



# COMUNE DI CAGLIARI

## PROGETTO:

Proposta avente ad oggetto la progettazione, costruzione e gestione, in regime di concessione ed in condizioni di equilibrio economico-finanziario del nuovo stadio, ai sensi dell'articolo 1, comma 304, lettera b) della Legge n. 147 del 27 dicembre 2013



## PROPONENTE:

Comune di Cagliari

Responsabile Unità Progetto Nuovo Stadio Sant'Elia  
Responsabile Unico di Procedimento

Ing. Daniele Olla

## TEAM DI PROGETTAZIONE:

progettazione architettonica  <b>PROGETTO CMR</b> MASSIMO ROJ ARCHITECTS	progettazione strutture  <b>iDEAS</b> Integrated Design Architecture & Interiors	progettazione impianti tecnologici  <b>TRACTEBEL</b> ENGIE	progettazione sicurezza antincendio  <b>GOSTI</b> ENGINEERING & ARCHITECTURE
integrazione prestazioni specialistiche  <b>sportium</b> shape your sport venue ideal	specialista impianti sportivi  <b>MANICA</b> architecture	opere di demolizione  <b>ALCOTEC</b>	urbanistica e procedura V.I.A.  <b>DICAAR</b> SARDARCH
consulenza acustica  <b>VI Consulting &amp; Management</b> VA	consulenza paesaggistica  <b>dsb</b> landscape design	consulenza viabilistica  <b>RAM</b> ENGINEERING S.R.L. S.P.A.	consulenza ambientale  <b>ambiente</b> CONSULTING & PROJECT MANAGEMENT

## FASE PROGETTUALE:

## PROGETTO DEFINITIVO

### TITOLO / DESCRIPTION:

Studio dell'invarianza idraulica

DISEGNATO DA : LRP

CONTROLLATO DA : PLM

DATA 20/06/2022

SCALA --

COMMESSA	FASE	EMISSIONE	LIVELLO	DISCIPLINA	TIPO	PROGRESSIVO	REVISIONE
3053	D	AMB	0	IDR	RE	005	02

COMPANY WITH  
MANAGEMENT SYSTEM  
CERTIFIED BY DNV GL  
= ISO 9001 =  
= ISO 14001 =  
= ISO 45001 =

COMMITTENTE:

**Comune di Cagliari**

PROGETTO:

***Realizzazione del nuovo stadio  
"Sant'Elia" – Progetto Definitivo***

## **STUDIO DI INVARIANZA IDRAULICA**

*AI SENSI DELL'ART. 47 DELLE NTA DEL PAI*



### **Sede di Milano**

via Paullo 11 – 20135 Milano

Tel. 0245473370

Fax. 0245473371

Web page: [www.ambientesc.it](http://www.ambientesc.it)

### **Altre sedi principali**

**Carrara (sede legale e operativa)** Via Frassina, 21 - 54033 Carrara (MS) -  
Tel. 0585/855624 - Fax. 0585/855617

**Firenze** Via di Soffiano, 15 - 50143 Firenze (FI) - Tel. 055/7399056 - Fax  
055/7134442

**Roma** Via L. Robecchi Bricchetti, 6 - 00154 Roma (RM) - Tel. 06/45678571

**Taranto** Via Matera, km 598/I - 74014 Laterza (TA) - Mob. 347/1083531

## **Premessa**

Con il presente documento, **Ambiente spa** ha eseguito il mandato affidatole da **COMUNE DI CAGLIARI** con la diligenza richiesta.

Le elaborazioni ed i risultati illustrati nel presente documento, sono stati ottenuti ottemperando le normative vigenti e le regole riconosciute nel settore di operatività e sono basati sullo stato delle conoscenze all’atto di stesura del rapporto.

***In riferimento a ciò Ambiente spa ha proceduto alla predisposizione della presente documentazione richiesta secondo le informazioni e le specifiche fornite dalla Committenza, la quale pertanto si assume ogni qualsivoglia responsabilità in ordine alla veridicità e correttezza delle stesse.***

A tal fine, **Ambiente spa** considera che:

- *il committente, o i terzi da lui designati, hanno fornito tutte le informazioni corrette ed i documenti completi per l'esecuzione del mandato;*
- *il presente documento non verrà utilizzato in modo parziale;*
- *le elaborazioni ed i risultati conseguiti presenti nel seguente documento non verranno utilizzati per uno scopo diverso da quello convenuto o per altro oggetto, né saranno trasposti a circostanze modificate, senza essere stati riesaminati;*
- *nel presente documento con il termine “Committente” si intende **COMUNE DI CAGLIARI** che ha incaricato Ambiente spa per la redazione del presente documento.*

**SOMMARIO**

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE .....</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SCOPO .....</b>	<b>1</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>1</b>
<b>4</b>	<b>MATERIALE CONSULTATO .....</b>	<b>1</b>
<b>5</b>	<b>DESCRIZIONE AREA .....</b>	<b>2</b>
5.1	IL CANALE SAN BARTOLOMEO .....	3
<b>6</b>	<b>METODOLOGIA PER LA VERIFICA DI INVARIANZA IDRAULICA .....</b>	<b>5</b>
6.1	INDIVIDUAZIONE DELLA CLASSE DELL'INTERVENTO DI TRASFORMAZIONE TERRITORIALE .....	5
6.2	VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ MASSIMA DI SMALTIMENTO DEL CORPO IDRICO RICETTORE .....	6
6.3	VALUTAZIONE DEI CN ANTE E POST- INTERVENTO .....	8
6.3.1	Individuazione del tipo di suolo .....	11
6.3.2	CN pre-intervento .....	13
6.3.3	CN post intervento .....	14
6.4	STIMA DELLE PORTATE .....	15
6.4.1	Curve di possibilità pluviometrica .....	15
6.4.2	Portate ante operam .....	17
6.4.3	Portate post operam .....	23
<b>7</b>	<b>RETE DI CONVOGLIAMENTO E ALLONTAMENTO ACQUE METEORICHE .....</b>	<b>24</b>
7.1	SISTEMA DI CONVOGLIAMENTO ATTUALE .....	24
7.2	SISTEMA DI CONVOGLIAMENTO IN PROGETTO .....	25
<b>8</b>	<b>VASCHE DI PRIMA PIOGGIA E VASCHE DI RECUPERO .....</b>	<b>25</b>
8.1	VASCHE DI ACCUMULO .....	25
<b>9</b>	<b>PARCHEGGI ESTERNI ALL'AREA MINIMA FUNZIONALE .....</b>	<b>26</b>
9.1	INVARIANZA IDRAULICA AREA P7 .....	28
9.2	INVARIANZA IDRAULICA AREA P8 .....	31
<b>10</b>	<b>RISULTATI .....</b>	<b>31</b>
<b>11</b>	<b>DISCUSSIONE E INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI .....</b>	<b>31</b>
<b>12</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>32</b>

**INDICE FIGURE**

Figura 1 – Inquadramento territoriale. Cerchiata in rosso l'area in esame .....	2
Figura 2 – Ubicazione nuovo stadio in progetto .....	3
Figura 3 Inquadramento canale San Bartolomeo .....	4
Figura 4 Report quote del livello idrico delle diverse condizioni di valle - Tr=50 anni Studio canale Terramaini .....	8
Figura 5 Pioggia netta in funzione del CN .....	8



*"Realizzazione del nuovo stadio "Sant'Elia" – Studio di invarianza idraulica*

Figura 6 Criteri di definizione condizioni di umidità del terreno .....	11
Figura 7 Geologia aree oggetto di intervento (fonte Carta Geologica Regione Sardegna) .....	12
Figura 8 Uso del suolo dell'area oggetto di intervento (fonte Carta Uso del Suolo Regione Sardegna) .....	13
Figura 9 Formulazione curve di possibilità pluviometrica e sottozone Regione Sardegna .....	16
Figura 10 Estratto carte delle isoiete .....	16
Figura 11 Curve di possibilità pluviometrica .....	16
Figura 12 Curve di probabilità pluviometrica .....	17
Figura 13 Domini di calcolo utilizzati nelle modellazioni idrologiche e idrauliche .....	18
Figura 14 Sottozone della zona 4 .....	19
Figura 15 Estratto della carta dei bacini idrografici principali della Città di Cagliari .....	20
Figura 16 Bacino Sant'Elia e area effettiva dello stadio .....	21
Figura 17 Impronta vecchio stadio .....	21
Figura 18 Ietogramma Chicago per $Tr=50$ anni .....	22
Figura 19 Idrogramma pre - urbanizzazione .....	23
Figura 20 Impronta nuovo stadio .....	23
Figura 21 Idrogramma post urbanizzazione .....	24
Figura 22 Rete di smaltimento acque meteoriche -. Stato attuale (fonte ufficio tecnico comunale) .....	24
Figura 23 Posizione di massima delle vasche di raccolta acque meteoriche .....	26
Figura 24 Area P7 e P8 stato attuale .....	27
Figura 25 Aree P7 e P8 stato di progetto .....	28
Figura 26 Vecchio Stadio Sant'Elia (sinistra) e nuovo progetto (destra) .....	32

**INDICE TABELLE**

Tabella 1 Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN) .....	9
Tabella 2 Matrice sintetica delle diverse classi in funzione dei tipi di suolo (metodo SCS-CN) .....	9
Tabella 3 Uso del Suolo - valori del CN .....	10
Tabella 4 Parametri CPP $Tr=50$ anni .....	17
Tabella 5 Dettagli rete acque meteoriche attuali .....	25

**ALLEGATI**

*Allegato 1. Misure  $q&v$  San Bartolomeo.*

*Allegato 2. Relazione idraulica -PUC e report studio di bacino.*

## 1 INTRODUZIONE

La presente relazione ha come oggetto la verifica dell'invarianza idraulica da garantirsi a seguito della costruzione del nuovo stadio Sant'Elia redatta su incarico del Comune di Cagliari per come previsto dall'art. 47 delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna.

## 2 SCOPO

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 (o di quelle relative alla precedente destinazione d'uso del sito). Per tale finalità è necessario calcolare la portata generata dalla superficie scolante in seguito al verificarsi di eventi meteorici per tempi di ritorno significativi considerando due diverse configurazioni: stato pre- intervento e stato post intervento.

## 3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### Regionale

- Delibera del Comitato Istituzionale n.2 del 17.05.2017: Direttiva 2007/60/CE – D.Lgs.49/2010 "Valutazione e gestione dei rischi di alluvioni – Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna – Aggiornamento delle "Linee guida e indirizzi operativi per l'attuazione del principio della invarianza idraulica di cui all'articolo 47 delle NA del PAI".
- Deliberazione n. 69/25 del 10.12.2008: Direttiva in materia di "Disciplina regionale degli scarichi".

### Comunale

- PUC Piano Urbanistico Comunale.
- Indirizzi programmatici e operativi per l'adeguamento del PUC al PPR e al PAI – aggiornamento ottobre 2018.
- Studio di assetto idrogeologico – parte geologica e tecnica – aggiornamento gennaio 2020.
- Studio di assetto idrogeologico – parte idraulica – aggiornamento marzo 2020.

## 4 MATERIALE CONSULTATO

- Studi di settore del nuovo Piano Regolatore Portuale, riguardanti le caratteristiche idrogeologiche ed idrauliche dei corsi d'acqua e l'inquadramento idrogeologico, geologico e geotecnico dell'ambito portuale – Autorità portuale di Cagliari – luglio 2010.

- Studio idraulico del Canale Terramaini – Comune di Cagliari Servizio Pianificazione Strategica e Territoriale – giugno 2019.
- Planimetrie rete di collettamento e scarico acque meteoriche – area stadio Sant'Elia – Comune di Cagliari.
- Relazione geologica – Realizzazione del nuovo stadio Sant'Elia – Progetto Definitivo.
- Carta uso del suolo Regione Sardegna.
- Carta geologica Regione Sardegna.

## 5 DESCRIZIONE AREA

Il nuovo stadio, il cui progetto come visibile in figura 2 è in parziale sovrapposizione con la struttura dello stadio dismesso nel 2017, si ubicherà nel settore sud-orientale del comune di Cagliari, nel quartiere Nuovo Borgo Sant'Elia, in prossimità dell'attuale linea di costa rettificata artificialmente a seguito della graduale colmata di un tratto di mare basso compreso tra il promontorio di Sant'Elia e il porto di Cagliari.



*Figura 1 – Inquadramento territoriale. Cerchiata in rosso l'area in esame*



Figura 2 – Ubicazione nuovo stadio in progetto

Il Nuovo Stadio di Cagliari sarà costituito da diverse strutture e quindi in grado di ospitare eventi di ogni genere: manifestazioni calcistiche, eventi sportivi non calcistici, concerti, altri eventi d'intrattenimento non sportivi ed eventi aziendali (riunioni, conferenze, mostre). In questo modo l'uso giornaliero dello stadio verrà valorizzato al massimo.

Lo stadio sarà attivo sette giorni su sette, sia durante le partite o altri eventi sia nei giorni comuni.

### 5.1 Il canale San Bartolomeo

Lo stadio si trova in prossimità del canale San Bartolomeo, canale lungo 1.5 km che si trova sul lato di levante del Porto Storico. Esso si sviluppa dalla confluenza tra il canale di Terramaini e il canale di Palma fino allo sbocco a mare. Il canale Terramaini è la continuazione del Rio Salius più precisamente si origina dalla confluenza tra Riu Francettu e Riu Salius nel comune di Selargiuse.





Figura 3 Inquadramento canale San Bartolomeo

Il canale San Bartolomeo è un canale a marea ovvero un canale in cui il flusso di portata (in modulo e verso) è fortemente influenzato (soprattutto nei periodi di siccità) dal livello del mare, dovuto alla componente della marea astronomica e cui si somma il contributo delle condizioni meteo marine.

In canali di questo tipo quindi la corrente non ha un verso univoco monte-valle ma la direzione del flusso varia in funzione della condizione della marea e pertanto può invertirsi scorrendo dal mare verso l'hinterland. L'oscillazione della marea ha un semiperiodo di circa sei ore in cui si osserva la massima escursione di livello. Tali oscillazioni si ripercuotono nel canale con una celerità tale da determinare un'immediata variazione del livello nel canale. Diverso ed opposto è il carattere della velocità della corrente. Ai minimi di livello corrispondono i massimi di velocità e viceversa.

In pratica si possono riconoscere e distinguere due momenti caratteristici nei canali a marea, un momento di "svuotamento", corrispondente a una fase discendente di marea, e quindi di flusso con direzione monte-valle e un momento di "riempimento" in cui l'acqua ha direzione valle-monte, dunque dal mare verso l'interno. Al primo di questi due momenti corrispondono livelli d'acqua decrescenti (l'acqua esce dal canale



e se non ci sono apporti idrici esterni il volume liquido presente nel canale diminuisce) mentre al secondo momento corrisponde una crescita del livello idrico (l'acqua dal mare entra nel canale).

Nell'ambito degli "Studi di settore del nuovo Piano Regolatore Portuale, riguardanti le caratteristiche idrogeologiche ed idrauliche dei corsi d'acqua e l'inquadramento idrogeologico, geologico e geotecnico dell'ambito portuale" è stata svolta una campagna di monitoraggio tra novembre 2009 e maggio 2010 che ha evidenziato una massima escursione di marea pari circa a 60 cm comportando variazione di velocità media pari massimo a 0,6 m/s. Le misurazioni sono state eseguite con misure in continuo ogni 15 minuti in grado di cogliere la variazione contemporanea dei livelli e delle velocità e la relativa inversione dei flussi indotte dalla oscillazione di marea che si presentano con un semiperiodo di sei ore. I dettagli dello studio sono riportati in *Allegato 1. Misure q&v San Bartolomeo*.

## 6 METODOLOGIA PER LA VERIFICA DI INVARIANZA IDRAULICA

La procedura per la verifica dell'invarianza idraulica a seguito della realizzazione di nuove urbanizzazioni è la seguente:

1. individuazione della classe dell'intervento di trasformazione territoriale
2. valutazione della portata massima di smaltimento nel corpo idrico ricettore
3. valutazione dei CN ante e post- intervento
4. calcolo della variazione di portata tra ante  $Q_{ante}$  e post intervento  $Q_{post}$  attraverso il calcolo degli idrogrammi di piena
5. individuazione e dimensionamento delle opere compensative (tali che Q in uscita sul recettore finale sia al massimo pari a  $Q_{ante}$ )
6. valutazione a cura del comune del sistema complessivo di smaltimento del recettore finale, che può portare a limitare ulteriormente la Q in uscita

### 6.1 Individuazione della classe dell'intervento di trasformazione territoriale

Il primo passo della procedura di valutazione dell'invarianza idraulica di un sito soggetto a trasformazione è il calcolo delle superfici territoriali coinvolte in modo da stabilire il livello di impermeabilizzazione che ne deriverà.

Le classi proposte dalla normativa in materia sono le seguenti:

Classe	Livello di impermeabilizzazione potenziale	Superficie territoriale
<i>a</i>	trascurabile	Inferiore a 0.1 ha
<i>b</i>	modesta	Compresa tra 0.01 e 0.5 ha

<i>c</i>	significativa	Compresa tra 0.5 e 10 ha
<i>d</i>	sostanziale	Superiore a 10 ha

Nel caso del nuovo stadio della città di Cagliari le superfici coinvolte sono pari a 9,8 ha e pertanto la classe di intervento è quindi la D – livello di impermeabilizzazione sostanziale.

In tal caso bisognerà procedere:

- all'individuazione dei tiranti idrici ammessi nella rete e negli invasi;
- al dimensionamento delle luci di scarico del 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.

Nel caso di aree ricadenti in classe di intervento D le linee guida per la redazione degli studi di invarianza idraulica prevedono che lo studio idrologico 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 di adeguamento del PUC al PAI** ai sensi dell'art.8, comma 2, delle NA del PAI.

## 6.2 Valutazione della capacità massima di smaltimento del corpo idrico ricettore

*Le acque meteoriche intercettate dal nuovo complesso Stadio- strutture attigue, verranno convogliate nel canale San Bartolomeo (tratto terminale del canale Terramaini).*

Il Canale Terramaini drena un comprensorio molto vasto per una superficie complessiva di circa 20 Km<sup>2</sup>, nel quale ricade la zona umida del Molentargius e del sistema delle saline che è situato a una quota attorno al livello medio mare. Nel Canale Terramaini inoltre recapitano una serie di corsi d'acqua sia direttamente, come il Rio Saliu, che indirettamente, come i rii Mortu, Selargius e Cungiau. Il Canale Terramaini non presenta una pendenza significativa lungo tutto il suo corso, dall'immissione del Rio Saliu ad il suo sbocco a mare, per una lunghezza complessiva di circa 8 Km. L'intero sistema, costituito dal Canale Terramaini dalle zone umide e dai corsi d'acqua che drenano sullo stesso canale, è fortemente influenzato nel suo funzionamento idraulico dalle condizioni al contorno che sono rappresentate oltre che dagli apporti che vengono da monte anche dal livello medio del mare in cui il canale Terramaini recapita.

Dalla consultazione dello Studio Idraulico del Canale Terramaini si possono ricavare le portate smaltibili ottenute con modellazione monodimensionale con differenti livelli di quota nella sezione di sbocco come condizione al contorno.

- condizione di valle pari a 0.75 mslm:

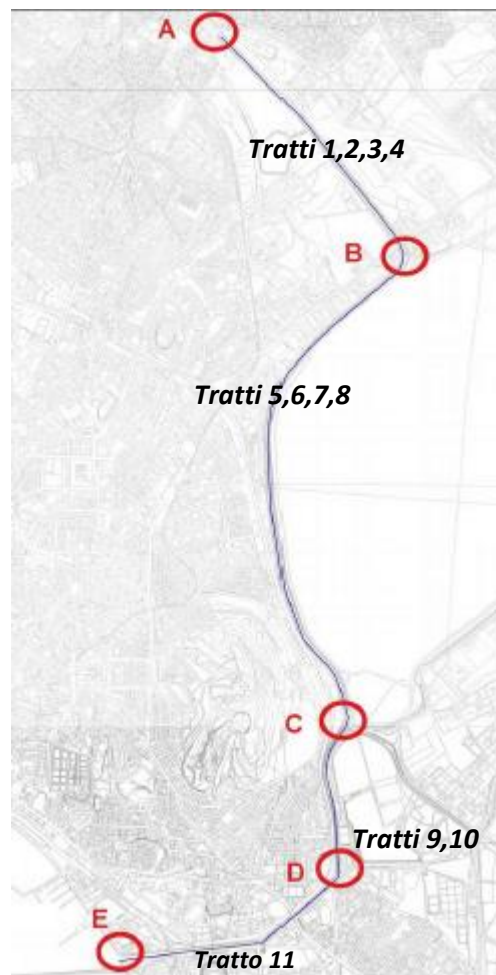
la portata smaltibile va da un minimo di 25 mc/s nel tratto 5 a un massimo di 55 mc/s nel tratto 4 e nei tratti più a valle (tratti 7, 8, 9, 10 e 11) si ha una portata smaltibile più o meno costante pari 35 mc/s;

- condizione di valle pari 1.25 mslm:

la portata smaltibile va da un minimo di 10 mc/s nei tratti 10 e 11 a un massimo di 55 mc/s al tratto 4;

- condizione di valle pari 1.80 mslm:

la portata smaltibile va da un valore minimo inferiore a 10 mc/s nei tratti dal 5 all'11 a un massimo di 55 mc/s al tratto 4.



Quindi con riferimento al solo tratto 11, ovvero il tratto su cui insiste l'area dello stadio, si ha:

Condizione di valle	$Q_{\text{maxsmaltibile}}$	Franco idraulico $Q=20 \text{ m}^3$	Franco idraulico $Q=35 \text{ m}^3$	Franco idraulico $Q=10 \text{ m}^3$
0.75 m. slm	$35 \text{ m}^3$		$0 < \text{franco} < 1$	
1.25 m. slm	$10 \text{ m}^3$	$0 < \text{franco} < 0.5$		
1.80 m. slm	$10 \text{ m}^3$			$-1 < \text{franco} < 0.5$

Per la stima della capacità ricettiva del canale il Comune non fornisce indicazioni specifiche ma ai fini di una maggiore sicurezza, anche tenendo conto della tipologia di eventi piovosi che si determinano, sempre più brevi ed intensi, è preferibile assumere un coefficiente riduttivo della massima portata smaltibile del canale

pari al 50%. L'immissione delle acque dell'area del nuovo stadio avverrebbe del resto in un punto quasi terminale del canale, già saturato dagli apporti provenienti da monte.

**Pertanto, si assume una capacità ricettiva pari a 5 mc/s.**

PUNTO	DESCRIZIONE	QUOTA LIVELLO IDRICO TR 50 ANNI (mslm)					
		CONDIZIONE DI LIV. DEL MARE A 0.75 m.s.l.m.		CONDIZIONE DI LIV. DEL MARE A 1.25 m.s.l.m.		CONDIZIONE DI LIV. DEL MARE A 1.80 m.s.l.m.	
		SIM 2D	SIM 1D-2D	SIM 2D	SIM 1D-2D	SIM 2D	SIM 1D-2D
1	Sbocco Rio Saliu nel Terramaini	2.99	2.27	2.99	2.28	3.03	2.28
2	Terramaini a monte dello sfioro delle vasche	2.63	2.01	2.63	2.02	2.70	2.03
3	Terramaini a valle dello sfioro delle vasche	1.99	1.76	2.02	1.76	2.36	1.78
4	Terramaini adiacente Molentargius 1	1.40	1.59	1.83	1.60	2.36	1.64
5	Terramaini adiacente Molentargius 2	1.38	1.44	1.83	1.47	2.36	1.56
6	Terramaini a valle dello sfioro del Canale Is Arenas	1.32	1.32	1.79	1.39	2.35	1.54
7	Terramaini foce	0.75	0.75	1.25	1.25	1.80	1.80
8	Sbocco Canale Is Arenas nel Terramaini	1.39	1.33	1.82	1.40	2.36	1.54
9	Sbocco Rio Mortu nella vasca nord-ovest	2.41	2.62	2.46	2.62	2.47	2.63
10	Sbocco Rio Selargius nella vasca nord-ovest	3.33	3.98	3.33	3.99	3.63	3.99
11	Sbocco Rio Cungiau nella vasca nord-est	3.22	4.09	3.22	4.09	3.38	4.09

Tabella 23: Canale Terramaini – Quote del livello idrico nelle tre diverse condizioni di valle – Tr 50 anni

Figura 4 Report quote del livello idrico delle diverse condizioni di valle - Tr=50 anni Studio canale Terramaini

### 6.3 Valutazione dei CN ante e post- intervento

Il parametro CN è un numero adimensionale che varia tra 100 (per corpi idrici e suoli completamente impermeabili) e circa 30 per suoli permeabili con elevati tassi di infiltrazione. Con valori di CN uguali o prossimi allo 0, si è in presenza di una superficie assimilabile alla perfetta "spugna". Viene assorbita e trattenuta la totalità o quasi della precipitazione. Con valori di CN uguali o prossimi a 100, siamo in presenza di terreni o superfici impermeabili dove la precipitazione si trasforma interamente, o quasi, in deflusso. Nella figura successiva si può osservare in che modo la pioggia cumulata si trasforma in pioggia netta in relazione al valore di CN.

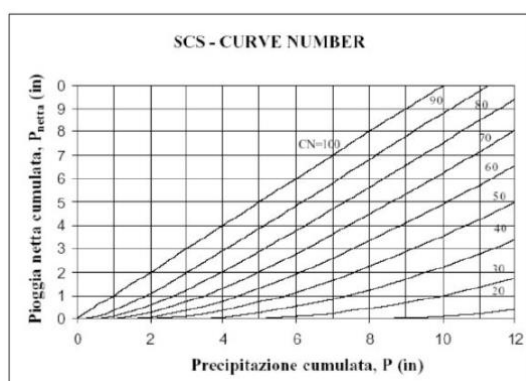


Figura 5 Pioggia netta in funzione del CN

Il CN è essenzialmente legato a:

- natura litologica del suolo;

## "Realizzazione del nuovo stadio "Sant'Elia" – Studio di invarianza idraulica

- tipo di copertura (uso del suolo);
- condizioni iniziali di umidità del suolo antecedenti un evento meteorico;
- stagione di riposo o crescita della vegetazione.

L'agenzia del Dipartimento dell'Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) Natural Resources Conservation Service (NRCS), precedentemente nota come Soil Conservation Service, ha fornito nel 1972 delle tabelle per facilitare la determinazione del parametro CN. Innanzitutto, ha suddiviso il suolo in quattro classi in base alla capacità di assorbimento:

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

Tabella 1 Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN)

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

Tabella 2 Matrice sintetica delle diverse classi in funzione dei tipi di suolo (metodo SCS-CN)



## "Realizzazione del nuovo stadio "Sant'Elia" – Studio di invarianza idraulica

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

Una volta determinata la classe del suolo si consulta la tabella dove sono riportati, per tali gruppi, i valori del parametro CN in relazione al tipo di copertura (uso del suolo).

