

Impresa – A.T.I.:

Mandataria



Mandante



Mandante



Progettisti indicati – A.T.P.:

Mandataria



Studio Archimede & Associati

Mandante



favero&milan Ingegneria

Mandante



TECNICAER engineering s.r.l.

Relazione Idrologica

N° PROGETTO: **013.13**

ELABORATO: T00ID00IDRRE01_A.docx

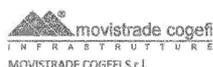
EMISSIONE	A	Apr. 2014	G.A.Idda	M.Cherchi	R.Solmona
descrizione	revisione	data	redatto	controllato	approvato

Impresa – A.T.I.:

Mandataria



Mandante



Mandante



Progettisti indicati – A.T.P.:

Mandataria



Mandante



Mandante



INDICE

1	PREMESSA.....	1
2	APPROCCIO METODOLOGICO.....	2
2.1	PLUVIOMETRIA	2
2.2	STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	2
3	INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI	
STUDIO	3	
3.1	IDENTIFICAZIONE DEI SOTTOBACINI	3
3.2	CURVE NUMBER.....	6
3.3	TEMPI DI CORRIVAZIONE	7
3.3.1	Metodo di Kirpich	7
3.3.2	Metodo VAPI Sardegna	7
3.3.1	Metodo di Chow	8
3.4	CARATTERISTICHE DEI SOTTOBACINI.....	8
4	CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO	10
4.1	PLUVIOMETRIA	10
4.2	STIMA DELLA PIOGGIA INDICE.....	10
4.3	STIMA DELLA CURVA DI CRESCITA.....	11
4.4	CALCOLO DELLE PORTATE.....	14

Impresa – A.T.I.:

Mandataria



Mandante



Mandante



Progettisti indicati – A.T.P.:

Mandataria



Mandante



Mandante



1 PREMESSA

Il presente elaborato esplica la metodologia impiegata nella valutazione delle portate di piena da utilizzare per la progettazione delle opere idrauliche necessarie per risolvere le interferenze create tra il reticolo idrografico naturale e il futuro collegamento stradale. Il tratto in oggetto fa parte del collegamento a 4 corsie tra Sassari ad Olbia, in particolare tra le progressive del km 11+800.00 e km 24+200.00, denominato dall'ente appaltante Lotto 2.

L'analisi idrologica è tesa a valutare le portate al colmo di piena nelle sezioni di attraversamento dei corsi d'acqua lungo il percorso stradale per i tempi di ritorno di riferimento del progetto. Per i bacini di superficie superiore ai 10 km², che generalmente sono interessati da opere idrauliche di una certa importanza, sono stati assunti tempi di ritorno di 200 e 500 anni, mentre per i bacini minori sono stati assunte le portate al colmo con tempi di ritorno di 200 anni.

Nello specifico, per quanto attiene lo studio idrologico, in analogia a quanto richiesto per la progettazione esecutiva dei lotti adiacenti si è proceduto alla revisione idrologica della stima delle portate di progetto utilizzando la metodologia SCS-CN, come riportata nel paragrafo 1.4.2, dell'elaborato "Studi, Indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF) – metodologie di analisi" del PSFF-PAI della Autorità di Bacino della Sardegna, e con le seguenti ulteriori assunzioni cautelative:

- ❖ Precipitazioni calcolate con la regionalizzazione VAPI del PAI, aumentante del 30%;
- ❖ Valore del parametro CN comunque superiore a 90;
- ❖ Stima del tempo di corrvazione da analisi critica di più formulazioni (tra cui: SCS, Ventura, Kirpich, Pasini, Giandotti, Chow) applicati secondo l'appropriatezza delle caratteristiche dei bacini;

La revisione idrologica condotta con le modalità richieste dalla Direzione ANAS ha condotto alla rivalutazione delle portate di piena che risultano essere, in termini assoluti, inferiori a quelle assunte nel progetto preliminare approvato da ANAS, nei bacini aventi minore superficie, e valori al colmo più elevati in quelli aventi superficie maggiore. Le perimetrazione dei bacini idrografici è stata rivista, ma senza significative modifiche.



2 APPROCCIO METODOLOGICO

2.1 PLUVIOMETRIA

Nella valutazione delle piogge di progetto si è assunta la metodologia del VAPI incrementando le precipitazioni calcolati di un valore pari al 30%.

2.2 STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

In mancanza di misure storiche di deflusso nelle sezioni di attraversamento stradale, la stima delle portate al colmo è stata sviluppata con algoritmi di trasformazione afflussi – deflussi.

In particolare è stata applicata la seguente metodologia:

1. il metodo SCS-CN;
2. Valore del parametro CN comunque superiore a 90;
3. Stima del tempo di corrvazione attraverso la formulazione SCS, Kirpich e Chow in base alla dimensione del bacino



3 INQUADRAMENTO GENERALE DELL'AREA DI STUDIO

L'intero tracciato stradale in progetto si estende per una lunghezza complessiva di circa 76 km. Nel suo primo tratto l'asta interseca numerosi corsi d'acqua, per lo più di limitate dimensioni. La morfologia appare sostanzialmente piatta e priva di rilievi. Per quanto riguarda il reticolo idrografico si nota come esso sia assai denso, di tipo dendritico. La geologia è caratterizzata in misura prevalente dall'affioramento di rocce riconducibili alla serie vulcanica plio-pleistocenica, caratterizzata da coperture di roccia basaltica. In generale i bacini imbriferi in esame appaiono interessati da terreni con permeabilità da bassa a molto bassa. Solo nelle parti vallive i terreni presentano un grado di permeabilità leggermente più elevato.

3.1 IDENTIFICAZIONE DEI SOTTOBACINI

Per la caratterizzazione dei sottobacini interessati è stata utilizzata la Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000, disponibile in formato vettoriale ed in coordinate UTM e il DTM ricavato dal volo aereo appositamente condotto per la redazione del progetto esecutivo.

Per i corsi d'acqua in studio si è provveduto alla delimitazione dei sottobacini sulla cartografia citata. Nel progetto risultano:

- ❖ 1 grande bacino, di seguito identificati come bacini di tipologia "A".
- ❖ 29 piccoli bacini, di seguito identificati come bacini di tipologia "B", "D" o "SB".

La corografia generale dei sottobacini interessati è presentata in Fig. 1. Le corografie di dettaglio sono riportate negli elaborati T00 ID00 IDR CO 01_A, T00 ID00 IDR CO 02_A e T00 ID00 IDR CO 03_A, Corografia dei bacini maggiori e minori.

Dal punto di vista idrologico ogni sezione comprende l'intero bacino imbrifero sotteso. Sulla base delle carte digitalizzate ed elaborate dal progetto sono stati poi individuati i seguenti elementi caratteristici del singolo sottobacino:

- ❖ Area (A)
- ❖ Uso del suolo (CN)
- ❖ Lunghezza dell'asta principale riferita alla linea displuviale(L)
- ❖ Pendenza media dei versanti (Jm)
- ❖ Tempo di concentrazione (tC).

