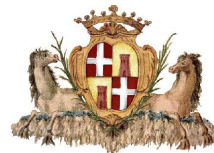




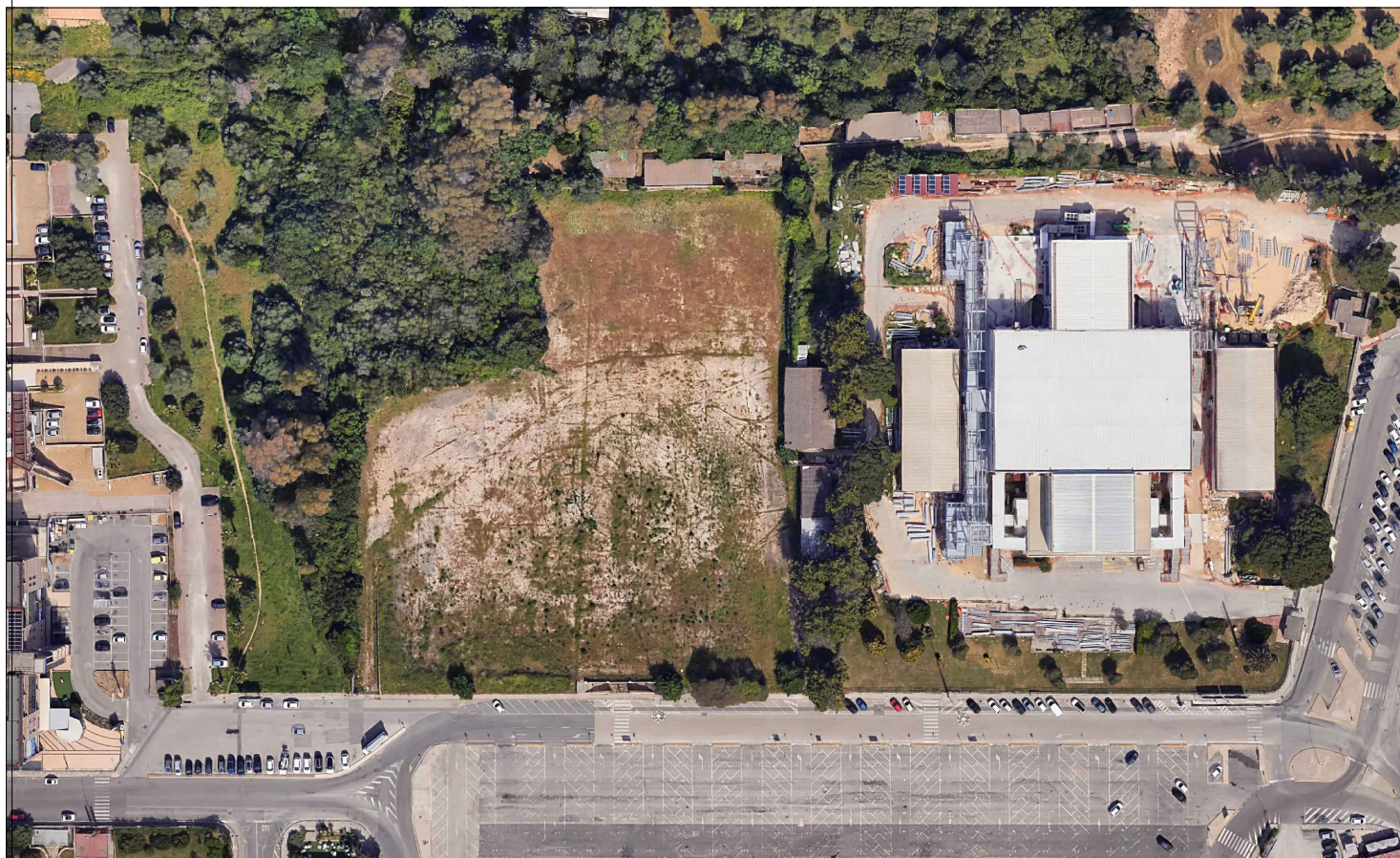
Cell.: 328 8969488
Posta elettronica: ing.nuvoli@gmail.it
P.E.C.: studioingegneria.marconuvoli@pec.it
P.IVA: 02857320903



COMUNE DI SASSARI

PUA SEGNI

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA RELATIVO AL
COMPARTO G1 DEL PUC IN PIAZZALE SEGNI



STUDIO DI INVARIANZA IDRAULICA

(ai sensi del PAI Sardegna dell'art. 47 comma 2 delle NdA)

Data di esecuzione gennaio 2024

Il tecnico
Dott. Ing. Marco Nuvoli



Il sottoscritto **Marco Nuvoli dottore ingegnere**, nato a Sassari (SS) il 18 gennaio 1970; residente a Sassari nella via SV Baddelonga, 75, avente studio professionale in Sassari nella via Principessa Maria al civico 63, tel./fax 079.4925934 – cell. 328.8969488 ed iscritto all'albo professionale degli Ingegneri delle Province di Sassari ed Olbia, Sezione A – Settore a, b, c al N° 1557 in data 11 febbraio 2002, in qualità di tecnico esperto in idraulica, su incarico professionale riguardante la verifica di invarianza idraulica relativa al “Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata relativo al comparto G1 del PUC in Piazzale Segni”, relazione quanto segue:

1. Premessa

Come noto uno dei maggiori effetti dell'urbanizzazione è il consumo di territorio che si concretizza, dal punto di vista idrologico, nell'aumento dell'impermeabilizzazione dei suoli.

Una delle prime conseguenze è la diminuzione complessiva dei volumi dei piccoli invasi, ovvero di tutti i volumi che le precipitazioni vanno a riempire prima della formazione dei deflussi.

I piccoli invasi, in terreni naturali, sono costituiti dalle irregolarità della superficie e da tutti gli spazi delimitati da ostacoli casuali che consentono l'accumulo dell'acqua. Sotto determinate condizioni, la presenza stessa di un battente d'acqua sulla superficie (dell'ordine di pochi millimetri) costituisce un invaso che può avere effetti non trascurabili dal punto di vista idrologico. In senso del tutto generale, si può dire che i volumi di invaso sono la principale causa del fenomeno della laminazione dei deflussi.