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
FRUTTE 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 AGRARIA CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	313	39	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89
SPAGGE 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
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

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
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
DISCARICHE	1321	90	92	94	95
DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	1322	90	92	94	95
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	70	78	83	88
AREE ARCHEOLOGICHE	1422	49	69	79	84
SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	2111	58	72	81	85
PRATI ARTIFICIALI, COLTURE FORAGGERE, OVE SI PUÒ RICONOSCERE UNA SORTA DI AVVICENDAMENTO CON I SEMINATIVI E UNA CERTA PRODUTTIVITÀ, SONO SEMPRE POTENZIALMENTE RICONVERTITI A SEMINATIVO, POSSONO ESSERE RICONOSCIBILI MURETTI O MANUFATTI	2112	67	71	81	89
SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	2121	66	77	85	89
RISAE	2122	98	98	98	98
VIVAI	2123	66	77	85	89
CULTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	2412	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI (PASCOLI E SEMINATIVI ARBORATI CON COPERTURA DELLA SUGHERA DAL 5 AL 25%)	2413	59	74	82	86
BOSCO DI LATIFOGIE	3111	39	51	63	70
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI (LATIFOGIE)	3112	39	51	63	70
BOSCHI DI CONIFERE	3121	39	51	63	70
CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	3122	39	51	63	70
FORMAZIONI VEGETALI BASSE E CHIUSE, STABILI, COMPOSTE PRINCIPALMENTE DI CESPUGLI, ARBUSTI E PIANTE ERBACEE (ERICHE, ROVI, GINESTRE, GINEPRI NANI ECC.)	3221	51	58	73	80
FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE	3222	51	58	73	80
MACCHIA MEDITERRANEA	3231	51	58	73	80
GARGA	3232	51	58	73	80
AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	3241	45	55	68	75
AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	3242	45	55	68	75
SPAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3311	56	73	82	86
AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3312	56	73	82	86
AREE DUNALI CON COPERTURA VEGETALE CON AMPIEZZA SUPERIORE A 25 M	3313	56	73	82	86

Codice Uso del Suolo (UDS)	UDS	A	B	C	D
LETTI ASCIUTTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	3315	56	73	82	86
FIUMI, TORRENTI E FOSSI	5111	100	100	100	100
CANALI E IDROVIE	5112	100	100	100	100
BACINI NATURALI	5121	100	100	100	100
BACINI ARTIFICIALI	5122	100	100	100	100
LAGUNE, LAGHI E STAGNE COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	5211	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	5212	100	100	100	100
ESTUARI E DELTA	5213	100	100	100	100
AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	5231	100	100	100	100
ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	5232	100	100	100	100
PIOPPETI, SALICETI, EUCALITTETI ECC. ANCHE IN FORMAZIONI MISTE	31121	39	51	63	70
SUGHERETE	31122	39	51	63	70
CASTAGNETI DA FRUTTO	31123	39	51	63	70
ALTRO	31124	39	51	63	70

Tabella 3 Uso del Suolo - valori del CN

Se il bacino scolante è costituito da vari tipi di suolo il valore del CN si ottiene come media pesata dei valori stimati per le singole aree omogenee (Mancini e Rosso 1989).

$$CN_{tot} = \frac{\sum CN_i A_i}{A_{tot}} \quad (1)$$

Le condizioni di saturazione del terreno sono fondamentali per la corretta valutazione della curva di frequenza delle portate al colmo. Difatti, a parità di precipitazione, le diverse condizioni del terreno incidono sulla risposta del bacino e sulla portata al colmo.

Lo stato di saturazione del terreno si esprime attraverso le **condizioni di umidità del terreno antecedenti l'inizio dell'evento (AMC, Antecedent Moisture Condition)**.

L'SCS individua tre classi, AMC I, AMC II e AMC III, in relazione al valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei **5 giorni precedenti l'evento meteorico**. L'attribuzione della classe AMC si basa sui criteri riportati nella tabella di seguito:

Classe <i>AMC</i>	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7 mm	<35.5 mm
II	12.7-28.0 mm	35.5-53.3 mm
III	>28.0 mm	>53.3 mm

Figura 6 Criteri di definizione condizioni di umidità del terreno

Per condizioni antecedenti l'evento molto umide, AMC III, o molto asciutte, AMC I, si possono derivare i relativi valori di CN, determinati con la tabella precedente e riferiti ad una condizione media di umidità (classe II) usando rispettivamente:

$$CN(I) = \frac{CN(II)}{2.3 - 0.013CN(II)} \quad (2)$$

$$CN(III) = \frac{N(II)}{0.43 + 0.0057CN(II)} \quad (3)$$

### 6.3.1 Individuazione del tipo di suolo

L'area su cui sorge l'attuale stadio dismesso e sui cui verrà realizzato il nuovo impianto è caratterizzata da pavimentazioni artificiali (Strato A1) e l'insieme delle terre di riporto (Strato A2) non meglio differenziate mediante le quali è stata effettuata la colmata e la seguente bonifica del vasto settore costiero su cui è ubicato lo Stadio Sant'Elia che, sino al primo ventennio del 1900 era occupato dal mare. Ne fanno parte anche i materiali costituenti gli antichi argini del canale San Bartolomeo (che prima della bonifica sfociava direttamente in mare aperto, a circa 700 m dalla costa di allora) nonché altri depositi e macerie di epoca storica non direttamente osservabili. Trattandosi di terre da scavo eterogenee riversate direttamente in mare, risultano nel complesso caotiche o mal stratificate, a granulometria molto variabile con prevalenza di sabbie più o meno limose e argillose associate a scheletro clastico ghiaioso-ciottoloso talora prevalente e per lo più formato da clasti di rocce carbonatiche mioceniche della successione dei colli di Cagliari con possibile presenza di materiali anche artificiali provenienti da demolizione.

Il grado di addensamento è generalmente basso a meno di locali anomalie dovute alla presenza di materiale grossolano.

Tali informazioni sono state desunte dalla carta geologica della Regione Sardegna consultabile sul Geoportale Regionale all'indirizzo

<http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>.

e confermate dalle indagini condotte sul sito per la costruzione del modello geologico del sottosuolo a cui si rimanda per ulteriori dettagli.

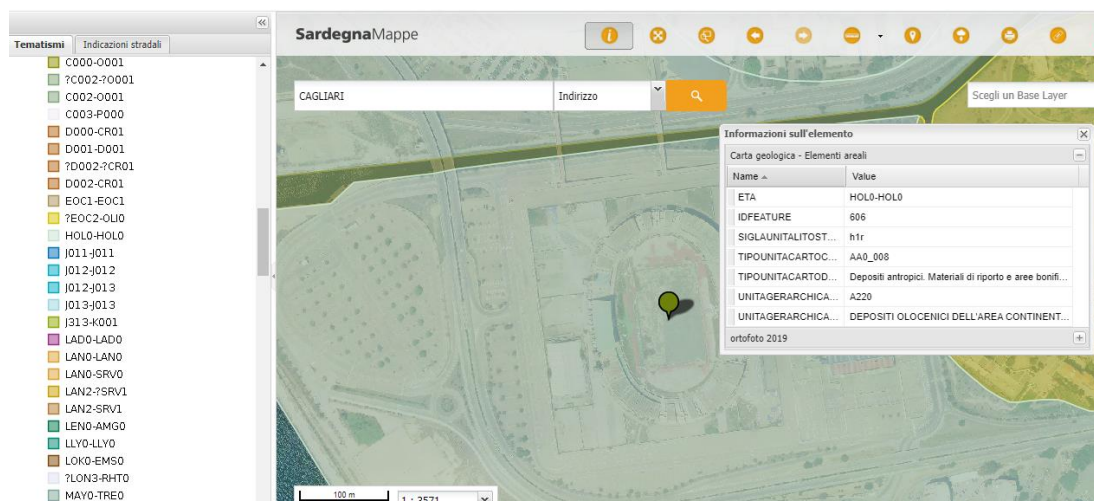
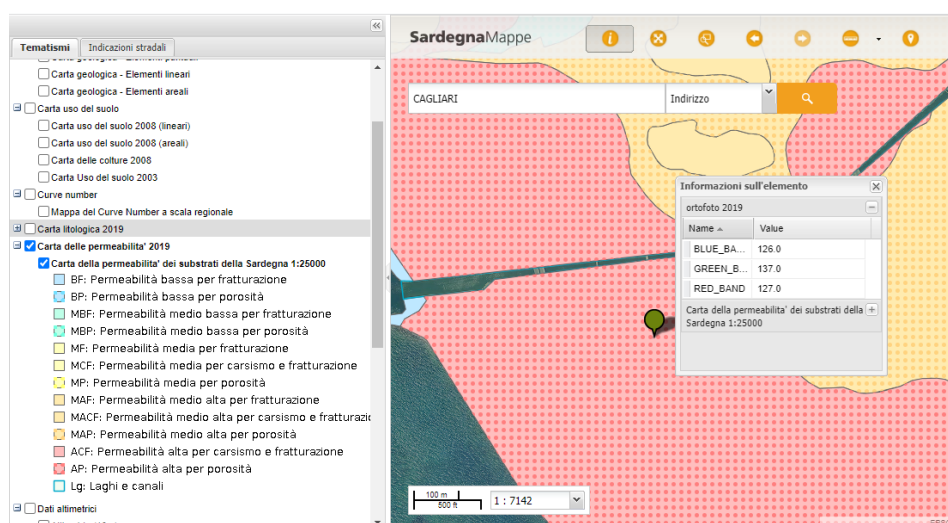


Figura 7 Geologia aree oggetto di intervento (fonte Carta Geologica Regione Sardegna)

Sotto la coltre di riporto è presente una sequenza sabbiosa di spessore da plurimetrico a subdecametrico che ospita flussi idrici sotterranei in diretto equilibrio con il livello marino e pertanto attestata mediamente alla profondità di 0.80 m in relazione con la quota assoluta del piano campagna.

Dalla consultazione della Carta della Permeabilità emerge che l'area dell'intervento è sita su un terreno ad alta permeabilità.

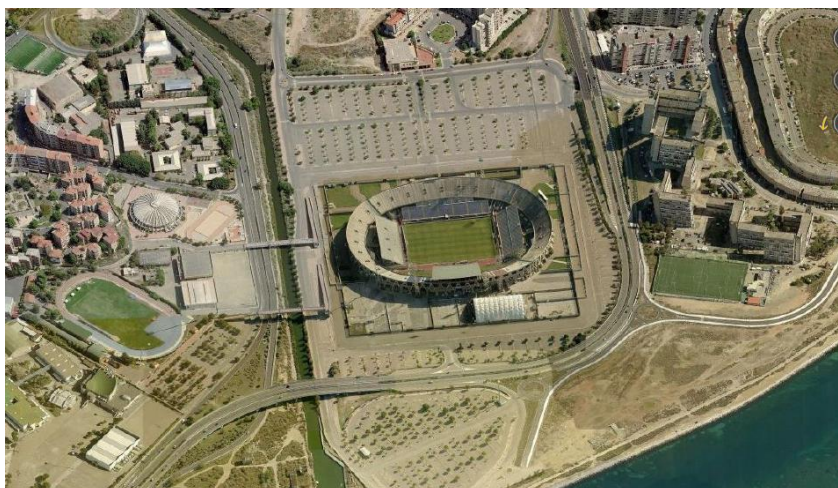


Si assume come suolo "Tipo A" con riferimento al metodo SCS-CN (Tabella 1).



### 6.3.2 CN pre-intervento

La superficie in oggetto, con riferimento alla trasformazione della sola area minima funzionale, è estesa circa 10 ettari ed ha un andamento pianeggiante.



La destinazione d'uso è stata ricavata dalla mappa dell'uso del suolo della Regione Sardegna (Corine Land Cover RAS - 2008).

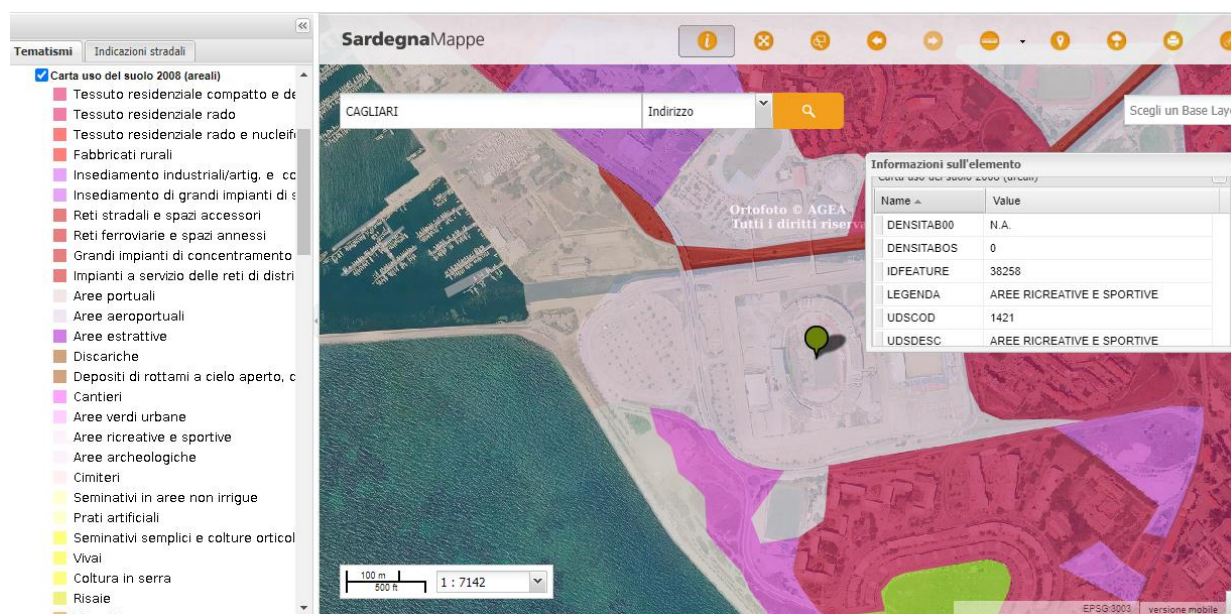
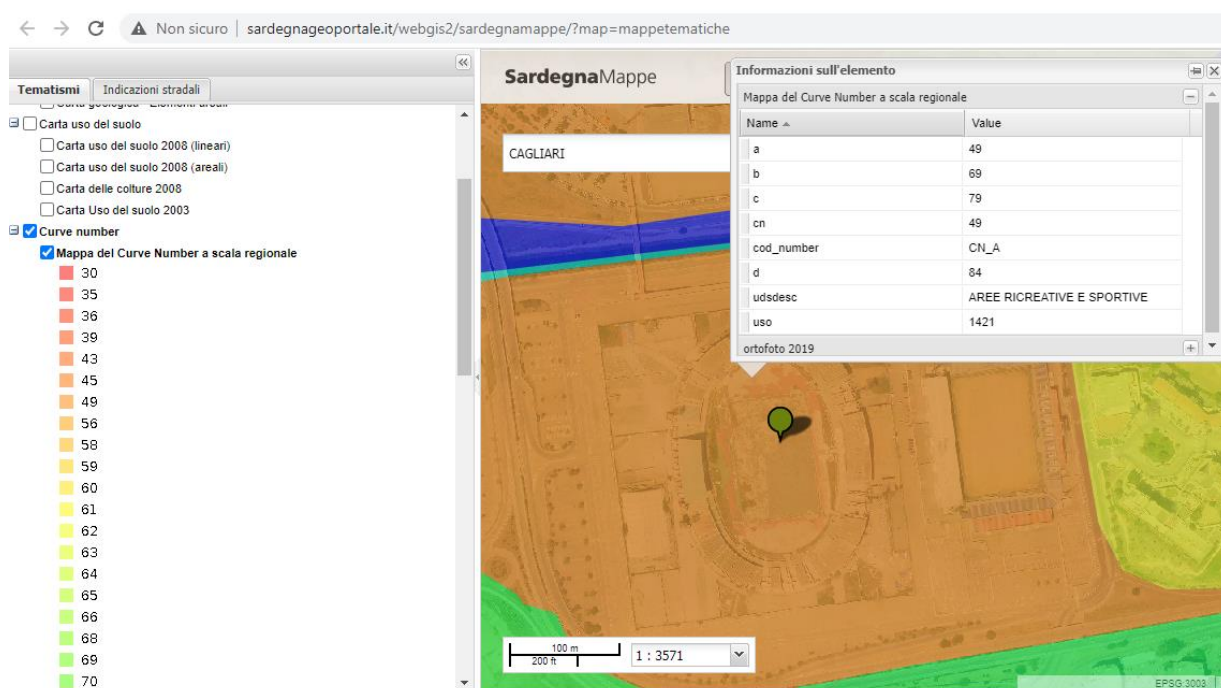


Figura 8 Uso del suolo dell'area oggetto di intervento (fonte Carta Uso del Suolo Regione Sardegna)

Sempre il medesimo geo portale fornisce indicazioni sul valore del CN da assumere che nel caso in esame è pari a 49.



Come detto precedentemente questo valore del CN corrisponde a superfici molto permeabili. Sulla base delle conoscenze del sito e ai risultati delle indagini svolte, è preferibile assumere un valore di CN maggiore, in coerenza con quanto indicato nelle tabelle proposte dal SCS.

Pertanto, si assume:

<b>Codice Uso del Suolo (UDC)</b>	<b>UDS</b>	<b>Tipo di suolo</b>	<b>CN(II)</b>
AREE RICREATIVE E SPORTIVE	1421	A	<b>70</b>

E di conseguenza in base alle (2) e alla (3):

<b>CN(I)</b>	31.7
<b>CN(III)</b>	84.4

### 6.3.3 CN post intervento

L'intervento di trasformazione prevede la realizzazione di varie componenti a cui è stato associato il valore del CN sulla base delle tipologie di copertura utilizzate. A ciascuna copertura, le Linee Guida per il calcolo dell'invarianza idraulica, assegnano un coefficiente di afflusso e un range di valori per il parametro CN.

Applicando la formula per il calcolo del CN medio si ottiene un valore da utilizzarsi nelle analisi pari a 96.

La presenza delle aree a verde è limitata a poche porzioni in corrispondenza dei parcheggi. Considerando anche le caratteristiche del sito a bassissima permeabilità il loro contributo nella generazione dei deflussi, a vantaggio di sicurezza, può considerarsi pari alle altre superfici impermeabili.



## 6.4 STIMA DELLE PORTATE

### 6.4.1 Curve di possibilità pluviometrica

La definizione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico da utilizzare per la caratterizzazione della risposta idrologica del bacino oggetto di studio è stata fatta sulla base delle curve di possibilità pluviometrica determinate dall'analisi regionale dei massimi di pioggia alle diverse durate a cura di Deidda e Piga (1998).

Tale studio interpreta la distribuzione di probabilità dei massimi dell'altezza di pioggia alle diverse durate secondo la distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value) (Rossi e Versace, 1982; Rossi et al., 1984).

Lo studio è basato su un'analisi regionale finalizzata ad individuare aree del territorio statisticamente omogenee dal punto di vista del regime pluviometrico, in modo da sfruttare i dati raccolti da tutte le stazioni in esse contenute. In particolare, lo studio ha individuato 3 Sottozone Omogenee (SZO) nel territorio della Sardegna.

Le curve di possibilità pluviometrica hanno equazione:

$$h = a t^n$$

dove  $h$  è l'altezza di pioggia cumulata nel tempo " $t$ " e " $a$ " e " $n$ " sono coefficienti dipendenti dal tempo di ritorno  $T$  e dalla pioggia indice giornaliera secondo una relazione differente per ciascuna SZO. I valori di  $a$  e  $n$  sono dati dalle formulazioni delle curve di possibilità pluviometrica regionalizzate per la Regione Sardegna (Deidda et al. 2000):

#### EVENTI ESTREMI DI PIOGGE BREVI ED INTENSE: CURVE SEGNALETRICI DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

La pioggia indice  $\mu(\tau)$  di durata  $\tau$  (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata  $\tau$ ) può essere espressa in forma monomia:

$$\mu(\tau) = a_1 \tau^{n_1}$$

dove i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera  $\mu_g$ :

$$a_1 = \mu_g / (0.886 \cdot 24^{n_1}) \quad ; \quad n_1 = -0.493 + 0.476 \log_{10} \mu_g$$

L'altezza di pioggia  $h_T(\tau)$  di durata  $\tau$  con assegnato tempo di ritorno  $T$  in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice  $\mu(\tau)$  per un coefficiente di crescita  $K_T(\tau) = a_2 \tau^{n_2}$ :

$$h_T(\tau) = \mu(\tau) K_T(\tau) = (a_1 a_2) \tau^{(n_1 + n_2)}$$

dove i coefficienti  $a_2$  e  $n_2$  si determinano con le relazioni seguenti per differenti  $T$  e  $\tau$

a) per tempi di ritorno  $T \leq 10$  ANNI

$$\text{SZO 1} \quad a_2 = 0.66105 + 0.85994 \log_{10} T \quad ; \quad n_2 = -1.3558 \cdot 10^{-4} - 1.3660 \cdot 10^{-2} \log_{10} T$$

$$\text{SZO 2} \quad a_2 = 0.64767 + 0.89360 \log_{10} T \quad ; \quad n_2 = -6.0189 \cdot 10^{-3} + 3.2950 \cdot 10^{-4} \log_{10} T$$

$$\text{SZO 3} \quad a_2 = 0.62408 + 0.95234 \log_{10} T \quad ; \quad n_2 = -2.5392 \cdot 10^{-2} + 4.7188 \cdot 10^{-2} \log_{10} T$$

b) per tempi di ritorno  $T > 10$  ANNI

$$\text{SZO 1} \quad a_2 = 0.46378 + 1.0386 \log_{10} T$$

$$n_2 = -0.18449 + 0.23032 \log_{10} T - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\log_{10} T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \log_{10} T \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

$$\text{SZO 2} \quad a_2 = 0.44182 + 1.0817 \log_{10} T$$

$$n_2 = -0.18676 + 0.24310 \log_{10} T - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\log_{10} T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \log_{10} T \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

$$\text{SZO 3} \quad a_2 = 0.41273 + 1.1370 \log_{10} T$$

$$n_2 = -0.19055 + 0.25937 \log_{10} T - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\log_{10} T)^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \log_{10} T \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

<sup>1</sup> Deidda, R. e E. Piga, Curve di possibilità pluviometrica basate sul modello TCEV, *Informazione*, 81, pagine 9-14, Cagliari, 1998.

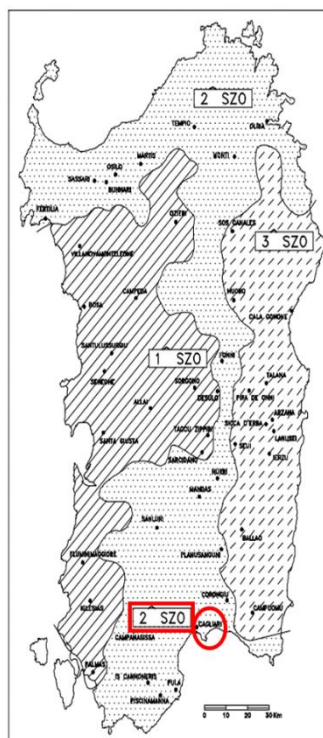


Figura 9 Formulazione curve di possibilità pluviometrica e sottozone Regione Sardegna

La zona oggetto di studio ricade interamente nella sottozona SZO2 e dalle carte delle isoiete si individua per la città di Cagliari un valore della pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  pari a 55 mm.

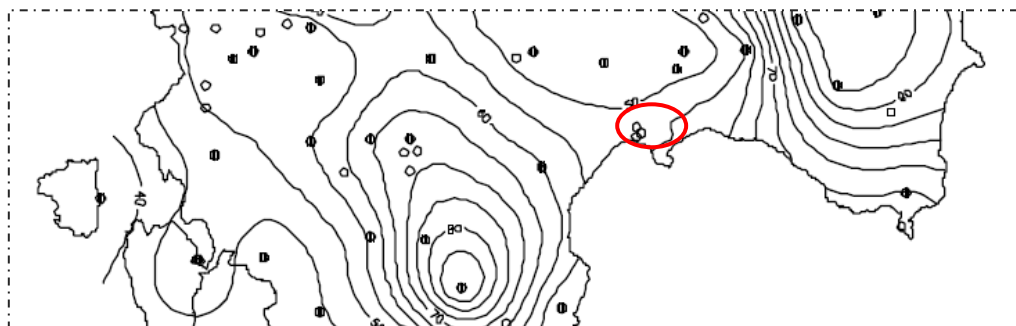


Figura 10 Estratto carte delle isoiete

Sono stati quindi ricavati i valori dei parametri "a" e "n" delle CPP per i vari tempi di ritorno i e le curve di possibilità pluviometrica.

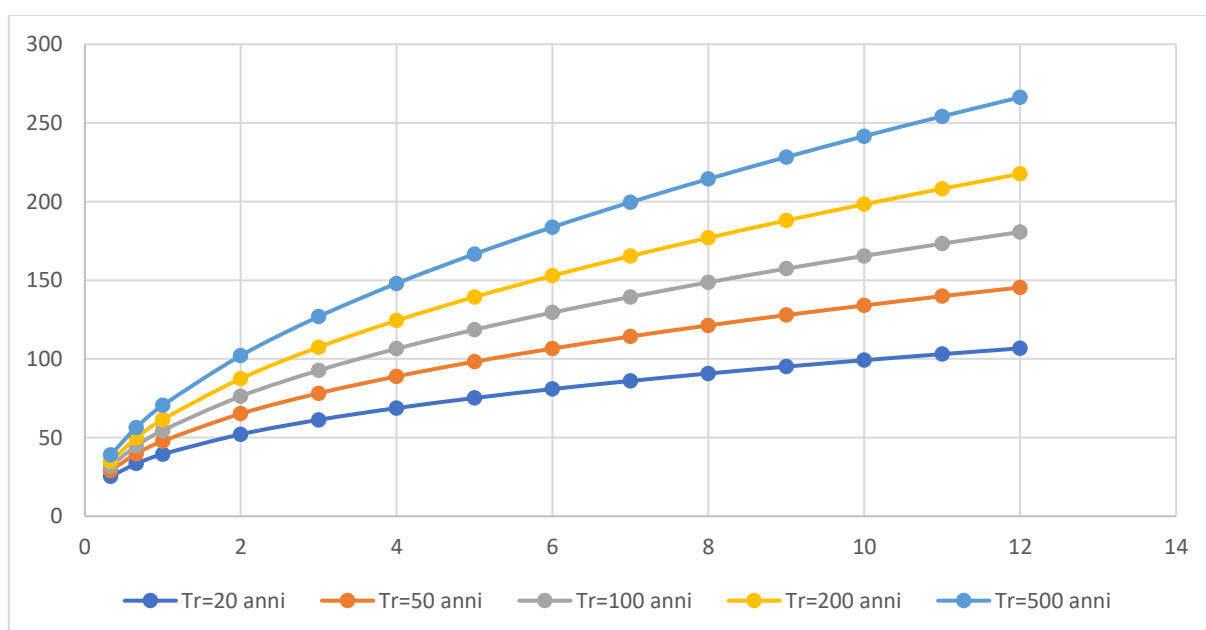


Figura 11 Curve di possibilità pluviometrica

In particolare, sono state estratte le informazioni relative alla curva corrispondente al tempo di ritorno 50 anni necessarie per le analisi successive.

