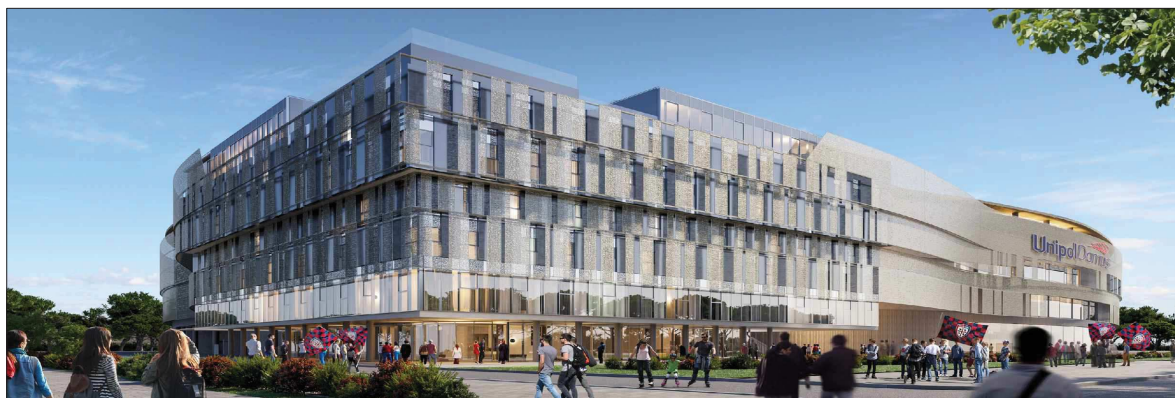


COMUNE DI CAGLIARI

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

Protocollo N.0190429/2023 del 26/06/2023

Oggetto: Proposta per l'affidamento della concessione per la realizzazione e gestione, in condizioni di equilibrio economico finanziario, del nuovo Stadio di Cagliari, ai sensi dell'art. 1, comma 304, della Legge di Stabilità 2014 - Dichiarazione di pubblico interesse – Conferenza dei servizi decisoria - Domanda di autorizzazione ai sensi dell'art. 146 del D.Lgs. n. 42/04 - Richiesta di integrazione atti
Ubicazione: Comune di Cagliari, Località Stadio Sant'Elia.
Richiedente: Comune di Cagliari – Servizio Opere Strategiche, Mobilità, Infrastrutture e Reti.
Posizione: 2023-1152

TEAM DI PROGETTAZIONE:

progettazione architettonica 	progettazione strutture 	progettazione impianti tecnologici 	progettazione sicurezza antincendio
integrazione prestazioni specialistiche 	specialista impianti sportivi 	opere di demolizione 	urbanistica e procedura V.I.A.
consulenza acustica 	consulenza paesaggistica 	consulenza viabilistica 	consulenza ambientale

FASE PROGETTUALE:

PROGETTO DEFINITIVO

TITOLO / DESCRIPTION:

Studio di Invarianza Idraulica
art. 47 delle NTA del PAI

DISEGNATO DA : ABB

CONTROLLATO DA : MHC

DATA 14/06/2024

SCALA --

COMMESSA	FASE	EMISSIONE	LIVELLO	DISCIPLINA	TIPO	PROGRESSIVO	REVISIONE
3053	D	AMB	X	IDR	RE	005	03

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	3
2	SCOPO	3
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
4	MATERIALE CONSULTATO	3
5	DESCRIZIONE AREA	4
5.1	IL CANALE SAN BARTOLOMEO	5
6	METODOLOGIA PER LA VERIFICA DI INVARIANZA IDRAULICA	7
6.1	INDIVIDUAZIONE DELLA CLASSE DELL'INTERVENTO DI TRASFORMAZIONE TERRITORIALE	7
6.2	VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ MASSIMA DI SMALTIMENTO DEL CORPO IDRICO RICETTORE	8
6.3	VALUTAZIONE DEI CN ANTE E POST- INTERVENTO	10
6.3.1	Individuazione del tipo di suolo	13
6.3.2	CN pre-intervento	15
6.3.3	CN post intervento	16
6.4	STIMA DELLE PORTATE	17
6.4.1	Curve di possibilità pluviometrica	17
6.4.2	Portate ante operam	19
6.4.3	Portate post operam	25
7	RETE DI CONVOGLIAMENTO E ALLONTAMENTO ACQUE METEORICHE.....	26
7.1	SISTEMA DI CONVOGLIAMENTO ATTUALE.....	26
7.2	SISTEMA DI CONVOGLIAMENTO IN PROGETTO	27
8	VASCHE DI PRIMA PIOGGIA E VASCHE DI RECUPERO	27
8.1	VASCHE DI ACCUMULO	27
9	PARCHEGGI ESTERNI ALL'AREA MINIMA FUNZIONALE	28
9.1	INVARIANZA IDRAULICA AREA P7	30
9.2	INVARIANZA IDRAULICA AREA P8	32
10	RISULTATI.....	33
11	DISCUSSIONE E INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI	33
12	CONCLUSIONI	34

INDICE FIGURE

Figura 1 – Inquadramento territoriale. Cerchiata in rosso l'area in esame.....	4
Figura 2 – Ubicazione nuovo stadio in progetto.....	5
Figura 3 Inquadramento canale San Bartolomeo.....	6
Figura 4 Report quote del livello idrico delle diverse condizioni di valle - Tr=50 anni Studio canale Terramaini	10

Figura 5 Pioggia netta in funzione del CN	10
Figura 6 Criteri di definizione condizioni di umidità del terreno	13
Figura 7 Geologia aree oggetto di intervento (fonte Carta Geologica Regione Sardegna)	14
Figura 8 Uso del suolo dell'area oggetto di intervento (fonte Carta Uso del Suolo Regione Sardegna)	15
Figura 9 Formulazione curve di possibilità pluviometrica e sottozone Regione Sardegna	18
Figura 10 Estratto carte delle isoiete	18
Figura 11 Curve di possibilità pluviometrica	18
Figura 12 Curve di probabilità pluviometrica	19
Figura 13 Domini di calcolo utilizzati nelle modellazioni idrologiche e idrauliche	20
Figura 14 Sottozone della zona 4	21
Figura 15 Estratto della carta dei bacini idrografici principali della Città di Cagliari	22
Figura 16 Bacino Sant'Elia e area effettiva dello stadio	23
Figura 17 Impronta vecchio stadio	23
Figura 18 Ietogramma Chicago per $T_r=50$ anni	24
Figura 19 Idrogramma pre - urbanizzazione	25
Figura 20 Impronta nuovo stadio	25
Figura 21 Idrogramma post urbanizzazione	26
Figura 22 Rete di smaltimento acque meteoriche -. Stato attuale (fonte ufficio tecnico comunale)	26
Figura 23 Posizione di massima delle vasche di raccolta acque meteoriche	28
Figura 24 Area P7 e P8 stato attuale	29
Figura 25 Aree P7 e P8 stato di progetto	30
Figura 26 Vecchio Stadio Sant'Elia (sinistra) e nuovo progetto (destra)	33

INDICE TABELLE

Tabella 1 Descrizione delle diverse classi in funzione dei gruppi di Tipo di suolo (metodo SCS-CN)	11
Tabella 2 Matrice sintetica delle diverse classi in funzione dei tipi di suolo (metodo SCS-CN)	11
Tabella 3 Uso del Suolo - valori del CN	12
Tabella 4 Parametri CPP $T_r=50$ anni	19
Tabella 5 Dettagli rete acque meteoriche attuali	27

