



**LINEE GUIDA E INDIRIZZI OPERATIVI PER
L'ATTUAZIONE DEL PRINCIPIO
DELLA INVARIANZA IDRAULICA
(articolo 47 delle NTA del PAI)**

ESEMPI DI CALCOLO IDRAULICO
Ing. Clorinda Cortis

Classe a: È sufficiente adottare buoni criteri costruttivi per ridurre le superfici impermeabili:

Il **sovradimensionamento della rete di drenaggio** con adeguato margine al franco delle sezioni adottate.

Le **superfici permeabili** sono costituite da elementi modulari (betonelle o stuoie di plastica rinforzata) con un'alta percentuale di vuoti, riempiti con materiale permeabile, che permettono all'acqua meteorica di infiltrare nel terreno.

Le **pavimentazioni porose**: sono costituite da miscele di calcestruzzo con una percentuale di vuoti che varia tra il 15% e il 20% e consentono un assorbimento dell'acqua meteorica immediato, evitando il ruscellamento superficiale e demandando la gestione idraulica agli strati drenanti del terreno.



Classe b: La stima della portata è effettuata considerando un coefficiente di afflusso calcolato sulla base delle caratterizzazioni del territorio nello stato attuale φ_a e nello stato di progetto φ_p

stato attuale φ_a

Sulla base della caratterizzazione dell'area in esame la tipologia di terreno allo stato attuale deve essere suddivisa tra impermeabile e permeabile. Sulla base della Tabella seguente a ciascuna delle suddette tipologie verrà attribuito un valore del coefficiente di afflusso φ che permetterà di stimare il φ_a , da calcolare come media pesata.

Tipologia	φ
Permeabile	0.5
Impermeabile	0.8

stato post intervento φ_p

Occorre individuare le destinazioni d'uso previste dall'intervento di trasformazione territoriale a ciascuna delle quali è associato il valore del coefficiente di afflusso φ_p riportato nell'Allegato 1 - Tabella dei coefficienti di afflusso – valori di CN per le diverse superfici.

Il valore del φ_p è pari alla media pesata.

Classe b - Stima della portata di piena – metodo razionale:

Dimensionamento misure di compensazione: si considera un Tempo di ritorno pari a 50 anni ed una durata di 15 minuti.

Dimensionamento della rete di drenaggio interna: si considera un Tempo di ritorno pari a 20 anni ed una durata di 15 minuti.

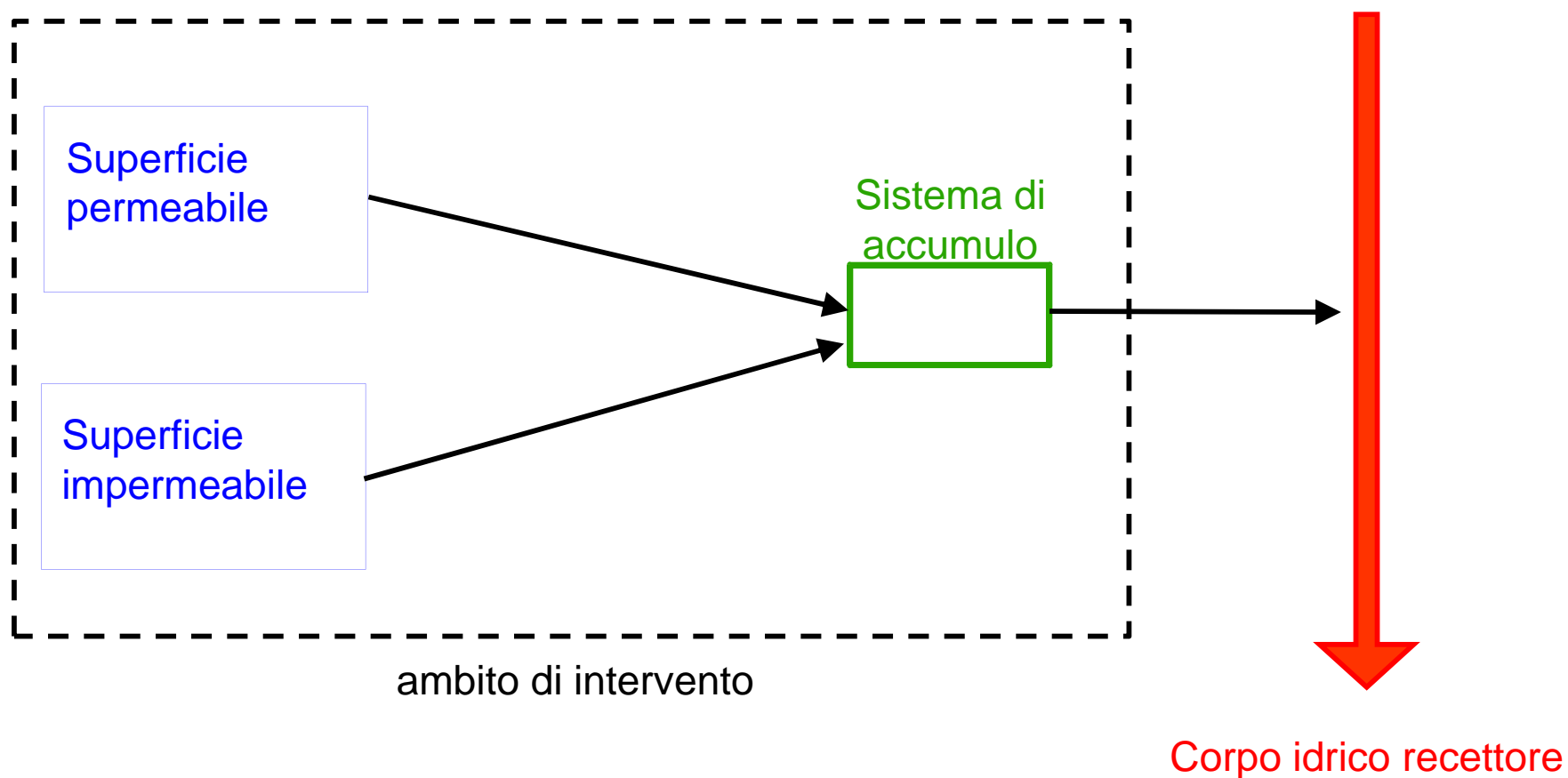
L'intensità di precipitazione è ipotizzata costante.

E' possibile calcolare le portate di piena Q_a (portata stato attuale) e Q_p (portata post intervento) ed i corrispondenti volumi V_a e V_p utilizzando i differenti coefficienti di afflusso precedentemente stimati.

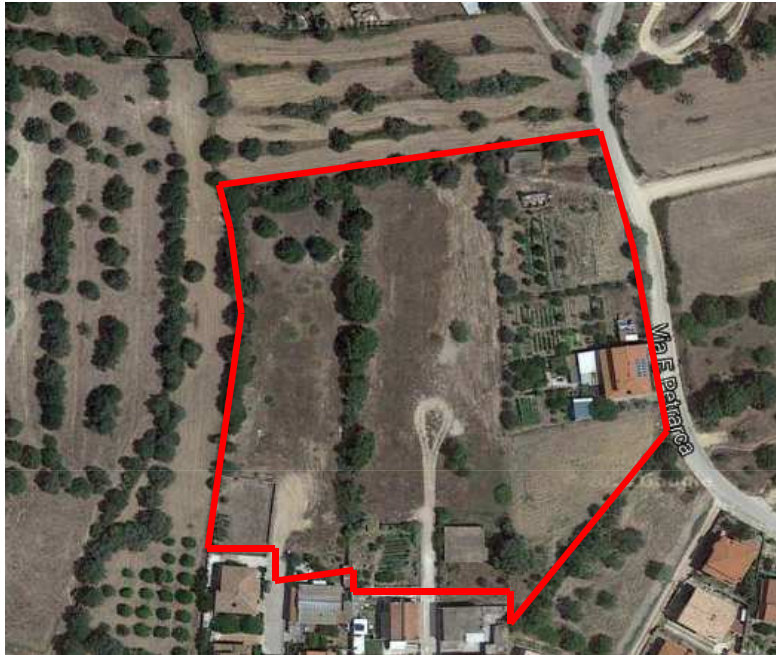
La differenza $\Delta Q = Q_p - Q_a$ indica l'incremento di portata dovuto all'intervento, pari anche alla riduzione della portata al colmo che deve essere operata con le misure compensative.

La differenza $\Delta V = V_p - V_a$ indica il volume minimo delle opere compensative che devono essere realizzate..