Il principio dell'invarianza idraulica sancisce che la portata al colmo di piena risultante dal drenaggio di un'area deve essere costante prima e dopo la trasformazione dell'uso del suolo in quell'area. In altre parole per garantire l'invarianza idraulica, la massima portata da smaltire non può superare quella che attualmente è scaricata dalle aree in studio. La portata in eccesso, derivata dall'impermeabilizzazione dell'area, o la quota parte che non può essere recepita dal collettore, deve essere trattenuta momentaneamente all'interno dell'area oppure va allontanata in altra maniera, tipo dispersione nel sottosuolo.

Questo risultato si può ottenere agevolando l'infiltrazione nel terreno dei volumi idrici in eccesso, rispetto alle condizioni pre-trasformazione, o laminando le portate.

2. Applicazione del principio di invarianza, Classe di intervento c)

Di seguito si riportano le procedure adottate relativamente al “**Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata relativo al comparto G1 del PUC in Piazzale Segni**” da effettuarsi nel Comune di Sassari (SS), avente una superficie fondiaria di circa **14'000 mq.**



Per l'applicazione del principio della invarianza idraulica, così come definito dall'articolo 47 delle NTA del PAI Sardegna, si è fatto riferimento alle *"linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica"* (indicate di seguito come "linee guida"), aggiornate con Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino n°2 del 17/05/2017: esse classificano gli interventi di trasformazione territoriale in funzione del livello di impermeabilizzazione potenziale, quest'ultimo valutato in relazione alla superficie territoriale in trasformazione. Nel caso specifico, l'area in trasformazione presenta una superficie fondiaria di 14'085mq, pertanto ricadente nella classe di intervento c – significativa impermeabilizzazione potenziale.

Per tale classe di intervento le linee guida prevedono *"[...] il dimensionamento dei tiranti idrici ammessi nelle luci di scarico, negli invasi e nel sistema drenante in modo da garantire che la portata massima defluente dall'area in trasformazione sia non superiore ai valori precedenti l'intervento di trasformazione territoriale. [...] È di fondamentale importanza la ricognizione e caratterizzazione del recapito nel quale la portata dovrà essere scaricata. È, pertanto, richiesta la verifica del recettore. È necessario che l'intervento preveda la realizzazione di misure e opere compensative per garantire l'invarianza idraulica"*.

3. STATO ANTE INTERVENTO

La superficie in oggetto è ubicata nel comune di Sassari e si estende per circa 1.4 ettari:



Figura 1 - Inquadramento dell'area di intervento



Per la caratterizzazione del tipo di suolo e attribuzione del relativo valore CN (Curve Number) si è fatto riferimento alla relazione redatta dallo Studio geologico e geotecnico **Dott. Geol. Andrea De Santis**, dalla quale è risultato, per lo stato di fatto, un suolo di **categoria C** con denominazione “Aree ricreative e sportive” (Codice UDS 1421) e valore CN-II pari a 79.

4. STATO PROGETTO

L'ipotesi di piano prevede la realizzazione di una struttura direzionale-commerciale con annessi parcheggi, viabilità, aree destinate a verde pubblico e aiuole. I corrispondenti valori CN e la tipologia di superficie, già identificati nella relazione redatta dal Dott. Geol. Andrea De Santis, sono riportati di seguito:

Tabella 1 - Tipologia di superfici. Stato di progetto

Denominazione	Categoria di suolo	CN-II
Superfici a verde su suolo profondo - prati	C	71
Pavimentazioni porose su sottofondo drenante	C	78
Pavimentazioni in asfalto o calcestruzzo	C	93
Coperture continue con finitura in materiali sigillati (terrazze, lastrici solari, superfici poste sopra a volumi interrati). Inclinazioni $<3^\circ$	C	92.5

Tabella 2 - Aree e CN - Stato di progetto

	POST INTERVENTO		
	Area (mq)	CN (AMC II)	CN x A/Atot
Pavimentazione in asfalto o calcestruzzo	4'990	93	32.95
Pavimentazione drenante	600	78	3.32
Coperture	6'330	92.5	41.75
Superficie verde	2'165	71	10.91
TOT	14'085		

POST INTERVENTO	
CN tot (AMC II)	88.75
CN tot (AMC III)	94.8
S	14.0
Ia	2.80

Si riporta di seguito il layout dello stato di progetto per l'area in trasformazione:



