



GEOAPP
INVARIANZA IDRAULICA
VERSIONE: 2.2

RELAZIONE DI CALCOLO

1 – RIFERIMENTI NORMATIVI

Regione Lombardia - Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 “Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)”, integrazione Regolamento regionale 19 Aprile 2019 n. 8.

Regolamento Regionale 28 marzo 2025, n. 3, Disposizioni sull'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 'Legge per il governo del territorio')

Regione Emilia Romagna - Piano stralcio per il rischio idrogeologico - “Direttiva inerente le verifiche idrauliche e gli accorgimenti tecnici da adottare per conseguire gli obiettivi di sicurezza idraulica definiti dal Piano Stralcio per il Rischio Idrogeologico, ai sensi degli artt. 2 ter, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 11 del Piano” - Adottata dal Comitato Istituzionale con delibera n. 3/2 del 20 ottobre 2003 e s.m.i., come da variante di coordinamento PGRA-PAI, adottata dal C.I. con delibera 2/2 del 7/11/2016. Capitolo 7 “Criteri e accorgimenti tecnici per la realizzazione delle misure per l’invarianza idraulica (art. 9)”.

Regione Marche – L.R 23 Novembre 2011 N. 22; art. 10, C. 4 – Delibera di Giunta Regionale N. 53/27-1-2014. Criteri di modalità e indicazioni tecnico-operative per la redazione della verifica di compatibilità idraulica degli strumenti di pianificazione territoriale e per l’invarianza idraulica delle trasformazioni territoriali

2 – MODELLI DI CALCOLO

2.1 - Requisiti minimi

Con questo metodo si fa riferimento a valori tabellati dei volumi di invasi, stabiliti da Normative locali e degli Enti.

2.1.1 - Regione Lombardia

Art. 12 comma 1 - Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7

Per gli interventi aventi superficie interessata dall'intervento minore o uguale a 100 mq, ovunque ubicati nel territorio regionale, il requisito minimo richiesto consiste in alternativa:

- a) nell'adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio. In questo caso non è richiesto il rispetto della portata massima di cui all'articolo 8 e non è necessario redigere il progetto di invarianza idraulica di cui agli artt. 6 e 10;
- b) nell'adozione del requisito minimo indicato al comma 2, per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7.

Art. 12 comma 2 - Regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7

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

- a) per le aree A ad alta criticità idraulica di cui all'articolo 7: 800 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- b) per le aree B a media criticità idraulica di cui all'articolo 7: 600 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento;
- c) per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7: 400 mc per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento.

Art. 12 comma 1 - Regolamento regionale 19 Aprile 2019 n. 8

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

- a) nell'adozione di un sistema di scarico sul suolo o negli strati superficiali del sottosuolo e non in un ricettore, salvo il caso in cui questo sia costituito da laghi o dai fiumi Po, Ticino, Adda, Brembo, Serio, Oglio, Chiese e Mincio. In questo caso non è richiesto il rispetto della portata massima di cui all'articolo 8 e non è necessario redigere il progetto di invarianza idraulica di cui agli artt. 6 e 10, *ferme restando la compilazione e trasmissione del modulo di cui all'allegato D, come definito all'articolo 6, comma 1, lettera e), e la dichiarazione, con specifico atto, del progettista, attestante l'applicazione della casistica di cui alla presente lettera; la dichiarazione non è dovuta per gli interventi di cui all'articolo 3, comma 2, lettera d), che ricadono nell'ambito di applicazione di cui alla presente lettera;*
- b) nell'adozione del requisito minimo indicato al comma 2, per le aree C a bassa criticità idraulica di cui all'articolo 7.

Art. 12 comma 2 - Regolamento regionale 19 Aprile 2019 n. 8

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

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

Art. 11 comma 2 Regolamento regionale 28 Marzo 2025 – n. 3

12) al comma 2, lettera e), numero 3, dopo la parola 'idraulica' sono aggiunte le parole 'e idrologica' e sono aggiunte, in fine, le parole '. Qualora si attui il presente regolamento mediante la realizzazione di sole strutture di infiltrazione, e quindi non siano previsti scarichi verso ricettori, il requisito minimo di cui all'articolo 12, comma 2, è ridotto del 30 per cento, purché i calcoli di dimensionamento delle strutture di infiltrazione siano basati su prove di permeabilità, allegate al progetto, rispondenti ai requisiti riportati nell'Allegato F. Tale riduzione non si applica nel caso in cui si adotti il requisito minimo di cui all'articolo 12, comma 2, senza pertanto applicare la procedura di calcolo delle sole piogge o dettagliata;';

2.1.2 - Tutti gli altri comuni

Per gli altri comuni vedere Normativa locale.

3 – CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

Le **curve di probabilità pluviometrica** esprimono la relazione fra le altezze di precipitazione h e la loro durata t , per un assegnato valore del periodo di ritorno T . Tale relazione viene spesso indicata anche come **curva di possibilità climatica** o, ancora, **linea segnalatrice di probabilità pluviometrica (LSPP)** ⁽¹⁾.

Invarianza idraulica di GeoStru permette di calcolare le Curve di probabilità pluviometrica attraverso due metodi:

- il metodo della curva a due parametri (a ed n);
- il metodo GEV (Generalized Extreme Values – Richiesto nella normativa della Regione Lombardia).

3.1 – Metodo GEV

Il modello GEV è la generalizzazione della distribuzione di Gumbel. L'altezza di pioggia è espressa tramite la relazione:

$$h = a \cdot t^n \quad (1)$$

dove:

- h [mm] = altezza di precipitazione
- t [ore] = durata di precipitazione
- n [-] = parametro di scala

- a [mm/oraⁿ] = parametro curva di probabilità pluviometrica:

il parametro a è funzione di un fattore di crescita w_t (o k_t):

$$a = a_1 \cdot k_T \quad (2)$$

$$k_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \cdot \left\{ 1 - \left[\ln \left(\frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\} \quad (3)$$

- a_1 [mm/oraⁿ] = coefficiente pluviometrico orario
- k_T [-] = fattore di crescita legato al tempo di ritorno T
- T [anni] = tempo di ritorno
- ε, α, k [-] = parametri del modello GEV

3.2 – Metodo con parametri a ed n

Diverse formule sono utilizzate per descrivere questa relazione. In Italia viene generalmente utilizzata una legge di potenza monomia del tipo (²):

$$h = a \cdot t^n \quad (4)$$

dove:

- h [mm] = altezza di precipitazione
- t [ore] = durata della precipitazione
- n [-] = parametro di scala
- a [mm/oraⁿ] = parametro curva di probabilità pluviometrica funzione del tempo di ritorno

4 – METODO DELLE SOLE PIOGGE (³)

Il «Metodo delle sole piogge» si basa sulle seguenti assunzioni:

- l'onda entrante dovuta alla precipitazione piovosa $Q_e(t)$ nell'invaso di laminazione è 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 valida per l'area oggetto di calcolo in funzione della durata di pioggia, per la superficie scolante impermeabile dell'intervento afferente all'invaso; con questa assunzione 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. Conseguentemente l'onda entrante nell'invaso coincide con la precipitazione piovosa sulla superficie scolante impermeabile dell'intervento. La portata costante entrante è quindi pari a:

$$Q_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^{n-1} \quad (5)$$

e il volume di pioggia complessivamente entrante è pari a:

$$W_e = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n \quad (6)$$

in cui S è la superficie scolante del bacino complessivamente afferente all'invaso, φ è il coefficiente di deflusso medio ponderale del bacino medesimo (quindi $S \cdot \varphi$ è la superficie scolante impermeabile dell'intervento), D è la durata di pioggia, $a = a_1$, w_T e n sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica espressa nella forma:

$$h = a \cdot D^n = a_1 \cdot w_T \cdot D \quad (7)$$

- l'onda uscente $Q_u(t)$ è anch'essa un'onda rettangolare caratterizzata da una portata costante $Q_{u,lim}$ (laminazione ottimale). La portata costante uscente è quindi pari a:

$$Q_{u,lim} = S \cdot u_{lim} \quad (8)$$

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

$$W_u = S \cdot u_{lim} \cdot D \quad (9)$$

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

Sulla base di tali ipotesi semplificative il volume di laminazione è dato, 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. Conseguentemente, 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 ΔW che deve essere trattenuto nell'invaso di laminazione al termine dell'evento di durata generica D (invaso di laminazione) è pari a:

$$\Delta W = W_e - W_u = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D^n - S \cdot u_{lim} \cdot D \quad (10)$$

La figura seguente mostra graficamente la curva $W_e(D)$, concava verso l'asse delle ascisse, in aderenza alla curva di possibilità pluviometrica, e la retta $W_u(D)$ e indica come la distanza verticale ΔW tra tali due curve ammetta una condizione di massimo che individua così l'evento di durata D_W critica per la laminazione.

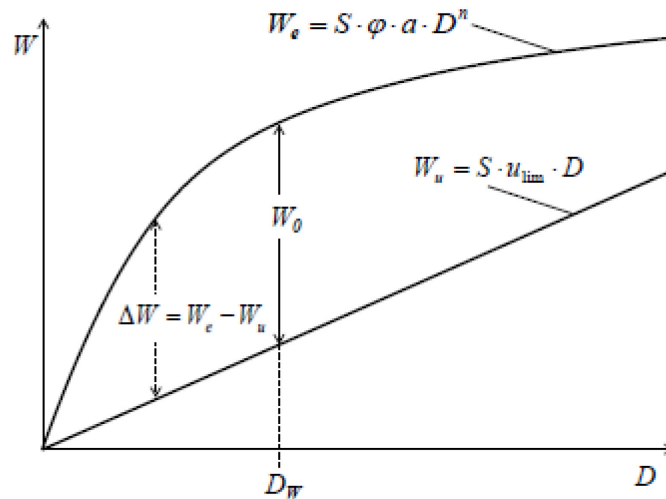


Figura 1– Individuazione con il metodo delle sole piogge dell’evento critico D_w e del corrispondente volume critico W_0 di laminazione, ovvero quello che massimizza il volume invasato.

Esprimendo matematicamente la condizione di massimo, ossia derivando rispetto alla durata D la differenza $\Delta W = W_e - W_u$, si ricava la durata critica D_w per l’invaso di laminazione e di conseguenza il volume di laminazione W_0 :

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (11)$$

$$W_0 = S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - Q_{u,max} \quad (12)$$

Se si considerano per le varie grandezze le unità di misura solitamente utilizzate nella pratica:

W_0 in $[m^3]$

S in $[ha]$

a in $[mm/ora^n]$

θ in $[ore]$

D_w in $[ore]$

$Q_{u,lim}$ in $[l/s]$

le equazioni (11) e (12) diventano:

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{2.78 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (11')$$

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot Q_{u,lim} \cdot D_w \quad (12')$$

Introducendo in esse la portata specifica di scarico $u_{lim} = Q_{u,lim}/S$ (in l/s per ettaro) e il volume specifico di invaso $w_0 = W_0/S$ (in m³/ ha) si ha:

$$D_w = \left(\frac{u_{lim}}{2.78 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (11'')$$

$$W_0 = 10 \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3.6 \cdot u_{lim} \cdot D_w \quad (12'')$$

Si osservi che il parametro n (esponente della curva di possibilità pluviometrica) da utilizzare nelle equazioni precedenti deve essere congruente con la durata D_w risultante dal calcolo, tenendo conto che il valore di n è generalmente diverso per le durate inferiori all'ora, per le durate tra 1 e 24 ore e per le durate maggiori di 24 ore.

5 – METODO ITALIANO DIRETTO

Il presente metodo è un caso particolare derivato dal metodo italiano dell'invaso (Supino 1929; Puppini 1932). Questo procedimento permette di calcolare direttamente i volumi d'invaso necessari per modulare il picco di piena semplicemente mantenendo costante il coefficiente udometrico al variare del coefficiente di deflusso φ . Si può infatti scrivere (⁴):

$$W = w_s \cdot A \quad (13)$$

dove:

W [m³] = volume di laminazione da calcolare

A [ha] = Superficie totale dell'intervento

$$w_s = w_0 \cdot \left(\frac{\varphi_m}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - w \quad (14)$$

dove:

w_s [m³/ha] = volume specifico di laminazione da calcolare

w_0 [m³/ha] = volume specifico naturalmente disponibile (m³/ha) per la laminazione delle piene prima della trasformazione del suolo (ANTE OPERAM).

w [m³/ha] = volume specifico naturalmente disponibile (m³/ha) per la laminazione delle piene prima della trasformazione del suolo (POST OPERAM).

φ_m [-] = coefficiente di deflusso POST OPERAM

φ_0 [-] = coefficiente di deflusso ANTE OPERAM

n [-] = esponente della curva di possibilità pluviometrica

5.1 – Regione Emilia-Romagna

$$w_s = w_0 \cdot \left(\frac{\varphi_m}{\varphi_0} \right)^{\frac{1}{1-n}} - 15 \cdot I - w_0 \cdot P \quad (15)$$

dove:

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%)

n [-] = esponente della curva di possibilità pluviometrica pari a 0.48

$$\varphi_m = 0.9 \cdot Imp + 0.2 \cdot Per \quad (16)$$

$$\varphi_0 = 0.9 \cdot Imp_0 + 0.2 \cdot Per_0 \quad (17)$$

Imp [-] = frazione (%) area totale da ritenersi impermeabile POST OPERAM

Imp₀ [-] = frazione (%) area totale da ritenersi impermeabile ANTE OPERAM

Per [-] = frazione (%) area totale da ritenersi permeabile POST OPERAM

Per₀ [-] = frazione (%) area totale da ritenersi permeabile ANTE OPERAM

6 – METODO DELLA CORRIVAZIONE⁽⁵⁾

Il presente approccio ipotizza l'intero bacino come un sistema composto da tanti canali lineari disposti in parallelo ovvero si considerano prevalenti all'interno del bacino di scolo i fenomeni di traslazione dell'acqua: la schematizzazione del processo di trasformazione afflussi-deflussi nel bacino di monte è di tipo cinematico. Sulla base di questa impostazione Alfonsi e Orsi (1967) hanno sviluppato un metodo pratico per il calcolo del volume critico dell'invaso di laminazione nelle seguenti ipotesi semplificate:

1. ietogrammi netti di pioggia ad intensità costante
2. curva aree-tempi lineare
3. svuotamento a portata costante pari a Q_{umax} (laminazione ottimale)

Il volume W invasato può pertanto essere ottenuto in funzione della durata θ della pioggia, del tempo di corrivazione t_c del bacino, della portata massima uscente dall'invaso Q_{umax} , del coefficiente di afflusso Ψ , della superficie di riferimento S e dei parametri pluviometrici a ed n

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot a \cdot \theta_w^n + 1.295 \cdot t_c \cdot Q_u^2 \cdot \frac{\theta_w^{1-n}}{\varphi \cdot S \cdot a} - 3.6 \cdot Q_u \cdot \theta_w - 3.6 \cdot Q_u \cdot t_c \quad (17)$$

Dove:

$W_0 [m^3]$ = volume di laminazione da calcolare

$\varphi [-]$ = coefficiente di afflusso medio post operam

$S [ha]$ = Superficie totale dell'intervento

$n [-]$ = esponente curva di probabilità probabilistica

$a [mm/ora^n]$ = parametro della curva di probabilità probabilistica

$\theta_w [ore]$ = durata di pioggia

$t_c [ore]$ = tempo di corrivazione d

$Q_u [m^3/s]$ = portata in uscita massima

Imponendo la condizione di massimo per il volume W ovvero derivando l'equazione appena descritta rispetto alla durata θ ed eguagliando a zero si trova:

$$2.78 \cdot n \cdot \varphi_m \cdot A \cdot a \cdot D_w^{n-1} + 0.36 \cdot (1 - n) \cdot t_c \cdot Q_{umax}^2 \cdot \frac{D_w^{-n}}{\varphi_m \cdot A \cdot a} - Q_{umax} = 0 \quad (18)$$

7 – PROCEDURA DETTAGLIATA

La procedura dettagliata è una procedura di analisi idrologica del problema completa, che si articola in vari passaggi:

- calcolo dello ietogramma lordo di pioggia;
- calcolo dello ietogramma netto di pioggia con uno dei 3 metodi disponibili;
- calcolo dell'idrogramma in ingresso e in uscita;
- calcolo del volume invasato.

7.1 – Ietogramma di pioggia di progetto

7.1.1 - Ietogramma Chicago

È uno ietogramma coerente con la curva di probabilità pluviometrica. Viene chiamato Chicago perché è stato adottato da Keifer e Chu (1957) in occasione della progettazione della fognatura di Chicago. Viene considerato spesso preferibile al semplice ietogramma rettangolare perché può generare portate al colmo relativamente maggiori ⁽⁶⁾.