I dati sono stati riferiti ad una progressiva secondo l'attuale tracciato di progetto.



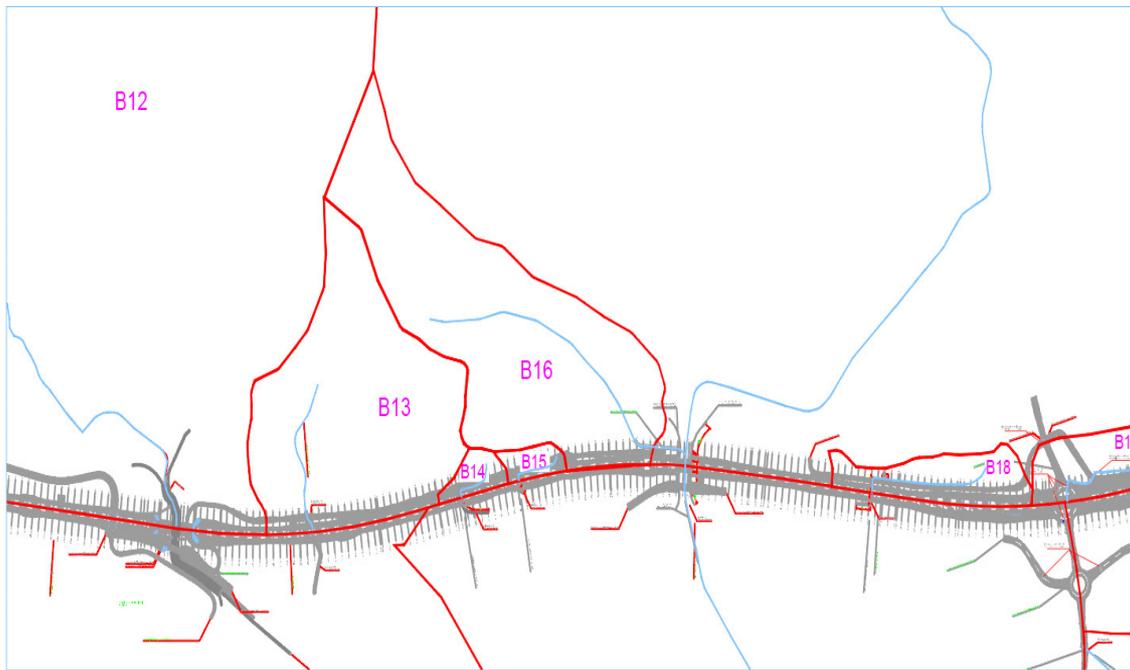
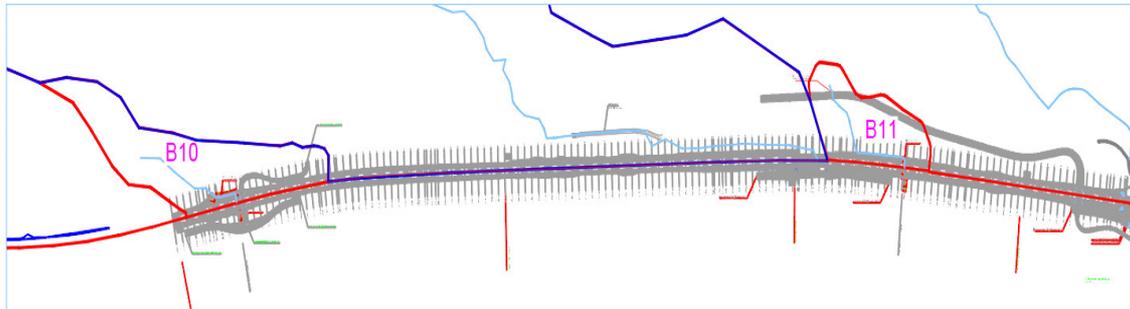
Studio di Ingegneria & Architettura



favero&milan Ingegneria



TECNICAER engineering s.r.l.