Invarianza Idraulica – Schema sistema di raccolta – Classe b








Classe b: applicazione ad un caso reale - Stato attuale



Superficie [mq]	4264.81
classe di intervento	b



Stato Attuale				
Tipologia	%	Superficie (m ²)	ϕ	$S*\phi$
Permeabile	80	3411.85	0.5	1705.92
Impermeabile	20	852.96	0.8	682.37
Coeff afflusso ϕ Stato Attuale				0.56

Allegato 1 Coefficienti di afflusso ϕ e valori del CN

	SEZIONE INDICATIVA O IMMAGINE TIPO	DESCRIZIONE SUPERFICIE	SPECIFICHE O VARIANTI	NORME DI RIFERIMENTO, VALORI LIMITE O INDICAZIONI	ϕ
S1		Superfici a verde su suolo profondo; prati, orti, superfici boscate ed agricole			0,1
S2		Corsi d'acqua, specchi d'acqua, stagni o bacini di accumulo e infiltrazione con fondo permeabile			0,1
S3		Incolto, sterrato, superfici naturali degradate			0,20
S4		Sedime ferroviario			0,20
S5		Superfici in ghiaia sciolta		Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in $m/s \cdot 10^0 - 10^{-6}$	0,3
				Altre tipologie di sottofondo	1

Classe b: applicazione ad un caso reale – Progetto 1

Stato Progetto 1			
Tipologia	Superficie (m2)	Categoria di superficie	Codice Tabella
superficie fondiaria	2817.4311	Coperture discontinue (tegole in laterizio o simili)	C7
S1	170.28	Coperture discontinue (tegole in laterizio o simili)	C7
S4	42.6	Pavimentazioni in asfalto o cls	P 10
viabilità di piano	936.5	Pavimentazioni in asfalto o cls	P 10

	SEZIONE INDICATIVA O IMMAGINE TIPO	DESCRIZIONE COPERTURA/ PAVIMENTAZIONE	SPECIFICHE O VARIANTI	NORME DI RIFERIMENTO, VALORI LIMITE O INDICAZIONI	ϕ
C7		Coperture discontinue (tegole in laterizio o simili)			0.9
				Quando le superfici siano parte integrante di un sistema per il riutilizzo delle acque piovane	Valore da determinare analiticamente e documentare in funzione al sistema di riutilizzo
P10		Pavimentazioni in asfalto o cls			0.9
				Quando le superfici siano parte integrante di un sistema per il riutilizzo delle acque piovane	Valore da determinare analiticamente e documentare in funzione alla capacità ritentiva del sottofondo

Classe b: applicazione ad un caso reale – Progetto 1



LEGENDA	
	CESSIONI PER STANDARD
	VIABILITA' DI PIANO
	UNITA' ABITATIVE
	COMPARTO -GENERALE- LOTTIZZAZIONE
	FABBRICATO REALIZZATO IN ASSENZA TOTALE DI CONCESSIONE EDILIZIA DA SANARE CON IL PRESENTE PIANO DI LOTTIZZAZIONE
	FABBRICATO REALIZZATO IN ASSENZA TOTALE DI CONCESSIONE EDILIZIA NON PARTECIPANTE AL PRESENTE PIANO DI LOTTIZZAZIONE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E ARCHITETTURA

Stato Progetto 1

Tipologia	Superficie (m2)	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	ϕ	$S*\phi$
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 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
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
Coeff afflusso ϕ Stato Progetto 1						0.86


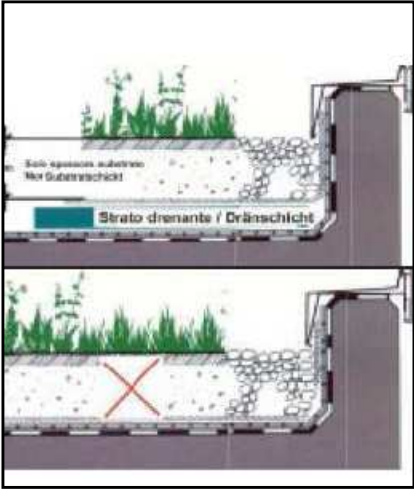
IL PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI – PGRA

“Linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica di cui all'articolo 47 delle NA del PAI”

Classe b: applicazione ad un caso reale – Progetto 2

Stato Progetto 2		
Tipologia	Categoria di superficie	Codice Tabella
superficie fondiaria	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 $10^0 - 10^{-5}$]	P4
	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
S1	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 $10^0 - 10^{-5}$]	P4
	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
S4	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 $10^0 - 10^{-5}$]	P4
viabilità di piano	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 $10^0 - 10^{-5}$]	P4

Classe b: applicazione ad un caso reale – Progetto 2

	SEZIONE INDICATIVA O IMMAGINE TIPO	DESCRIZIONE COPERTURA/ PAVIMENTAZIONE	SPECIFICHE O VARIANTI	NORME DI RIFERIMENTO, VALORI LIMITE O INDICAZIONI	ϕ
P4		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 $10^0 - 10^{-5}$	0.4
			Percentuale di superficie inerbita <40% del totale	Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in m/s $10^0 - 10^{-5}$	Valore da determinare analiticamente e documentare in funzione al sistema di riutilizzo
			Qualsiasi tipologia	Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in m/s $< 10^{-5}$	1
C1		Coperture a verde pensile sino a un'inclinazione di 12°		Riutilizzo secondo normativa di riferimento: UNI 11235:2007 "Istruzioni per la progettazione, l'esecuzione, il controllo e la manutenzione di coperture a verde":	
				Substrato sp medio $8 \leq s \leq 15$ cm	0.45
			Sistema a tre strati	Substrato sp medio $15 \leq s \leq 25$ cm	0.35
				Substrato sp medio $25 \leq s \leq 35$ cm	0.25
				Substrato sp medio $35 \leq s \leq 45$ cm	0.20
				Substrato sp medio > 50 cm	0.10
				Realizzato in difformità alle norme sopra indicate oppure quando le superfici, in conformità alle norme sopra indicate, siano parte integrante di un sistema per il riutilizzo delle acque piovane	Valore da determinare analiticamente e documentare in funzione alla capacità ritenitiva del sottofondo
			Sistema monostrato	Non idoneo. Coefficiente ϕ applicato pari a 1,00.	1.00

Classe b: applicazione ad un caso reale – Stato progetto 2



LEGENDA	
	CESSIONI PER STANDARD
	VIABILITA' DI PIANO
	UNITA' ABITATIVE
	COMPARTO -GENERALE- LOTTIZZAZIONE
	FABBRICATO REALIZZATO IN ASSENZA TOTALE DI CONCESSIONE EDILIZIA DA SANARE CON IL PRESENTE PIANO DI LOTTIZZAZIONE
	FABBRICATO REALIZZATO IN ASSENZA TOTALE DI CONCESSIONE EDILIZIA NON PARTECIPANTE AL PRESENTE PIANO DI LOTTIZZAZIONE

Stato Progetto 2

Tipologia	Superficie (m2)	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	φ	$S*\varphi$
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 k_f 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 k_f 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 k_f 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

Classe b: applicazione ad un caso reale – Stato progetto 2



LEGENDA	
	CESSIONI PER STANDARD
	VIABILITA' DI PIANO
	UNITA' ABITATIVE
	COMPARTO –GENERALE– LOTTIZZAZIONE
	FABBRICATO REALIZZATO IN ASSENZA TOTALE DI CONCESSIONE EDILIZIA DA SANARE CON IL PRESENTE PIANO DI LOTTIZZAZIONE
	FABBRICATO REALIZZATO IN ASSENZA TOTALE DI CONCESSIONE EDILIZIA NON PARTECIPANTE AL PRESENTE PIANO DI LOTTIZZAZIONE

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI CAGLIARI
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA CIVILE, AMBIENTALE E
ARCHITETTURA

Stato Progetto 2						
Tipologia	Superficie (m2)	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	φ	$S*\varphi$
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 k_f in $m/s\ 10^0 - 10^{-5}$]	S6	50%	0.3	31.93
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 $m/s\ 10^0 - 10^{-5}$]	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 $m/s\ 10^0 - 10^{-5}$]	P4	100%	0.4	374.62
Coeff afflusso φ Stato Progetto 2						0.41

Classe b: applicazione ad un caso reale – Stima Portata Di Piena

Per la stima della portata di piena può essere considerato il metodo razionale utilizzando uno ietogramma costante avente una durata t_c di 15 minuti.

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

- il tempo di ritorno T_r per il calcolo delle misure compensative deve essere pari a **50 anni**.
- il tempo di ritorno T_r per il calcolo della rete di drenaggio urbana deve essere pari a **20 anni**.
- φ è il coefficiente di afflusso che rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in occasione dell'evento di pioggia intenso 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.
- t_c è il tempo di pioggia espresso in ore;



Classe b: applicazione ad un caso reale – Calcolo volumi

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 Progetto).

Il volume di compenso che deve essere realizzato per garantire il principio dell'invarianza idraulica, in prima analisi può essere stimato come differenza tra il volume di pioggia netta (ossia volume di deflusso superficiale) nello stato attuale e nello stato di Progetto $\Delta V = V_p - V_a$.

La verifica in termini di invarianza idraulica dovrà essere condotta secondo i criteri che verranno successivamente descritti per il caso c).

	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

Dall'analisi dei risultati è emerso che utilizzando adeguate tipologie costruttive è possibile ridurre la portata derivata dal comparto in trasformazione e non è necessario introdurre dei volumi di accumulo.

Classe c

Il calcolo del volume di compenso dovrà necessariamente essere più articolato rispetto alle classi precedenti e necessita di una approfondita analisi del territorio.