Lo ietogramma di tipo Chicago, rispetto allo ietogramma costante, rappresenta meglio alcune caratteristiche degli ietogrammi osservati, come ad esempio la presenza del picco di intensità, le precipitazioni antecedenti e successive l'istante del picco, i volumi totali. È uno ietogramma non costante, che presenta un picco di intensità che può essere posizionato arbitrariamente all'inizio, alla fine o in posizione intermedia nella durata di pioggia.

È costruito in modo tale che al suo interno si possano trovare eventi parziali di durata inferiore a quella di pioggia, il cui volume totale è sempre fornito dalle curve di possibilità pluviometrica ⁽⁷⁾

$$i_{(t)} = a \cdot n \cdot \left(\frac{t_p - t}{r} \right)^{n-1} \quad \text{per } t < t_p$$
$$i_{(t)} = a \cdot n \cdot \left(\frac{t - t_p}{r} \right)^{n-1} \quad \text{per } t > t_p \quad (18)$$

$i_{(t)}$ [mm/ora] = intensità di precipitazione

a [mm/oraⁿ] = parametro della curva di probabilità di pioggia

n [-] = esponente della curva di probabilità di pioggia

t [ore] = istante di tempo

t_p [ore] = tempo di picco

r [-] = coefficiente di posizione

Per il calcolo dell'altezza di precipitazione lorda si adottano le seguenti:

$$h_{(t)} = a \cdot r \left[\left(\frac{t_p}{r} \right)^n - \left(\frac{t_p - t}{r} \right)^n \right] \quad \text{per } t \leq t_p$$
$$h_{(t)} = a \cdot r \cdot \left(\frac{t_p}{r} \right)^n + a \cdot (1 - r) \cdot \left(\frac{t - t_p}{r} \right)^n \quad \text{per } t_p \leq t \leq \theta$$
$$h_{(t)} = a \cdot r \cdot \left(\frac{t_p}{r} \right)^n + a \cdot (1 - r) \cdot \left(\frac{t_p - \theta}{1 - r} \right)^n \quad \text{per } t > \theta \quad (19)$$

Dove:

θ = Durata di pioggia (ore)

7.1.2 – Ietogramma uniforme o costante

È il metodo più utilizzato in ambito progettuale (cfr. Metodo delle sole piogge). L'intensità è direttamente calcolata a partire dalle curve di possibilità pluviometrica ed è considerata uniforme per l'intera durata dell'evento di pioggia ⁽⁸⁾

$$i(t) = a \cdot d^{(n-1)} \quad (20)$$

$i_{(t)}$ [mm/ora] = intensità di precipitazione

a [mm/oraⁿ] = parametro della curva di probabilità di pioggia

n [-] = esponente della curva di probabilità di pioggia

d [ore] = durata di pioggia di progetto

7.1.3 – Ietogramma triangolare

L'andamento è di tipo lineare sia prima dell'istante di picco che dopo. È concepito per considerare l'effetto di picco non considerato dallo ietogramma uniforme o rettangolare. L'intensità di picco sarà pari al doppio della media, quindi analiticamente si avrà:

$$i(t) = 2 \cdot a \cdot d^{(n-1)} \cdot \frac{t}{r \cdot d} \quad \text{per } t \leq d \cdot r$$

$$i(t) = 2 \cdot a \cdot d^{(n-1)} \cdot \frac{(d-t)}{(1-r) \cdot d} \quad \text{per } d \geq t \geq d \cdot r \quad (21)$$

Dove:

d [ore] = durata di pioggia di progetto

r [-] = coefficiente di posizione

7.1.4 – Ietogramma sifalda

Lo ietogramma è costituito da tre parti: 1) fase ascendente lineare, 2) fase centrale costante, 3) fase discendente lineare. Le prime due fasi hanno durata pari ad $\frac{1}{4}$ la durata totale dell'evento mentre la terza parte ne dura la metà. Conseguentemente, il volume di pioggia è distribuito secondo i seguenti rapporti 14%, 56% e 30% rispettivamente per la prima, seconda e terza parte.⁽⁹⁾

7.2 – Ietogramma netto di pioggia

La depurazione delle piogge può essere effettuata tramite 3 metodi:

- Percentuale;
- Modello di Horton;
- Metodo del Curve Number (CN) del Soil Conservation Service.

7.2.1 - Metodo percentuale

Col metodo percentuale, la pioggia netta caduta fino all'istante t è valutata come percentuale della precipitazione totale caduta nello stesso tempo⁽¹⁰⁾. Il valore di tale percentuale viene assunto costante per tutta la durata della pioggia e pari al coefficiente di deflusso di ogni singola superficie. Lo ietogramma di pioggia netta si ricava, quindi, per ogni intervallo temporale, moltiplicando lo ietogramma di pioggia totale per il coefficiente di deflusso⁽¹¹⁾:

$$i_n(t) = \varphi \cdot i(t) \quad (22)$$

i_n [mm/ora] = intensità di pioggia netta

i [mm/ora] = intensità di pioggia lorda

φ [-] = coefficiente di afflusso

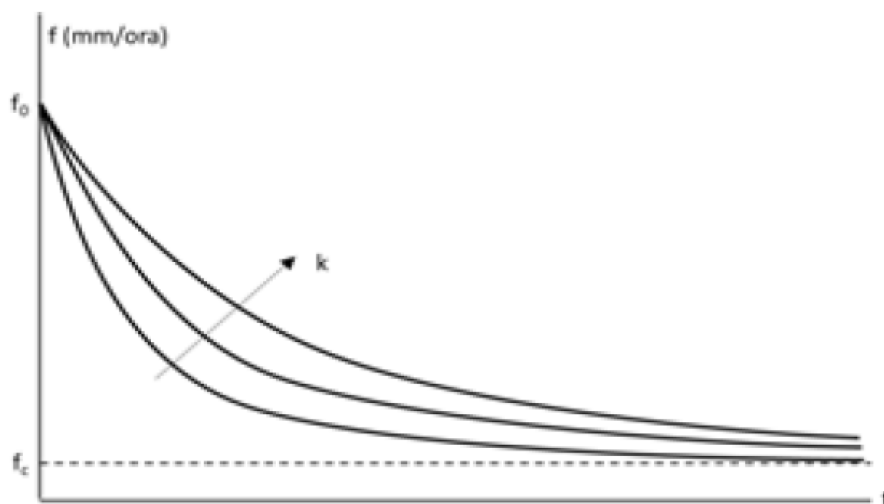
7.2.2 – Modello di Horton

Una classe di modelli di infiltrazione particolarmente importante è quella dei cosiddetti modelli di Horton che, in base a numerose risultanze sperimentali, individua una legge decrescente di tipo esponenziale per rappresentare l'andamento nel tempo dell'infiltrazione $f(t)$. Tale legge esponenziale indica che l'infiltrazione 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. L'andamento esponenziale risponde bene all'osservazione sperimentale che mostra come durante il processo di infiltrazione il suolo sia soggetto ad un progressivo fenomeno di saturazione che limita progressivamente il valore dell'infiltrazione.

È da sottolineare che l'infiltrazione segue tale andamento esponenziale quando la superficie di infiltrazione è alimentata da acqua in misura sovrabbondante rispetto all'infiltrazione stessa; in tal caso essa rappresenta propriamente la «capacità di infiltrazione» essendo commisurata al valore massimo a cui può arrivare l'infiltrazione istante per istante. Se, invece, l'adacquamento è minore della capacità di infiltrazione, cioè il suolo presenta nell'istante considerato una capacità di infiltrazione maggiore della portata idrica in arrivo sulla superficie, l'infiltrazione non può che assorbire la portata d'acqua disponibile mantenendosi quindi ad un valore minore della capacità di infiltrazione.

Prudenzialmente, quindi, nei calcoli di dimensionamento delle opere di infiltrazione 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 ⁽¹²⁾.



Per $i_0 \geq f_0$ vale l'equazione $f(t) = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-k \cdot t}$ (23)

i_0 [mm/ora]: intensità di pioggia al tempo $t=0$

$f(t)$ [mm/ora]: infiltrazione al tempo t

f_c [mm/ora]: tasso di infiltrazione potenziale limite ossia tasso di infiltrazione a terreno saturo al tempo $t = \infty$ e rappresenta una costante di esaurimento (G. Mendicino, 1993)

f_0 [mm/ora]: tasso di infiltrazione potenziale massimo iniziale, nel suolo secco al tempo $t=0$ (in realtà dipende dalle condizioni iniziali di imbibizione).

k [1/ora]: esponente di decadimento

Nella fase iniziale di un evento meteorico, l'effettiva capacità di filtrazione, normalmente, è superiore all'intensità di pioggia, perché non si parte dalla condizione di *ponding* e, quindi, decade nel tempo in maniera più contenuta di quanto indicato dal tasso di infiltrazione potenziale, in quanto il terreno ha una residua capacità di immagazzinamento maggiore di quella prevista dal modello teorico e non si ha ancora la formazione di pioggia netta. Per riportarsi alle condizioni reali si usa operare una traslazione della curva teorica di un tempo di traslazione (tempo di *ponding*)⁽¹³⁾

$$f' = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-\frac{t-t_0}{k}} \quad (24)$$

ove il termine addizionale f_c tiene conto della componente gravitativa che, infatti, si fa coincidere con quello della conduttività idraulica a saturazione k (S. Manfreda et Al., 2010) ed il tempo t_0 è stimato attraverso la seguente formula

$$t_0 = t_p - k \cdot \ln \left(\frac{f_0 - f_c}{i - f_c} \right), \quad (25)$$

che si ottiene imponendo che, al *ponding time* t_p (tempo di saturazione), il volume effettivamente infiltrato, dall'inizio dell'evento piovoso sia il massimo infiltrabile, secondo lo schema proposto da R. G. Mein e C. L. Larson (1973). Il t_p , per cui si ha l'uguaglianza tra l'intensità di pioggia ed il tasso di infiltrazione reale, può essere calcolato a sua volta, come:

$$t_p = \frac{k}{i} \cdot \left[(f_0 - i) + f_c \cdot \ln \left(\frac{f_0 - f_c}{i - f_c} \right) \right], \quad (26)$$

Il volume di infiltrazione totale cumulata, si ottiene per integrazione della curva del tasso di infiltrazione reale tra il tempo t_0 ed il tempo t_p , oppure moltiplicando l'intensità di pioggia, costante, per il t_p :

$$F = \int_{t_0}^{t_p} f'(t_p - t_0) dt = f_c \cdot (t_p - t_0) + \frac{(f_0 - f_c)}{\alpha} \cdot [1 - e^{-\alpha \cdot (t_p - t_0)}] = i \cdot t_p \quad (27)$$

Per la sua natura concettuale i valori dei parametri del modello hortoniano: f_0 , f_c e k ; sono stati proposti dal Soil Conservation Service (1956) e da American Society of Civil Engineers (1949) e riportati nella seguente Tabella 1⁽¹³⁾.

Classe suolo	f_0 (mm/ora)	f_c (mm/ora)	K (ore ⁻¹)
A (Deflusso potenziale Superficiale Basso)	250	25.4	2
B (D.P.S. moderatamente basso)	200	12.7	2
C (D.P.S. moderatamente alto)	125	6.3	2
D (D.P.S. alto)	76	2.5	2

Tabella 1 – Valori parametri Modello di Horton

Così lo ietogramma di pioggia netto è possibile ricavarlo sottraendo all'intensità di pioggia lorda il valore di f' all'istante temporale (t)

7.2.3 - Metodo del Curve Number

Il modello idrologico SCS-CN permette di simulare il deflusso superficiale in corrispondenza di una data precipitazione. Il processo di trasformazione afflussi-deflussi è suddiviso nelle seguenti fasi:

- Determinazione delle piogge nette;
- Trasformazione delle piogge nette in deflussi superficiali.

È necessario definire un pluviogramma, che viene considerato uniformemente distribuito sull'intero bacino.

Le piogge nette si calcolano, a partire dal pluviogramma, secondo il metodo del Curve Number (CN) proposto dall'SCS (Soil Conservation Service). L'equazione di continuità:

$$R = P - S \quad (28)$$

dove:

R è il deflusso fino all'istante t (mm)

P è la precipitazione fino all'istante t (mm)

S sono le perdite fino all'istante t (mm)

viene modificata ipotizzando che vi sia una relazione di proporzionalità tra perdite S e massima altezza immagazzinabile nel terreno a saturazione, S' (mm):

$$\frac{S'}{S''} = \frac{R}{P} \quad (29)$$

e assume la forma seguente:

$$R = \frac{P^2}{P + S''} [mm] \quad (30)$$

che definisce l'andamento nel tempo del deflusso R nota la precipitazione P e la massima infiltrazione S' .

Considerando che un'aliquota di P si invasa nelle depressioni superficiali o si infila prima che il deflusso abbia inizio, si può scrivere:

$$R = \frac{(P - I_a)^2}{P - I_a + S''} [mm] \quad (31)$$

essendo I_a (mm) la perdita iniziale (*Initial abstraction*).

$$I_a = k \cdot S \quad (32)$$

Dove:

k = coefficiente delle perdite iniziali stimate pari al 20% di S' (ma come riportato nel Regolamento regionale 28 marzo 2025 - n. 3 della Regione Lombardia, recenti studi dimostrano che per bacini antropizzati valori del 5% risultano essere più rappresentativi - Hawkins et al. 2020)⁽⁹⁾

L'unico parametro del modello risulta quindi essere l'altezza massima immagazzinabile nel terreno a saturazione S' (mm), che si ricava dalla seguente formula:

$$S'' = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (33)$$

dove CN (*Curve Number*) è un indice compreso tra 0 e 100 fornito dalle tabelle SCS in funzione del tipo di terreno, dell'utilizzazione del suolo e delle condizioni antecedenti di umidità. ⁽¹⁴⁾

AMC categoria	Altezza di precipitazione nei 5 giorni antecedenti (mm)	
	Stagione di riposo	Stagione vegetativa
AMC-I	< 12.7	< 35.6
AMC-II	12.7-27.9	35.6-53.3
AMC-III	> 27.9	> 53.3

Tabella 2 - Condizioni di umidità iniziali

Tipo di copertura			Classe del suolo			
Uso del suolo	Trattamento o pratica	Condizione idrologica	A	B	C	D
Maggesi	a solchi diritti	–	77	86	91	94
Colture a solchi	a solchi diritti	cattiva	72	81	88	91
	a solchi diritti	buona	67	78	85	89
	a reggipoggio	cattiva	70	79	84	88
	a reggipoggio	buona	65	75	82	86
	a re. e terrazze	cattiva	66	74	80	82
	a re. e terrazze	buona	62	71	78	81
Grani piccoli	a solchi diritti	cattiva	65	76	84	88
	a solchi diritti	buona	63	75	83	87
	a reggipoggio	cattiva	63	74	82	85
	a reggipoggio	buona	61	73	81	84
	a re. e terrazze	cattiva	61	72	79	82
	a re. e terrazze	buona	59	70	78	81
Legumi seminati folti o prati in rotazione	a solchi diritti	cattiva	66	77	85	89
	a solchi diritti	buona	58	72	81	85
	a reggipoggio	cattiva	64	75	83	85
	a reggipoggio	buona	55	69	78	83
	a re. e terrazze	cattiva	63	73	80	83
	a re. e terrazze	buona	51	67	76	80
Pascoli		cattiva	68	79	86	89
		discreta	49	69	79	84
		buona	39	61	74	80
	a reggipoggio	cattiva	47	67	81	88
	a reggipoggio	discreta	25	59	75	83
	a reggipoggio	buona	6	35	70	79
Prati		buona	30	58	71	78
Boschi		cattiva	45	66	77	83
		discreta	36	60	73	79
		buona	25	55	70	77
Aziende agricole		–	59	74	82	86
Strade sterrate		–	72	82	87	89
Str. pavimentate		–	74	84	90	92

Tabella 3 - Valori di CNII

$$CN_I = \frac{4.2 \cdot CN_{II}}{10 - 0.058 \cdot CN_{II}} \quad (34)$$

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0.13 \cdot CN_{II}} \quad (35)$$

