.G n°102 23 giugno 2021	Modellazione numerica	30	3433	3037

*Figura 40 Tabella di confronto dei risultati in base al regolamento applicato*

Dalla Figura 40, si nota che la prima differenziazione si riscontra nel metodo utilizzato per la trasformazione afflussi-deflussi, ciò è dipeso, sostanzialmente, dalle richieste dovute alla classe d'intervento in cui si ricadeva per regolamento considerati. Ricadendo nelle classi più elevate tra quelle presenti, questo risultato mostra come, in caso di trasformazioni di considerevoli dimensioni, i metodi di calcolo da adottare siano molto più diversificati, e specifici, rispetto alle classi di intervento più basse. Dal punto di vista quantitativo, il regolamento che richiede un valore maggiore di volume minimo per la laminazione corrisponde al R.R. Lombardia, questo è dovuto, indubbiamente, dal fatto che viene richiesto l'uso di un tempo di ritorno maggiore rispetto agli altri, ma soprattutto perché, a differenza del regolamento della Regione Friuli-Venezia-Giulia, tenendo conto anche della differenza tra i coefficienti di deflusso medio ponderale ottenuti nei due casi, si deve adottare un valore minimo di volume per ettaro da realizzare, nel caso considerato pari a  $500 \text{ m}^3/\text{s} \cdot \text{ha}$ , secondo quanto indicato dai requisiti minimi. Inoltre, un fattore importante da ricordare è il caso riguardante la richiesta della Regione Sardegna. Come già sottolineato in precedenza, i requisiti da soddisfare sono in termini di portata di picco, infatti, nel caso in cui la portata di picco generata nelle condizione post-intervento sia minore o pari al valore di portata ammissibile, che viene considerato corrispondente al valore di portata di picco nello stato di fatto a meno di un coefficiente riduttivo, non è richiesta alcuna misura di compensazione, in quanto miglioramento delle condizioni attuali.

## 4 SOLUZIONE PROGETTUALE

Ottenuti i risultati riguardanti il volume d'invaso da gestire, calcolato applicando i metodi proposti da ciascun regolamento, e concluse le considerazioni in merito ai risultati così ricavati, si procede alla scelta dell'opera di compensazione da realizzare per la gestione delle acque meteoriche ricadenti all'interno del lotto considerato, valutandola in base alle caratteristiche e disponibilità dell'area in esame.

La modalità di compensazione che si è scelta di adottare, per il caso studio, per la gestione della portata di piena è la realizzazione di bacini di infiltrazione che verranno disposti nelle aree verdi, all'interno delle quali sarà presente una superficie dedicata ad area di bioritenzione con l'obiettivo di raccogliere acqua di prima pioggia. Questa proposta è stata valutata consultando le varie opzioni presenti nei regolamenti stessi (vedi Figura 41). Dato l'elevato volume da gestire e la possibilità di sfruttare la superficie dedicata a verde presente nel lotto, questa soluzione è stata reputata più consona, per il nostro caso, rispetto alle altre suggerite. In questo modo, oltre a ridurre l'impatto ambientale dell'intera opera, si evita di aggravare ulteriormente le reti di drenaggio urbano esistenti.

Classe di intervento *				Processo				Destinazione d'uso					Spazio disponibile		Tipo di suolo **		Rischio idraulico		Qualità		Costi	
a	b	c	d	Infiltrazione	Detenzione	Trasporto	Riutilizzo	Residenzia/servizi	Strade e parcheggi	Commerciale	Industriale	Riqualificazione urbana	Basso	Alto	A, B - Permeabile	C, D - Impermeabile	Riduzione picchi di deflusso	Riduzione del volume	Valore figurativo	Valore ecologico	Realizzazione	Manutenzione
		●	●	●	●			●			●			●	●	●	++	++++	+++	++	+	++
<b>Intensità di precipitazione</b>								++++					<b>Tempo max svuotamento invasivo</b>				++++					

Figura 41 Scheda tecnica T12 - Bacini d'infiltrazione da Allegato 4 regolamento Regione Sardegna

La funzione principale di questa tipologia di soluzione è quella di trasformare un flusso d'acqua da superficiale a sotterranea e di rimuovere gli inquinanti attraverso la filtrazione, l'assorbimento e conversione biologica, mentre l'acqua percola attraverso il suolo e la vegetazione. I vantaggi di questa tipologia di bacini consistono in:

1. efficacia nel rimuovere gli agenti inquinanti;
2. riduzione del volume di deflusso da un'area di drenaggio;
3. contribuzione della ricarica delle falde acquifere;
4. semplicità e economicità di costruzione;

5. facilità nell'osservazione dei miglioramenti;

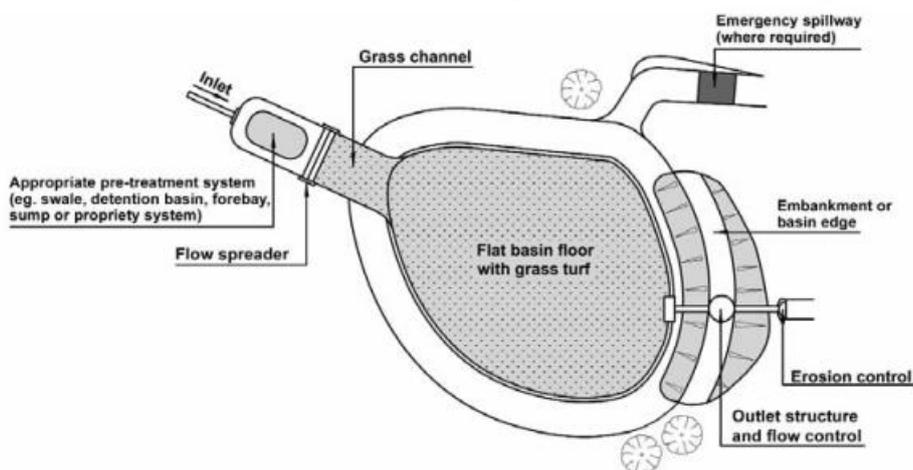
Per quanto riguarda la manutenzione dell'opera di compensazione, si devono prevedere le seguenti misure:

1. ispezioni regolari per valutare lo stato di deterioramento delle prestazioni, la presenza di intasamenti o altri tipi di ostruzioni
2. rimozione dei rifiuti
3. pulizia degli elementi per l'ingresso e l'uscita
4. gestione della vegetazione
5. rimozione regolare dei sedimenti da pretrattamenti



Figura 42.1. Esempio di bacino d'infiltrazione; 2. A changing neighbourhood, Mantas, Francia - Espace libre (fonte Allegato 4 regolamento Regione Sardegna)

I bacini d'infiltrazione vengono progettati come delle depressioni che immagazzinano il deflusso per l'infiltrazione nel sottosuolo. Per delle migliori prestazioni di lunga durata è richiesta un'attenta trattamento preliminare per rimuovere, prima dell'ingresso nel bacino, il maggior numero di sedimenti. Inoltre, per migliorare il valore ecologico e per purificare l'acqua di prima pioggia, si possono includere delle aree di bioritenzione.



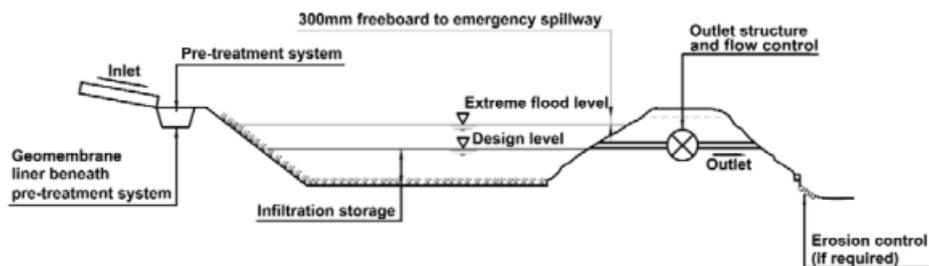


Figura 43 Esempio di bacino d'infiltrazione, pianta (sopra) e sezione (sotto). (Fonte The SuDS Manual)

Le superfici di bioritenzione, che verranno adottate in combinazione ai bacini d'infiltrazione, sono degli avvallamenti poco profondi che sfrutta la vegetazione e sistemi di infiltrazione per rimuovere gli agenti inquinanti e ridurre il deflusso a valle e vengono utilizzati in casi di eventi di pioggia frequenti. Inoltre, questa soluzione può essere adottata, con una corretta pianificazione, per la realizzazione di elementi paesaggistici all'interno del progetto, includendo alberi e grandi arbusti. I principali vantaggi, oltre a quelli già descritti, di questo sistema di drenaggio consistono in:

- intercettare le precipitazioni e permettere l'evaporazione dell'acqua;
- dissipare l'energia del deflusso delle precipitazioni;
- facilitare l'infiltrazione dell'acqua e ricaricare la falda;
- fornire ombra e, in questo modo, ridurre le potenziali temperature di deflusso.