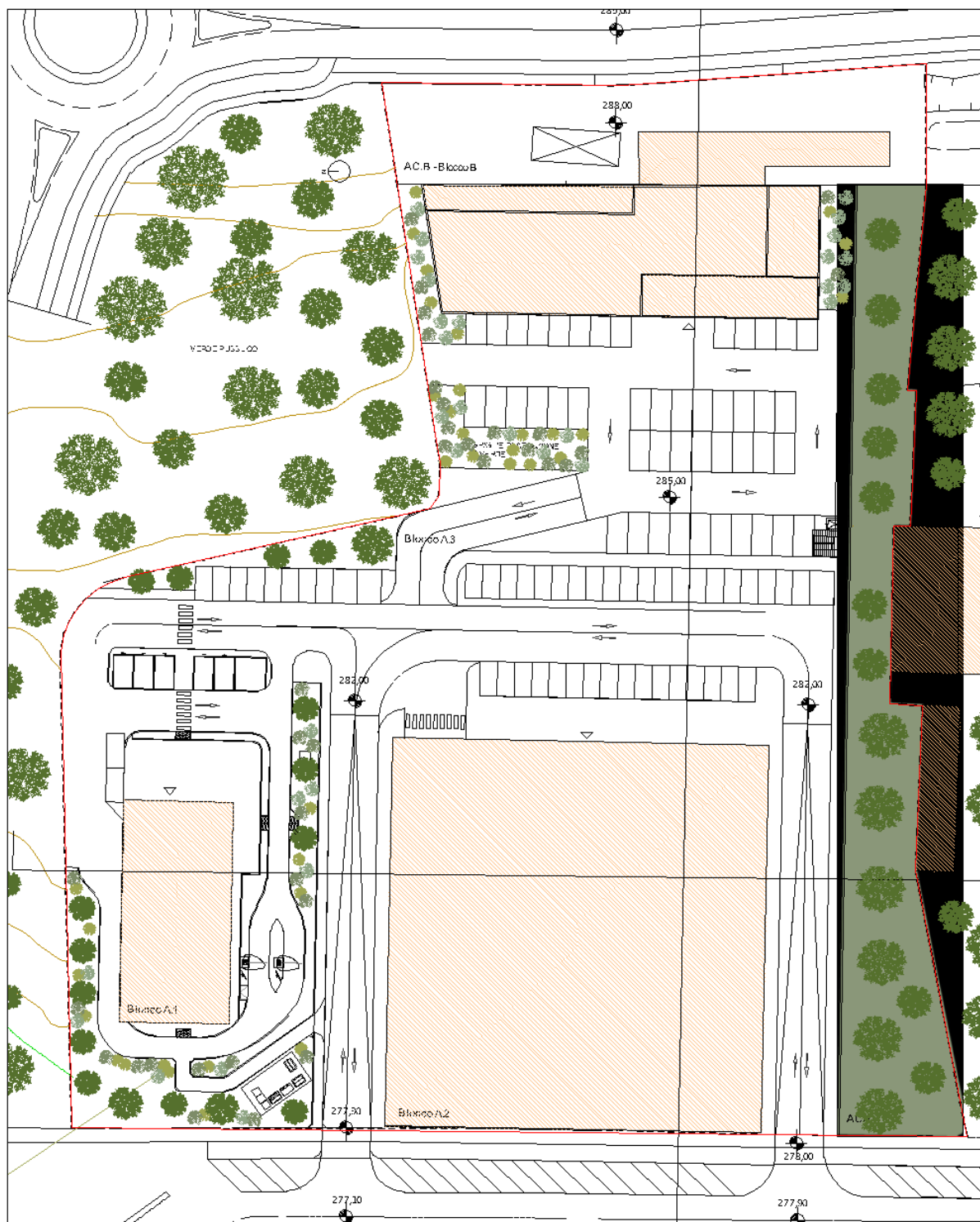


Figura 2 - Layout stato di progetto



5. STIMA DELL'IDROGRAMMA DI PIENA

In accordo con le linee guida, per la stima della portata e dell'idrogramma di piena deve essere considerato uno **ietogramma Chicago** avente una durata di **30 minuti** con posizione del picco **$r = 0.4$** . Inoltre, si è scelto un passo temporale di calcolo **Δt pari a 1 minuto**. Nel caso di comparti appartenenti alla classe di intervento **c)** devono essere considerati i due differenti tempi di ritorno (Tr) 20 e 50 anni, che verranno utilizzati rispettivamente per il dimensionamento della rete di drenaggio interno alla lottizzazione e per il dimensionamento della vasca o sistema di accumulo dei deflussi e la laminazione della portata massima scaricata nel recettore finale.

Sulla base delle Curve di possibilità pluviometrica (CPP) regionalizzate per la Regione Sardegna (Deidda et al. 2000), è possibile calcolare l'altezza di precipitazione h corrispondente a un evento meteorico di durata τ per i diversi Tempi di ritorno.

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

Tabella 3 - Risultati CPP. TR=20 anni

Tr	20
Hg	50
SZO	2
durata ietogramma (minuti)	30
ARF	1
Altezza di pioggia (mm)	29.19
Superficie Lotto (mq)	14'085

Tabella 4 - Risultati CPP. TR 50 anni

Tr	50
Hg	50
SZO	2
durata ietogramma (minuti)	30
ARF	1
Altezza di pioggia (mm)	34.57
Superficie Lotto (mq)	14'085

Note le altezze di pioggia per i due differenti tempi di ritorno (20 e 50 anni) è possibile valutarne la distribuzione temporale attraverso la costruzione dei rispettivi ietogrammi di tipo Chicago.