7.3 – IDROGRAMMA DELLE PORTATE IN INGRESSO

7.3.1 – Metodo cinematico

L'idrogramma delle portate all'ingresso che giungerà all'invaso, sarà calcolato come somma di tutte le superfici inserite. Quindi la portata entrante sarà pari alla sommatoria delle portate entranti delle superfici:

$$Q_e = \sum_i Q_{e,i} \quad (36)$$

dove i = i-esima superficie

Viene utilizzato il modello afflussi-deflussi del metodo della corrivazione, discretizzando il tutto:

$$\begin{cases} Q_{e,i} = \sum_{j=1}^i p_j \cdot IUH_{i-j+1} \cdot \Delta t \\ p_j = \frac{2.78}{1000} \cdot i_{n,j} \cdot A \\ IUH_{i-j+1} = \frac{1}{A} \cdot \frac{A_{i-j+1}}{\Delta t} \end{cases} \quad (37)$$

$Q_{e,i} [m^3/s]$ = portata in ingresso all'istante di tempo $t=i \cdot \Delta t$

$p_j [m^3/s]$ = pioggia netta all'istante di tempo $t=j \cdot \Delta t$

$i_{n,j} [mm/ora]$ = intensità netta di precipitazione all'istante di tempo $t=j \cdot \Delta t$

$\Delta t [ore]$ = intervallo di tempo considerato

$IUH_{i-j+1} [-]$ = idrogramma istantaneo unitario all'istante di tempo $t=(i-j+1) \cdot \Delta t$

$A_{i-j+1} [ha]$ = Area della porzione di bacino dalla sezione di chiusura all'istante di tempo $t=(i-j+1) \cdot \Delta t$

$A [ha]$ = area totale dell'intervento

Non avendo ulteriori indicazioni o informazioni, la curva aree-tempi la si considera lineare, così facendo l'idrogramma istantaneo unitario (IUH) risulta avere un legame lineare e costante al variare del tempo, risultando pari all'inverso del tempo di corrvazione: $IUH=1/T_c$

7.3.2 – Modello di Nash

Il modello di Nash schematizza la trasformazione afflussi-deflussi come il passaggio attraverso una cascata di serbatoi lineari (ovvero con portata in uscita proporzionale al volume invasato). L'equazione di bilancio per il generico serbatoio i-esimo è la seguente:

$$V_{i,t} = V_{i,t-\Delta t} + Q_{i-1,t-\Delta t} - Q_{i,t} \quad (38)$$

in cui

$$Q_{i,t} = \frac{1}{k} V_{i,t-\Delta t} \quad (39)$$

Applicando l'equazione 37 in serie tante volte quanti sono i serbatoi si ottiene il modello di Nash

Se nell'equazione precedente l'intervallo di tempo Δt è molto piccolo, infinitesimale, e la pioggia in ingresso è un impulso (brevissima durata, teoricamente istantanea) di altezza unitaria, si ottiene in uscita il cosiddetto idrogramma unitario istantaneo (IUH di Nash). L'IUH può essere ricavato analiticamente, ottenendo la funzione seguente, dove n è il numero di serbatoi e k è la costante di tempo del singolo serbatoio:

$$h_t = \left(\frac{1}{(n-1)!k} \right) \left(\frac{t}{k} \right)^{(n-1)} e^{-\frac{t}{k}} \quad (40)$$

La scelta dei valori da attribuire a coefficienti k e n deve riflettere la dinamica della trasformazione afflussi deflussi dello specifico bacino considerato. Più è grande la costante di tempo k e maggiore è

la laminazione; effetto analogo produce l'aumento del numero di serbatoi, che ritarda anche il tempo in cui si verifica il colmo di piena. Bacini molto impermeabili e con pendenze elevate avranno quindi tendenzialmente basso valore della costante di tempo e basso numero di serbatoi. La costante di tempo cresce invece per bacini più ritentivi, con pendenze più modeste o percorsi di deflusso più lunghi. Se si dispone di misure contemporanee di pioggia e di portata in occasione di uno o più eventi di piena, si può procedere alla calibrazione dei parametri n e k . Ciò ovviamente non è possibile in fase di progettazione e quindi si ipotizza un numero di serbatoi n dell'ordine di poche unità (ad esempio 2 per tetti verdi, Krasnogorskaya et al., 2019), mentre per la costante di tempo si possono utilizzare relazioni empiriche. Ad esempio, quella seguente lega k al tempo di corrivazione t_c (Becciu e Paoletti, 2010)⁽⁹⁾

$$k = \frac{0.5 \cdot t_c}{n-1} \quad (41)$$

L'espressione (40) può essere estesa al caso di n non intero, divenendo:

$$h(t) = \frac{1}{k\Gamma(n)} \left(\frac{t}{k}\right)^{n-1} e^{\left(-\frac{t}{k}\right)} \quad (42)$$

in cui $\Gamma(n)$ è la funzione gamma completa, che vale:

$$\Gamma(n) = \int_0^\infty x^{n-1} e^{-x} dx \quad (43)$$

7.4 – IDROGRAMMA PORTATE IN USCITA

Per quanto riguarda, invece, le portate in uscita o infiltrate $Q_u(t)$, quest'ultime vengono ricavate partendo dall'equazione di continuità dell'invaso, avendo precedentemente calcolato la portata entrante $Q_e(t)$, con a disposizione la legge di variazione del volume dell'invaso in funzione del tirante h , $W(h)$, attraverso anche la relazione con cui l'invaso scarica.

Quindi, ponendo tutto a sistema, e discretizzando secondo un passo temporale Δt si avrà:

$$\begin{cases} Q_e(t) - Q_u(t) = dW(t)/dt \\ Q_u = Q_u[H(t)] \\ W = W[H(t)] \end{cases} \quad (44)$$

$Q_e(t)$ [m³/s]: portata in ingresso

$Q_u(t)$ [m³/s]: portata in uscita

$W(t)$ [m³]: volume che viene invasato in funzione del tirante idrico

$H(t)$ [m]: altezza del tirante idrico nell'invaso

È facile capire che le condizioni iniziali, quindi per $t=0$, saranno:

$$H = 0 \text{ e } Q_u = 0$$

Conoscendo il tirante è possibile calcolare il volume di invaso considerando quest'ultimo come un prisma, quindi moltiplicando la superficie per l'altezza idrica.

$$W = A \cdot H(h) \quad (45)$$

$A \text{ [m}^2\text{]}$: superficie dell'invaso

7.4.1 – Valori di portata massima scaricabile consentite secondo la Normativa della Regione Lombardia

Ai sensi del R.R. 7/17 come modificato da R.R. 8/2019, in base alla zona dove ricade il sito oggetto di studio, la Regione Lombardia suddivide il territorio in tre Aree:

- Aree A: $u_{lim} = 10 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento
- Aree B: $u_{lim} = 20 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento
- Aree C: $u_{lim} = 20 \text{ l/s}$ per ettaro di superficie scolante impermeabile dell'intervento

Una volta conosciuto u_{lim} , la portata di scarico massima è possibile calcolarla attraverso il prodotto di quest'ultimo, la superficie totale oggetto dell'intervento A e il coefficiente di deflusso medio ponderale φ_m :

$$Q_u = u_{lim} \cdot A \cdot \varphi_m$$

7.5 -DETERMINAZIONE DEL MASSIMO VOLUME DI LAMINAZIONE

Una volta ottenuta la legge, e quindi, l'andamento dei volumi invasati, il volume massimo di laminazione W_{max} , è pari semplicemente al massimo valore di volume invasato.

$$W_{max} = \max(W(t)) \quad (46)$$

7.6 – CALCOLO DEL TEMPO DI SVUOTAMENTO

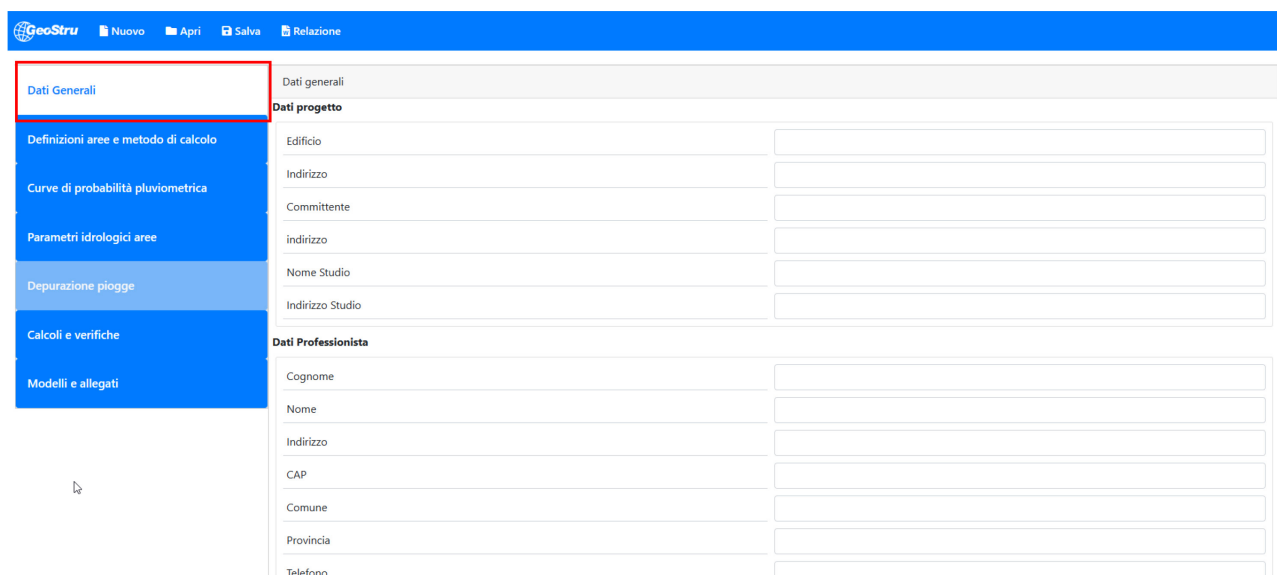
In funzione delle portate uscenti dall'invaso di laminazione Q_u (nel rispetto della portata limite ammissibile di cui all'articolo 8 del regolamento) e Q_{inf} (portata di infiltrazione calcolata con i criteri riportati in allegato F, utilizzando cautelativamente il valore $0,5 K_s$), il tempo di svuotamento dopo il termine dell'evento, a partire dal massimo invaso W_{lam} , è pari a:⁽⁹⁾

$$t_{svuot} = \frac{W_{lam}}{Q_u + Q_{inf}} \quad (47)$$

8 – UTILIZZO APPLICATIVO

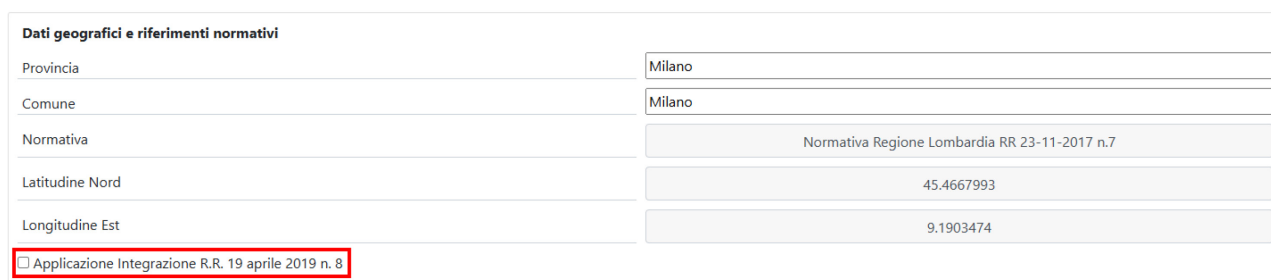
8.1 – Dati Generali

Nella schermata “Dati generali” è possibile inserire tutti dati relativi al progetto, al professionista e i dati geografici e riferimenti normativi della zona di interesse.



Per quest’ultima sezione, selezionando una Provincia e successivamente il Comune, comparirà in “Normativa”, la normativa di riferimento per quel comune. Attualmente ne sono disponibili 2:

- Normativa Regione Lombardia RR 23-11-2017 n.7, e successiva integrazione R.R. 19 aprile 2019 n. 8;
- Normativa Emilia-Romagna Direttiva idraulica - PAI-PGRA (DGR 2112/2016).
- Normativa Marche Giunta Regionale n. 53/27-1-2014



Se il comune non rientra nella Regione Lombardia, Emilia Romagna o Marche comparirà la voce “-”.

Dati geografici e riferimenti normativi	
Provincia	Roma
Comune	Roma
Normativa	--
Latitudine Nord	41.8927240
Longitudine Est	12.4836647

Per i comuni ricadente nelle Regioni Emilia Romagna o Marche è possibile non adottare la Normativa Regionale premendo “Applicazione di altra Normativa”.

Dati geografici e riferimenti normativi	
Provincia	Parma
Comune	Parma
Normativa	Normativa Emilia-Romagna Direttiva idraulica - PAI-PGRA (DGR 2112/2016)
Latitudine Nord	44.8010694
Longitudine Est	10.3283497
☐ Applicazione di altra Normativa	

8.2 – Definizioni aree e metodo di calcolo

Qui è possibile definire le aree soggette ad invarianza idraulica specificando:

- Descrizione: casella di testo in cui l’utente può inserire una descrizione dell’area liberamente;
- Tipo Area: Impermeabile, Semi-permeabile, Permeabile. Se l’area di interesse ricade nella Regione Emilia-Romagna e non è stata selezionata la casella “Altra normativa” sarà possibile scegliere tra Permeabile e Impermeabile. Questo campo serve per i calcoli nel metodo Diretto Italiano nel caso della Normativa Emilia-Romagna altrimenti serve per definire le aree e assegnare un coefficiente di deflusso suggerito dalla normativa locale da parte dell’utente;
- Superficie (m^2): immettere l’estensione per ogni superficie espressa in mq;
- Coefficiente di deflusso (ϕ_i): per ogni singola superficie è necessario inserire il coefficiente di deflusso.

Premendo i tasti “+” o “-” verrà, rispettivamente, aggiunta o rimossa una riga:

GeoStru
Nuovo
Apri
Salva
Relazione

Dati Generali

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Definizioni aree di progetto (post operam)

Per aggiungere una superficie premere il tasto "+", per rimuoverla il tasto "-"

Descrizione	Tipo area (Suggerisce un valore di coefficiente di deflusso suggerito dalla normativa - in arrivo)	Superficie (S) (m²)	Coef. Deflusso (φ)
Area impermeabile	Impermeabile	4000	0,95
Area semi-impermeabile	Semi-impermeabile	4000	0,60
Area permeabile	Permeabile	2000	0,3

-
+

Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna

Calcola

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza

Coefficiente di deflusso medio ponderale

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza ponderata

Area criticità idraulica

☐ Nessuna verifica di portata

Coefficiente P

Portata limite ammissibile

Portata costante uscente (laminazione ottimale)

(S_{tot inv}) m²

(φ_{pond}) ..

(S_{pond}) m²_{imp}

(Q_{lim}) l/s ha_{imp}

(Q_{usc}) l/s

Verifica il metodo di calcolo

Una volta inseriti i dati delle aree, premendo “Calcola” l’Applicativo calcolerà:

- la Superficie totale interessata dall’analisi di invarianza idraulica (S_{totinv}) espressa in m²;
- Il coefficiente di deflusso medio ponderale (φ_{pond}), ovvero la media pesata dei coefficienti di deflusso φ_i, in funzione delle singole superfici;
- La superficie totale interessata dall’analisi di invarianza idraulica (S_{pond}) espressa in m², che indica la superficie impermeabile totale, in quanto si è ottiene moltiplicando la superficie totale per il coefficiente di deflusso medio ponderale;
- Area criticità idraulica: in base alla normativa adottata indicherà la classe di intervento della superficie;
- Coefficiente P: coefficiente inserito nell’Integrazione R.R. 19 aprile 2019 n. 8 – Allegato B per quei comuni della Regione Lombardia in cui è prevista la riduzione del volume minimo interessato;

4

- Non effettuare la verifica di portata selezionando “Nessuna verifica di portata”;
- Inserire la portata ammissibile u_{lim} espressa in l/s* $h_{a_{imp}}$ (se prevista);
- Portata costante uscente (laminazione ottimale) espressa in l/s secondo la Normativa scelta.