Studio di Ingegneria & Architettura

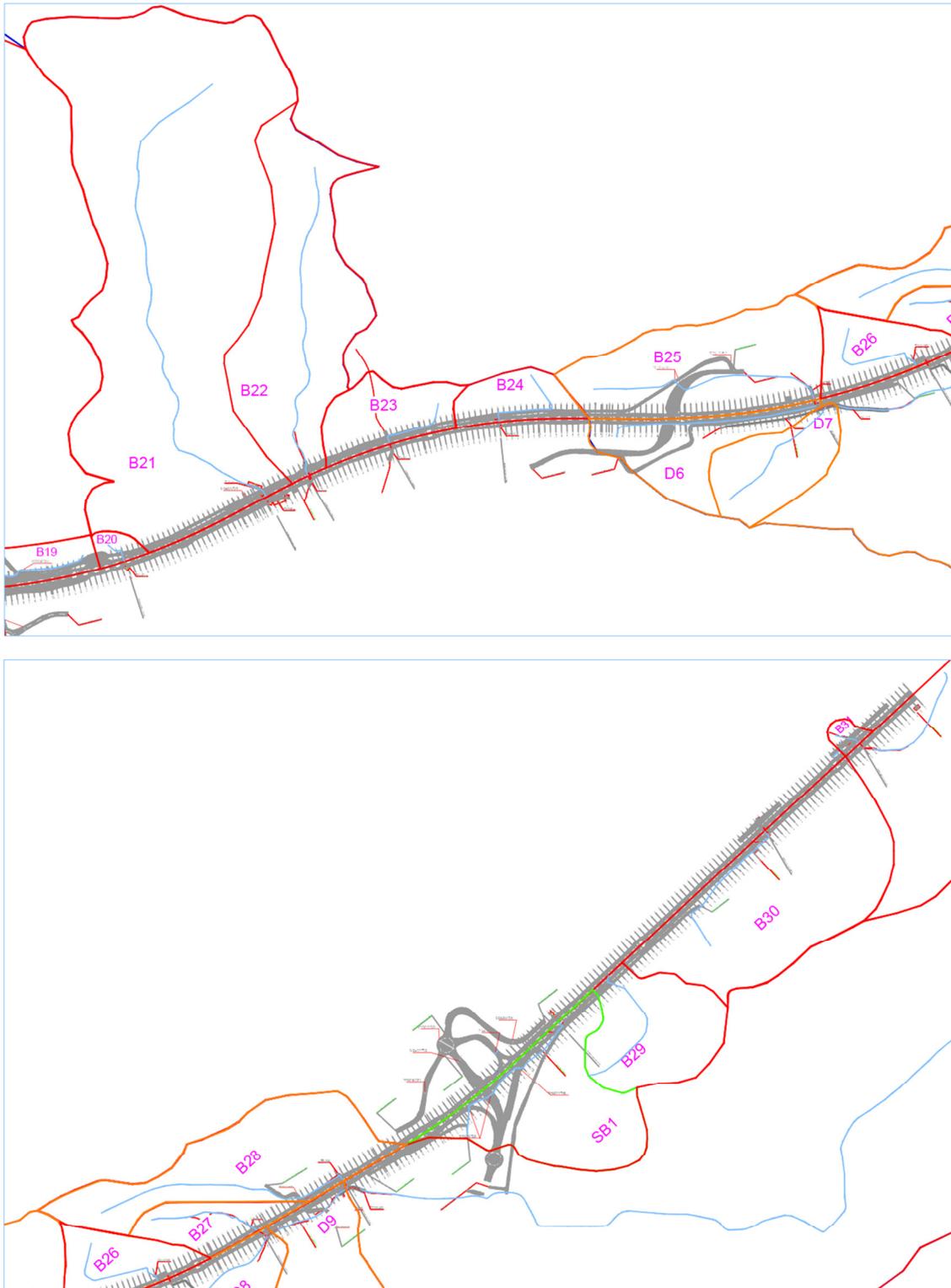


Figura 1 Corografia dei Bacini Idrografici-Stralcio

3.2 CURVE NUMBER

Per la valutazione del CN col noto metodo del Curve Number, si è fatto riferimento alla carta del CN impiegata nelle elaborazioni condotte nell'ambito dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF) del PSFF-PAI della Autorità di Bacino della Sardegna.

I valori del parametro di assorbimento CN, vengono determinati facendo riferimento alla carta del CN costruita sulla base delle informazioni sull'uso suolo, la litologia e la permeabilità a disposizione.

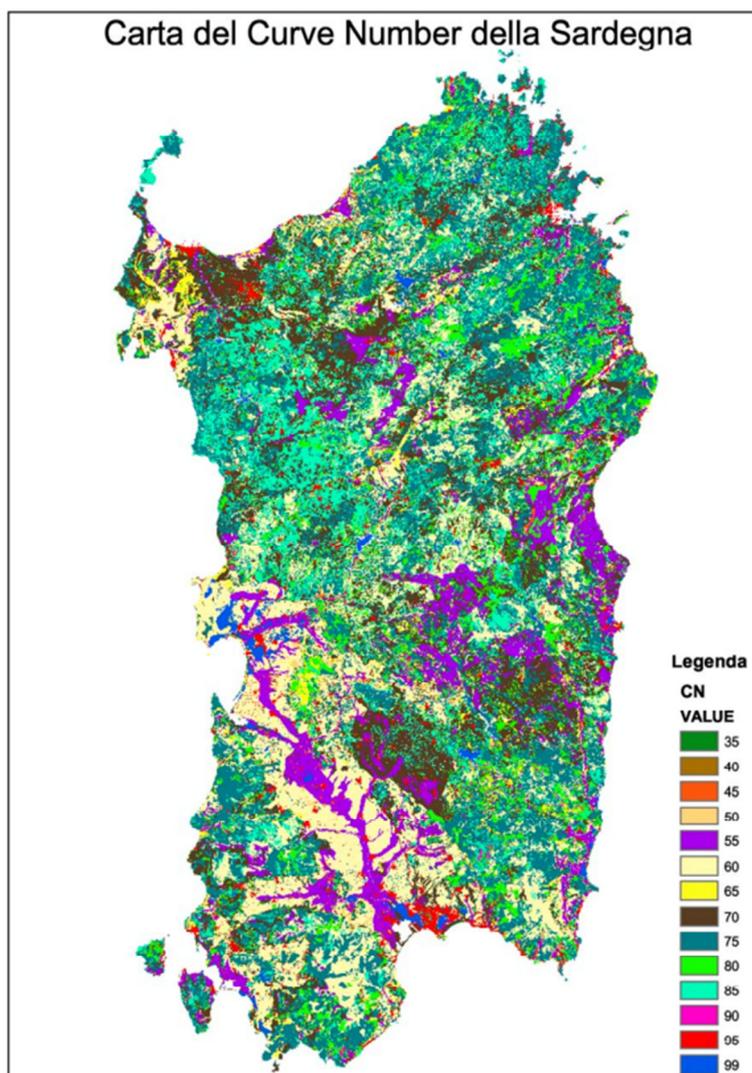
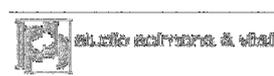


Figura 2 Carta del Curve Number della Regione Sardegna

Attraverso l'impiego di tecniche GIS è stato possibile determinare per ciascun sottobacino il valore corrispondente del CN il equivalente a condizioni di umidità del suolo, antecedenti l'evento meteorico, medie.



Determinati i valori del CN II si è valutato il corrispondente valore per condizioni di suolo umido (CNIII) secondo la seguente espressione:

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

3.3 TEMPI DI CORRIVAZIONE

In bibliografia sono presenti numerosi metodi di calcolo per i tempi di corrivazione, parametro fondamentale per la successiva elaborazione dei valori delle portate fluviali. Per affinare il calcolo ed ottenere un valore più idoneo, sia i tempi di corrivazione dei grandi bacini (Area $\geq 10 \text{ km}^2$) che quelli dei piccoli, sono stati calcolati con tutti i metodi proposti di seguito. Dall'analisi dei risultati si è scelto di utilizzare per i primi i valori ottenuti con il metodo VAPI Sardegna, che nel caso del Lotto 2 è rappresentato dal solo fiume "Badu Ruiu"; mentre per i piccoli con valore della superficie inferiore ad 1 km^2 , il tempo di corrivazione impiegato, è quello ottenuto dal tramite il metodo di Kirpich. Nei casi restanti la formulazione proposta da Chow. Nei paragrafi seguenti vengono esplicitate le formule impiegate.

3.3.1 Metodo di Kirpich

Di seguito viene riportata la formula proposta da Kirpich. Sulle carte al 10.000 sono state rilevate le pendenze lungo le singole tratte del corso principale e sono stati sommati i singoli tempi di concentrazione, con la formula seguente:

$$t_c = \sum 0.945 * \left[\frac{L_i^3}{D_i} \right]^{0.385}$$

ove t_c è espresso in ore, L_i è la lunghezza del tratto i -esimo lungo il corso principale (in km) e D_i il dislivello tra gli estremi del tratto stesso (in metri). I valori risultanti dai suddetti metodi sono stati confrontati, assumendo per il sottobacino il valore ritenuto più idoneo. In particolare questa formulazione, è stata utilizzata per i bacini minori, particolarmente attinente ai bacini di limitata estensione. Nel caso specifico di studio si è utilizzata la formulazione di Kirpich per tutti i bacini aventi superficie inferiore ad $1,00 \text{ km}^2$.

3.3.2 Metodo VAPI Sardegna

Per la determinazione del tempo di concentrazione del bacino maggiore del Badu Ruju si è impiegata, congruentemente alla metodologia adottata per la valutazione delle portate di piena, la formulazione del SCS.