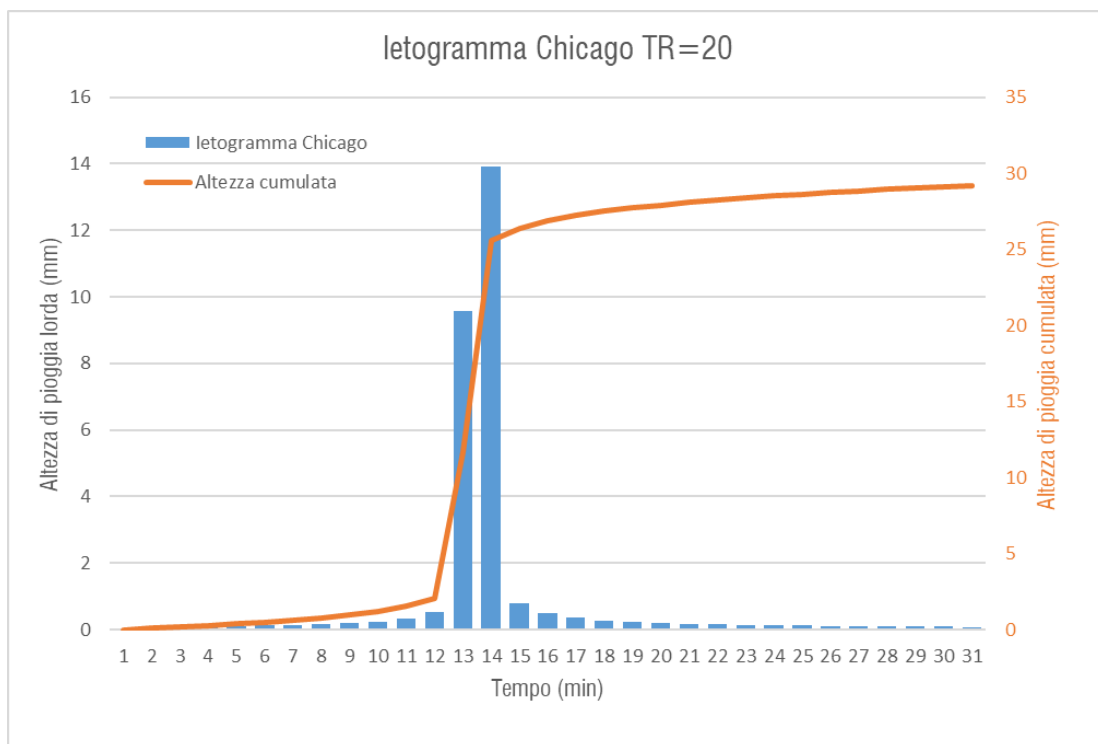


Figura 3 – letogramma Chicago. TR 20 anni

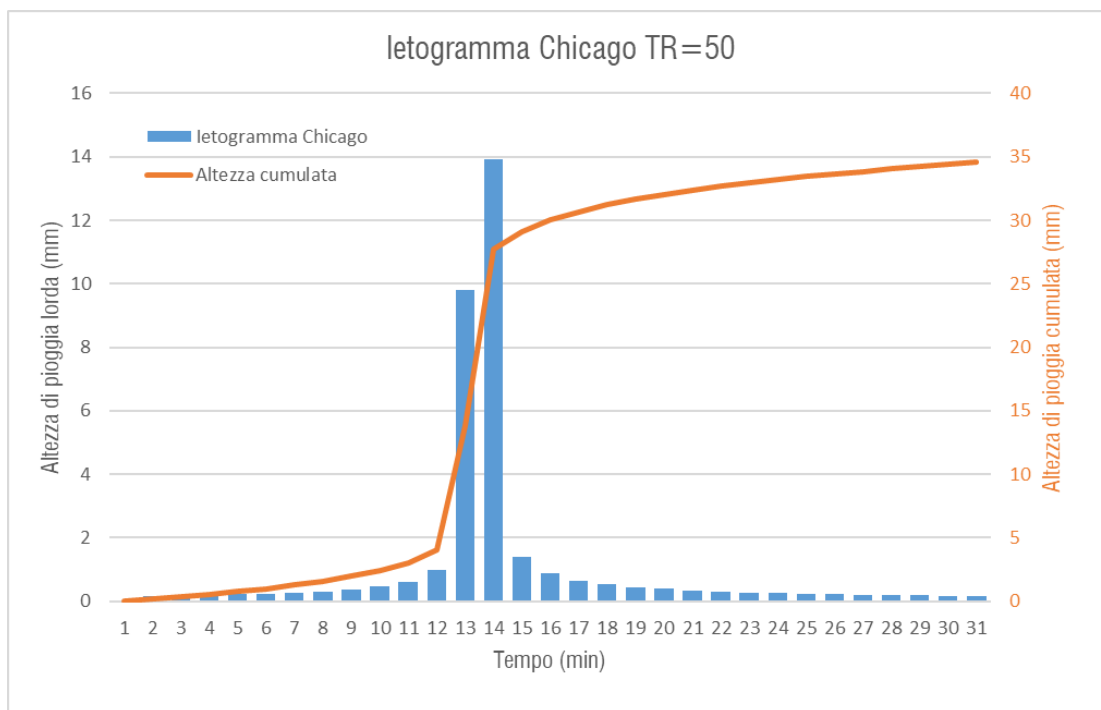


Figura 4 - letogramma Chicago. TR 50 anni



Con riferimento al metodo CN-SCS, di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei parametri considerati per il calcolo dell'idrogramma nella situazione ante e post intervento:

Tabella 5 - Riepilogo valori Curve Number ante intervento

	ANTE INTERVENTO		
	Area (mq)	CN (AMC II)	CN x A/Atot
Aree ricreative e sportive (uds cod. 1421)	14'085	79	79
TOT	<u>14'085</u>		

ANTE INTERVENTO	
CN pesato con aree (AMC II)	79
CN pesato con aree (AMC III)	<u>89.6</u>
S	29.4
la	5.87

Tabella 6 - Riepilogo valori Curve Number post intervento

	POST INTERVENTO		
	Area (mq)	CN (AMC II)	CN x A/Atot
Pavimentazione in asfalto o calcestruzzo	4'990	93	32.95
Pavimentazione drenante	600	78	3.32
Coperture	6'330	92.5	41.75
Superficie verde	2'165	71	10.91
TOT	<u>14'085</u>		

POST INTERVENTO	
CN pesato con aree (AMC II)	88.75
CN pesato con aree (AMC III)	<u>94.8</u>
S	14.0
la	2.8

Il valore dell'infiltrazione iniziale $la = c \cdot S$ in cui $c=0.2$ e S rappresenta il volume specifico infiltrabile nel terreno.



Per la generazione dell'idrogramma di piena si è utilizzato l'approccio modellistico semi-distribuito implementato nel software Hydrologic Modeling System (HEC-HMS) della U.S. Army Corps of Engineers. Il modello di trasformazione afflussi-deflussi utilizzato (SCS-Unit Hydrograph) ha richiesto come parametro il tempo di ritardo (Lag Time), posto pari al 60 % del tempo di corrivazione. Tale parametro rappresenta la distanza temporale tra il baricentro dello ietogramma e il picco dell'idrogramma risultante.

Gli idrogrammi di piena ottenuti sono riportati di seguito:

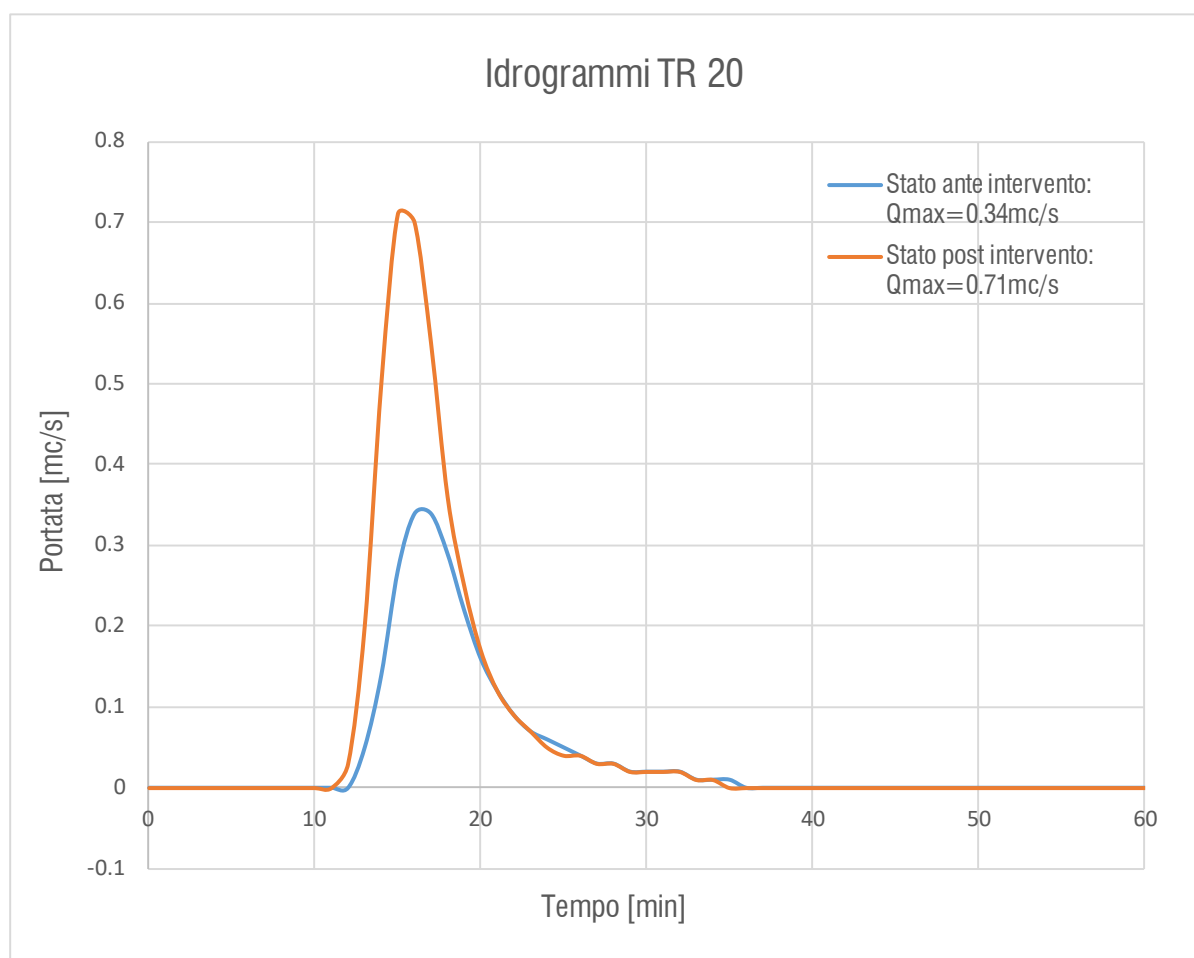


Figura 5 - Idrogrammi risultanti da modellazione distribuita con HEC-HMS



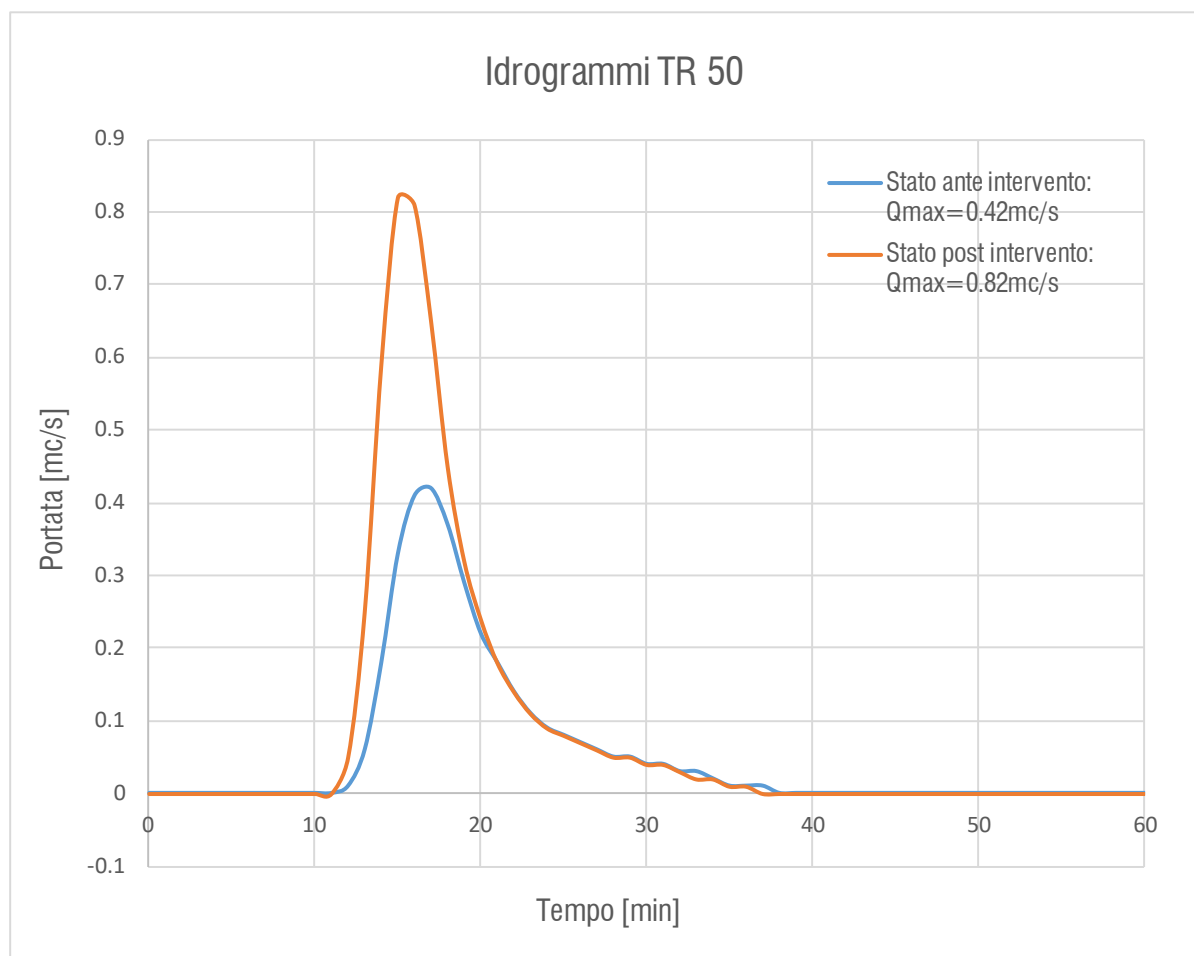


Figura 6 - Idrogrammi risultanti da modellazione distribuita con HEC-HMS

I risultati più significativi sono riassunti nelle seguenti tabelle:

Tabella 7 - Riepilogo portate di picco

Portata di picco[mc/s]		
	Tr 20 anni	Tr 50 anni
Situazione ante intervento	0.34	0.42
Situazione post intervento	0.71	0.82
Differenza [mc/s]	0.37	0.40

Tabella 8 - Riepilogo volumi di piena

Volume di piena [mc]		
	Tr 20 anni	Tr 50 anni
Situazione ante intervento	150	200
Situazione post intervento	240	310

Si rileva che nel caso in esame la differenza tra le portate con Tr=50 anni è di 0.40 mc/s.