Pioggia indice giornaliera $\mu_g$				$\mu_g$	[mm]	55,0
<b>Tempo di ritorno</b>				<b>Tr</b>	<b>[anni]</b>	<b>50</b>
Durata $\tau$ dell'evento meteorico				$\tau$	[minuti]	30
					[ore]	0,500
$a_1$	[-]	21,38	$a$	47.73		

$a_2$	[-]	2,28	$n$	0.488
$n_1$	[-]	0,34		
$n_2$	[-]	0,12		

Tabella 4 Parametri CPP Tr=50 anni

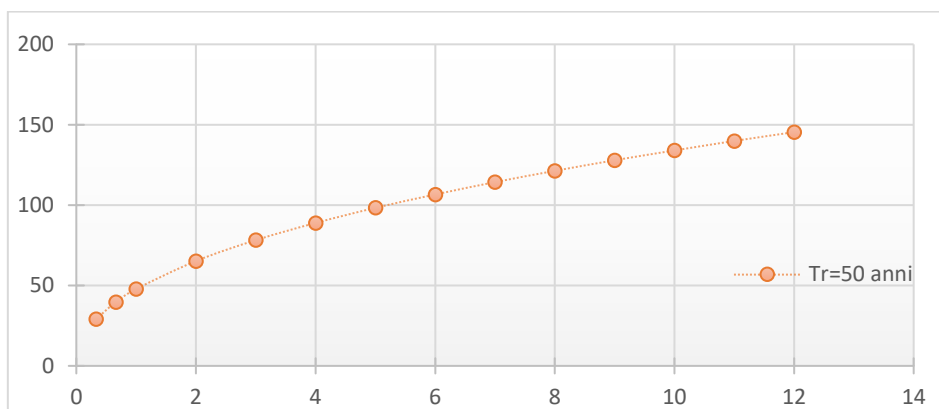


Figura 12 Curve di probabilità pluviometrica

#### 6.4.2 Portate ante operam

Lo studio idrologico del sito oggetto di trasformazione si inserisce nel più vasto studio di bacino riportato all'interno dello Studio di assetto idrogeologico- parte idraulica redatto nell'ambito dell'adeguamento del PUC al PPR e al PAI.

Il territorio del comune di Cagliari è stato diviso in 4 parti e l'area del nuovo stadio ricade nella zona 4 – zona sud est, in cui sono compresi i bacini tra il Terramaini e il confine nord della città di Cagliari che sfociano a mare.

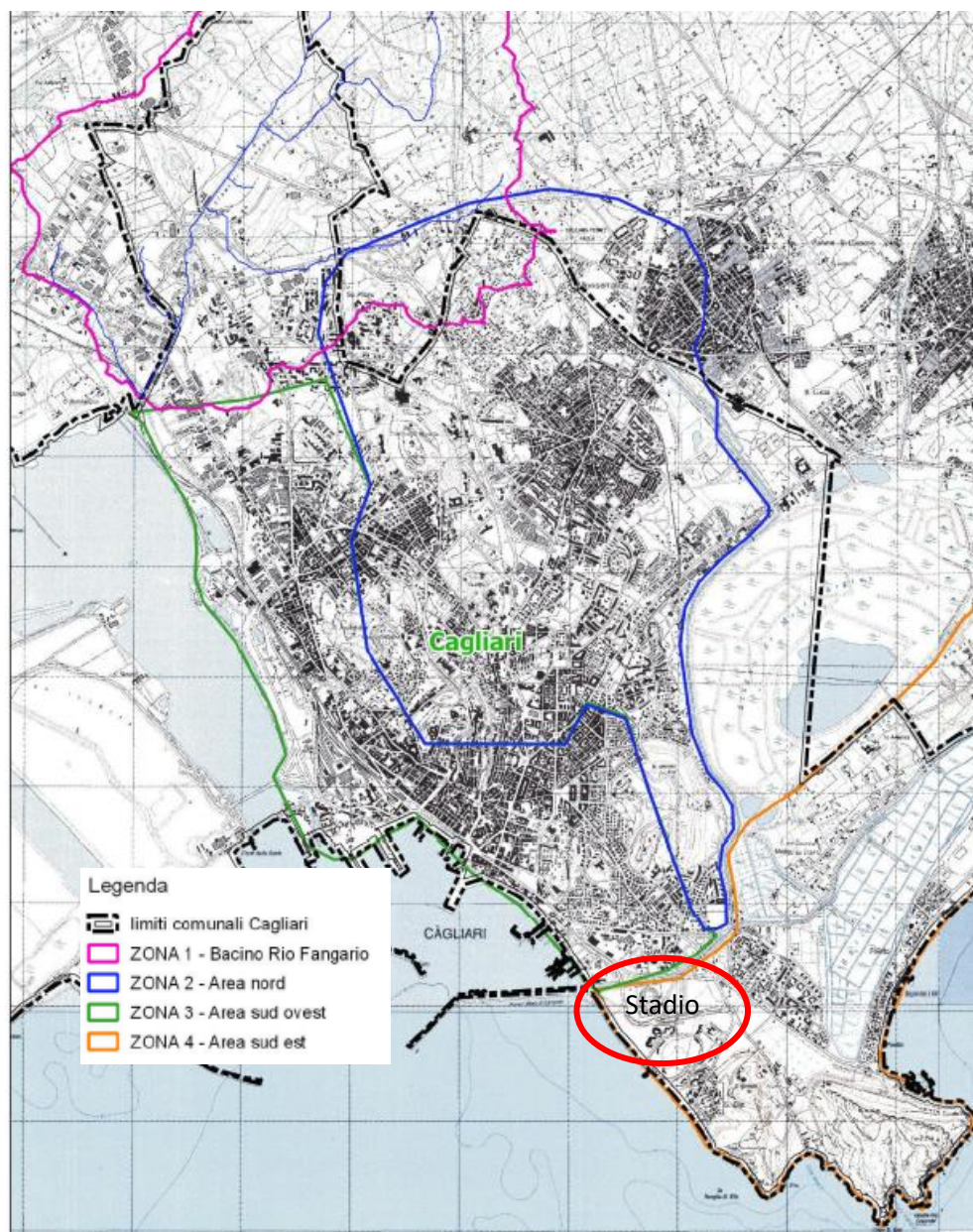


Figura 13 Domini di calcolo utilizzati nelle modellazioni idrologiche e idrauliche

In particolare, la zona 4 è stata divisa, per esigenze modellistiche, in altre 2 sottozone denominate 4a e 4b.



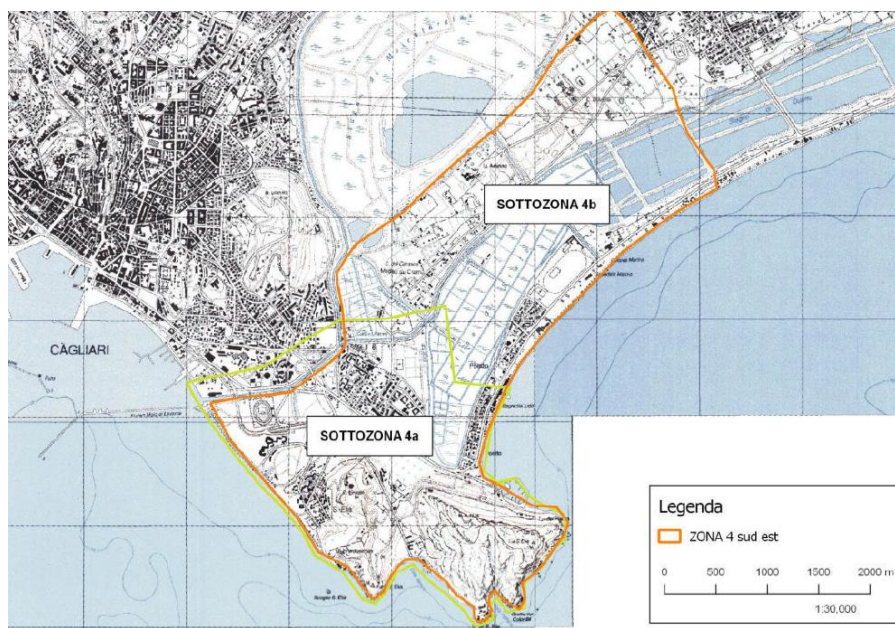


Figura 14 Sottozone della zona 4

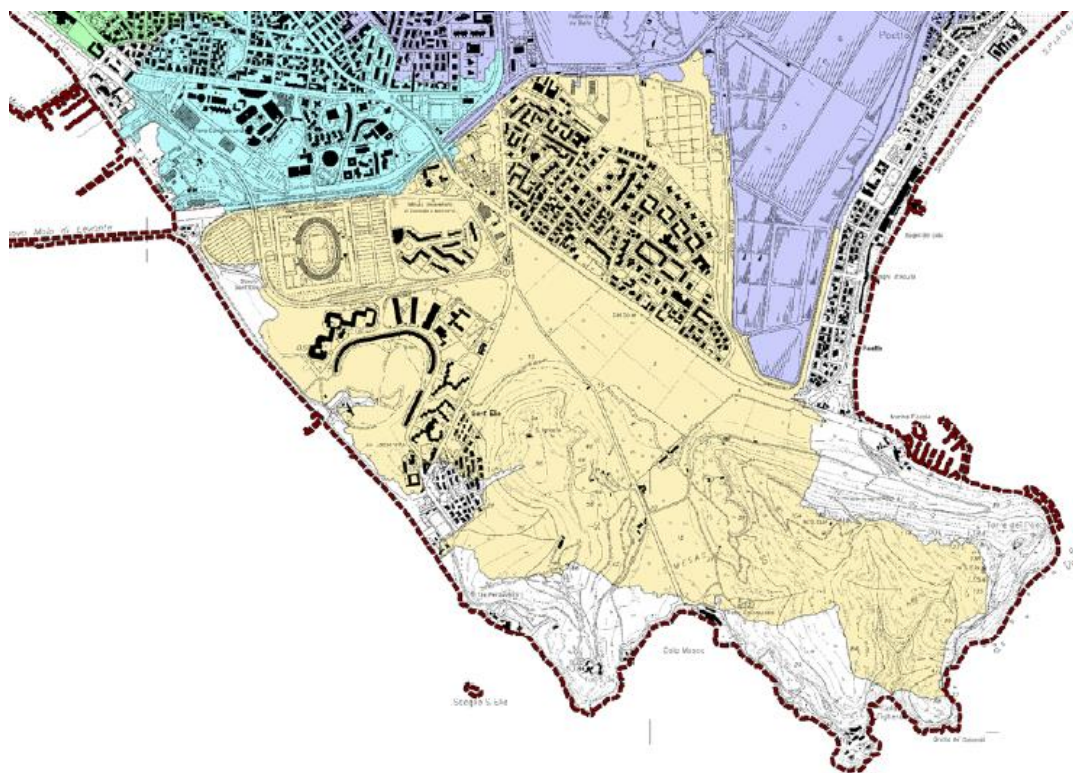


Figura 17: Sottozona 4a

Nella zona 4 (così come anche nelle zone 2 e 3) considerata l'assenza di reticolo idrografico, si ritiene che eventuali problemi di allagamento possano essere dovuti unicamente all'aliquota delle acque di pioggia che ricade nei relativi bacini e che si trasforma in deflussi superficiali (pioggia netta). In questi casi è stato dunque

implementato un modello idrologico esclusivamente finalizzato alla valutazione della pioggia netta da inserire come input dei modelli idraulici con schema bidimensionale in regime di moto vario per la valutazione dei percorsi preferenziali di deflusso.

In particolare, il bacino in cui ricade il nuovo stadio è il bacino Sant'Elia appartenente alla zona di calcolo Z4 (dominio) utilizzata nelle modellazioni idrologiche.

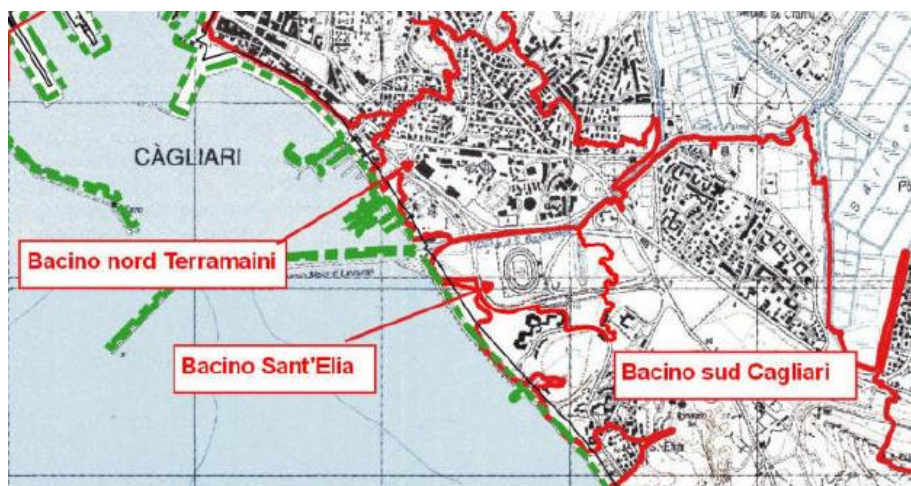


Figura 15 Estratto della carta dei bacini idrografici principali della Città di Cagliari

I risultati dello studio idrologico ed idraulico condotto per il bacino Cagliari Sud sono riportati in *Allegato 2. Relazione idraulica -PUC e report studio di bacino.*

Le caratteristiche e le portate generate dell'intero bacino e riportate nello studio sopra citato sono le seguenti:

Nome	Area (kmq)	Met. sep. piogge	% imper.	CN	Met. Formazione	SCS lag (min)
Bacino_sud_Cagliari	3.62	SCS	0	85	SCS	30

Sottobacino	Area (kmq)	H_pioggia (mm)	H_perdite (mm)	H_netto (mm)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max
Bacino_sud_Cagliari	3,62	47,80	29,77	18,03	19,83	5,48	10Jun2019, 01:15

L'area dello stadio ha chiaramente un'impronta minore e pertanto le analisi sono state ripetute con riferimento all'area effettiva oggetto di trasformazione.



*"Realizzazione del nuovo stadio "Sant'Elia" – Studio di invarianza idraulica*

*Figura 16 Bacino Sant'Elia e area effettiva dello stadio*

L'estensione dell'area occupata dall'impronta del vecchio stadio è pari circa a 11 ha.



*Figura 17 Impronta vecchio stadio*

Le linee guida regionali per la verifica dell'invarianza idraulica prevedono che per la stima della portata e dell'idrogramma di piena venga considerato uno ietogramma Chicago avente una durata di 30 minuti con posizione del picco  $r = 0.4$  e con passo temporale  $\Delta t$  di 1 minuto. Il tempo di ritorno considerato è pari a 50 anni, coerentemente con il tempo di ritorno previsto per il dimensionamento delle vasche di laminazione e della portata massima scaricabile nel recettore finale.

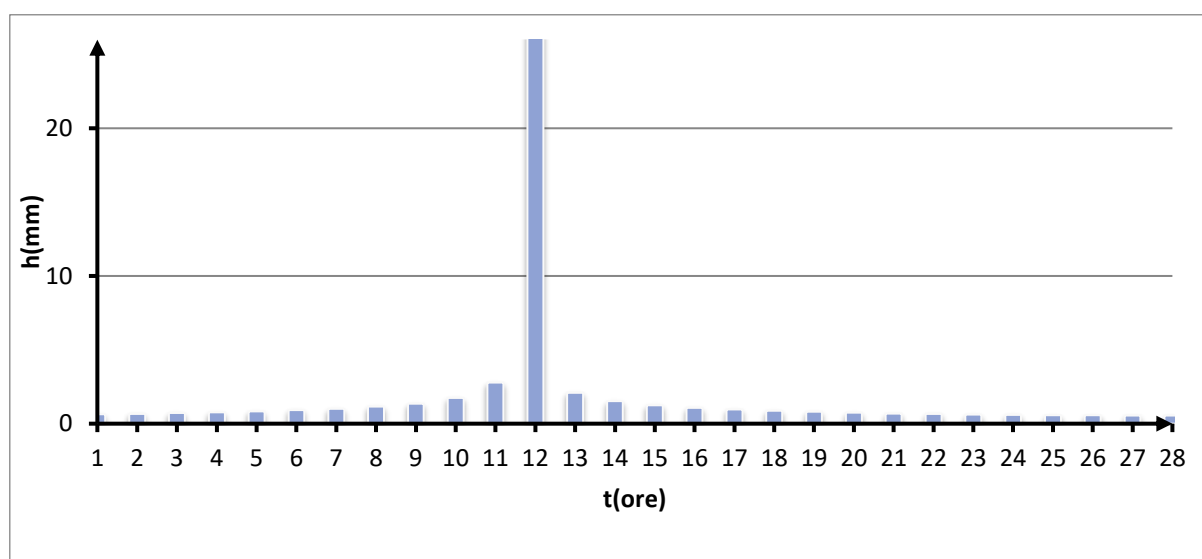


Figura 18 Ietogramma Chicago per  $Tr=50$  anni

Il passaggio dagli afflussi ai deflussi, ovvero dalle piogge di progetto alle portate generate sulle superfici è stato condotto attraverso il software Hec HMS 4.8, in accordo con i precedenti studi condotti sull'area.

Il software HEC-HMS permette di simulare la risposta di un bacino idrografico investito da un evento meteorico di caratteristiche note. Il funzionamento del programma è stato testato in varie zone geografiche ed è risultato utile per schematizzare una grande serie di situazioni che si possono trovare in natura; sia riferiti a grandi bacini idrografici che a piccole aree urbane o naturali.

Le principali componenti disponibili per schematizzare il comportamento di un bacino idrografico sono:

- calcolo della pioggia efficace;
- trasformazione afflussi-deflussi;
- propagazione della piena.

Per il calcolo della pioggia efficace sono disponibili vari metodi che permettono di simulare le perdite dovute all'infiltrazione e/o evaporazione. Nel caso in esame è stato implementato il metodo Curve Number del Soil Conservation Service in accordo con prescrizioni delle linee guida.

Nel caso dello stato pre urbanizzazione, l'idrogramma evidenzia una portata di picco pari a  $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ .



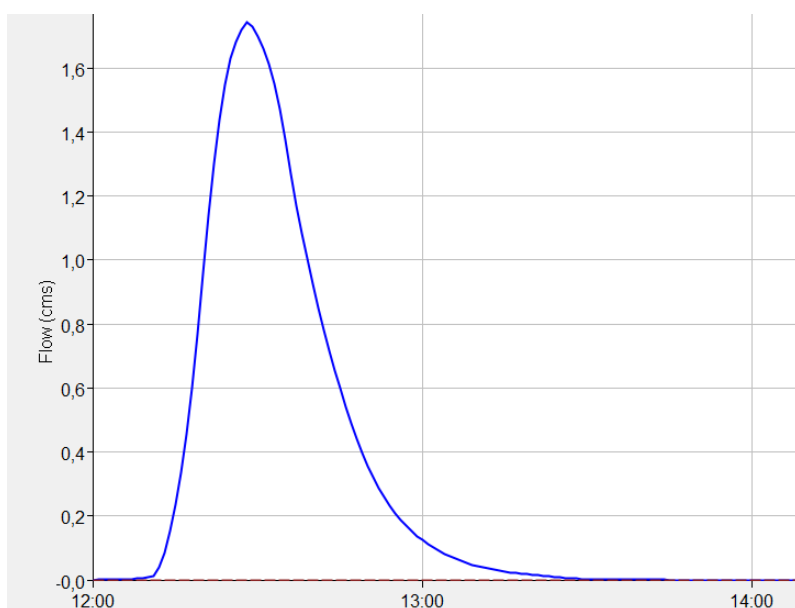


Figura 19 Idrogramma pre - urbanizzazione

#### 6.4.3 Portate post operam

L'area oggetto di trasformazione per realizzazione del nuovo stadio ha estensione pari circa a 10 ha di cui una piccola parte destinata ad area a verde.



Figura 20 Impronta nuovo stadio

Ripetendo la procedura applicata per lo stato ante operam, con variazione del CN legato al cambio dell'impermeabilizzazione delle superfici si ottengono i risultati di seguito riportati:

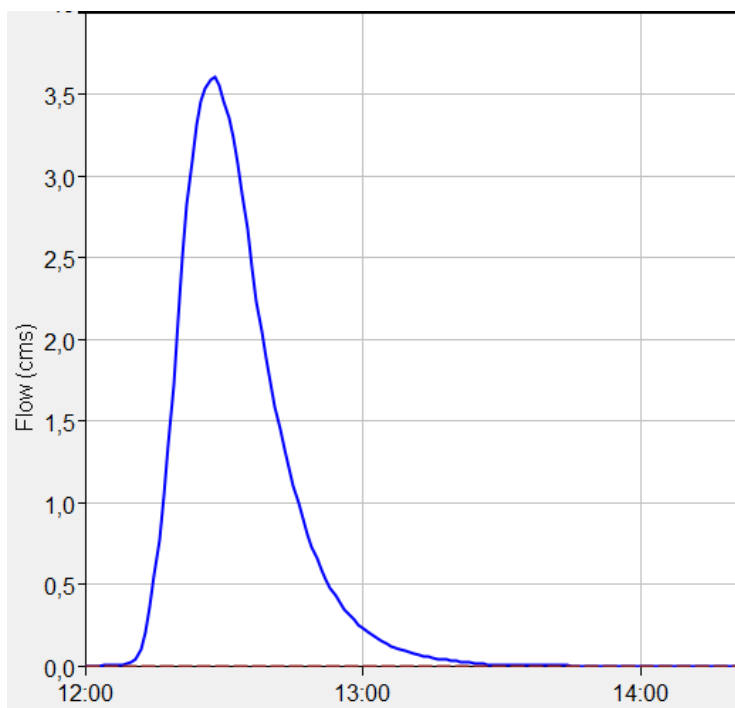


Figura 21 Idrogramma post urbanizzazione

## 7 RETE DI CONVOGLIAMENTO E ALLONTANAMENTO ACQUE METEORICHE

### 7.1 Sistema di convogliamento attuale

L'area attualmente è dotata di un sistema di raccolta e scarico delle acque meteoriche così composto:

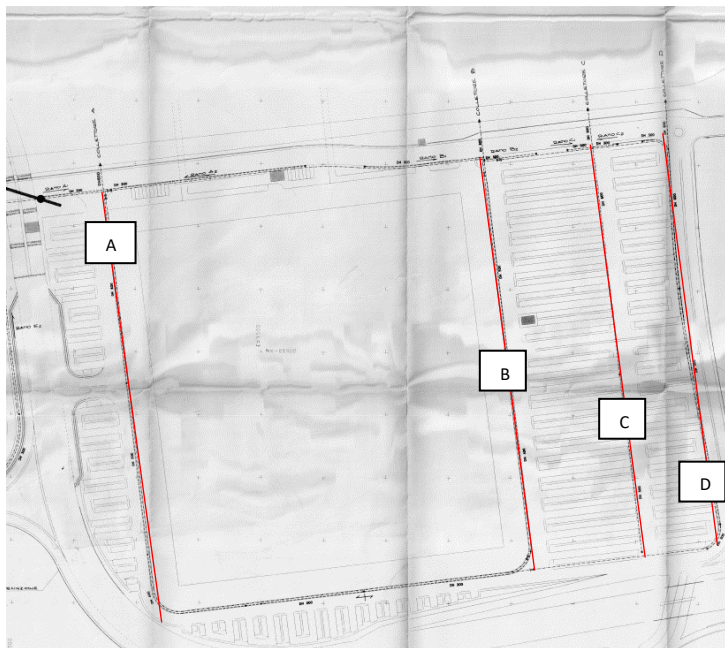


Figura 22 Rete di smaltimento acque meteoriche -. Stato attuale (fonte ufficio tecnico comunale)

COLLETTORE	SBOCCO
(A1- A2 DN300)	In A
A (DN600- DN500 -DN400)	Nel canale
B1 – B2 (DN 300)	In B
B - DN500	Nel canale
C1 – C2 (DN 300)	In C
C (DN500)	Nel canale
D - DN500	Nel canale

Tabella 5 Dettagli rete acque meteoriche attuali

## 7.2 Sistema di convogliamento in progetto

La rete di collettamento e allontanamento delle acque meteoriche in fase di progettazione riprende in parte la rete esistente potenziandola in alcuni tratti e adeguandola alle vasche di raccolta delle acque di prima pioggia da realizzarsi in prossimità delle aree parcheggi, meglio dettagliate nel capitolo successivo.

In particolare, è previsto:

- un nuovo collettore a servizio dell'area ad Est, in cui verranno convogliate anche le acque della vasca di prima pioggia del parcheggio ospiti;
- un nuovo collettore che raccoglie le acque dell'area pedonale a Sud e le convoglia nel collettore A;
- l'utilizzo dell'attuale collettore nella zona Ovest, potenziato nel tratto terminale.

## 8 VASCHE DI PRIMA PIOGGIA E VASCHE DI RECUPERO

### 8.1 Vasche di accumulo

Il nuovo impianto sportivo sarà dotato di varie vasche sia necessarie per la depurazione delle acque di prima pioggia sia utili per il riuso delle acque meteoriche all'interno dello stesso impianto sportivo.

La laminazione in questione viene condotta attraverso un sistema di vasche così organizzate:

- vasca di recupero acque meteoriche della copertura dello stadio di dimensioni 13.8m\*8.30m\*3.7m, che consente l'immagazzinamento di un volume circa pari a 400 m<sup>3</sup>.

L'obiettivo della vasca è l'accumulo delle acque meteoriche della copertura ai fini del riuso all'interno dell'impianto stesso.

La vasca consente lo stoccaggio di tutto il volume generato sulla copertura da un evento di pioggia 5 minuti con un'intensità  $I=0.052$  l/s.

Vasche di prima pioggia a servizio di:

- Viabilità e parcheggi zona Ovest, volume di circa  $120 \text{ m}^3$  e dimensioni  $13\text{m} \times 6\text{m} \times 2.4\text{m}$ .
- parcheggio ovest zona Sud-Est dal volume di circa  $20 \text{ m}^3$  di dimensioni  $5.5\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2.4\text{m}$ .