Secondo tale formulazione il tempo di corrivazione t_c è valutato secondo la seguente espressione:

$$t_c = \frac{t_L}{0,6}$$

ove t_L rappresenta il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare) ed è determinato secondo la formulazione di Mockus:

Impresa – A.T.I.:

Mandataria



Mandante



Mandante



Progettisti indicati – A.T.P.:

Mandataria



Studio di Ingegneria & Architettura

Mandante



favero&milan Ingegneria

Mandante



TECNICAER
engineering s.r.l.

8

$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in percentuale, L è la lunghezza dell'asta principale, prolungata fino alla displuviate espressa in Km e t_L è espresso in ore.

3.3.1 Metodo di Chow

La formulazione proposta dal Chow permette di ottenere valori del tempo di corrivazione "intermedi" rispetto ai due metodi sopracitati. Nel progetto in essere si è utilizzata questa formulazione per tutti i bacini aventi superiore ad 1 km^2 , ad esclusione del bacino maggiore del Badu Ruju, rispettando così quanto riportato in letteratura a livello di campi di applicazione di questa formulazione, che qui di seguito viene riportata.

$$t_c = 0.000326 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{i}} \right)^{0.79} \cdot \frac{1}{6}$$

3.4 CARATTERISTICHE DEI SOTTOBACINI

Lungo il tracciato del secondo Lotto della Sassari – Olbia, vengono individuati principalmente attraversamenti di tipo secondario sul reticolo idrografico, caratterizzati da bacini di estensione superficiale minore di 10 km^2 , solo nel caso del fiume "Riu Badu Ruiu" si tratta di uno primario. Nelle successive tabelle si riportano le caratteristiche dei sottobacini identificati.

Bacino	pk	Area	Lunghezza asta principale	Pendenza media bacino	CN imposto	tl	tc Regione Sardegna	Kirpich	Chow	tc	SZO
(-)	(km)	(km ²)	(km)	(%)	(-)	(h)	(h)	(h)	(h)	(h)	(-)
B10	11+994.48	0.09835	0.33	1.7563	91	0.17202	0.2867033	0.1323	0.26186	0.1323	2
B11	13+996.58	0.05224	0.34	0.9627	91	0.23796	0.3966053	0.1713	0.33998	0.1713	2
B12	14+709.50	4.93029	3.51	3.5384	91	0.80337	1.3389462	0.6322	1.28552	1.28552	1
B13	15+119.50	0.28031	0.4	4.0441	91	0.13222	0.2203728	0.1109	0.21928	0.1109	1
B14	15+570.00	0.0139	0.14	6.785	91	0.04408	0.0734596	0.0415	0.07799	0.0415	1
B15	15+745.00	0.01911	0.14	4.5801	91	0.05365	0.0894099	0.0483	0.09109	0.0483	1
B16	0	0.33135	0.78	1.6509	91	0.35309	0.5884861	0.267	0.52945	0.267	1
B17	16+244.5	6.25983	3.94	1.7731	91	1.24481	2.0746806	0.9021	1.85037	1.85037	1
B17e	0+987.50 L2SV5	1.8859	1.95	0.434	91	1.43336	2.3889316	0.9041	1.85091	1.85091	1
B18	16+805.00	0.05307	0.38	0.8454	91	0.27757	0.4626117	0.1995	0.39076	0.1995	1
B19	0	0.06122	0.33	6.3406	91	0.09054	0.1508922	0.0825	0.15771	0.0825	1
B20	17+855.00	0.01708	0.09	15.4169	91	0.02053	0.0342229	0.0223	0.03978	0.0223	1
B21	18+409.48	1.1938	1.84	2.6019	91	0.55883	0.9313863	0.4341	0.87143	0.87143	1
B22	18+574.48	0.3822	1.16	5.1692	91	0.27411	0.4568521	0.2327	0.46152	0.2327	1
B23	18+884.48	0.10056	0.27	3.0377	91	0.1114	0.185669	0.0928	0.17999	0.0928	1
B24	19+279.48	0.06724	0.33	1.0649	91	0.22092	0.3681948	0.1643	0.31908	0.1643	1
B25	20+400.00	0.28162	0.85	2.063	91	0.33834	0.5639056	0.2608	0.5189	0.2608	1
B25a	0+696.22 SS597 L2D	0.2118	0.2851	0.01781831	91	1.51928	2.5321266	0.2608	1.43028	0.2608	1
B26	20+820.00	0.09387	0.42	2.3665	91	0.17973	0.2995484	0.143	0.28162	0.143	1
B27	21+175.00	0.07376	0.4	2.5625	91	0.16611	0.2768452	0.1345	0.26259	0.1345	1
D6	-	0.13338	0.74	2.928	91	0.2542	0.4236632	0.2045	0.40501	0.2045	1
D7	-	0.11946	0.49	4.6539	91	0.14498	0.2416402	0.1242	0.24352	0.1242	1
D8	-	0.4594	0.79	1.2144	91	0.4159	0.6931731	0.3036	0.60377	0.3036	1
D9	-	0.13288	0.29	1.5548	91	0.16487	0.2747907	0.1293	0.24811	0.1293	1
B28	21+529.48	0.2745	0.92	1.8862	91	0.37697	0.6282858	0.288	0.57227	0.288	1
B29	-	0.16853	0.54	1.7787	91	0.25348	0.422459	0.2946	0.38447	0.2946	1
SB1	22+480.00	0.23561	0.57	2.68	91	0.21563	0.3593796	0.2946	0.34127	0.2946	1
B30	23+479.48	0.39002	0.55	0.9687	91	0.34855	0.5809201	0.2508	0.49592	0.2508	1
B31	23+941.00	0.01209	0.09	3.5455	91	0.04282	0.0713635	0.0384	0.07109	0.0384	1
B31bis	23+941.00	0.45	0.436	0.204	91	0.63073	1.0512233	0.0384	0.76376	0.0384	1
N1	0+072.60 L2SV5	0.06051474	0.3344	0.03	91	1.33022	2.2170387	0.1293	1.32061	0.1293	1

Tabella 1 Elenco e caratteristiche dei Piccoli Bacini

Pr.	Corso d'acqua	Area bacino (Kmq)	Lunghezza asta principale (Km)	Quota attr.to Hmin	Quota massima idrografia (m.s.l.m.)	Dislivell o Δ H (m)	Altitudine media (m.s.l.m.)
13+738.4	Riu Badu Ruju	45.33	13.72	230	610	380	360

Pr.	Corso d'acqua	VAPI Sard. (ore)	Velocità media di percorrenza Vw * m/sec
13+738.4	Riu Badu Ruju	8.95	0.97

Tabella 2 Elenco e caratteristiche dei Grandi Bacini



4 CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

4.1 PLUVIOMETRIA

Le procedure di riferimento per la valutazione delle piogge di progetto sul territorio nazionale utilizzano generalmente i rapporti regionali elaborati dal gruppo GNDICI-CNR nell'ambito del progetto VAPI. Tale studio è stato, inoltre, assunto per la stesura del PAI regionale della Sardegna.