In particolare, nel caso in cui l'area in oggetto sia ubicata in una zona nella quale siano già state attuate o siano in corso o programmate altre aree di trasformazione territoriale, le autorità competenti possono richiedere che lo studio venga esteso all'intero bacino idrografico in cui ricade l'area in oggetto. In questo caso il bacino di riferimento coincide con quello individuato dal Comune sulla base dello Studio di compatibilità idraulica in adeguamento del PUC al PAI ai sensi dell'art. 8, comma 2, delle NA del PAI.



CN Stato attuale

caratterizzazione geo-pedologica dell'area in esame mediante uno Studio specifico geo-pedologico realizzato nell'ambito della progettazione dell'intervento di trasformazione territoriale per il quale alcune informazioni di base sono deducibili da: Carta geologica della Sardegna, Strumento urbanistico comunale, Studi di geopedologia. È necessario individuare il tipo di suolo a cui appartiene l'intervento in oggetto con riferimento al metodo del SCS-CN.

individuazione delle diverse classi di uso del suolo ante intervento sulla base della classificazione Corine Land Cover RAS - 2008 e tramite studi specificatamente condotti sull'area in esame.

Calcolando, una media pesata dei valori corrispondenti alle diverse superfici, è stimato il valore del CN-IIa medio dell'intero comparto nello stato attuale.



Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato attuale – CN

Valore del Curve Number in funzione dell'uso del suolo (Corine) e del tipo di suolo (Elaborazione ADIS)

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
AREE PORTUALI	123	98	98	98	98
AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	124	92	93	94	95
AREE ESTRATTIVE	131	89	92	94	95
DISCARICHE E DEPOSITI DI ROTTAMI	132	90	92	94	95
CANTIERI	133	90	92	94	95
AREE VERDI URBANE	141	65	74	81	84
CIMITERI	143	57	77	85	89
VIGNETI	221	72	81	88	91
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89
OLIVETI	223	72	81	88	91
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI	224	67	78	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	63	73	82	88
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	313	39	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89
SPIAGGE DUNE E SABBIE	331	56	73	82	86
PARETI ROCCIOSE E FALESIE	332	98	98	98	98
AREE CON VEGETAZIONE RADA	333	70	75	84	90
PALUDI INTERNE	411	100	100	100	100
PALUDI SALMASTRE	421	100	100	100	100
SALINE	422	100	100	100	100



Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato attuale – CN

Valore del Curve Number in funzione dell'uso del suolo (Corine) e del tipo di suolo (Elaborazione ADIS)

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
ZONE INTERTIDALI	423	98	98	98	98
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI	521	100	100	100	100
MARI	523	100	100	100	100
TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	1111	89	92	94	96
TESSUTO RESIDENZIALE RADO	1112	78	80	85	87
TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME A CARATTERE RESIDENZIALE E SUBURBANO	1121	74	75	78	80
TESSUTO AGRO-RESIDENZIALE SPARSO E FABBRICATI RURALI A CARATTERE TIPICAMENTE AGRICOLO O RURALE	1122	65	67	70	72
INSEDIAMENTI INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	1211	89	92	94	95
INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	1212	89	92	94	95
RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI (SVINCOLI, STAZIONI DI SERVIZIO, AREE DI PARCHEGGIO ECC.)	1221	98	98	98	98
RETI FERROVIARIE COMPRESSE LE SUPERFICI ANNESSE (STAZIONI, SMISTAMENTI, DEPOSITI ECC.)	1222	96	96	96	96
GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI (INTERPORTI E SIMILI)	1223	92	93	94	95
IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE (TELECOMUNICAZIONI/ENERGIA/IDRICHE)	1224	92	93	94	95







Invarianza Idraulica – Criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica – Classe c

CN - Stato Post Intervento

Sulla base dell'analisi delle trasformazioni previste devono essere individuate le diverse tipologie di copertura, ciascuna delle quali può essere realizzata utilizzando diverse categorie di superficie (**Allegato 1 Coefficienti di afflusso ϕ e valori del CN**).

Calcolando, una media pesata dei valori corrispondenti alle diverse superfici e tipi di copertura, è stimato il valore del CN-IIP medio dell'intero comparto nello stato di Post intervento

	SEZIONE INDICATIVA O IMMAGINE TIPO	DESCRIZIONE SUPERFICIE	SPECIFICHE O VARIANTI	NORME DI RIFERIMENTO, VALORI LIMITE O INDICAZIONI	ϕ	CN
S1		Superfici a verde su suolo profondo, prati, orti, superfici boscate ed agricole			0,1	71-78
S2		Corsi d'acqua, specchi d'acqua, stagni o bacini di accumulo e infiltrazione con fondo permeabile			0,1	71-78
S3		Incolto, sterrato, superfici naturali degradate			0,20	74-84
S4		Sedime ferroviario			0,20	74-84



Stima della portata di piena

Dimensionamento misure di compensazione: si considera un Tempo di ritorno pari a **50 anni** ed uno ietogramma Chicago avente una durata di 30 minuti con posizione del picco $r = 0.4$.

Dimensionamento della rete di drenaggio interna :si considera un Tempo di ritorno pari a **20 anni** ed uno ietogramma Chicago avente una durata di 30 minuti con posizione del picco $r = 0.4$.

Il valore del Curve Number precedentemente calcolato per lo stato attuale e per lo stato di progetto deve essere opportunamente convertito in CN-III (AMC III) per il calcolo della precipitazione netta.

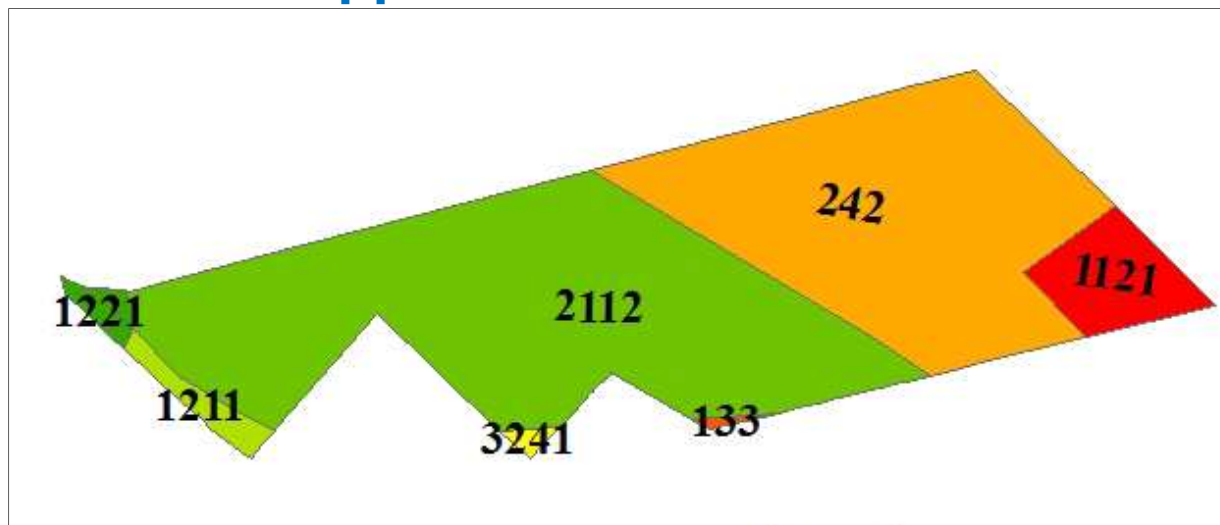


Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato attuale



Superficie [mq]	88278.49
classe di intervento	C

Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato attuale – Mappa UDS



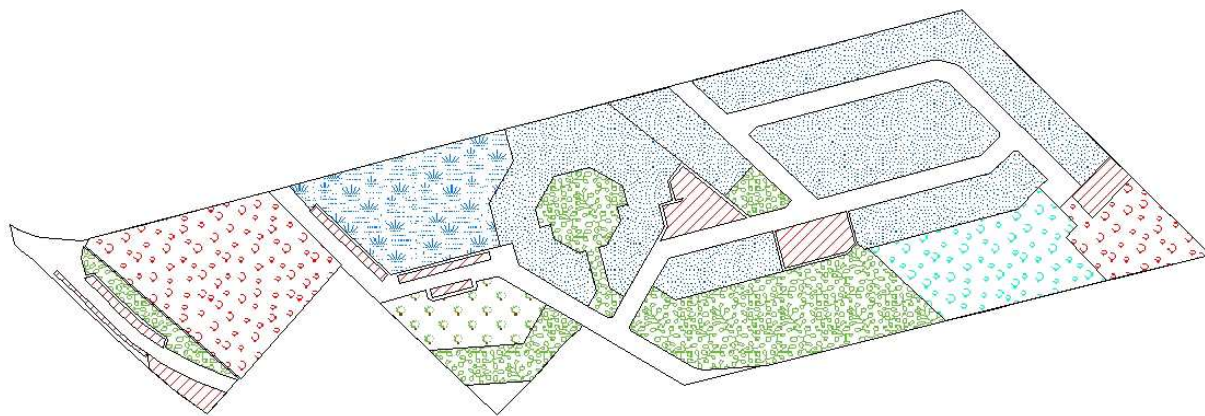
Superficie [mq]	88278.49
classe di intervento	C