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

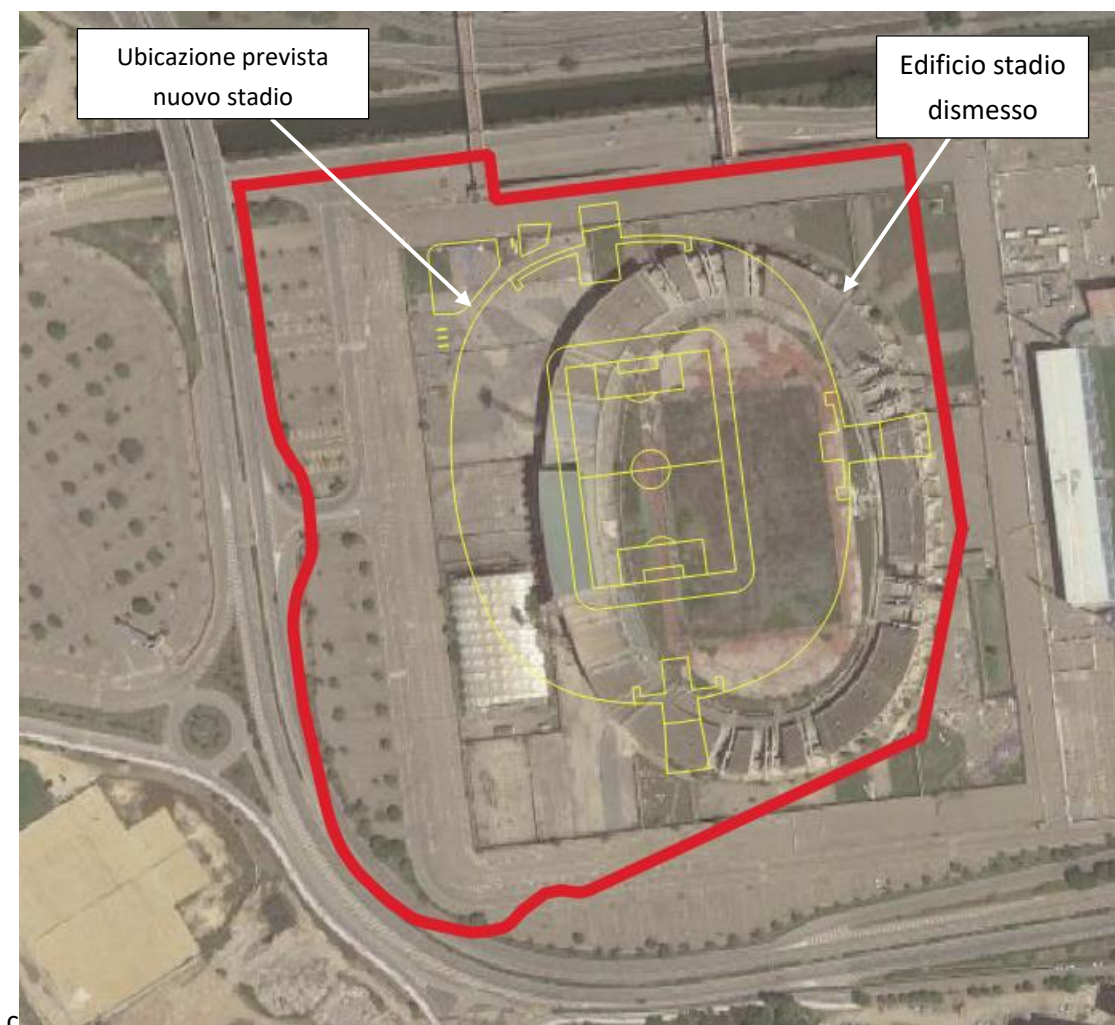


Figura 2 – Ubicazione nuovo stadio in progetto

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 Km², 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, e 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:

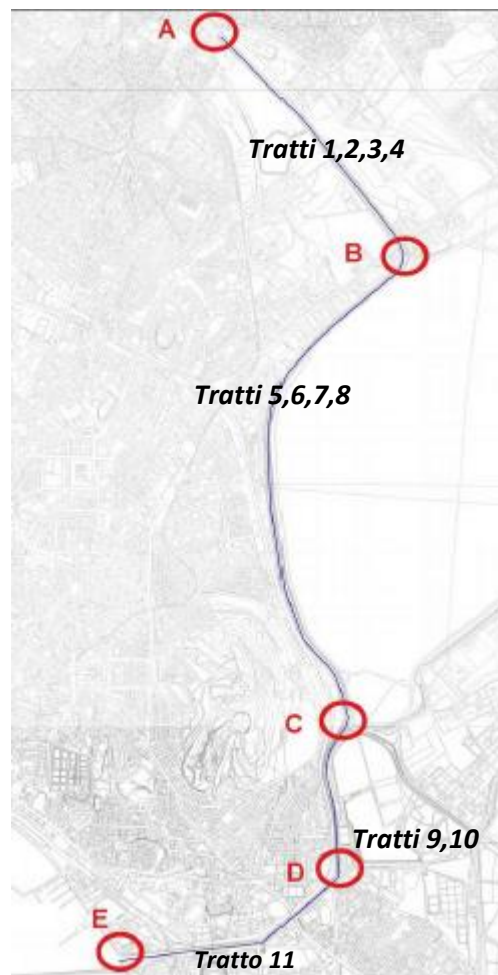
la portata smaltibile va da un minimo di 25 mc/s nel tratto 5 a un massimo di 55 mc/s nel tratto 4 e nei tratti più a valle (tratti 7, 8, 9, 10 e 11) si ha una portata smaltibile più o meno costante pari 35 mc/s;

- 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 m^3		$0 < \text{franco} < 1$	
1.25 m. slm	10 m^3	$0 < \text{franco} < 0.5$		
1.80 m. slm	10 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.

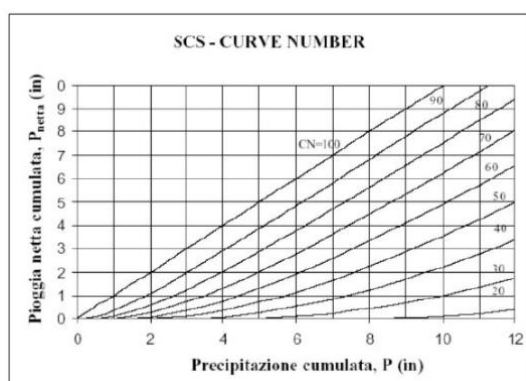


Figura 5 Pioggia netta in funzione del CN

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
A 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 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
C 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
D 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 _{sat} 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
FRUTTETI E FRUTTI MINORI	222	67	78	85	89
OLIVETI	223	72	81	88	91
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI	224	67	78	85	89
PRATI STABILI	231	67	71	81	89
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE A COLTURE PERMANENTI	241	59	74	82	86
SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	242	63	73	82	88
AREE PREVALENTEMENTE OCCUPATE DA COLTURA AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	243	62	71	78	81
AREE AGROFORESTALI	244	45	66	77	83
BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	313	39	51	63	70
AREE A PASCOLO NATURALE	321	67	71	81	89
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
COLTURA IN SERRA	2124	98	98	98	98
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	2411	59	74	82	86
COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNO	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 LATIFOGLIE	3111	39	51	63	70
ARBORICOLTURA CON ESSENZE FORESTALI (LATIFOGLIE)	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 RICOLOZZAZIONE NATURALE	3241	45	55	68	75
AREE A RICOLOZZAZIONE 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 AMC	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.sardegnameoportale.it/webgis2/sardegnameppe/?map=mappetematiche>.

