

COMMITTENTE:



PROGETTAZIONE:



U.O. COORDINAMENTO DI SISTEMA E PFTE

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA

COLLEGAMENTO FERROVIARIO CON L'AEROPORTO DI OLBIA

RELAZIONE IDROLOGICA

SCALA:

-

COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA PROGR. REV.

RR00 10 R 14 RI ID0001 001 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	Emissione esecutiva	P. Martini	Agosto 2022	M. Villani	Agosto 2022	T. Paoletti	Agosto 2022	G. Ingresso
								Agosto 2022
								ITALFERR S.p.A. COORDINAMENTO DI SISTEMA Dott. Ing. GIULIANA INGROSSO Ordine degli Ingegneri di ROMA N. 20502

File: RR0010R14RIID0001001A

n. Elab.:

INDICE

1	PREMESSA	6
2	DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO	9
3	REGIME PLUVIOMETRICO	10
3.1	ANALISI DEI DATI PLUVIOMETRICI (MODELLO TCEV PER LE PIOGGE)	10
3.2	DETERMINAZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO PER OGNI BACINO	14
3.3	CONCETTI TEORICI	15
3.4	METODO RAZIONALE BASATO SULLA TCEV PER LA DETERMINAZIONE DELLE PORTATE AL COLMO	16
3.5	FATTORE DI CRESCITA REGIONALE (MODELLO VA.PI.)	18
	3.5.1 <i>Il modello probabilistico TCEV</i>	18
	3.5.2 <i>Studi prof. Deidda</i>	20
	3.5.2.1 <i>Modello TCEV per regioni omogenee</i>	20
4	RISULTATI	23
4.1	IL MODELLO PROBABILISTICO TCEV PER REGIONI OMOGENEE	23
	4.1.1 <i>Metodo Regione Sardegna (Regione autonoma della Sardegna, 2014)</i>	23
	4.1.2 <i>Metodo Deidda (Deidda, 2016)</i>	25
4.2	ANALISI LOCALE DELLE PIOGGE	29
4.3	CONFRONTO E SCELTA DEI PARAMETRI DI PROGETTO	30
5	INTERFERENZA IDRAULICHE	31
5.1	PAULE LONGA	31

5.1.1	CALCOLO DELLE PORTATE AL COLMO.....	35
5.1.1.1	Metodo razionale.....	36
5.1.1.2	Metodo SCS-CN con HEC-HMS.....	41
5.1.1.3	Confronto con portate vigenti.....	48
5.1.2	IDROGRAMMI DI PROGETTO.....	50
5.2	CANALE_121.....	53
5.3	FIUME_751.....	54
	BIBLIOGRAFIA.....	59

Indice delle figure

Figura 1	- Inquadramento su ortofoto (Comune di Olbia 2019) dello stato attuale della tratta ferroviaria di interesse. In rosso sono evidenziati gli attraversamenti ferroviari con la rete idrografica superficiale.	8
Figura 2	- Suddivisione della Regione Sardegna in tre Sotto Zone Omogenee (SZO) con inquadramento del comune di Olbia. Fonte: linee guida PAI, 2000.	11
Figura 3	- Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna con inquadramento del comune di Olbia. Fonte: linee guida PAI, 2000.	13
Figura 4	- CPP per durate di pioggia inferiori all'ora.....	24
Figura 5	- CPP per durate di pioggia superiori all'ora.....	25
Figura 6	- Pioggia indice giornaliera m_D da modello TCEV per regioni omogenee (Deidda, 2016).	26
Figura 7	- CPP per durate di pioggia inferiori all'ora.....	28
Figura 8	- CPP per durate di pioggia superiori all'ora.....	29
Figura 9	- Planimetria dei bacini dell'area urbana di Olbia, con evidenziati i bacini dei due fiumi considerati nel presente studio. In viola la tratta ferroviaria esistente Olbia – Golfo Aranci.	32
Figura 10	- Planimetria dei sottobacini del Rio Paule Longa. In viola la tratta ferroviaria Olbia – Golfo Aranci.	34
Figura 11	- Idrogrammi dei vari sottobacini ottenuti con metodo razionale.	41
Figura 12	- Schematizzazione dei bacini in HEC-HMS.	42
Figura 13	- Esempio di ietogramma utilizzato nella modellazione idrologica.	44
Figura 14	- Idrogrammi per tempo di ritorno di 50 anni con diversi tempi di picco.....	45
Figura 15	- Idrogrammi per tempo di ritorno di 100 anni con diversi tempi di picco.....	45
Figura 16	- Idrogrammi per tempo di ritorno di 200 anni con diversi tempi di picco.....	46
Figura 17	- Idrogrammi per tempo di ritorno di 500 anni con diversi tempi di picco.....	46

Figura 18– Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_01 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.....	51
Figura 19 - Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_02 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.	51
Figura 20 – Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_03 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.....	52
Figura 21 – Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_04 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.....	52
Figura 22 – Grafico degli Idrogrammi per il bacino B1_05 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.	53
Figura 23 – Inquadramento planimetrico interferenza con canale_121.	54
Figura 24 – Inquadramento bacino FIUME_751 con sezione di chiusura rappresentata dall'intersezione con la nuova SP24 (NV04).....	55
Figura 25 – Inquadramento planimetrico intersezione FIUME_751 con la nuova SP24 (NV04)	56

Indice delle tabelle

Tabella 1 - Parametri della curva di possibilità climatica (Fonte: Soglie di allerta pluviometriche nella Regione Sardegna, 2014).....	12
Tabella 2 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge di breve durata in Sardegna. Fonte: Rapporto VAPI Sardegna, 1998.	19
Tabella 3 - Parametri statistici dei massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata (Fonte: VAPI Sardegna, 1998).....	19
Tabella 4 - Valori di a e n per i diversi tempi di ritorno considerati e per la Sottozona omogenea 2.	23
Tabella 5 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia inferiori all'ora.	23
Tabella 6 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia superiori all'ora.	24
Tabella 7 - Valori di a e n per TR > 10 anni e Tp ≤ 1 ora.	26
Tabella 8 - Valori di a e n per TR > 10 anni e Tp > 1 ora.	27
Tabella 9 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia inferiori all'ora.	27
Tabella 10 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia superiori all'ora.	28
Tabella 11 - Confronto parametri a e n.....	30
Tabella 12 - Parametri morfometrici dei sottobacini idrografici del R. Paule Longa.....	35
Tabella 13 - Tabella riassuntiva dei tempi di corrivazione calcolati per ogni bacino e con ogni formula considerata.	37

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00 F 14	RI	ID 0001 001	A	5 di 59

Tabella 14 - Tabella riassuntiva delle portate calcolate con il metodo razionale per i diversi tempi di ritorno e i bacini del R. Paule Longa. Le portate sono relative ai bacini cumulati.	39
Tabella 15 - Valori di pioggia media areale sul macrobacino del Paule Longa.....	43
Tabella 16 - Durata critica e portata nella sezione di chiusura subito a monte dell'opera di progetto.	47
Tabella 17 - Tabella riassuntiva delle portate di picco in arrivo alle sezioni di chiusura dei bacini calcolate con il metodo S.C.S.-CN tramite HEC-HMS per i diversi tempi di ritorno e tempi di pioggia pari alle durate critiche.	47
Tabella 18 - Tabella riassuntiva con il confronto tra le portate calcolate con il metodo razionale, quelle calcolate in HEC-HMS, quelle del PAI 2015 vigente e quelle del PAI 2022 in via di approvazione. Le portate si riferiscono ai bacini cumulati.	49
Tabella 19 - Parametri morfometrici del bacino del fiume_751 con sezione di chiusura rappresentata dall'IN14.....	57
Tabella 20 - Tabella dei tempi di corrivazione calcolati per ogni formula considerata.	57
Tabella 21 - Calcolo della portata di picco con il metodo razionale e SCS	58

1 PREMESSA

L'aeroporto di Olbia Costa Smeralda, individuato come aeroporto di interesse nazionale (DPR 201/2015), non è attualmente connesso alla rete ferroviaria.

Il Piano Nazionale di Ripresa e Resilienza individua la realizzazione del collegamento ferroviario dell'aeroporto di Olbia tra gli investimenti di potenziamento, elettrificazione e aumento della resilienza delle ferrovie nel Sud finalizzati ad aumentare la competitività e la connettività del sistema logistico intermodale e migliorare l'accessibilità ferroviaria di diverse aree urbane del Mezzogiorno.

L'intervento consiste nella realizzazione di un nuovo tratto di linea per il collegamento tra l'Infrastruttura Ferroviaria Nazionale e l'Aeroporto di Olbia Costa Smeralda. L'opera, oltre a intercettare i flussi prettamente stagionali da/per l'aeroporto, aiuterà ad intercettare gli spostamenti sistematici che gravitano nell'Area di Studio costituita dai Comuni di Olbia e Golfo Aranci.

L'aeroporto di Olbia Costa Smeralda, gestito dalla società GE.A.SAR. S.p.A., è posizionato a circa 4 km a sud dal centro di Olbia.

Il progetto prevede la realizzazione di una linea a semplice binario di circa 3,4 km che colleghi la stazione di Olbia Terranova e l'aeroporto di Olbia Costa Smeralda.

Una volta attivato, questo collegamento garantirà una frequenza minima oraria (1 treno/h) per senso di marcia sulla relazione Olbia Terranova - Olbia Aeroporto.

Il perimetro della presente progettazione comprende i seguenti interventi:

- Nuova stazione Aeroporto Costa Smeralda;
- Bivio Micaleddu: bretella di collegamento tra la nuova linea per l'aeroporto e la linea esistente in direzione Ozieri – Chilivani.

Sono previsti alcuni interventi presso la stazione di Olbia Terranova funzionali alla realizzazione del nuovo collegamento con l'aeroporto di Olbia, questi interventi sono correlati alla presente progettazione, ma oggetto di altro appalto.

Il progetto di fattibilità tecnico economica vede un tracciato che si sviluppa per circa 3,4 km in semplice binario. Il collegamento con la linea esistente avviene mediante un bivio in direzione Olbia Terranova, localizzato alla fine dell'attuale centro abitato di Olbia, e mediante un bivio in località Micaleddu, così da

garantire anche il collegamento della nuova linea con la linea esistente in direzione Sassari-Chilivani. Il tracciato presenta inizialmente uno sviluppo in rilevato, per proseguire in galleria per circa 450m, la galleria termina dopo il passaggio sotto la SS729. Procedendo in direzione aeroporto è presente un viadotto di circa 900m che permette di arrivare sempre in viadotto in prossimità dell'aeroporto.

La stazione prevista in aeroporto presenterà due binari di servizio in viadotto, la soluzione sopraelevata permette di ridurre l'impronta a terra della stazione, riducendo l'impatto sulle aree aeroportuali. I marciapiedi di banchina presentano un'estensione di circa 200m e saranno coperti da pensiline.

La nuova linea non è elettrificata, ma presenterà le caratteristiche tecniche necessarie ad una futura elettrificazione (con altro appalto).

La presente relazione è parte integrante del PFTE di collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia. Obiettivo della presente relazione è lo studio idrologico delle aree interessate dagli interventi in progetto, propedeutico alla risoluzione delle interferenze idrauliche e al dimensionamento della rete di smaltimento delle acque di piattaforma (ferroviaria e stradale), nonché alle valutazioni in merito al rispetto dei principi della invarianza idraulica. In sintesi, il presente studio idrologico si articola nelle seguenti fasi:

- Definizione dei parametri pluviometrici di progetto per eventi di pioggia di durata superiore e inferiore all'ora. I parametri pluviometrici assunti a base del dimensionamento delle opere idrauliche in progetto sono quelli risultati più cautelativi in esito al confronto tra diverse metodologie, riportate in dettaglio nei seguenti capitoli 3 e 4;
- Censimento delle interferenze con il reticolo idraulico esistente;
- Individuazione delle sezioni di chiusura significative ai fini dello studio;
- Perimetrazione dei bacini idrografici e valutazione delle caratteristiche morfometriche;
- Determinazione delle portate al colmo per i bacini oggetto dello studio.

In figura 1 è mostrato un inquadramento a grande scala del reticolo idrografico e degli interventi in progetto.

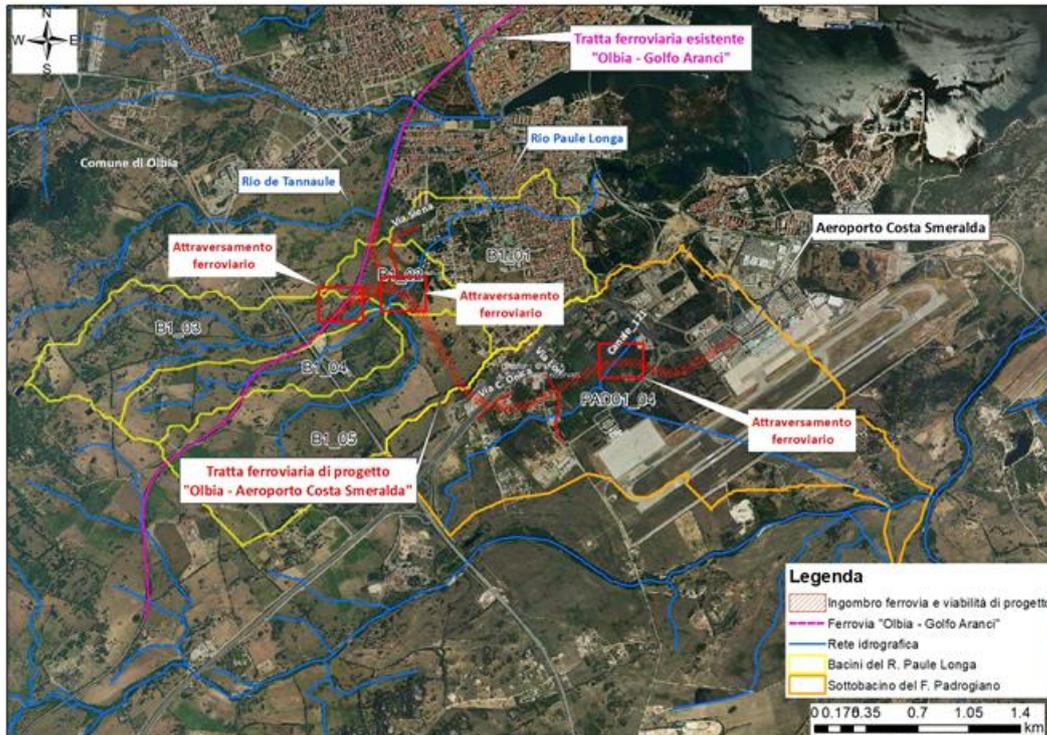


Figura 1 - Inquadramento su ortofoto (Comune di Olbia 2019) dello stato attuale della tratta ferroviaria di interesse. In rosso sono evidenziati gli attraversamenti ferroviari con la rete idrografica superficiale.

	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR00	LOTTO 00 F 14	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 9 di 59

2 DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Viene richiamata di seguito la principale documentazione di riferimento utilizzata nel lavoro:

- Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato Lavori Pubblici, "Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia (DL. 180 e Legge 267 del 03-08-1998) – Linee Guida", (Regione Autonoma della Sardegna, Mancini, & Salis, 2000);
- Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato Lavori Pubblici, "Linee Guida per la Redazione del Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali - Integrazioni Metodologiche", Mancini M., Tilocca G., Cagliari, Settembre 2006;
- Regione Autonoma della Sardegna, Università degli Studi di Cagliari, "Linee Guida per la redazione degli studi comunali dei bacini urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale – Relazione Metodologica per la modellazione idraulica bidimensionale", Università degli Studi di Cagliari, DICAR, 2021;
- Testo Unico 25 luglio 1904, n.523;
- Circolare 20Marzo 1986 N.27291 del Ministero dei Lavori Pubblici, Istruzioni relative alla normativa per le tubazioni, di cui al decreto ministeriale 12 dicembre 1985;
- D.P.C.M. 4 Marzo 1996 recante disposizioni in materia di risorse idriche (G.U. 14 marzo 1996, n.62)
- D.Lgs. 3 aprile 2006 n.152 Norme in materia ambientale (G.U. n.88 del 14 aprile 2006 – S.O. n.96; D.M. 17 gennaio 2018 "Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n.42 del 20 febbraio 2018 – serie generale);
- Circolare 21 gennaio 2019 del Ministero delle infrastrutture e dei trasporti, istruzione per l'applicazione dell'"Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018 (G.U. n.35 del 11 febbraio 2019 – Serie Generale);

	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR00	LOTTO 00 F 14	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 10 di 59

3 REGIME PLUVIOMETRICO

L'obiettivo della caratterizzazione del regime delle precipitazioni intense è quello di definire la relazione che lega la durata e l'altezza di pioggia cumulata di un evento meteorico alla frequenza con cui è probabile che l'evento si ripeta nel tempo.

Ai fini di questa analisi, è stato ricostruito lo stato delle conoscenze attraverso l'esame degli studi esistenti e sono state analizzate le registrazioni di pioggia disponibili.

Per comprendere le analisi e le considerazioni esposte nel seguito, è utile un richiamo dei concetti teorici su cui si basano questo tipo di elaborazioni.

3.1 Analisi dei dati pluviometrici (Modello TCEV per le piogge)

L'analisi dei dati pluviometrici per la determinazione dell'altezza di pioggia seguirà la metodologia descritta nelle linee Guida e nelle NTA del PAI elaborate dalla Regione Sardegna. La determinazione dell'altezza di pioggia si basa sulla Curva Possibilità Pluviometrica (CPP), che individua l'altezza di pioggia a prefissata durata e probabilità di accadimento (tempo di ritorno), viene valutata tramite la procedura VAPI indicata nelle Linee Guida del PAI.

