

# COMUNE DI ALGHERO

## Provincia di Sassari



LAVORI DI RIPRISTINO FUNZIONALE DEI FONDALI DEL  
PORTO CANALE DI FERTILIA

PROGETTO PRELIMINARE

Data:  
DIC 2018

Scala:

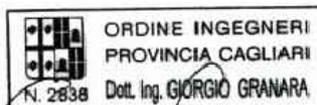
RELAZIONE IDRAULICA

ELABORATO

F

PROGETTAZIONE RTP:

CCV s.r.l. : dott. ing. arch. Noemi Migliavacca  
dott. ing. Giorgio Granara  
dott. ing. Paolo Biancu



ORDINE INGEGNERI  
PROVINCIA DI CAGLIARI  
Dott. Ing. MARCELLO ANGIUS N.2858

CONSULENTE:

dott. ing. Marcello Paolo Angius

RUP:

geom. Ingrid Crabuzza



granara-migliavacca ingegneri  
via lepanto 26 - 09124 cagliari -----via xx settembre 108 - 09014 carloforte  
tel/fax +39-0702353880 - email: granara.migliavacca@tiscali.it - www.granaramigliavacca.it



COMUNE DI ALGHERO

RELAZIONE SPECIALISTICA IDRAULICA

## Relazione Specialistica Idraulica

### Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

#### INDICE

PREMESSA .....	3
INQUADRAMENTO PROGETTUALE.....	3
INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
Il bacino idrografico .....	6
Canale Urune .....	7
Riu Filibertu.....	7
Rio Barca .....	8
Riu de Calvia .....	9
Analisi idrologica. ....	10
Metodo Razionale.....	12
Valutazione del tempo di corrvazione. ....	14
Valutazione del coefficiente ARF.....	15
Altezze di pioggia. ....	16
Valutazione del coefficiente di deflusso $\Phi$ .....	21
Modello TCEV per la definizione delle portate al colmo .....	24
Determinazione portate di piena.....	26
Stima delle portate al colmo per il Canale Urune .....	26
Stima delle portate al colmo per il Rio Barca .....	29
Stima delle portate al colmo per Riu de Calvia .....	30

#### **PREMESSA**

Nell'ambito del progetto dei Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia, è redatta la presente relazione specialistica idrologica-idraulica.

L'analisi idrologica che segue è finalizzata alla determinazione delle portate di piena relative ai bacini ricadenti nell'area di studio, cioè il bacino sotteso dalla sezione all'ingresso del porto di Fertilia.

#### **INQUADRAMENTO PROGETTUALE**

Il presente progetto nasce dall'esigenza di garantire la funzionalità del porto-canale e riguarda i lavori di dragaggio per l'approfondimento; un intervento che è già stato eseguito nel 2001, e sarà ciclicamente ripetuto negli anni a causa del trasporto di sedimenti generato dal sistema idraulico che vede il porto-canale come lo sbocco a mare di un sistema idraulico comprendente lo Stagno di Calich e tutti i corsi d'acqua che vi confluiscono.