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

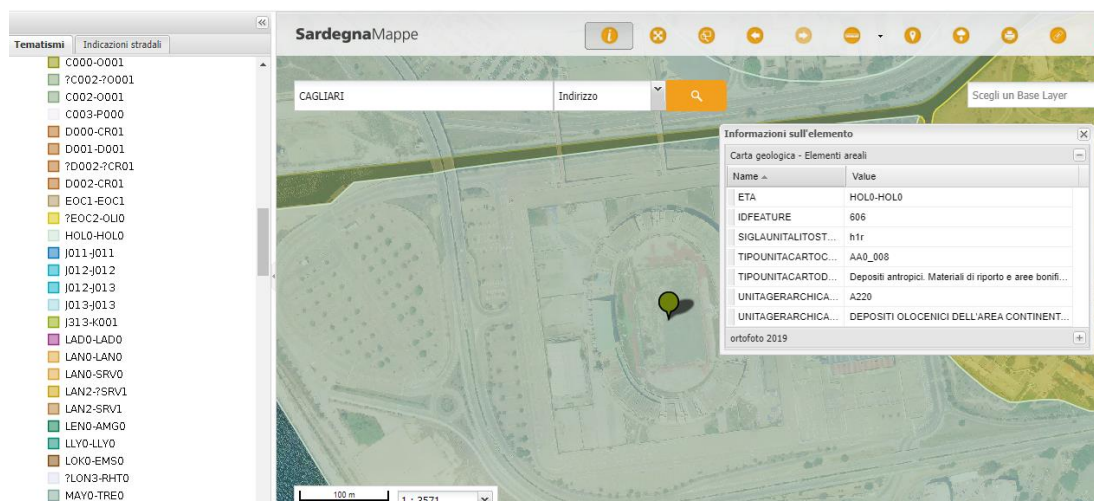
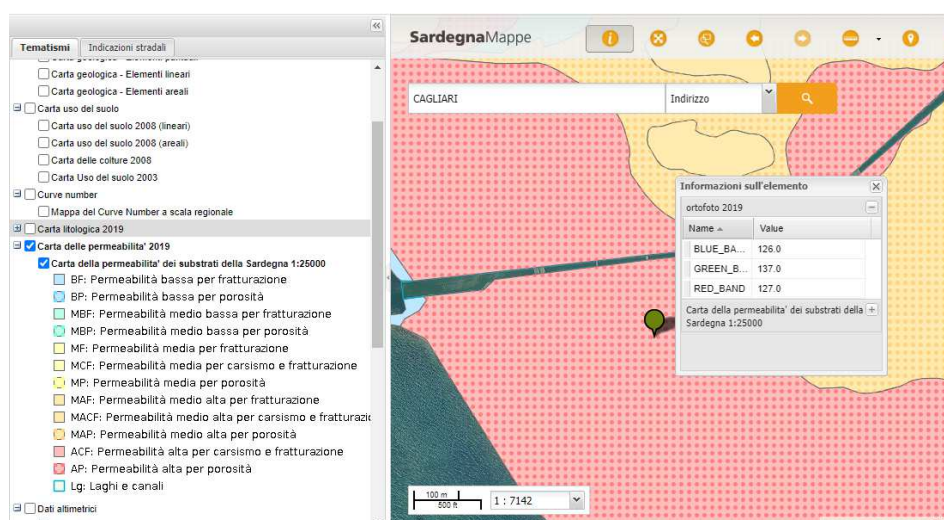


Figura 7 Geologia aree oggetto di intervento (fonte Carta Geologica Regione Sardegna)

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.

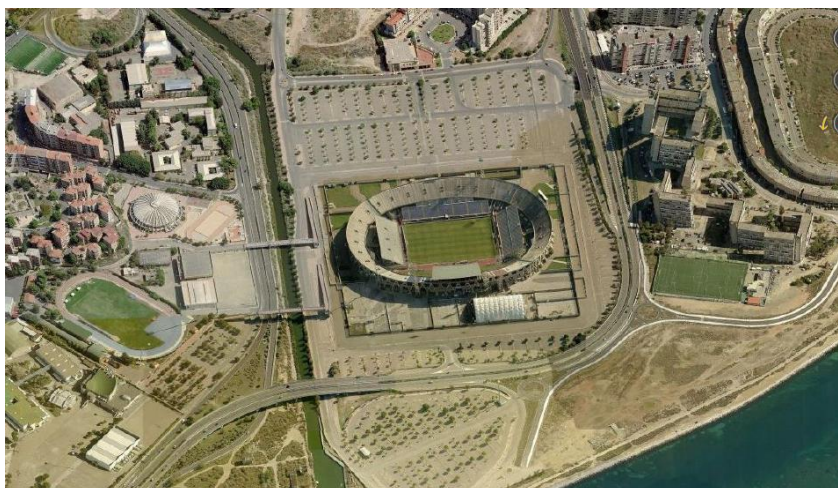
Dalla consultazione della Carta della Permeabilità emerge che l'area dell'intervento è sita su un terreno ad alta permeabilità.



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).