Con riferimento all'analisi regionale, è necessario conoscere il valore massimo di precipitazione di durata t per fissato periodo di ritorno T relativo all'intera area A del bacino. Per la determinazione di tale valore sono necessari i seguenti elementi:

- ❖ la legge di probabilità pluviometrica $h(d,T)$ mediata sull'area;
- ❖ il fattore di crescita KT delle precipitazioni per il periodo di ritorno scelto e riferito all'area in esame;
- ❖ il fattore empirico di riduzione delle piogge all'area (fattore di riduzione areale).

4.2 STIMA DELLA PIOGGIA INDICE

La stima regionale include interamente la zona di studio, secondo la classificazione riportata nel citato studio VA.PI.

La determinazione dei valori medi massimi annuali delle piogge giornaliere avviene attraverso la rappresentazione a curve isoparametriche che consentono la stima della pioggia indice (hg) in un generico sito attraverso un'interpolazione lineare fra le curve più vicine al punto stesso. Le singole curve pluviometriche medie vengono presentate nella successiva figura 3. La metodologia prevede la suddivisione del territorio in più sottozone pluviometriche omogenee.

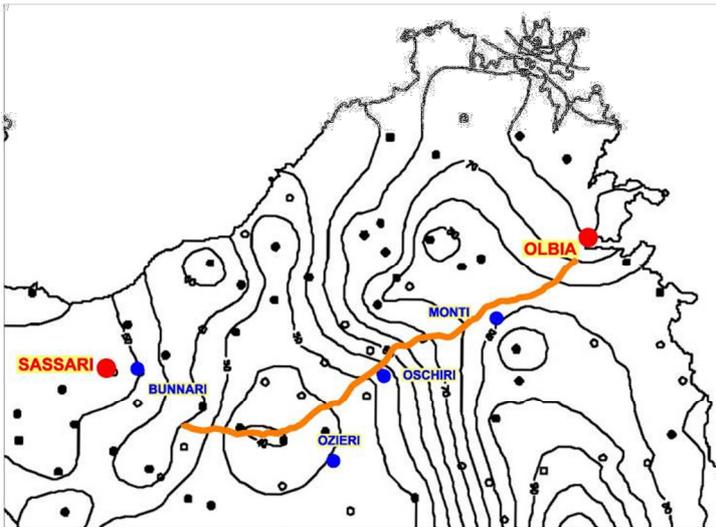


Figura 3 Regionalizzazione delle precipitazioni

Per la ricostruzione della legge di variazione delle piogge nella regione, viene indicata nelle “Linee Guida” la seguente relazione:

$$\bar{h}(d) = a \cdot d^n \quad [\text{mm}]$$

ove $n = -0.493 + 0.476 \text{ Log } m[\text{hg}]$ ed $a = m[\text{hg}] / [0.886 \cdot 24^n]$, mentre, hg rappresenta la pioggia media giornaliera (pioggia indice, in mm) e d la durata dell'evento in ore.

Tale relazione è stata utilizzata per le valutazioni delle curve locali di intensità-durata pluviometrica, le quali, nella loro formulazione completa tengono conto della criticità degli eventi (Tempo di Ritorno), della sottozona pluviometrica omogenea, e dell'esistenza di leggi distinte per durate inferiori o superiori all'ora.

4.3 STIMA DELLA CURVA DI CRESCITA

La definizione della curva di crescita con il tempo di ritorno individua i rapporti tra i quantili caratterizzati da diversi tempi di ritorno. Rimane così definita, una volta noto il valor medio della variabile considerata, in questo caso l'altezza di precipitazione, la curva di probabilità pluviometrica.

Per determinare il valore della probabilità che la massima altezza di pioggia dell'anno $H(d)$ sia minore od uguale ad un valore di $(a \cdot d^n)$, relativamente alla durata d, la metodologia VAPI assume un'ipotesi sul tipo di distribuzione da utilizzare per la funzione di distribuzione di probabilità e

successivamente stima i parametri da cui questa funzione dipende, in base ai valori osservati di precipitazione. Nel caso in esame la distribuzione utilizzata è del tipo TCEV.

4.3.1 Curve di crescita regionali

Come precedentemente indicato, la stima delle precipitazioni di un'assegnata durata e per un dato tempo di ritorno si basa sul calcolo dei valori della media dei massimi delle precipitazioni stesse relative alla durata d e la successiva amplificazione attraverso un fattore di crescita (in funzione del tempo di ritorno T) K_T , ossia:

$$h(d, T) = K_T \cdot (a \cdot d^n)$$

Il coefficiente di crescita K_T assume la seguente espressione

$$K_T = a_2 t^{n_2}$$

dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano in relazione alla sottozona pluviometrica omogenea (SZO) e alla durata della pioggia e del tempo di ritorno.

Nel caso del Lotto 2, parte dei bacini si trovano in sottozona 1 e certi in sottozona 2 come quanto evidenziato nella Figura 4, le espressioni per la determinazione dei due coefficienti (a_2 e n_2) risultano essere le seguenti per i tempi di ritorno in esame (200 anni):

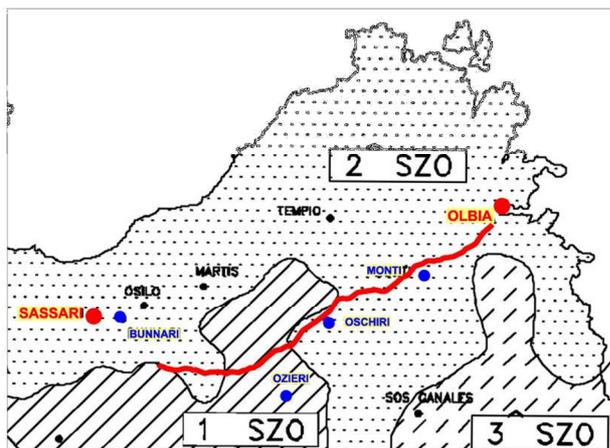


Figura 4 Sottozone Omogenee



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

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad a_2 &= 0,66105 + 0,85994 \text{Log}_{10} T ; \\ n_2 &= -1,3558 \cdot 10^{-4} - 1,3660 \cdot 10^{-2} \text{Log}_{10} T ; \\ \text{SZO 2} \quad a_2 &= 0,64767 + 0,89360 \text{Log}_{10} T ; \\ n_2 &= -6,0189 \cdot 10^{-3} + 3,2950 \cdot 10^{-4} \text{Log}_{10} T ; \\ \text{SZO 3} \quad a_2 &= 0,62408 + 0,95234 \text{Log}_{10} T ; \\ n_2 &= -2,5392 \cdot 10^{-2} + 4,7188 \cdot 10^{-2} \text{Log}_{10} T ; \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{SZO 1} \quad a_2 &= 0,46378 + 1,0386 \text{Log}_{10} T \\ n_2 &= -0,18449 + 0,23032 \text{Log}_{10} T - 3,3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 && (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= -1,0563 \cdot 10^{-2} - 7,9034 \cdot 10^{-3} \text{Log}_{10} T && (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \\ \text{SZO 2} \quad a_2 &= 0,44182 + 1,0817 \text{Log}_{10} T \\ n_2 &= -0,18676 + 0,24310 \text{Log}_{10} T - 3,5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 && (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= -5,6593 \cdot 10^{-3} - 4,0872 \cdot 10^{-3} \text{Log}_{10} T && (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \\ \text{SZO 3} \quad a_2 &= 0,41273 + 1,1370 \text{Log}_{10} T \\ n_2 &= -0,19055 + 0,25937 \text{Log}_{10} T - 3,8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 && (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora}) \\ n_2 &= 1,5878 \cdot 10^{-2} + 7,6250 \cdot 10^{-3} \text{Log}_{10} T && (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora}) \end{aligned}$$