Dopo avere descritto la soluzione progettuale scelta per la gestione dei volumi d'invaso, in fase preliminare, per la progettazione, è stata determinata la quota della falda, in modo tale da verificare se fosse possibile infiltrare il volume d'acqua nel suolo. Consultando la banca dati geotecnica di Arpa Piemonte è stata ottenuta quindi la soggiacenza della quota pari a 7,33 m dal piano campagna.

Data misura	Soggiacenza (m su p.c.)	Grado attendibilità della misura
2012-05-23	7.33	Attendibile
2012-10-09	6.22	Attendibile
2013-07-04	6.14	Attendibile
2013-10-24	6.46	Attendibile
2014-04-29	6.83	Attendibile
2014-10-10	6.64	Attendibile
2015-10-07	6.44	Attendibile
2016-12-21	7.05	Attendibile
2017-06-16	7.13	Attendibile
2017-11-14	7.33	Attendibile

Figura 44 Quota della falda reperita da Arpa Piemonte

Una volta valutato che la falda è sufficientemente distante dal piano campagna, è stato assegnato la classe di suolo B, secondo il modello d'infiltrazione di Horton, in base alla stratigrafia semplificata dell'area in esame, già esposta precedentemente (Tabella 12).

Classe suolo	$f_0$ [mm/ora]	$f_c$ [mm/ora]	$k$ [ore <sup>-1</sup> ]
A	250	25.4	2
B	200	12.7	2
C	125	6.3	2
D	76	2.5	2

Tabella 14 Parametri delle curve di Horton proposti dal SCS [1956]

Decidendo di configurare l'invaso all'interno delle aree verdi indicate in Figura 45, di superficie complessiva pari a circa 0,6 ettari, con una superficie ribassata, si deve controllare, come indicato dai regolamenti, che il bacino si svuoti in un tempo non superiore a 48 ore. Inoltre, la superficie dedicata a un'area di bioritenzione che ha la funzione di convogliare al suo interno le acque di prima pioggia da purificare, considerando un'altezza pari ai primi 5 mm, queste dovranno avere, complessivamente, una capienza pari o superiore a circa 400 m<sup>3</sup>.