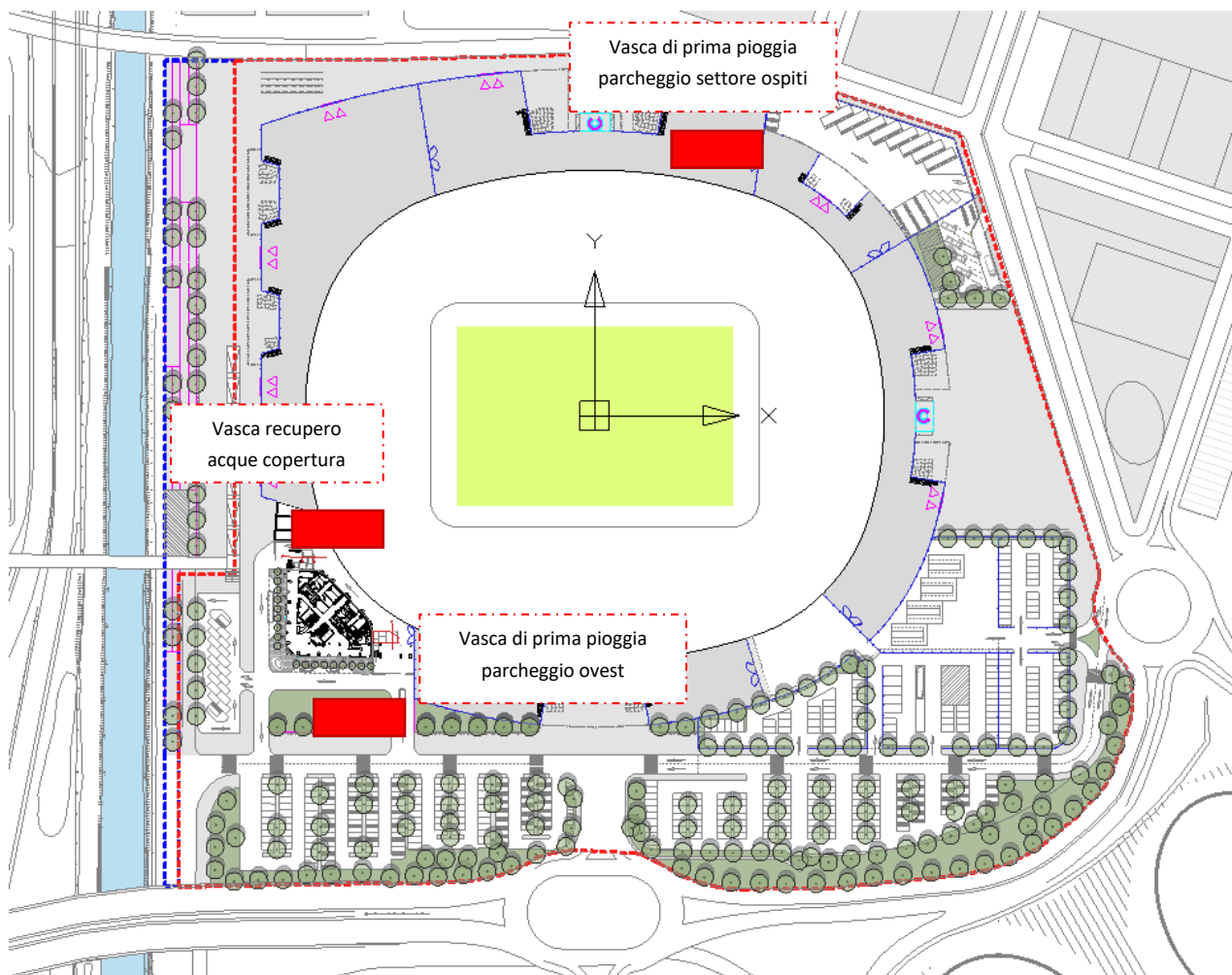


Figura 23 Posizione di massima delle vasche di raccolta acque meteoriche

## 9 PARCHEGGI ESTERNI ALL'AREA MINIMA FUNZIONALE

Contestualmente alla realizzazione del nuovo stadio verranno riqualificate due aree site nelle immediate vicinanze dello stadio identificate come area P7 ed area P8.



*Figura 24 Area P7 e P8 stato attuale*



Figura 25 Aree P7 e P8 stato di progetto

L'area P7, di cui verranno mantenuti il parcheggio, la pista ciclabile e il marciapiede esistente sarà trasformata in un'area a verde che ospiterà anche un'area attrezzata per bambini e un campo bocce.

L'area P8 invece verrà riqualificata in una zona completamente a verde intervallata da percorsi pedonali e da aree attrezzate per lo sport.

### 9.1 INVARIANZA IDRAULICA AREA P7

L'area P7 ha un'estensione complessiva di 1660 mq divisi tra pista ciclabile, marciapiede, area parcheggio ed area a verde.

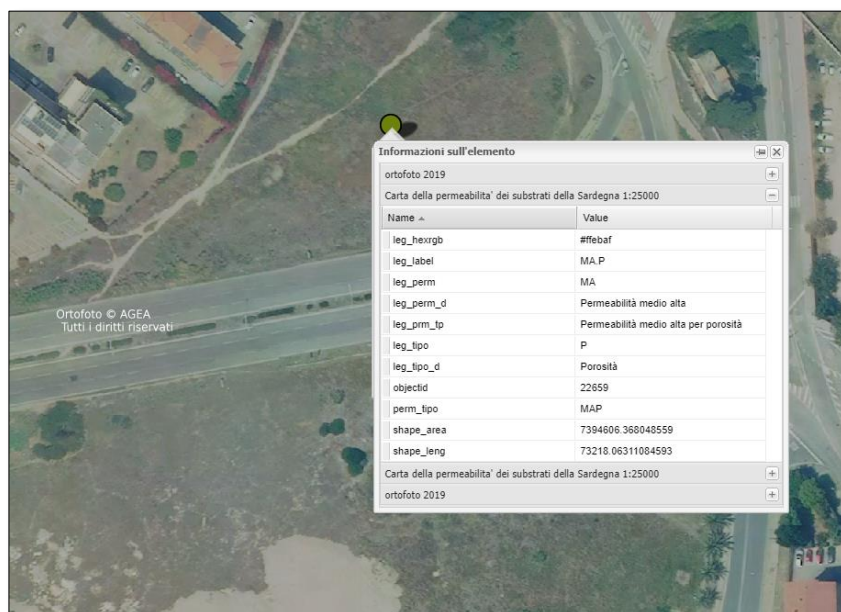


Per la verifica del rispetto dell'invarianza idraulica è stata applicata la procedura descritta al capitolo METODOLOGIA PER LA VERIFICA DI INVARIANZA IDRAULICA.

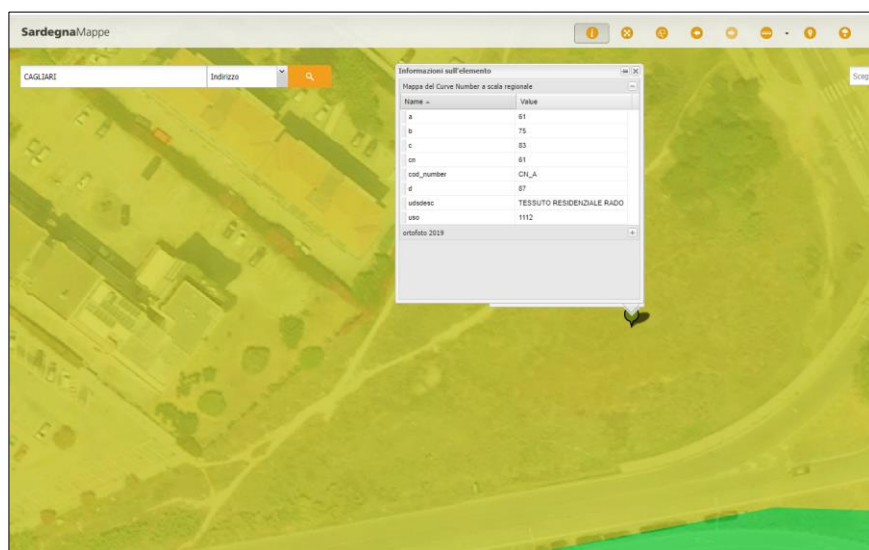
Pertanto per la stima del CN ante operam si è fatto riferimento alle informazioni presenti sul Geoportale Regionale all'indirizzo

<http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=mappetematiche>.

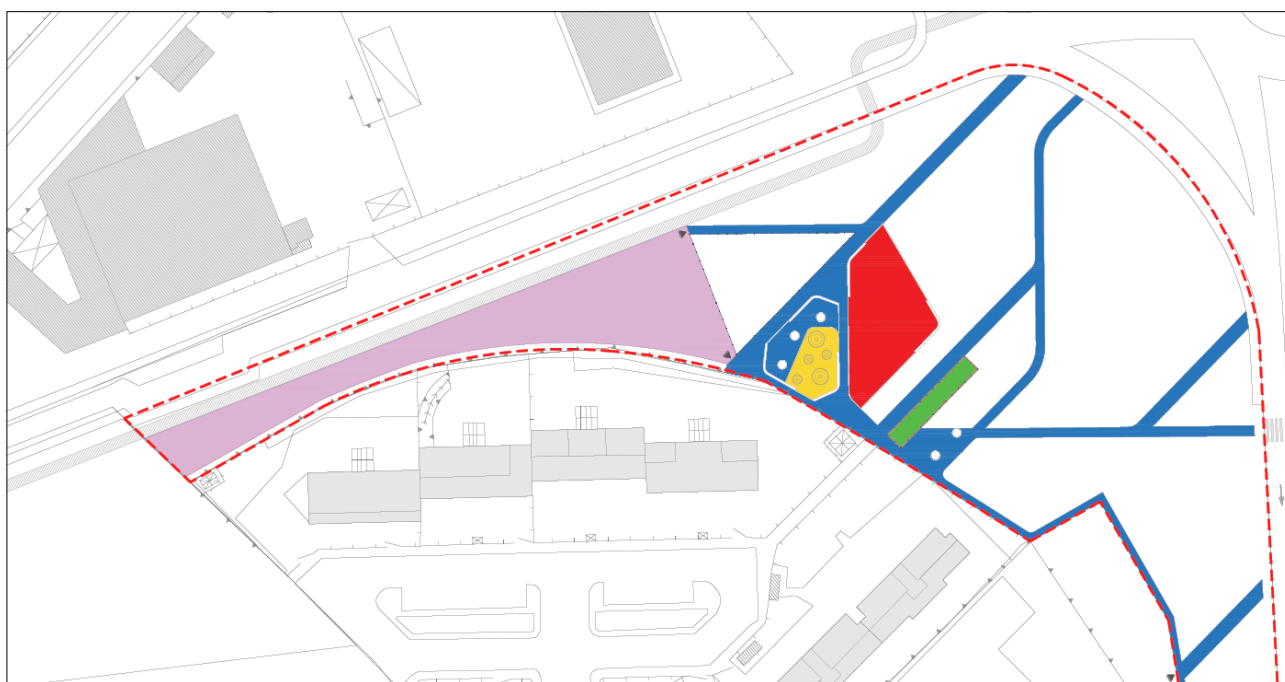
L'area in questione è classificata come a permeabilità medio alta:



Mentre il valore del CN attribuito all'area è pari a 61.



Per il CN post operam si è fatto riferimento alle varie superfici che costituiranno l'area ed in particolare:



	Tipologia pavimentazione	Estensione (mq)	CN
Area gioco bambini	Gomma antitrauma	102,04	80
Area gioco ragazzi	Cls drenante IDRO-drein	497,93	98
Area bocce	Terra battuta	102,9	98
Percorsi in terra battuta	Terra battuta	2596,86	90



Sedute	cls	18,67	98
Spazi verdi	verde	10463,25	71

Il CN medio ottenuto per le aree a valle della riqualificazione è dunque pari a 75.

Applicando la procedura prevista dalla normativa per il calcolo delle portate di picco pre e post urbanizzazione si ottiene una differenza di 0.3 mc/s (TR=50 anni) e 0.2 mc/s (TR=20 anni). La differenza tuttavia non è legata alla riduzione della permeabilità complessiva del sito (il cui valore del CN varia da 61 a 75) ma alla diversa permeabilità dei materiali che andranno a costituire le varie pavimentazioni.

Trattandosi di area con destinazione d'uso a verde pubblico non è previsto un sistema di raccolta e allontanamento delle acque meteoriche, che continueranno a confluire nelle aree a verde e smaltite per infiltrazione nel suolo mantenendo complessivamente lo stato ante operam.

## 9.2 INVARIANZA IDRAULICA AREA P8

Per l'area P8 è prevista una sistemazione completamente a verde, con percorsi in terra battuta e attrezzature per lo sport. Confrontando i CN pre e post urbanizzazione si evince un miglioramento delle condizioni di deflusso del sito e pertanto l'applicazione della procedura di calcolo della portata di picco non è di necessaria applicazione in quanto produrrebbe, a parità di superficie, un valore di picco inferiore alla pre urbanizzazione.

## 10 RISULTATI

Il calcolo degli idrogrammi, pre e post urbanizzazione, evidenzia come previsto un aumento dei deflussi superficiali in seguito agli eventi meteorici di assegnate caratteristiche. In particolare, nel caso di area allo stato naturale la massima portata che si genera nel caso di eventi dalle caratteristiche riportate nel paragrafo 6.4 è pari a 1.7 m<sup>3</sup>/s mentre a valle delle trasformazioni in progetto tale portata raggiunge il picco di 3.6 m<sup>3</sup>/s.

## 11 DISCUSSIONE E INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

L'area oggetto di indagine è già impermeabilizzata rispetto allo stato originario in quanto già esistente il vecchio stadio ad oggi dismesso.

Le superfici complessive del nuovo progetto sono inoltre di poco inferiori rispetto all'area attuale di pertinenza dello stadio.



*Figura 26 Vecchio Stadio Sant'Elia (sinistra) e nuovo progetto (destra)*

Il nuovo progetto prevede la costruzione di un nuovo impianto di raccolta e allontanamento delle acque meteoriche ma anche il mantenimento di parte della rete di raccolta e smaltimento esistente che viene così collegata alle nuove vasche di laminazione previste (prima pioggia e riuso acque di copertura) e potenziata.

Si può quindi affermare che l'intero sistema di raccolta, convogliamento e smaltimento delle acque meteoriche verrà notevolmente migliorato rispetto allo stato attuale. La sola vasca di accumulo delle acque meteoriche provenienti dalle coperture è infatti dimensionata con un'intensità pluviometrica corrisponde ad un evento di 5 minuti, in linea con i recenti eventi brevi ed intensi che si stanno verificando negli ultimi anni.

Inoltre, allo stato attuale non sono previste particolari limitazioni allo scarico delle portate meteoriche nel canale San Bartolomeo. Tuttavia, le portate generate dall'area dello stadio risultano conformi alle indicazioni contenute nei vari studi condotti a livello di bacino, resi disponibili per la presente verifica e riportati in allegato.

## 12 CONCLUSIONI

A valle delle analisi condotte si può affermare che la costruzione del nuovo stadio non comporta aggravio per lo stato idraulico del sito.

# ALLEGATI

---

**ALLEGATO 1 – MISURE Q&V SAN BARTOLOMEO**

---



## 7 MISURE DI QUANTITÀ E QUALITÀ SUL CANALE SAN BARTOLOMEO

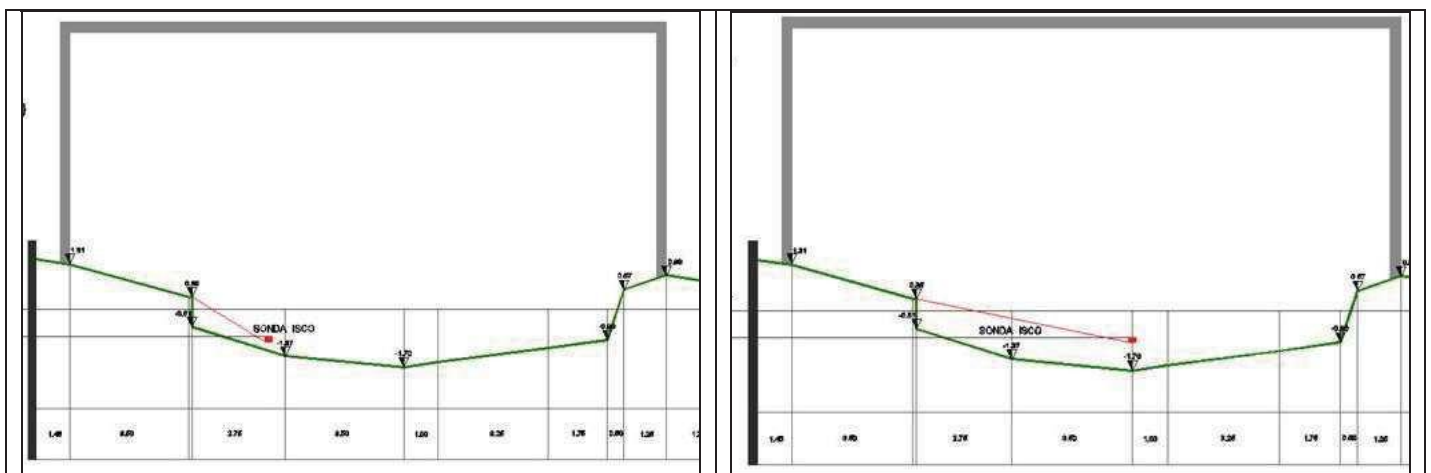
### 7.1 SEZIONE DI MISURA DI VELOCITÀ, LIVELLO E PORTATA

Anche per il Canale San Bartolomeo sono state individuate 2 sezioni di monitoraggio: una prima sezione in corrispondenza della sezione 11, posta a 583 m dallo sbocco a mare in cui è stata collocata la sonda **ISCO 4250**; La tipologia di installazione è stata modificata in loco a seguito della imprevista constatazione di circa 1.7 m di fango sul fondo della sezione 11 che ha reso impossibile l'installazione su base appoggiata al fondo eseguita per il Santa Gilla. Infatti la presenza dello strato di fango non permetteva l'appoggio della base per la scarsa portanza di questo strato comportando quindi l'affondamento della struttura di sostegno della sonda. Per questo motivo si è optato per assicurare il braccio metallico che sorregge la sonda alla parete in calcestruzzo, che si immerge di 110 cm, rispetto l'argine cementato, a una distanza di circa 2 m da tale sponda, successivamente sostituito da un braccio, sempre metallico, ma di lunghezza 5 metri, permettendo così un posizionamento più centrale all'interno della sezione sempre alla profondità di 110 cm dal bordo della sezione sinistra.

Anche in questa sezione, la sonda è collegata tramite una prolunga allo strumento ISCO 4250, alimentato con una batteria da 12 V e 55 A, in modo da garantire la continuità delle registrazioni. Di seguito i disegni delle sezioni e le foto relative alle sezioni e al posizionamento delle sonde nel canale.



Figura 36: San Bartolomeo, sez 11, progressiva 530 vista da monte



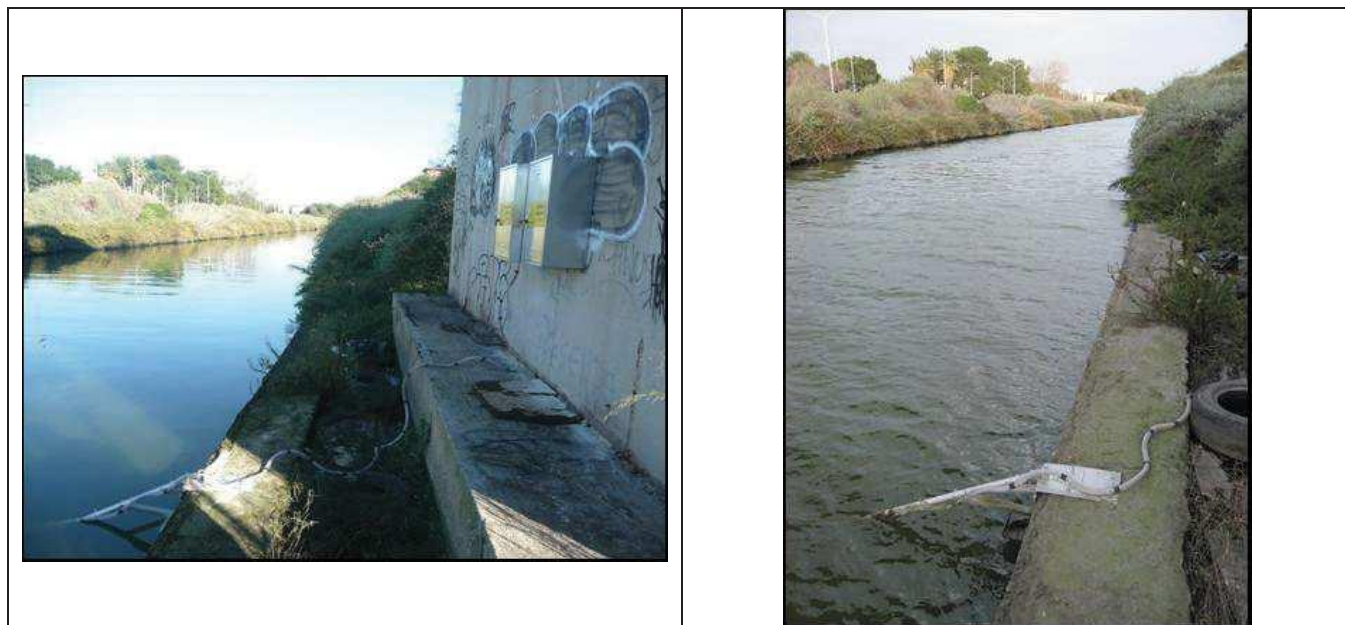


Figura 38: San Bartolomeo sezione di misura delle velocità e livelli ed installazione della strumento ISCO 4250.



Figura 39: Braccio che sostiene la sonda ISCO 4250 dal 24 febbraio 2010 al laboratorio G. Fantoli del Politecnico di Milano e particolare dell'installazione dello stesso alla sezione 11 del canale San Bartolomeo

### 7.1.1 La distribuzione di velocità nella sezione di monitoraggio

Analogamente a quanto descritto per il Canale Santa Gilla anche per il Canale San Bartolomeo le misure di velocità sono state monitorate in continuo con acquisizione del dato ogni 15 minuti, essendo le caratteristiche di funzionamento idraulico analoghe a quelle del Canale Santa Gilla. Dunque anche in questo caso, è stato necessario procedere riscalandò la velocità misurata dallo strumento per ottenere la velocità medie nella sezione, effettuando delle misurazioni di velocità istantanee con il mulinello secondo il metodo descritto nel paragrafo 6.1.1. Si è quindi ottenuta anche per la sezione 11 del San Bartolomeo una griglia di velocità puntuali, dalla quale è stato possibile ricavare un'analogia griglia di pesi (fattore "r") a quella ricavata in precedenza. Come descritto nel paragrafo 6.1.1 per determinare il profilo di velocità all'interno della sezione sono state effettuate misure di velocità puntuali secondo uno schema a griglia analogo a quello precedentemente visto. Anche in questo caso sono state considerate 5 verticali equidistanziate sulle quali le velocità sono state rilevate in tre punti (0.2h, 0.6h e 0.8h) per le verticali esterne mentre sono state rilevate in cinque punti (superficie, 0.2h, 0.6h, 0.8h, fondo) per le verticali interne,

essendo  $h$  l'altezza d'acqua locale. Nel grafico seguente è presente il solido della velocità relativo alle misurazioni effettuate sul canale San Bartolomeo, mentre nelle tabelle sono rappresentati i valori di velocità puntali misurati e i fattori “ $r$ ” calcolati

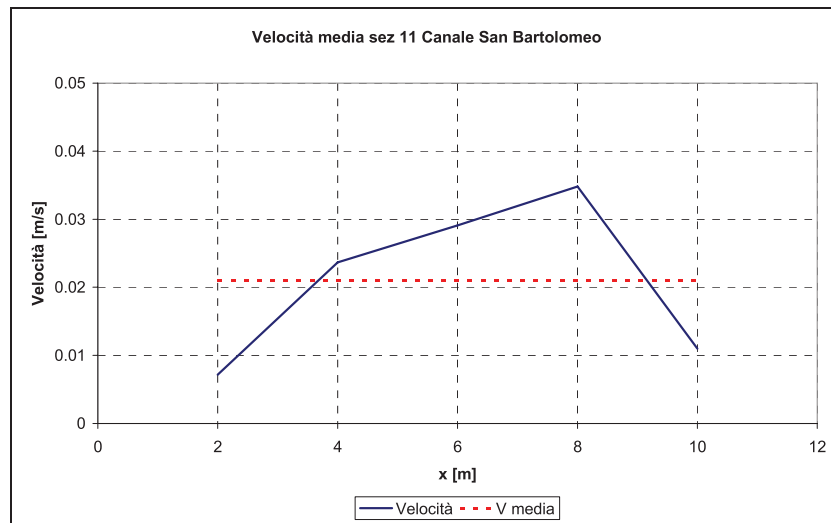


Figura 40: profilo di velocità alla sezione 11

Tabella 21: tabella delle velocità misurate alla sezione 11 del canale San Bartolomeo

	Sez (-2)	Sez (-1)	Sez (0)	Sez (1)	Sez (2)
<b>V (sup)</b>		0	0	0	
<b>V (0,2)</b>	0.0116	0.066	0.08	0.07	0.014
<b>V (0,6)</b>	0.0085	0.0129	0.017	0.046	0.01
<b>V (0,8)</b>	0	0	0	0	0.01
<b>V (fondo)</b>		0	0	0	

Tabella 22: tabella dei coefficienti “ $r$ ”

	Sez (-2)	Sez (-1)	Sez (0)	Sez (1)	Sez (2)
<b>sup</b>		0.00	0.00	0.00	
<b>0.2h</b>	0.57	3.22	3.91	3.42	0.68
<b>0.6h</b>	0.41	0.63	0.83	2.25	0.49
<b>0.8h</b>	0	0.00	0	0.00	0.49
<b>fondo</b>		0	0	0	

Dunque come già visto per il caso del Canale Santa Gilla nei precedenti paragrafi varrà la seguente relazione che permetterà di collegare i valori di velocità misurata al valor di velocità media nella sezione.

$$\frac{V_{oss}}{V_{media}} = r \Rightarrow V_{oss} = r \cdot V_{media}$$

Come descritto precedentemente la sonda alla sezione 11 è stata spostata, dal primo posizionamento a circa 2 metri dalla sponda sinistra è stata spostata di ulteriori 3 metri (in totale dunque 5 metri di distanza dalla sponda sinistra). Quindi si avranno 2 fattori di peso “ $r$ ” in funzione del periodo di monitoraggio, raccolti nella seguente tabella:

Tabella 23: tabelle del fattore  $r$  per il canale San Bartolomeo

Periodo monitoraggio	Fattore “ $r$ ”
Novembre – Febbraio	1.9
Marzo - Maggio	1.3



## 7.2 SEZIONE DI MISURA DEI LIVELLI

Una sezione di controllo dei soli livelli è stata installata nella sezione 17 posta a 1430 m a monte della sezione 1 al fine di ottenere la misura della piezometria su cui è stato anche calibrato il modello idraulico e che ha anche permesso una validazione delle misure di portata.

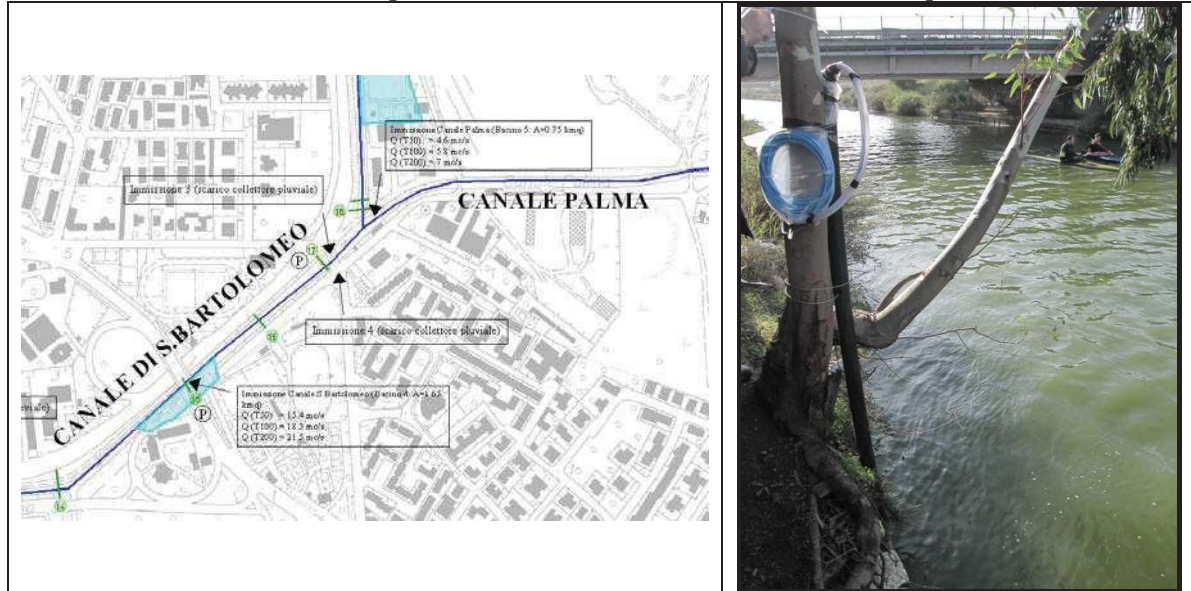


Figura 41: San Bartolomeo schema planimetrico della sez 17 (sin) ed installazione della sonda misura dei livelli (dx) alla progressiva 1418 ( vista da monte)

La misura del pelo libero è ottenuta con una risoluzione temporale di 15 minuti con una sonda di pressione **Valcom 85DL** posizionata sulla sponda sinistra.