Figura 5 Formule di calcolo per i coefficienti $a_2 - n_2$

L'applicazione dei fattori di crescita delle singole zone ai valori calcolati per il singolo sottobacino dalle curve pluviometriche medie (Fig. 3), opportunamente pesate arealmente, permette di valutare le precipitazioni di durata assegnata.

Nello specifico la prima parte del tracciato ricade in sottozona 1 mentre il restante nella sottozona 2.

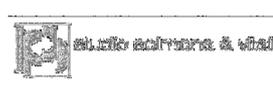
In tabella, T rappresenta il tempo di ritorno in anni, mentre a ed n rappresentano i parametri della curva di possibilità pluviometrica per la legge monomia adn, espressa nella forma normalizzata rispetto alla pioggia indice. Si nota che la metodologia stessa prevede una differenziazione dei parametri in funzione delle durate degli eventi (durate inferiori o superiori all'ora).

La pioggia ottenuta viene quindi ragguagliata all'area tramite il parametro r, secondo la formulazione utilizzata nel VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report:

$$r = 1 - (0,0394 A^{0.354} d(-0.40 + 0.0208 \ln(4.6 - \ln(A)))) \text{ per } A < 20 \text{ km}^2$$

dove

- ❖ d è la durata della precipitazione;
- ❖ A è la superficie del bacino (espressa in km²)



4.4 CALCOLO DELLE PORTATE

Come detto in premessa per la determinazione delle portate di piena relative ai diversi bacini si è utilizzata la metodologia SCS-CN con le seguenti assunzioni cautelative:

- Precipitazioni calcolate con la regionalizzazione VAPI del PAI, aumentante del 30%;
- Valore del parametro CN comunque superiore a 90;
- Stima del tempo di corrivazione con la formulazione SCS, Chow e Kirpich;

Il metodo usualmente denominato “curve number” ed elaborato dal Soil Conservation Service assume che la produzione del volume di deflusso superficiale, Q , sia data dalla seguente espressione:

$$\frac{F}{S} = \frac{Q}{(P - I)}$$

in cui:

F = volume specifico infiltrato;

S = volume specifico di saturazione di un terreno;

P = precipitazione;

I = assorbimento iniziale;

quindi, tenendo conto dell'equazione di continuità:

$$F = P - I - Q$$

dalla precedente, si ottiene :

$$Q = \frac{(P - I)^2}{(P - I + S)}$$

Il volume specifico di saturazione dipende dalla natura del terreno e dall'uso del suolo, fattori che vengono espressi, per mezzo del CN, attraverso la seguente relazione:

$$S = S_0 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

in cui:

S_0 è un fattore di scala, pari a 254 se la pioggia viene espressa in mm;

CN è il parametro di cui sopra, che può essere un valore compreso fra zero e cento.

Tale modello, quindi, prende in considerazione le due variabili I ed S . In realtà, il termine I rappresenta un volume specifico di pioggia, generalmente sottratto a priori al bilancio in esame, che descrive in modo globale diversi processi, quali l'intercettazione, l'accumulo nelle depressioni

superficiali, l'imbibimento iniziale del terreno. Nella procedura CN-SCS standard, I viene valutato come una quota parte di S, specificatamente il 20%.

Per il calcolo della portata al colmo, si è utilizzata la metodologia proposta dal Soil Conservation Service. Questo metodo considera un idrogramma approssimato di forma triangolare con una fase crescente di durata t_a (tempo di accumulo) ed una fase di esaurimento di durata t_e (tempo di esaurimento) e il cui volume V , in m^3 , ha la seguente espressione:

$$V = \frac{Q_p}{2} (t_a + t_e) = \frac{Q_p \cdot t_b}{2}$$

con t_b durata dell'evento di piena.

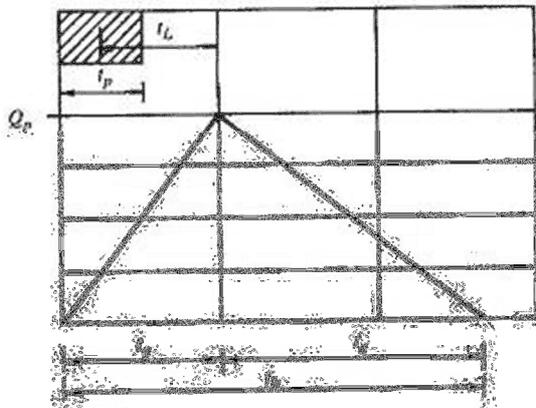


Figura 6 Idrogramma triangolare utilizzato per il calcolo della portata al colmo con il metodo SCS

A seguito di analisi sperimentali dell'SCS è stato stabilito che nella fase crescente dell'idrogramma defluisce un volume idrico che è pari al 37.5% del volume totale V di deflusso, ne consegue che la durata della fase crescente è pari a 0.375 volte la durata dell'evento di piena t_b e pertanto:

$$t_b = 2.67 \cdot t_a$$

Di conseguenza è possibile esprimere la portata al colmo secondo la relazione qui di seguito riportata:

$$Q_p = 0.208 \cdot \frac{V \cdot A}{t_a}$$

in cui:

V = volume di deflusso espresso in mm ;

A = area del bacino espressa in Km^2 ;

t_a = tempo di accumulo espresso in ore.



La determinazione di t_a , nell'ipotesi di precipitazione di intensità costante, di durata t_p e indicando con t_L il tempo di ritardo (distanza tra il baricentro dello istogramma ed il picco dell'idrogramma triangolare), si effettua con la semplice relazione:

$$t_a = 0.5 \cdot t_p + t_L$$

Per la determinazione del tempo di ritardo, espresso in ore, si utilizza la formula di Mockus:

$$t_L = 0.342 \cdot \frac{L^{0.8}}{s^{0.5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

in cui s è la pendenza del bacino espressa in percentuale, L è la lunghezza dell'asta principale, prolungata fino alla dispiuviate espressa in Km.