“Classe di intervento” comparirà la classe di intervento secondo le normative:

CLASSE DI INTERVENTO		SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO	COEFFICIENTE DEFUSSO MEDIO PONDERALE	MODALITÀ DI CALCOLO	
				AMBITI TERRITORIALI (articolo 7)	
				Aree A, B	Aree C
	Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi	≤ 0,01 ha (≤ 100 mq)	qualsiasi	Requisiti minimi articolo 12 comma 1	
	Impermeabilizzazione potenziale bassa	da > 0,01 a ≤ 0,1 ha (≤ 1.000 mq)	≤ 0,4	Requisiti minimi articolo 12 comma 2	
	Impermeabilizzazione potenziale media	da > 0,01 a ≤ 0,1 ha (≤ 1.000 mq)	> 0,4	Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11, comma 2, lettera d)	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		
	Impermeabilizzazione potenziale alta	da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq)	> 0,4	Procedura dettagliata (vedi articolo 11, comma 2, lettera d)	
		> 10 ha (> 100.000 mq)	qualsiasi		

Regione Lombardia RR 23-11-2017 n.7 e successiva integrazione R.R. 19 aprile 2019 n. 8 art. 9

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		

Regione Emilia-Romagna Direttiva idraulica - PAI-PGRA (DGR 2112/2016) e Marche DGR 53 DEL 27/01/2014

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

Nel caso di zona ricadente in un comune della Regione Emilia-Romagna si attiverà la maschera di input supplementare per il calcolo dei volumi d'invaso secondo le direttive della Regione.

GeoStru

Nuovo

Apri

Salva

Relazione

Dati Generali

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Definizioni aree di progetto (post operam)

Per aggiungere una superficie premere il tasto "+", per rimuoverla il tasto "-"

Descrizione	Tipo area (Suggerisce un valore di coefficiente di deflusso suggerito dalla normativa - in arrivo)	Superficie (S) (m²)	Coeff. Deflusso (φ)
	Impermeabile		
	Impermeabile		
	Permeabile		

-

+

Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna e Marche

Calcola

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza

(S_{tot. in})

m²

Coefficiente di deflusso medio ponderale

(φ_{pond})

--

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza ponderata

(S_{pond})

m²_{imp}

Una volta aperto vanno inserite le superfici ante, post e trasformate:

Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna e Marche

Superficie totale dell'intervento	(S_{totin})		m ²
Situazione ante operam			
Superficie impermeabile esistente	(S_{imp^0})		m ²
Frazione area impermeabile anteoperam	(Imp^0)		--
Superficie permeabile esistente	(S_{perm^0})		m ²
Frazione area permeabile anteoperam	($Perm^0$)		--
Situazione post operam			
Superficie impermeabile di progetto	(S_{imp})		m ²
Frazione area impermeabile postoperam	(Imp)		--
Superficie permeabile di progetto	(S_{perm})		m ²
Frazione area permeabile postoperam	($Perm$)		--
Indici di trasformazione dell'area			
Superficie trasformata/livellata	(I_t)		m ²
Frazione area trasformata	(I)		--
Superficie agricola inalterata	(P_i)		m ²
Frazione superficie inalterata	(P)		--
Coefficienti di deflusso			
Coefficiente di deflusso ante-operam	(φ^0)		--
Coefficiente di deflusso post-operam	(φ)		--

L'applicativo provvederà a fare i rispettivi calcoli dei vari parametri, compresi i coefficienti di afflusso pre e post operam, quello ponderale e la superficie ponderata soggetta ad invarianza. Se nella scelta del comune è selezionata l'opzione "Altra normativa" questa sezione è disabilitata.

N.B.: in questa fase nel calcolo dei valori ponderali verranno presi in considerazione i valori di superficie immessi in "Definizioni aree calcolo metodo diretto Italiano Emilia Romagna e Marche", così come il calcolo del volume in Calcoli e verifiche, per il metodo diretto Italiano secondo normativa Regionale. Per gli altri metodi, se scelti, vengono presi in considerazione le superfici immesse nella tabella "**Definizioni aree di progetto (post operam)**"

Verifica il metodo di calcolo

Opzioni calcoli

Calcolo proposto	Procedura Dettagliata
Calcolo adottati	☒ Requisiti minimi ☐ Metodo delle sole piogge ☐ Metodo diretto italiano ☐ Metodo della corrivazione ☐ Procedura dettagliata
Classe di intervento	Impermeabilizzazione potenziale alta

Le successive maschere sono per i parametri della Procedura dettagliata:

- Ietogramma: immettere la durata di pioggia di progetto espressa in ore, il coefficiente di posizione dello ietogramma r e il tipo di ietogramma tra Chicago, Uniforme, Triangolare e Sifalda;
- Opzioni idrogramma: è possibile scegliere il tipo di modello di calcolo dell'idrogramma tra Nash e Corrivazione
- Metodo di depurazione delle piogge: l'utente può selezionare 3 metodi tra Percentuale, Horton e SCS Curve Number (in quest'ultimo è possibile definire il coefficiente di perdite iniziali k).

Per ulteriori informazioni sui metodi di separazione delle piogge nette si rimanda ai cenni teorici

Ietogramma	
Durata piogge di progetto	(θ) 3 ore
Tipo di ietogramma	Triangolare
Coefficiente di posizione	(r) 0,4 --

Opzioni idrogramma	
Modello	Nash

Metodo di depurazione delle piogge	
☐ Percentuale ☐ Horton ☒ Metodo CN	Classe di suolo C Umidità iniziale AMC I Coefficiente perdite iniziali (k) 0,2

8.3 – CURVE DI PROBABILITÀ PLUVIOMETRICA

In questa maschera, il programma prendere i dati della Provincia e del Comune inseriti in “Dati Generali”. Se la zona ricade nella Regione Lombardia è possibile selezionare solo il Metodo G.E.V.:

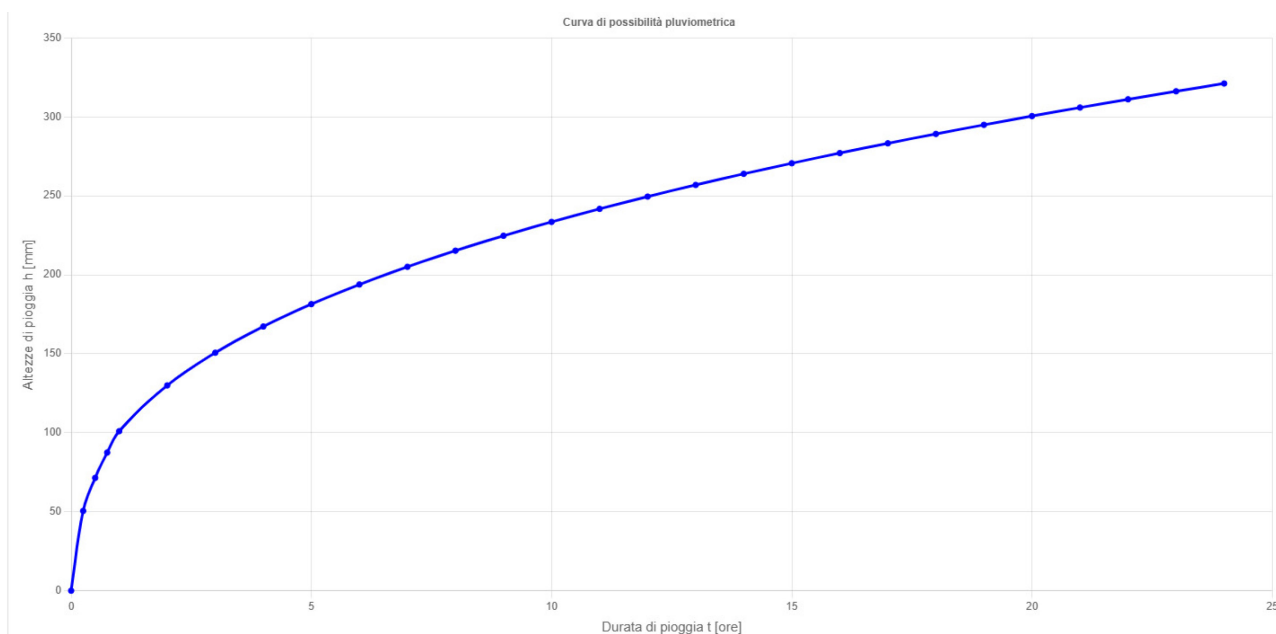
Dati generali	
Comune	Milano
Provincia	Milano
☒ G.E.V. (Generalized Extreme Values) (inserire i valori dal servizio SIDRO) per la Regione Lombardia	
Tempo di ritorno adottato	50 anni
Coefficiente pluviometrico orario	(a_1) 46.49 mm/h ⁿ
Coefficiente pluviometrico curva di probabilità pluviometrica	(a) 101,00 mm/h ⁿ
Coefficiente di scala	(n) 0.364 --
GEV - Parametro alfa	(α) 0.197 --
GEV - Parametro kappa	(k) -0.268 --
GEV - Parametro epsilon	(ϵ) 0.816 --
Coefficiente di scala < 1 ora	(n_1) 0.50 --
Fattore di crescita legato al tempo di ritorno T	(k_T) 2,17 anni

Altrimenti anche il metodo “Curva a 2 parametri (a ed n)”.

Una volta inseriti tutti i dati richieste e premendo “Calcola”, l’applicativo costruirà la curva sia in forma tabellare che grafica. Per ulteriori informazioni sui metodi consultare i cenni teorici.

Grafico

Durata (ore)	h [mm]
0	0,00
0,25	50,50
0,50	71,42
0,75	87,47
1	101,00
2	129,99
3	150,66
4	167,29
5	181,45
6	193,90
7	205,09
8	215,30
9	224,74
10	233,52
11	241,77
12	249,55
13	256,92
14	263,95
15	270,66
16	277,09
17	283,28
18	289,23
19	294,98
20	300,54
21	305,93
22	311,15
23	316,23
24	321,16



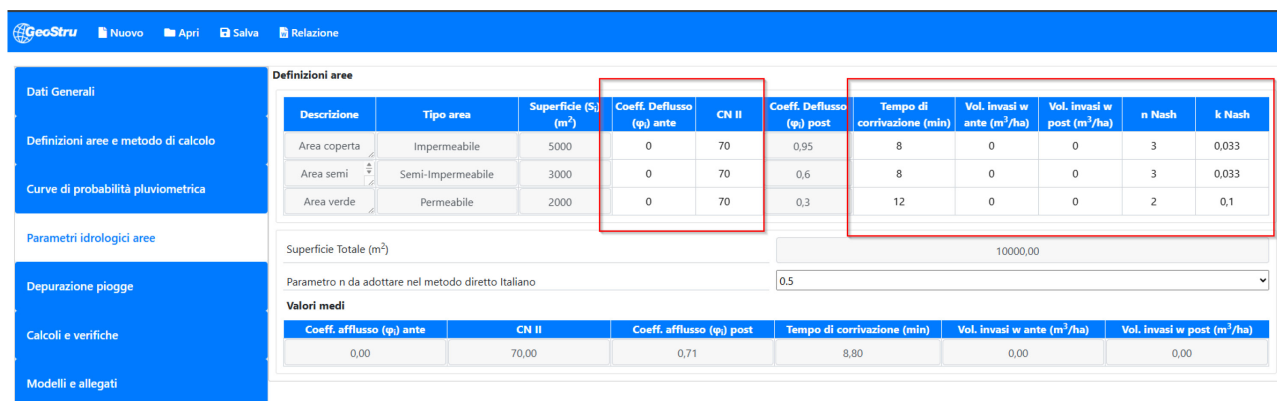
8.4 – Parametri idrologici aree

Cliccando su questa tab, verranno raccolte tutte le informazioni immesse precedentemente in forma tabellare, in aggiunta è possibile inserire dati come:

- Coefficiente di deflusso ante-operam per la specifica superficie $(\phi_i)_{\text{ante}}$;
- CN II;
- Tempo di corrivazione per la singola superficie, espresso in minuti;
- Vol. invasi w ante espressi in m^3/ha utilizzato nel caso di applicazione del Metodo Diretto Italiano
- Vol. invasi w post espressi in m^3/ha utilizzato nel caso di applicazione del Metodo Diretto Italiano;
- n Nash per ogni superficie;
- k Nash per ogni superficie.

Verranno calcolati inoltre la Superficie Totale espressa in m^2 (uguale a quella vista in Definizioni aree e metodo di calcolo) e i valori medi.

“Parametro n da adottare nel metodo diretto Italiano” permette all’utente di scegliere quale valore di n, derivante dalla legge di pioggia delle curve di probabilità pluviometrica, utilizzare: quello orario o <1



Descrizione	Tipo area	Superficie (S _i) (m²)	Coeff. Deflusso (φ _i) ante	CN II	Coeff. Deflusso (φ _i) post	Tempo di corrivazione (min)	Vol. invasi w ante (m³/ha)	Vol. invasi w post (m³/ha)	n Nash	k Nash
Area coperta	Impermeabile	5000	0	70	0,95	8	0	0	3	0,033
Area semi	Semi-Impermeabile	3000	0	70	0,6	8	0	0	3	0,033
Area verde	Permeabile	2000	0	70	0,3	12	0	0	2	0,1

Superficie Totale (m²) 10000,00

Parametro n da adottare nel metodo diretto Italiano 0,5

Valori medi

Coeff. afflusso (φ _i) ante	CN II	Coeff. afflusso (φ _i) post	Tempo di corrivazione (min)	Vol. invasi w ante (m³/ha)	Vol. invasi w post (m³/ha)
0,00	70,00	0,71	8,80	0,00	0,00

8.5 – Depurazione piogge

In Depurazione piogge è possibile calcolare lo ietogramma di pioggia netta con il metodo selezionato in “Definizioni aree e metodo id calcolo”. Di default l’intervallo di tempo è impostato su 1 minuto, ma l’utente può modificarlo: attenzione, modificando questo intervallo di tempo, anche l’idrogramma delle portate verrà calcolato con lo stesso valore.

Premendo su calcolo verrà calcolato lo ietogramma delle piogge lorde (blu) e netta (rosso). Da Superfici da visualizzare è possibile cambiare lo ietogramma calcolato della superficie specifica inserita precedentemente:

GeoStru
Nuovo
Apri
Salva
Relazione

Dati Generali

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Ietogramma di pioggia

Intervallo di tempo Δt 1 min

Calcola

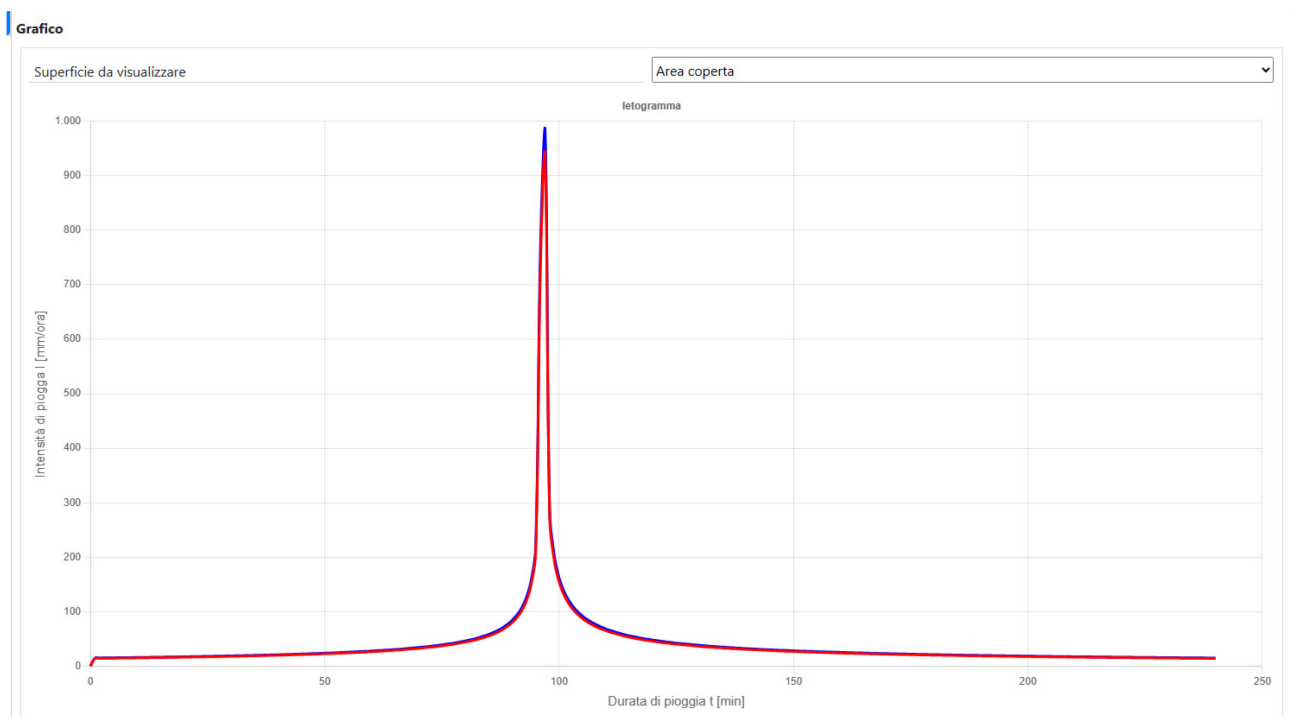
t (min)	I. pioggia (mm/ora)	I. netto (mm/ora)
0	0,00	0,00
1	15,27	14,51
2	15,38	14,61
3	15,48	14,71
4	15,59	14,81
5	15,70	14,91