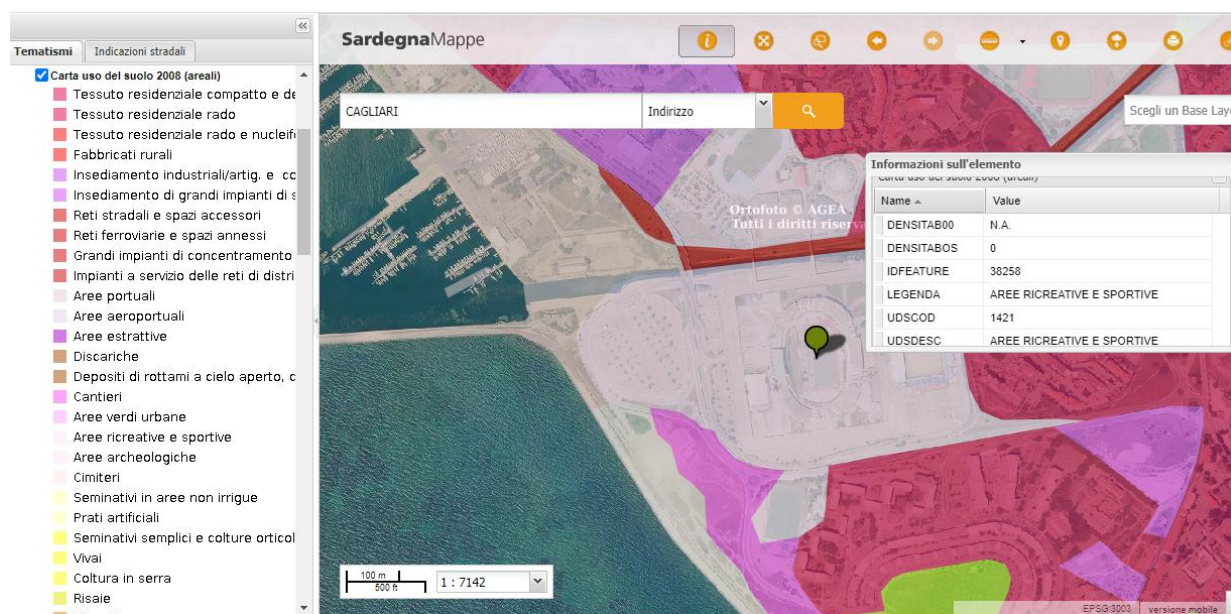
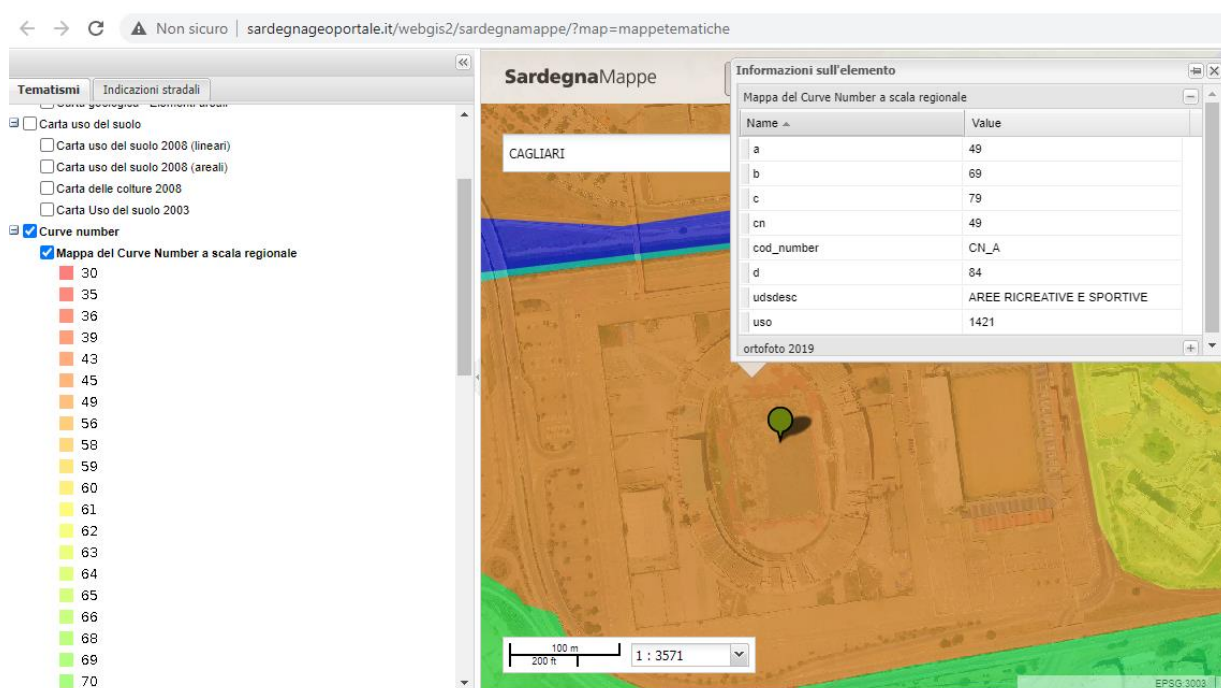


Figura 8 Uso del suolo dell'area oggetto di intervento (fonte Carta Uso del Suolo Regione Sardegna)

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:

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

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

CN(I)	31.7
CN(III)	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 τ (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata τ) 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 μ_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 τ 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 τ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

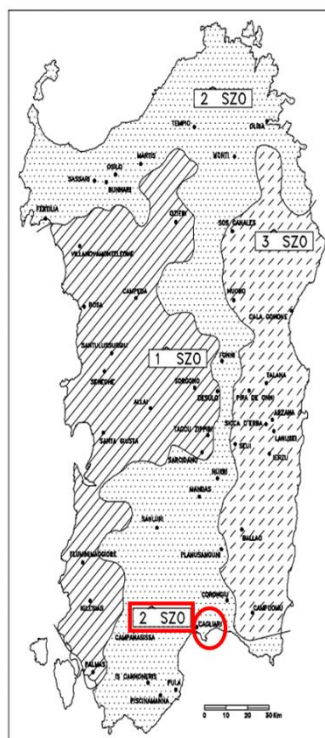


Figura 9 Formulazione curve di possibilità pluviometrica e sottozone Regione Sardegna

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 μ_g pari a 55 mm.

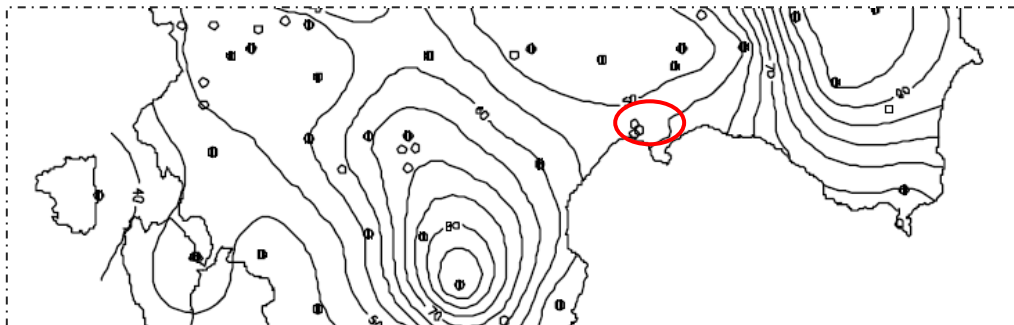


Figura 10 Estratto carte delle isoiete

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.

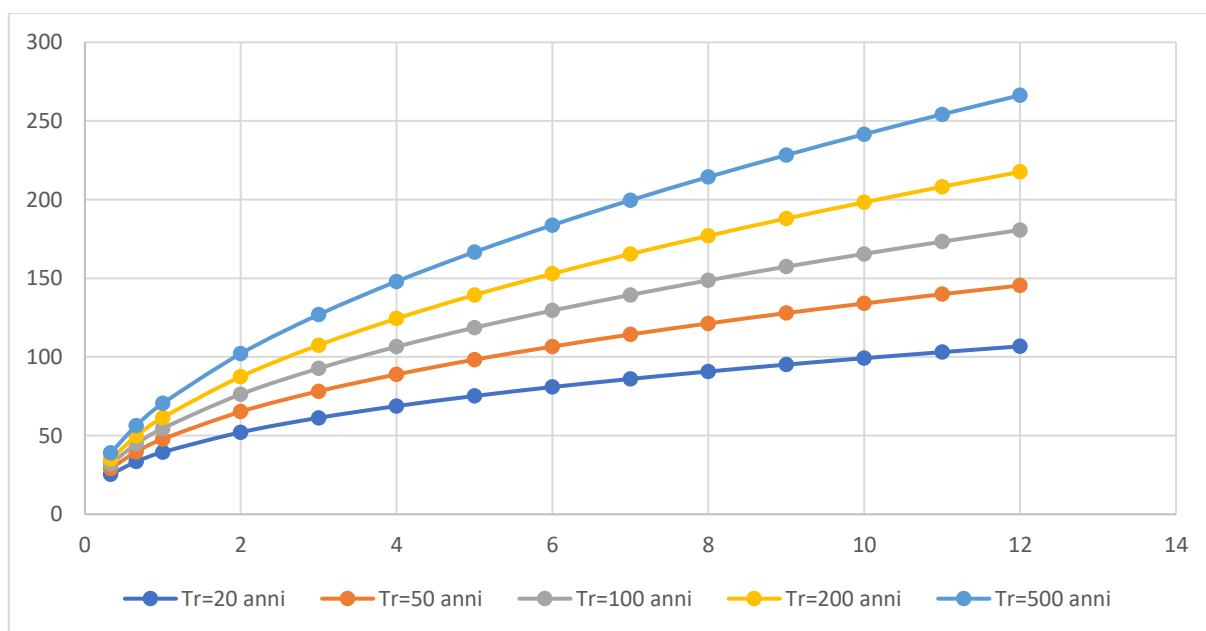


Figura 11 Curve di possibilità pluviometrica

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 μ_g				μ_g	[mm]	55,0
Tempo di ritorno				Tr	[anni]	50
Durata τ dell'evento meteorico				τ	[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