Descrizione	UDS	Superficie [m²]
Cantieri	133	204.27
Sistemi Colturali E Particellari Complessi	242	33946
Tessuto Residenziale Rado E Nucleiforme	1121	7823.37
Prati Artificiali	2112	45939.9
Aree A Ricolonizzazione Naturale	3241	364.94
TOT		88278.49

Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato attuale – CN

Descrizione	UDS	Superficie [m ²]	Tipo di suolo SCS CN	CN-II	S*CN
Cantieri	133	204.27	C	94	19201.85
Sistemi Colturali E Particellari Complessi	242	33946	C	82	2783572
Tessuto Residenziale Rado E Nucleiforme	1121	7823.37	C	95	743221.00
Prati Artificiali	2112	45939.9	C	81	3721131.9
Aree A Ricolonizzazione Naturale	3241	364.94	C	68	24815.92
	TOT	88278.49		CN-II medio	82.60

Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato Progetto

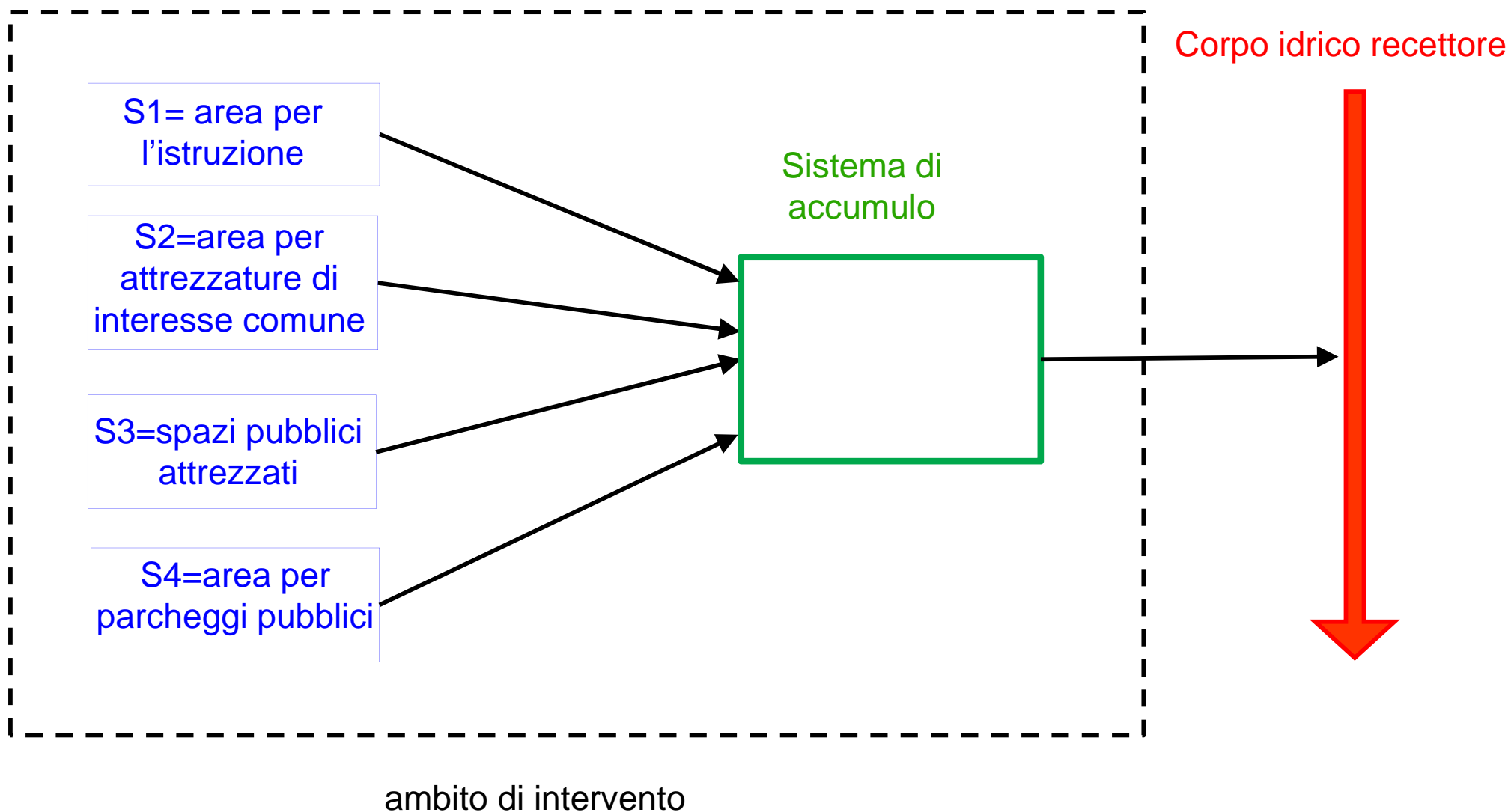


Legend

	Zona_S1
	Zona_S2
	Zona_S3
	Zona_S4
	Aree Servizi Integrati e connessi alla Residenza Privata
	Aree Residenziali e connesse alla residenza privata
	Aree Servizi Integrati Privati

Stato Progetto	
Tipologia	Superficie [m2]
Aree servizi integrati	15829
Aree residenziali	27844.5
S1	5956.6
S2	2648
S3	12880
S4 - Parcheggi	4865.71
Viabilità	18254.684

Invarianza Idraulica – Schema sistema di raccolta – caso c



Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato Progetto

Stato Progetto

Tipologia	Superficie [m2]	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	CN-II	CN*S
Aree servizi integrati	15829	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%	90	712305.00
		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%	89	700433.25
Aree residenziali	27844.5	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 kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	P4	50%	90	1253002.50
		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%	89	1232119.13
S1	5956.6	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 kf in m/s $10^0 - 10^{-5}$]	P4	50%	90	268047.00
		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%	89	263579.55
S2	2648	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%	90	119160.00
		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%	89	117174.00



Classe c: applicazione ad un caso reale - Stato Progetto

Stato Progetto						
Tipologia	Superficie [m2]	Categoria di superficie	Codice Tabella	% realizzata	CN-II	CN*S
S3	12880	Superfici a verde su suolo profondo, prati, orti, superfici boscate ed agricole	S1	50%	78	502320.00
		Area di impianto sportivo con sistemi drenanti e superficie a prato [Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in $m/s \cdot 10^0 - 10^{-5}$]	S6	50%	87	560280.00
S4 - Parcheggi	4865.71	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbata >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in $m/s \cdot 10^0 - 10^{-5}$]	P4	100%	90	437913.90
Viabilità	18254.684	Pavimentazione in prefabbricati in cls o materiale sintetico, riempiti di substrato e inerbiti posati su apposita stratificazione di supporto (Grigliati garden) [Percentuale di superficie inerbata >40% del totale; Con coefficiente di permeabilità del sottofondo k_f in $m/s \cdot 10^0 - 10^{-5}$]	P4	100%	90	1642921.56
					CN- II	88.46

Invarianza Idraulica – Misure compensative – Pavimentazioni Permeabili



Invarianza Idraulica – Misure compensative – Trincee drenanti



Invarianza Idraulica – Misure compensative – Trincee di infiltrazione



Invarianza Idraulica – Misure compensative – Pavimentazioni porose



Classe c: applicazione ad un caso reale – Ietogramma Chicago

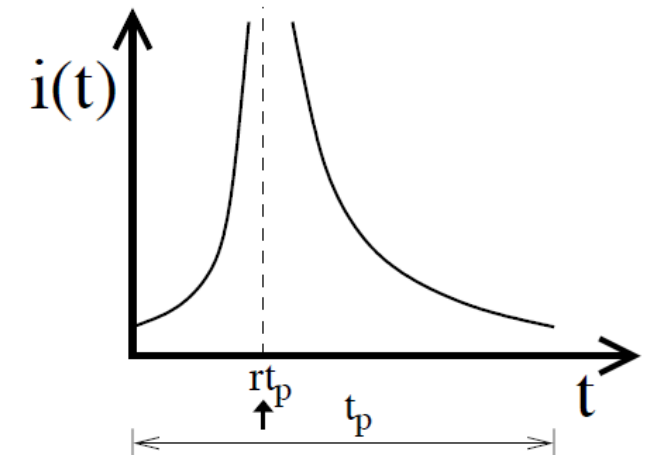
Si fissa ancora il **tempo di ritorno** Tr e si calcolano i coefficienti della curva di possibilità pluviometrica: $a = a(T)$ e $n = n(T)$.

