



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

PRESIDÈNZIA

PRESIDENZA

AUTORITA' DI BACINO REGIONALE DELLA SARDEGNA

LINEE GUIDA E INDIRIZZI OPERATIVI PER L'ATTUAZIONE DEL PRINCIPIO DELLA INVARIANZA IDRAULICA

(articolo 47 delle NTA del PAI)

Allegato 2

Esempi di calcolo idraulico – Classe di intervento b

aggiornamento maggio 2017

Allegato alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 17.05.2017

Sommario

1.	Applicazione ad un caso reale di Classe di intervento b)	3
1.1	STATO ATTUALE.....	3
1.2	STATO PROGETTO	4
1.2.1	Progetto 1	5
1.2.2	Progetto 2	6
1.3	STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA.....	8
2.	Esempio di dimensionamento di un sistema di accumulo	12

1. Applicazione ad un caso reale di Classe di intervento b)

Di seguito si riporta la descrizione delle procedure da adottare nel caso di un Piano di lottizzazione avente una superficie fondiaria di 4264.81 mq pertanto ricadente nella classe di intervento **b** – Modesta impermeabilizzazione potenziale.

1.1 STATO ATTUALE

La superficie oggetto della pianificazione è estesa circa 0.4 ettari ed è ubicata tra una zona di completamento residenziale ed una zona agricola dell'abitato.