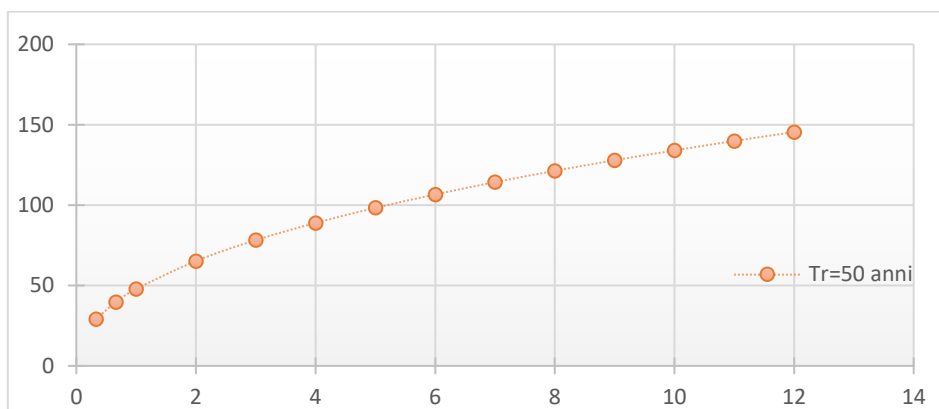


Figura 12 Curve di probabilità pluviometrica

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.

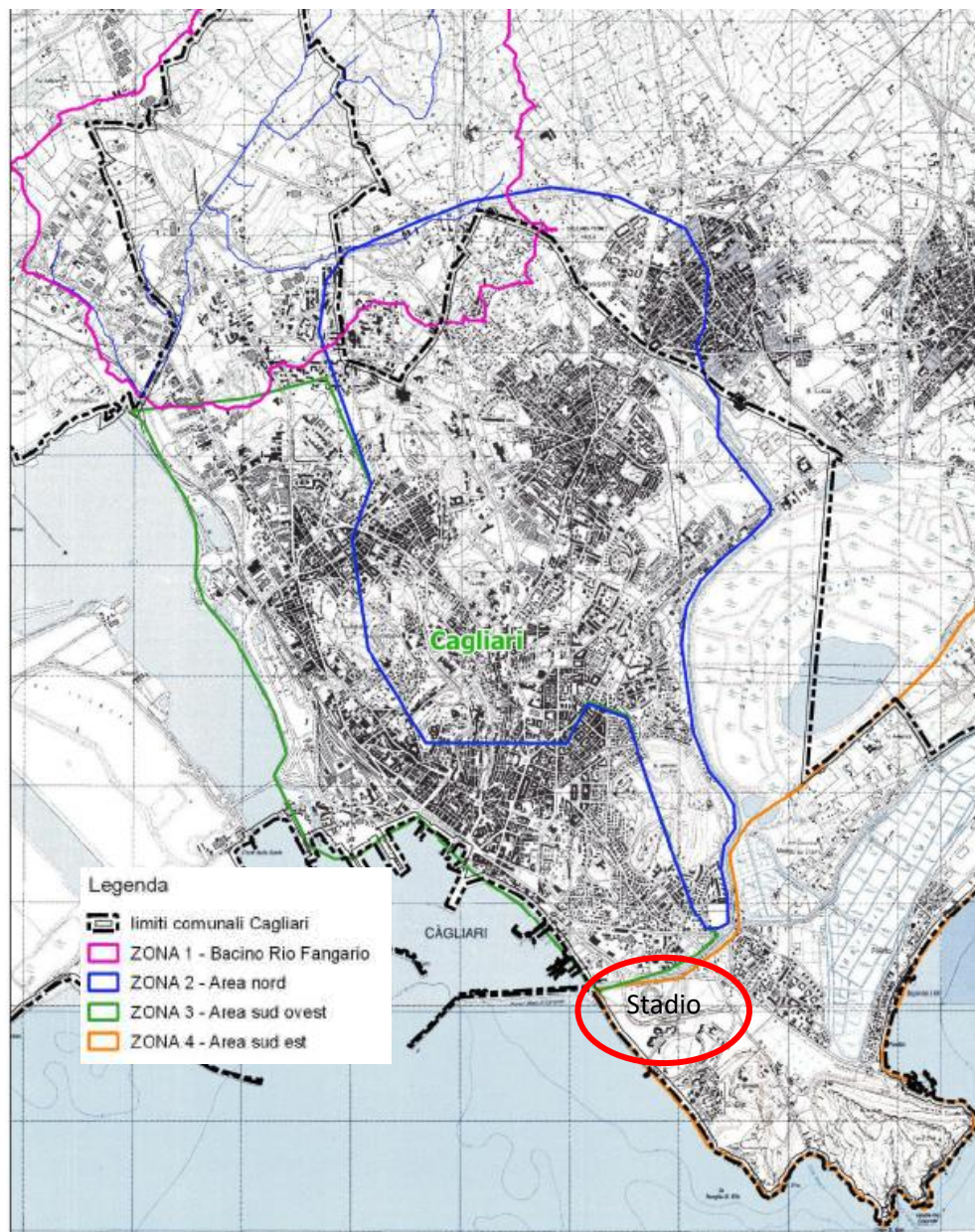


Figura 13 Domini di calcolo utilizzati nelle modellazioni idrologiche e idrauliche