Per la determinazione delle CPP verrà fatto riferimento alle informazioni ed agli studi più recenti elaborati dalla Regione Sardegna e che costituiscono il riferimento normativo per la valutazione delle Soglie di Allerta pluviometriche (Regione autonoma della Sardegna, 2014).

La CPP viene ricavata dall'analisi regionale condotta sulle precipitazioni intense di breve durata per le circa 200 stazioni con almeno quaranta anni di osservazione a partire dal 1922.

La metodologia regionale di calcolo delle CPP si basa sull'inferenza statistica del modello TCEV della variabile aleatoria adimensionale h' che rappresenta il massimo annuale di pioggia per assegnata durata, d , normalizzato rispetto alla media $\bar{h}(d)$.

$$h' = \frac{h(d)}{\bar{h}(d)}$$

L'equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata è per ciascun tempo di ritorno, T:

$$h'(T) = a \cdot d^n$$

dove a ed n sono i parametri della curva, dipendenti dal tempo di ritorno e definiti in funzione di tre Sotto Zone Omogenee (SZO) della Sardegna, per durate maggiori e minori dell'ora e tempi di ritorno maggiori e minori di 10 anni.

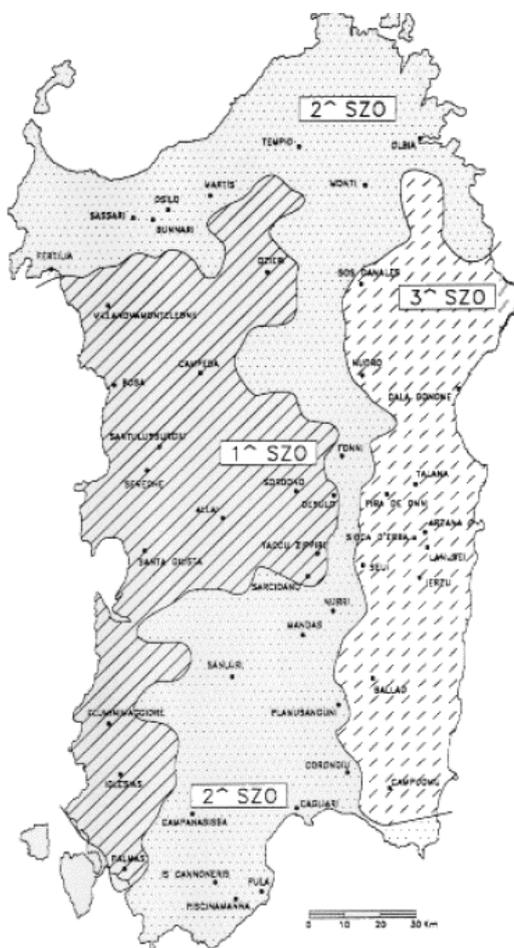


Figura 2 - Suddivisione della Regione Sardegna in tre Sotto Zone Omogenee (SZO) con inquadramento del comune di Olbia. Fonte: linee guida PAI, 2000.

I valori specifici di a ed n per tale Sotto Zona Omogenea si ricavano in base al tempo di ritorno ed in particolare:

per tempi di ritorno inferiori o uguali a 10 anni, si adotta un'unica espressione monomia valida per tutte le durate del tipo

$$h'(d) = a_1 d^{n_1}$$

dove per la SZO 2 (all'interno della quale ricadono tutti i bacini oggetto di studio) i valori di a_1 e n_1 si ricavano dalle seguenti espressioni:

$$a_1 = 0.64597 + 0.89777 \text{Log} T$$

$$n_1 = -5.6073 \times 10^{-3} + 7.0047 \times 10^{-4} \text{Log} T$$

per tempi di ritorno maggiori di 10 anni si utilizzano invece le espressioni riportate nella seguente tabella:

Tabella 1 - Parametri della curva di possibilità climatica (Fonte: Soglie di allerta pluviometriche nella Regione Sardegna, 2014).

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata >1 ora
Sottozona 1	$a=0.46420+1.0376*\text{Log}(T)$	$a=0.46420+1.0376*\text{Log}(T)$
	$n=-0.18488+0.22960*\text{Log}(T)-3.3216*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-1.0469*10^{-2}-7.8505*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 2	$a=0.43797+1.0890*\text{Log}(T)$	$a=0.43797+1.0890*\text{Log}(T)$
	$n=-0.18722+0.24862*\text{Log}(T)-3.36305*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-6.3887*10^{-3}-4.5420*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 3	$a=0.40926+1.1441*\text{Log}(T)$	$a=0.40926+1.1441*\text{Log}(T)$
	$n=-0.19060+0.264438*\text{Log}(T)-3.8969*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=1.4929*10^{-2}+7.1973*10^{-3}*\text{Log}(T)$

La pioggia media per le diverse durate, anche detta pioggia indice $\bar{h}(d)$, è funzione della pioggia media giornaliera \bar{h}_g , secondo l'espressione:

$$\bar{h}(d) = \frac{\bar{h}_g}{0.886 * 24^{(-0.493+0.476 \text{Log}(\bar{h}_g))}} * d^{(-0.493+0.476 \text{Log}(\bar{h}_g))}$$

dove \bar{h}_g è ricavabile dalla seguente mappa fornita dalle linee guida PAI (Figura 3):

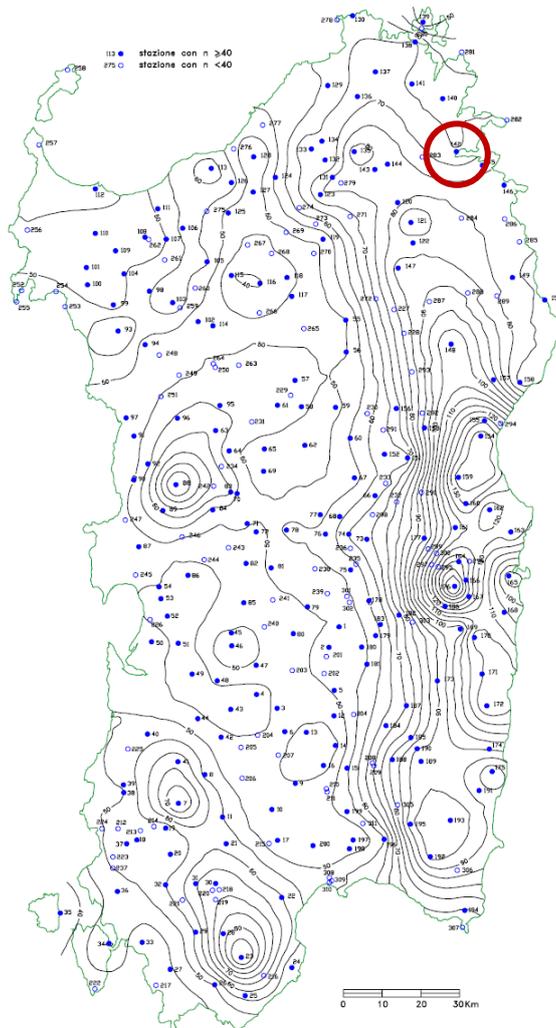


Figura 3 - Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna con inquadramento del comune di Olbia. Fonte: linee guida PAI, 2000.

Nota quindi la pioggia indice $\bar{h}(d)$, è possibile ricavare la pioggia massima per assegnata durata (lorda) con la seguente espressione:

$$h(d) = h'(d) \cdot \bar{h}(d)$$

Quella determinata è la pioggia lorda critica h con tempo di ritorno T anni, ma per stimare la portata con il Metodo Razionale occorre la cosiddetta pioggia netta h_{netta} che può essere valutata con la formula:

$$h_{netta} = \Phi h = \frac{(h - I)^2}{(h + S - I)}$$

dove:

S (in mm) è l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

CN Curve Number

la è l'assorbimento iniziale legato ad S dalla relazione:

$$la = 0.2 \cdot S$$

Considerato l'uso del suolo e il tipo di suolo e ponendoci nelle condizioni più critiche di AMC III si determina il CN quindi S , I e $h_{netta} = \Phi \cdot h$:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{(0.427 + 0.00573 \cdot CN_{II})}$$

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h}$$

3.2 Determinazione della pioggia di progetto per ogni bacino

Al fine di spazializzare le precipitazioni, la pioggia lorda stimata con la procedura descritta al Paragrafo

3.1 dev'essere raggugiata all'area tramite un coefficiente moltiplicativo α , detto coefficiente di ragguglio delle piogge all'area, ottenuto seguendo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report.

Per bacini con area inferiore a 20 km² il coefficiente di ragguglio r è ottenuto dalla seguente espressione:

$$r = 1 - (0.0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \text{ per } A < 20 \text{ km}^2$$

mentre per bacini con estensione superiore a 20 km²:

$$r = 1 - (0.0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))} \text{ per } A > 20 \text{ km}^2$$

dove, in entrambe le formulazioni, A rappresenta l'area del bacino in km² e d la durata della precipitazione.

3.3 Concetti teorici

Le relazioni che legano la frequenza di accadimento attesa di un evento meteorico con la sua intensità e durata, vengono dette curve *Intensità-Durata-Frequenza* (IDF). La frequenza viene espressa mediante il tempo di ritorno (Tr).

Queste relazioni sono ricavate a partire dalle misurazioni delle precipitazioni di forte intensità che hanno investito un particolare punto del territorio e consistono nella sequenza dei massimi valori delle altezze di pioggia registrati nell'arco di un anno solare, per le varie durate della precipitazione (serie storiche). A partire da una serie storica, è possibile tracciare l'andamento delle altezze di pioggia al variare della frequenza di accadimento. Regolarizzando i dati osservati con una legge opportuna, si arriva a definire il modello di distribuzione probabilistica dei valori estremi di pioggia che caratterizzano quel punto del territorio.

Se invece si mantiene costante il parametro relativo al tempo di ritorno, le curve IDF si riconducono all'espressione dell'altezza cumulata di pioggia (h) al variare della durata (d) dell'evento. Ognuna di queste curve si riferisce a un particolare valore del tempo di ritorno e viene chiamata *Curva di Possibilità Pluviometrica* (CPP).

Le serie storiche più numerose disponibili si riferiscono alle durate di pioggia compresa tra 1 e 24 ore. Per questo intervallo, i dati osservati si possono approssimare in modo sufficientemente accurato da una legge del tipo:

	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR00	LOTTO 00 F 14	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 16 di 59

$$h = a d^n$$

Per determinare i parametri “a” ed “n” si procede regolarizzando prima i dati osservati relativi a una stessa durata di pioggia, utilizzando la legge di distribuzione probabilistica ritenuta più opportuna, e poi con approssimando i valori così ottenuti relativi ad un prestabilito tempo di ritorno. Si tratta di un approccio a scala puntuale ovvero riferito ad un particolare punto del territorio.

Le più recenti tecniche di analisi utilizzano invece un approccio a scala regionale (regionalizzazione statistica) e utilizzano la tecnica della *grandezza indice*. In questo modo le curve IDF sono espresse da una unica relazione che lega tra loro le 3 grandezze idrologiche:

$$h(d) = \mu(d) K_T(T)$$

Il valore indice $\mu(d)$ rappresenta il valore medio con cui il fenomeno intenso si manifesta nell'arco di un anno e dipende dalla durata di pioggia. Questo parametro viene generalmente identificato con la media dei massimi valori annuali appartenenti ad una serie storica. Il fattore di crescita $K_T(T)$ rappresenta il coefficiente moltiplicativo, da applicare al valore indice, per ottenere l'incremento dell'altezza di pioggia all'aumentare del tempo di ritorno T. Gli studi condotti sull'intero territorio italiano hanno dimostrato che i parametri dei modelli di distribuzione probabilistica che definiscono il fattore di crescita possono ritenersi sufficientemente costanti su ampie porzioni del territorio (Zona Omogenea) mentre il valore indice presenta una maggiore variabilità, dipendendo anche da fattori orografici locali, che si amplifica nelle zone montane.

3.4 Metodo Razionale basato sulla TCEV per la determinazione delle Portate al Colmo

La stima della portata di colmo con i **metodi indiretti** come quello razionale con distribuzione TCEV passa attraverso la valutazione della pioggia critica, cioè della pioggia che determina la portata massima, nell'ipotesi approssimata che il tempo di ritorno di un certo evento di pioggia si possa attribuire anche alla portata che esso genera.

La trasformazione Afflussi-Deflussi che consente di passare dalle precipitazioni alle portate fa ricorso al metodo Cinematico e alla cosiddetta “formula razionale” che calcola la portata di piena in base al fenomeno della corrivazione delle particelle liquide.

Per tale formula la pioggia critica è quella di durata pari alla somma del tempo di corrivazione più il tempo di formazione del deflusso superficiale. Quindi se si indica con Q la durata critica si ha:

$$\Theta \equiv T_c + t_f$$

T_c è il tempo di corrivazione del bacino

T_f è il tempo di formazione del deflusso superficiale.

Nota la durata critica Q la formula razionale definisce la portata al colmo relativa ad un certo tempo di ritorno con la relazione:

$$Q = i_{n,r} [\Theta, T_R, r(\Theta, A)] \cdot A$$

che in maniera più esplicita diventa:

$$Q = \frac{\Phi h [\Theta, T_R] r[\Theta, A] A}{\Theta}$$

essendo:

A l'area del bacino in km^2

$h [\Theta, T_R]$ l'altezza di pioggia critica di durata Q e tempo di ritorno T_R

Φ il coefficiente di deflusso

$r(\Theta, A)$ il fattore di ragguglio della precipitazione all'area del bacino

$\Theta \equiv T_c + t_f$ durata critica.

La portata al colmo in una certa sezione che chiude un bacino di area A assegnata e relativa ad un certo tempo di ritorno T_R risulta determinata una volta nota l'altezza di pioggia netta raggugliata, di durata critica Θ , relativa a quel tempo di ritorno T_R e raggugliata all'intero bacino (detta **altezza di pioggia critica** – par. 3.1).

	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR00	LOTTO 00 F 14	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 18 di 59

3.5 Fattore di crescita regionale (Modello VA.PI.)

3.5.1 Il modello probabilistico TCEV

Il modello a doppia componente denominato TCEV (Rossi et al., 1984) ipotizza che i massimi annuali delle precipitazioni o delle portate al colmo non provengano tutti dalla stessa popolazione, ma da due popolazioni distinte, legate a differenti fenomeni meteorologici. Tale ipotesi è, peraltro, giustificata dalla presenza in quasi tutte le serie storiche delle precipitazioni e delle portate al colmo di uno o più valori (outliers) nettamente maggiori degli altri al punto da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione dei rimanenti dati.

La funzione di probabilità cumulata del modello TCEV può essere espressa nella forma:

$$F(x) = e^{-\lambda_1} e^{-x\eta/\mu} - \lambda^* \lambda_1^{1/\theta^*} e^{-x\eta/\mu} \theta^*$$

In questa espressione, $F(x)$ rappresenta la probabilità che l'altezza di pioggia massima annua abbia un valore pari o inferiore ad x ed è legata al tempo di ritorno T espresso in anni dalle relazioni:

$$F(x) = 1 - 1/T; \quad T = 1/(1 - F(x))$$

mentre λ^* , θ^* , λ_1 e μ sono i quattro parametri della distribuzione.

Per la stima dei parametri della distribuzione viene usualmente adottata una procedura di tipo gerarchico. Essa procede attraverso tre successivi livelli di regionalizzazione nel primo dei quali viene ripartito il territorio in esame in una o più Zone Omogenee (ZO) contraddistinte ognuno da valori costanti dei due parametri di λ^* , θ^* , e quindi del coefficiente d'asimmetria. Al secondo livello di regionalizzazione il territorio viene ulteriormente ripartito in Sottozone Omogenee (SZO) con valori costanti del parametro λ_1 e quindi del coefficiente di variazione, mentre al terzo livello vengono stimati in ogni punto del territorio i valori della pioggia indice μ . I valori dei parametri sono usualmente determinati mediante un procedimento iterativo basato sul metodo di massima verosimiglianza.

Al primo livello di regionalizzazione sia per le piogge giornaliere che per quelle brevi ed intense, è stata identificata un'unica ZO comprendente tutto il territorio regionale, nella quale i parametri λ^* e θ^* , valgono: $\lambda^* = 0.5717$ e $\theta^* = 2.207$.

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RR00	00 F 14	RI	ID 0001 001	A	19 di 59

Al secondo livello di regionalizzazione il territorio è stato ripartito in tre SZO con valori dei parametri λ_1 rispettivamente pari a 74.50, 21.20 e 6.68, i cui confini sono indicati nella Figura 3.

Tabella 2 - Parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge di breve durata in Sardegna. Fonte: Rapporto VAPI Sardegna, 1998.