	<i>misure di compensazione</i>	<i>rete di drenaggio interna</i>
Tr (anni)	50	20
Durata (minuti)	30	30
Pos. Picco r	0.4	0.4

Lo Ietogramma Chicago ha equazione

$$i(t) = na \left(\frac{rt_p - t}{r} \right)^{n-1} \quad t < rt_p \quad (\text{prima del picco})$$

$$i(t) = na \left(\frac{t - rt_p}{1 - r} \right)^{n-1} \quad t > rt_p \quad (\text{dopo il picco})$$



Classe c: applicazione ad un caso reale – Ietogramma Chicago

Nei calcoli pratici è conveniente rappresentare gli Ietogrammi in forma discreta mediante un Ietogramma, cioè suddividendo la durata complessiva in intervalli di tempo finiti Δt all'interno dei quali l'intensità di precipitazione sia costante. La procedura di discretizzazione consiste essenzialmente nel calcolare l'intensità media in ciascun intervallo di tempo Δt mediante la formula

$$i_m = \frac{h(t_{fin}) - h(t_{in})}{\Delta t}$$

dove t_{in} e t_{fin} sono i tempi corrispondenti all'inizio ed alla fine dell'intervallo di tempo Δt ed ovviamente le $h(t)$ sono le altezze di pioggia cumulata.

$$h(t) = ra \left[\left(\frac{t_r}{r} \right)^n - \left(\frac{t_r - t}{r} \right)^n \right] \quad t < rt_p \quad (\text{prima del picco})$$

$$h(t) = a \left[r \left(\frac{t_r}{r} \right)^n + (1 - r) \left(\frac{t - t_r}{1 - r} \right)^n \right] \quad t > rt_p \quad (\text{dopo il picco})$$

Invarianza Idraulica – Criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica

Classe c: applicazione ad un caso reale – letogramma Chicago

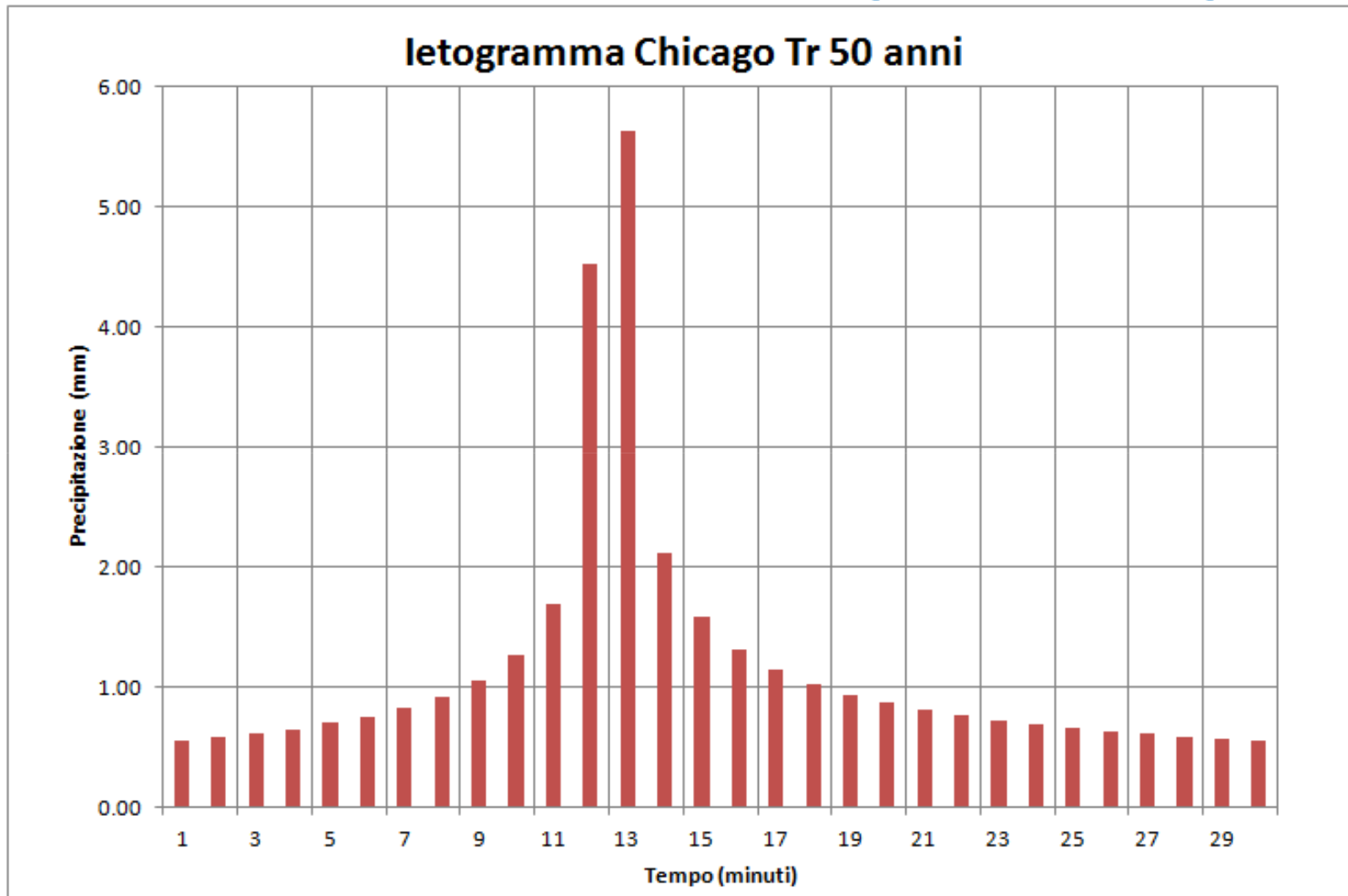
Tr	50
μ_g	55
SZO	2
a	48.7356
n	0.4593

Chicago	
dt (minuti)	1
durata Chicago tp (ora)	0.5
r	0.4
rtp	0.2
Δt (ore)	0.0167

time step	t(ore)	Hcum(mm)	i (mm/h)	ht (mm)
0	0.00	0.00	0.0000	0.00
1	0.02	0.56	33.3305	0.56
2	0.03	1.14	35.0126	0.58
3	0.05	1.76	36.9620	0.62
4	0.07	2.41	39.2567	0.65
5	0.08	3.11	42.0109	0.70
6	0.10	3.87	45.3997	0.76
7	0.12	4.69	49.7073	0.83
8	0.13	5.62	55.4354	0.92
9	0.15	6.68	63.5755	1.06
10	0.17	7.95	76.4724	1.27
11	0.18	9.65	101.8597	1.70
12	0.20	14.18	271.6911	4.53
13	0.22	19.82	338.2840	5.64
14	0.23	21.93	126.8260	2.11
15	0.25	23.52	95.2162	1.59
16	0.27	24.84	79.1582	1.32
17	0.28	25.99	69.0229	1.15
18	0.30	27.02	61.8908	1.03
19	0.32	27.96	56.5273	0.94
20	0.33	28.83	52.3080	0.87
21	0.35	29.65	48.8787	0.81
22	0.37	30.41	46.0216	0.77
23	0.38	31.14	43.5944	0.73
24	0.40	31.83	41.4999	0.69
25	0.42	32.49	39.6690	0.66
26	0.43	33.13	38.0510	0.63
27	0.45	33.74	36.6080	0.61
28	0.47	34.33	35.3108	0.59
29	0.48	34.90	34.1366	0.57
30	0.50	35.45	33.0672	0.55