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

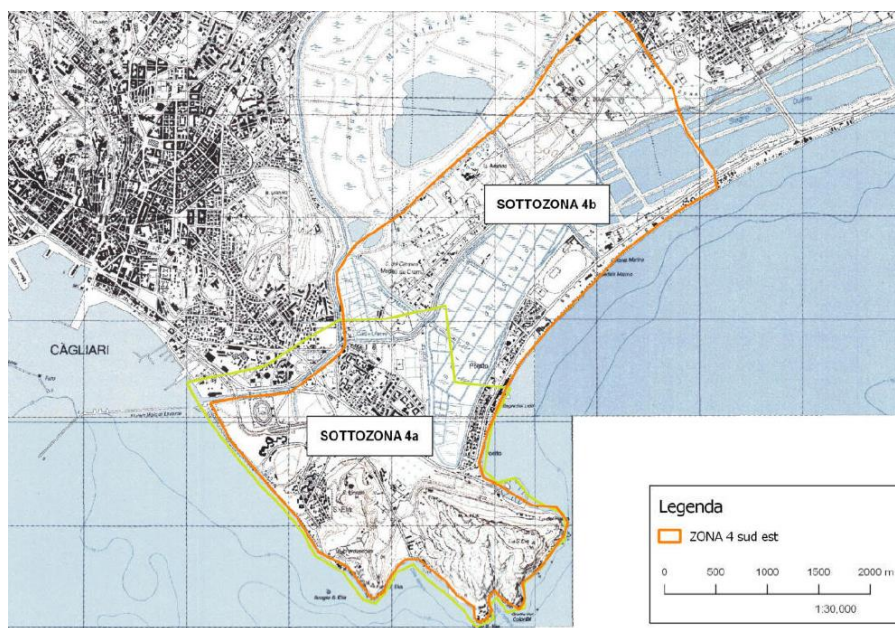


Figura 14 Sottozone della zona 4

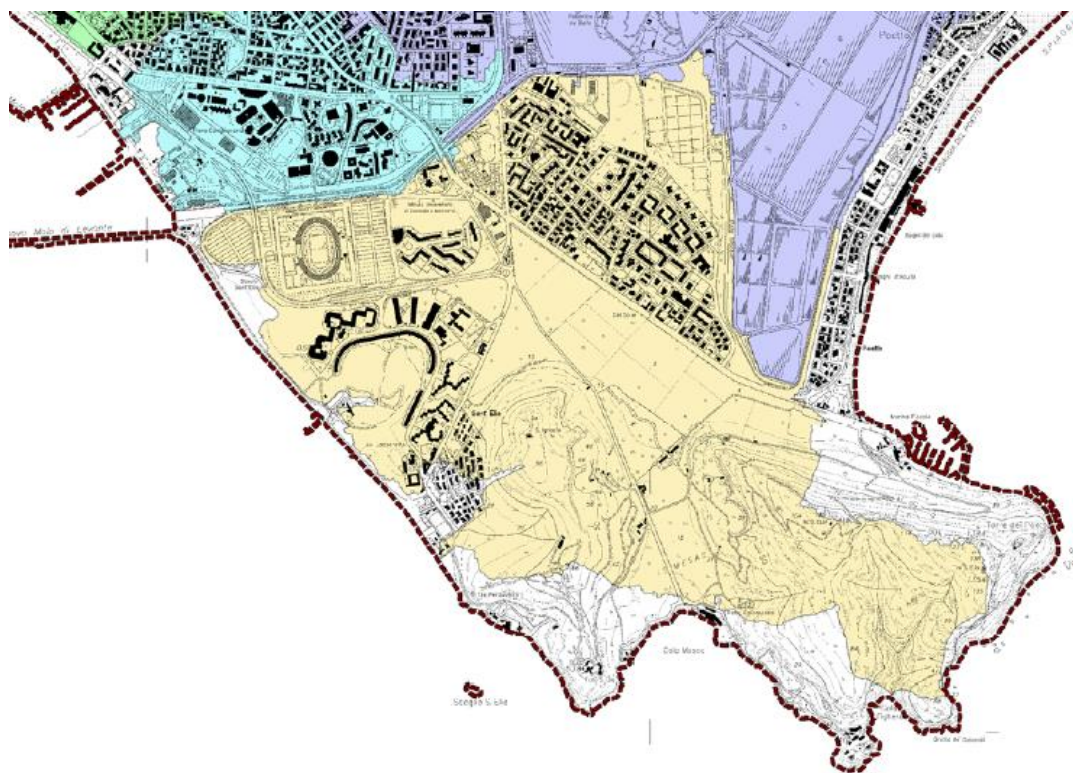


Figura 17: Sottozona 4a

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.

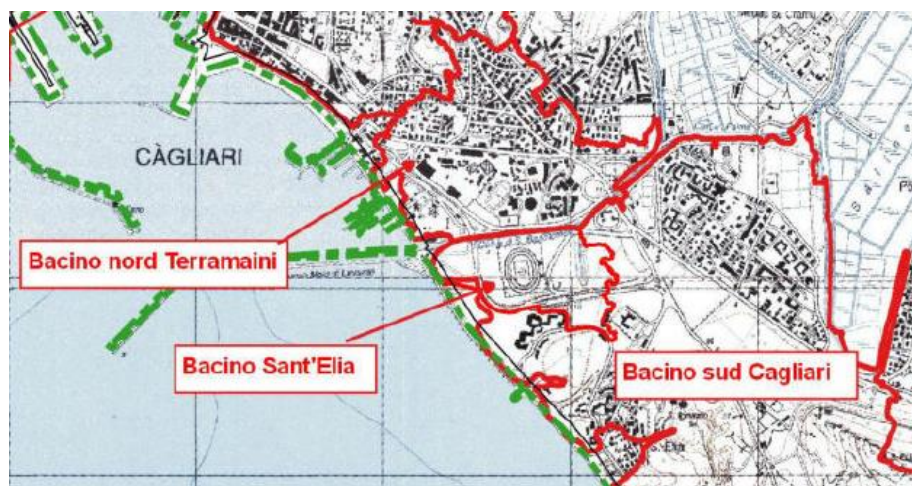


Figura 15 Estratto della carta dei bacini idrografici principali della Città di Cagliari

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 Δt 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.

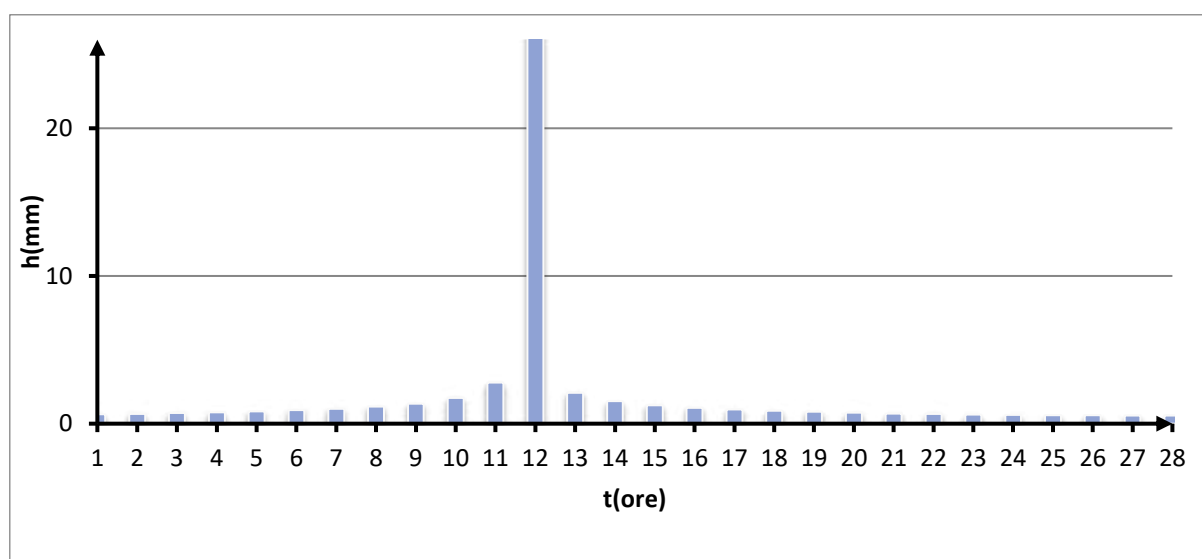


Figura 18 Ietogramma Chicago per Tr=50 anni

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 $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$.

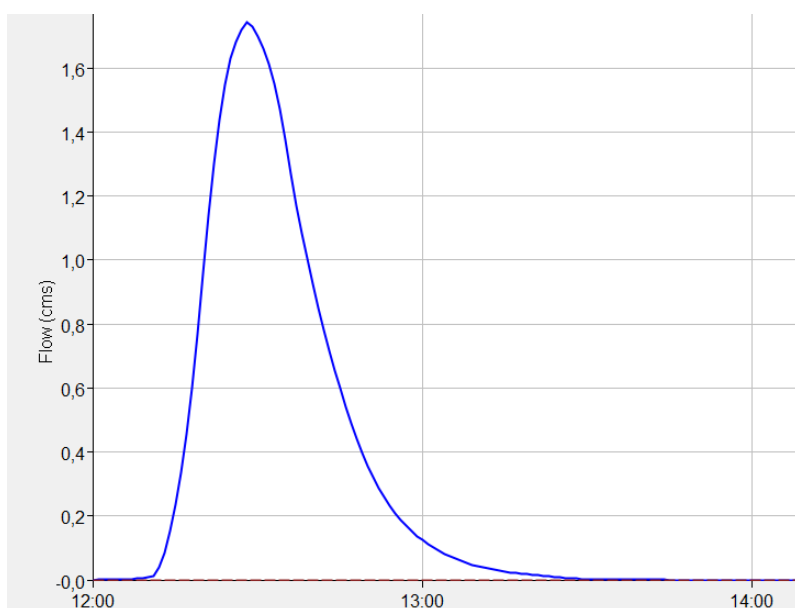


Figura 19 Idrogramma pre - urbanizzazione

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.