Grafico

Superficie da visualizzare Area coperta



I risultati, oltre che in forma tabellare con tempo in minuti, Intensità di pioggia lorda (mm/ora) e Intensità di pioggia netta (mm/ora), saranno disponibili sottoforma di grafico con in ascisse la durata di pioggia in minuti e in ordinata l'intensità di pioggia in mm/ora:



8.7 – Calcoli e verifiche

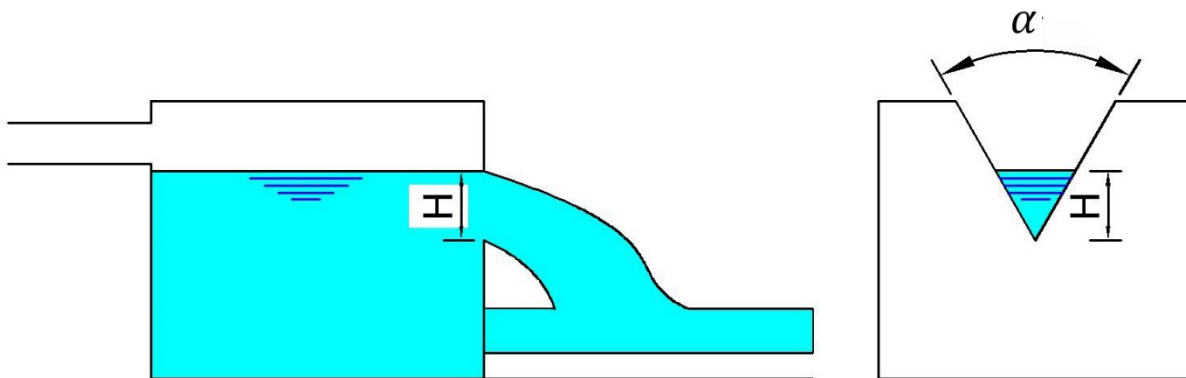
Qui è possibile effettuare il dimensionamento e verifica dell'invaso attraverso i metodi:

- Metodo diretto Italiano (ER);
- Metodo della corrivazione;
- Procedura dettagliata;
- Metodo delle sole piogge;
- Requisiti minimi.

Sono disponibili 8 tipologie di scarico:

Portata costante: viene un posto un valore, definito dall'utente, di portata costante;

Stramazzo di tipo Thomson:



$$Qu(H)=8/15\cdot\mu\cdot tg(\alpha)\cdot\sqrt{(2g)}\cdot H^{2,5}$$

$Qu[l/s]$: portata uscente dall'invaso

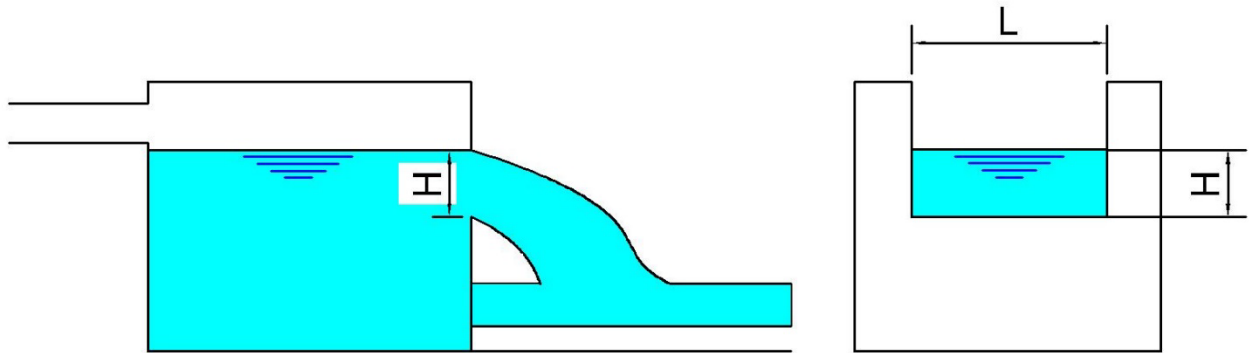
$\mu [-]$: coefficiente di efflusso ($\mu=0,6$)

$\alpha [^\circ]$: angolo di inclinazione delle sponde

$H [m]$: battente idrico

$g [m^2/s]$: accelerazione gravitazionale, pari a 9.81

Stramazzo di tipo Bazin



$$Qu(H)=2/3 \cdot \mu \cdot L \cdot \sqrt{(2g)} \cdot H^{1,5}$$

Qu [l/s]: portata uscente dall'invaso

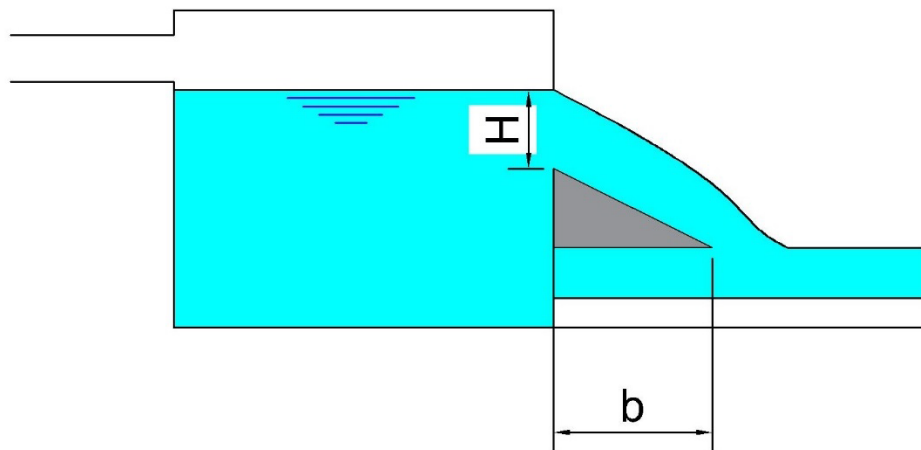
μ [-]: coefficiente di efflusso ($\mu=0,4$)

L [m]: lunghezza della soglia di sfioro

H [m]: battente idrico

g [m2/s]: accelerazione gravitazionale, pari a 9.81

Stramazzo larga soglia (Crump weir):



$$Qu(H)=0,385 \cdot b \cdot \sqrt{(2g)} \cdot H^{1,5}$$

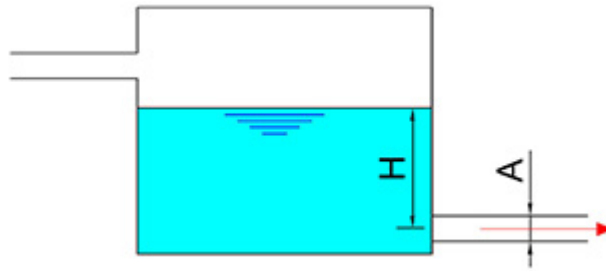
Qu [l/s]: portata uscente dall'invaso

b [m]: larghezza della soglia

H [m]: battente idrico

g [m2/s]: accelerazione gravitazionale, pari a 9.81

Luce a battente circolare



$$Q_u(H) = \mu \cdot A \cdot \sqrt{2g \cdot H}$$

Q_u [l/s]: portata uscente dall'invaso

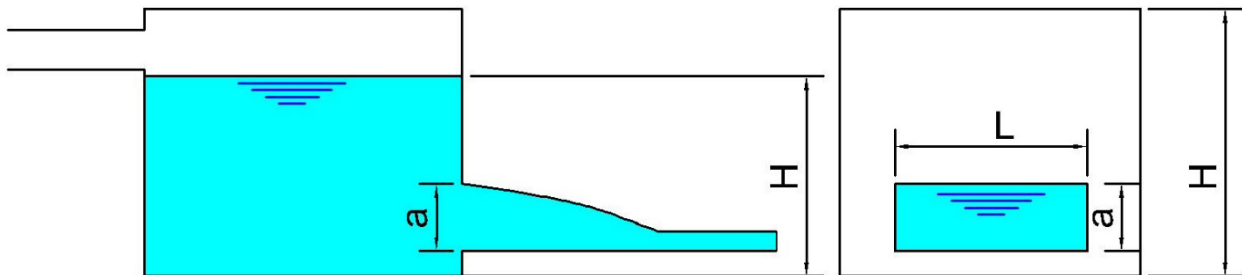
μ [-]: coefficiente di efflusso ($\mu=0,6$)

A [m²]: area della bocca d'uscita

H [m]: battente idrico

g [m/s²]: accelerazione gravitazionale, pari a 9.81

Luce a battente sotto paratoia



$$Q_u(H) = \mu \cdot a \cdot L \cdot \sqrt{2g \cdot H}$$

Q_u [l/s]: portata uscente dall'invaso

μ [-]: coefficiente di efflusso ($\mu=0,6$)

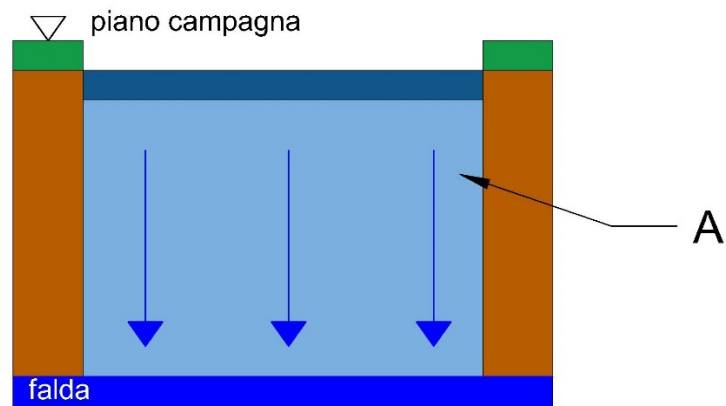
a [m]: apertura paratoia rispetto al fondo

L [m]: lunghezza della soglia

H [m]: battente idrico

g [m/s²]: accelerazione gravitazionale, pari a 9.81

Portata infiltrata costante



$$Q_{umax} = K_{calc} \cdot i \cdot A \cdot 1000$$

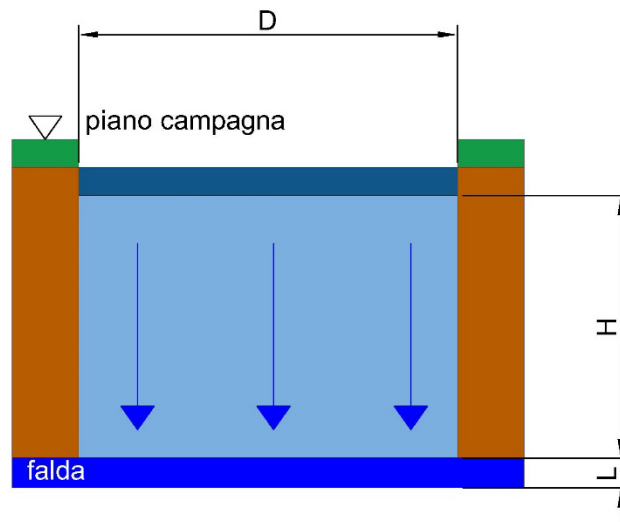
Q_{inf} [l/s]: portata infiltrata

K_{calc} [m/s]: permeabilità di calcolo del terreno

i [m/m]: gradiente idraulico

A [m²]: area di infiltrazione di calcolo

Pozzo d'infiltrazione (Sieker 1984)



$$Q_{umax} = n \cdot K_{calc} \cdot [L + z / (L + z/2)] \cdot Af \cdot 1000$$

$$Af = \pi \cdot [(D/2 + z/2)^2 - (D/2)^2]$$

Q_{umax} [l/s]: portata infiltrata

n [-]: numero di pozzi

K_{calc} [m/s]: permeabilità di calcolo del terreno

L [m]: distanza tra il fondo del pozzo e il livello della falda

z [m]: altezza idrica nel pozzo rispetto al fondo

A_f [m²]: area di infiltrazione di calcolo

D [m]: diametro della frontiera disperdente del pozzo

I calcoli saranno possibili se il metodo desiderato è selezionato in “Definizioni aree e metodo di calcolo”, altrimenti premendo “Calcola” sulla destra comparirà avviso “Non è stato selezionato il metodo”

In “Durata piogge di progetto”, verrà riportato il valore inserito in Definizioni aree e metodo di calcolo”, l’utente è tenuto ad inserire un valore di Superficie di invaso espresso in m².

Una volta selezionato la tipologia di scarica desiderata, verranno effettuati i calcoli in base alle Normative e i metodi selezionati.

Nel caso non fosse espressa la Normativa in “Requisiti minimi”, una volta premuto calcola si attiverà il campo in cui l’utente potrà inserire un valore di volumi di invaso espresso in m³.

Una volta effettuato il dimensionamento in “Verifiche invaso”, premuto “Effettua verifiche” verranno presi i valori ammissibili massimi tra quelli calcolati con i metodi selezionati.

Il tempo di svuotamento viene calcolato se è selezionato una tra queste tipologie di scarico:

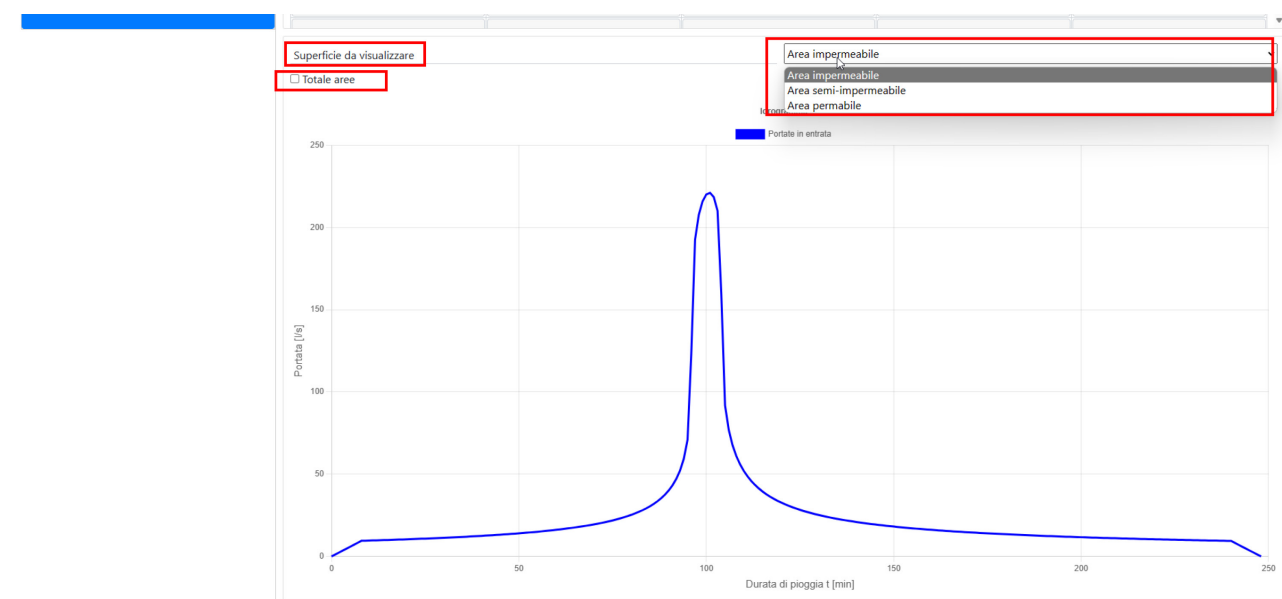
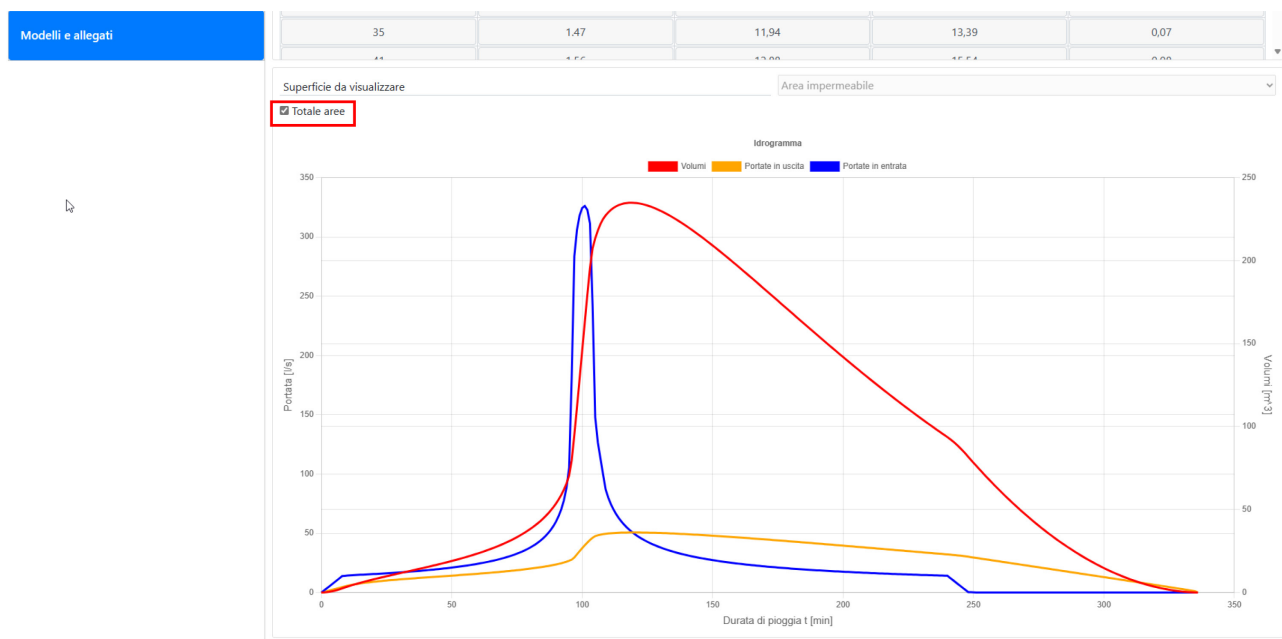
- Portata costante;
- Portata infiltrazione costante.