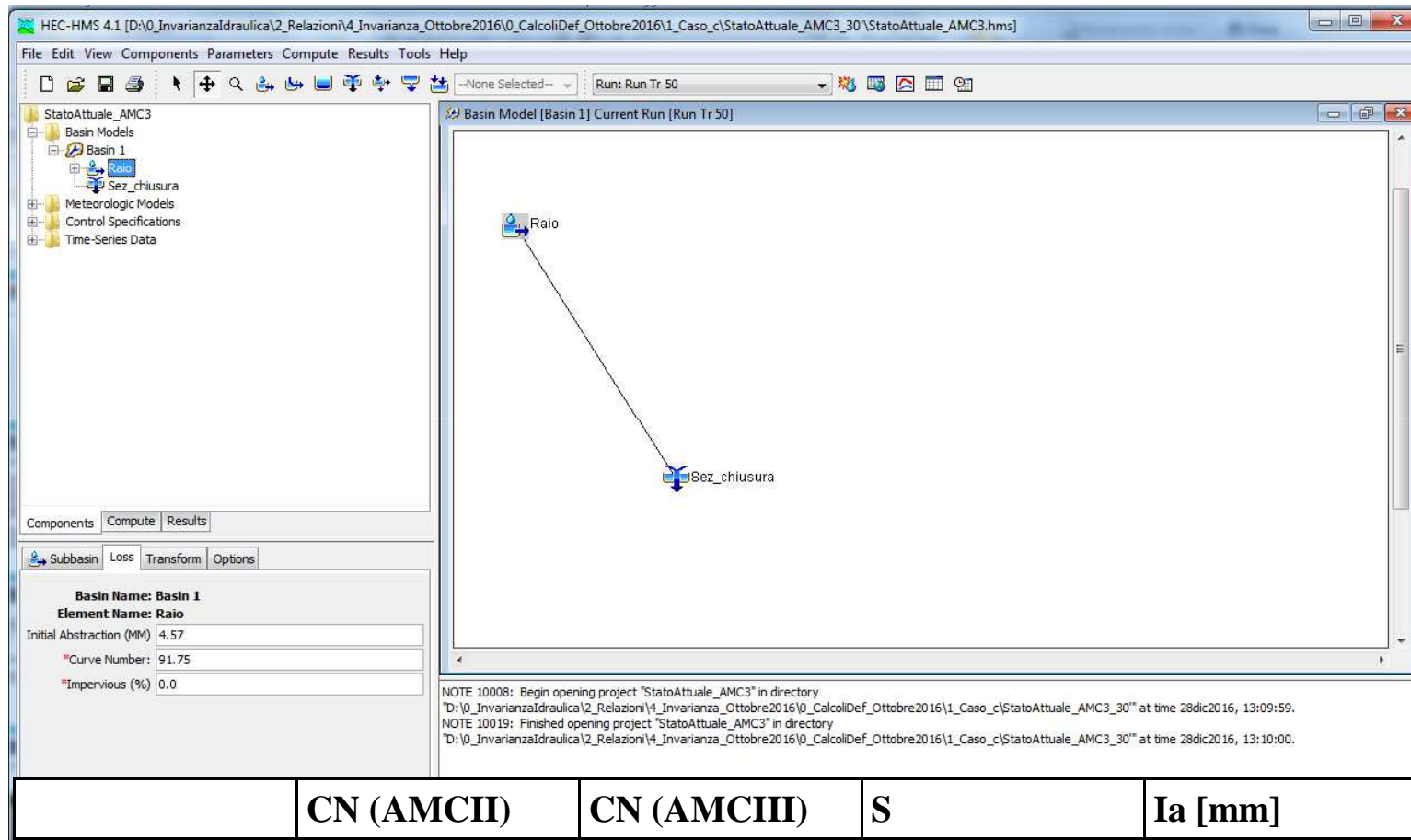
Classe c: applicazione ad un caso reale – letogramma Chicago



Invarianza Idraulica – Criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica

Classe c: applicazione ad un caso reale – Stima Dell'idrogramma Di Piena

Per la generazione dell'idrogramma di piena si è utilizzato l'approccio modellistico e il software Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) della U.S. Army Corps of Engineers.



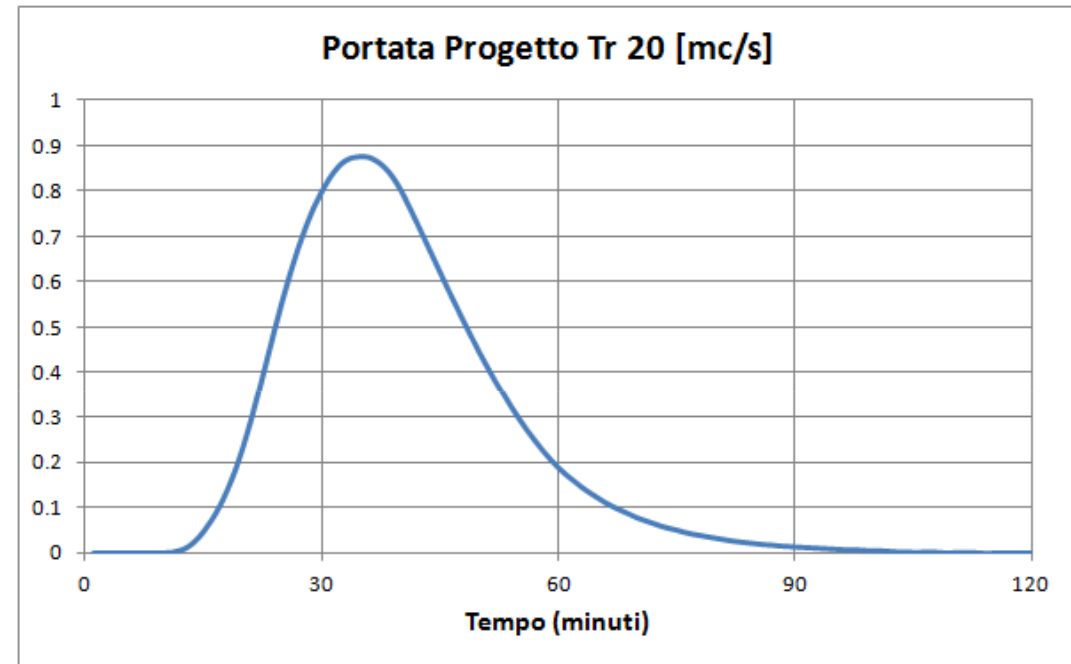
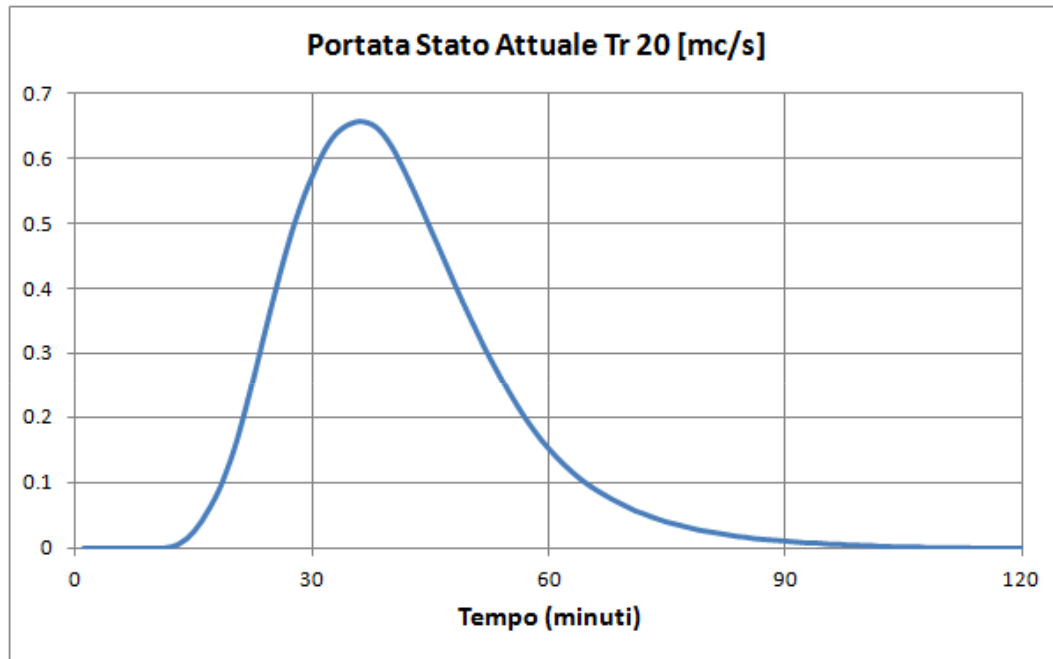
	CN (AMCII)	CN (AMCIII)	S	Ia [mm]
Stato attuale	82.60	91.75	22.8445	4.568916
Stato Progetto	88.46	94.72	14.1466	2.82933



Invarianza Idraulica – Criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica

Classe c: applicazione ad un caso reale – Stima Dell'idrogramma Di Piena Rete di drenaggio interna – Tr 20 anni