Piogge brevi ed intense	SZO 1	$\Lambda_1 = 74.50$
$\theta^* = 2.207$	SZO 2	$\Lambda_1 = 21.20$
$\Lambda^* = 0.5717$	SZO 3	$\Lambda_1 = 6.68$

Al terzo livello di regionalizzazione la formulazione differisce nel caso si tratti di piogge giornaliere oppure di **piogge brevi ed intense**. Per questo secondo caso, si è visto che i parametri della TCEV dipendono non solo dal tempo di ritorno ma anche dalla durata degli eventi. Analizzando i dati di pioggia di 46 stazioni pluviografiche della Sardegna per le durate di 0.50, 0.75, 1, 3, 6, 12 e 24 ore sono stati stimati col metodo della massima verosimiglianza i parametri λ^* , θ^* e λ_1 , come riportato in **Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**

Tabella 3 - Parametri statistici dei massimi annuali delle altezze di pioggia di diversa durata (Fonte: VAPI Sardegna, 1998).

durata	Λ^*	θ^*	Λ_1		
			1 ^a SZO	2 ^a SZO	3 ^a SZO
30'	0.5717	1.402	12.88	11.78	10.35
45'	0.5717	1.805	17.80	15.11	13.20
60'	0.5717	2.207	26.55	20.85	16.55
3 ore	0.5717	2.207	31.06	27.40	15.31
6 ore	0.5717	2.207	47.39	29.16	12.94
12 ore	0.5717	2.207	45.85	31.57	10.17
24 ore	0.5717	2.207	56.29	27.12	8.07

Anche per le piogge brevi ed intense sono state ricavate delle espressioni approssimate di K_T , funzione della durata d e del tempo di ritorno T . Per tempi di ritorno sino a 10 anni l'andamento di K_T al variare della durata d risulta adeguatamente interpretato in tutto il campo da un'unica espressione monomia del tipo:

$$K_T(T) = a_2 T^{b_2}$$

dove i coefficienti a_2 e b_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti T e t ("Soglie di allerta pluviometriche nella Regione Sardegna", Direzione Generale Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna, Ottobre 2014):

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

$$\text{SZO 1 } a_2 = 0.66129 + 0.85935 \text{ Log}_{10} T ; b_2 = -1.8438 \cdot 10^{-4} - 1.3539 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$$

$$\text{SZO 2 } a_2 = 0.64597 + 0.89777 \text{ Log}_{10} T ; b_2 = -5.6073 \cdot 10^{-3} + 7.0047 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T$$

$$\text{SZO 3 } a_2 = 0.62235 + 0.95656 \text{ Log}_{10} T ; b_2 = -2.4882 \cdot 10^{-2} + 4.5884 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$$

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

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata > 1 ora
Sottozona 1	$a=0.46420+1.0376 \cdot \text{Log}(T)$	$a=0.46420+1.0376 \cdot \text{Log}(T)$
	$n=-0.18488+0.22960 \cdot \text{Log}(T)-3.3216 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n=-1.0469 \cdot 10^{-2}-7.8505 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$
Sottozona 2	$a=0.43797+1.0890 \cdot \text{Log}(T)$	$a=0.43797+1.0890 \cdot \text{Log}(T)$
	$n=-0.18722+0.24862 \cdot \text{Log}(T)-3.36305 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n=-6.3887 \cdot 10^{-3}-4.5420 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$
Sottozona 3	$a=0.40926+1.1441 \cdot \text{Log}(T)$	$a=0.40926+1.1441 \cdot \text{Log}(T)$
	$n=-0.19060+0.264438 \cdot \text{Log}(T)-3.8969 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n=1.4929 \cdot 10^{-2}+7.1973 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$

3.5.2 Studi prof. Deidda

E' stato preso in considerazione lo studio "Evoluzione e progressi negli studi degli eventi estremi di precipitazione in Sardegna" (novembre 2016) in cui il Prof. R. Deidda effettua una disamina delle principali tappe che hanno segnato i progressi nella caratterizzazione delle precipitazioni intense di breve durata in Sardegna. Vengono illustrate le procedure pratiche ed operative proposte nei diversi studi che si sono susseguiti per caratterizzare le curve di possibilità pluviometrica per la Sardegna:

3.5.2.1 Modello TCEV per regioni omogenee

L'approccio *regionale*, basato sulla pioggia indice e la definizione di vaste regioni o zone omogenee, sebbene non privo di difetti, permette di superare queste ambiguità. A tale scopo viene utilizzata la distribuzione TCEV (Gabriele e Fiorentino, 1985) caratterizzata da 4 parametri, che prevede l'identificazione di Zone Omogenee (ZO) nelle quali si possa assumere un unico coefficiente di asimmetria e di kurtosis e quindi l'unicità di due parametri. All'interno delle ZO si ricercano delle SottoZone Omogenee (SZO) nelle quali si possa assumere un unico coefficiente di variazione e quindi

l'unicità del terzo parametro, mentre il quarto parametro viene considerato variabile nello spazio e può essere ricondotto ad esempio ai valori medi.

Il quantile $h_T(\tau)$ delle precipitazioni brevi ed intense di durata τ , corrispondente al tempo di ritorno T , si ottiene dalla seguente espressione monomia:

$$h_T(\tau) = m(\tau) * y_T(\tau) = a \tau^n$$

dove

- $h_T(\tau)$ è l'altezza di precipitazione espressa in *mm*
- $m(\tau)$ è la pioggia indice
- $y_T(\tau)$ è la variabile ridotta adimensionale
- a, n sono i parametri della relazione monomia

Esprimendo la pioggia indice e la variabile ridotta adimensionale in forma monomia, valgono le seguenti relazioni per i parametri a_1, a_2, n_1 e n_2 :

$$\begin{aligned} m(\tau) &= a_1 \tau^{n_1} \\ y_T(\tau) &= a_2 \tau^{n_2} \end{aligned} \quad \rightarrow \quad \begin{aligned} a &= a_1 * a_2 \\ n &= n_1 + n_2 \end{aligned}$$

I parametri relativi alla componente pioggia indice $m(\tau)$ dipendono dalla località di interesse attraverso la pioggia indice giornaliera m_D e si determinano con le seguenti espressioni:

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log_{10} m_D$$

$$a_1 = \frac{m_D}{0.886 * 24^{n_1}}$$

I parametri relativi alla componente variabile ridotta adimensionale $y_T(\tau)$ dipendono dal tempo di ritorno T e dalla sottozona omogenea (SZO) in cui ricade la località in esame. Nello specifico sono state ricavate delle espressioni differenti per tempi di ritorno $T \leq 10$ e $T > 10$ anni, riportate di seguito. Per i tempi di ritorno più grandi, le espressioni del parametro n_2 sono state ulteriormente differenziate per durate inferiori o superiori all'ora.

Per tempi di ritorno $T \leq 10$ anni:	
SZO 1	$a_2 = 0.66105 + 0.85994 \log_{10} T$ $n_2 = -1.3558 * 10^{-4} - 1.3660 * 10^{-2} \log_{10} T$
SZO 2	$a_2 = 0.64767 + 0.89360 \log_{10} T$ $n_2 = -6.0189 * 10^{-3} + 3.2950 * 10^{-4} \log_{10} T$
SZO 3	$a_2 = 0.62408 + 0.95234 \log_{10} T$ $n_2 = -2.5392 * 10^{-2} + 4.7188 * 10^{-2} \log_{10} T$

Per tempi di ritorno $T > 10$ anni:	
SZO 1	$a_2 = 0.46378 + 1.0386 \log_{10} T$ $n_2 = -0.18449 + 0.23032 \log_{10} T - 3.3330 * 10^{-2} (\log_{10} T)^2$ ($\tau \leq 1$ ora) $n_2 = -1.0563 * 10^{-2} - 7.9034 * 10^{-3} \log_{10} T$ ($\tau \geq 1$ ora)
SZO 2	$a_2 = 0.44182 + 1.0817 \log_{10} T$ $n_2 = -0.18676 + 0.24310 \log_{10} T - 3.5453 * 10^{-2} (\log_{10} T)^2$ ($\tau \leq 1$ ora) $n_2 = -5.6593 * 10^{-3} - 4.0872 * 10^{-3} \log_{10} T$ ($\tau \geq 1$ ora)
SZO 3	$a_2 = 0.41273 + 1.1370 \log_{10} T$ $n_2 = -0.19055 + 0.25937 \log_{10} T - 3.8160 * 10^{-2} (\log_{10} T)^2$ ($\tau \leq 1$ ora) $n_2 = 1.5878 * 10^{-2} + 7.6250 * 10^{-3} \log_{10} T$ ($\tau \geq 1$ ora)

Tali coefficienti differiscono lievemente da quelli riportati nelle Linee Guida VAPI della Regione Sardegna (cfr. pag. 20) e conducono a delle stime delle altezze di pioggia differenti, come evidenziato nei risultati.

4 RISULTATI

4.1 Il modello probabilistico TCEV per regioni omogenee

4.1.1 Metodo Regione Sardegna (Regione autonoma della Sardegna, 2014)

In Tabella 4 vengono riportati, per ogni tempo di ritorno considerato, i parametri (a e n) con i quali è possibile ottenere il valore dell'altezza cumulata di pioggia al variare della durata di pioggia. Olbia ricade nella Sottozona omogenea 2.

La Pioggia media giornaliera hg ricavata dalla mappa in Figura 6 è pari a 70 mm.

Tabella 4 - Valori di a e n per i diversi tempi di ritorno considerati e per la Sottozona omogenea 2.

TR	TR>10 e Tp≤1h		TR>10 e Tp>1h	
	a	n	a	n
25	45.52	0.48	45.52	0.37
50	53.14	0.52	53.14	0.37
100	60.75	0.56	60.75	0.37
200	68.36	0.59	68.36	0.37
500	78.43	0.62	78.43	0.37

Tabella 5 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia inferiori all'ora.

Durata [h]	Altezza di pioggia in mm h(d)					
	h medio (d)	h(TR25)	h(TR50)	h(TR100)	h(TR200)	h(TR500)
0.2	12.49	21.03	22.89	24.64	26.36	28.72
0.5	17.78	32.64	36.97	41.19	45.35	50.89
0.8	21.31	40.90	47.28	53.60	59.90	68.23
1	23.22	45.52	53.14	60.75	68.36	78.43

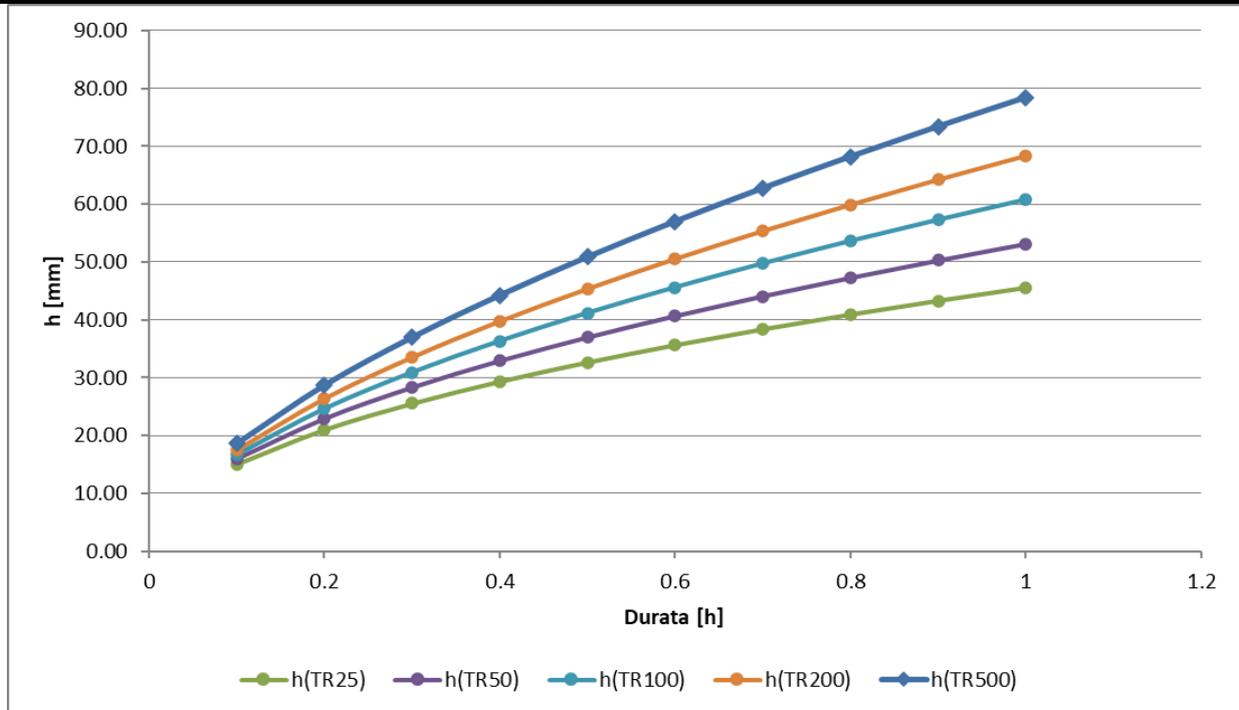


Figura 4 - CPP per durate di pioggia inferiori all'ora.

Tabella 6 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia superiori all'ora.

Durata [h]	Altezza di pioggia in mm h(d)					
	h medio (d)	h(TR25)	h(TR50)	h(TR100)	h(TR200)	h(TR500)
3	35.46	68.55	79.89	91.20	102.47	117.32
6	46.31	88.74	103.33	117.84	132.29	151.27
12	60.49	114.89	133.64	152.27	170.77	195.04
24	79.01	148.73	172.85	196.76	220.46	251.46

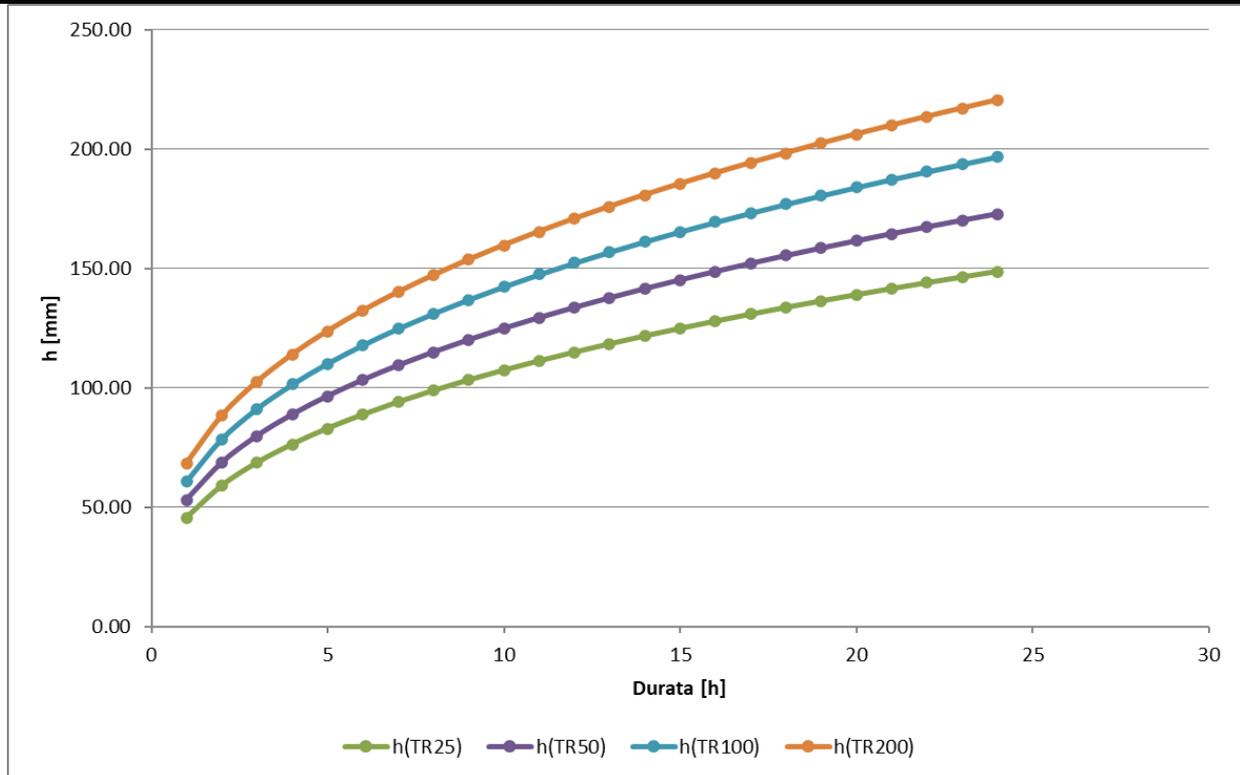


Figura 5 - CPP per durate di pioggia superiori all'ora.

4.1.2 Metodo Deidda (Deidda, 2016)

La zona di interesse ricade nella sottozona omogenea 2 e la Pioggia indice giornaliera m_D da Figura 6 risulta pari a 65 mm.