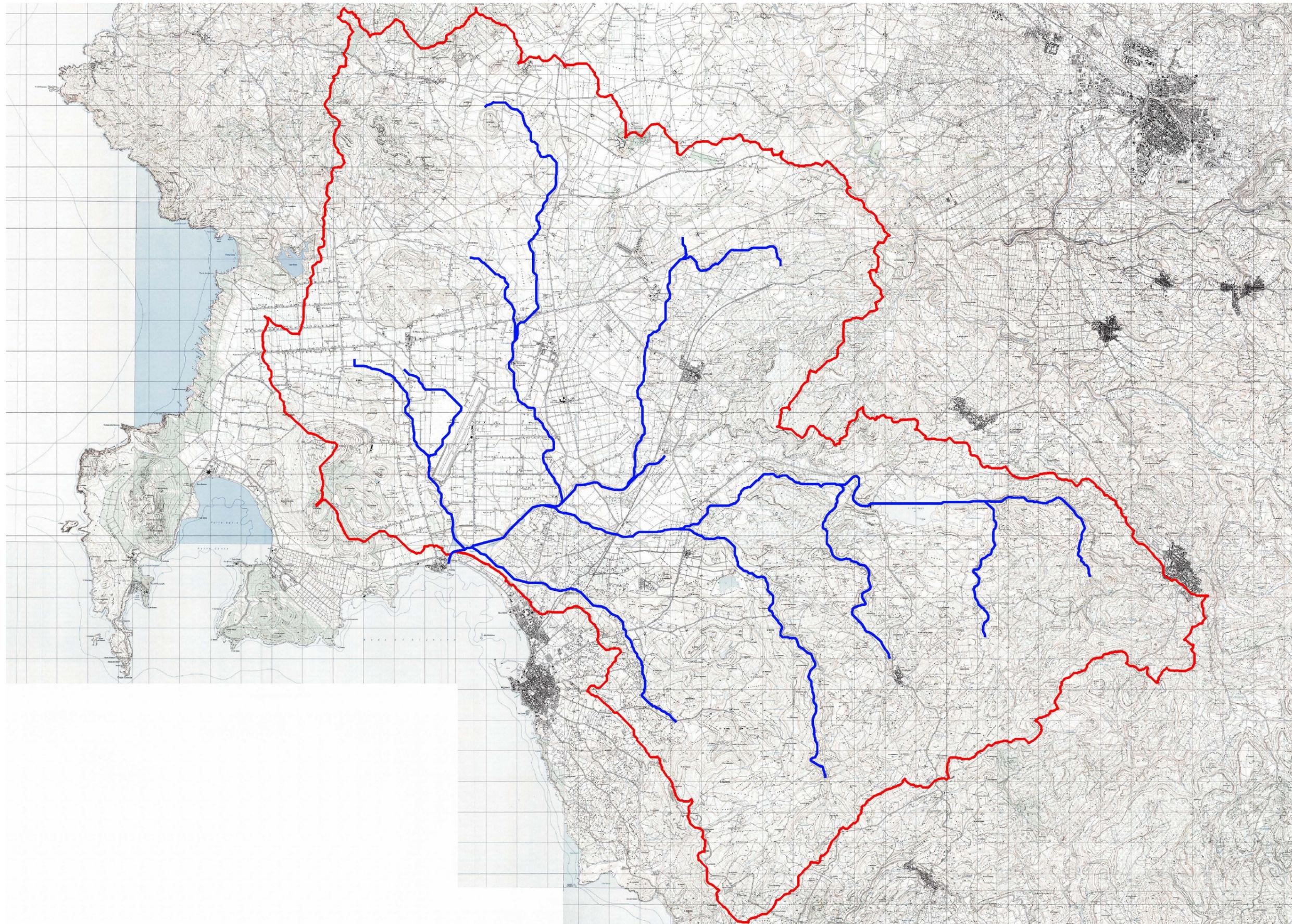
#### **INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

Dal punto di vista cartografico locale l'area è inquadrata nelle sezioni in scala 1:100.000 N. 458 - 459-478-479 della Carta Topografica d'Italia edita da IGMI. Di seguito vengono mostrati uno stralcio della riportante l'ubicazione dell'area di studio su immagine satellitare e uno stralcio su cartografia IGM.