Gli idrogrammi di piena ottenuti sono riportati di seguito



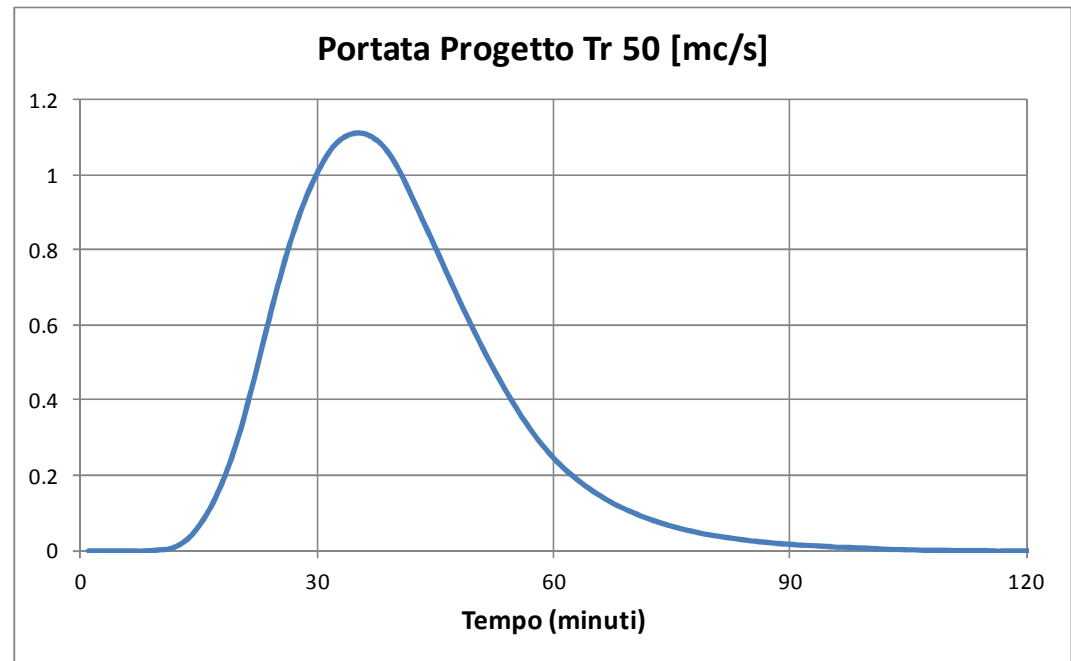
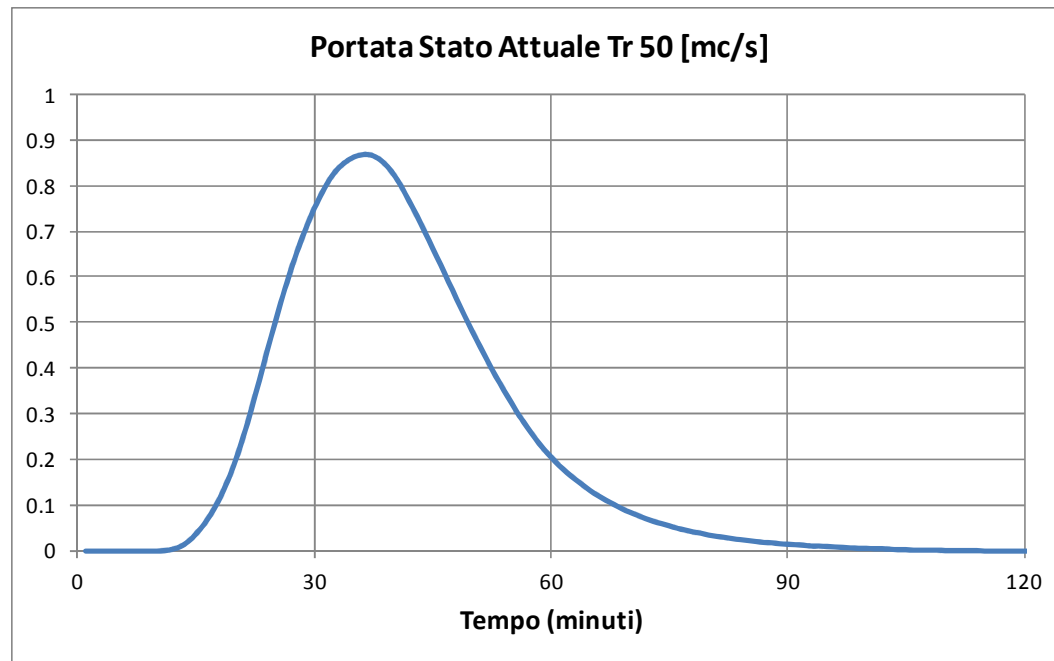
Portata di picco[mc/s]	
	Tr 20anni
Situazione attuale	0.66
Stato Progetto	0.88
Differenza [mc/s]	0.22



Invarianza Idraulica – Criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica

Classe c: applicazione ad un caso reale – Stima Dell'idrogramma Di Piena Misure di compensazione – Tr 50 anni

Gli idrogrammi di piena ottenuti sono riportati di seguito



Portata di picco[mc/s]	
	Tr 50 anni
Situazione attuale	0.87
Stato Progetto	1.11
Differenza [mc/s]	0.24



Invarianza Idraulica – Criteri per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica

verifica del recettore finale:

è compito del Comune individuare lo stato del recettore, classificandolo sulla base di 3 differenti categorie: Alta, Media e Bassa per la capacità di smaltimento delle portate

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

$$Q_{a \text{ corr}} = Q_a k$$



Classe c: applicazione ad un caso reale – dimensionamento di un sistema di accumulo: Vasca prismatica a base rettangolare

Nel foglio di calcolo 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 .

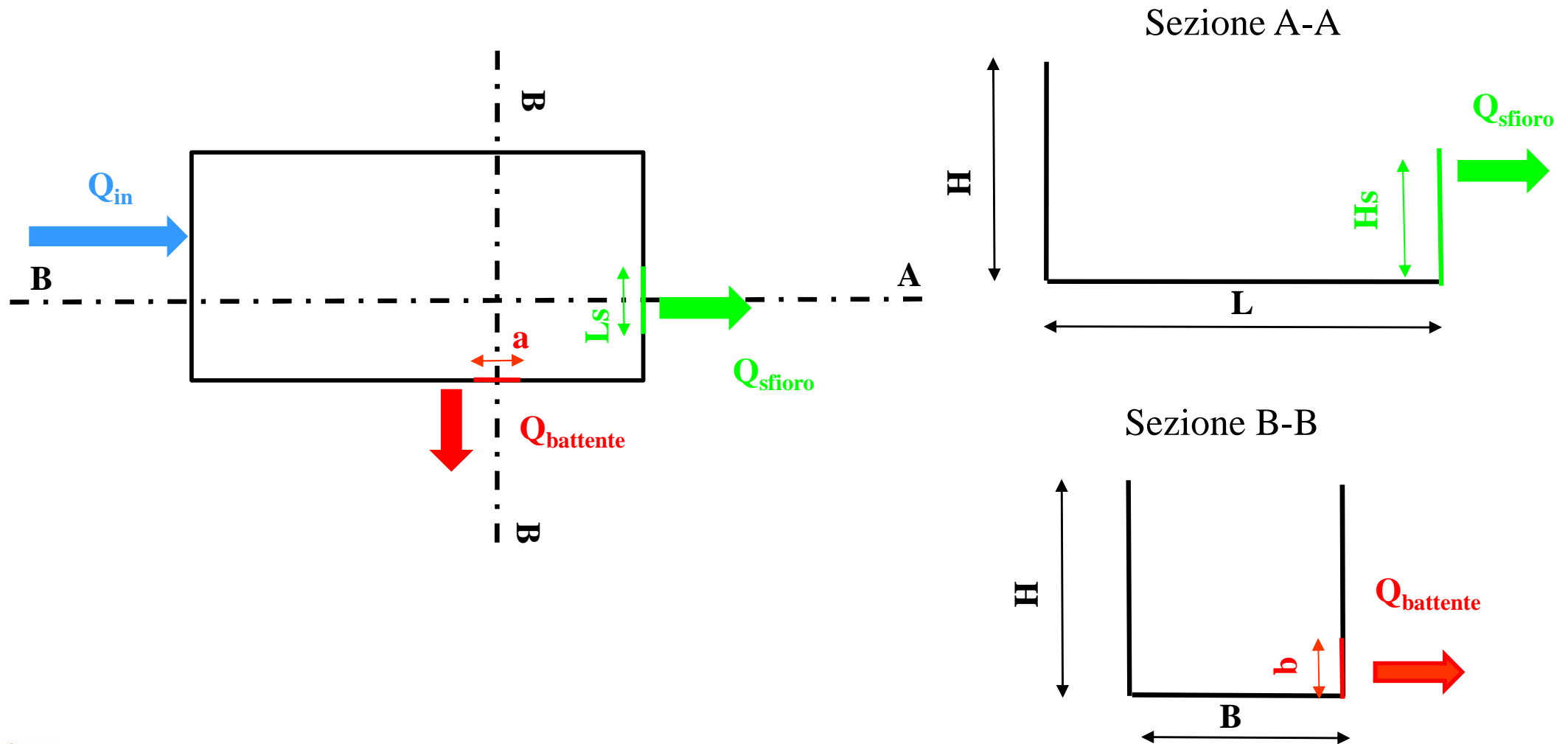
E' possibile esprimere la relazione che lega la superficie dell'acqua all'altezza h tramite la seguente relazione: in cui i parametri a , b , c e d sono caratteristici dell'invaso considerato.