Una volta valutate le portate ed i volumi di progetto è necessario verificare che il recettore finale sia in grado di smaltire questi nuovi contributi generati dalla nuova area in trasformazione. In particolare è compito del Comune individuare lo stato del recettore, classificandolo sulla base di 3 differenti categorie: Alta, Media e Bassa capacità di smaltimento di ulteriori portate. A seconda della categoria di appartenenza possono essere applicati dei coefficienti correttivi alla portata massima defluente dall'intera area in trasformazione nella situazione attuale (valori Q_a CN-IIIa; Tr50) sulla base della Tabella 9.

Tabella 9 - Valori del Parametro correttivo k per la definizione della portata max scaricabile nel recettore

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

$$Q_{amm} = k Q_a$$

Nel caso in esame è stato considerato un valore del parametro **k pari a 1**.

6. Dimensionamento delle opere di laminazione

Come si osserva dalla **Tabella 7**, le portate generate dall'intervento di lottizzazione risultano maggiori di quelle relative alla situazione ante intervento, rendendo necessaria la realizzazione di opere di laminazione degli idrogrammi di piena per l'applicazione del principio di invarianza idraulica, così come previsto dall'articolo 47 delle NA del PAI: *“Per invarianza idraulica si intende il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei recettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione”*.

Nella Figura 7 viene riportata una schematizzazione di vasca di laminazione: quest'ultima ha la funzione di raccolta dei deflussi generati dalle superfici permeabili e impermeabili della lottizzazione, i quali devono essere temporaneamente immagazzinati, per essere rilasciati con tempi sufficienti a garantire la riduzione della portata di piena. L'entità della riduzione di portata al colmo dipende sia dalle dimensioni della vasca di accumulo (volume utile di laminazione) che dalle dimensioni degli organi di scarico. Il dimensionamento di tali grandezze ha come finalità l'attenuazione della portata a valori compatibili con il recettore finale, oltre che per l'applicazione del principio della invarianza idraulica. Per ovvi motivi la vasca di laminazione deve essere posta a monte del ricettore finale.



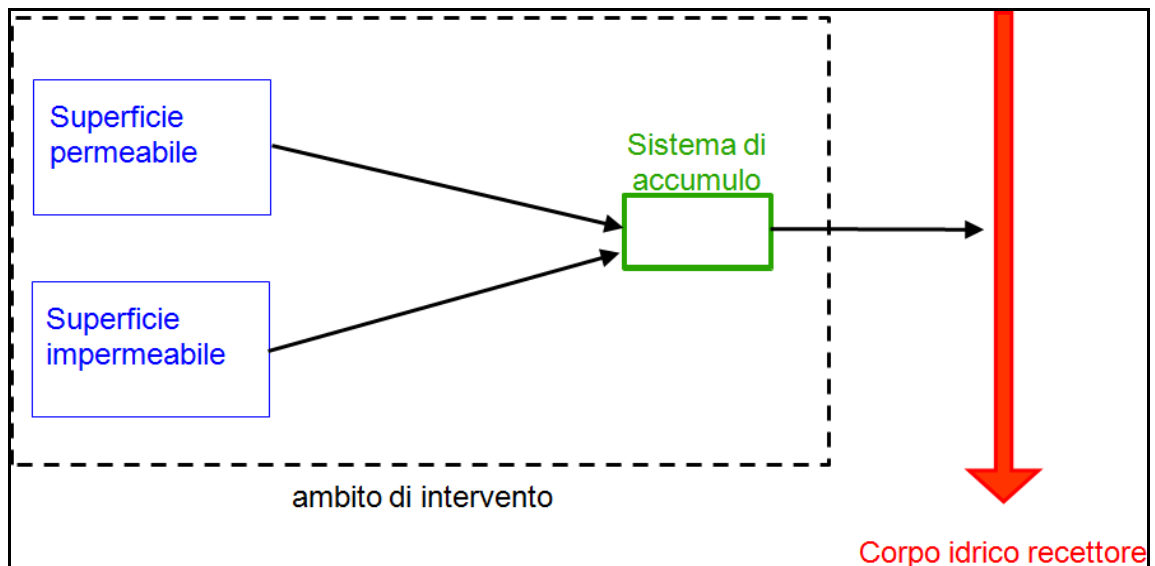


Figura 7 - Schema del sistema di raccolta con la presenza di sistema di accumulo

Nel foglio di calcolo reso disponibile come allegato alle 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 all'altezza h tramite la seguente relazione polinomiale:

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

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 invasore 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 8** sono riportate la planimetria e le sezioni schematiche del modello di calcolo della vasca di laminazione considerata. Si osserva che gli organi di scarico sono costituiti da uno scarico di fondo di forma



rettangolare di dimensioni $a \times b$ e da uno sfioratore di superficie avente larghezza L_s ed altezza H_s .