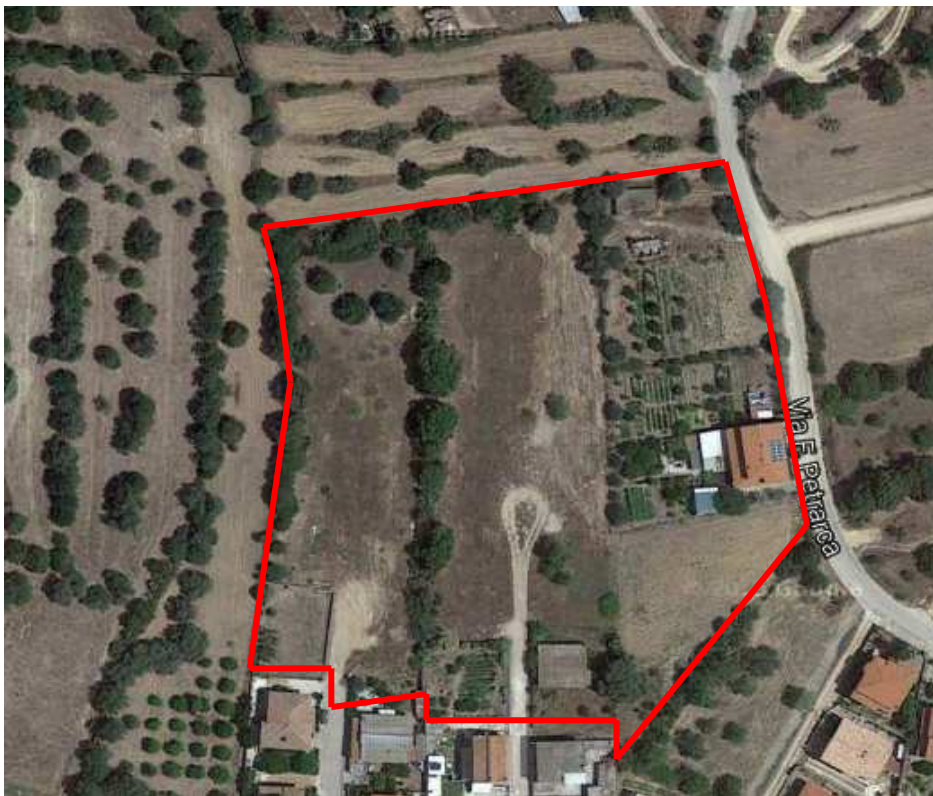


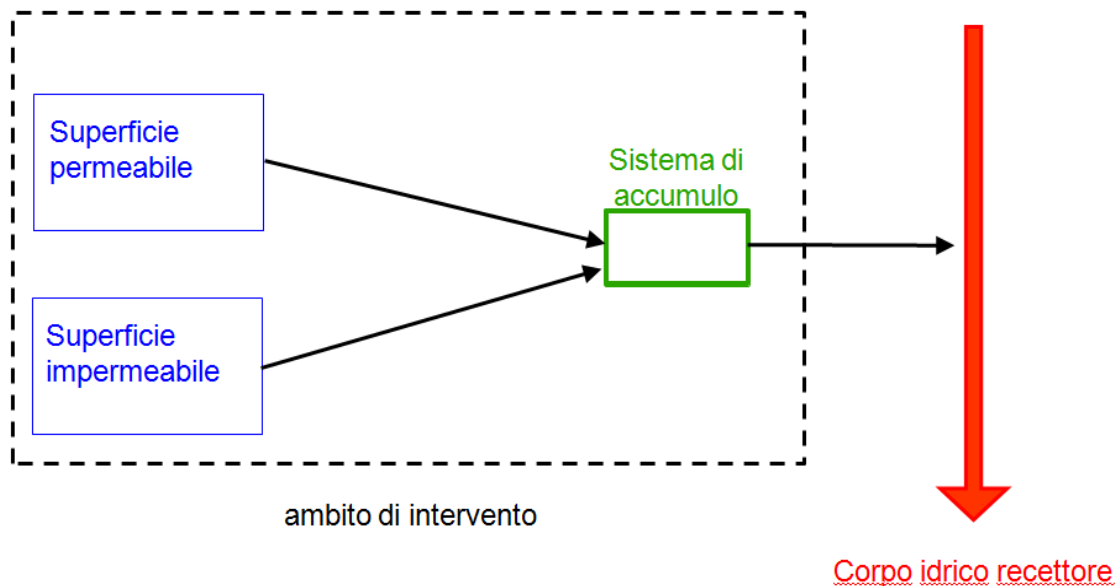
Figura 1. Planimetria della lottizzazione – Stato Attuale

Sulla base della caratterizzazione dell'area in esame è possibile individuare la tipologia di terreno suddividendola in Impermeabile e Permeabile. Nel caso di studio la porzione di terreno impermeabile è pari all'80% della totale, la restante è di terreno permeabile.

Sulla base della Tabella 1 a ciascuna delle suddette tipologie verrà attribuito un valore del coefficiente di afflusso ϕ .

Tabella 1. Valori del coefficiente di afflusso ϕ per le diverse tipologie di suolo

Tipologia	ϕ
Permeabile	0.5
Impermeabile	0.8



Nel caso oggetto di studio, risulta che allo stato attuale il terreno è caratterizzato da un coefficiente di afflusso pari a 0.56 calcolato facendo una media pesata delle superfici permeabili ed impermeabili (Tabella 2).

Tabella 2. Valori del parametro ϕ per l'area di intervento – Stato Attuale

Stato Attuale				
Tipologia	%	Superficie (m ²)	ϕ	S* ϕ
Permeabile	0.8	3411.85	0.5	1705.92
Impermeabile	0.2	852.96	0.8	682.37
Coeff afflusso ϕ Stato Attuale				0.56

1.2 STATO PROGETTO

La pianificazione in esame prevede la realizzazione di diverse tipologie edilizie quali abitazioni, isolate, binate e a schiera.

All'interno della lottizzazione oggetto di studio sono state individuate diverse tipologie a ciascuna delle quali è stato associato il valore del coefficiente di afflusso ϕ riportato all'Allegato 1 Tabella dei coefficienti di afflusso per le diverse superfici.

Di seguito verranno descritti due distinti progetti caratterizzati dalla scelta di diverse categorie costruttive per la realizzazione della Superficie fondiaria, della tipologia S1 (area per istruzione), S2 (area per attrezzature di interesse comune), S4 (area per parcheggi pubblici) e per la viabilità di piano per mettere in evidenza i vantaggi ai fini dell'invarianza idraulica.

1.2.1 Progetto 1

Nel caso in esame la superficie fondiaria e la tipologia S1 (area per istruzione) vengono interamente realizzate con coperture discontinue tipo tegole in laterizio o simili; le tipologie S4 (area parcheggi pubblici) e la viabilità di piano vengono realizzate con delle pavimentazioni in asfalto o in cls.

Tabella 3. Valori del parametro ϕ per l'area di intervento – Stato Progetto 1.