Premendo “Non effettuare la verifica per il tempo di svuotamento” non viene effettuato il calcolo del tempo di svuotamento.

8.6.1 – Idrogramma

Nel caso sia stata selezionata la Procedura Dettagliata in “Definizioni aree e metodo di calcolo”, comparirà la Tab “Idrogrammi” in “Calcoli e verifiche”. Quest’ultimo verrà calcolato o quando verrà premuto “Calcola” in Risultati, sotto la voce Dimensionamento invaso al metodo della Procedura dettagliata, o premendo Calcola nella tab “Idrogramma”. L’intervallo di tempo varrà letto da quello impostato in “Depurazioni Piogge”. Premuto Calcola in “Idrogramma” partiranno i rispettivi calcoli. **Attenzione il calcolo è oneroso per il browser e potrebbe richiedere alcuni secondi prima di concludersi.**

Una volta concluso il calcolo verrà stampato a video il grafico dell'idrogramma del totale delle aree relativo alle portate in entrata (blu), in uscita (giallo) espressi in l/s e i volumi accumulati (rosso) espressi in m³. Se si toglie la spunta all'opzione "Totale aree" sarà possibile vedere l'idrogramma delle portate in entrata di ogni singola superficie attraverso il menu a tendina:



Attenzione ad ogni attivazione e disattivazione della casella di controllo "Totale aree" Invarianza Idraulica ripeterà i calcoli.

In forma tabella verranno riportate, per il totale delle aree:

- L'istante temporale di calcolo t espresso in minuti;

- Le portate in entrata Q_e espresso in l/s;
- Le portate in uscita Q_u espresse in l/s;
- I volumi accumulati V espressi in m^3 ;
- L'altezza di invaso H espressa in m.

8.7 – Modelli allegati

Una volta effettuati tutti i calcoli è possibile compilare online direttamente gli Allegati D/E della Regione Lombardia.

9 – ESEMPI DI CALCOLO

9.1 – Invarianza idraulica Regione Lombardia, requisiti minimi

L'area di progetto su cui effettuare l'analisi di invarianza idraulica ha un'estensione di 1629 mq, un coefficiente di deflusso post-opera pari a 0.95 ed è situata nel comune di Lecco nell'omonima Provincia.

Dati di input

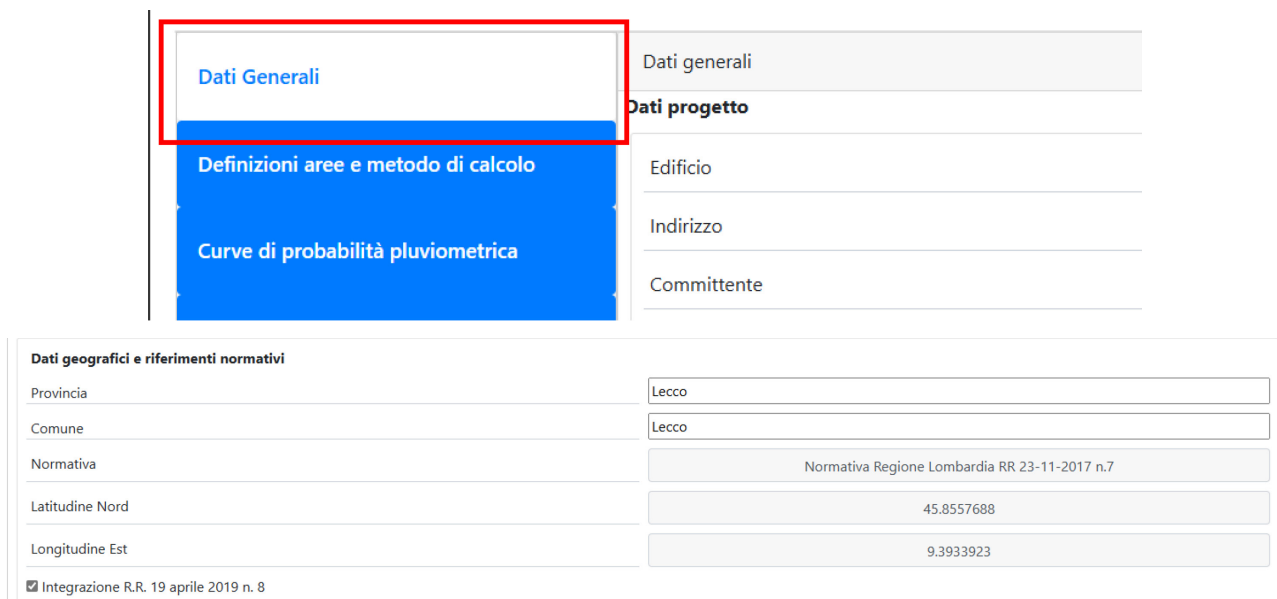
Comune: Lecco

Provincia: Lecco

Superficie: 1629 mq

Coeff. di deflusso post $\phi = 0.95$

In Dati Generali, una volta inserito comune e provincia l'applicativo mostrerà la normativa vigente. L'utente può selezionare o meno l'integrazione del 2019 in quanto ricadiamo nella Regione Lombardia, per questo caso si sceglie di flaggare l'opzione:



Dati generali	
Provincia	Lecco
Comune	Lecco
Normativa	Normativa Regione Lombardia RR 23-11-2017 n.7
Latitudine Nord	45.8557688
Longitudine Est	9.3933923

☒ Integrazione R.R. 19 aprile 2019 n. 8

In Definizioni aree e metodo di calcolo, viene aggiunta una superficie di nome “A1” con superficie pari a 1629 e coefficiente di deflusso 0.95. Premendo calcola compariranno i valori di coeff. di deflusso ponderato e la superficie ponderata. L'applicativo riconosce il comune di Lecco come area a criticità idraulica C, come da Normativa e completa con i valori di portata limite ammissibile u_{lim} secondo Normative, e portata costante uscente Q_{ulim} calcolandola rispetto in funzione u_{lim} e la superficie.

Dati Generali

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Definizioni aree di progetto (post operam)

Per aggiungere una superficie premere il tasto "+", per rimuoverla il tasto "-"

Descrizione	Tipo area	Superficie (S _i) (m²)	Coeff. Deflusso (q _i)
A1	Impermeabile	1629	0.95

Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna

Calcola

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza

Coefficiente di deflusso medio ponderale

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza ponderata

Area criticità idraulica

☐ Nessuna verifica di portata

Coefficiente P

Portata limite ammissibile

Portata costante uscente (laminazione ottimale)

(S_{tot}) 1629 m²

(q_{pond}) 0.950 --

(S_{pond}) 1547.5500 m²_{imp}

C - Criticità bassa

20 l/s_{ha}imp

3.10 l/s

Premendo “Verifica metodo di calcolo” verranno mostrati il Calcolo che propone la normativa e quelli che è possibile effettuare in aggiunta con la classe di intervento:

Verifica il metodo di calcolo

Opzioni calcoli

Calcolo proposto

Calcolo adottati

Classe di intervento

Requisiti minimi articolo 12 comma 2

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

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

☒ **Requisiti minimi**

☐ Metodo delle sole piogge

☐ Metodo diretto italiano

☐ Metodo della corrivazione

☐ Procedura dettagliata

Impermeabilizzazione potenziale media

In questo caso si ricade in una classe di intervento di Impermeabilizzazione potenziale media in Area C, quindi il calcolo proposto secondo Normativa sono i requisiti minimi:

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

In curva di probabilità pluviometrica si andranno ad inserire i parametri del modello G.E.V. (Generalized Extreme Values), per un periodo di ritorno di 50 anni, consultabili dal servizio [SIDRO](#) pari a:

D [ora]	1-24	< 1 ora
a1 - Coefficiente pluviometrico orario	31,24	31,24
n - Coefficiente di scala	0,31619999	0,5
GEV - parametro alpha	0,30309999	0,30309999
GEV - parametro kappa	-0,0054	-0,0054
GEV - parametro epsilon	0,82309997	0,82309997

Dati Generali

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Dati geografici

Comune: Lecco

Provincia: Lecco

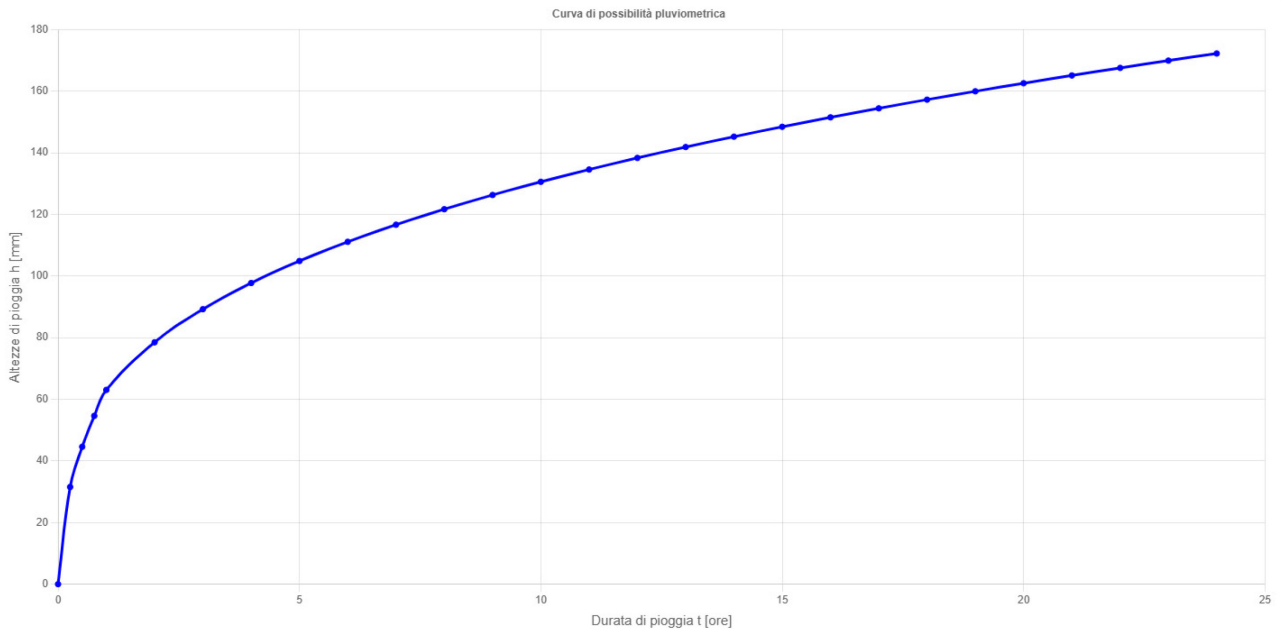
☒ G.E.V. (Generalized Extreme Values) (inserire i valori dal servizio [SIDRO](#)) per la Regione Lombardia ☐ Curva a 2 parametri (a e n)

Tempo di ritorno adottato: 50 anni

Coefficiente pluviometrico orario	(a ₁)	31,24	mm/h ^a
Coefficiente pluviometrico curva di probabilità pluviometrica	(a)	63,05	mm/h ^b
Coefficiente di scala	(n)	0.31619999	--
GEV - Parametro alfa	(α)	0.30309999	--
GEV - Parametro kappa	(k)	-0.0054	--
GEV - Parametro epsilon	(ε)	0.82309997	--
Coefficiente di scala <1 ora	(n ₁)	0.50	--
Fattore di crescita legato al tempo di ritorno T	(k _T)	2,02	anni

Calcola

Premuto calcola si otterrà la curva di probabilità pluviometrica con i rispettivi valori di h e t



In calcoli e verifiche, infine è possibile calcolare i volumi di invaso secondo il metodo scelto e verificarli secondo un dimensionamento.

Si sceglie come tipo di scarico un scarico di portata costante (che prende il valore da quello impostato in fase di definizione delle aree). Premendo il pulsante calcola affianco al metodo scelto (requisiti minimi) verrà calcolato il volume di invaso. Premendo “Effettua le verifiche” vengono calcolati il valore ammissibile di altezza utile di invaso in m, volume utile di invaso in mc (prende il massimo di quelli calcolati con i metodi prescelti) e il tempo di svuotamento in ore. Immettendo un valore di superficie di invaso in mq e di altezza utile di invaso in m, inoltre, verranno calcolati il volume di invaso di progetto e il valore ammissibile di altezza utile.