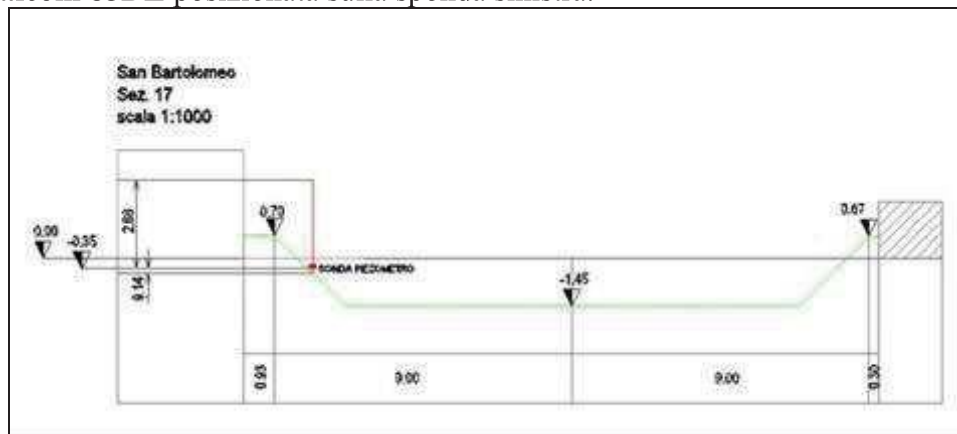


Figura 42: San Bartolomeo sez 17. Sezione trasversale e posizionamento del misuratore di livello fissato a una albero presente in sponda destra.

## 7.3 MISURE DI VELOCITÀ, PORTATA E LIVELLO

Il periodo coperto dal monitoraggio sul canale San Bartolomeo parte dalla metà di novembre e continua fino alla fine di maggio.

Tabella 24: tabella riassuntiva del periodo di monitoraggio per il Canale San Bartolomeo

	Novembre	Dicembre	Gennaio	Febbraio	Marzo	Aprile	Maggio
Correntometro							
Piezometro							



Come già visto per il canale Santa Gilla (Paragrafo 6.3 e seguenti), si è effettuato anche per il canale San Bartolomeo il monitoraggio in continuo di livelli, velocità e portate alla sezione 11, mentre dei soli livelli alla sezione 17 lungo tutto il periodo evidenziato nella tabella precedente. Di seguito sono riportati i grafici in cui si mostrano le varie caratteristiche monitorate nel periodo.

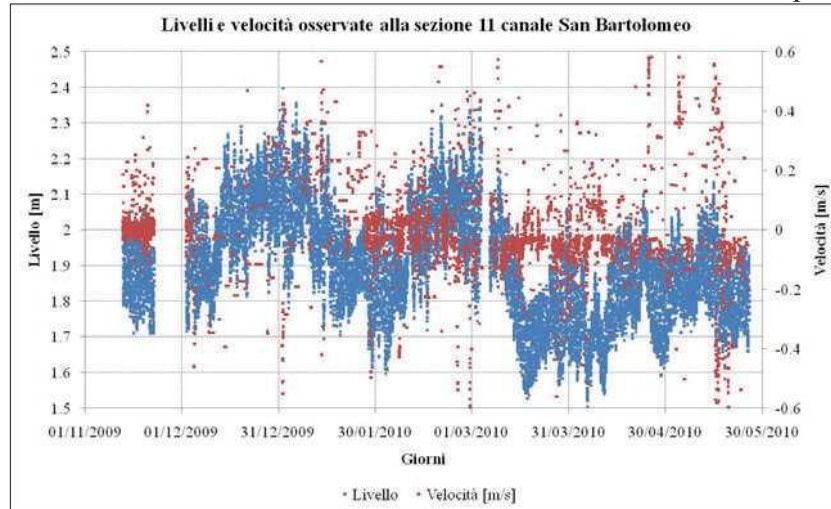


Figura 43: tiranti e velocità osservate alla sezione 11 del canale San Bartolomeo nel periodo di monitoraggio

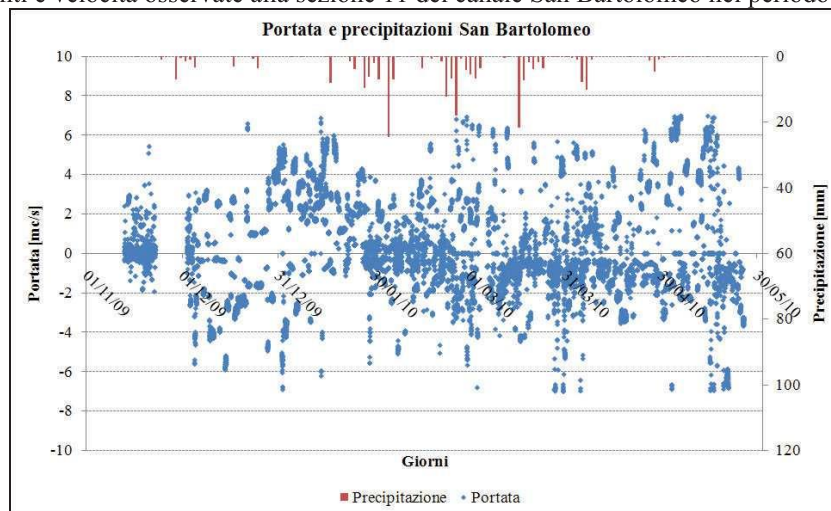


Figura 44: portate osservate al canale San Bartolomeo durante il periodo di monitoraggio

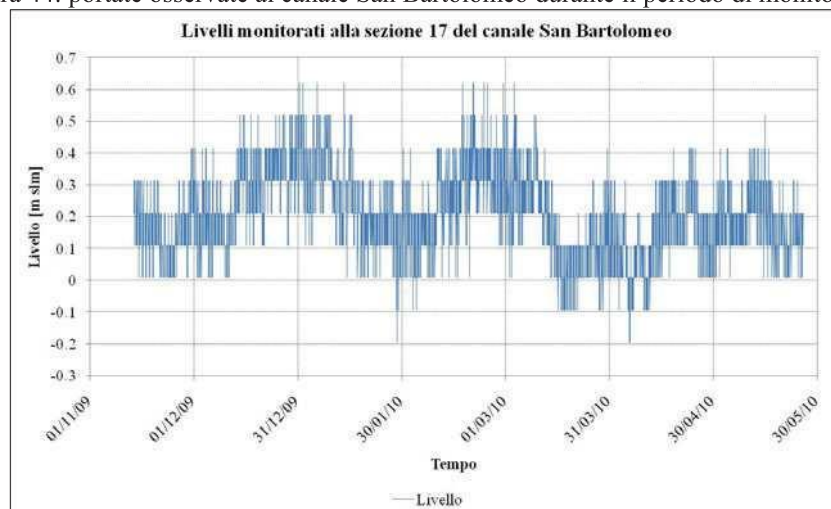


Figura 45: livelli osservati alla sezione 17 del canale San Bartolomeo durante l'intero periodo di monitoraggio

Come già effettuato per il canale Santa Gilla nei paragrafi precedenti, anche per il canale San Bartolomeo si analizzeranno separatamente alcuni periodi di tempo secco e periodi in cui ci sono state precipitazioni significative.

### 7.3.1 Misure in periodi non piovosi

Di seguito sono raccolti in forma grafica i dati relativi al monitoraggio del canale San Bartolomeo nel periodo che va dal 15/02/2010 al 19/02/2010. Nei grafici in Figura 46 e in Figura 48 sono rappresentati i tiranti registrati nel periodo nelle due sezioni di monitoraggio: alla sezione 11 il tirante minimo misurato è stato di 1.719 m, mentre il massimo è stato di 2.283 m; alla sezione 17 il minimo livello misurato nel periodo in oggetto è stato di 1.71 m mentre il livello massimo di 2.32 m.

Alla sezione 11 sono state monitorate, come per la sezione 15 del canale Santa Gilla, sia le portate che le velocità: le velocità registrate sono comprese tra -0.228 m/s e 0.497 m/s. Anche in questo caso le velocità sono velocità relative a un solo punto della sezione, che possono essere riportate alla velocità media utilizzando la griglia di pesi descritta nel paragrafo 7.1.1. Le velocità medie corrispondenti sono rispettivamente -0.12 m/s e 0.26 m/s. Nello stesso periodo le portate monitorate sono comprese tra -2.4 m<sup>3</sup>/s e 4.9 m<sup>3</sup>/s.

Come già notato precedentemente per il canale Santa Gilla, in assenza di precipitazioni nel periodo in oggetto (come è possibile verificare dal grafico in Figura 6: Precipitazioni misurate al pluviometro nel periodo di monitoraggio), i livelli seguono l'andamento della marea. Tale comportamento è evidenziato dai due grafici (Figura 49 e Figura 50) relativi alle sezioni 11 e 17, in cui si confrontano i livelli monitorati con i livelli di marea.

Anche per le velocità e per le portate si riscontra lo stesso comportamento descritto per il canale Santa Gilla: a marea ascendente si registrano velocità e portate negative, in quanto il flusso, muovendosi da valle verso monte ha direzione opposta alla convenzione di segno adottata, mentre in condizioni di marea discendente il flusso ha direzione monte-valle e dunque le velocità e le portate sono positive. Anche in questo caso, per il periodo qui esaminato, vengono mostrati due profili longitudinali e le relative grandezze (livelli, velocità e portate): uno in condizione di marea discendente e uno in condizioni di marea ascendente. Dai due grafici è possibile apprezzare l'inclinazione del pelo libero, mentre dalle relative tabelle si possono notare le grandezze di velocità e portata negative per condizioni di marea ascendente e positive nel caso opposto.

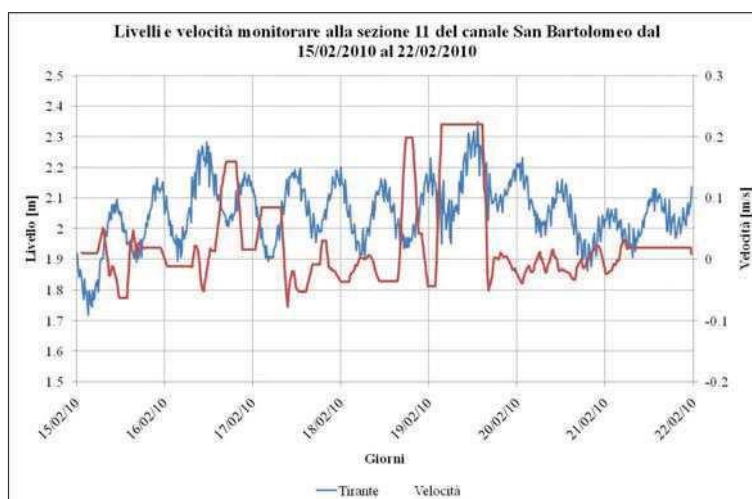


Figura 46: Livelli e velocità monitorate alla sezione 11 del canale San Bartolomeo nel periodo dal 15/02/2010 al 19/02/2010

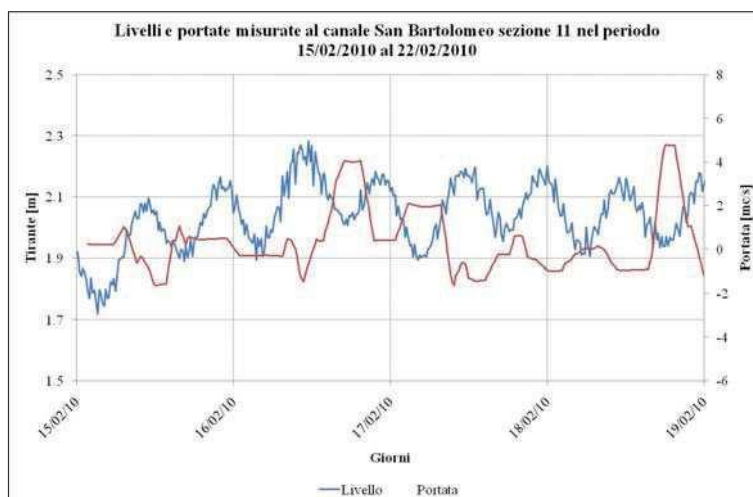


Figura 47: Livelli e portate osservate alla sezione 11 del canale San Bartolomeo nel periodo dal 15/02/2010 al 19/02/2010

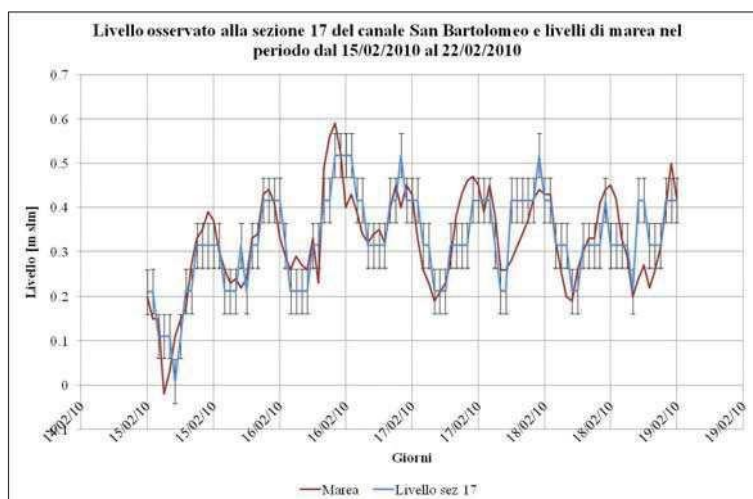


Figura 48: Tirante misurato dal piezometro alla sezione 17 del canale San Bartolomeo nel periodo dal 15/02/2010 al 19/02/2010

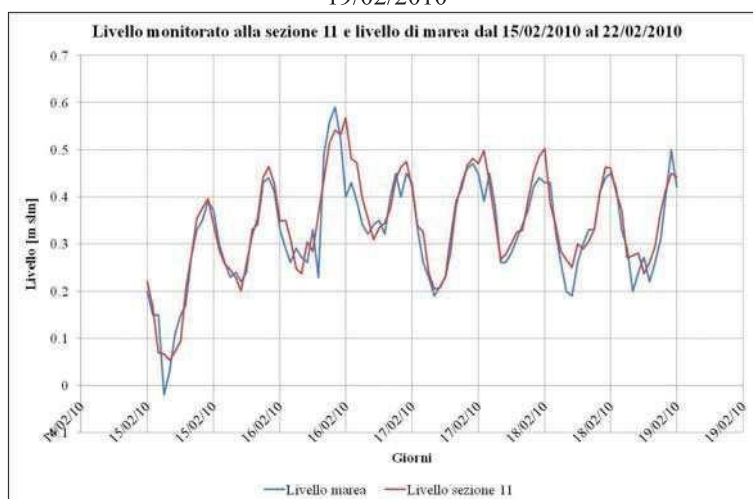


Figura 49: livello osservato alla sezione 11 del canale San Bartolomeo nel periodo dal 15/02/2010 al 19/02/2010 e corrispondenti livelli di marea

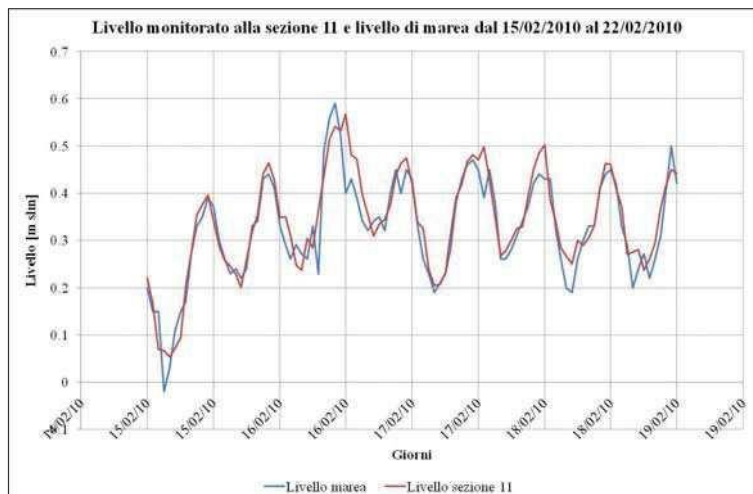


Figura 50: livelli osservati alla sezione 17 del canale San Bartolomeo e livelli di marea nel periodo 15/02/2010 al 19/02/2010

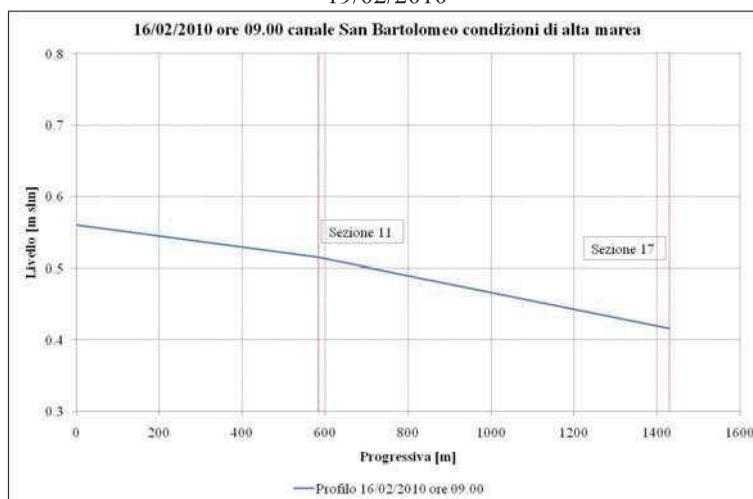


Figura 51: profilo monitorato in condizioni di alta marea al canale San Bartolomeo il 16/02/2010 alle ore 09.00

Tabella 25: livelli monitorati il 16/02/2010 alle ore 09.00

16/02/2010 09.00 Alta marea	
Progressiva [m]	Livello [m slm]
0	0.56
583	0.515
1430	0.41

Tabella 26: velocità e portata monitorate alle sezione 15 il 16/02/2010 ore 9.00 in condizioni di marea ascendente

16/02/2010 ore 09.00 Alta marea		
Progressiva [m]	Velocità [m/s]	Portata [mc/s]
583	-0.128	-1.2



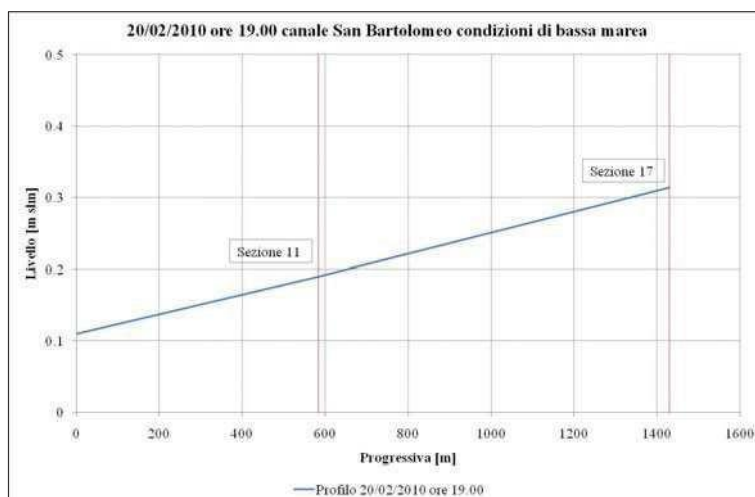


Figura 52: profilo monitorato al canale San Bartolomeo in condizioni di bassa marea il 20/02/2010 alle ore 19.00

Tabella 27: livelli monitorati il 20/02/2010 alle ore 19.00

20/02/2010 19.00 Bassa marea	
Progressiva [m]	Livello [m slm]
0	0.11
583	0.19
1430	0.31

Tabella 28: velocità e portata monitorate alle sezione 15 il 20/02/2010 ore 19.00 in condizioni di marea discendente

20/02/2010 ore 19.00 Bassa marea		
Progressiva [m]	Velocità [m/s]	Portata [mc/s]
583	0.037	0.34

Tabella 29: Canale San Bartolomeo, esempio di dati di velocità, livello e portata monitorate alle sezione 11 tra il 15/02/2010 ed il 18 /02/10. I dati sono di seguito riportati all'ora sebbene campionato ogni 15 minuti.

Data ora	Quota sez 11 [m slm]	Area [m2]	V <sub>oss</sub> sez 11 [m/s]	V <sub>media</sub> sez 11 [m/s]	Q Sez 11 [mc/s]
15/2/10 0:00	0.22	23.34	0.034	0.018	0.418
15/2/10 1:00	0.166	22.49	0.024	0.013	0.284
15/2/10 2:00	0.069	21.00	0.024	0.013	0.265
15/2/10 3:00	0.067	20.97	0.024	0.013	0.265
15/2/10 4:00	0.053	20.75	0.024	0.013	0.262
15/2/10 5:00	0.072	21.04	0.024	0.013	0.266
15/2/10 6:00	0.094	21.38	0.14	0.074	1.575
15/2/10 7:00	0.204	23.08	0.14	0.074	1.701
15/2/10 8:00	0.273	24.18	-0.064	-0.034	-0.814
15/2/10 9:00	0.353	25.47	-0.064	-0.034	-0.858
15/2/10 10:00	0.376	25.84	-0.07	-0.037	-0.952
15/2/10 11:00	0.396	26.17	-0.158	-0.083	-2.176
15/2/10 12:00	0.34	25.26	-0.158	-0.083	-2.100
15/2/10 13:00	0.287	24.40	-0.158	-0.083	-2.029
15/2/10 14:00	0.256	23.91	0.25	0.132	3.146
15/2/10 15:00	0.245	23.73	-0.228	-0.120	-2.848

Data ora	Quota sez 11 [m slm]	Area [m2]	V <sub>oss</sub> sez 11 [m/s]	V <sub>media</sub> sez 11 [m/s]	Q Sez 11 [mc/s]
15/2/10 16:00	0.228	23.46	0.073	0.038	0.901
15/2/10 17:00	0.201	23.04	0.044	0.023	0.533
15/2/10 18:00	0.258	23.94	0.046	0.024	0.580
15/2/10 19:00	0.316	24.87	0.046	0.024	0.602
15/2/10 20:00	0.355	25.50	0.046	0.024	0.617
15/2/10 21:00	0.441	26.92	0.046	0.024	0.652
15/2/10 22:00	0.464	27.30	0.046	0.024	0.661
15/2/10 23:00	0.427	26.68	0.046	0.024	0.646
16/2/10 0:00	0.348	25.39	-0.03	-0.016	-0.401
16/2/10 1:00	0.35	25.42	-0.03	-0.016	-0.401
16/2/10 2:00	0.31	24.77	-0.03	-0.016	-0.391
16/2/10 3:00	0.248	23.78	-0.03	-0.016	-0.375
16/2/10 4:00	0.238	23.62	-0.03	-0.016	-0.373
16/2/10 5:00	0.304	24.67	-0.03	-0.016	-0.390
16/2/10 6:00	0.284	24.35	-0.03	-0.016	-0.385
16/2/10 7:00	0.363	25.63	-0.033	-0.017	-0.445
16/2/10 8:00	0.438	26.87	0.171	0.090	2.418
16/2/10 9:00	0.515	28.16	-0.128	-0.067	-1.897
16/2/10 10:00	0.541	28.60	-0.128	-0.067	-1.926
16/2/10 11:00	0.532	28.44	0.094	0.049	1.407
16/2/10 12:00	0.568	29.06	0.034	0.018	0.520
16/2/10 13:00	0.481	27.58	0.034	0.018	0.494
16/2/10 14:00	0.472	27.43	0.265	0.139	3.826
16/2/10 15:00	0.396	26.17	0.244	0.128	3.361
16/2/10 16:00	0.354	25.48	0.399	0.210	5.352
16/2/10 17:00	0.309	24.76	0.399	0.210	5.199
16/2/10 18:00	0.334	25.16	0.399	0.210	5.283
16/2/10 19:00	0.344	25.32	0.399	0.210	5.318
16/2/10 20:00	0.374	25.81	0.037	0.019	0.503
16/2/10 21:00	0.437	26.85	0.037	0.019	0.523
16/2/10 22:00	0.463	27.28	0.037	0.019	0.531
16/2/10 23:00	0.474	27.47	0.037	0.019	0.535
17/2/10 0:00	0.419	26.55	0.037	0.019	0.517
17/2/10 1:00	0.338	25.22	0.21	0.111	2.788
17/2/10 2:00	0.324	25.00	0.21	0.111	2.763
17/2/10 3:00	0.239	23.64	0.21	0.111	2.612
17/2/10 4:00	0.205	23.10	0.21	0.111	2.553
17/2/10 5:00	0.207	23.13	0.21	0.111	2.557
17/2/10 6:00	0.233	23.54	0.21	0.111	2.602
17/2/10 7:00	0.311	24.79	0.21	0.111	2.740
17/2/10 8:00	0.39	26.07	-0.225	-0.118	-3.088