Stato Progetto 1						
Tipologia	Superficie (m2)	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	ϕ	S*ϕ
superficie fondiaria	2817.4311	Coperture discontinue (tegole in laterizio o simili)	C7	100%	0.9	2535.69
S1	170.28	Coperture discontinue (tegole in laterizio o simili)	C7	100%	0.9	153.25
S2	85.14	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbite >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	P4	50%	0.4	17.03
		Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $15 \leq s \leq 25$ cm fino ad Un'inclinazione di 12° [Sistema a tre strati]	C1	50%	0.45	19.16
S3	212.85	Superfici a verde su suolo profondo, prati, orti, superfici boscate ed agricole	S1	50%	0.1	10.64
		Area di impianto sportivo con sistemi drenanti e superficie a prato [Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	S6	50%		31.93
S4	42.6	Pavimentazioni in asfalto o cls	P 10	100%	0.9	38.31
viabilità di piano	936.5	Pavimentazioni in asfalto o cls	P 10	100%	0.9	842.89
Coefficiente afflusso ϕ Stato Progetto 1						0.86

Nella Tabella 3 viene riportato il calcolo del coefficiente di afflusso Post Intervento per l'area oggetto di studio che è pari a 0.86.

1.2.2 Progetto 2

In particolare per la superficie fondiaria e le tipologie S1 ed S2 è stato ipotizzato l'utilizzo di diverse categorie costruttive riferite rispettivamente al 50 % della superficie realizzata.

Tabella 4. Valori del parametro ϕ per l'area di intervento – Stato Progetto 2.

Stato Progetto 2						
Tipologia	Superficie (m2)	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	ϕ	S*ϕ
superficie fondiaria	2817.4311	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbita >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	P4	50%	0.4	563.49
		Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $15 \leq s \leq 25$ cm fino ad Un'inclinazione di 12° [Sistema a tre strati]	C1	50%	0.45	633.92
S1	170.28	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbita >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	P4	50%	0.4	34.06
		Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $15 \leq s \leq 25$ cm fino ad Un'inclinazione di 12° [Sistema a tre strati]	C1	50%	0.45	38.31
S2	85.14	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbita >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	P4	50%	0.4	17.03
		Copertura a verde pensile con spessore totale del substrato medio $15 \leq s \leq 25$ cm fino ad Un'inclinazione di 12° [Sistema a tre strati]	C1	50%	0.45	19.16
S3	212.85	Superfici a verde su suolo profondo, prati, orti, superfici boscate ed agricole	S1	50%	0.1	10.64
		Area di impianto sportivo con sistemi drenanti e superficie a prato [Con coefficiente di permeabilità del sottofondo kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	S6	50%	0.3	31.93

Stato Progetto 2						
Tipologia	Superficie (m2)	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	φ	$S*\varphi$
S4	42.6	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbita >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in $m/s \cdot 10^0 - 10^{-5}$]	P4	100%	0.4	17.03
viabilità di piano	936.5	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbita >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in $m/s \cdot 10^0 - 10^{-5}$]	P4	100%	0.4	374.62
Coefficiente afflusso φ Stato Progetto 2						0.41

Nella Tabella 4 viene riportato il calcolo del coefficiente di afflusso Post Intervento per l'area oggetto di studio che è pari a 0.41.



Figura 2 - Planimetria della lottizzazione – Stato Progetto

1.3 STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

Per la stima della portata di piena può essere considerato un metodo indiretto utilizzando un idetogramma costante avente una durata τ di 15 minuti. Il tempo di ritorno per il calcolo del volume di piena deve essere pari a 50 anni.

Sulla base delle Curve di possibilità pluviometrica regionalizzate per la Regione Sardegna, è possibile calcolare l'altezza di precipitazione h corrispondente alla durata τ ed al Tempo di ritorno di 50 anni.

La portata di piena Q_{Tr} attesa con tempo di ritorno Tr può essere stimata tramite la formula razionale:

$$Q_p = \frac{\varphi \cdot ARF \cdot S \cdot h}{3.6 \cdot t_c}$$

nella quale:

- φ è il coefficiente di afflusso che rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in occasione della piena, scorre in superficie;
- 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, data l'esigua entità della superficie in analisi è opportuno considerare un valore pari ad 1;
- S è la superficie del comparto (espressa in km^2)
- h è l'altezza di precipitazione, in mm, che cade nel bacino in una durata di precipitazione pari a t_c e con l'assegnato Tempo di ritorno Tr .
- t_c è il tempo di corrivazione espresso in ore;