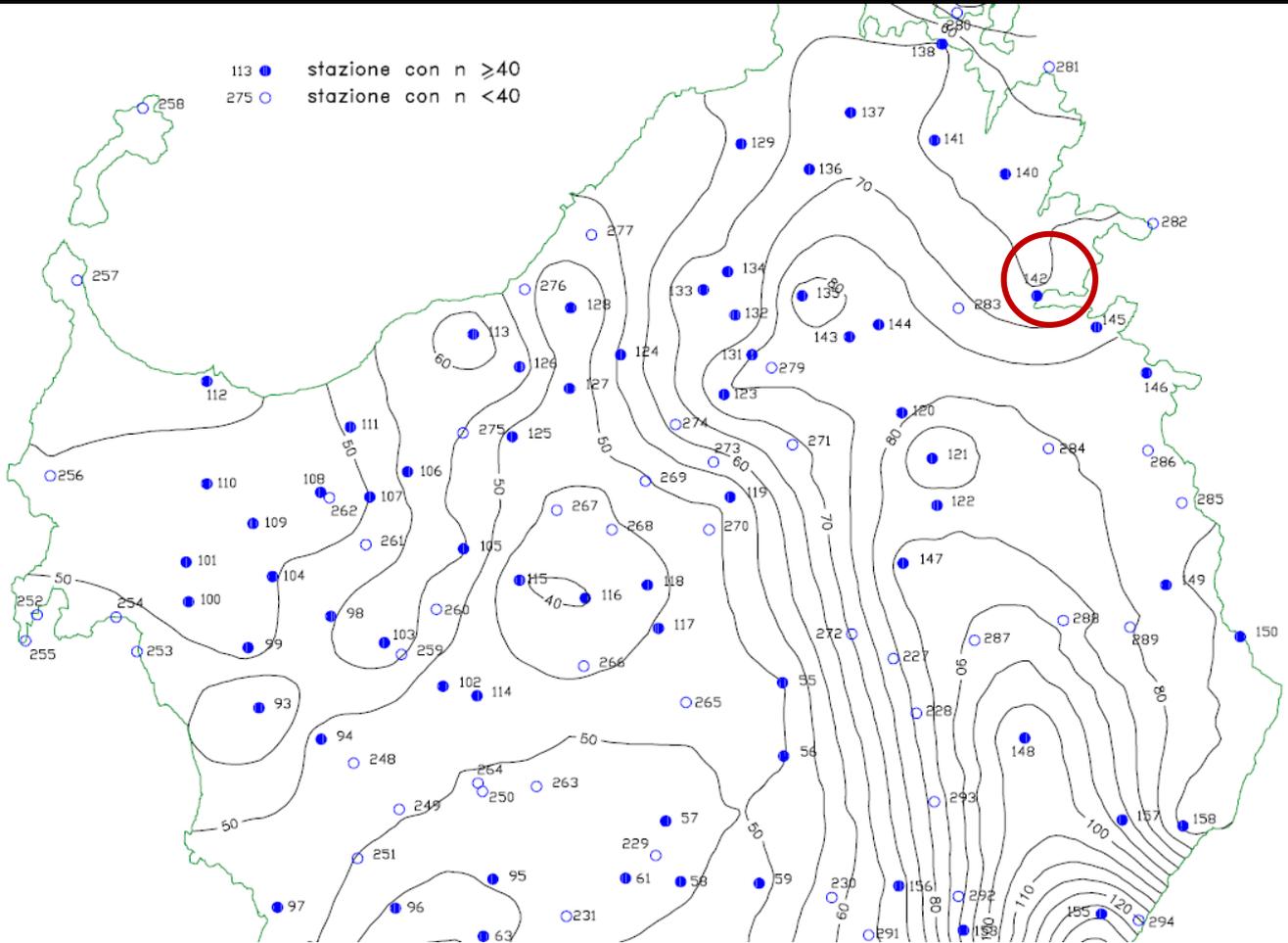


Figura 6 - Pioggia indice giornaliera m_D da modello TCEV per regioni omogenee (Deidda, 2016).

Tabella 7 - Valori di a e n per $TR > 10$ anni e $T_p \leq 1$ ora.

TR>10 - Durata≤1h						
TR	a_1	a_2	n_1	n_2	a	n
25	22.64	1.95	0.37	0.08	44.24	0.45
50	22.64	2.28	0.37	0.12	51.61	0.49
100	22.64	2.61	0.37	0.16	58.98	0.53
200	22.64	2.93	0.37	0.18	66.35	0.55
500	22.64	3.36	0.37	0.21	76.10	0.58

Tabella 8 - Valori di a e n per TR > 10 anni e Tp > 1 ora.

TR>10 – Durata>1h						
TR	a ₁	a ₂	n ₁	n ₂	a	n
25	22.64	1.95	0.37	-0.01	44.24	0.36
50	22.64	2.28	0.37	-0.01	51.61	0.36
100	22.64	2.61	0.37	-0.01	58.98	0.36
200	22.64	2.93	0.37	-0.02	66.35	0.35
500	22.64	3.36	0.37	-0.02	76.10	0.35

Tabella 9 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia inferiori all'ora.

Durata [h]	Altezza di pioggia in mm h(d)				
	h(TR25)	h(TR50)	h(TR100)	h(TR200)	h(TR500)
0.2	21.31	23.31	25.23	27.17	29.87
0.5	32.64	32.30	36.65	40.92	45.17
0.8	40.90	39.98	46.22	52.43	58.63
1	44.24	51.61	58.98	66.35	76.10

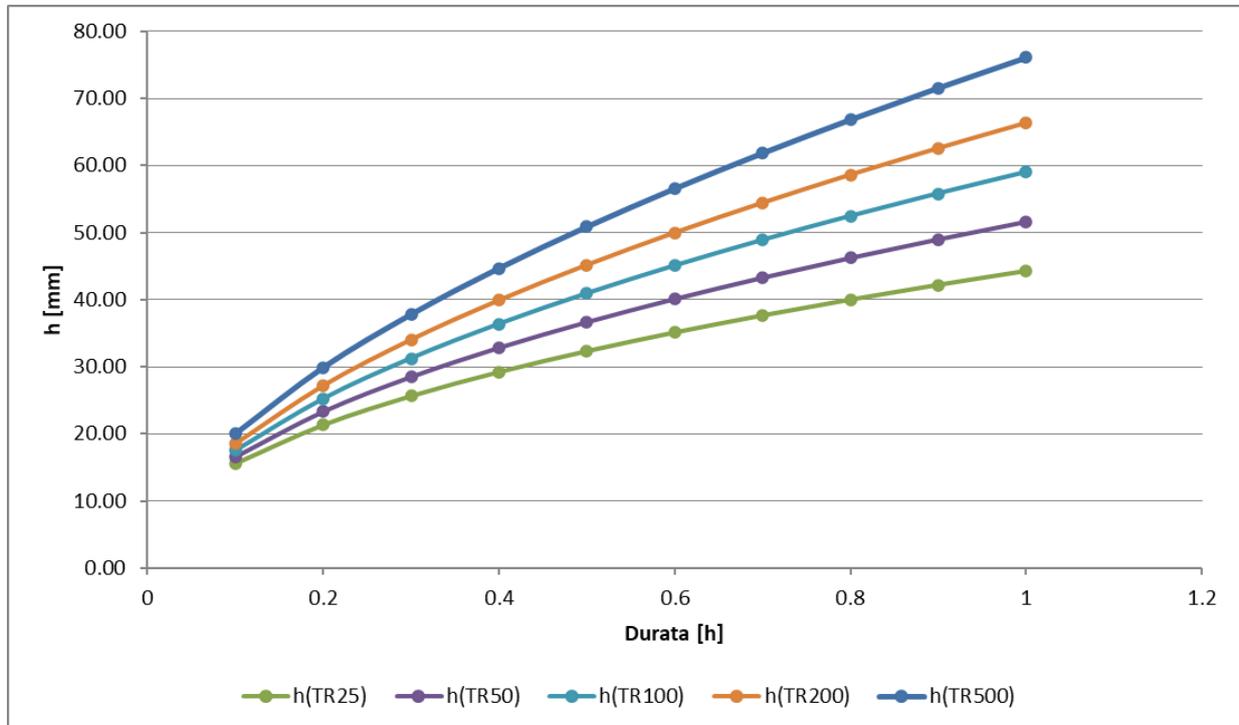


Figura 7 - CPP per durate di pioggia inferiori all'ora.

Tabella 10 - Valori di altezze di pioggia [mm] per diversi tempi di ritorno (>10) e per durate di pioggia superiori all'ora.

Durata [h]	Altezza di pioggia in mm h(d)				
	h(TR25)	h(TR50)	h(TR100)	h(TR200)	h(TR500)
3	65.60	76.42	87.22	97.99	112.18
6	84.10	97.90	111.64	125.32	143.31
12	107.83	125.42	142.90	160.27	183.07
24	138.26	160.67	182.91	204.97	233.86

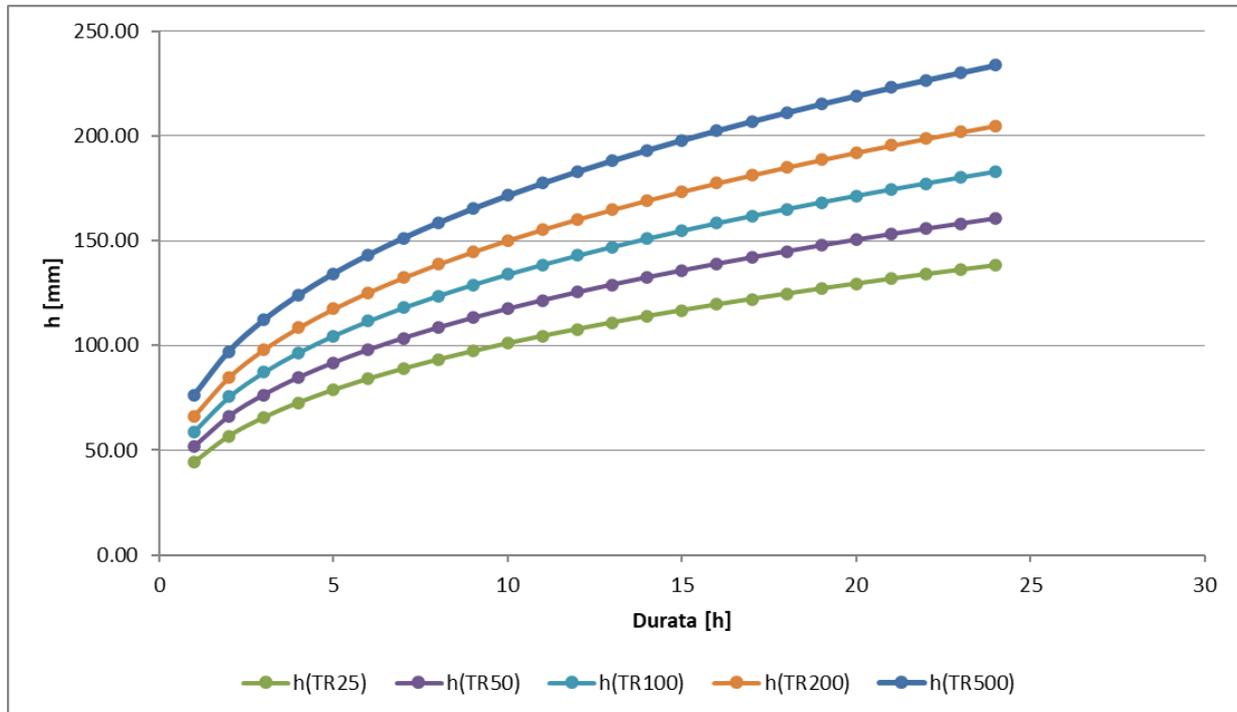


Figura 8 - CPP per durate di pioggia superiori all'ora.

4.2 Analisi locale delle piogge

In merito alle registrazioni locali di pioggia, è emerso che non sono presenti stazioni sufficientemente vicine o che avessero una serie storica di registrazioni sufficiente al fine della significatività statistica.

Nel caso della stazione di Monti (SS) è stato possibile risalire a dati di almeno 44 anni ma non continuativi, infatti sono risultati disponibili solamente gli anni: 1933,1934,1936, 1939-1971, 1973, 1985, 1986, 2012-2020.

È quindi da evidenziare come la non continuità della serie storica diminuisca notevolmente la validità delle elaborazioni locali e pertanto si è scelto di procedere con il metodo della Regione Sardegna, il quale inoltre fornisce risultati più cautelativi.

4.3 Confronto e scelta dei parametri di progetto

Come sopra esposto, si è proceduto ad effettuare la stima delle Curve di Possibilità Pluviometrica con diverse metodologie in accordo alle indicazioni contenute nelle Linee Guida della Regione Sardegna. Nella tabella seguente si riassumono i valori dei parametri a ed n delle curve calcolati (Tabella 11).

Tabella 11 - Confronto parametri a e n

T_R [h]	TCEV Sardegna				TCEV Deidda (2016)			
	durata \leq 1h		durata $>$ 1h		durata \leq 1h		durata $>$ 1h	
	a	n	a	n	a	n	a	n
25	45.52	0.48	45.52	0.37	44.24	0.45	44.24	0.36
50	53.14	0.52	53.14	0.37	51.61	0.49	51.61	0.36
100	60.75	0.56	60.75	0.37	58.98	0.53	58.98	0.36
200	68.36	0.59	68.36	0.37	66.35	0.55	66.35	0.35
500	78.43	0.62	78.43	0.37	76.10	0.58	76.10	0.35

	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR00	LOTTO 00 F 14	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 31 di 59

5 INTERFERENZA IDRAULICHE

I tracciati ferroviari e stradali in progetto sono stati sovrapposti al reticolo idrografico di riferimento per la Regione Sardegna e sono state censite le seguenti interferenze con 3 aste idrauliche.

- Rio Paule Longa:
 - o Interferenza con il binario del bivio Micaleddu all'incirca alla pk 0+550
 - o Interferenza con il binario di collegamento della linea per l'aeroporto all'incirca alla pk 0+550
- Canale_121: Interferenza con il binario di collegamento della linea per l'aeroporto all'incirca alla pk 2+500;
- Fiume_751: interferenza con la deviazione alla viabilità SP24 (NV03) al km 0+235 circa.

5.1 PAULE LONGA

Il **Rio Paule Longa** scorre a sud del centro abitato e può essere considerato come diviso in due tratti principali:

- primo tratto a cielo aperto e caratterizzato da alveo naturale fino a Via Andria;
- secondo tratto tombato fino alla foce negli Stagni di Olbia.

Il tratto tombato consente l'attraversamento dei quartieri cittadini meridionali e, nell'ultimo tratto prima dello sbocco in mare, del quartiere di Sacra Famiglia.

I principali elementi di criticità idraulica sono costituiti dall'imbocco del tratto tombato costituito da una condotta in calcestruzzo a sezione circolare di diametro DN1000 mm che può costituire una problematicità anche nel fronteggiare eventi pluviometrici normali. Inoltre, tale tratto presenta numerose curve anche molto brusche che comportano una notevole dissipazione e conseguente innalzamento del livello idrico (Ripari, Febbraio 2018).

L'analisi morfometrica dei bacini del R. Paule Longa è stata condotta utilizzando come base cartografica di riferimento il modello digitale del terreno con risoluzione 1 m del Comune di Olbia.

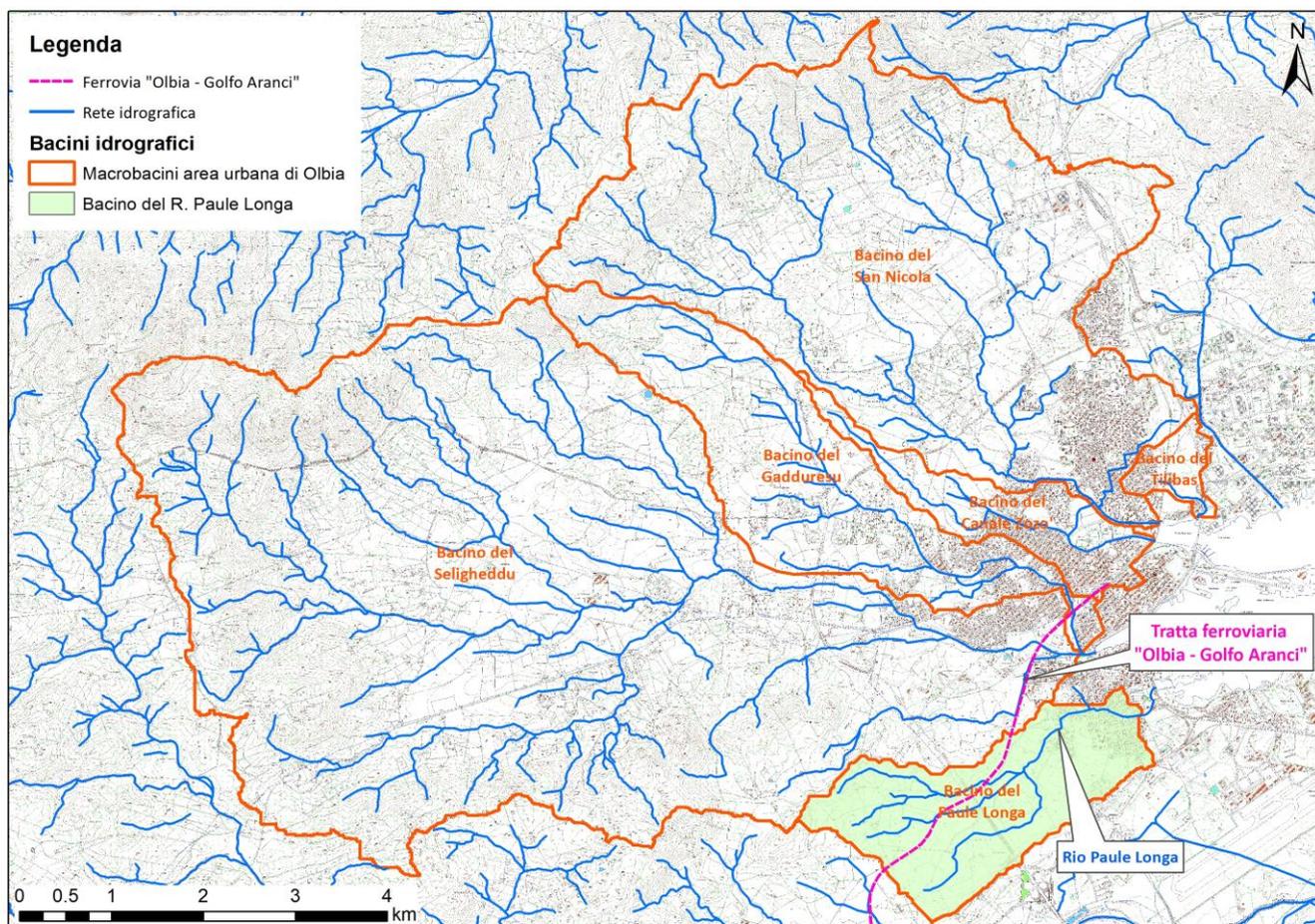


Figura 9 - Planimetria dei bacini dell'area urbana di Olbia, con evidenziati i bacini dei due fiumi considerati nel presente studio. In viola la tratta ferroviaria esistente Olbia – Golfo Aranci.