Data ora	Quota sez 11 [m slm]	Area [m2]	V <sub>oss</sub> sez 11 [m/s]	V <sub>media</sub> sez 11 [m/s]	Q Sez 11 [mc/s]
17/2/10 9:00	0.418	26.53	-0.225	-0.118	-3.142
17/2/10 10:00	0.466	27.33	0.098	0.052	1.410
17/2/10 11:00	0.481	27.58	-0.103	-0.054	-1.495
17/2/10 12:00	0.47	27.40	-0.131	-0.069	-1.889
17/2/10 13:00	0.498	27.87	-0.131	-0.069	-1.921
17/2/10 14:00	0.427	26.68	-0.131	-0.069	-1.840
17/2/10 15:00	0.348	25.39	-0.024	-0.013	-0.321
17/2/10 16:00	0.267	24.08	-0.024	-0.013	-0.304
17/2/10 17:00	0.277	24.24	-0.024	-0.013	-0.306
17/2/10 18:00	0.3	24.61	-0.024	-0.013	-0.311
17/2/10 19:00	0.324	25.00	0.207	0.109	2.723
17/2/10 20:00	0.329	25.08	-0.015	-0.008	-0.198
17/2/10 21:00	0.391	26.09	-0.045	-0.024	-0.618
17/2/10 22:00	0.451	27.08	-0.045	-0.024	-0.641
17/2/10 23:00	0.485	27.65	-0.091	-0.048	-1.324
18/2/10 0:00	0.502	27.94	-0.091	-0.048	-1.338
18/2/10 1:00	0.384	25.97	-0.091	-0.048	-1.244
18/2/10 2:00	0.337	25.21	-0.091	-0.048	-1.207
18/2/10 3:00	0.284	24.35	-0.067	-0.035	-0.859
18/2/10 4:00	0.265	24.05	-0.012	-0.006	-0.152
18/2/10 5:00	0.25	23.81	0.009	0.005	0.113
18/2/10 6:00	0.3	24.61	0.014	0.007	0.181
18/2/10 7:00	0.289	24.43	0.018	0.009	0.231
18/2/10 8:00	0.305	24.69	-0.021	-0.011	-0.273
18/2/10 9:00	0.331	25.11	-0.088	-0.046	-1.163
18/2/10 10:00	0.41	26.40	-0.088	-0.046	-1.223
18/2/10 11:00	0.463	27.28	-0.088	-0.046	-1.264
18/2/10 12:00	0.461	27.25	-0.088	-0.046	-1.262
18/2/10 13:00	0.41	26.40	-0.088	-0.046	-1.223
18/2/10 14:00	0.372	25.78	-0.088	-0.046	-1.194
18/2/10 15:00	0.269	24.11	-0.088	-0.046	-1.117
18/2/10 16:00	0.275	24.21	0.168	0.088	2.141
18/2/10 17:00	0.28	24.29	0.497	0.262	6.354
18/2/10 18:00	0.237	23.61	0.497	0.262	6.175
18/2/10 19:00	0.26	23.97	0.497	0.262	6.270
18/2/10 20:00	0.294	24.51	0.104	0.055	1.342
18/2/10 21:00	0.368	25.71	0.104	0.055	1.407
18/2/10 22:00	0.414	26.47	0.104	0.055	1.449
18/2/10 23:00	0.449	27.05	-0.109	-0.057	-1.552

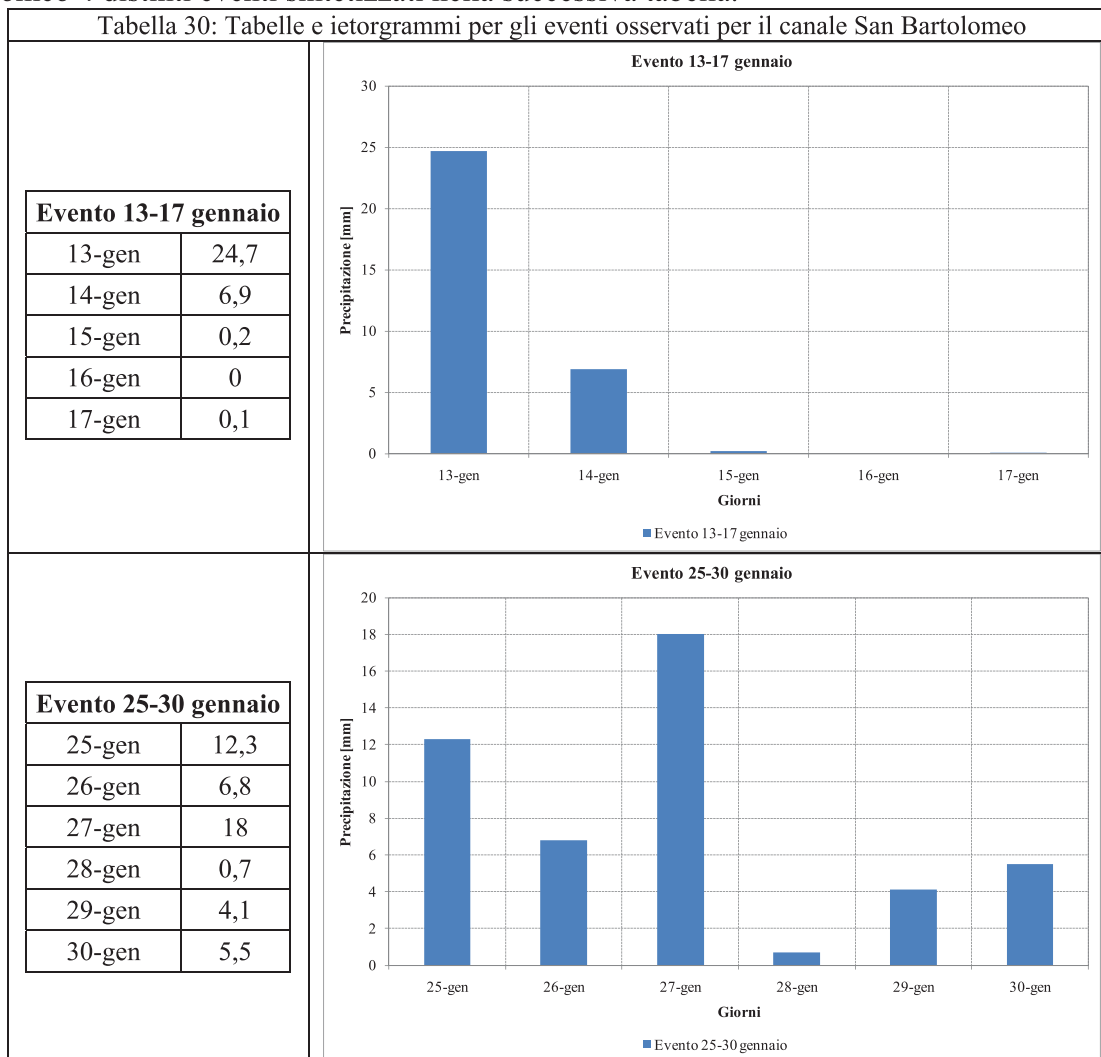
### 7.3.2 Misure in periodi di pioggia

Naturalmente gli eventi di pioggia monitorati sono gli stessi descritti nel capitolo relativo al Santa Gilla, si aggiunge però l'evento del 13 gennaio 2010 in quanto in questi giorni il canale San Bartolomeo è stato coperto dal monitoraggio per le portate e velocità alla sezione 11.

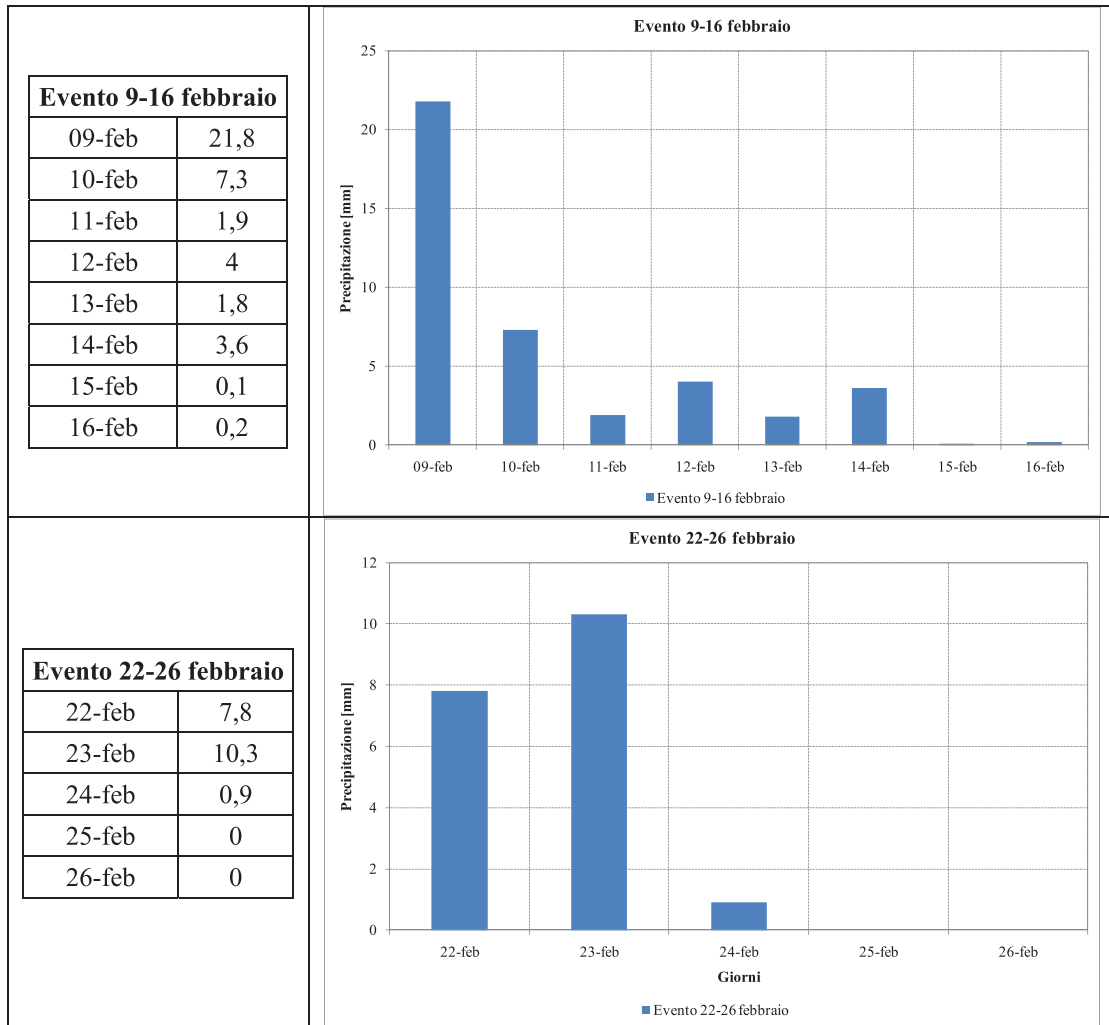
Come per il paragrafo 6.3.2 anche qui sono presentati gli ietogrammi relativi alle piogge cadute nell'area di Cagliari per gli eventi di interesse.

Di seguito sono riportati i grafici che mettono in correlazione le portate e le velocità osservate con le precipitazioni osservate negli stessi periodi. In particolare sono stati considerati per il canale San Bartolomeo 4 distinti eventi sintetizzati nella successiva tabella.

Tabella 30: Tabelle e ietogrammi per gli eventi osservati per il canale San Bartolomeo







Nei grafici seguenti, come già fatto per il canale Santa Gilla sono rappresentati gli ietogrammi e le portate monitorate negli stessi periodi. A differenza di quanto osservato per il canale Santa Gilla, in cui negli eventi osservati non si sono notati incrementi di portata, per l'evento registrato il 13 gennaio 2010 si osserva come le portate osservate raggiungano anche i 6 mc/s.

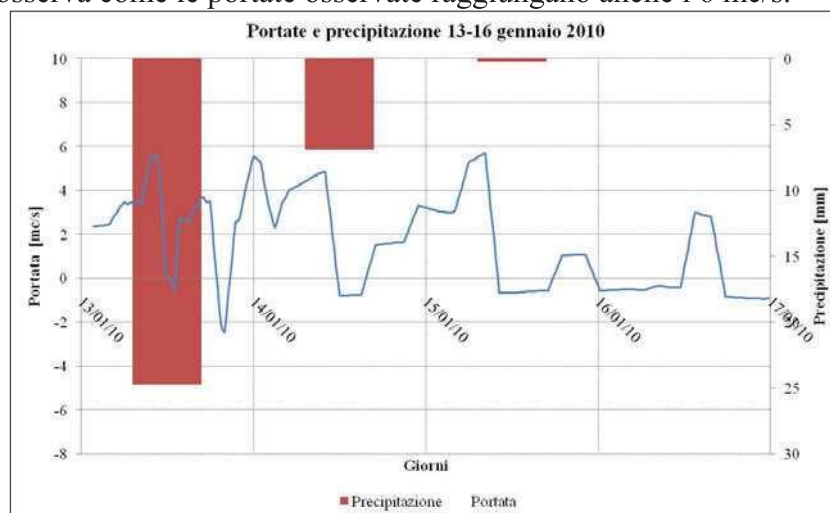


Figura 53: Precipitazione giornaliera e portate osservate al canale San Bartolomeo dal 13 al 16 gennaio 2010

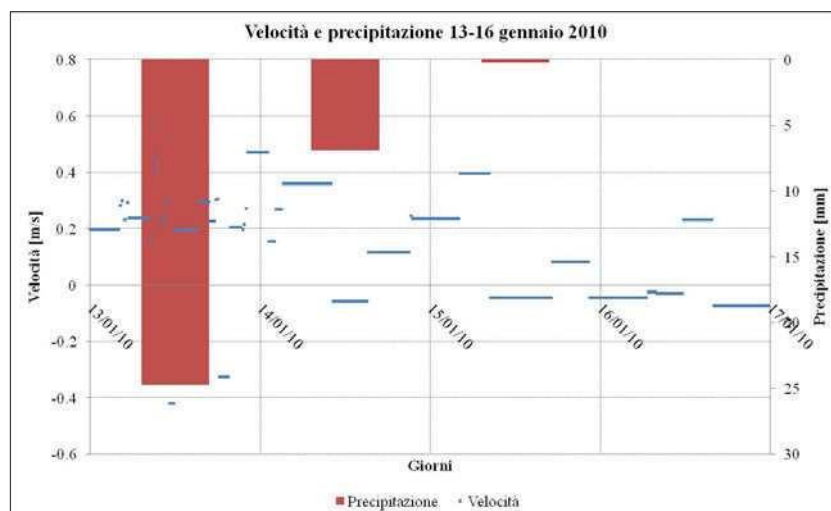


Figura 54: Precipitazione giornaliera e velocità osservate al canale San Bartolomeo dal 13 al 16 gennaio 2010

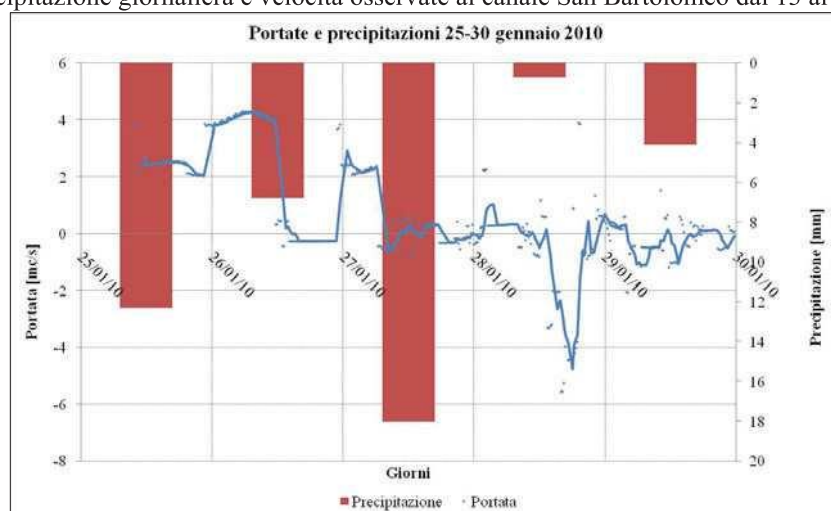


Figura 55: Precipitazione giornaliera e portate osservate al canale San Bartolomeo dal 25 al 30 gennaio 2010

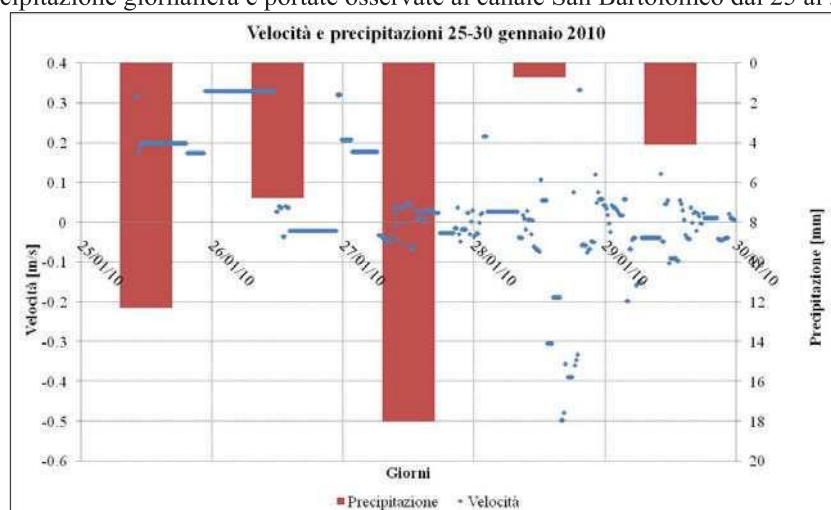


Figura 56: Precipitazione giornaliera e velocità osservate al canale San Bartolomeo dal 25 al 30 gennaio 2010

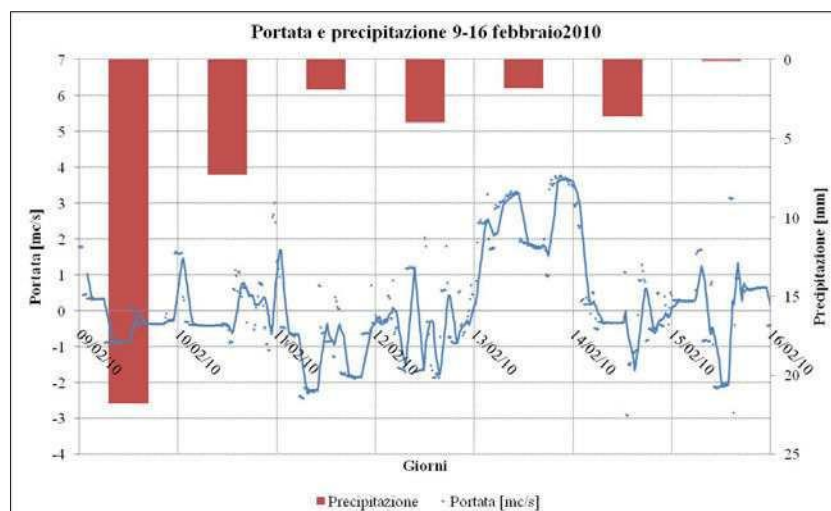


Figura 57: Precipitazione giornaliera e portate osservate al canale San Bartolomeo dal 9 al 16 febbraio 2010

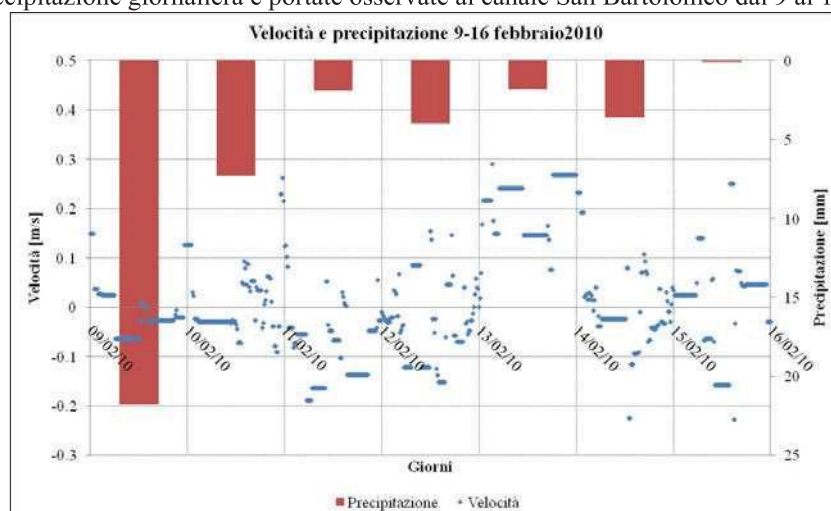


Figura 58: Precipitazione giornaliera e velocità osservate al canale San Bartolomeo dal 9 al 16 febbraio 2010

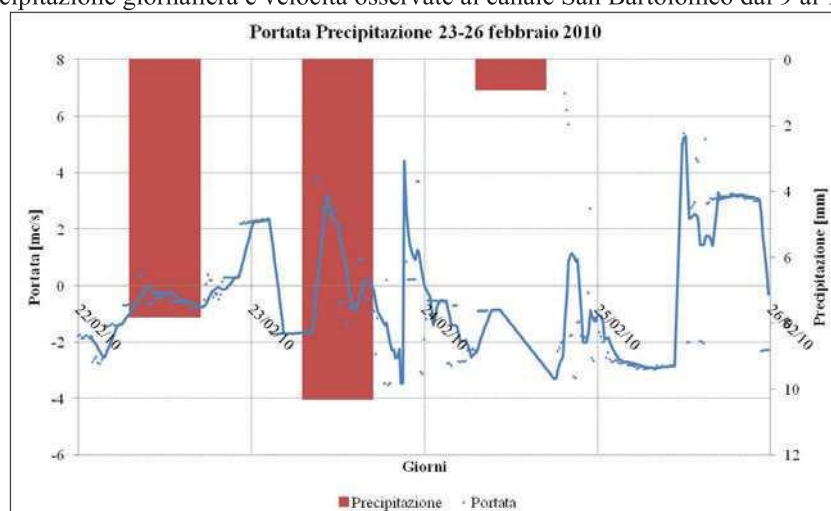


Figura 59: Precipitazione giornaliera e portate osservate al canale San Bartolomeo dal 22 al 26 febbraio 2010

Figura 60

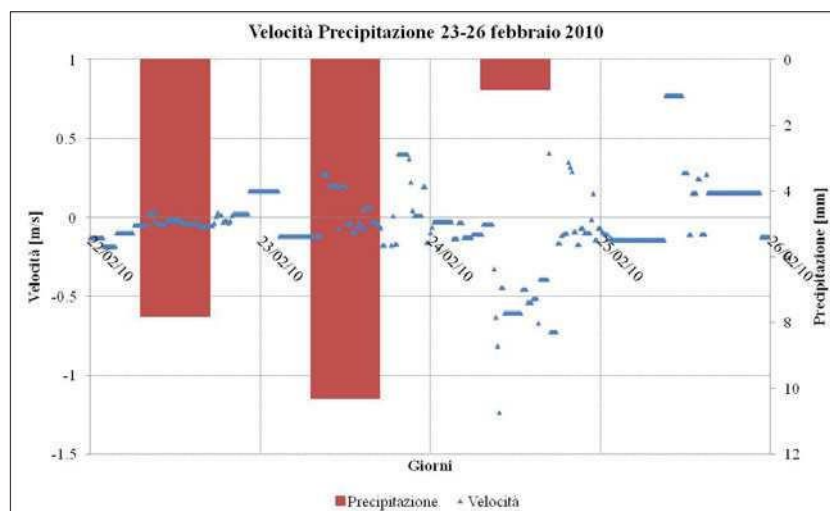


Figura 61: Precipitazione giornaliera e velocità osservate al canale San Bartolomeo dal 22 al 26 febbraio 2010

Tabella 31: Canale San Bartolomeo, esempio di dati di velocità, livello e portata monitorate alle sezione 11 tra il 15/02/2010 ed il 18 /02/10. I dati sono di seguito riportati all'ora sebbene campionato ogni 15 minuti

Data ora	Quota sez 11 [m slm]	Area [m2]	Voss sez 11 [m/s]	Vmedia sez 11 [m/s]	Q Sez 11 [mc/s]
24/04/2010 00:00	0.181	22.724	-0.091	-0.07	-1.59
24/04/2010 01:00	0.147	22.195	-0.036	-0.03	-0.61
24/04/2010 02:00	0.17	22.552	-0.039	-0.03	-0.68
24/04/2010 03:00	0.255	23.891	-0.039	-0.03	-0.72
24/04/2010 04:00	0.282	24.322	-0.039	-0.03	-0.73
24/04/2010 05:00	0.326	25.030	-0.039	-0.03	-0.75
24/04/2010 06:00	0.334	25.159	-0.039	-0.03	-0.75
24/04/2010 07:00	0.293	24.498	-0.039	-0.03	-0.73
24/04/2010 08:00	0.26	23.970	-0.039	-0.03	-0.72
24/04/2010 09:00	0.214	23.242	-0.039	-0.03	-0.70
24/04/2010 10:00	0.163	22.443	-0.039	-0.03	-0.67
24/04/2010 11:00	0.144	22.148	-0.085	-0.07	-1.45
24/04/2010 12:00	0.125	21.854	-0.091	-0.07	-1.53
24/04/2010 13:00	0.08	21.164	-0.091	-0.07	-1.48
24/04/2010 14:00	0.11	21.624	-0.088	-0.07	-1.46
24/04/2010 15:00	0.143	22.133	-0.07	-0.05	-1.19
24/04/2010 16:00	0.168	22.521	-0.064	-0.05	-1.11
24/04/2010 17:00	0.21	23.179	-0.064	-0.05	-1.14
24/04/2010 18:00	0.22	23.336	0.349	0.27	6.30
24/04/2010 19:00	0.235	23.573	0.387	0.31	7.35
24/04/2010 20:00	0.197	22.974	0.400	0.32	7.31
24/04/2010 21:00	0.172	22.583	0.375	0.3	6.90
24/04/2010 22:00	0.156	22.334	0.437	0.35	7.81
24/04/2010 23:00	0.113	21.670	0.375	0.3	6.50
25/04/2010 00:00	0.074	21.073	0.400	0.32	6.75
25/04/2010 01:00	0.058	20.830	0.354	0.27	5.67
25/04/2010 02:00	0.097	21.424	0.354	0.27	5.83
25/04/2010 03:00	0.143	22.133	0.354	0.27	6.03
25/04/2010 04:00	0.168	22.521	0.354	0.27	6.13
25/04/2010 05:00	0.217	23.289	-0.033	-0.03	-0.59



Data ora	Quota sez 11 [m slm]	Area [m2]	Voss sez 11 [m/s]	Vmedia sez 11 [m/s]	Q Sez 11 [mc/s]
25/04/2010 06:00	0.257	23.923	-0.033	-0.03	-0.61
25/04/2010 07:00	0.257	23.923	-0.033	-0.03	-0.61
25/04/2010 08:00	0.247	23.764	-0.033	-0.03	-0.60
25/04/2010 09:00	0.205	23.100	-0.033	-0.03	-0.59
25/04/2010 10:00	0.145	22.164	-0.033	-0.03	-0.56
25/04/2010 11:00	0.092	21.348	-0.033	-0.03	-0.54
25/04/2010 12:00	0.053	20.754	-0.082	-0.06	-1.31
25/04/2010 13:00	0.029	20.391	-0.07	-0.05	-1.10
25/04/2010 14:00	0.015	20.181	0.216	0.17	3.35
25/04/2010 15:00	0.022	20.286	0.31	0.25	5.07
25/04/2010 16:00	0.078	21.134	0.31	0.25	5.28
25/04/2010 17:00	0.111	21.639	0.31	0.25	5.41
25/04/2010 18:00	0.178	22.677	0.31	0.25	5.67
25/04/2010 19:00	0.203	23.069	0.204	0.16	3.62
25/04/2010 20:00	0.187	22.818	0.204	0.16	3.58
25/04/2010 21:00	0.152	22.272	0.204	0.16	3.50
25/04/2010 22:00	0.11	21.624	0.204	0.16	3.39
25/04/2010 23:00	0.08	21.164	0.204	0.16	3.32
26/04/2010 00:00	0.019	20.241	0.204	0.16	3.18
26/04/2010 01:00	-0.004	19.897	0.204	0.16	3.12
26/04/2010 02:00	0.011	20.121	0.204	0.16	3.16
26/04/2010 03:00	0.03	20.407	0.204	0.16	3.20
26/04/2010 04:00	0.077	21.119	0.204	0.16	3.31
26/04/2010 05:00	0.122	21.808	0.204	0.16	3.42
26/04/2010 06:00	0.176	22.646	0.204	0.16	3.55
26/04/2010 07:00	0.22	23.336	0.204	0.16	3.66
26/04/2010 08:00	0.221	23.352	0.204	0.16	3.66
26/04/2010 09:00	0.197	22.974	0.204	0.16	3.61
26/04/2010 10:00	0.17	22.552	0.204	0.16	3.54
26/04/2010 11:00	0.1	21.470	-0.07	-0.05	-1.16
26/04/2010 12:00	0.038	20.527	-0.03	-0.02	-0.47
26/04/2010 13:00	-0.033	19.465	-0.03	-0.02	-0.45
26/04/2010 14:00	-0.042	19.332	-0.03	-0.02	-0.45
26/04/2010 15:00	-0.026	19.569	-0.03	-0.02	-0.45
26/04/2010 16:00	0.01	20.106	-0.03	-0.02	-0.46
26/04/2010 17:00	0.045	20.633	-0.03	-0.02	-0.48
26/04/2010 18:00	0.105	21.547	-0.03	-0.02	-0.50
26/04/2010 19:00	0.171	22.568	-0.03	-0.02	-0.52
26/04/2010 20:00	0.186	22.802	-0.03	-0.02	-0.53
26/04/2010 21:00	0.183	22.755	-0.03	-0.02	-0.53
26/04/2010 22:00	0.138	22.055	-0.03	-0.02	-0.51
26/04/2010 23:00	0.08	21.164	-0.03	-0.02	-0.49
27/04/2010 00:00	0.028	20.376	-0.03	-0.02	-0.47

Come già notato in precedenza per il canale Santa Gilla, anche in questo caso, durante gli eventi monitorati non ci sono stati significativi aumenti della portata liquida, né della velocità monitorata (infatti le portate monitorate risultano essere sempre comprese tra i 6 e i - 6 m<sup>3</sup>/s, come già verificato in tempo asciutto). Questo è dovuto all'esiguità delle precipitazioni cadute nel periodo di

---

**ALLEGATO 2 – RELAZIONE IDRAULICA -PUC E REPORT STUDIO DI BACINO**

---

### Zona 4 – Area sud est

La delimitazione della Zona 4, riportata nella figura seguente, comprende i bacini che sfociano a mare tra il Canale Terramaini e il limite comunale della città di Cagliari. I bacini idrografici sono stati estratti dal Lidar 1m x 1m fornito dal Ministero dell' Ambiente.