$$A = ah^3 + bh^2 + ch + d$$

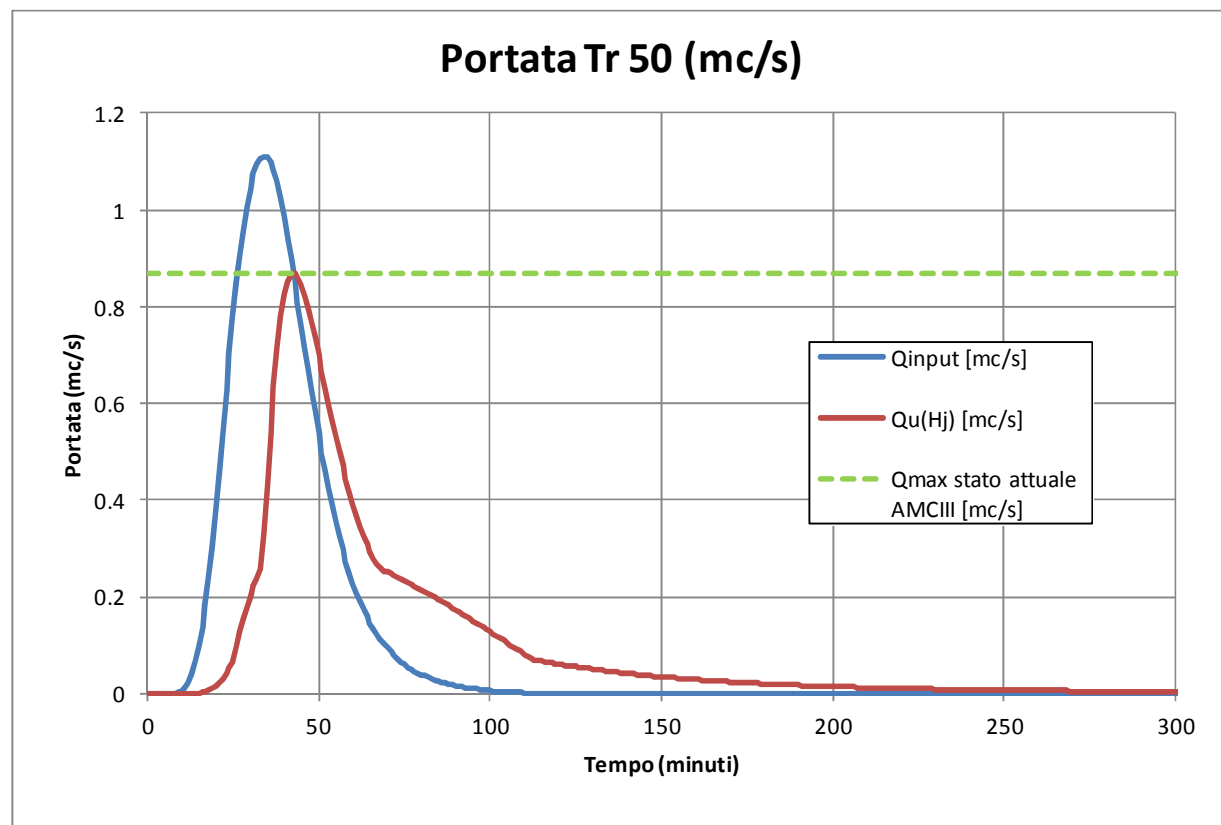
Nel caso di vasca con sezione rettangolare di dimensioni $L \times B$, la relazione che lega la variazione del volume di invaso V al livello h è rappresentata da una retta che si mantiene a pendenza costante.

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

Classe c: applicazione ad un caso reale – dimensionamento di un sistema di accumulo – Vasca prismatica a base rettangolare



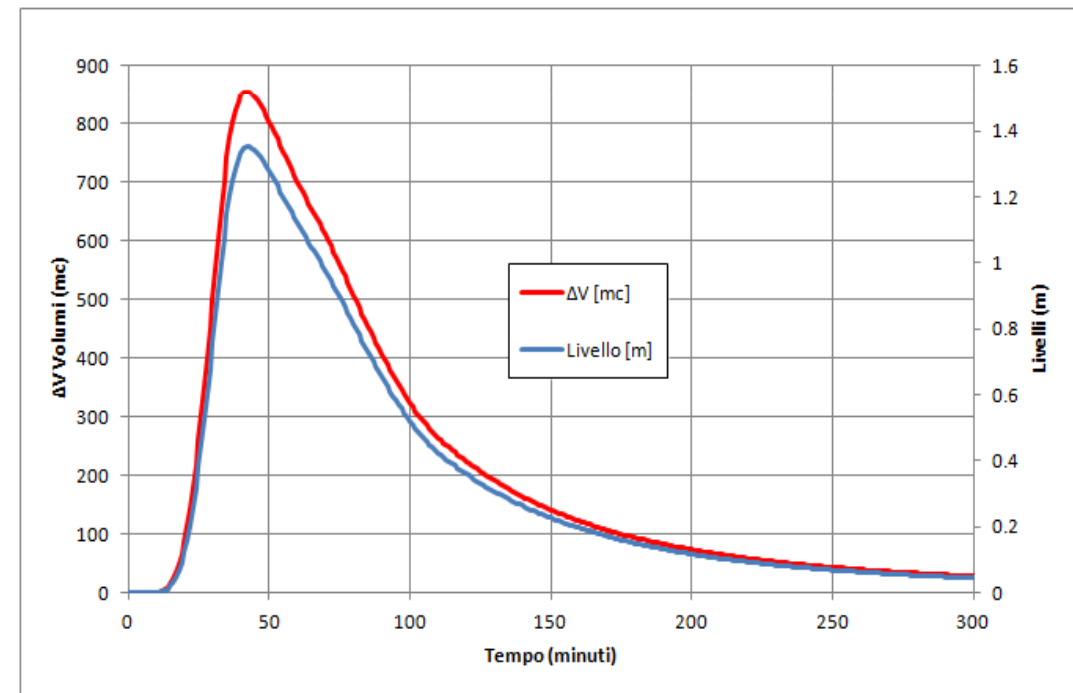
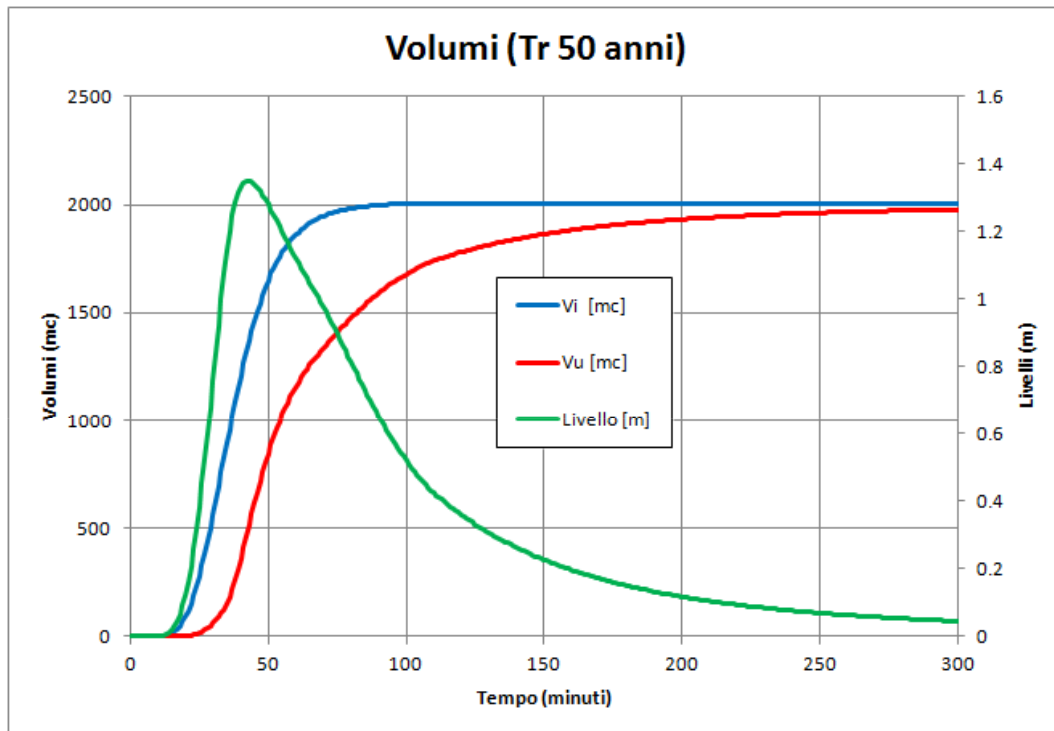
Classe c: applicazione ad un caso reale – dimensionamento di un sistema di accumulo – Vasca prismatica a base rettangolare



Portata di picco[mc/s]	
	Tr 50 anni
Situazione attuale	0.87
Post intervento	1.11
Differenza [mc/s]	0.24

Geometria battente	
mu battente	0.6
Cc	0.9
larghezza luce a	0.3
altezza luce b	0.4
Geometria sfiori	
Hs soglia sfioro	1
Larghezza Ls (m)	1.5
mu stramazzo	0.4
Vasca	
pendenza fondo vasca	0.001
c (Strickler)	80
L1	25
B1	25
Livello max raggiunto (m)	1.35

Classe c: applicazione ad un caso reale – dimensionamento di un sistema di accumulo – sez. rettangolare



Classe d: è necessario uno studio idrologico esteso all'intero bacino idrografico in cui ricade l'area in oggetto. In questo caso il bacino di riferimento coincide con quello individuato dal Comune sulla base dello Studio di compatibilità idraulica di adeguamento del PUC al PAI ai sensi dell'art. 8, comma 2, delle NA del PAI. Qualora il Comune non si sia ancora dotato di tale studio, sarà cura del committente redigere uno studio di compatibilità idraulica con riferimento al compluvio interessato dall'intervento sulla base delle Linee Guida del PAI per la redazione degli studi ex art. 8, comma 2, delle NA del PAI.

E' necessario estendere la metodologia precedentemente descritta per la classe di intervento di tipo c), con l'accorgimento che per tali comparti in trasformazione l'approccio di aggregazione e di stima unitaria del CN dovrà essere opportunamente modificata prendendo eventualmente in esame un approccio di modellazione di tipo distribuito.