Attraverso l'analisi morfometrica è possibile determinare il quadro evolutivo dei bacini studiati, le principali caratteristiche di tali bacini sono state calcolate attraverso il supporto degli strumenti del software GIS.

La caratterizzazione fisiografica delle aste fluviali e dei bacini individuati è stata eseguita con il supporto dell'ambiente ArcGIS della ESRI, strumento per la valutazione dei dati geografici, fisiografici e morfometrici e per la gestione su GIS delle informazioni, orientato principalmente all'idrologia.

Le principali basi utilizzate sono state:

- DEM Lidar (maglia 1 x 1 m);

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00 F 14	RI	ID 0001 001	A	33 di 59

- CTR 1:10.000;
- Carta dell'uso del suolo

Nello specifico, per ciascun bacino individuato, vengono valutate le seguenti grandezze:

- Superficie del bacino (S - km²) → elaborazione GIS: la superficie è calcolata direttamente in ArcGIS attraverso il poligono chiuso che individua ciascun singolo bacino idrografico;
- Altitudine massima (H_{max} - m s.l.m.), altitudine media (H_{media} - m s.l.m.), altitudine minima (altitudine sezione di chiusura - H_{min} - m s.l.m.) → elaborazione GIS: direttamente dalla base del DEM, come risultato di un'analisi di tipo statistico (valore medio, minimo e massimo) delle quote altimetriche delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante un bacino idrografico;
- Pendenza media del bacino (i -%) → elaborazione GIS: direttamente dalla base del DEM, come risultato dell'analisi delle pendenze medie delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante un bacino idrografico;
- Lunghezza dell'asta principale (L_{max} - km) → calcolo automatico in GIS della lunghezza dei segmenti rappresentanti i corsi d'acqua digitalizzati;
- Pendenza media dell'asta (i - m/m) → elaborazione su foglio di calcolo Excel utilizzando il dato di lunghezza dell'asta precedentemente calcolato e le coordinate plano-altimetriche dei punti di inizio e fine dei segmenti digitalizzati rappresentanti le aste, derivati direttamente da GIS.

Di seguito sono riportate le principali caratteristiche morfometriche dei bacini in esame.

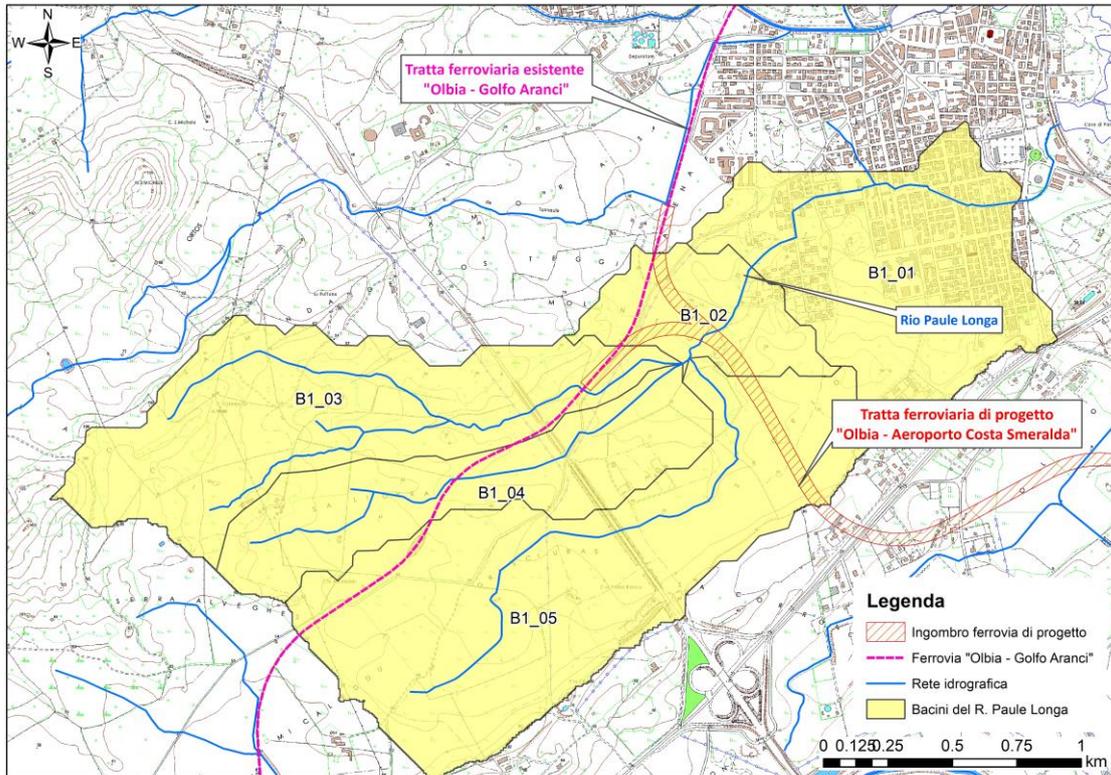


Figura 10 - Planimetria dei sottobacini del Rio Paule Longa. In viola la tratta ferroviaria Olbia – Golfo Aranci.

Tabella 12 - Parametri morfometrici dei sottobacini idrografici del R. Paule Longa.

Parametri morfometrici	B1_01	B1_02	B1_03	B1_04	B1_05
Superficie intero bacino (Km ²)	0.93	0.32	1.03	0.65	1.48
Quota massima (m s.l.m.)	35.95	26.22	153.44	64.37	81.13
Quota media (m s.l.m.)	11.27	13.76	54.94	35.91	35.78
Quota minima (m s.l.m.)	0.64	6.57	12.00	11.77	11.45
Lunghezza dell'alveo principale (Km)	1.20	0.50	2.20	1.90	2.10
Larghezza massima del bacino (Km)	1.27	0.97	2.44	1.92	2.30
Sinuosità (rapporto tra lunghezza alveo e lunghezza valle (Km)	0.94	0.53	0.90	0.99	0.91
Densità di drenaggio (Km/Km ²)	1.32	1.52	2.10	2.92	1.44
Pendenza media del bacino (%)	3.46	2.70	8.20	4.230	5.40
Pendenza media del reticolo idrografico (-)	0.003	0.011	0.035	0.024	0.014

5.1.1 CALCOLO DELLE PORTATE AL COLMO

Nel presente studio sono state messe a confronto le portate calcolate tramite metodo razionale, secondo le Linee Guida della Regione Sardegna, e quelle calcolate tramite modello idrologico HEC-HMS. Tali portate sono state poi messe a confronto con quelle riportate negli studi a supporto della pianificazione di bacino (PAI) ed è stato scelto il metodo che fornisce i valori più cautelativi.

Come già esplicitato al paragrafo 3.2, le piogge sono state ragguagliate all'area tramite un coefficiente moltiplicativo detto coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area, ottenuto seguendo la formulazione utilizzata nel VAPI.

	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR00	LOTTO 00 F 14	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 36 di 59

5.1.1.1 Metodo razionale

La portata al colmo è stata calcolata tramite metodo razionale, come indicato da Linee Guida della Regione Sardegna, basato sul modello cinematico di trasformazione afflussi-deflussi secondo la seguente formula:

$$Q_c = \frac{h_n A_b}{3.6 \tau}$$

In cui:

- A_b : l'area del bacino espressa in km²;
- h_n : l'altezza netta di pioggia, espressa in mm e calcolata secondo la metodologia esposta precedentemente;
- τ : la durata critica dell'evento meteorico, espressa in ore;
- 3.6 il coefficiente correttivo per ottenere il valore di portata in m³/s.

La durata critica dell'evento di pioggia τ , ovvero la durata che massimizza la portata al colmo, è definita come:

$$\tau = t_c + t_f$$

dove t_c è definito come il *tempo di corrivazione* e t_f è definito come il *tempo di formazione del deflusso superficiale*.

Il tempo di corrivazione è il tempo che impiega la particella d'acqua caduta nel punto più lontano del bacino a raggiungere la sezione di chiusura. È quindi un parametro fondamentale per valutare il valore della portata al colmo.

Tale tempo può essere calcolato utilizzando le diverse formulazioni che si trovano in letteratura, tra cui quelle suggerite dalle Linee Guida della Regione Sardegna (Regione Autonoma della Sardegna, Mancini, & Salis, 2000)

<i>Soil Conservation Service¹¹</i>	$t_c = 1.67 * \frac{100L^{0.8} \cdot [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot i_{versante}^{0.5}} \quad [minuti]$ <p>L = Lunghezza asta principale in piedi i = pendenza media del bacino (%)</p>
<i>Formola di Giandotti</i>	$t_c = \frac{4\sqrt{A + 1.5L}}{0.8\sqrt{H_m - h}} \quad [ore]$ <p>dove : A in Km², L in Km, h quota sezione chiusura, H_m quota media del bacino.</p>
<i>Formola di Pasini</i>	$T_c = 0.108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{J_m}} \quad [ore]$ <p>dove : A in Km², L in Km, J_m pendenza media del reticolo idrografico</p>
<i>Formola VAPI-Sardegna¹²</i>	$T_c = 0.212 \cdot A^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{J_m}\right)^{0.289} \quad [ore]$ <p>dove : A in Km², L in Km, h quota sezione chiusura, J_m pendenza media del reticolo</p>

Per ciascun sottobacino sono stati calcolati i tempi di corrivazione con le formule proposte e tra tutti è stato utilizzato nei calcoli quello più basso, che ne rappresenta la durata critica (Tabella 13).

Tabella 13 - Tabella riassuntiva dei tempi di corrivazione calcolati per ogni bacino e con ogni formula considerata.

Formula utilizzata	Tc (ore)				
	B1_01	B1_02	B1_03	B1_04	B1_05
SCS-CN	1.00	0.54	1.06	1.25	1.21
Giandotti	2.16	1.40	1.41	1.54	2.03
Pasini	1.99	0.55	0.75	0.74	1.34
VAPI Sardegna	2.21	1.26	1.78	1.58	2.25
T _{cmin}	1.00	0.54	0.75	0.74	1.21

Il tempo di formazione del ruscellamento superficiale t_f è invece calcolato assumendolo pari al tempo necessario affinché la pioggia cumulata sia pari a quella delle perdite iniziali I_a definite dal metodo SCS, ovvero

$$\frac{h_i}{\tau} t_f = I_a$$

Poiché h_i è la pioggia lorda funzione della durata critica dell'evento τ che a sua volta dipende dal tempo di formazione t_f , l'equazione sopra riportata deve essere risolta per tentativi.

Noto quindi il tempo di ruscellamento, si ricava per ciascun sottobacino e al variare del tempo di ritorno il tempo di corrivazione totale e di conseguenza il tempo di pioggia critico τ .

L'altezza di precipitazione lorda per ogni sottobacino caratterizzante l'evento critico, assegnato il tempo di ritorno, è quindi definita come:

$$h_i = a_i \tau^{n_i}$$

Dove a_i ed n_i sono i parametri della curva di possibilità pluviometrica ragguagliata e caratterizzante il singolo sottobacino.

La precipitazione netta h_n ovvero il volume di pioggia che effettivamente contribuisce a formare l'evento di piena al netto delle perdite di infiltrazione e intercettazione, è definita dal metodo del Soil Conservation Service (SCS) sulla base di un semplice bilancio di massa ed è espressa dalla seguente equazione:

$$h_n = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{h_{lorda} + S - I_a} \quad \text{se } h_{lorda} > I_a$$

Il termine I_a rappresenta le perdite iniziali dovute all'immagazzinamento superficiale, imputabili per esempio alla presenza sulla superficie del bacino di zone che, per la loro morfologia, consentono l'accumulo di volumi idrici e all'intercettazione operata dalla copertura vegetale presente. Le perdite iniziali sono assunte pari a:

$$I_a = 0.2S$$

dove S rappresenta il massimo volume di acqua immagazzinabile dal suolo e calcolato come

$$S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il valore di CN (Curve Number) dipende dalla tipologia e uso del suolo e dalla condizione di saturazione del suolo stesso (classe AMC): tale parametro varia tra 0, terreni molto permeabili, e 100, terreni completamente impermeabili. Le formule sopra indicate si riferiscono alla classe AMC II, ossia quella di suolo mediamente umido. Tali valori puntuali sono stati ottenuti dalla mappa regionale dei CN presente sul Geoportale della Regione Sardegna.

In via cautelativa, si assume che il suolo sia quasi saturo assegnandogli una classe AMC III. Il valore del CN è stato quindi corretto secondo la relazione seguente:

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 + 0.0057CN_{II}}$$

Di seguito si riportano, in formato tabellare, i risultati ottenuti attraverso l'applicazione del metodo razionale, relativamente ai bacini cumulati intesi come l'intera area sottesa ad un determinato punto di chiusura.

Nel presente studio si è scelto di utilizzare la formula Soil Conservation Service per il tempo di corrivazione ed essendo l'opera di progetto subito a valle della confluenza dei bacini di monte B1_03, B1_04 e B1_05, si è scelta quella come sezione di riferimento per l'idrologia.

Il tempo di pioggia è stato assunto pari al massimo tra i tempi di corrivazione dei bacini sopraccitati, ottenendo i seguenti valori di portata di picco.

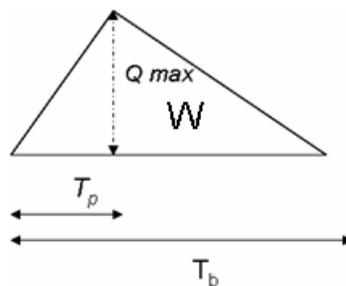
Tabella 14 - Tabella riassuntiva delle portate calcolate con il metodo razionale per i diversi tempi di ritorno e i bacini del R. Paule Longa. Le portate sono relative ai bacini cumulati.

Bacino	TR050			TR100			TR200			TR500		
	Q max (m³/s)	Tp (min)	Vol (1000 m³)	Q max (m³/s)	Tp (min)	Vol (1000 m³)	Q max (m³/s)	Tp (min)	Vol (1000 m³)	Q max (m³/s)	Tp (min)	Vol (1000 m³)
B1_01	23.9	79.4	259.5	28.9	78.4	310.2	34.0	77.7	361.6	40.7	77.0	430.2
B1_02	22.2	79.4	174.1	26.9	78.4	209.1	31.8	77.7	244.8	38.4	77.0	292.6

B1_03	7.9	79.4	40.8	9.7	78.4	49.3	11.6	77.7	57.9	14.1	77.0	69.5
B1_04	5.1	79.4	27.3	6.2	78.4	32.8	7.4	77.7	38.3	9.0	77.0	45.7
B1_05	10.8	79.4	68.8	13.2	78.4	82.7	15.6	77.7	96.9	18.8	77.0	116.0

Per la costruzione dell'idrogramma si è fatto riferimento al documento "Linee Guida per la redazione degli studi comunali dei bacini urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale-Relazione Metodologica per la modellazione idraulica bidimensionale" (Regione Autonoma della Sardegna; Università degli Studi di Cagliari, 2021) che a sua volta ha fatto riferimento alle Integrazioni Metodologiche alle Linee Guida (Mancini & Tilocca, 2006), par. 3.2.1, redatte dalla Direzione Scientifica del PSFF su commissione della Regione Autonoma Sardegna.

In entrambe le linee guida viene proposta la determinazione dell'idrogramma di piena con tecniche semplificate, come quella proposta dal SCS (Chow V., D. R. Maidment and L. W Mays, *Applied Hydrology*, Mc Graw Hill, 1988).



Viene ipotizzata per l'idrogramma una forma triangolare, in cui il tempo base è dato dall'equazione:

$$T_b = \frac{2W}{Q_{\max} T_p} \quad T_p = T_b / 2.67$$

dove

- Q_{\max} è la portata al colmo stimata (vedi Cap. 0);
- W è il volume dell'idrogramma depurato della portata di base (volume di pioggia netta).

I tempi caratteristici dell'idrogramma sono noti dalle relazioni:

$$T_p = T_b / 2.67$$

$$T_b - T_p = 1.67 T_p$$

Noti per ciascun tempo di ritorno T la portata di picco Q_{\max} e il rispettivo tempo di picco T_p (pari al tempo di corrivazione T_c stimato come indicato al Cap. 0) si ricava da una delle relazioni precedenti il tempo di base T_b dell'idrogramma ed il volume di pioggia netto dell'evento W . A quel punto, la costruzione dell'idrogramma può avvenire mediante le relazioni (per i due rami precedente e successivo al picco):

$$q(t) = \begin{cases} 1.335 \frac{Q_{\max}^2}{V} t & 0 \leq t \leq T_p \\ 1.6 Q_{\max} - 0.8 \frac{Q_{\max}^2}{V} t & T_p \leq t \leq T_b \end{cases}$$

Gli idrogrammi ottenuti tramite metodo razionale sono mostrati in Figura 11.