Nell'ambito delle verifiche idrauliche per esigenze modellistiche tale zona è stata ulteriormente suddivisa in due sottozone denominate rispettivamente 4a e 4b.

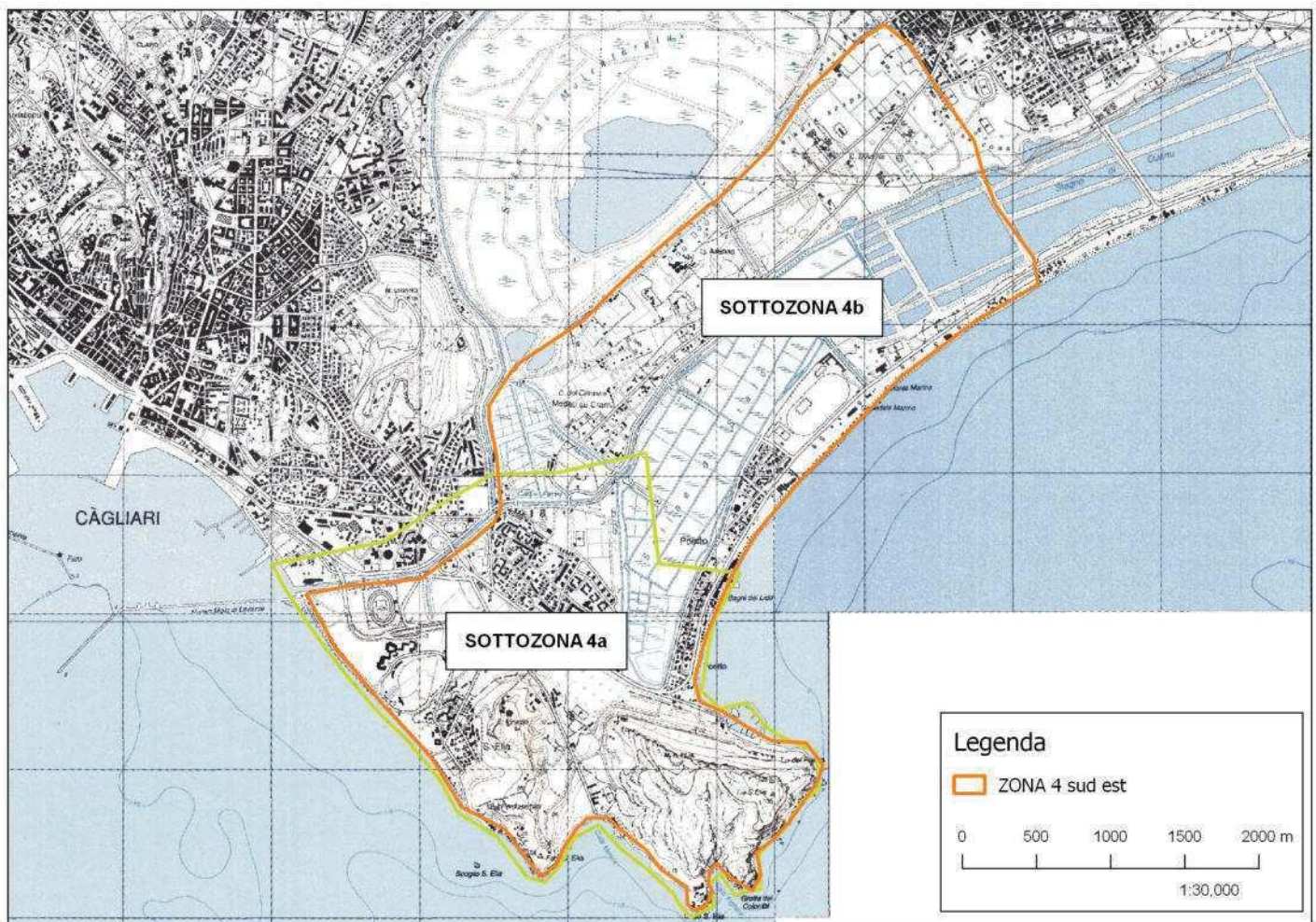


Figura 57 - Individuazione Zona 4 – Area sud est

### Studio idrologico

Anche per l'area urbana definita dalla Zona 4 è stato effettuato uno Studio con una modellazione bidimensionale che utilizza come input una precipitazione uniformemente distribuita nell'area di interesse.

Per la modellazione delle fasi di separazione delle piogge del fenomeno della trasformazione afflussi-deflussi, si è utilizzato il metodo Curve Number (CN) del Soil Conservation Service. La carta del CN (allegato *Cl.3*) fornisce i valori del CN per le varie zone del dominio di calcolo.

L'applicazione del metodo del CN per la valutazione della pioggia netta ha permesso di ricavare gli ietogrammi di pioggia netta utilizzati in seguito come input nella modellazione bidimensionale.

### **Schematizzazione bacino idrografico**

I sottobacini, individuati ai fini della modellazione idrologica, in cui è stata scomposta la Zona 4 coincidono con i domini di calcolo. I principali parametri morfometrici sono stati ricavati in ambiente GIS a partire anche dalle informazioni del modello digitale del terreno con cella spaziale di 1 m mentre per quanto riguarda la determinazione del tempo di corrivazione del singolo sottobacino sono state utilizzate le formulazioni riportate nello studio idrologico della zona 1.

Detta procedura è stata applicata per entrambi i sottobacini; i valori di pioggia netta, utilizzati come input del modello idraulico, fanno riferimento (in via cautelativa) alla sottozona 4a, secondo uno schema idrologico di seguito descritto, poiché caratterizzata da un valore medio del CN minore quindi da deflussi superficiali maggiori; i valori di pioggia netta così ricavati, utilizzati come input del modello idraulico complessivo per la Zona 4.

Si evidenzia che l'analisi idrologica, di cui al seguito, è completata dall'allegato *Cl.1.A - Report studio idrologico* riportato in calce alla presente.



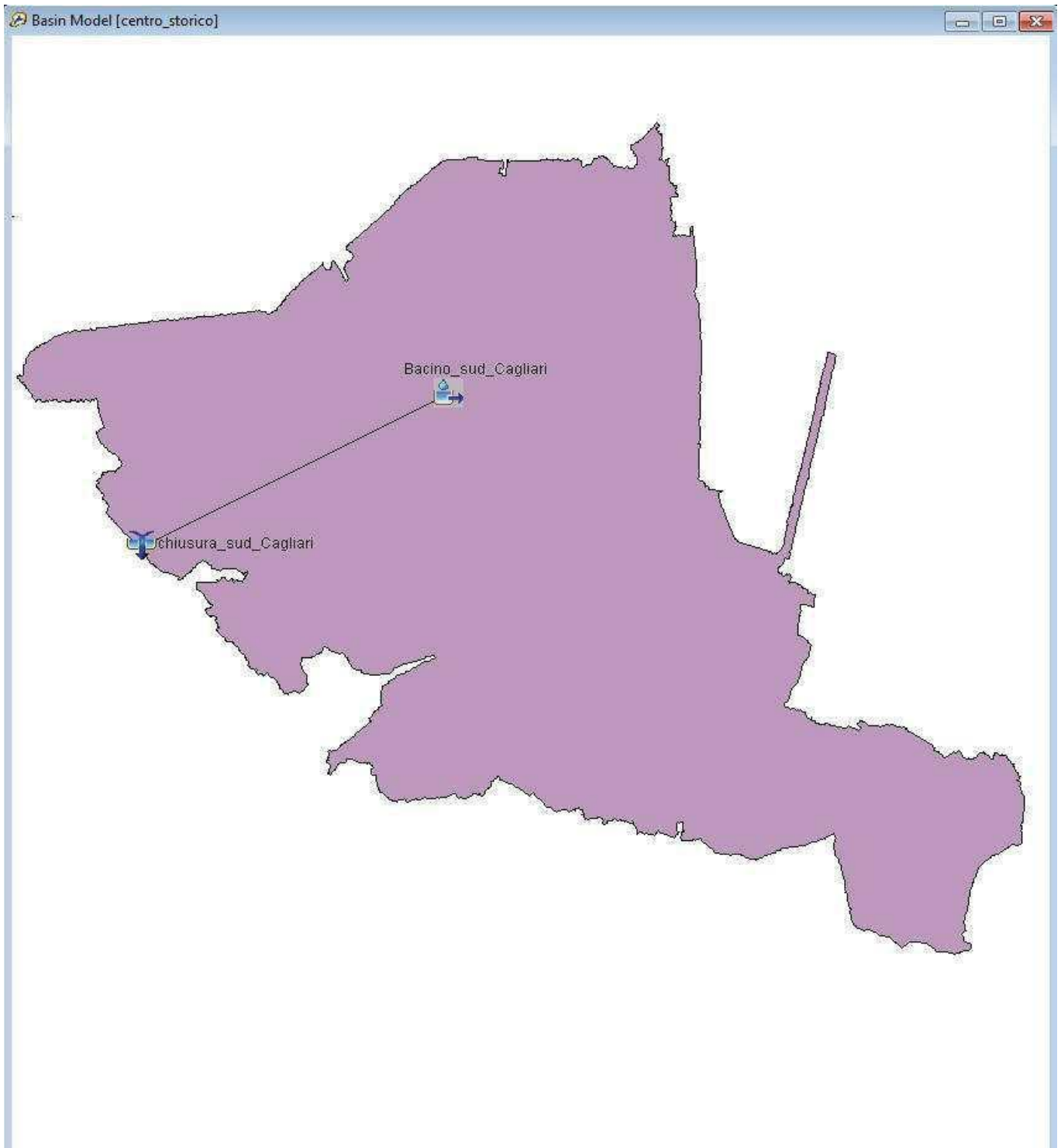


Figura 58 - Modellazione idrologica – Schematizzazione bacino idrografico nel software HEC-HMS

### **Caratteristiche pluviometriche**

La definizione delle caratteristiche dell'evento pluviometrico da utilizzare per la caratterizzazione della risposta idrologica dei bacini oggetto di studio è stata fatta sulla base delle curve di possibilità

pluviometrica determinate dall'analisi regionale dei massimi di pioggia alle diverse durate a cura di Deidda, Piga, Sechi.

La zona oggetto di studio ricade interamente nella sottozona SZO2. Sono stati quindi ricavati i valori dei parametri “*a*” e “*n*” delle CPP per i 4 tempi di ritorno (50, 100, 200 e 500 anni) di riferimento per il P.A.I., e le curve di possibilità pluviometrica.

	Tr=50 anni	Tr=100 anni	Tr=200 anni	Tr=500 anni
<b>a</b>	47.807	54.636	61.465	70.492
<b>n</b>	0.448	0.481	0.509	0.535
<b>t (h)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>h (mm)</b>	<b>h (mm)</b>
0.33	29.1	32.0	35.0	39.0
0.66	39.7	44.7	49.8	56.4
1	47.8	54.6	61.5	70.5
2	65.2	76.3	87.5	102.1
3	78.2	92.7	107.5	126.9
4	88.9	106.5	124.4	148.0
5	98.3	118.6	139.4	166.7
6	106.6	129.5	152.9	183.8
7	114.3	139.4	165.4	199.6
8	121.3	148.7	177.0	214.4
9	127.9	157.4	188.0	228.3
10	134.0	165.5	198.3	241.6
11	139.9	173.3	208.2	254.2
12	145.4	180.7	217.6	266.3

Tabella 19 - Parametri Curve Possibilità Pluviometrica e ietogrammi

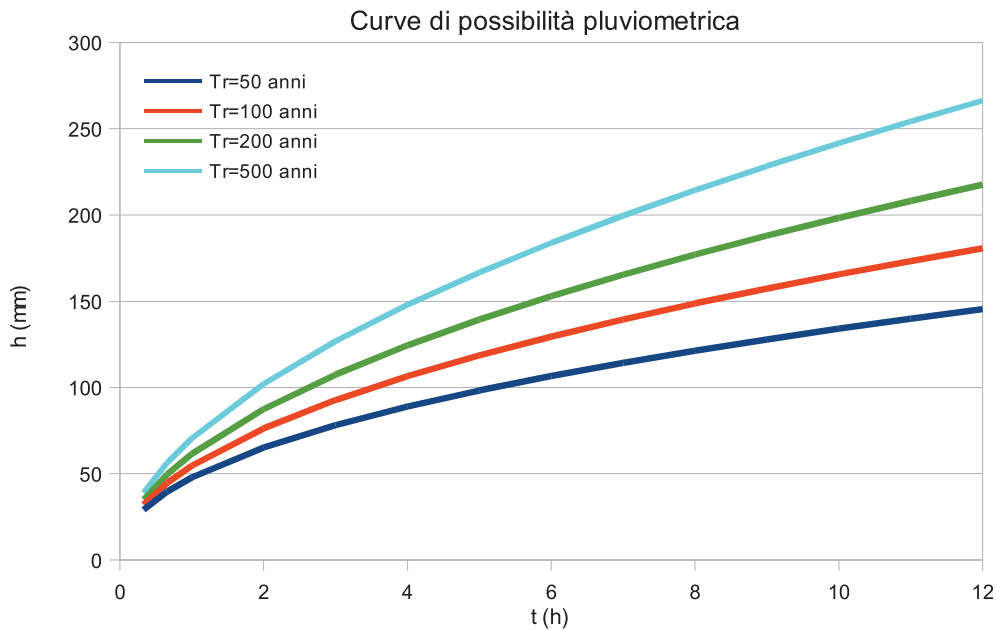


Figura 59 - Curve di possibilità pluviometrica

### **Determinazione parametri del modello**

Si riportano di seguito i valori dei parametri idrologici ottenuti per il sottobacino di riferimento per la Zona 4a:

Caratteristiche Sottozona 4a	
Tc (tempo di corrivazione) [h]	0.80
Tc (tempo di ritardo) [min]	30.00
CN (AMCII)	85.00

Tabella 20 - Parametri idrologici zona 4

### **Valutazione caratteristiche delle piene**

#### **Stima dei deflussi**

Sulla base della schematizzazione del bacino idrografico adottata per i sottobacini oggetto di studio e dei dati di pioggia ottenuti come specificato in precedenza si è proceduto alla simulazione idrologica degli eventi di pioggia con tempo di ritorno rispettivamente di 50, 100, 200 e 500 anni e durata di 3 ore.

Per lo ietogramma di pioggia è stata utilizzata una forma a campana ottenuta con il metodo Alternate Blocking Method implementato nel software HEC-HMS con il quale è stata condotta questa fase di

analisi.

Considerando quindi come input nella modellazione afflussi – deflussi un valore del CN pari a 85 (valore ricavato sulla base della mappa del Curve Number del sottobacino oggetto di studio), si riportano di seguito i principali risultati ottenuti, vedi Tabella, in termini di altezza totale di pioggia netta e quindi il coefficiente di deflusso.

TEMPO DI RITORNO	PIOGGIA TOTALE (mm)	PIOGGIA PERSA (mm)	PIOGGIA NETTA (mm)	COEFF DEFLESSO
50	47.80	29.77	18.03	0.38
100	54.60	31.58	23.02	0.42
200	61.50	33.15	28.35	0.46
500	70.50	34.90	35.60	0.50

Tabella 21 - Output modellazione idrologica

Nelle immagini seguenti sono riportati gli ietogrammi di progetto per i tempi di ritorno 50, 100, 200 e 500 anni utilizzati come input nella modellazione idraulica.

Dai grafici, in cui la precipitazione totale è rappresentata in blu, quella persa in rosso e la netta in verde, si nota che:

- per Tr pari a 50 anni, il picco della precipitazione totale è pari a quasi 25 mm mentre la precipitazione netta massima è pari a poco meno di 13mm;
- per Tr pari 100 anni, il picco della precipitazione totale è pari a circa 27 mm mentre la precipitazione netta massima è pari a circa 15 mm;
- per Tr pari 200 anni, il picco della precipitazione totale è di poco maggiore di 30 mm mentre la precipitazione netta massima è pari a poco meno di 20 mm;
- per Tr pari 500 anni, il picco della precipitazione totale è pari a quasi 35 mm mentre la precipitazione netta massima è pari a quasi 25 mm.



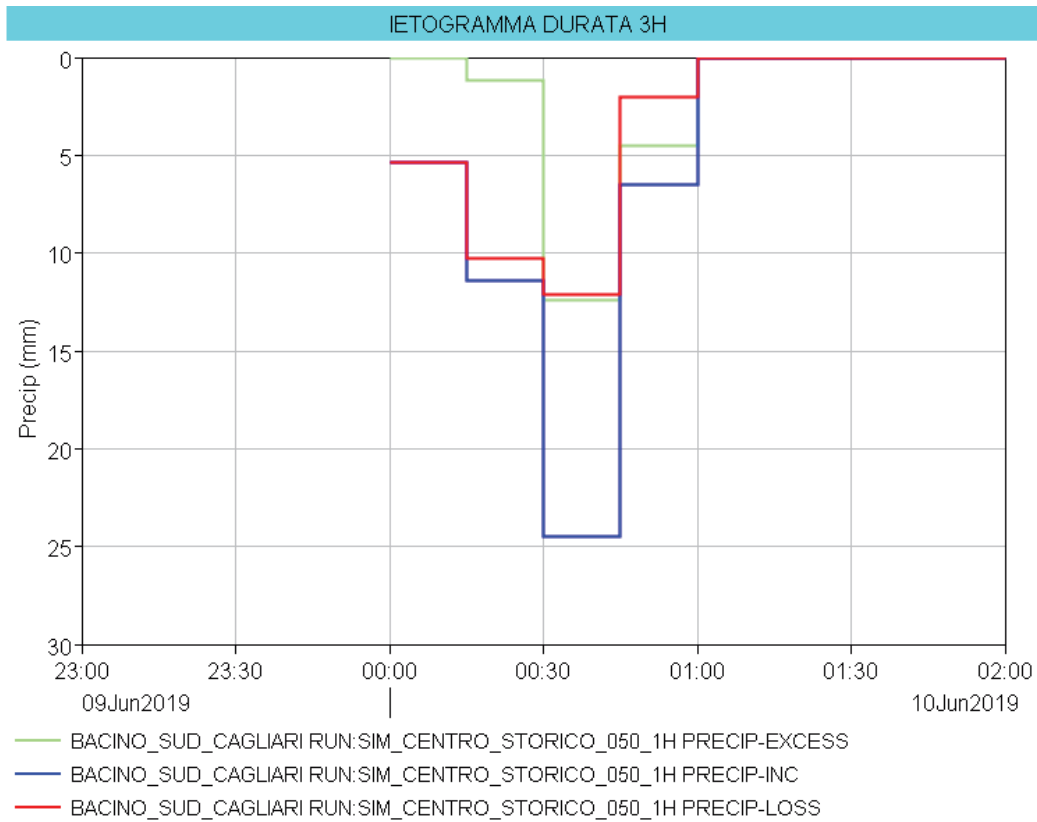


Figura 60 - Modellazione idrologica bacini area sud est – Ietogramma di progetto TR 50 anni

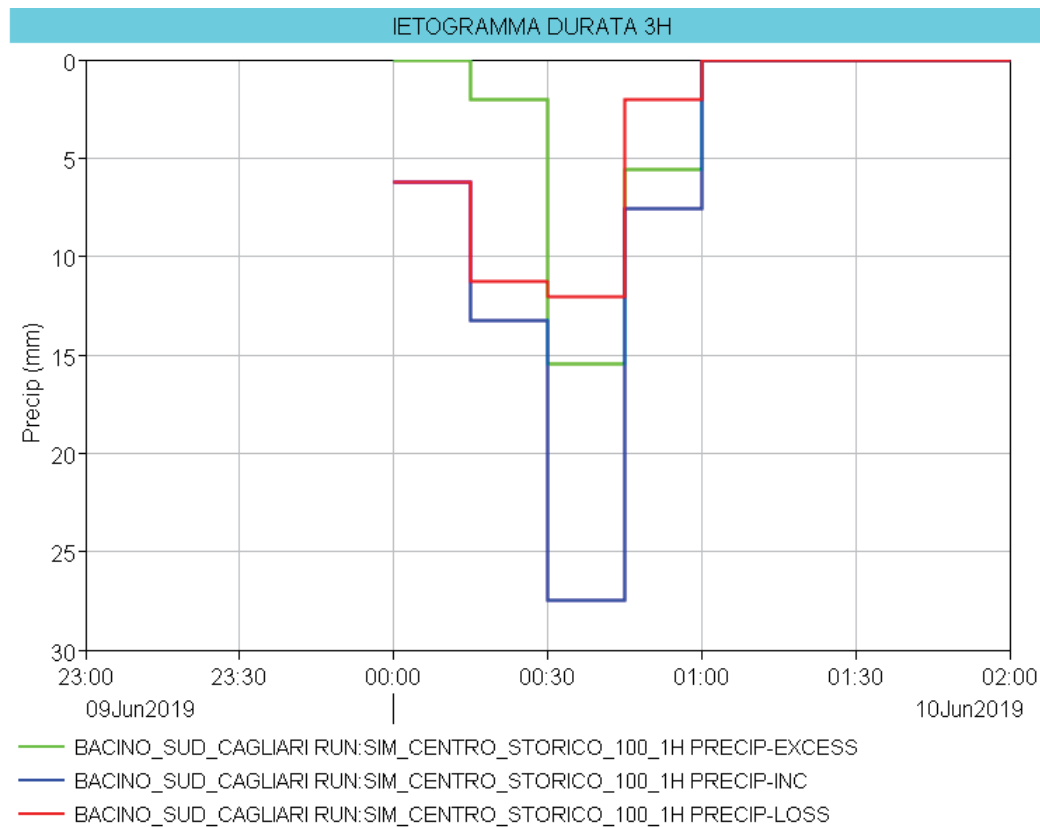


Figura 61 - Modellazione idrologica bacini area sud est – Ietogramma di progetto TR 100 anni

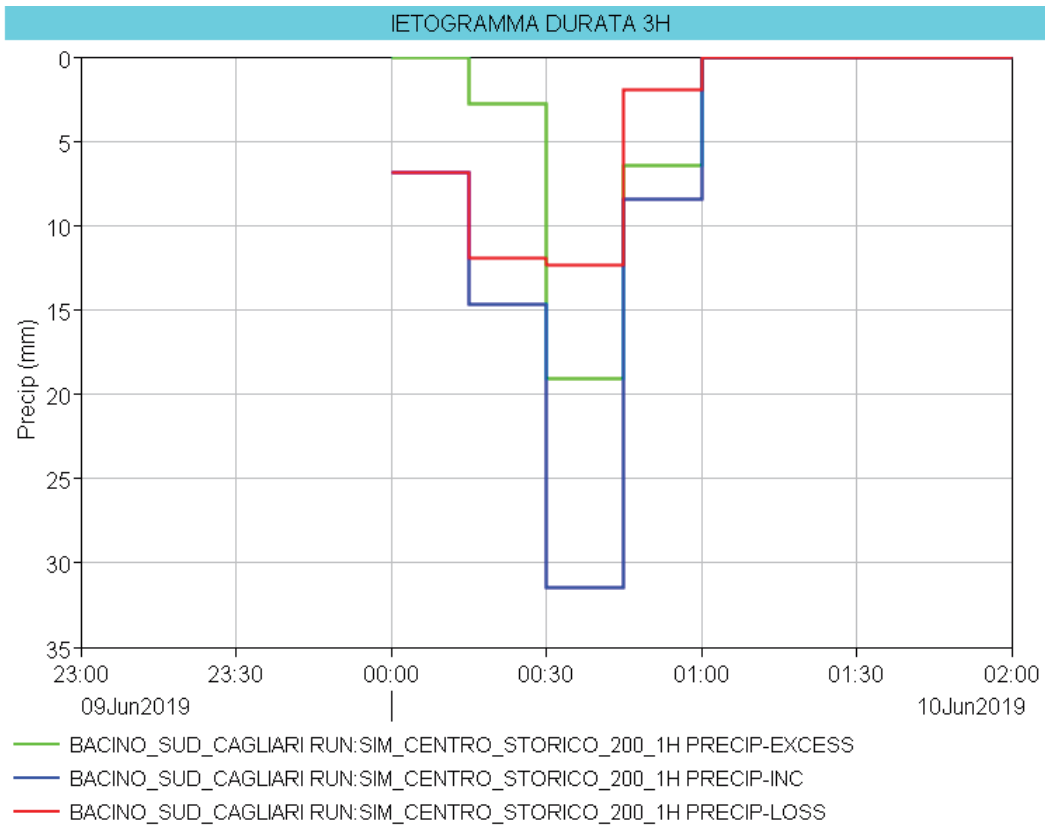


Figura 62 - Modellazione idrologica bacini area sud est – Ietogramma di progetto TR 200 anni

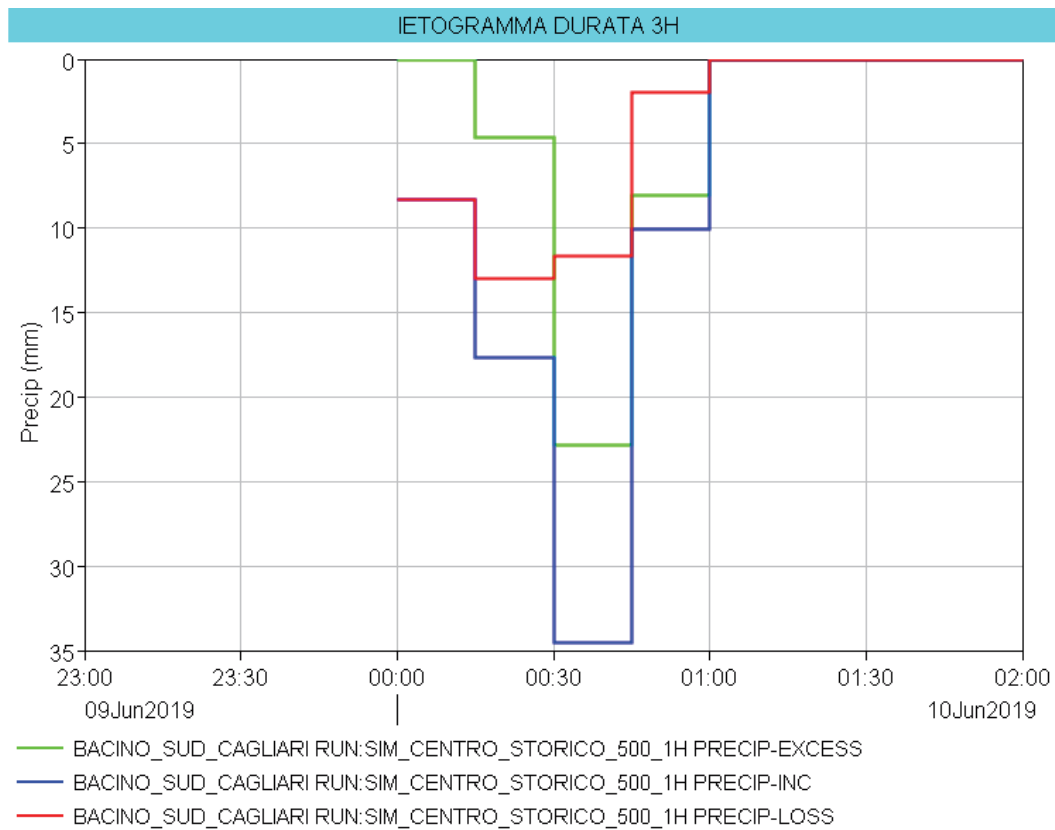


Figura 63 - Modellazione idrologica bacini area sud est – Ietogramma di progetto TR 500 anni

**Studio idraulico (Zona 4)**

In considerazione del fatto che la zona oggetto di studio non è attraversata da alcun corso d'acqua principale è stato eseguito lo studio con una modellazione bidimensionale dell'area che utilizza come input una precipitazione uniformemente distribuita nell'area di interesse ottenuta dalla modellazione afflussi – deflussi.