L'intensità di precipitazione è stimata: $i_{Tr}(t_c) = h_{Tr}(t_c) / t_c$

L'altezza di precipitazione è legata alla durata t_c ed al tempo di ritorno Tr attraverso la curva di possibilità pluviometrica Deidda et al. (2000)¹

$$h_{Tr}(t_c) = Hm(t_c) \cdot t_c^n$$

nella quale:

$$Hm(t_c) = 1.1287 Hg (t_c/24)^{-0.493+0.476\text{Log}(Hg)}$$

¹ Deidda R., Piga E., and G.M. Sechi (2000), Analisi regionale di frequenza delle precipitazioni intense in Sardegna, L'Acqua, 5, 29-38, ISSN: 1125-1255

con H_g dipendente dalla posizione geografica del bacino, mentre i parametri a ed n dipendono dalla sottozona SZO di appartenenza:

per la sottozona I:

$$a = 0.4642 + 1.0376 \cdot \text{Log}(\text{Tr})$$

$$n = -0.18488 + 0.22960 \cdot \text{Log}(\text{Tr}) - 0.033216 \cdot (\text{Log}(\text{Tr}))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = -0.01469 - 0.0078505 \cdot \text{Log}(\text{Tr}) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

per la sottozona II:

$$a = 0.43797 + 1.089 \cdot \text{Log}(\text{Tr})$$

$$n = -0.18722 + 0.24862 \cdot \text{Log}(\text{Tr}) - 0.0336305 \cdot (\text{Log}(\text{Tr}))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = -0.0063887 - 0.004542 \cdot \text{Log}(\text{Tr}) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

per la sottozona III:

$$a = 0.40926 + 1.1441 \cdot \text{Log}(\text{Tr})$$

$$n = -0.1906 + 0.264438 \cdot \text{Log}(\text{Tr}) - 0.038969 \cdot (\text{Log}(\text{Tr}))^2 \quad (\text{per } t_c < 1 \text{ ora})$$

$$n = 0.014929 + 0.0071973 \cdot \text{Log}(\text{Tr}) \quad (\text{per } t_c > 1 \text{ ora})$$

Di seguito si riportano i dati relativi al piano di lottizzazione in oggetto.

Tr	50
H_g	55
SZO	2
durata ietogramma (minuti)	15
t_c (ore)	0.25
a	2.3
n	0.138
Hm	13.43
ARF	1
Superficie (mq)	4264.81
h (mm)	25.37
i (mm/ora)	101.50

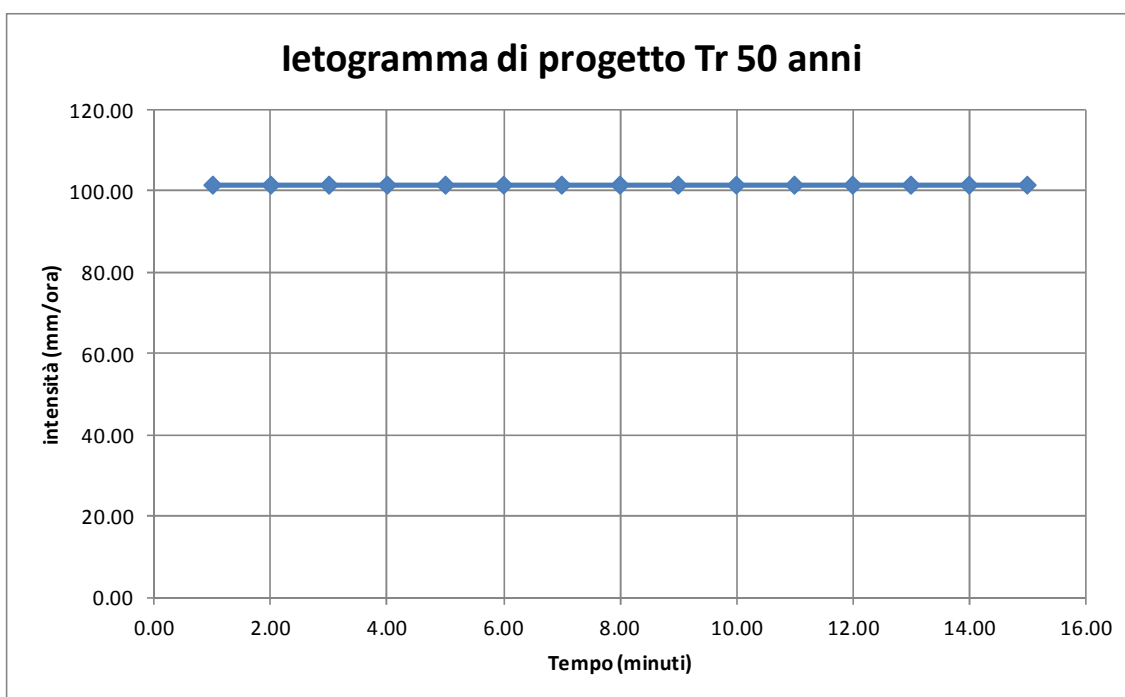


Figura 3. Intensità di precipitazione costante [mm/ora]

Ai fini del calcolo della portata di piena si utilizza la formula razionale e sono conseguentemente calcolate le portate di piena Q_a (Portata Stato Attuale) e Q_p (Portata Post Intervento).