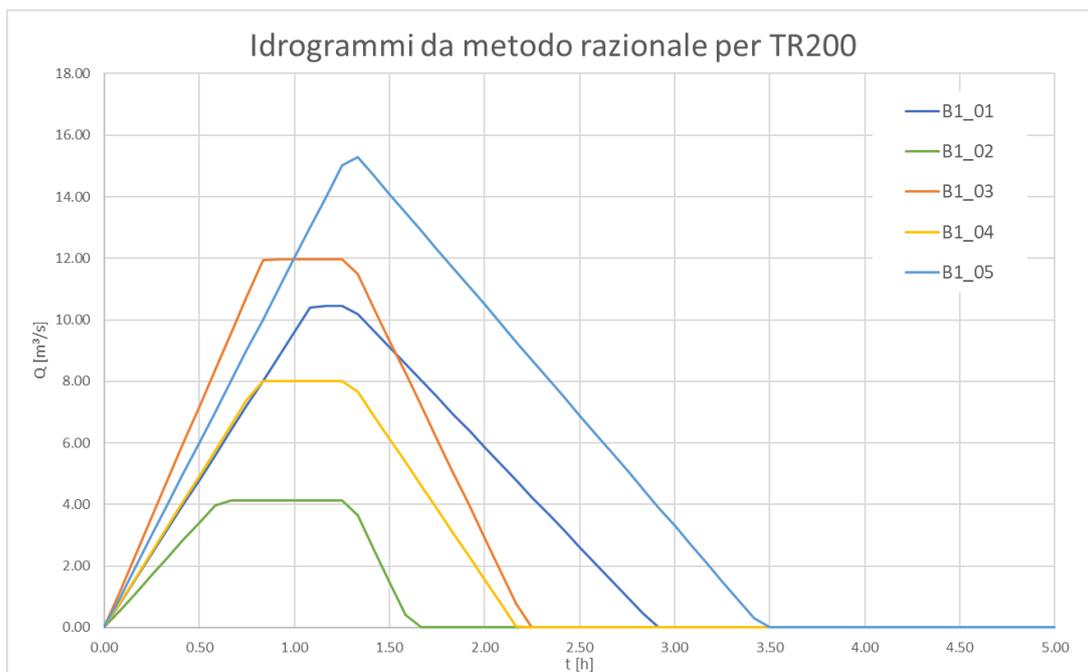


Figura 11 – Idrogrammi dei vari sottobacini ottenuti con metodo razionale.

5.1.1.2 Metodo SCS-CN con HEC-HMS

La metodologia proposta per la stima degli idrogrammi di piena e delle portate al colmo prevede l'applicazione di un modello afflussi-deflussi, mediante l'utilizzo di un modello idrologico semi-distribuito,

che permette una definizione più accurata dei processi di formazione locale del deflusso superficiale e della sua propagazione attraverso il reticolo idrografico.

È stato quindi utilizzato il modello HEC-HMS, un codice di calcolo sviluppato dalla US Army Corps of Engineers in grado di simulare i processi idrologici sia per singoli bacini che per sottobacini connessi ed interferenti tra loro. In Figura 12 è presentata la schematizzazione del modello idrologico in HEC-HMS.

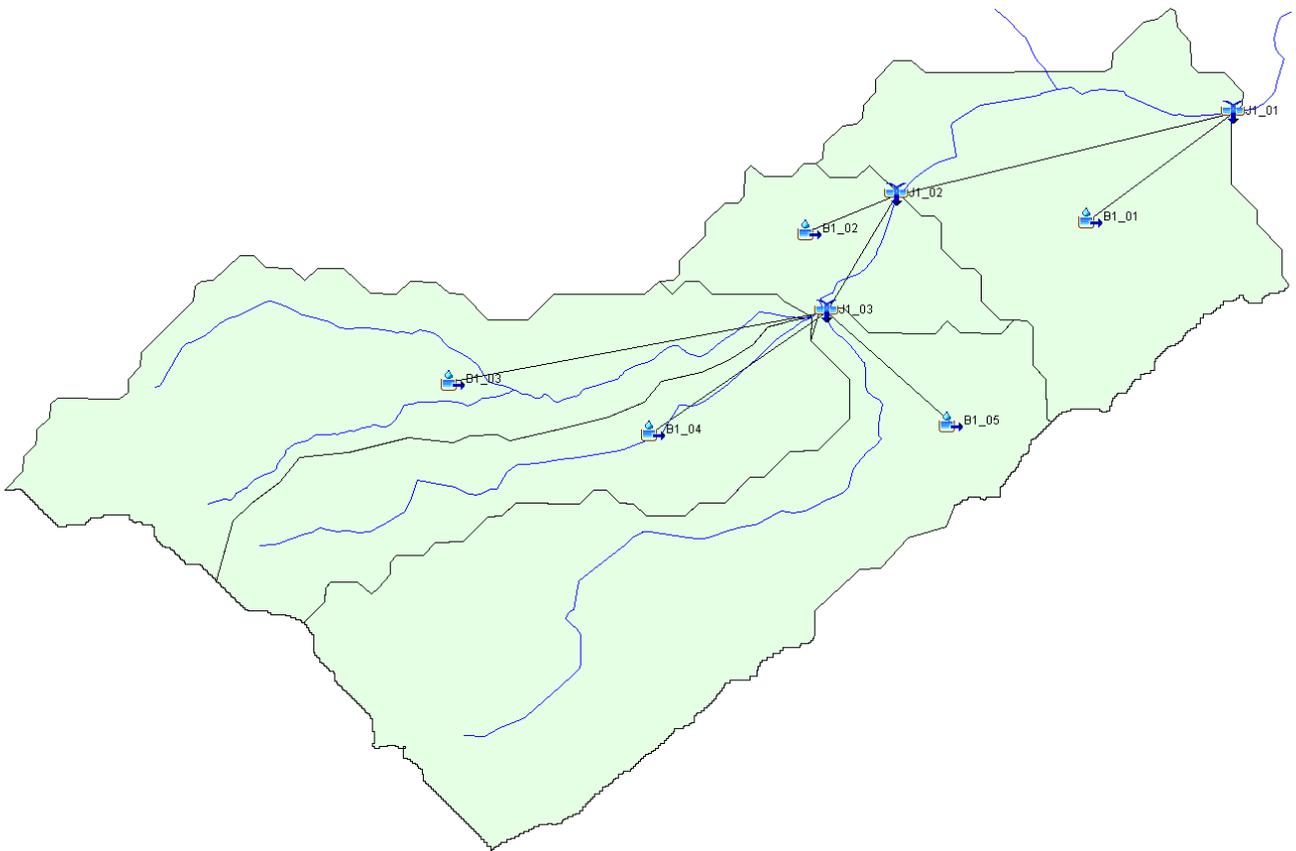


Figura 12 - Schematizzazione dei bacini in HEC-HMS.

Per ciascun sottobacino schematizzato nel modello è stata prevista:

- l'assegnazione delle caratteristiche morfologiche ottenute dalla precedente analisi cartografica;
- l'assegnazione di un metodo di calcolo delle perdite iniziali: in particolare si è scelto di utilizzare il metodo SCS Curve Number, il quale prevede che per ciascun sottobacino venga fornito un valore iniziale di perdita (I_a) ottenuto dall'analisi idrologica e l'assegnazione del valore medio di CN (in questo caso è stato assunto il valore di CNIII, ovvero quello corrispondente alle condizioni

di suolo umido).

- l'assegnazione del metodo di trasformazione, ovvero il modello che permette di definire come la pioggia efficace si trasformi in deflusso superficiale: in particolare è stato scelto il metodo SCS Unit hydrograph, nel quale è necessario definire il cosiddetto t_{lag} , ovvero il tempo che intercorre tra il baricentro dello ietogramma ed il colmo dell'idrogramma unitario. Tale parametro, come frequentemente suggerito in letteratura, è stato assunto pari al 60% del tempo di corrivazione. Quest'ultimo è calcolato secondo la formulazione NRSC (Natural Resources Conservation Service) SCS, di seguito descritta:

$$Formula\ NRSC\ SCS \quad t_c = \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} * \frac{(D_{max} * 1000)^{0.8}}{441 * \sqrt{i_b} * 100}$$

Dove:

CN: Curve Number;

Dmax: Distanza massima tra lo spartiacque e la sezione di chiusura, espresso in km;

ib: Pendenza media del bacino idrografico, espressa in m/m;

Infine, lo ietogramma scelto ai fini della modellazione idrologica è di tipo rettangolare. In Tabella 15 sono presentati i valori di pioggia media areale sui macrobacino del Paule Longa. In Figura 13 sono presentati dei grafici di esempio rappresentati gli ietogrammi rettangolari inseriti nel modello idrologico in HEC-HMS e l'idrogramma corrispondente.

I singoli impulsi di pioggia sono stati ottenuti dividendo la pioggia totale per il numero di intervalli da 5 minuti compresi nella durata dell'evento di pioggia totale.

Tabella 15 - Valori di pioggia media areale sul macrobacino del Paule Longa.

Pioggia media areale sul bacino [mm]					
	Durata (min)				
TR	40	50	60	70	80
50	42.2	46.1	49.6	52.7	55.6
100	48.2	52.7	56.7	60.3	63.5
200	54.3	59.4	63.8	67.8	71.5

500	62.4	68.1	73.2	77.8	81.9
-----	------	------	------	------	------

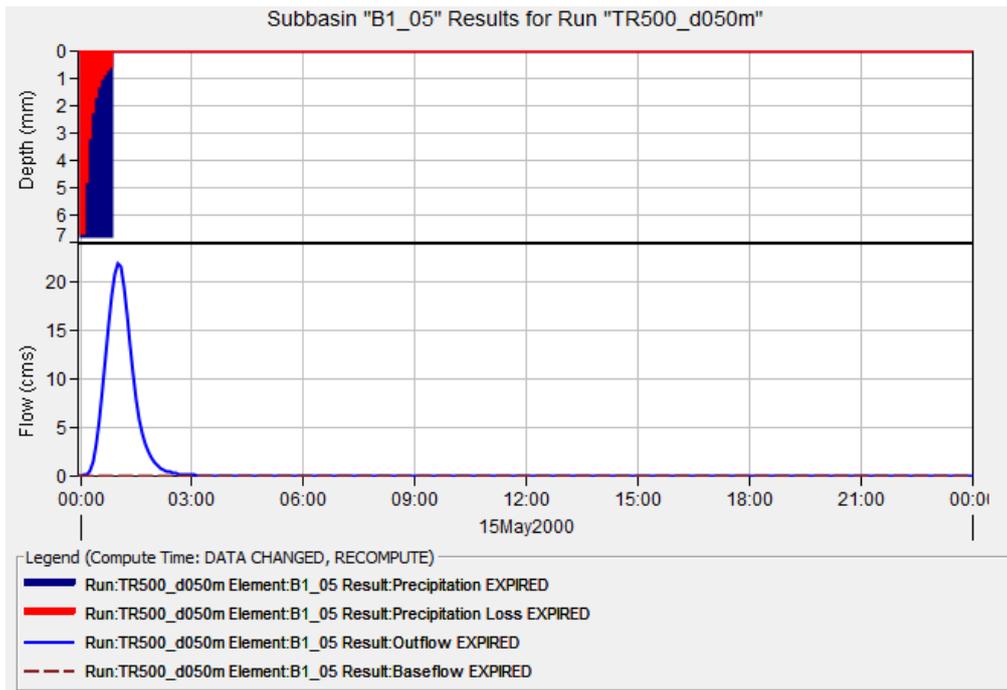


Figura 13 – Esempio di ietogramma utilizzato nella modellazione idrologica.

Sono quindi state effettuate, tramite il modello idrologico, simulazioni con durate di evento pluviometrico crescenti con passo temporale $\Delta t=5$ minuti, identificando per ogni tempo di ritorno la durata di pioggia critica per lo studio in esame, ovvero quella in grado di generare il massimo valore di portata al colmo alla sezione di chiusura subito più a monte dell'opera di progetto (confluenza dei bacini B1_03, B1_04, B1_05).

Di seguito sono presentati gli idrogrammi in tale sezione di chiusura per diversi TR e per diverse durate dell'evento di pioggia.

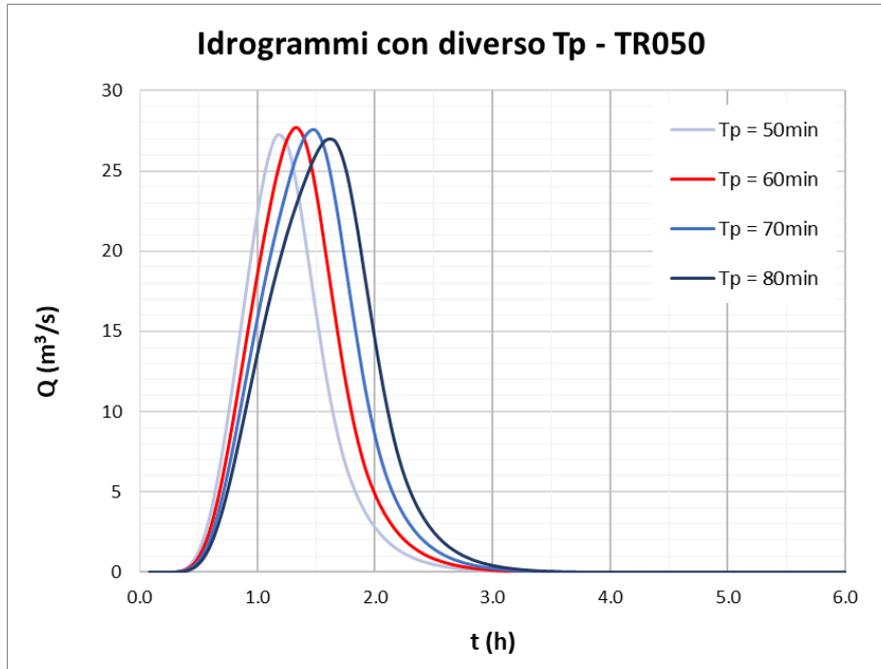


Figura 14 – Idrogrammi per tempo di ritorno di 50 anni con diversi tempi di picco

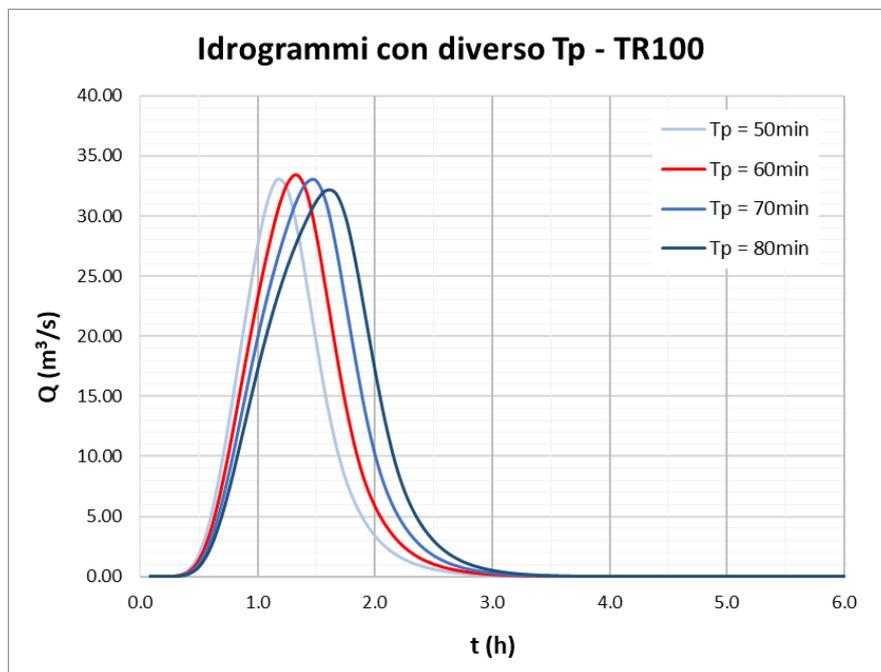


Figura 15 – Idrogrammi per tempo di ritorno di 100 anni con diversi tempi di picco

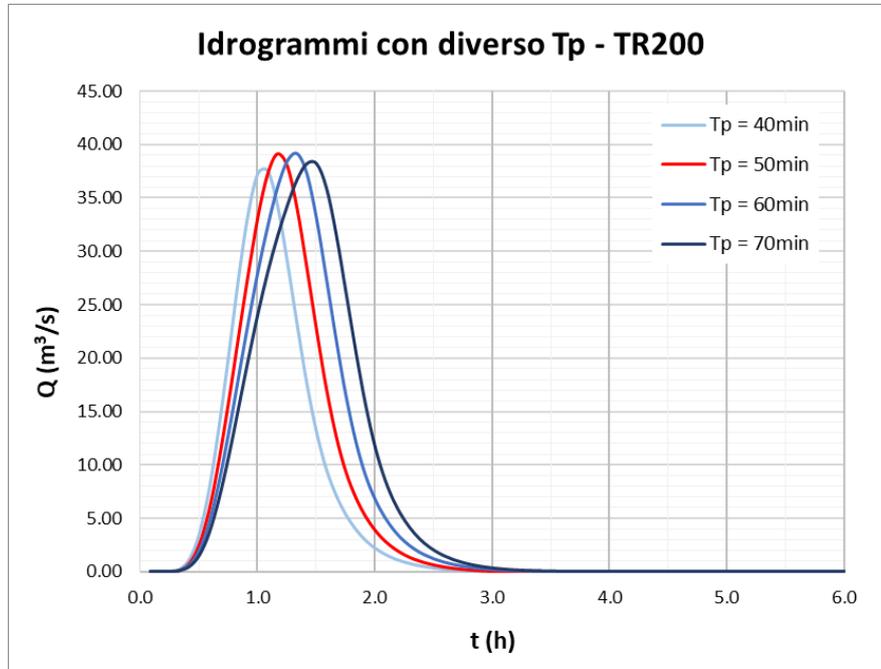


Figura 16 – Idrogrammi per tempo di ritorno di 200 anni con diversi tempi di picco

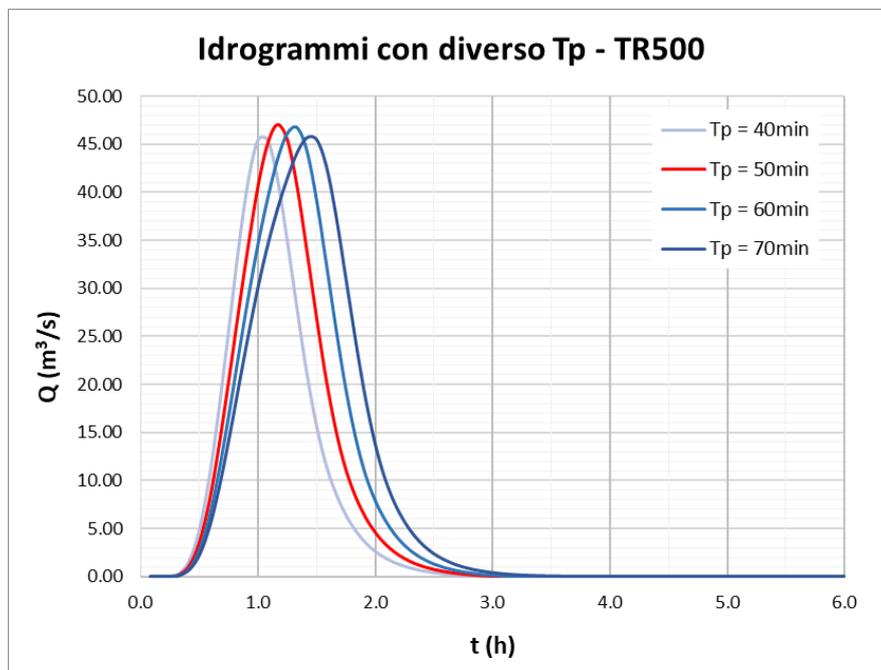


Figura 17 – Idrogrammi per tempo di ritorno di 500 anni con diversi tempi di picco

Risulta quindi che le durate di pioggia che massimizzano il picco di portata alla sezione di chiusura dei bacini B1_03, B1_04 e B1_05, subito a monte dell'opera di progetto sono:

Tabella 16 - Durata critica e portata nella sezione di chiusura subito a monte dell'opera di progetto.

	dcr (min)	Q (m ³ /s)
TR050	60	27.7
TR100	60	33.4
TR200	50	39.1
TR500	50	47.0

Di seguito si riportano i risultati ottenuti attraverso l'applicazione del modello HEC-HMS., relativamente ai bacini cumulati del R. Paule Longa.