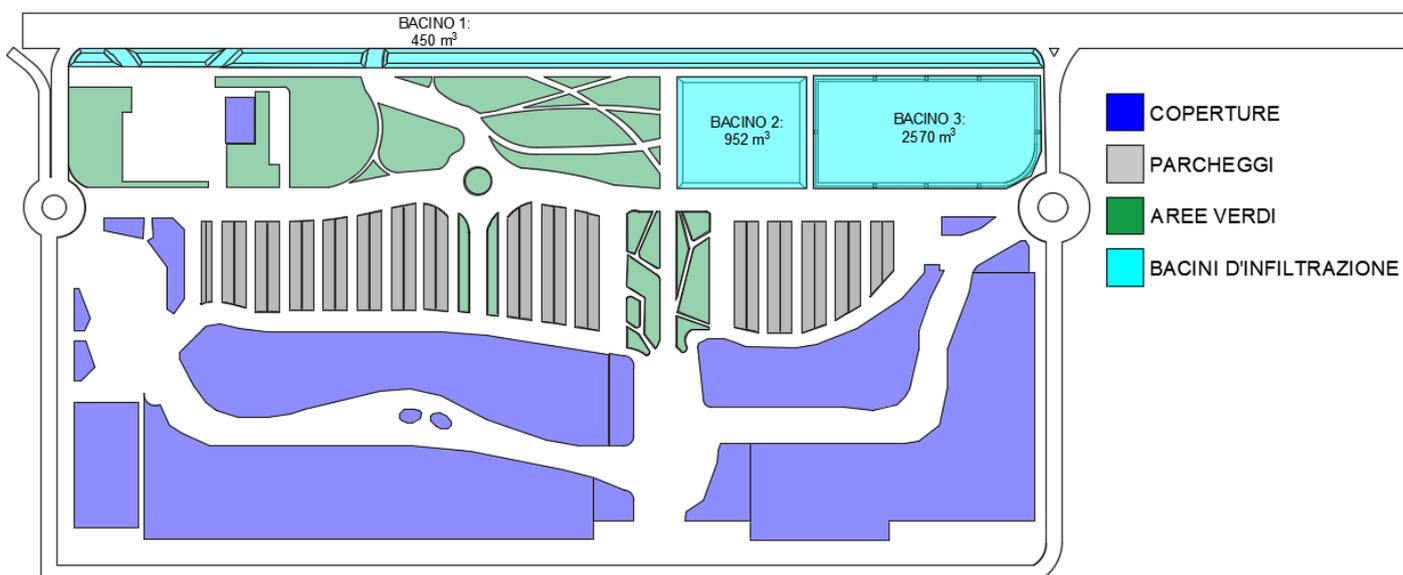


Figura 45 Individuazione dei bacini d'infiltrazione in pianta (realizzato con Revit 2023)



Figura 46 Vista prospettica dello stato di progetto con individuazione dei bacini (realizzato con Revit 2023)

Quindi, per il calcolo del tempo di svuotamento del bacino è stata considerata la capacità d'infiltrazione del suolo di classe B, preso cautelativamente pari al suo valore asintotico di 12,7 mm/ora, che corrisponde a un valore pari a 35,28 l/(s\*ha) ed è stato utilizzato come volume d'invaso ( $W_{lam}$ ), a favore di sicurezza, il valore massimo tra quelli ottenuti, in questo modo si ottiene il seguente risultato:

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_u + Q_{inf}} = \frac{3925 \cdot 10^3 l}{(20 \text{ l/s} \cdot \text{ha} + 35,28 \text{ l/s} \cdot \text{ha}) \cdot 0,62 \text{ ha}} = 31,81 \text{ h}$$

minore delle 48 ore richieste, questo conferma la possibilità di realizzare un bacino di infiltrazione come misura di compensazione.

La Figura 47 mostra una sezione del bacino 1 dedicata ad area di bioritenzione. L'area di bioritenzione è costituita, oltre che dallo strato di terreno per la piantumazione, da uno strato di sabbia di spessore pari a 30 cm e da uno strato di ciottoli di spessore pari a 20 cm, che contribuiscono a creare una superficie drenante. Gli strati vengono separati da

un tessuto geotessile che ha la funzione permettere il passaggio dell'acqua senza, però, l'ingresso di materiale dagli strati soprastanti. In aggiunta, viene inserito un sistema di controllo del livello d'acqua a troppopieno, collegato a un tubo forato posizionato nello strato di ciottoli, in modo tale da evitare un'inondazione in una situazione critica. Una volta raggiunto tale livello, questo elemento entra in funzione facendo defluire l'acqua lentamente, simulando così la laminazione, evitando, in questo caso, di aggravare ulteriormente il sistema di drenaggio urbano. Le scarpate, che hanno una pendenza pari al 20% per evitare l'erosione, fungono anche da fasce filtranti in modo da evitare l'ingresso all'interno del bacino di sedimenti indesiderati che comprometterebbero la funzionalità del bacino.