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia



*Inquadramento del Bacino idrografico su base satellitare*



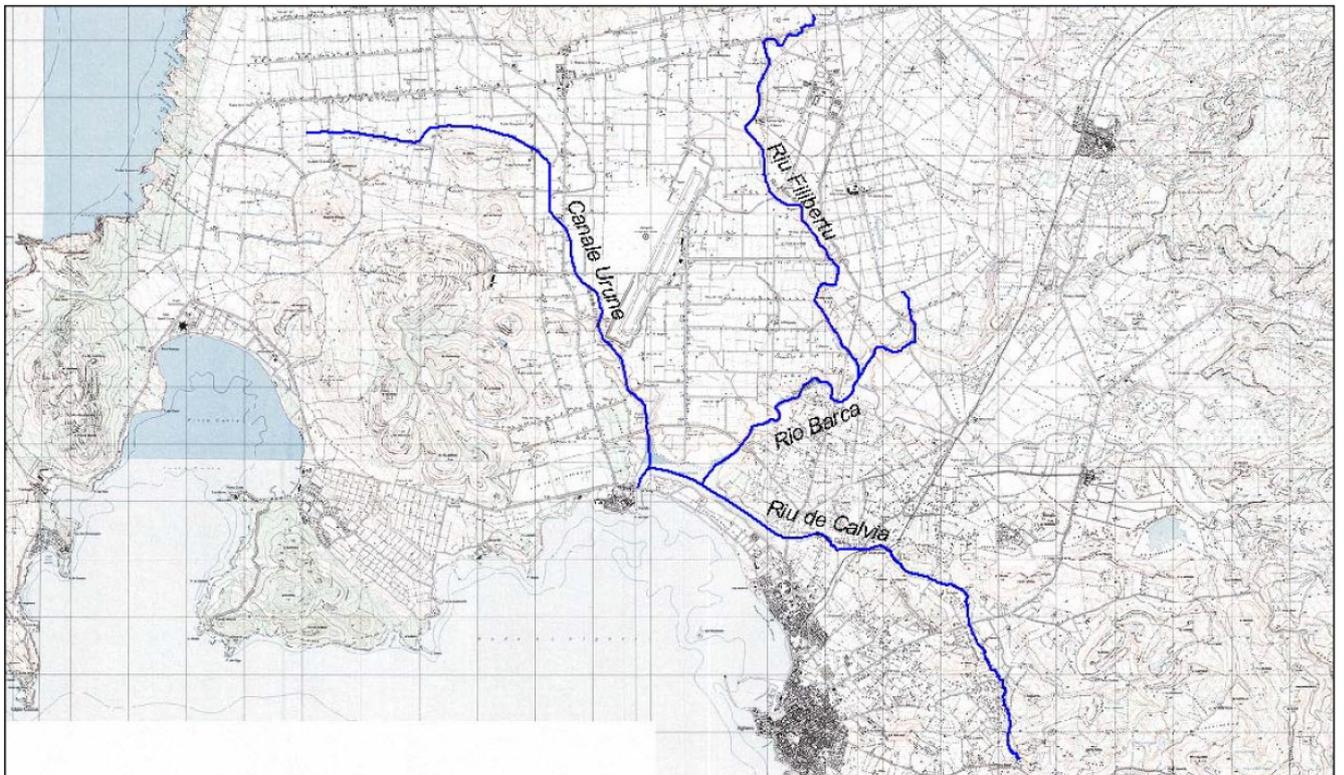
*Inquadramento del Bacino idrografico su base IGM*

## IL BACINO IDROGRAFICO

Per eseguire lo studio idrologico dell'area oggetto di intervento è necessario dapprima determinare il reticolo idrografico presente nella zona.

I corsi d'acqua principali del bacino sono costituiti da:

- Canale Urune, dalla località C. Funtaneddas fino alla foce in mare presso Fertilia, passando attraverso lo stagno di Calich per una lunghezza di circa 10,8 km;
- rio Barca, dal tombino in località sa Tanchita alla confluenza nello stagno di Calich per una lunghezza del tratto studiato di circa 6,5 km;
- rio Filibertu dalla località lu Baraccone alla confluenza nel Barca per una lunghezza di 8,5 km;
- rio de Calvia, dal ponticello in località Croce Pietra Basa alla foce nello stagno di Calich, per una lunghezza di 9 km.



### ***Canale Uruno***

Il tratto del canale Uruno oggetto di analisi inizia in località Serra Ona, presso la Domo Funtaneddas, e scorre prima con direzione ovest-est e poi nord-sud fino allo sbocco nello stagno di Calich, per una lunghezza complessiva di circa 10,5 km, lungo l'asse dell'alveo.

Il corso d'acqua può essere suddiviso in due tratti omogenei sotto l'aspetto morfologico: il primo tratto, di monte, è lungo circa 7 km ed ha una pendenza media pari allo 0,3%; il secondo tratto, lungo circa 2,7 km, ha pendenza dello 0,6%; gli ultimi 0,8 km, lungo l'asse dell'alveo rientrano all'interno dello stagno di Calich.

Il tratto di monte scorre nella zona pianeggiante, a nord della formazione calcarea del Monte Doglia, prevalentemente destinata all'agricoltura, e successivamente piega verso sud seguendo l'andamento del rilievo morfologico in destra. La sezione dell'alveo inciso ha larghezza media pari a circa 10 m; la sezione di piena diventa immediatamente molto ampia, in ragione dell'assenza di pendenza del piano campagna, che non costituisce un confinamento delle acque di esondazione. Il secondo tratto, dall'altezza dell'aeroporto di Alghero allo stagno di Calich, scorre ancora all'interno di un'area a destinazione agricola a morfologia pianeggiante con deboli pendenze verso l'alveo che viene in tal modo a costituire la linea di drenaggio. Lungo l'alveo si alternano in modo discontinuo tratti completamente privi di vegetazione ad altri densamente vegetati, per buona parte con cespugli e con canneto verso la foce.