Tabella 17 - Tabella riassuntiva delle portate di picco in arrivo alle sezioni di chiusura dei bacini calcolate con il metodo S.C.S.-CN tramite HEC-HMS per i diversi tempi di ritorno e tempi di pioggia pari alle durate critiche.

Bacino	TR050			TR100			TR200			TR500		
	Q max (m ³ /s)	Tp (min)	Vol (1000 m ³)	Q max (m ³ /s)	Tp (min)	Vol (1000 m ³)	Q max (m ³ /s)	Tp (min)	Vol (1000 m ³)	Q max (m ³ /s)	Tp (min)	Vol (1000 m ³)
B1_01	38.56	60.0	121.7	46.7	60.0	149.4	54.9	50.0	159.7	65.9	50.0	194.2
B1_02	30.39	60.0	97.3	36.8	60.0	119.3	43.1	50.0	127.5	51.8	50.0	155.0
B1_03	9.33	60.0	52.0	11.3	60.0	34.7	13.4	50.0	37.1	16.1	50.0	45.4
B1_04	5.58	60.0	32.2	6.7	60.0	22.6	7.8	50.0	24.0	9.4	50.0	29.2
B1_05	12.76	60.0	72.4	15.4	60.0	50.6	17.9	50.0	54.1	21.5	50.0	65.6

5.1.1.3 Confronto con portate vigenti

Le portate al colmo ottenute dall'applicazione dei due diversi metodi sopra esposti sono state confrontate con quelle presenti nella Relazione Idrologica della variante al P.A.I. approvata nel 2015. Nel presente progetto sono stati considerati anche gli approfondimenti idrologici e idraulici sviluppati e pubblicati dal Comune di Olbia nell'ambito aggiornamento dello Studio di Assetto Idrogeologico (PAI) del Comune di Olbia ai sensi dell'art. 8 c.2 delle Norme di Attuazione (N.A.) del PAI. Tale studio non ha ancora concluso l'iter di approvazione e adozione da parte della Autorità di Bacino Distrettuale e quindi non risulta ancora come aggiornamento del PAI vigente. Tuttavia, trattandosi di un approfondimento e un aggiornamento delle conoscenze dello stato dell'opera in merito alle criticità idrauliche esistenti, è stato preso in considerazione nel presente progetto.

Tabella 18 - Tabella riassuntiva con il confronto tra le portate calcolate con il metodo razionale, quelle calcolate in HEC-HMS, quelle del PAI 2015 vigente e quelle del PAI 2022 in via di approvazione. Le portate si riferiscono ai bacini cumulati.

	TR50			TR100			TR200			TR500			
	Q max (m3/s)	τ (min)	Vol (1000 m3)	Q max (m3/s)	τ (min)	Vol (1000 m3)	Q max (m3/s)	τ (min)	Vol (1000 m3)	Q max (m3/s)	τ (min)	Vol (1000 m3)	
AU_B1_1	25.0			31.0			36.0			44.0			PAI2015
B1_01	38.7	70.0	134.0	46.7	60.0	149.4	54.9	50.0	159.7	65.9	50.0	194.2	Proposta di aggiornamento 2022 comune di olbia
B1_01	38.6	60.0	121.7	46.7	60.0	149.4	54.9	50.0	159.7	65.9	50.0	194.2	MET. SCS-CN (HEC-HMS)
B1_01	23.9	79.4	259.5	28.9	78.4	310.2	34.0	77.7	361.6	40.7	77.0	430.2	MET. RAZIONALE
AU_B1_2	20.0			24.0			29.0			35.0			PAI2015
B1_02	30.5	70.0	107.1	36.8	60.0	119.3	43.1	50.0	127.5	51.8	50.0	155.0	Proposta di aggiornamento 2022 comune di olbia
B1_02	30.4	60.0	97.3	36.8	60.0	119.3	43.1	50.0	127.5	51.8	50.0	155.0	MET. SCS-CN (HEC-HMS)
B1_02	22.2	79.4	174.1	26.9	78.4	209.1	31.8	77.7	244.8	38.4	77.0	292.6	MET. RAZIONALE
AU_B1_3	6.0			7.0			8.0			10.0			PAI2015
B1_03	9.3	70.0	31.1	11.3	60.0	34.7	13.4	50.0	37.1	16.1	50.0	45.4	Proposta di aggiornamento 2022 comune di olbia
B1_03	9.3	60.0	52.0	11.3	60.0	34.7	13.4	50.0	37.1	16.1	50.0	45.4	MET. SCS-CN (HEC-HMS)
B1_03	7.9	79.4	40.8	9.7	78.4	49.3	11.6	77.7	57.9	14.1	77.0	69.5	MET. RAZIONALE
AU_B1_4	4.0			5.0			6.0			7.0			PAI2015
B1_04	5.6	70.0	20.2	6.7	60.0	22.6	7.8	50.0	24.0	9.4	50.0	29.2	Proposta di aggiornamento 2022 comune di olbia

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00 F 14	RI	ID 0001 001	A	50 di 59

B1_04	5.6	60.0	32.2	6.7	60.0	22.6	7.8	50.0	24.0	9.4	50.0	29.2	MET. SCS-CN (HEC-HMS)
B1_04	5.1	79.4	27.3	6.2	78.4	32.8	7.4	77.7	38.3	9.0	77.0	45.7	MET. RAZIONALE
AU_B1_5	9.0			11.0			13.0			16.0			PAI2015
B1_05	12.7	70.0	45.4	15.4	60.0	50.6	17.9	50.0	54.1	21.5	50.0	65.6	Proposta di aggiornamento 2022 comune di olbia
B1_05	12.8	60.0	72.4	15.4	60.0	50.6	17.9	50.0	54.1	21.5	50.0	65.6	MET. SCS-CN (HEC-HMS)
B1_05	10.8	79.4	68.8	13.2	78.4	82.7	15.6	77.7	96.9	18.8	77.0	116.0	MET. RAZIONALE

Negli aggiornamenti del Comune di Olbiagli idrogrammi sono calcolati tramite modello HEC-HMS utilizzando un tempo di pioggia dell'evento critico pari a quello che massimizza il picco di portata alla foce. Per le finalità del presente studio, gli idrogrammi sono stati ottenuti tramite modello HEC-HMS massimizzando il picco di portata nella sezione subito a monte dell'opera di progetto.

Come si evince dalla tabella, come il metodo razionale restituisce valori di picco di portata inferiori rispetto al metodo HEC-HMS. Si è quindi scelto di procedere con gli idrogrammi ottenuti da quest'ultimo metodo.

5.1.2 IDROGRAMMI DI PROGETTO

Applicando le formulazioni espone precedentemente, sono stati determinati gli idrogrammi di progetto per i sottobacini in esame ed i diversi tempi di ritorno. Per la stima degli idrogrammi è stata considerata una pioggia uniforme su ciascun bacino con durata critica uguale per tutti i sottobacini e pari all'evento di pioggia che massimizza la portata nella sezione di confluenza dei tre rami di monte del Paule Longa, subito a monte dell'opera di progetto. Si riportano di seguito i risultati in forma grafica.

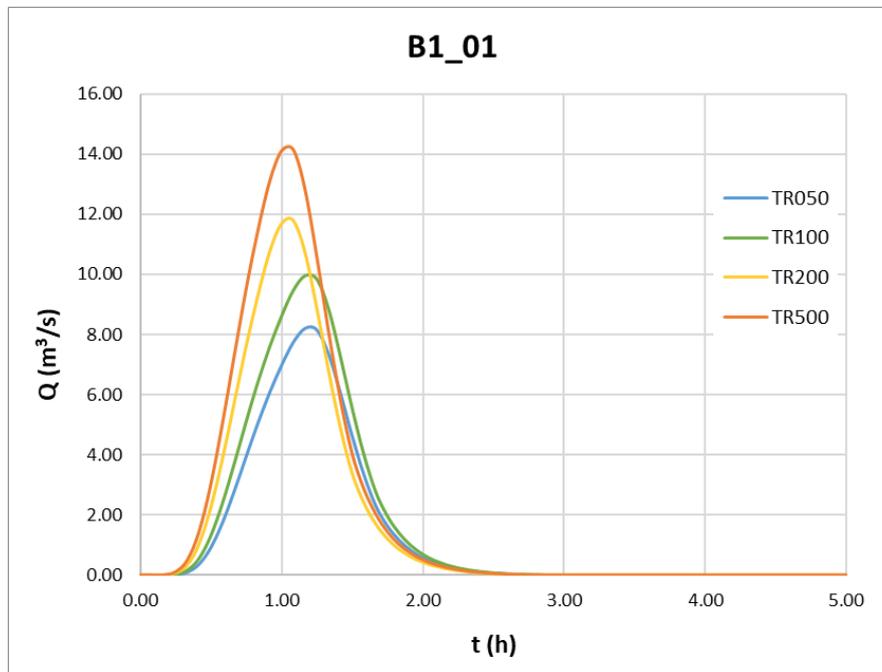


Figura 18– Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_01 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.

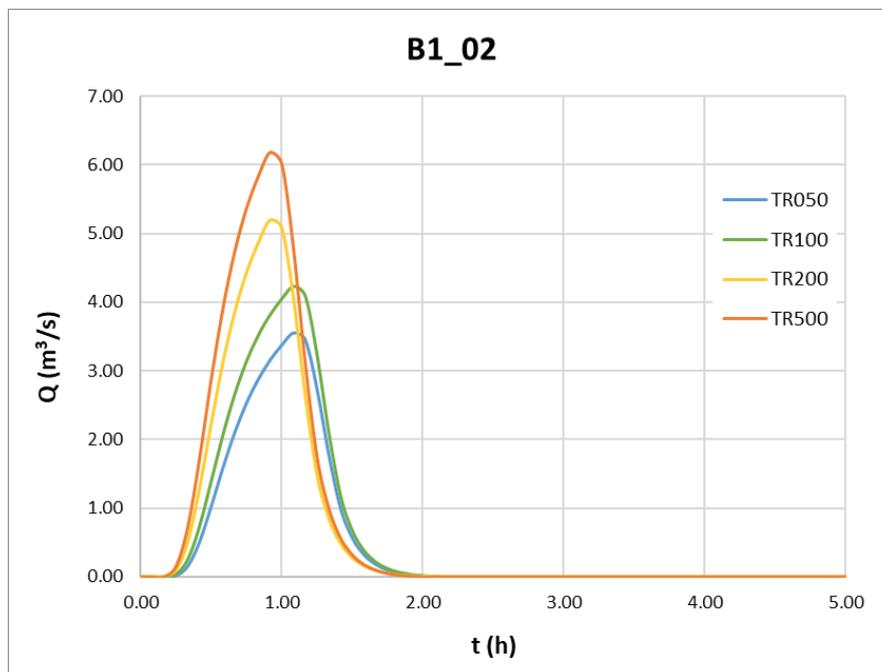


Figura 19 - Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_02 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.

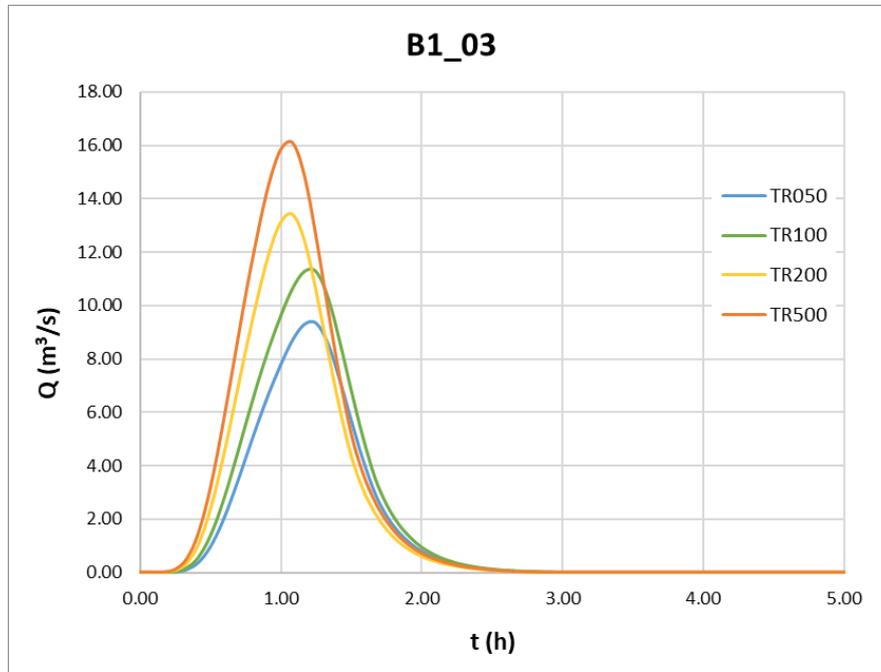


Figura 20 – Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_03 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.

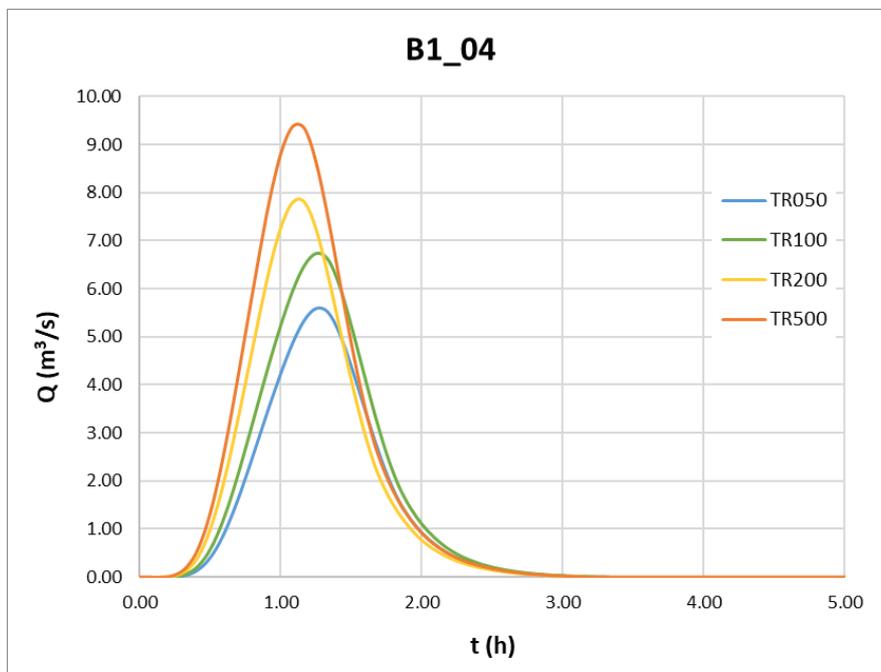


Figura 21 – Grafico degli idrogrammi per il bacino B1_04 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.