BACINO 1 : AREA DI BIORITENZIONE

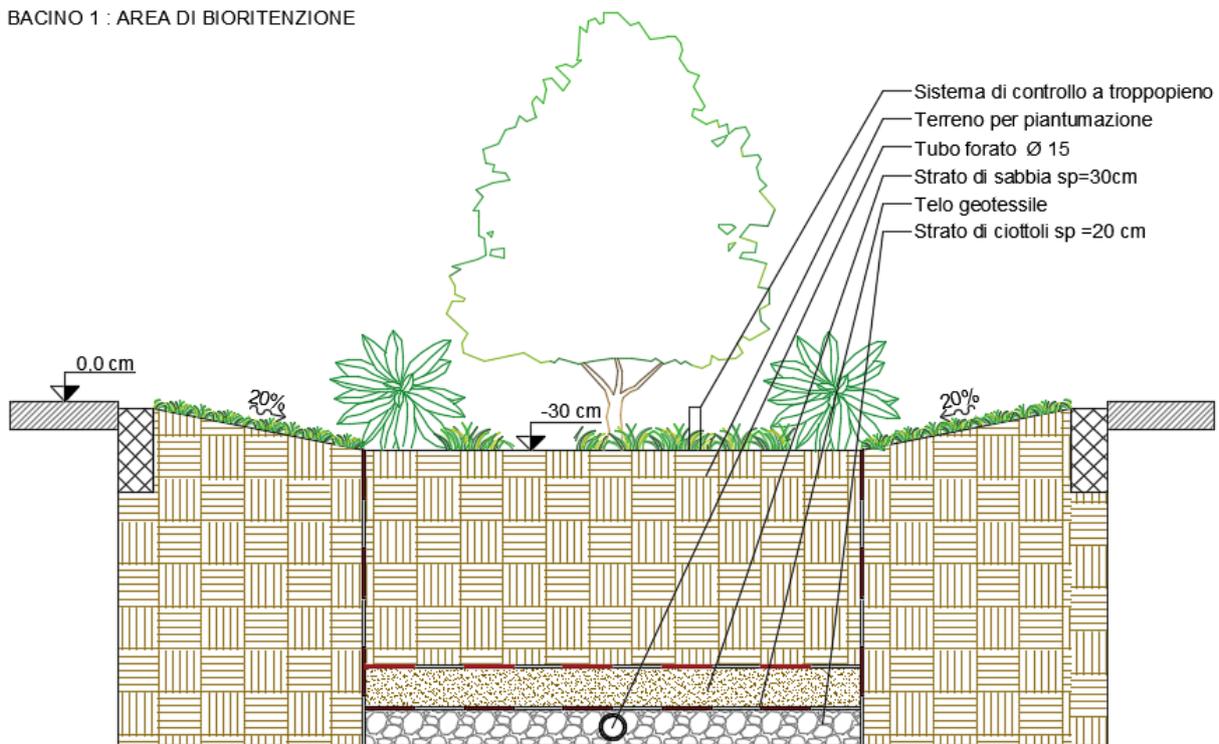


Figura 47 Sezione trasversale bacino 1. (Realizzato con AutoCAD 2023)

Il secondo bacino viene configurato come un o spazio ricreativo (vedi Figure 48), che normalmente funziona come un'area verde ad uso ricreativo oppure per eventi all'aperto e in caso di evento di pioggia funge da bacino d'infiltrazione. Il bacino, composto da gradoni prefabbricati di calcestruzzo, raggiunge una profondità di un metro, possedendo così una capienza massima di circa 2500 m<sup>3</sup> d'acqua. Al centro del bacino è stata disposta un'area di bioritenzione con le stesse caratteristiche esposte per il bacino precedente. Al suo interno è stata inserita l'elemento di raccolta delle acque con controllo della portata, in modo tale da adempiere ai limiti di scarico imposti dai riferimenti normativi analizzati. Inoltre, per mantenere il più possibile intatta l'efficienza di quest'aria, sono state inserite delle fasce filtranti, composte da ciottoli, per garantire un pretrattamento adeguato delle acque in arrivo nell'area di bioritenzione.