Utilizzando il foglio di calcolo, che è reso disponibile contestualmente alla pubblicazione delle linee guida, è possibile calcolare l'idrogramma di progetto. Per semplicità data l'esigua estensione del comparto in trasformazione viene ipotizzato un idrogramma triangolare avente una portata di picco Q_p pari a quella calcolata precedentemente con il metodo razionale, un tempo di picco t_p pari alla durata dell'evento (15 minuti) ed un tempo di base $t_b=2t_p$ (30 minuti).

	ϕ	Portata (l/s)	Volume (mc)
Stato Attuale Q_a	0.56	67.34	60.60
Stato Progetto 1 Q_{p1}	0.86	102.88	92.59
Differenza Stato Attuale - Progetto 1		35.54	31.99
Stato Progetto 2 Q_{p2}	0.41	49.06	44.16
Differenza Stato Attuale - Progetto 2		-18.27	-16.45

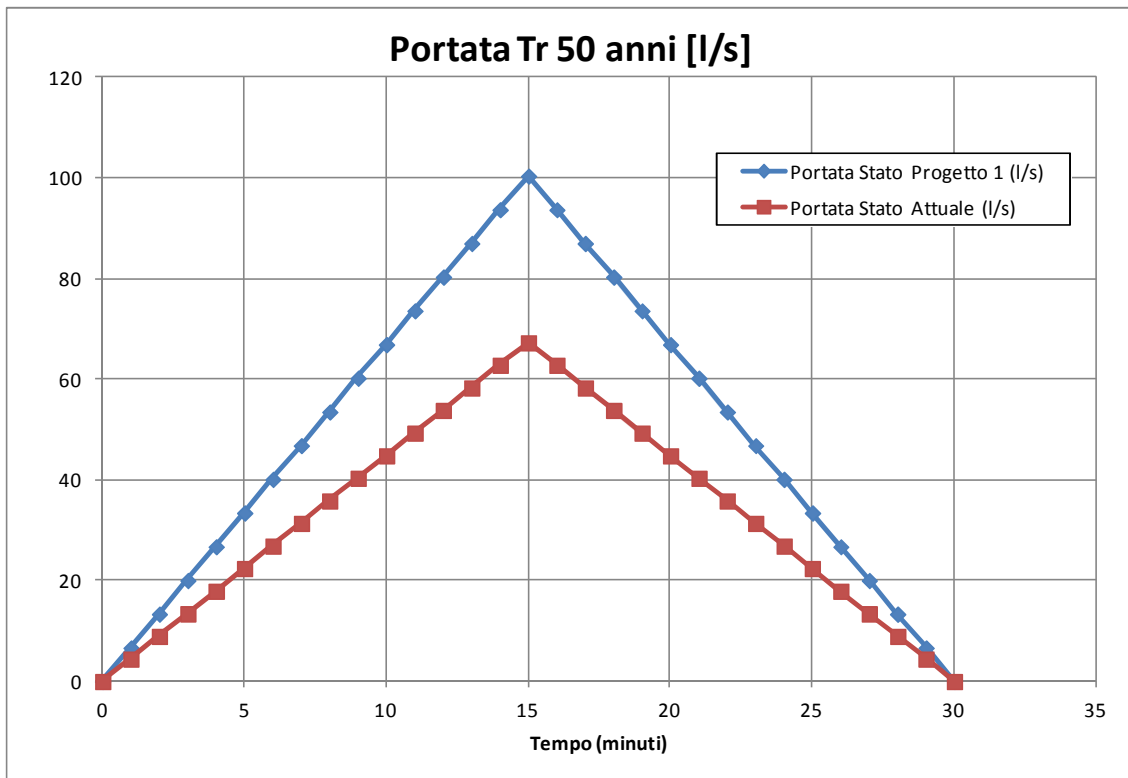


Figura 4. Idrogramma nello Stato Attuale e nello Stato Progetto 1

Dall'analisi dei calcoli descritti nei precedenti paragrafi è emerso che utilizzando adeguate tipologie costruttive (Progetto 2) è possibile ridurre la portata drenata dal comparto in trasformazione.