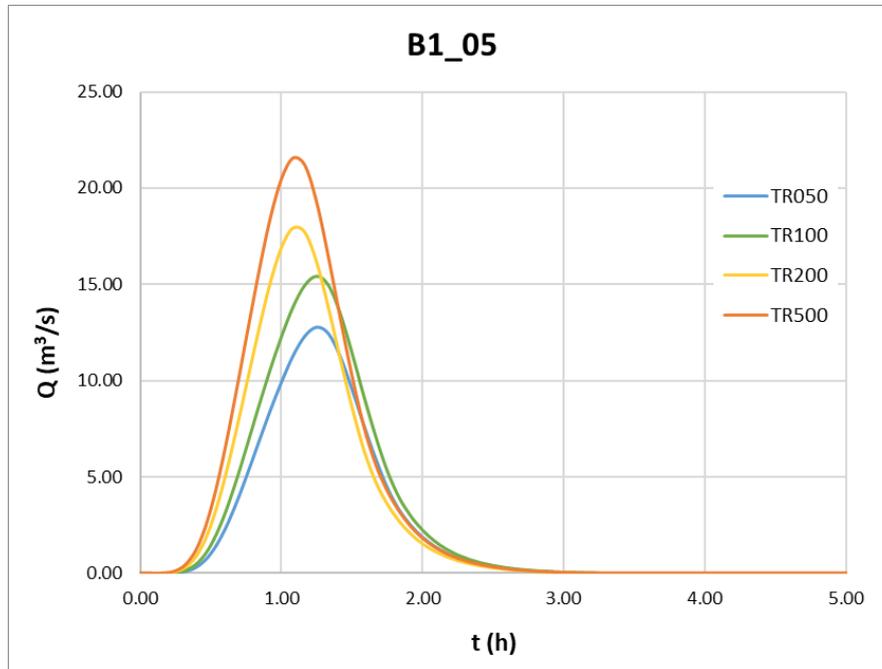


Figura 22 – Grafico degli Idrogrammi per il bacino B1_05 del Paule Longa per i diversi tempi di ritorno.

5.2 CANALE_121

Il canale_121 è un canale ubicato in area urbana che sottopassa con canalizzazione chiusa la pista aeroportuale prima di immettersi, circa 2.5km più a valle, nel Fiume Padrongiano. L'interferenza con la linea ferroviaria in progetto, circa alla pk 2+500, avviene nella parte sommitale del bacino il cui perimetro di monte coincide con via Aviazione Generale: l'asta idraulica a monte della ferrovia ha uno sviluppo di soli 250m circa e il canale presenta una larghezza in testa inferiore a 10 m. In corrispondenza della interferenza idraulica individuata la ferrovia di progetto è realizzata tramite un lungo viadotto che scavalca completamente l'asta senza interferirla, tra fondo canale e l'intradosso del viadotto di scavalco è presente un franco di circa 10 m.

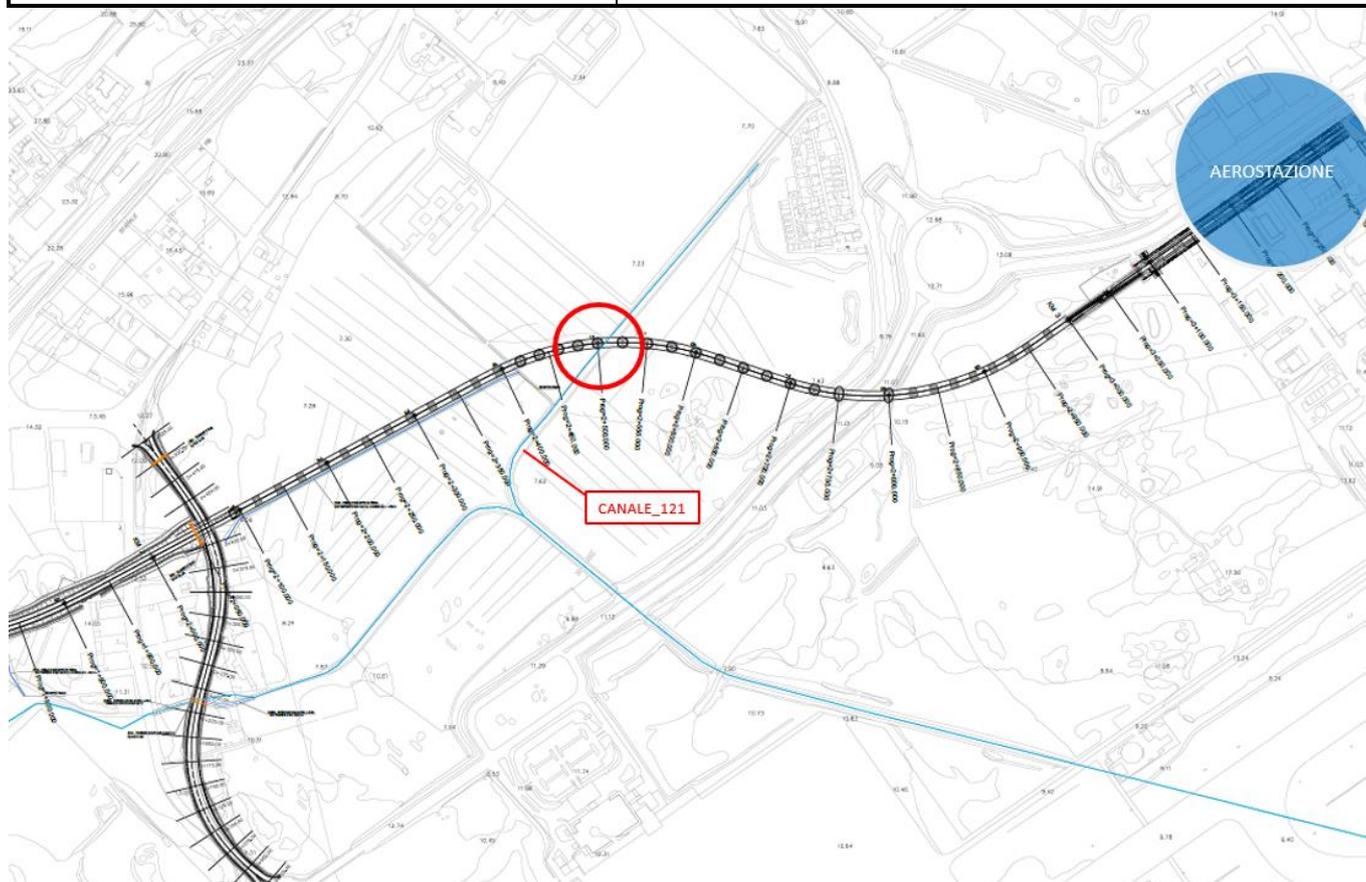


Figura 23 – Inquadramento planimetrico interferenza con canale_121.

5.3 FIUME_751

Il fiume_751, è un'asta idraulica che si inserisce in un contesto semi urbanizzato e si congiunge al canale_121 sopradescritto, per poi confluire nel fiume Padrongiano. Ha una lunghezza complessiva di circa 1.7 km e una pendenza dello 0.7 ‰ circa.

Si sviluppa in direzione sudovest - nordest, partendo dalla SS131dcn fino alla SP24 a cielo aperto, dopo la quale si immette in un tratto tombato di lunghezza pari a 85 m, per poi terminare in un tratto di 370 m a sezione trapezia 3.0x1.0x10.0 fino alla confluenza col canale_121.

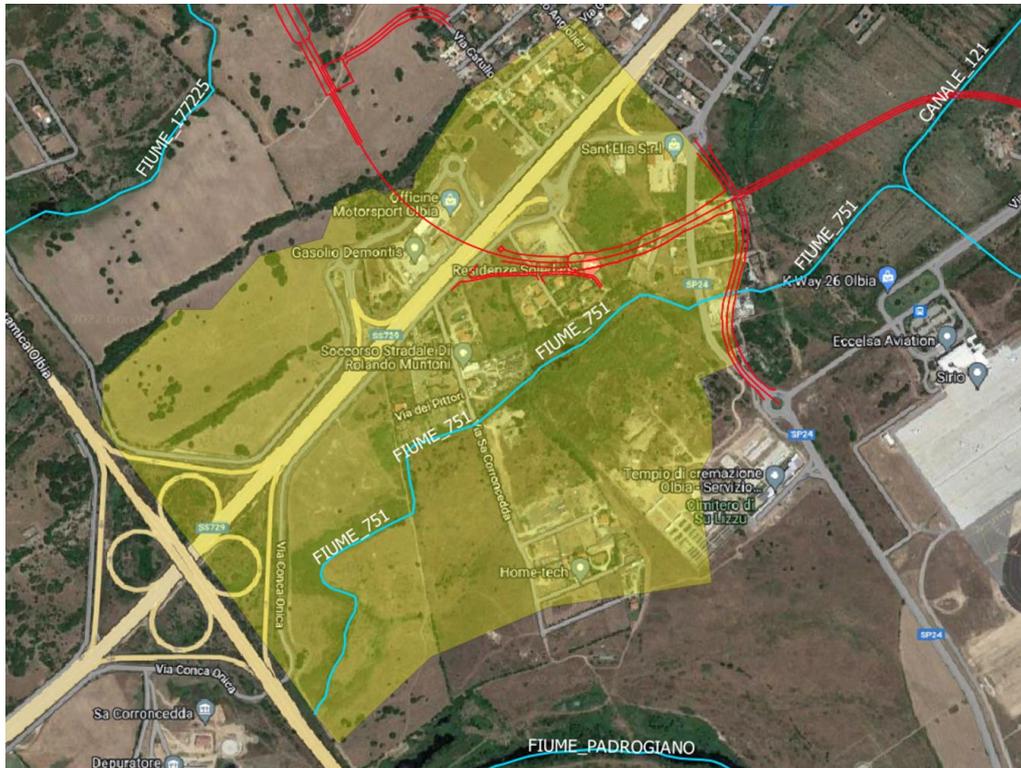


Figura 24 – Inquadramento bacino FIUME_751 con sezione di chiusura rappresentata dall'intersezione con la nuova SP24 (NV04)

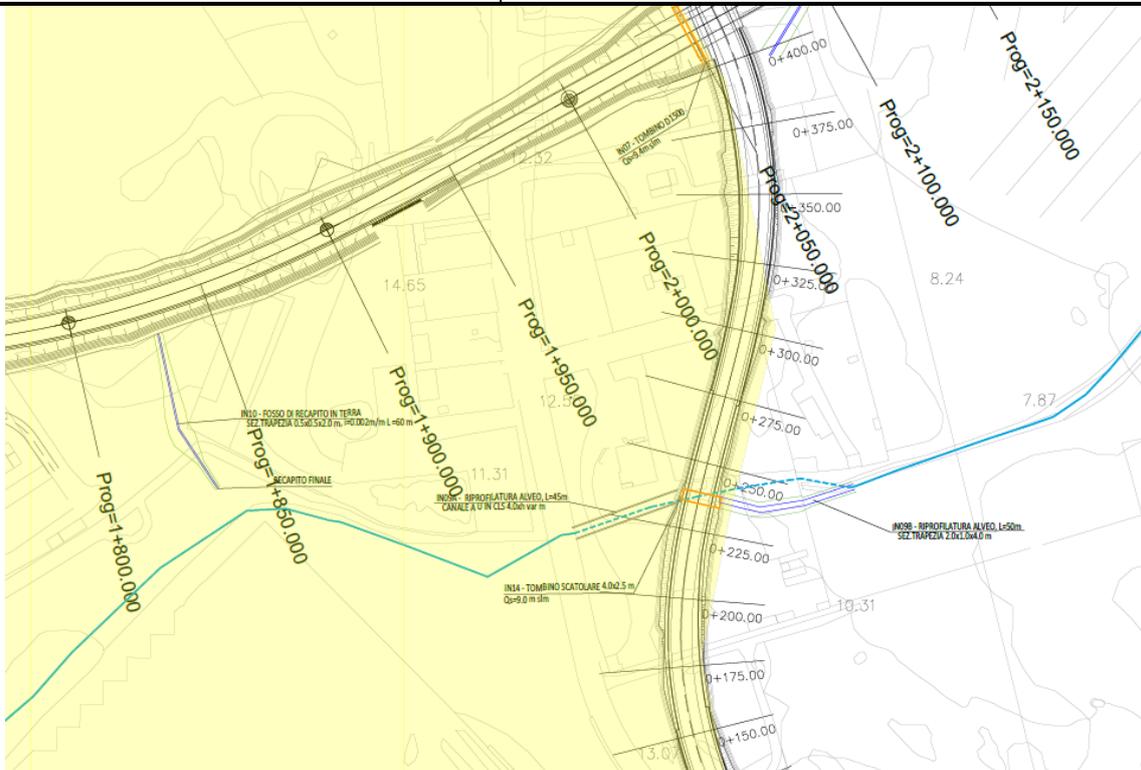


Figura 25 – Inquadramento planimetrico intersezione FIUME_751 con la nuova SP24 (NV04)

Come si può vedere in Figura 24, all'interno del progetto vi è anche la modifica del tracciato stradale della SP24 (NV04). A tal proposito, l'intersezione della viabilità di progetto con il fiume_751 viene risolta demolendo il tratto tombato esistente che sarà sostituito da un canale a U in calcestruzzo che confluirà nel tombino di progetto IN14 posizionato alla pk 0+235 della nuova SP24. A valle del tombino è prevista una risagomatura dell'alveo con sezione 2.0x1.0x4.0 m per un graduale raccordo con l'alveo esistente.

Al fine di dimensionare la portata transitante in tale tombino, si è dapprima perimetrato il bacino afferente, successivamente con il supporto dell'ambiente ArcGIS della ESRI sono stati determinati i seguenti parametri morfometrici:

 ITALFERR GRUPPO FERROVIE DELLO STATO ITALIANE	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
	RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.
	RR00	00 F 14	RI	ID 0001 001	A	57 di 59

Tabella 19 - Parametri morfometrici del bacino del fiume_751 con sezione di chiusura rappresentata dall'IN14.

Parametri morfometrici	
Superficie bacino (Km ²)	0.83
Quota massima (m s.l.m.)	12.00
Quota media (m s.l.m.)	18.50
Quota minima (m s.l.m.)	11.15
Lunghezza dell'alveo principale (Km)	1.25
Pendenza media del bacino (%)	0.09
Pendenza media del reticolo idrografico (-)	0.0007

Come descritto in precedenza nel paragrafo 5.1.1.1, anche in questo caso si è fatto utilizzo del metodo razionale.

Con gli stessi metodi utilizzati in precedenza, sono stati determinati i tempi di corrivazione, tra i quali il minimo è risultato essere quello calcolato con il metodo del Soil Conservation Service (SCS).

Tabella 20 - Tabella dei tempi di corrivazione calcolati per ogni formula considerata.

Formula utilizzata	Tc (ore)
SCS-CN	0.91
Giandotti	2.54
Pasini	4.19
VAPI Sardegna	0.95
T _{Cmin}	0.91

Di seguito sono riportati i risultati dei calcoli con cui si è giunti alla determinazione della portata di picco.

RELAZIONE IDROLOGICA

COMMESSA	LOTTO	CODIFICA	DOCUMENTO	REV.	FOGLIO
RR00	00 F 14	RI	ID 0001 001	A	58 di 59

Tabella 21 - Calcolo della portata di picco con il metodo razionale e SCS

CN _{II}	CN _{III}	T _c	T _{lag}	T _p	S	I _a	a _{T200}	n _{T200}	h _{lorda}	i	h _n	Q ₂₀₀ SCS	φ	Q ₂₀₀ raz.
[-]	[-]	[ore]	[ore]	[ore]	[mm]	[mm]	[mm/ora ⁿ]	[-]	[mm]	[mm/ora]	[mm]	[m ³ /s]	[-]	[m ³ /s]
61.58	78.85	0.91	0.55	1.00	68.14	13.63	68.36	0.59	64.76	70.98	21.92	3.77	0.34	5.53

Come si evince dalla Tabella 21, il valore maggiore della portata di picco corrisponde a quello calcolato con il metodo razionale pari a 5.53 m³/s.

	PFTE collegamento ferroviario con l'aeroporto di Olbia					
RELAZIONE IDROLOGICA	COMMESSA RR00	LOTTO 00 F 14	CODIFICA RI	DOCUMENTO ID 0001 001	REV. A	FOGLIO 59 di 59

BIBLIOGRAFIA

- Deidda, R. (2016, Novembre 4). Evoluzione e progressi negli studi degli eventi estremi di precipitazione in Sardegna. Cagliari: Dipartimento di Ingegneria Civile, Ambientale e Architettura (DICAAR), Università degli Studi di Cagliari.
- Mancini, M. (Ottobre 2014). *Studio di variante al piano stralcio del l'assetto idrogeologico (PAI) e del quadro delle opere di mitigazione del rischio idraulico nel territorio comunale di Olbia - Relazione Generale*. Olbia: Comune di Olbia.
- Mancini, P. i., & Tilocca, D. g. (2006, luglio 25). Linee guida per la redazione del Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. *Integrazioni Metodologiche*. Regione autonoma della Sardegna - Assessorato dei lavori pubblici - Servizio Difesa del suolo.
- Regione autonoma della Sardegna. (2014, Ottobre). Soglie di allerta pluviometriche nella Regione Sardegna. Direzione Generale Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna.
- Regione Autonoma della Sardegna, D. D., Mancini, M. P., & Salis, M. P. (2000, Agosto). Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia DL. 180 e Legge 267 del 3-08-1998. *Linee Guida*. Cagliari: Regione Autonoma della Sardegna - Assessorato Lavori Pubblici.
- Regione Autonoma della Sardegna; Università degli Studi di Cagliari. (2021, 04 07). Linee Guida per la redazione degli studi comunali dei bacini urbani e periurbani interessati da elementi del reticolo idrografico regionale. *Relazione Metodologica per la modellazione idraulica bidimensionale - Allegato alla deliberazione del Comitato Istituzionale n. 7 del 07.04.2021*.
- Ripari, I. S. (Febbraio 2018). *Soluzione progettuale alternativa al "Quadro delle opere di mitigazione del rischio idraulico" approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con Delibera n° 1 del 26.05.2015 CIG 6934262E03. - SF - Analisi dello stato di fatto*. Olbia: Technital S.p.a., Beta Studio s.r.l., Metassociati, Politecnica.