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Caratteristiche invaso

Durata piogge di progetto (h) ore

Superficie invaso m²

Dimensionamento invaso

Tipo di calcolo	Durata critica (h)	Vol. invaso (m ³)	
Metodo diretto Italiano (ER)			Calcola
Metodo della corrivazione			Calcola
Procedura dettagliata			Calcola
Metodo delle sole piogge			Calcola
Requisiti minimi		61,902	Calcola

Verifiche invaso

Verifiche	Val. di progetto	Val. ammissibile
Altezza utile invaso (m)	H 4,00	≥ 0,31
Volume utile invaso (m ³)	V 800	≥ 61,902
Tempo di svuotamento (h)	T 5,55	≤ 48

☐ Non effettuare la verifica per il tempo di svuotamento

Sistema di scarico

Tipologia di scarico

Portata massima scaricabile (Q_{umax}) l/s

Valore di Q_{u,lim} presente in "Definizioni aree e metodo di calcolo"

Risultati ottenuti:

Volume di invaso (mc) = 61.902 (Requisiti minimi)

Tempo di svuotamento (ore) = 5.55

Portata di scarico = costante a 3.1 l/s

9.2 – Invarianza idraulica Regione Lombardia, metodo delle sole piogge

Si consideri ora la stessa area di progetto dell'esercizio 9.1 ma ricadente nel comune di Milano

Dati geografici e riferimenti normativi			
Provincia	Milano		
Comune	Milano		
Normativa	Normativa Regione Lombardia RR 23-11-2017 n.7		
Latitudine Nord	45.4667993		
Longitudine Est	9.1903474		
☒ Integrazione R.R. 19 aprile 2019 n. 8			

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza	(S _{tot. inv.})	1629	m ²
Coefficiente di deflusso medio ponderale	(φ _{pond.})	0,950	--
Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza ponderata	(S _{pond.})	1547,5500	m ² _{imp}
Area criticità idraulica	A - Criticità alta		
☐ Nessuna verifica di portata			
Coefficiente P	1		
Portata limite ammissibile	(U _{lim.})	10	l/s·ha _{imp}
Portata costante uscente (laminazione ottimale)	(Q _{u,lim.})	1,55	l/s

☒ Verifica il metodo di calcolo

Opzioni calcoli		Metodo delle sole piogge	
Calcolo proposto		☒ Requisiti minimi	
Calcolo adottati		☒ Metodo delle sole piogge	
		☐ Metodo diretto italiano	
		☐ Metodo della corrivazione	
		☐ Procedura dettagliata	
Classe di intervento	Impermeabilizzazione potenziale media		

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)
		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	

L'area ricadendo in un'area A, fa cambiare il metodo proposto in metodo delle sole piogge. Ripetendo i passaggi visto nell'esercizio 9.1, si arriverà ai seguenti risultati:

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Durata piogge di progetto (h) ore

Superficie invaso m²

Dimensionamento invaso

Tipo di calcolo

Metodo diretto Italiano (ER)

Metodo della corrivazione

Procedura dettagliata

Metodo delle sole piogge

Requisiti minimi

Verifiche invaso

Verifiche

Altezza utile invaso (m) H

Volume utile invaso (m³) V

Tempo di svuotamento (h) T

☐ Nessuna verifica per il tempo di svuotamento

[Effettua le verifiche](#)

Durata critica (h)

Vol. invaso (m³)

Val. di progetto

Val. ammissibile

Sistema di scarico

Tipologia di scarico Portata costante

Portata massima scaricabile (Q_{umax}) l/s

Valore di Q_{u,lim} presente in "Definizioni aree e metodo di calcolo"

9.3 - Invarianza idraulica Regione Emilia-Romagna, metodo Diretto Italiano

Si consideri un'area di intervento totale di 7695 mq e con i seguenti dati di situazione ante-operam, post-operam e indici di trasformazione:

Superficie totale dell'intervento = 7695 mq

Situazione ante operam

Superficie impermeabile esistente = 3110,40 mq

Superficie permeabile esistente = 4584,60 mq

Situazione post operam

Superficie impermeabile di progetto = 2399,10 mq

Superficie permeabile di progetto = 5295,90 mq

Indici di trasformazione dell'area

Superficie trasformata/livellata = 6660,00 mq

Superficie agricola inalterata = 1035 mq

Se il comune oggetto dell'intervento ricade nella Regione Emilia-Romagna, come descritto nel paragrafo 8.2, si attiverà la maschera di input aggiuntiva **Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna e Marche**, da dove poter inserire i dati appena descritti:

Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna

Superficie totale dell'intervento	(S_{totinv})	7695	m ²
Situazione ante operam			
Superficie impermeabile esistente	(S_{imp})	3110.40	m ²
Frazione area impermeabile anteoperam	(I_{imp})	0,40	--
Superficie permeabile esistente	(S_{perm})	4584.60	m ²
Frazione area permeabile anteoperam	(P_{imp})	0,60	--
Situazione post operam			
Superficie impermeabile di progetto	(S_{imp})	2399.10	m ²
Frazione area impermeabile postoperam	(I_{imp})	0,31	--
Superficie permeabile di progetto	(S_{perm})	5295.90	m ²
Frazione area permeabile postoperam	(P_{imp})	0,69	--
Indici di trasformazione dell'area			
Superficie trasformata/livellata	(I_p)	6660	m ²
Frazione area trasformata	(I)	0,87	--
Superficie agricola inalterata	(P_p)	1035	m ²
Frazione superficie inalterata	(P)	0,13	--
Coefficienti di deflusso			
Coefficiente di deflusso ante-operam	(φ)	0,48	--
Coefficiente di deflusso post-operam	(φ)	0,42	--

Calcola

Premendo calcola verranno calcolati i vari parametri del Metodo Diretto Italiano secondo Normativa e descritti nel paragrafo 5.1 e i valori ponderati visti in precedenza:

Calcola			
Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza	($S_{tot. inv}$)	7695	m ²
Coefficiente di deflusso medio ponderale	(φ_{pond})	0,418	--
Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza ponderata	(S_{pona})	3218,3700	m ² _{imp}
Area criticità idraulica			
☐ Nessuna verifica di portata			
Coefficiente P			
Portata limite ammissibile	(U_{lim})		l/s·ha _{imp}
Portata costante uscente (laminazione ottimale)	($Q_{u,lim}$)	15.39	l/s

In questo caso, così come in comuni non ricadenti nella Regione Lombardia, è l'utente ad impostare il valore di Q_{ulim} .

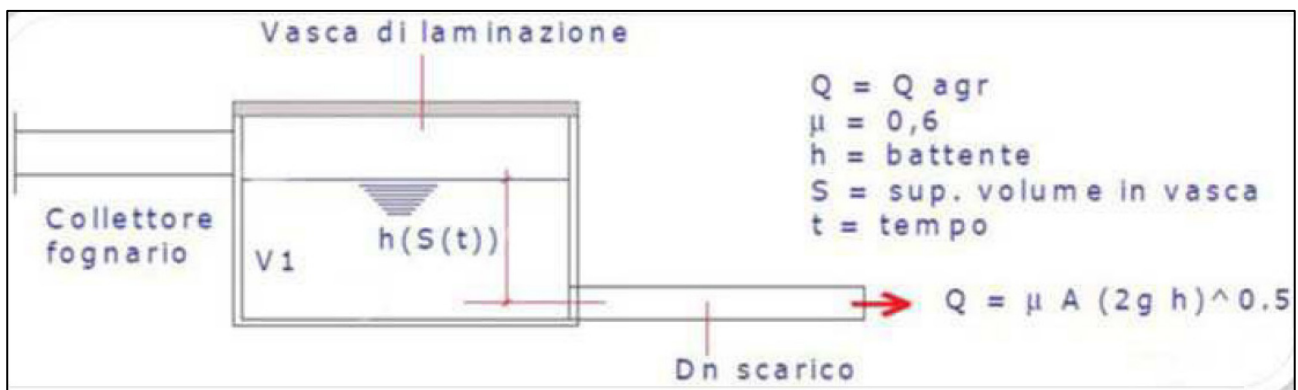
N.B.: in questa fase i calcoli vengono effettuati considerando i valori inseriti nella maschera **Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna e Marche, per tutte le altre Normative in base alla tabella in Definizioni aree.**

Premendo Verifiche di calcolo, Invarianza Idraulica, indica le direttive di Normativa, la classe di intervento e l'utente deve selezionare l'opzione "Metodo diretto italiano"

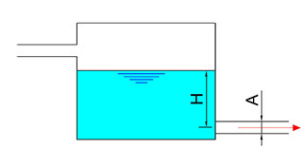
In calcoli e verifiche premendo "Calcola" sulla riga del Metodo Diretto verrà calcolato il volume di invaso:

Durata piogge di progetto	(θ)		ore
Superficie invaso		200	m ²
Dimensionamento invaso			
Tipo di calcolo	Durata critica (h)	Vol. invaso (m³)	
Metodo diretto Italiano (ER)		14,01	Calcola
Metodo della corrivazione			Calcola
Procedura dettagliata			Calcola
Metodo delle sole piogge			Calcola
Requisiti minimi			Calcola
Verifica invaso			

Per questo esempio, inoltre si sceglie un sistema di scarico a battente circolare con un battente massimo di 0.4 m e una sezione di uscita pari a 0.012227 mq dato da un diametro nominale di condotta DN125.



Sistema di scarico			
Tipologia di scarico	Luce a battente circolare		
Battente idrico utile massimo	(H)	0.4	m
Area della bocca d'uscita	(A)	0.012227	m ²
Portata massima scaricabile	(Q _{umax})	20,62	l/s



9.3 – Procedura dettagliata

Si consideri un'area totale di intervento di 10000 mq

Situazione post-operam

Area coperta di progetto = 4000 mq $\phi_i = 0,95$

Area semi-impermeabile a parcheggio = 4000 mq $\phi_i = 0,60$

Area verde = 2000 mq $\phi_i = 0,30$

$Q_{u,lim} = 20$ l/s

Definizioni aree di progetto (post operam)

Per aggiungere una superficie premere il tasto "+", per rimuoverla il tasto "-"

Descrizione	Tipo area (Suggerisce un valore di coefficiente di deflusso suggerito dalla normativa - in arrivo)	Superficie (S_i) (m^2)	Coeff. Deflusso (φ_i)
Area impermeabile	Impermeabile	4000	0.95
Area semi-impermeabile	Semi-impermeabile	4000	0.60
Area permeabile	Permeabile	2000	0.30

- +

Definizioni aree calcolo metodo Italiano Diretto Emilia Romagna

Calcola

Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza	($S_{tot,im}$)	10000	m^2
Coefficiente di deflusso medio ponderale	(φ_{pond})	0.680	--
Superficie totale interessata dall'analisi di invarianza ponderata	(S_{pond})	6800,0000	m^2_{imp}
Area criticità idraulica			
☐ Nessuna verifica di portata			
Coefficiente P			
Portata limite ammissibile	(u_{lim})		$l/s \cdot ha_{imp}$
Portata costante uscente (laminazione ottimale)	($Q_{u,lim}$)	20	l/s

Verifica il metodo di calcolo

Si vuole effettuare l'analisi con tutti i metodi proposti:

Verifica il metodo di calcolo

Opzioni calcoli

Calcolo proposto

Calcolo adottati

- ☒ Requisiti minimi
- ☒ Metodo delle sole piogge
- ☒ Metodo diretto italiano
- ☒ Metodo della corrivazione
- ☒ Procedura dettagliata

Classe di intervento

Ietogramma Chicago

Durata piogge di progetto

(θ) 4 ore

Coefficiente di posizione

(r) 0.4 --

Metodo di depurazione delle piogge

☒ Percentuale

☐ Horton

Classe di suolo

A

☐ Metodo CN

Umidità iniziale

AMC I

Attivata il metodo di calcolo della procedura dettagliata si attiveranno gli input per lo ietogramma Chicago e del metodo della depurazione delle piogge: si sceglie il metodo percentuale per quest'ultime.

In Curva di probabilità pluviometrica, non essendo specificata una normativa, si sceglie un'analisi con il metodo a due parametri:

Dati Generali

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Dati geografici

Comune

Provincia

☐ G.E.V. (Generalized Extreme Values) (inserire i valori dal servizio [SIDRO](#)) per la Regione Lombardia
 ☒ Curva a 2 parametri (a e n)

Tempo di ritorno adottato anni

Coefficiente pluviometrico orario (a1) mm/hⁿ
 Coefficiente pluviometrico curva di probabilità pluviometrica (a) mm/hⁿ
 Coefficiente di scala (n) --
 GEV - Parametro alfa (α) --
 GEV - Parametro kappa (k) --
 GEV - Parametro epsilon (ε) --
 Coefficiente di scala < 1 ora (n1) --
 Fattore di crescita legato al tempo di ritorno T (kt) anni

Calcola

In parametri idrologici aree, andranno inseriti i valori:

- coefficienti di deflusso ante-operam pari a 0.3 per tutte le superfici, per il calcolo del metodo diretto Italiano “tradizionale”;
- I valori di CNII per tutte le superfici;
- Il tempo di corrivazione;
- Volumi di invasi ante e post per il metodo diretto Italiano Tradizionale

Dati Generali

Definizioni aree e metodo di calcolo

Curve di probabilità pluviometrica

Parametri idrologici aree

Depurazione piogge

Calcoli e verifiche

Modelli e allegati

Definizioni aree

Descrizione	Tipo area	Superficie (S _i) (m ²)	Coeff. Deflusso (q _i) ante	CN II	Coeff. Deflusso (q _i) post	Tempo di corrivazione (min)	Vol. invasi w ante (m ³ /ha)	Vol. invasi w post (m ³ /ha)
Area impermeabile	Impermeabile	4000	0.3	98	0.95	8	50	15
Area semi-	Semi-Impermeabile	4000	0.3	85	0.6	8	50	15
Area permeabile	Permeabile	2000	0.3	61	0.3	12	50	50

Superficie Totale (m²)

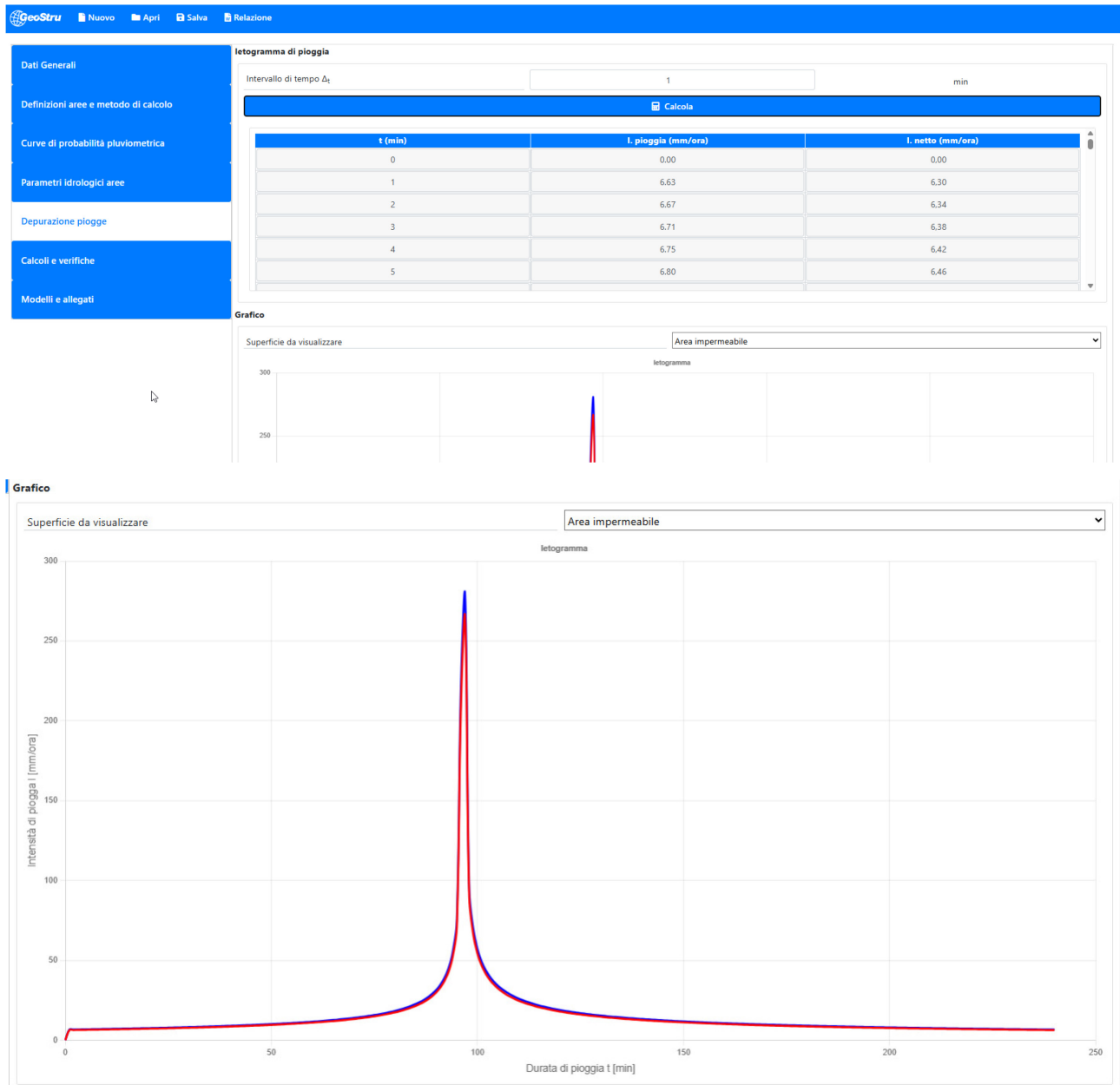
Parametro n da adottare nel metodo diretto Italiano

Valori medi

Coeff. afflusso (q _i) ante	CN II	Coeff. afflusso (q _i) post	Tempo di corrivazione (min)	Vol. invasi w ante (m ³ /ha)	Vol. invasi w post (m ³ /ha)
0.30	85.40	0.68	8.80	50.00	22.00

Verranno calcolati in automatico i valori medi, ed inoltre, quale coefficiente n della curva di probabilità pluviometrica usare nel metodo Diretto Italiano (quello relativo ad 1 ora o <1 ora).

In depurazione pioggia è possibile stabilire un intervallo di calcolo e premere successivamente calcola: verranno visualizzati a schermo i valori numeri e il grafico dello ietogramma delle piogge lorde (blu) e nette (rosso).



Scorrendo il menu a tendina è possibile visualizzare i risultati per ogni singola area.

In Calcoli e verifiche, infine, saranno visualizzati i risultati per ogni metodo e in fase di verifica preso il valore massimo di quest'ultimi.

Modificando il sistema di scarico, verranno modificati i valori delle analisi con i metodi della corrivazione, della procedura dettagliata e delle sole piogge.