Sulla base di determinazioni empiriche effettuate dall'SCS, è possibile affermare che il rapporto t_L/t_c è pari a 0,6, con t_c tempo di corrivazione del bacino.

Nello specifico si precisa che essendo i valori del CN (III) ricavati dalla carta del Curve Number della Regione Sardegna inferiori a 90 si è considerato un incremento per tutti i bacini un valore del CN, pari a 91.

Attraverso l'impiego della metodologia suddetta si sono determinati per ciascun bacino i valori di portata di piena contenuti nella seguente tabella:

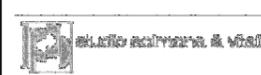


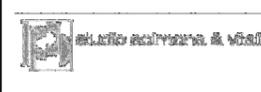
Tabella 3 Portate di piena (tempo di ritorno T=200 anni) determinate con il metodo SCS-CN

Bacino	Opera	Inalveazione	pk	Area	Lunghezza asta principale	Pendenza media asta principale	tc	SZO	a2	n2	Kt	hg	n1	a1	ht	ht+30%	r	ta	S	V	Qc	qc
(-)	(-)	(-)	(km)	(km^2)	(km)	(%)	(h)	(-)				(mm)			(mm)	(mm)	(-)	(h)	(mm)	(mm)	(m^3/s)	(m^3/s/km^2)
A12	Ponte rio Badu ruju	0	0	45.33	13.72	0.70	8.96	2	2.9308	-0.0151	2.8356	45	0.2939	19.9570	92.53	120.29	0.86	5.97	24.73	94.98	201.90	4.45
B10	TM01	S15	11+994.48	0.10	0.33	1.76	0.13	2	2.9308	0.1849	2.0163	45	0.2939	19.9570	20.56	26.73	0.93	0.09	24.73	10.20	3.19	32.39
B11	TM02	S16	13+996.58	0.05	0.34	0.96	0.17	2	2.9308	0.1849	2.1150	45	0.2939	19.9570	23.78	30.92	0.95	0.11	24.73	13.30	1.70	32.63
B12	PONTE PUBUSA	S17	14+709.50	4.93	3.51	3.54	1.29	1	2.8536	-0.0287	2.8331	45	0.2939	19.9570	52.66	68.46	0.87	0.86	24.73	45.72	73.66	14.94
B13	TM03	S18	15+119.50	0.28	0.40	4.04	0.11	1	2.8536	0.1690	1.9678	45	0.2939	19.9570	18.19	23.64	0.88	0.07	24.73	8.05	8.55	30.50
B14	TM04	S19	15+570.00	0.01	0.14	6.79	0.04	1	2.8536	0.1690	1.6666	45	0.2939	19.9570	12.34	16.04	0.95	0.03	24.73	3.44	0.48	34.79
B15	TM05	S20	15+745.00	0.02	0.14	4.58	0.05	1	2.8536	0.1690	1.7099	45	0.2939	19.9570	13.19	17.14	0.94	0.03	24.73	4.03	0.67	35.05
B16	0	S21	16+244.5	0.33	0.78	1.65	0.27	1	2.8536	0.1690	2.2828	45	0.2939	19.9570	28.13	36.57	0.91	0.18	24.73	17.75	9.25	27.92
B17	Ponte Rio Crastos	S22	16+244.5	6.26	3.94	1.77	1.85	1	2.8536	-0.0287	2.8036	45	0.2939	19.9570	58.44	75.98	0.87	1.23	24.73	52.69	74.89	11.96
B17e	Ponte L2SV5	S22e	0+987.50 L2SV5	1.89	1.95	0.43	1.85	1	2.8536	-0.0287	2.8036	45	0.2939	19.9570	61.48	79.93	0.92	1.23	24.73	56.39	24.14	12.80
B18	TM06	S23	16+805.00	0.05	0.38	0.85	0.20	1	2.8536	0.1690	2.1731	45	0.2939	19.9570	25.62	33.31	0.95	0.13	24.73	15.15	1.69	31.91
B19	TM23-TM30	0	0	0.06	0.33	6.34	0.08	1	2.8536	0.1690	1.8718	45	0.2939	19.9570	16.62	21.60	0.93	0.05	24.73	6.70	2.09	34.14
B20	TM07	S24	17+855.00	0.02	0.09	15.42	0.02	1	2.8536	0.1690	1.5005	45	0.2939	19.9570	9.07	11.79	0.93	0.01	24.73	1.48	0.48	27.97
B21	TM08	S25	18+409.48	1.19	1.84	2.60	0.87	1	2.8536	0.1690	2.7880	45	0.2939	19.9570	48.47	63.01	0.91	0.58	24.73	40.72	23.44	19.63
B22	TM09	S26	18+574.48	0.38	1.16	5.17	0.23	1	2.8536	0.1690	2.2304	45	0.2939	19.9570	26.11	33.95	0.90	0.16	24.73	15.66	10.80	28.27
B23	TM10	S27	18+884.48	0.10	0.27	3.04	0.09	1	2.8536	0.1690	1.9094	45	0.2939	19.9570	17.34	22.54	0.92	0.06	24.73	7.31	3.33	33.11
B24	TM11	S28	19+279.48	0.07	0.33	1.06	0.16	1	2.8536	0.1690	2.1030	45	0.2939	19.9570	23.21	30.17	0.94	0.11	24.73	12.74	2.19	32.57
B25	TM12	S29	20+400.00	0.28	0.85	2.06	0.26	1	2.8536	0.1690	2.2738	45	0.2939	19.9570	27.96	36.35	0.91	0.17	24.73	17.57	7.97	28.30
B25a	TM31	0	0+696.22 SS597 L2D	0.21	0.29	0.02	0.26	1	2.8536	0.1690	2.2738	45	0.2939	19.9570	28.22	36.69	0.92	0.17	24.73	17.84	6.09	28.74
B26	TM13	S30	20+820.00	0.09	0.42	2.37	0.14	1	2.8536	0.1690	2.0542	45	0.2939	19.9570	21.50	27.96	0.93	0.10	24.73	11.09	3.06	32.59
B27	TM14	S31	21+175.00	0.07	0.40	2.56	0.13	1	2.8536	0.1690	2.0330	45	0.2939	19.9570	21.01	27.31	0.93	0.09	24.73	10.62	2.45	33.17
D6	0	S29	-	0.13	0.74	2.93	0.20	1	2.8536	0.1690	2.1822	45	0.2939	19.9570	25.38	32.99	0.93	0.14	24.73	14.91	4.08	30.62
D7	0	S29	-	0.12	0.49	4.65	0.12	1	2.8536	0.1690	2.0058	45	0.2939	19.9570	19.92	25.89	0.92	0.08	24.73	9.61	3.88	32.50
D8	0	S29-S30	-	0.46	0.79	1.21	0.30	1	2.8536	0.1690	2.3329	45	0.2939	19.9570	29.63	38.52	0.90	0.20	24.73	19.34	12.29	26.76
D9	0	S31-S33	-	0.13	0.29	1.55	0.13	1	2.8536	0.1690	2.0195	45	0.2939	19.9570	20.25	26.32	0.92	0.09	24.73	9.91	4.28	32.20
B28	TM46-TM15	S32	21+529.48	0.27	0.92	1.89	0.29	1	2.8536	0.1690	2.3122	45	0.2939	19.9570	29.40	38.22	0.92	0.19	24.73	19.09	7.64	27.84
B29	0	0	-	0.17	0.54	1.78	0.29	1	2.8536	0.1690	2.3211	45	0.2939	19.9570	30.15	39.20	0.93	0.20	24.73	19.90	4.78	28.37
SB1	TM16	0	22+480.00	0.24	0.57	2.68	0.29	1	2.8536	0.1690	2.3211	45	0.2939	19.9570	29.87	38.83	0.92	0.20	24.73	19.59	6.58	27.94
B30	TM17	S35	23+479.48	0.39	0.55	0.97	0.25	1	2.8536	0.1690	2.2588	45	0.2939	19.9570	27.09	35.22	0.90	0.17	24.73	16.67	10.89	27.92
B31	TM18	0	23+941.00	0.01	0.09	3.55	0.04	1	2.8536	0.1690	1.6449	45	0.2939	19.9570	11.92	15.49	0.95	0.03	24.73	3.15	0.42	34.52
B31bis	0	S36	23+941.00	0.45	0.44	0.20	0.04	1	2.8536	0.1690	1.6449	45	0.2939	19.9570	10.03	13.04	0.80	0.03	24.73	1.99	9.82	21.82
N1	TM26	S22A	0+072.60 L2SV5	0.06	0.33	0.03	0.13	1	2.8536	0.1690	2.0195	45	0.2939	19.9570	20.71	26.92	0.94	0.09	24.73	10.34	2.03	33.60