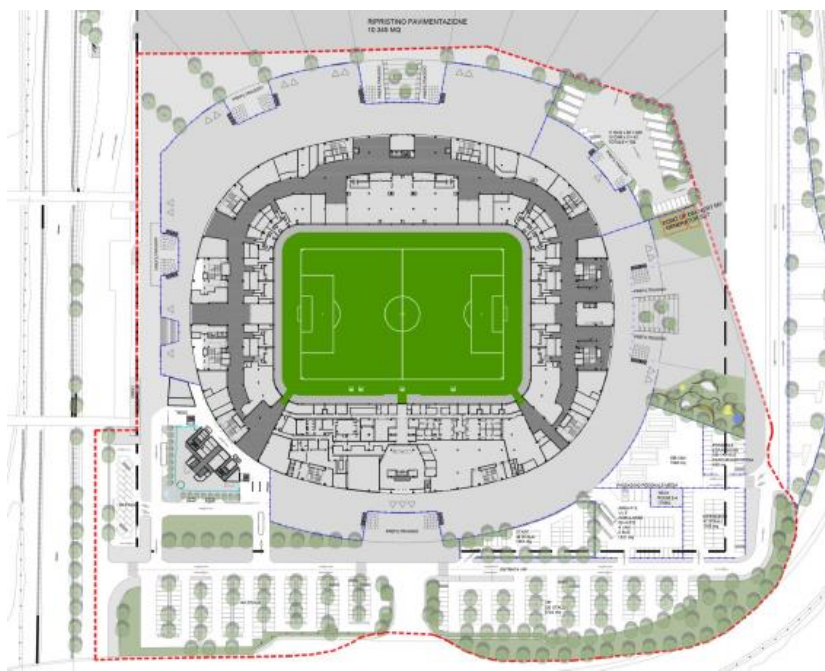


Figura 20 Impronta nuovo stadio

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:

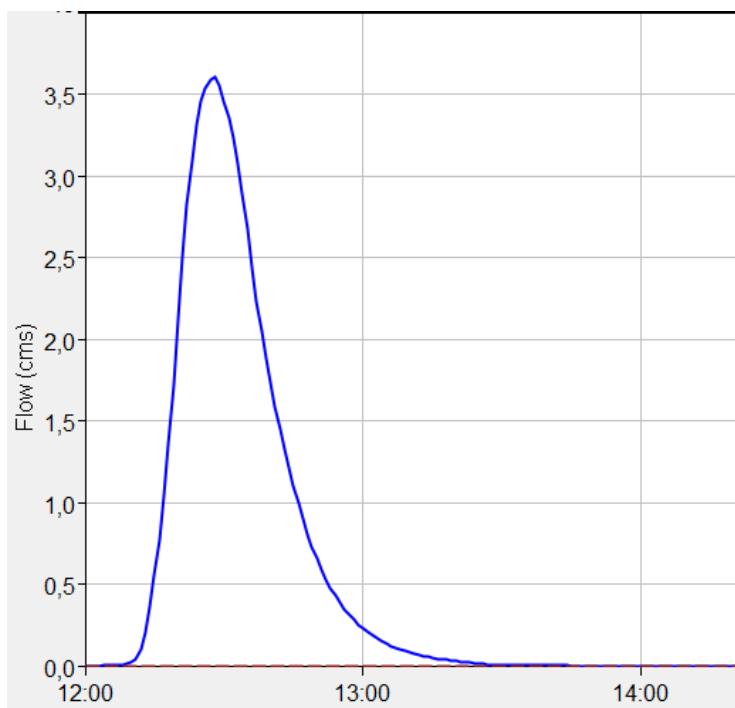


Figura 21 Idrogramma post urbanizzazione

7 RETE DI CONVOGLIAMENTO E ALLONTAMENTO 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 pari a 400 m³.

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 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 m^3 di dimensioni $5.5\text{m} \times 2.5\text{m} \times 2.4\text{m}$.