Sulla base di questa impostazione, dai risultati del foglio di calcolo si nota una diminuzione della portata nella condizione post intervento rispetto allo stato attuale di 18.27 l/s.

2. Esempio di dimensionamento di un sistema di accumulo

Specificando preliminarmente che le opere di compensazione possono essere realizzate secondo diverse tipologie costruttive come riportato nell'allegato 4 delle presenti Linee Guida, di seguito si analizza un esempio per la realizzazione di una vasca di laminazione delle portate che consente di rispettare il principio dell'invarianza idraulica nel caso del Progetto 1 descritto nei precedenti paragrafi.

Dallo schema della vasca di laminazione riportato nella seguente figura si osserva che la vasca deve raccogliere i deflussi generati dalle diverse superfici del comparto in trasformazione e deve essere posizionata a monte della immissione nel corpo idrico recettore.

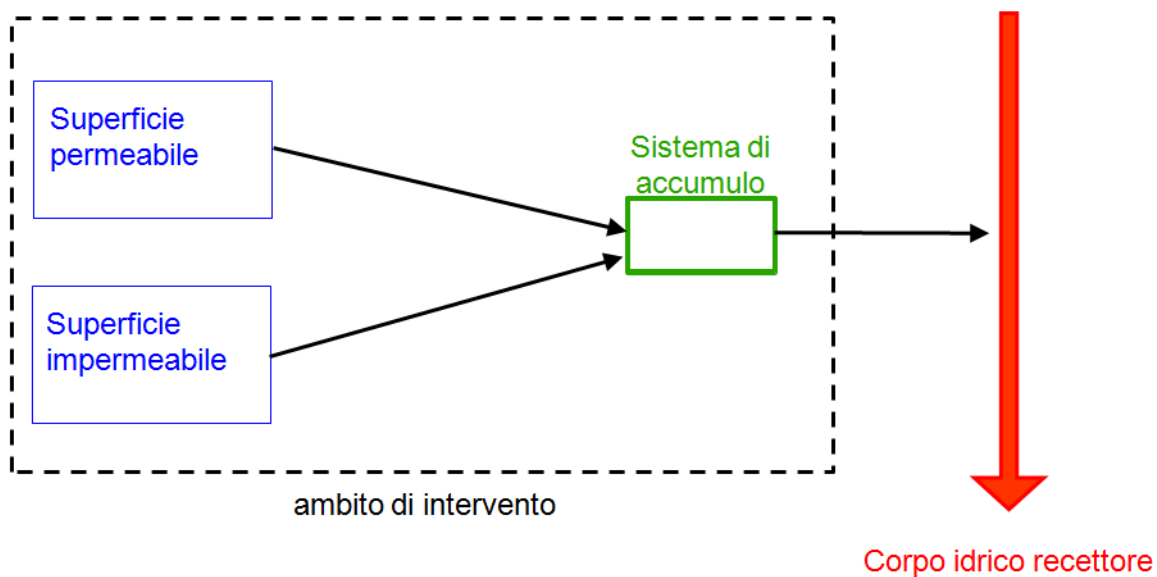


Figura 5. Schema del sistema di raccolta con la presenza di sistema di accumulo

Nel foglio di calcolo, che è reso disponibile contestualmente alle presenti linee guida, è stato adottato il metodo di Runge Kutta del terzo ordine che consiste nel suddividere ogni intervallo di tempo in tre incrementi e calcolare valori successivi di altezza della superficie dell'acqua e di portata effluente per ogni incremento. L'incremento di volume ΔV dovuto ad un incremento di altezza Δh può essere espresso dalla

$$\Delta V = A(h)\Delta h$$

dove $A(h)$ è la superficie dell'acqua corrispondente all'altezza h .

È possibile esprimere la relazione che lega la superficie dell'acqua $A(h)$ all'altezza h tramite la seguente relazione polinomiale:

$$A(h) = ah^3 + bh^2 + ch + d$$

in cui i parametri a , b , c e d sono caratteristici dell'invaso considerato.

Nel caso di vasca con sezione rettangolare di dimensioni $L \times B$, la relazione che lega la variazione del volume di invaso V al livello h è rappresentata da una retta che si mantiene a pendenza costante.