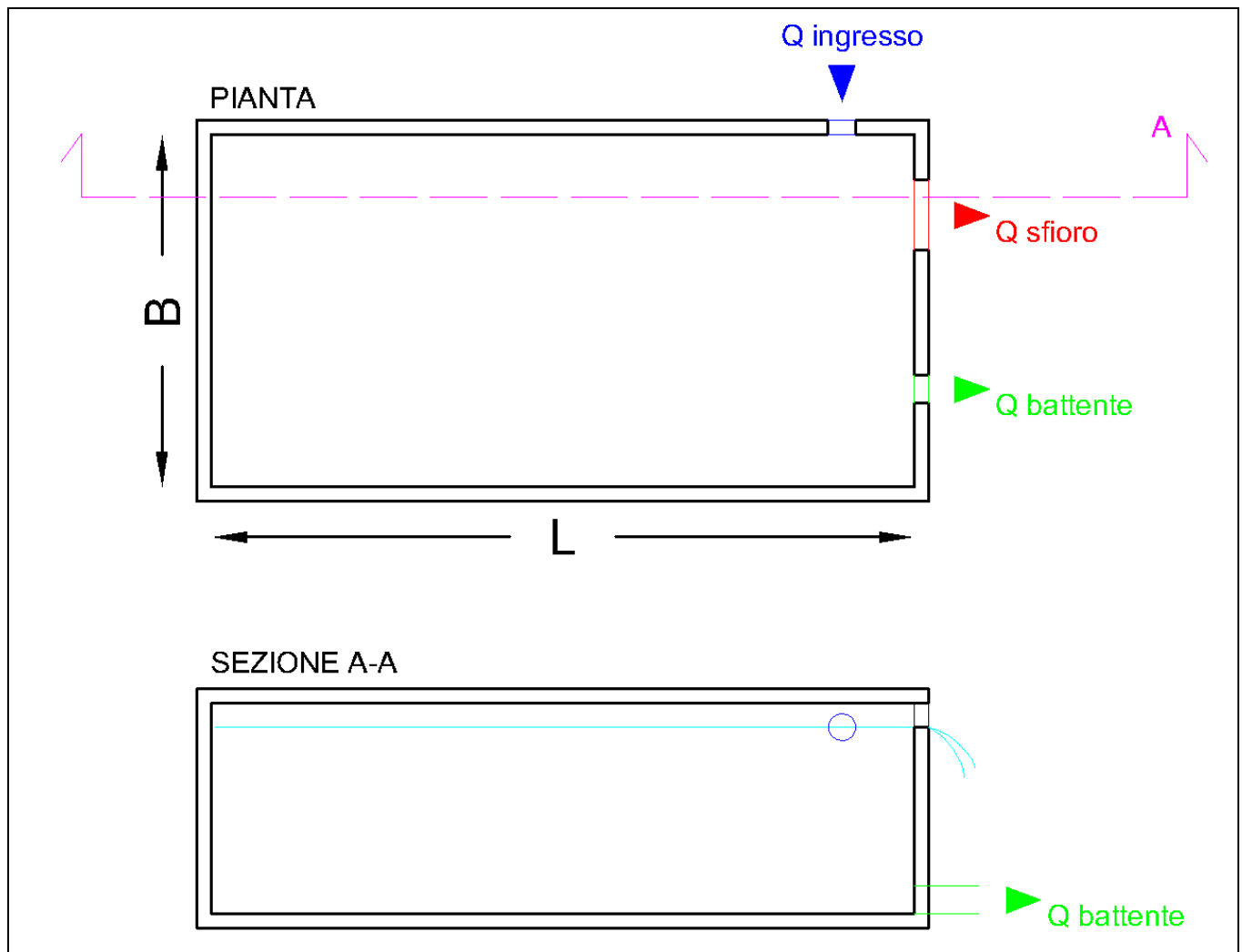


Figura 8 - Schema vasca di laminazione

Nel caso in oggetto, il recettore finale è rappresentato dalla pubblica fognatura esistente, costituita da uno scatolare in cls a sezione quadrata delle dimensioni di 0.5 x 0.5m.

Al fine di garantire il principio di invarianza idraulica, la portata massima derivante dall'intervento di trasformazione territoriale non può eccedere quella esistente nella situazione ante intervento, valutata per un tempo di ritorno pari 50 anni. Nel caso specifico, tale portata limite risulta pari a 0.42 mc/s (vedasi Tabella 7). Le dimensioni della vasca di laminazione e degli organi di scarico sono state ricavate in modo tale che la portata di picco dell'idrogramma in uscita risultasse non superiore al valore limite di cui sopra.



Le caratteristiche dimensionali della vasca di laminazione, i parametri di simulazione e gli idrogrammi risultanti sono riportati di seguito:

Tabella 10 - Caratteristiche vasche di laminazione

Geometria luce a battente	
μ battente	0.6
Cc Coefficiente di contrazione	0.9
larghezza luce a (m)	0.3
altezza luce b (m)	0.3
Geometria sfiori	
Hs soglia sfioro (m)	1.3
Larghezza Ls (m)	1
μ stramazzo	0.4
Vasca	
pendenza fondo vasca	0.001
c (Strickler)	80
L Larghezza della vasca (m)	10
B Lunghezza della vasca (m)	10
$h_{\max}$ raggiunta (m)	1.49
Volume utile (mc)	148.64

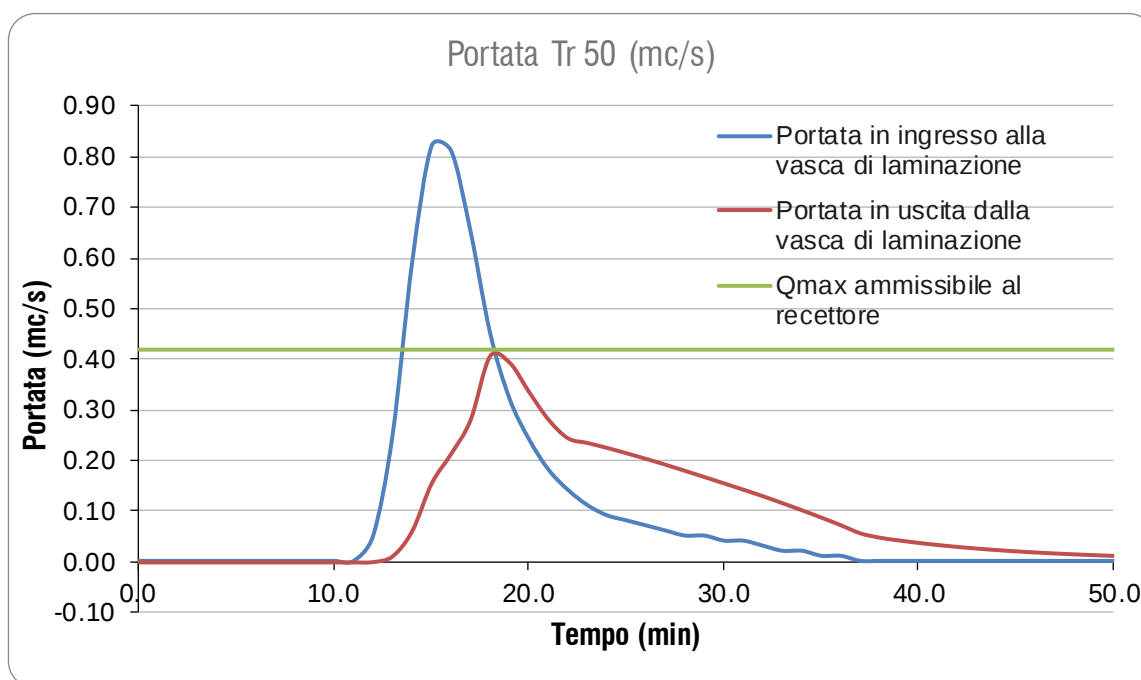


Figura 9 - Idrogrammi in ingresso e in uscita dalla vasca di laminazione



7. Dimensionamento della rete di drenaggio interna

Le “Linee guida e indirizzi operativi per l’attuazione del principio della invarianza idraulica” di cui all’articolo 47 delle NTA del PAI prevedono che il dimensionamento della rete di drenaggio interna alla lottizzazione sia effettuato rispetto alla portata calcolata con un tempo di ritorno $T_r = 20$ anni. Tale portata corrisponde con il valore di picco dell’idrogramma generato dal comparto in trasformazione, riportato in Figura 5, calcolato mediante modellazione semi-distribuita attraverso il software Hydrologic Modeling System (HEC-HMS), pari a **0.71 mc/s**.