### BACINO 2 : SPAZIO RICREATIVO

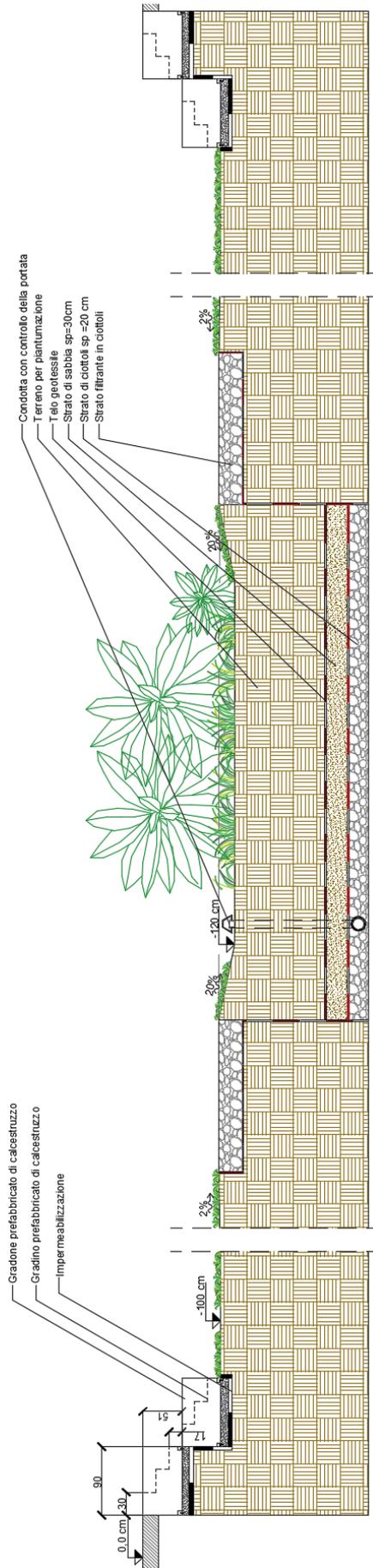


Figure 48 Sezione trasversale bacino 2 (Realizzato con AutoCAD 2023)

Anche per quanto riguarda il bacino adibito a parco giochi, come nel caso precedente, la sua funzione di bacino d'infiltrazione in combinazione con un'aria di bioritenzione al centro con capienza massima di circa 1000 m<sup>3</sup>, permette di raccogliere l'acqua proveniente dall'aree impermeabili in modo tale da agevolare il funzionamento della rete di drenaggio urbano esistente.

BACINO 3 : PARCO GIOCHI

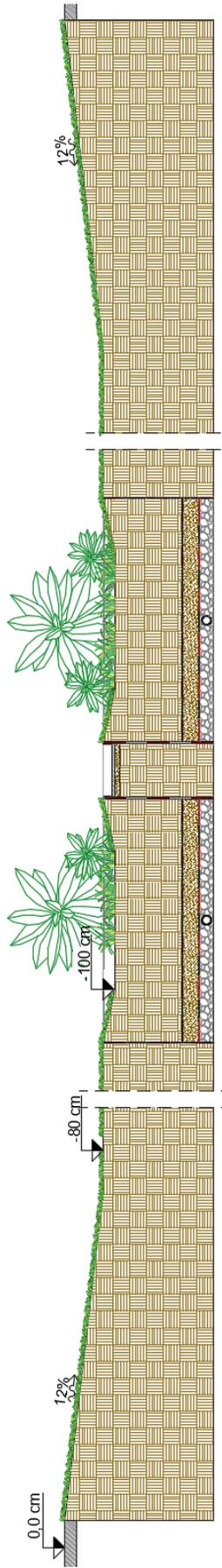
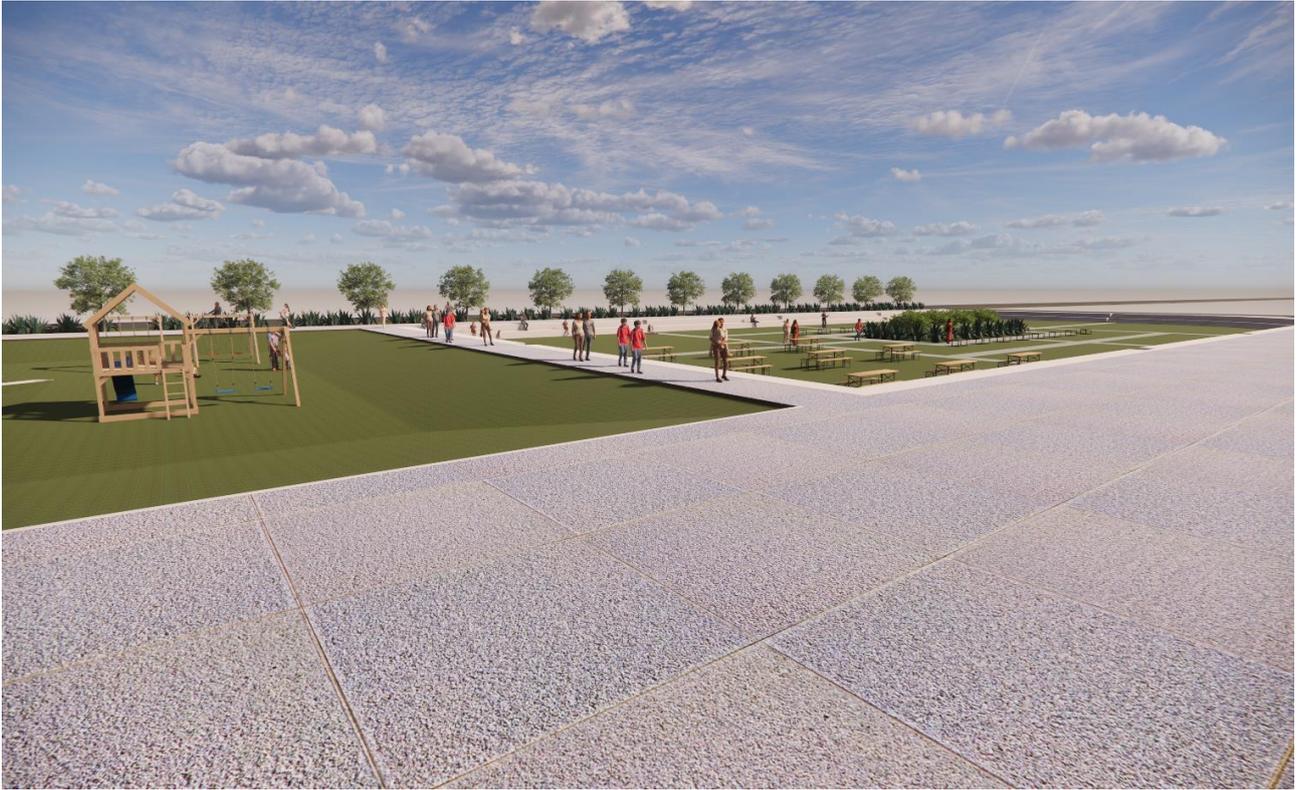