***Verifiche in regime di moto vario con schema 2D***

All'interno del dominio è stata definita una maglia di calcolo di 10 x 10 utilizzando come base il modello digitale del terreno con edifici e strade, con cella di 1 mq

Nell'implementazione del modello di calcolo bidimensionale il dominio di calcolo è stato definito in modo che fosse sufficientemente esteso oltre i limiti del bacino idrografico.

Come condizioni al contorno in ingresso al modello è stata utilizzata la pioggia netta calcolata attraverso una modellazione idrologica con il metodo del CN del SCS come specificato nello Studio idrologico per la Zona in esame. Per consentire una maggiore accuratezza dei risultati, si è ritenuto opportuno dettagliare il dominio di calcolo assegnando un valore di scabrezza variabile in relazione all'uso del suolo. In particolare è stato considerato un valore globale di scabrezza “n” di Manning pari a  $0.014 \text{ m}^{-1/3}/\text{sec}$  in corrispondenza delle strade, 0.03 sugli edifici e 0.05 negli spazi aperti.

Per quanto riguarda invece la condizione al contorno di valle, è stato fissato il valore del livello medio mare con un opportuno sovrалzo, pari a 1.25 m.s.l.m., che tenga conto dell'innalzamento del livello del mare che si può avere a seguito di mareggiate e condizioni di bassa pressione.

Si riporta lo schema della geometria implementata sul software Hec-Ras e le mappe dei battenti idrici massimi (m) e delle velocità massime (m/s) ottenute dalla modellazione in regime bidimensionale considerando un evento con tempo di ritorno pari a 200 anni.

Nell' allegato *Cl.1. C – Studio idraulico 2d preliminare* sono riportate le stesse mappe relative anche agli altri tempi di ritorno (Tr 50, 100 e 500 anni).

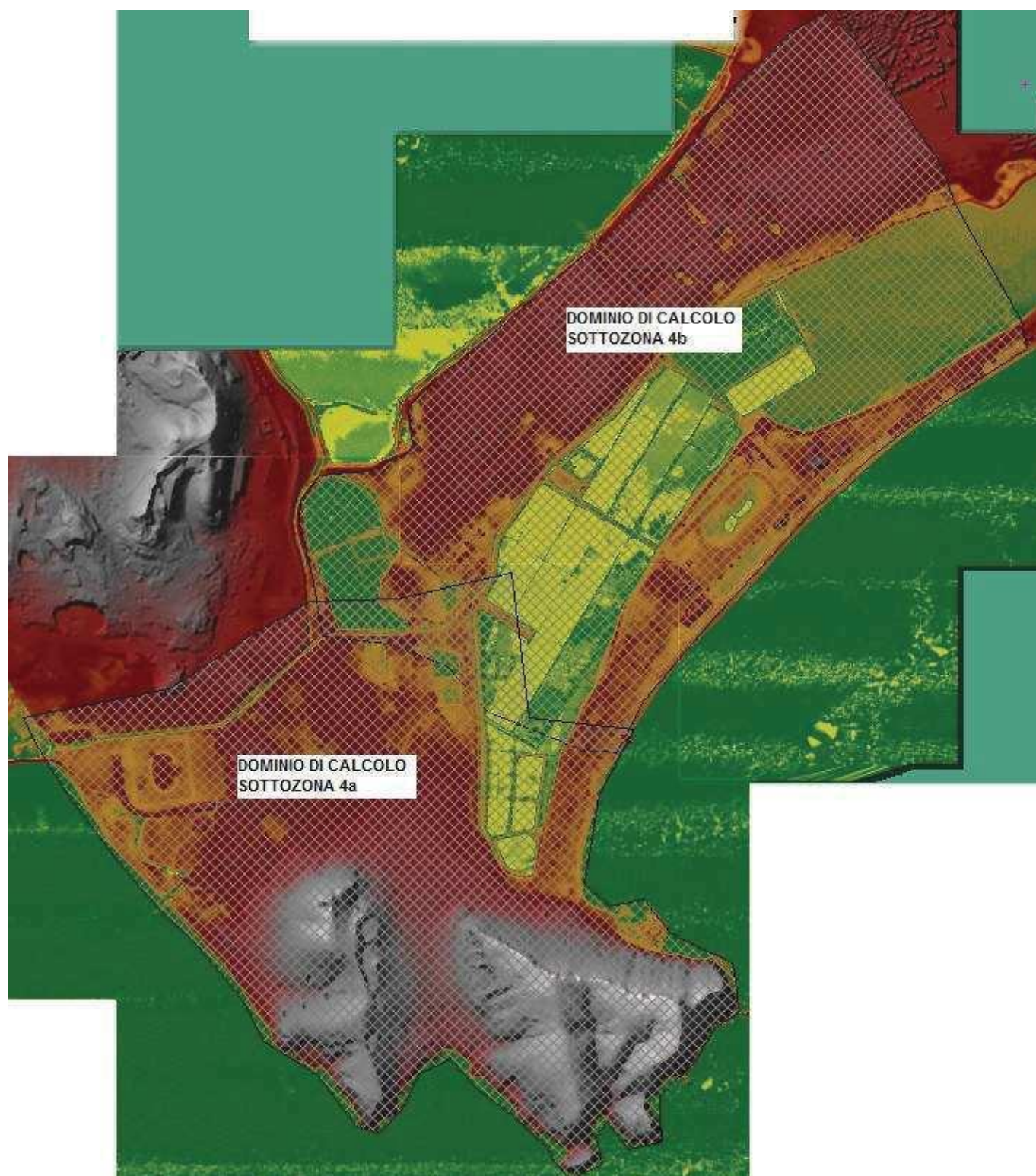


Figura 64 - Modello digitale del terreno implementato in Hec-Ras con mesh di calcolo



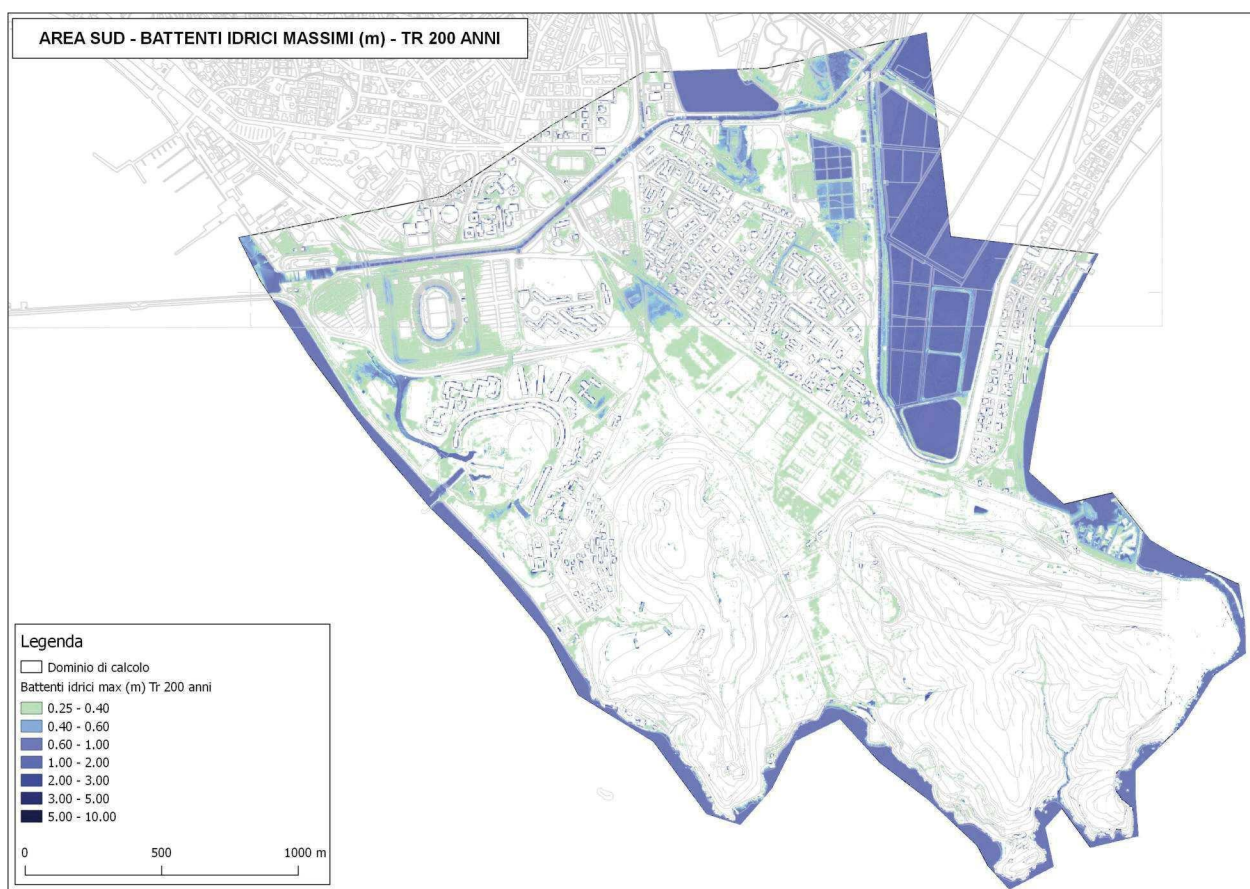


Figura 65 - Mappa dei battenti idrici massimi (m) – Modellazione idraulica 2D TR 200 anni – Zona 4a

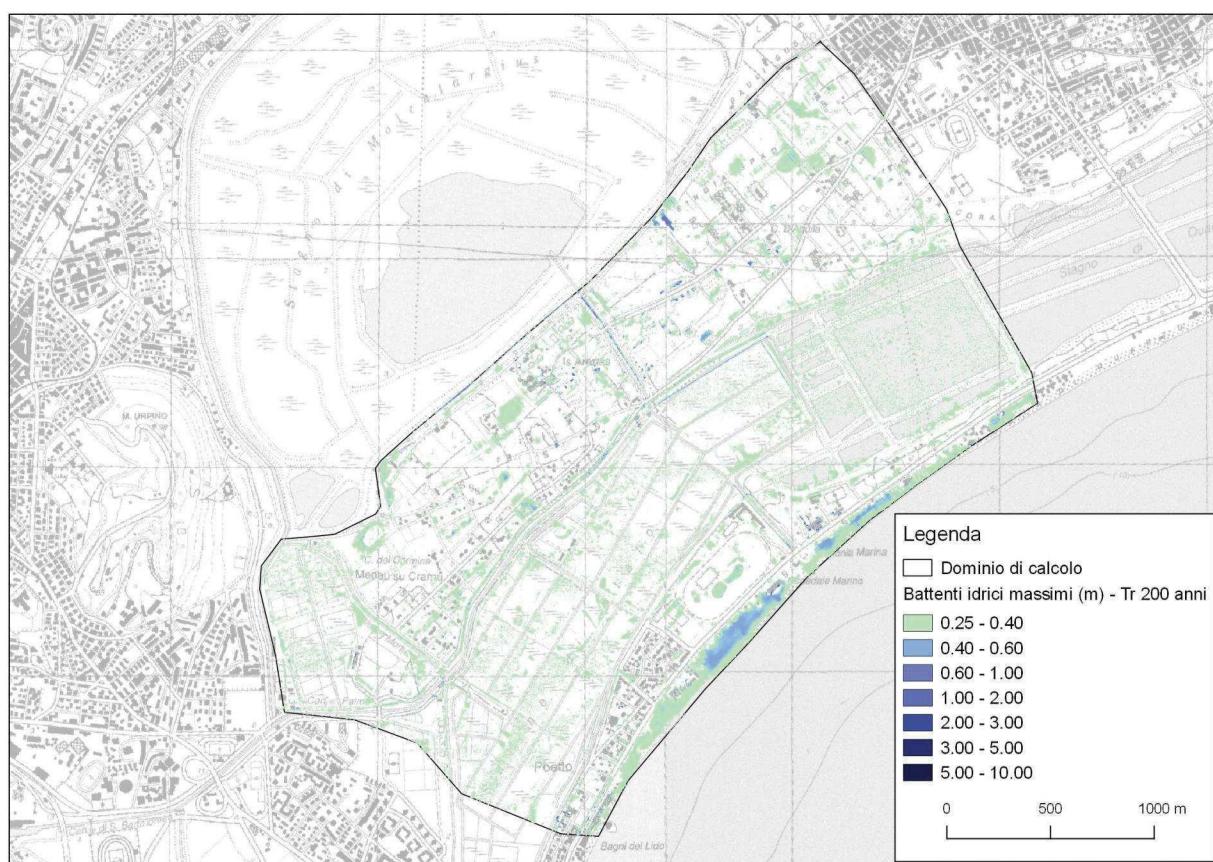


Figura 66 - Mappa dei battenti idrici massimi (m) – Modellazione idraulica 2D TR 200 anni – Zona 4b

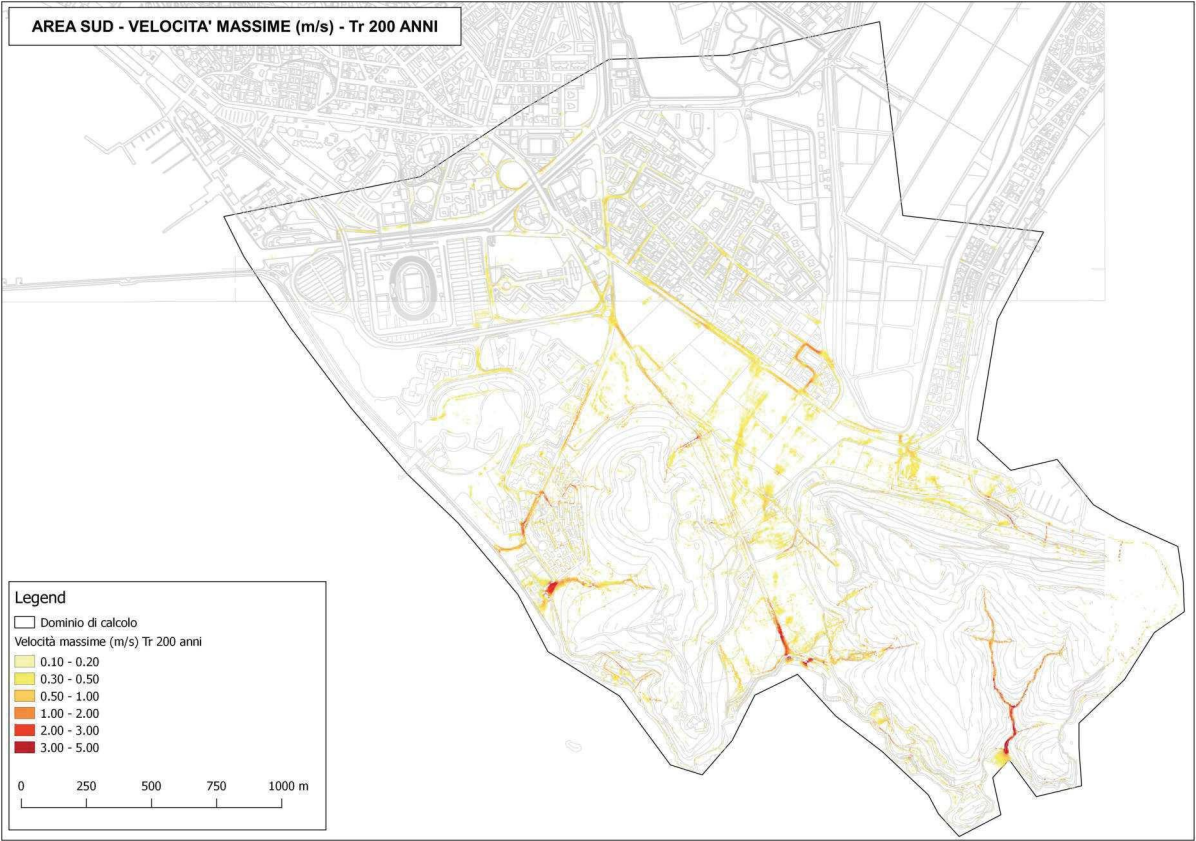


Figura 67 - Mappa delle velocità massime (m/s) – Modellazione idraulica 2D TR 200 anni – Zona 4a



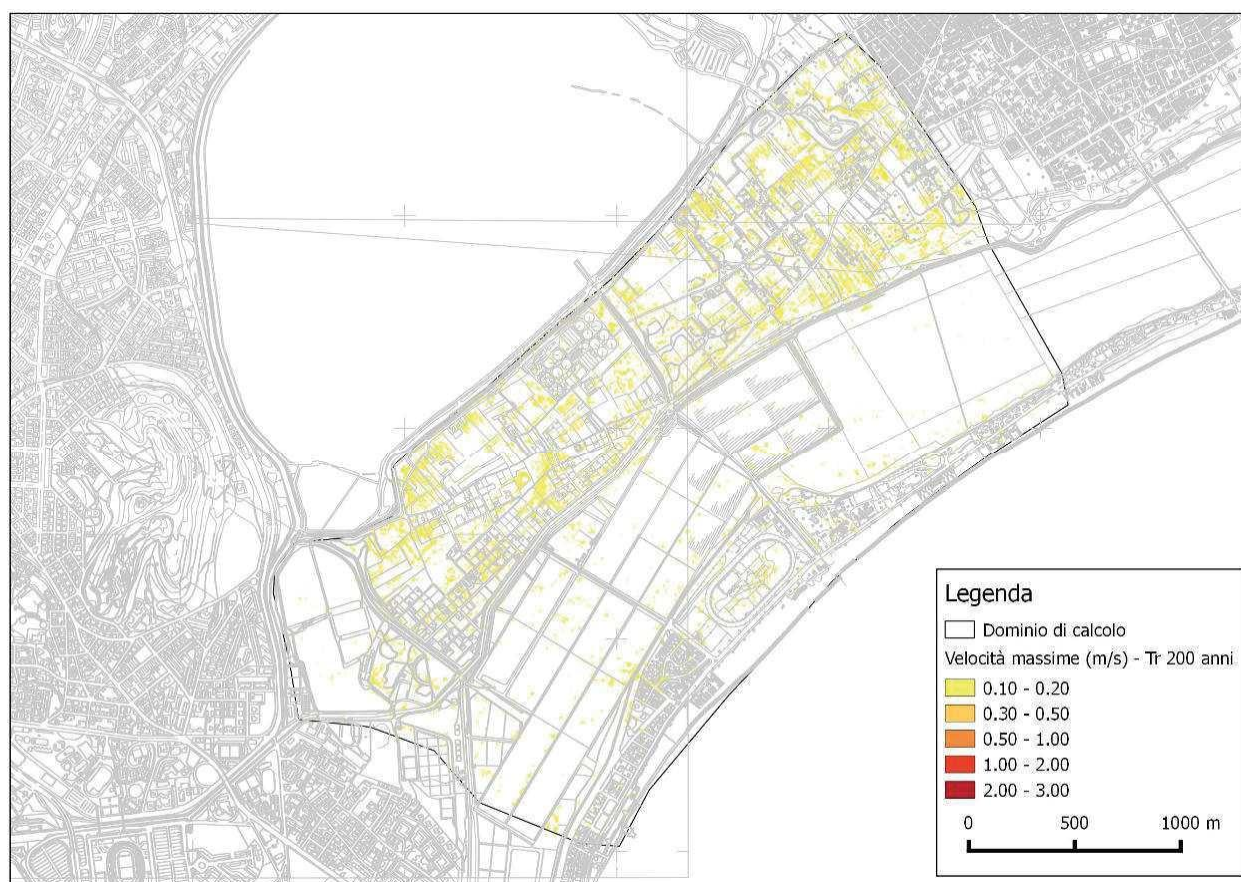


Figura 68 -: Mappa delle velocità massime (m/s) – Modellazione idraulica 2D TR 200 anni – Zona 4b



-----  
**Report da HEC-HMS - modello in XLS (bacino\_CN\_SCS\_v\_1)**

**RIEPILOGO DATI MODELLO DI BACINO**

**separazione piogge : CN SCS**

**formazione piena : IUH SCS**

**propagazione piena : lag o Muskingum Cunge**

-----

**STUDIO IDROLOGICO**

**RIEPILOGO DATI**

**MODELLO DI BACINO: ZONA 4 - BACINO\_SUD\_CAGLIARI**

DESCRIZIONE: SU

VERSIONE: 4.3

UNITA' DI MISURA: Metric

**TABELLA SOTTOBACINI**

Nome	Area (kmq)	Met. sep. piogge	% imper.	CN	Met. Formazione	SCS lag (min)
Bacino_sud_Cagliari	3.62	SCS	0	85	SCS	30

**RIEPILOGO RISULTATI - TR = 50 anni**

**Simulazione : "sim\_centro\_storico\_050\_1h"**

**Descrizione : "Basin: centro\_storico , Meteorology: CPP\_050 , Control: Control\_1"**

**Modello di Bacino : "centro\_storico"**

**Modello Meteo : "CPP\_050"**

**Inizio simulazione : "09Jun2019, 24:00"**

**Fine simulazione : "10Jun2019, 03:00"**

**TABELLA SOTTOBACINI**

Sottobacino	Area (kmq)	H_pioggia (mm)	H_perdite (mm)	H_netta (mm)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max
Bacino_sud_Cagliari	3,62	47,80	29,77	18,03	19,83	5,48	10Jun2019, 01:15

TABELLA GIUNZIONI

Giunzione	Area (kmq)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max	V_def (mm)
chiusura_sud_Cagliari	3,62	19,83	5,48	10Jun2019, 01:15	17,94

-----

**RIEPILOGO RISULTATI - TR = 100 anni**

Simulazione : "sim\_centro\_storico\_100\_1h"

Descrizione : "Basin: centro\_storico , Meteorology: CPP\_100 , Control: Control\_1"

Modello di Bacino : "centro\_storico"

Modello Meteo : "CPP\_100"

Inizio simulazione : "09Jun2019, 24:00"

Fine simulazione : "10Jun2019, 03:00"

TABELLA SOTTOBACINI

Sottobacino	Area (kmq)	H_pioggia (mm)	H_perdite (mm)	H_netta (mm)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max
Bacino_sud_Cagliari	3,62	54,60	31,58	23,02	25,08	6,93	10Jun2019, 01:15

TABELLA GIUNZIONI

Giunzione	Area (kmq)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max	V_def (mm)
chiusura_sud_Cagliari	3,62	25,08	6,93	10Jun2019, 01:15	22,91

-----

**RIEPILOGO RISULTATI - TR = 200 anni**

Simulazione : "sim\_centro\_storico\_200\_1h"

Descrizione : "Basin: centro\_storico , Meteorology: CPP\_200 , Control: Control\_1"

Modello di Bacino : "centro\_storico"

**Modello Meteo : "CPP\_200"**

**Inizio simulazione : "09Jun2019, 24:00"**

**Fine simulazione : "10Jun2019, 03:00"**

**TABELLA SOTTOBACINI**

Sottobacino	Area (kmq)	H_pioggia (mm)	H_perdite (mm)	H_netta (mm)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max
Bacino_sud_Cagliari	3,62	61,50	33,15	28,35	30,75	8,49	10Jun2019, 01:15

**TABELLA GIUNZIONI**

Giunzione	Area (kmq)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max	V_def (mm)
chiusura_sud_Cagliari	3,62	30,75	8,49	10Jun2019, 01:15	28,21

**RIEPILOGO RISULTATI - TR = 500 anni**

**Simulazione : "sim\_centro\_storico\_500\_1h"**

**Descrizione : "Basin: centro\_storico , Meteorology: CPP\_500 , Control: Control\_1"**

**Modello di Bacino : "centro\_storico"**

**Modello Meteo : "CPP\_500"**

**Inizio simulazione : "09Jun2019, 24:00"**

**Fine simulazione : "10Jun2019, 03:00"**

TABELLA SOTTOBACINI

Sottobacino	Area (kmq)	H_pioggia (mm)	H_perdite (mm)	H_netta (mm)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max
Bacino_sud_Cagliari	3,62	70,50	34,90	35,60	38,09	10,52	10Jun2019, 01:15

TABELLA GIUNZIONI

Giunzione	Area (kmq)	Q_max (mc/s)	Q_spec (mc/s/kmq)	T Q_max	V_def (mm)
chiusura_sud_Cagliari	3,62	38,09	10,52	10Jun2019, 01:15	35,43