La verifica delle condotte è stata eseguita mediante la formula di Chézy, valida per deflussi di correnti a pelo libero in moto uniforme assolutamente turbolento:

$$Q = \chi \Omega \sqrt{R \cdot i}$$

Dove:

- Q : portata [mc/s];
- χ : $K_s R^{1/6}$: parametro di Chézy determinato mediante la formula empirica di Gauckler-Strickler [$m^{1/2}/s$];
- K_s : coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler [$m^{1/3}/s$]¹;
- Ω : Area bagnata della sezione [mq];
- R : raggio idraulico [m];
- i : pendenza della condotta [m/m].

Attraverso l’espressione di Chézy è possibile costruire la scala delle portate note la forma e le dimensioni della sezione. La verifica della tubazione è soddisfatta se il grado di riempimento raggiunto in condizione di massimo regime idraulico è inferiore al 75% e se la velocità massima risulta non superiore a 5m/s (Circolare del Ministero dei Lavori Pubblici del 7 gennaio 1974 n. 11633 “Istruzioni per la progettazione delle fognature e degli impianti di trattamento delle acque reflue”).

¹ Linee guida dimensionamento e verifica di opere idrauliche. ACEA



Considerando una condotta circolare in PVC con diametro $D=500\text{mm}$, con pendenza pari a 2% risulta, dall'applicazione dell'equazione di Chézy:

Tabella 11 - Scala delle portate condotta circolare

y/D	y	Ω	R	Q	V
[-]	[m]	[mq]	[m]	[mc/s]	[m/s]
0.75 (75%)	0.375	0.158	0.151	0.76	4.81

La Tabella 11 mostra come un collettore di diametro pari a 500mm e pendenza pari a 2% garantisca, con un grado di riempimento pari al 75%, una portata di 0.76mc/s e una velocità media di 4.81 m/s. Comparando i risultati della Tabella 11 con la portata di picco raggiunta per $TR=20$ anni, pari a 0.71 mc/s (vedasi Tabella 7), si deduce che le condotte principali del comparto in trasformazione, ossia quelle che drenano le acque raccolte dall'intero lotto, risultano idraulicamente verificate per un diametro minimo di 500mm, una pendenza dei collettori minima del 2% e un coefficiente di scabrezza assimilabile a quello proprio del PVC.

8. Verifica del recettore

La rete fognaria esistente su Piazza Antonio Segni, costituita da uno scatolare in cls delle dimensioni in sezione di **0.5 x 0.5m**, viene individuata come recettore finale delle acque meteoriche del comparto in trasformazione.

Per la verifica di tale recettore si è confrontata la portata di picco generata dal comparto in trasformazione nella situazione di progetto (comprendente quindi le opere compensative), pari a 0.41 mc/s (vedasi Figura 9), con la massima portata smaltibile dalla rete fognaria esistente, quest'ultima valutata attraverso l'equazione di Chézy (le formulazioni sono le medesime utilizzate per il dimensionamento della rete di drenaggio interna, riportate nel precedente capitolo 7).

Risulta:

Tabella 12 - Scala delle portate canale a sezione quadrata 0.5 x 0.5m

y/h	y	Ω	R	Q	V
[-]	[m]	[mq]	[m]	[mc/s]	[m/s]
0.75 (75%)	0.375	0.1875	0.150	0.476	2.54

Dalla Tabella 12 si osserva come la portata smaltibile dal collettore esistente, in condizioni di riempimento del 75%, sia superiore a quella generata dal comparto in trasformazione, garantendo quindi la verifica del recettore finale. Si specifica che in ogni caso, essendo assicurato il rispetto del principio di invarianza idraulica (vedasi capitolo 6), le portate convogliate nel recettore finale nello stato di progetto sono assimilabili a quelle convogliate allo stato ante intervento, garantendo quindi il non aggravio delle condizioni idrauliche nel recettore finale.



9. Conclusioni

La presente relazione di invarianza idraulica, redatta in accordo con le *“linee guida e indirizzi operativi per l’attuazione del principio della invarianza idraulica”*, mostra le procedure di calcolo relativamente all’intervento "Piano Urbanistico Attuativo di iniziativa privata relativo al comparto G1 del PUC in Piazzale Segni" da effettuarsi nel Comune di Sassari (SS), avente una superficie fondiaria di circa 14’000mq, e quindi categorizzato dalle suddette linee guida come “Classe c - significativa impermeabilizzazione potenziale”.

Ai fini dell’applicazione del principio di invarianza idraulica, di cui all’art. 47 delle NTA del PAI Sardegna sono state comparate le portate generate dall’intervento di trasformazione territoriale con quelle preesistenti. Le maggiori portate generate dall’intervento di trasformazione territoriale sono state attenuate mediante la progettazione di opportune misure compensative, nel caso specifico di una vasca di laminazione, la quale consente la riduzione della portata al colmo, rendendo quest’ultima compatibile con quella preesistente e, pertanto, garantendo il rispetto del principio di invarianza idraulica.

Inoltre, si è eseguita la verifica dei collettori principali della rete di drenaggio interna alla lottizzazione, garantendo che questi ultimi fossero adeguatamente dimensionati per una portata pari a quella generata da un evento meteorico caratterizzato da un tempo di ritorno di 20 anni.

Dalla verifica del recettore finale, invece, è emerso come quest’ultimo sia in grado di drenare una portata compatibile con quella generata dall’intervento di trasformazione, la quale risulta a sua volta assimilabile a quella generata dallo stesso comparto allo stato di fatto, a parità di evento meteorico.

Tutto ciò premesso, dalle verifiche idrauliche eseguite, per le quali si rimanda ai capitoli dedicati, è emerso come l’intervento proposto, unitamente alle misure compensative progettate, non aggrava le condizioni idrauliche esistenti allo stato ante-intervento, e pertanto esso risulta coerente con il principio di invarianza idraulica, di cui all’art. 47 delle NTA del PAI Sardegna.

Sassari gennaio 2024

Il tecnico

Dott. Ing. Marco Nuvoli