Figure 49 Sezione trasversale bacino 3 (Realizzato con AutoCAD 2023)





*Figure 50 Render dei bacini (prodotti con Enscape)*

## 5 CONCLUSIONI

Dopo l'applicazione dei regolamenti considerati, si è potuto notare la differenza dei risultati così ottenuti. Questo è sicuramente dovuto, come già descritto nei capitoli precedenti, ai diversi approcci richiesti e quindi ai diversi requisiti imposti da ciascun regolamento. L'obiettivo prefissato era, proprio quello di analizzare come, anche ricadendo nel caso più complesso, variassero in maniera significativa non solo i risultati in termini di volume, ma anche i metodi di calcolo da utilizzare. In aggiunta, i fattori che hanno influenzato in maniera significativa i risultati sono stati l'utilizzo di diversi tempi di ritorno per le precipitazioni e i limiti di portata scaricabili. Per quanto riguarda quest'ultimo, si vuole, ancora una volta, evidenziare come nel caso del regolamento della Regione Sardegna, tale valore è stato fissato pari alla portata massima ottenuta nello stato attuale. In questo modo, il valore di volume da realizzare risulta molto meno gravoso, se non completamente nullo, rispetto alle altre situazioni riscontrate.

In conclusione, è utile far notare come la completezza, in termini di elementi da considerare, di un regolamento risulti fondamentale per la buona riuscita degli interventi. La valutazione dell'inserimento di metodi per promuovere l'applicazione del principio di invarianza idraulica e idrologica e la richiesta di monetizzazione in caso d'impossibilità di effettuare gli interventi richiesti dai regolamenti, come suggerisce il regolamento della Regione Lombardia, può essere utile da considerare all'interno dei regolamenti.

## 6 BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA

### Bibliografia

- [1] R.R. Lombardia 19 aprile 2019, n. 8 *“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)”*
- [2] DPREG 27 marzo 2018, n.083 *“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)”*
- [3] art.47 delle NA del PAI 17 maggio 2017, *“Relazione linee guida e indirizzi operativi per l’attuazione del principio della invarianza idraulica”*
- [4] D.D.G. 23 giugno 2021, n. 102
- [5] Becciu G. e Paoletti A., *Fondamenti di costruzione idraulica*, UTET SCIENZE TECNICHE, quattordicesima ristampa 2022
- [6] Woods-Ballard B., Kellagher R., Martin P., Jefferies C., Bray R., Shaffer P., *The SuDS Manual*, CIRIA, Londra, 2007

### Sitografia

- [1] <https://www.todream.it/>, ultima consultazione in data 2 settembre 2024