### ***Riu Filibertu***

Il tratto del riu Filibertu oggetto della presente analisi inizia a monte del ponte della S.S. 291 della Nurra e scorre verso sud fino alla confluenza nel rio Barca, per una lunghezza complessiva di circa 8,5 km. L'alveo presenta una pendenza mediamente costante pari a 0,33% e scorre in una zona pianeggiante compresa tra l'aeroporto di Alghero, ad est, e la S.P. 42 dei due Mari, ad ovest.

La sezione fluviale risulta piuttosto incisa su tutto il tratto e alterna tratti con vegetazione da rada a sporadica. La prima parte del tratto scorre ad ovest dell'area industriale San Marco, per quasi 3 km e presenta carattere naturale con golene densamente vegetate da essenze arboree. Più a valle l'alveo perde di naturalità e risulta confinato tra aree coltivate; quasi del tutto assenti sono le aree edificate in prossimità dell'alveo. Poco oltre l'attraversamento della S.P. 42, il riu Filibertu

### Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

confluisce nel rio Barca in una zona a totale destinazione agricola. Lungo il tratto non sono presenti opere idrauliche significative; unica eccezione è una difesa spondale a monte del ponte della S.S. 291. Il tratto è interessato da 5 attraversamenti stradali (S.S. 291, S.P. 5, S.P. 42 e 2 strade vicinali) ed un ponte tubo.

#### *Rio Barca*

Il rio Barca è situato nella Provincia di Sassari, a est rispetto al riu Mannu di Porto Torres e a nord rispetto al centro abitato di Alghero. Nasce sul monte Palmas, posto a quota 134 m s.m., col nome di riu Su Mattone; si sviluppa per circa 20 km prevalentemente da nord-est verso sud-ovest e sfocia poi nel Lago di Calich, nei pressi di Alghero.

Il tratto analizzato è quello di valle, compreso tra il guado in località Sa Tanchitta e la foce, per una lunghezza di circa 6,5 km; il tratto di monte, fino alla sorgente, è considerato come corso d'acqua secondario e quindi studiato solamente sotto l'aspetto geomorfologico.

Il corso d'acqua nel tratto di indagine può essere suddiviso in due tratti omogenei; il primo tratto va dall'estremo di monte al ponte sulla S.P. 42, per una lunghezza di circa 2,9 Km; l'alveo è di tipo monocursale con sezioni piuttosto incise; spesso sono presenti rilievi o versanti che delimitano l'estensione della regione fluviale, prevalentemente destinata a coltivazioni agricole con la presenza di insediamenti isolati. Le aree vegetate sono localizzate in prossimità delle sponde e in golena sinistra; non vi sono opere idrauliche di difesa o di sistemazione d'alveo. Nel tratto il corso d'acqua riceve i seguenti affluenti: il riu Serra e il riu Sassu in sinistra e il riu Filibertu in destra.

Il secondo tratto si estende dal ponte sulla S.P. 42 alla foce, nello stagno di Calich, che è collegato al mare e in cui confluiscono altri corsi d'acqua, quali il canale Urune e il riu De Calvia. Il tratto ha una lunghezza di circa 3,6 Km, una pendenza di fondo praticamente nulla, essendo presenti alcuni tronchi in contropendenza, e quote di fondo inferiori al livello medio marino. L'alveo ha caratteristiche monocursali con sezioni più ampie rispetto al tratto montano. Nella regione fluviale sono presenti diversi insediamenti e, presso la foce, gli abitati di Fertilia e Alghero.

### ***Riu de Calvia***

Il tratto del riu de Calvia oggetto di analisi inizia dal ponte in località Croce Pietra Basa ad est dell'abitato di Alghero e scorre con direzione nord-ovest fino allo sbocco nello stagno di Calich, per una lunghezza complessiva di circa 7,6 km.