Nel campo dei requisiti minimi la cella permetterà all'utente di inserire un valore secondo la propria normativa.

GeoStru
Nuovo
Apri
Salva
Relazione

Dati Generali
 Definizioni aree e metodo di calcolo
 Curve di probabilità pluviometrica
 Parametri idrologici aree
 Depurazione piogge
 Calcoli e verifiche
 Modelli e allegati

Risultati
Idrogramma

Caratteristiche invaso

Durata pioggia di progetto (h) ore

Superficie invaso m²

Dimensionamento invaso

Tipo di calcolo

Metodo diretto italiano (ER)

Metodo della convoluzione

Procedura dettagliata

Metodo delle sole piogge

Requisiti minimi

Verifiche invaso

Verifiche

Altezza utile invaso (m) H

Volume utile invaso (m³) V

Tempo di svuotamento (h) T

☐ Non effettuare la verifica per il tempo di svuotamento

Effettua le verifiche

Sistema di scarico

Tipologia di scarico Portata costante

Portata massima scaricabile (Q_{lim}) l/s Valore di Q_{lim} presente in "Definizioni aree e metodo di calcolo"

Vol. invaso (m³)

234,89	Calcola
169,51	Calcola
175,74	Calcola
175,58	Calcola
	Calcola

Val. di progetto

H

V

T

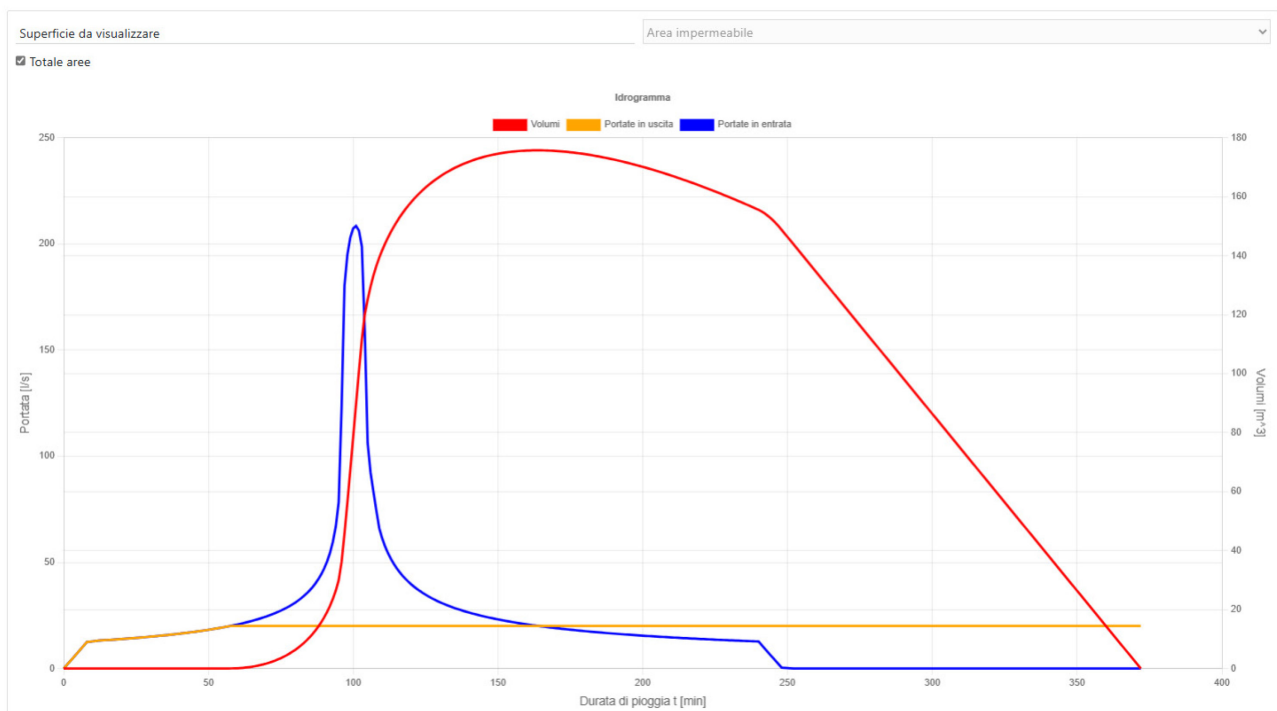
Val. ammissibile

h

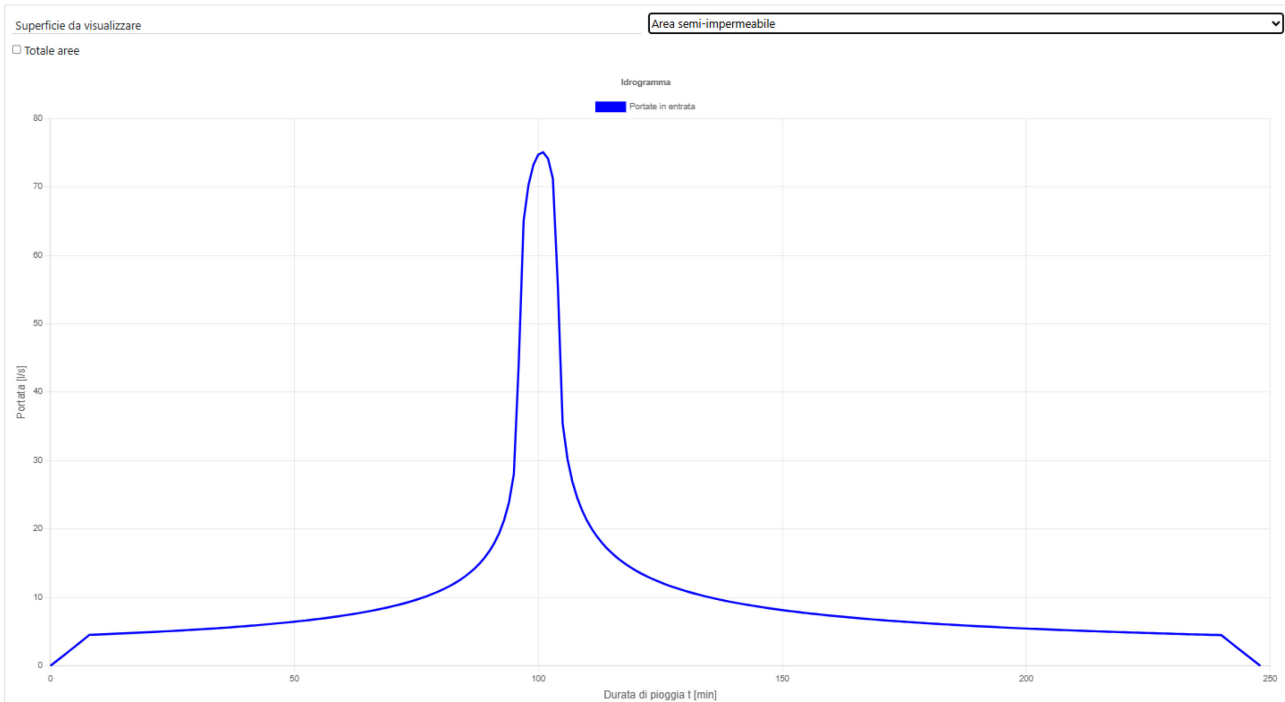
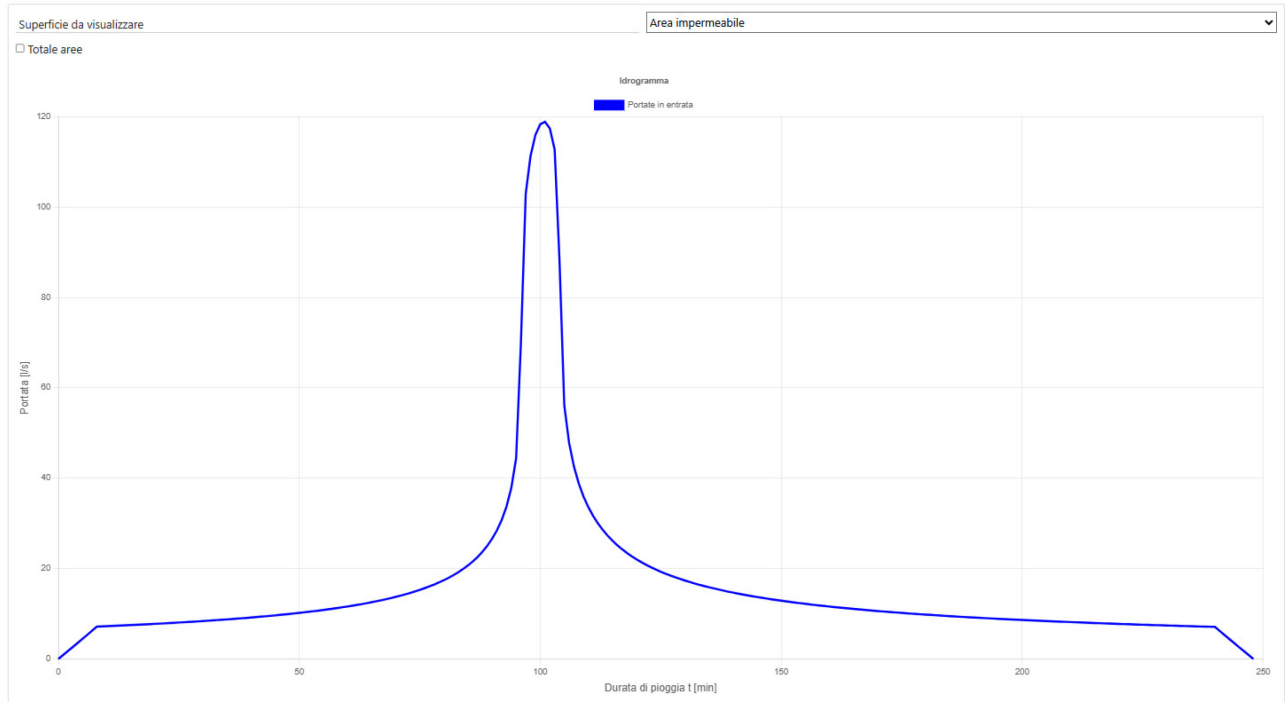
V

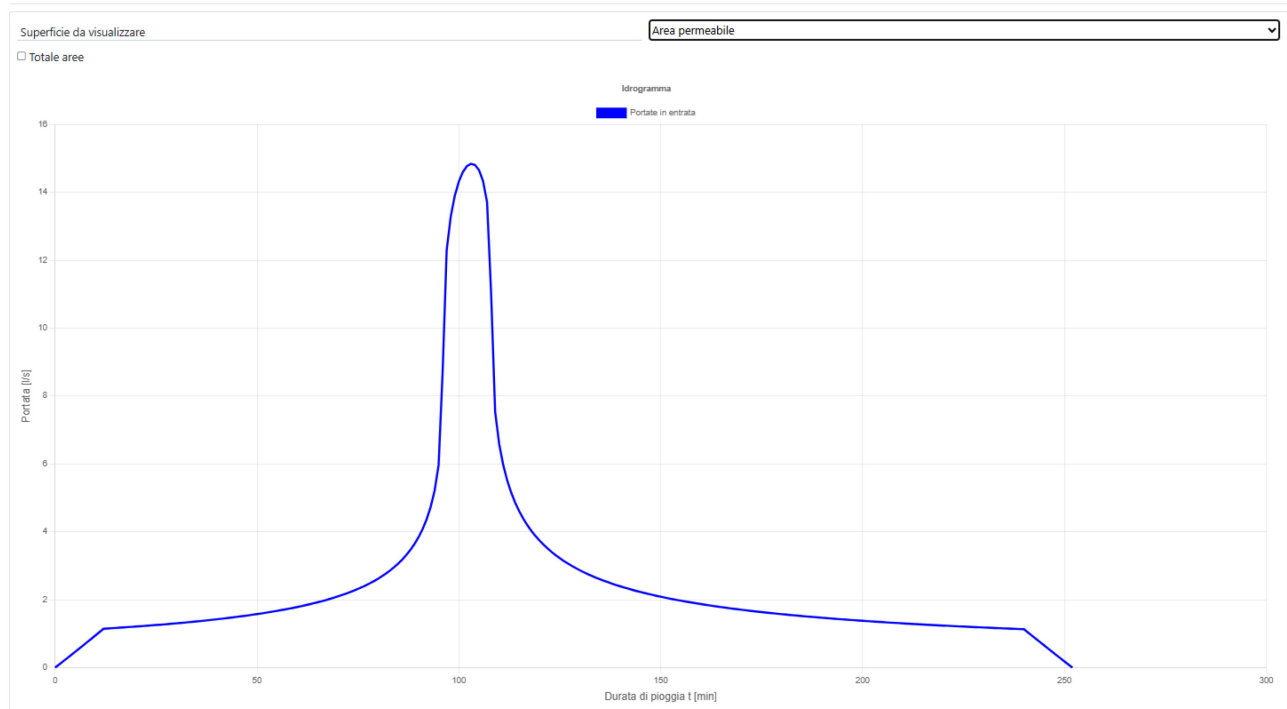
s

In idrogramma è possibile visualizzare il grafico dell'idrogramma di piena (per tutte le aree) con esplicitati il diagramma delle portate entranti all'invaso (blu), uscenti (rosso) e i volumi accumulati nel tempo (arancione).



Togliendo la spunta a “Totale aree” è possibile visualizzare l'idrogramma della portata in entrata di ogni singola superficie:





BIBLIOGRAFIA E SITOGRAFIA:

- (1) Curve di probabilità pluviometrica: come ricavarle - Gomeeting:
<https://www.gomeeting.eu/curve-di-probabilita-pluviometriche-come-ricavarle/>, Politecnico di Bari, Dipartimento DICATECh – Sede di Taranto, Corso di Laurea in Ingegneria Civile – Insegnamento di “Costruzioni idrauliche” A.A. 2013 – 2014 – Lezione 10: Fogna Pluviale – Docente: Ing. Stefania Arborea
- (2) Curve di probabilità pluviometrica: come ricavarle - Gomeeting:
<https://www.gomeeting.eu/curve-di-probabilita-pluviometriche-come-ricavarle/>, Università degli Studi della Basilicata (UNIBAS), Facoltà di Ingegneria – Corso di Idrologia e costruzioni analitiche – Lezione: Definizione e la Costruzione di Curve di probabilità Pluviometrica e Curve di Durata - Docente: Oliveto Giuseppe
- (3) Regione Lombardia - Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 – Integrazione 19 Aprile 2019 n. 8
- (4) Metodi e criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica nella Regione Friuli Venezia Giulia - - Allegato 1 al Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'art.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)
- (5) Metodi e criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica nella Regione Friuli Venezia Giulia - Allegato 1 al Regolamento recante disposizioni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica di cui all'art.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)
- (6) Ietogramma – Wikipedia: <https://it.wikipedia.org/wiki/Ietogramma>
- (7) ANALISI DELLE PROBLEMATICHE CONNESSE AL RADDOPPIO DELLA LINEA ADDUTTRICE TRA QUERO E SAN SEBASTIANO (TV) - Università degli Studi di Padova - Relatore: Prof. Paolo Salandin - Laureanda: Chiara Pinato - Anno accademico 2013/2014
- (8) Regolamento regionale 28 marzo 2025 - n. 3 Disposizioni sull'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 “Legge per il governo del territorio”)

- (9) Regolamento regionale 28 marzo 2025 - n. 3 Disposizioni sull'applicazione dei principi dell'invarianza idraulica ed idrologica. Modifiche al regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 (Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell'invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell'articolo 58 bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 "Legge per il governo del territorio")
- (10) Dispense di COSTRUZIONI IDRAULICHE - prof. Ing. Ignazio Mantica - www.costruzioniidrauliche.it – Università degli Studi di Ancona, Istituto di Idraulica, Prof. Ing. Ignazio Mantica, lezioni di Costruzioni idrauliche.
- (11) Università della Calabria - Facoltà di Ingegneria – Corso di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Corso di Idrologia, Prof.ssa Daniela Biondi – Scheda didattica n° 12 Separazione delle componenti dell'idrogramma di piena A.A. 2008-09.
- (12) Regione Lombardia - Allegato F - Testo coordinato del regolamento regionale 23 novembre 2017, n. 7 – Integrazione 19 Aprile 2019 n. 8
- (13) Stima del deflusso superficiale tramite il modello di R.E. Horton – Luigi Fanizzi – ECOACQUE®
- (14) Manuale Online GeoStru – Software RunoffLab Elaborazioni idrologiche: <https://help.geostru.eu/runoff/it/>