Si riporta infine un quadro di riepilogo, nel quale, per tutti i bacini si sono calcolate le portate con diverso tempo di ritorno:

Tabella 4 Portate di piena impiegate per la progettazione delle opere idrauliche

ANAS S.p.A.	Adeguamento al tipo (4 corsie) dell'itinerario Sassari – Olbia LOTTO 2	Relazione idrologica	04/2014 - Rev. A T00ID00IDRRE01_A.docx
------------------------	--	----------------------	---



Bacino	Qc (T=50 y)	qc (T=50 y)	Qc (T=100 y)	qc (T=100 y)	Qc (T=200 y)	qc (T=200 y)	Qc (T=500 y)	qc (T=500 y)
(-)	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)	(m ³ /s)	(m ³ /s/km ²)
A12	148.2961504	3.271479163	175.0602816	3.861907824	201.8988314	4.453978191	237.3945656	5.237029904
B10	1.383445884	14.06655703	1.641179009	16.68712769	3.185822662	32.39270628	2.287715711	23.260963
B11	0.685882929	13.12945883	0.821545353	15.72636587	1.704496747	32.62819194	1.156735521	22.1427167
B12	49.72465019	10.08554267	60.07086247	12.18404241	73.65716629	14.93972288	84.73646073	17.18691207
B13	3.946886481	14.0804341	4.650305079	16.58986507	8.548240549	30.49566747	6.439604351	22.97315241
B14	0.274275385	19.73204206	0.307235538	22.10327612	0.483538709	34.78695747	0.401569838	28.88991642
B15	0.359892319	18.83266974	0.407309275	21.31393379	0.669747722	35.04697657	0.53854545	28.18134223
B16	3.650125812	11.01592217	4.421921429	13.34516804	9.252664924	27.92414343	6.307262232	19.03504522
B17	47.40212688	7.572430382	56.88619235	9.087497959	74.88622811	11.96298112	79.32300181	12.67175016
B17e	13.26634091	7.034487997	15.87840507	8.419537128	24.13784838	12.79911362	22.04035282	11.6869149
B18	0.657727876	12.39359102	0.790403102	14.89359529	1.693617238	31.91289312	1.116154738	21.03174558
B19	1.062527552	17.35588945	1.229266292	20.0794886	2.090178247	34.14208179	1.663355453	27.17013154
B20	0.332952109	19.49368321	0.356132211	20.85083202	0.477692589	27.9679502	0.44457312	26.02887122
B21	15.64844336	13.10809462	18.92945526	15.85647115	23.43708665	19.6323393	26.78972544	22.44071489
B22	4.725853543	12.3648706	5.678560147	14.85756187	10.80301501	28.26534538	8.019128855	20.98149884
B23	1.559425225	15.50741075	1.822495665	18.12346525	3.32963337	33.11091259	2.497860684	24.83950561
B24	0.888715332	13.21706324	1.061274051	15.78337374	2.190240693	32.57347848	1.488331868	22.13462029
B25	3.20031019	11.36393079	3.870015735	13.74197761	7.971057096	28.30430046	5.506676571	19.55357067
B25a	0.583910198	2.75689423	0.722463297	3.411063724	6.087184736	28.74024899	1.058278031	4.996591268
B26	1.325422367	14.11976528	1.572505121	16.75194547	3.058892828	32.58647947	2.189103371	23.3205856
B27	1.081186604	14.6581698	1.278799212	17.33729951	2.44659036	33.169609	1.773500938	24.04421011
D6	1.731486787	12.98160734	2.074112257	15.55039929	4.084299707	30.62153027	2.917118637	21.87073502
D7	1.80529664	15.11214331	2.126260634	17.79893382	3.881873837	32.49517693	2.93563137	24.57417856
D8	4.664626038	10.15373539	5.68076446	12.36561702	12.29151472	26.75558276	8.156346846	17.75434664
D9	1.84940644	13.91786906	2.191336486	16.49109336	4.279009038	32.20205477	3.049300671	22.94777748
B28	3.024229254	11.01722861	3.666662093	13.35760325	7.642545627	27.84169627	5.232353994	19.06139888
B29	2.658914167	15.77709706	3.161704073	18.76048225	4.781535188	28.37201203	4.390558475	26.0520885
SB1	4.169590859	17.69700292	4.923793915	20.89806848	6.58243487	27.93784164	6.773713221	28.74968474
B30	4.144836156	10.62724003	5.027710256	12.89090369	10.88868234	27.91826659	7.188268532	18.43051262
B31	0.231105105	19.11539334	0.258749761	21.4019653	0.417295011	34.51571635	0.338412625	27.99111872
B31bis	0.774290765	1.720646144	1.036798422	2.303996493	9.819338183	21.82075152	1.722136279	3.826969509
N1	0.137232579	2.267754583	0.172502041	2.850578897	2.033157819	33.59772863	0.259255448	4.284170225

Impresa – A.T.I.:

Mandataria



Mandante



Mandante



Progettisti indicati – A.T.P.:

Mandataria



Studio di Ingegneria & Architettura

Mandante



favero&milan Ingegneria

Mandante



TECNICAER
engineering s.r.l.