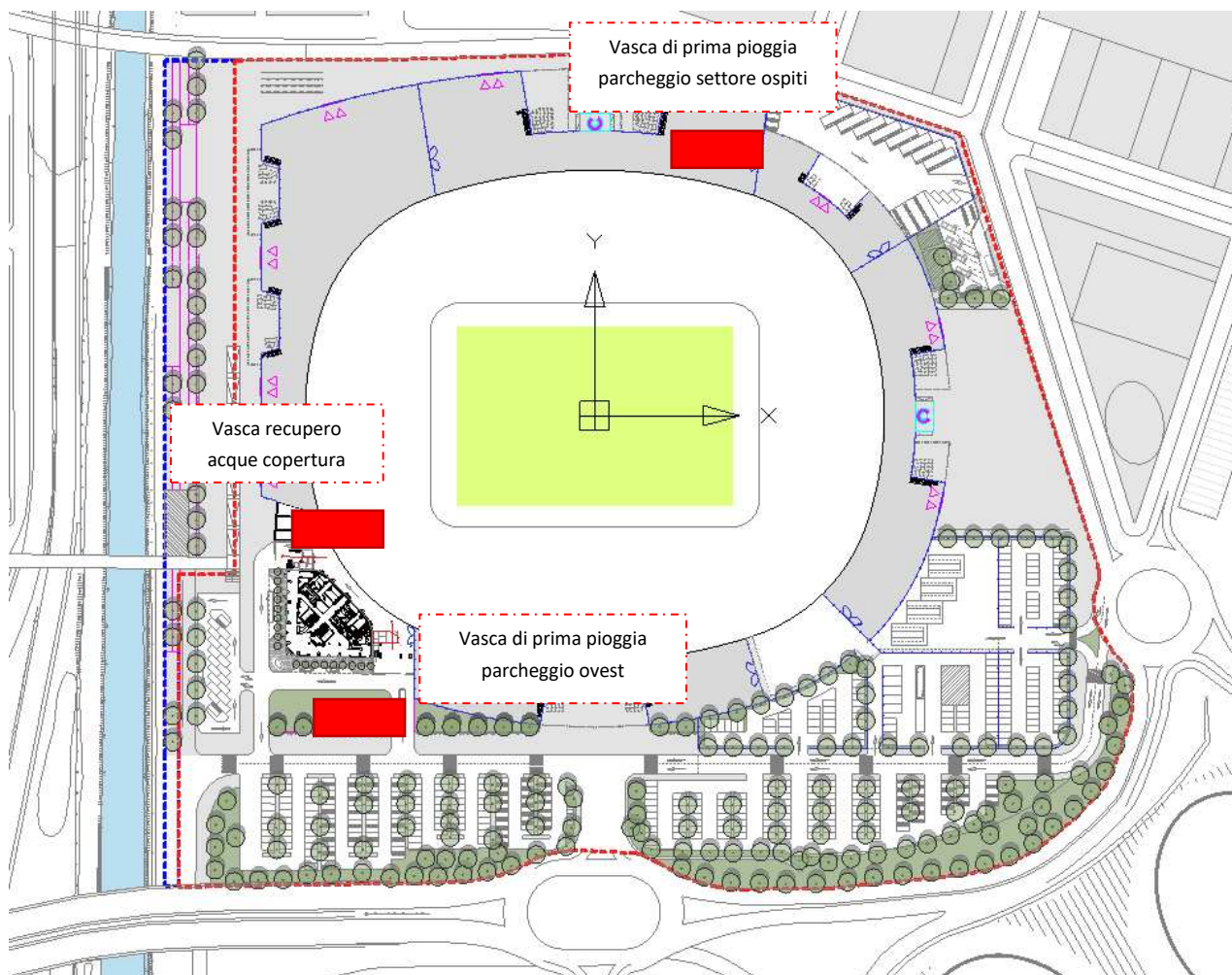


Figura 23 Posizione di massima delle vasche di raccolta acque meteoriche

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

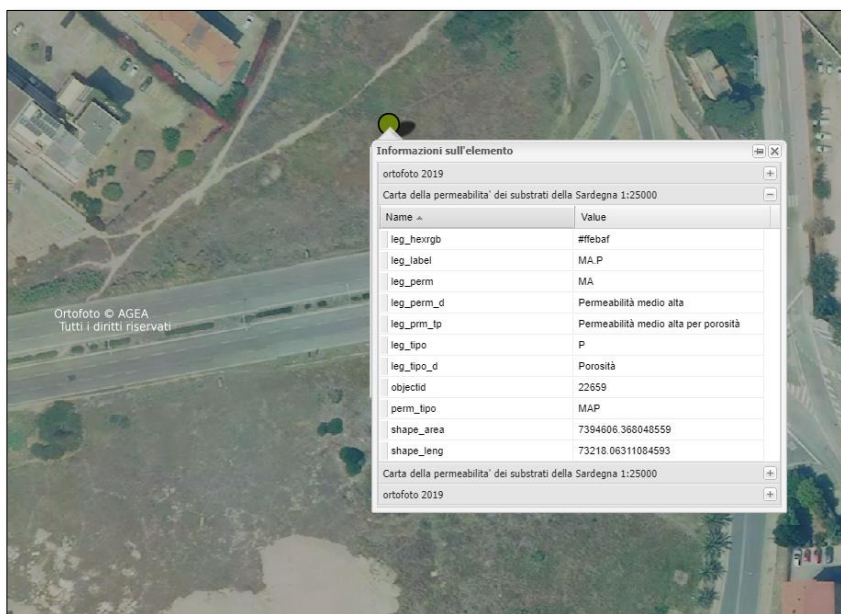
L'area P7 ha un'estensione complessiva di 1660 mq divisi tra pista ciclabile, marciapiede, area parcheggio ed area a verde.

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

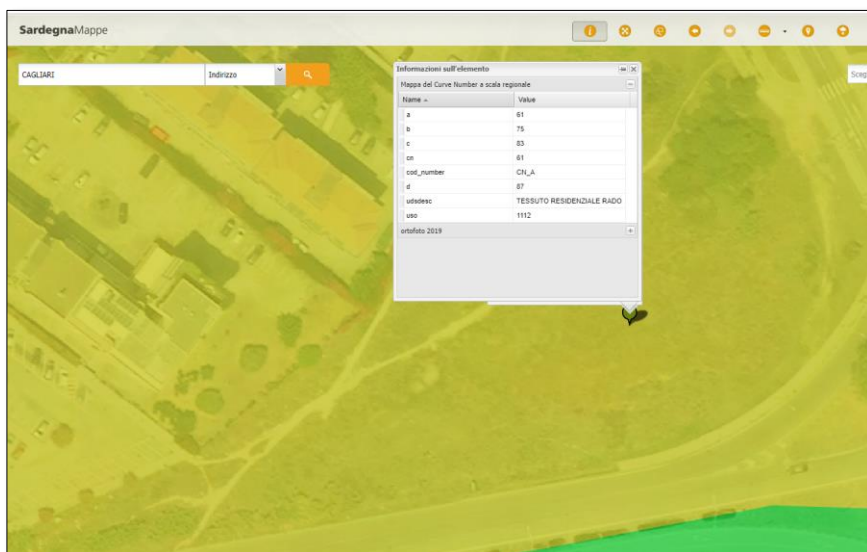
Pertanto per la stima del CN ante operam si è fatto riferimento alle informazioni presenti sul Geoportale Regionale all'indirizzo

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

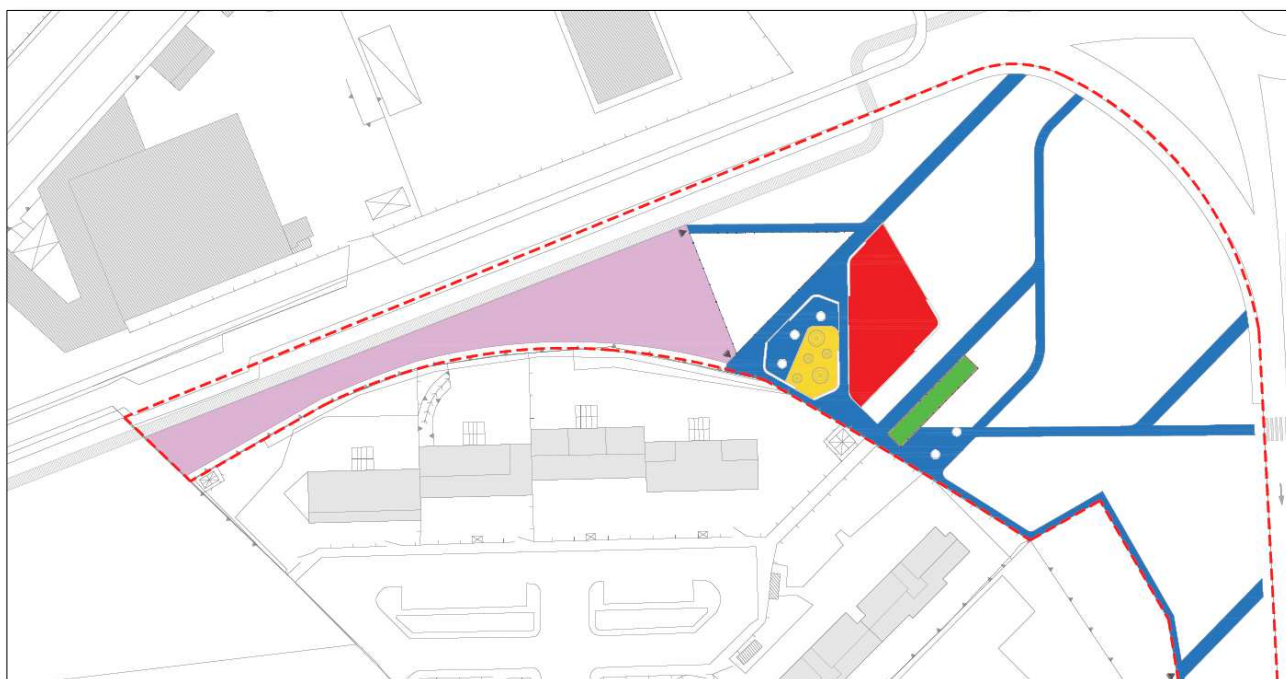
L'area in questione è classificata come a permeabilità medio alta:



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	Cl.s 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 $1.7 \text{ m}^3/\text{s}$ mentre a valle delle trasformazioni in progetto tale portata raggiunge il picco di $3.6 \text{ m}^3/\text{s}$.

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 riutilizzo 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.