Per la vasca a pianta rettangolare i parametri a , b e c sono uguali a zero mentre $d = L \times B$.

Nella Figura 6 sono riportate la planimetria e la sezione della vasca di laminazione qui considerata. Si osserva che l'organo di scarico è costituito da uno scarico di fondo di forma rettangolare di dimensioni $a \times b$.

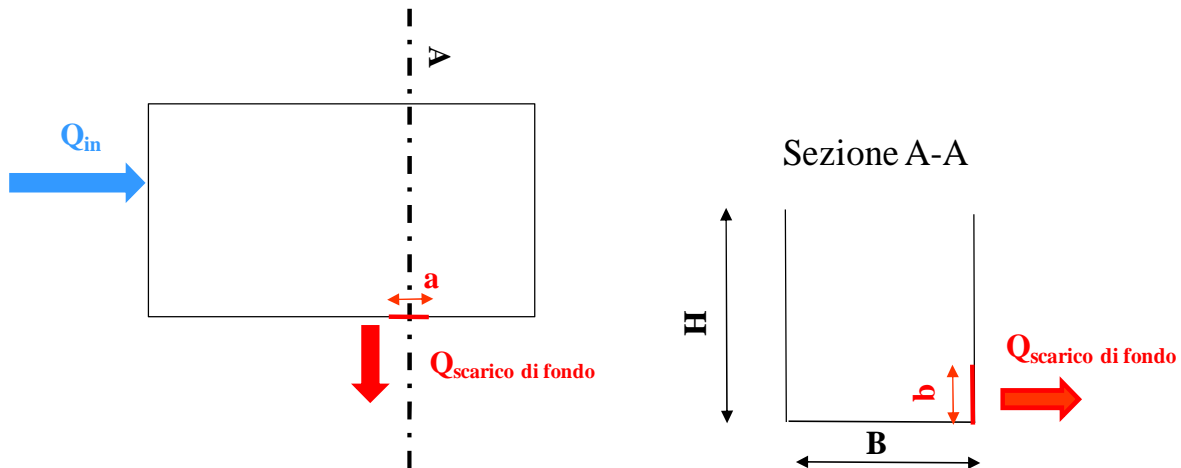
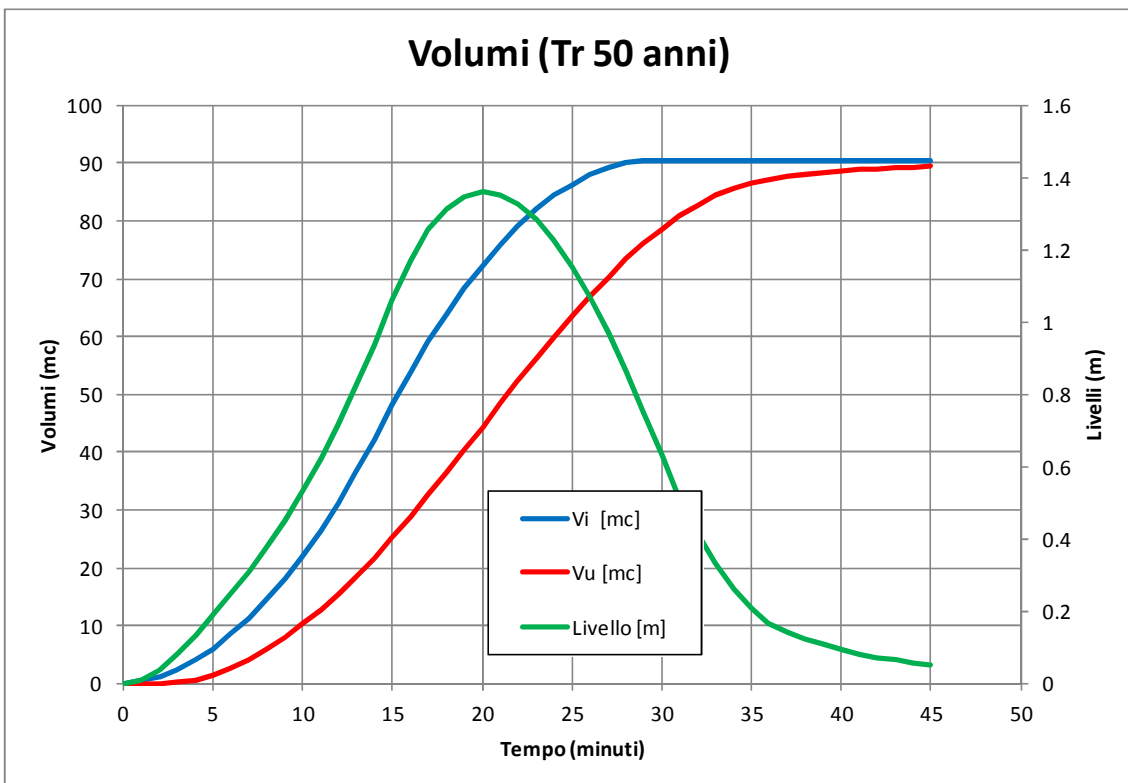
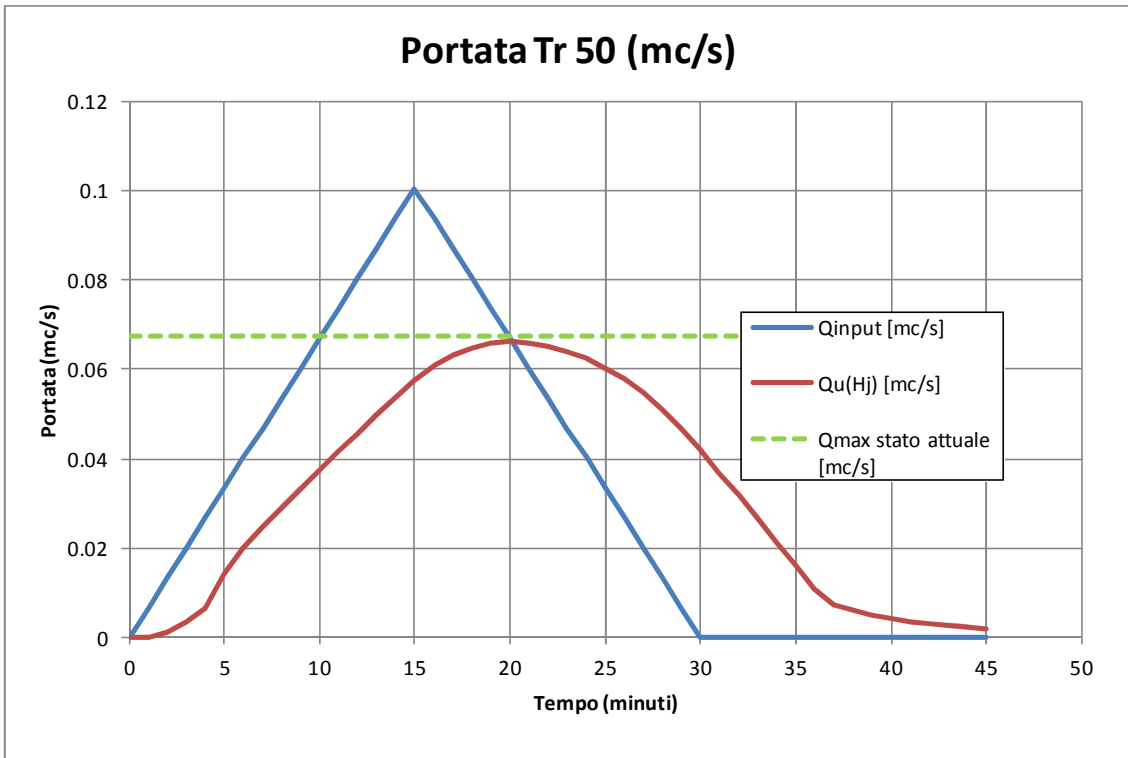


Figura 6. Planimetria e sezione della Vasca di Laminazione

Come si rileva dalle tabelle seguenti le dimensioni assunte per la vasca di laminazione a sezione rettangolare sono di 4x5 m e la altezza massima raggiunta è di metri 1.36.

Di seguito vengono dati gli schemi grafici che riportano gli andamenti delle portate e dei volumi in ingresso e laminati.



Geometria luce a battente	
μ battente	0.6
Cc Coefficiente di contrazione	0.9
larghezza luce a (m)	0.15
altezza luce b (m)	0.15
Vasca	
pendenza fondo vasca	0.001
c (Strickler)	80
L Larghezza della vasca (m)	4
B Lunghezza della vasca (m)	5
h_{\max} raggiunta (m)	1.36