L'alveo presenta due tratti a pendenza mediamente costante: nei primi 2,3 km di monte essa è pari all'1%; nel secondo tratto, lungo circa 4,5 km, si riduce allo 0,4%; gli ultimi 0,8 km dell'asse del corso d'acqua fanno parte dello stagno di Calich, che ha andamento parallelo alla linea di costa della rada di Alghero; la vegetazione in alveo e nelle zone golenali tende a diminuire progressivamente da monte verso valle.

Il tratto più a monte del corso d'acqua, chiamato anche riu Carrabuffas, scorre ad est della città di Alghero, ad una distanza di circa 3 km, in un fondovalle delimitato in destra da versanti scoscesi ed in sinistra da pendii più dolci che lo separano dalla città, occupato da aree coltivate e da alcuni fabbricati civili, ubicati prevalentemente in sponda sinistra. Il fondovalle è piuttosto ampio nella prima parte, pari a oltre la metà del percorso; successivamente, tra le località di Sant'Agostino e Ungia, ai piedi del Monte Agnese, l'alveo attraversa una breve stretta, a valle della quale, oltre la linea ferroviaria Alghero-Sassari, si apre una vasta area pianeggiante sino allo stagno di Calich, che è collegato alla rada di Alghero in prossimità di Fertilia, circa 2 km ad ovest del punto di immissione. Le opere idrauliche presenti risultano di scarsa rilevanza: alcune difese spondali di breve sviluppo longitudinale, un briglia di consolidamento con salto di fondo trascurabile ed un breve tronco a valle del ponte della S.P. 42, in prossimità dello stagno di Calich, è arginato su entrambe le sponde. Il tratto analizzato è interessato da 5 attraversamenti stradali (S.S. 127 bis, S.P. 42, e 3 strade vicinali) ed uno ferroviario della linea Alghero Sassari.

Per la definizione del relativo bacino idrografico sono state utilizzate, in prima battuta, le informazioni altimetriche desunte dalla cartografia per poi approfondire lo studio tramite un modello digitale di elevazione del terreno, ottenuto attraverso l'elaborazione in QuantumGIS dei DTM 10 m messi a disposizione dalla Regione Sardegna.

Il comportamento idrologico di un bacino è chiaramente influenzato dalla sua morfologia. Le caratteristiche geomorfiche possono essere distinte in planimetriche e orografiche: le prime esprimono le dimensioni geometriche orizzontali (per es. l'estensione e il perimetro), la forma,

## Relazione Specialistica Idraulica

### Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

l'organizzazione e lo sviluppo del reticolo fluviale, mentre le seconde esprimono il rilievo (per es. l'altezza media) e le pendenze (sia dei versanti che delle aste fluviali).

Si riportano nelle tabelle seguenti, per i bacini individuati, le seguenti caratteristiche geografiche, fisiografiche e morfometriche: superficie del bacino  $S$  ( $\text{km}^2$ ), altitudine massima  $H_{\text{max}}$  (m s.m.), altitudine media  $H_{\text{media}}$  (m.s.m.), altitudine minima (altitudine sezione di chiusura),  $H_{\text{min}}$  (m s.m.), lunghezza dell'asta  $L$  (km) e pendenza media dell'asta  $i$  (m/m) e le portate  $Q$  per i vari Tempi di Ritorno..

Bacino	$S$ [ $\text{km}^2$ ]	$H_{\text{min}}$ [m s.m.]	$H_{\text{max}}$ [m s.m.]	$H_{\text{media}}$ [m s.m.]	$L$ [km]	$i$ [m/m]
Rio Barca e Filibertu	347,1	0	550	142	6,5+8,5	0,08
Rio Urune	46,4	4	436	220	11,0	0,04
Rio de Calvia	32,6	10	384	197	12,5	0,03

Bacino	Area [ $\text{km}^2$ ]	$Q(T2)$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$Q(T50)$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$Q(T100)$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$Q(T200)$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]	$Q(T500)$ [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]
Rio Barca	347,1	104	705	855	1.01	1.2
Rio Urune	46,4	30	109	137	167	207
Rio de Calvia	32,6	29	92	113	135	164

### ANALISI IDROLOGICA.

I metodi di stima della portata di piena  $Q$  di assegnato tempo di ritorno  $Tr$ , cioè del numero medio di anni che occorre attendere affinché si abbia una portata pari o maggiore di  $Q$ , dipendono da vari fattori, primi fra tutti la disponibilità di dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica. In relazione ai dati disponibili, la letteratura evidenzia diverse metodologie che possono essere raccolte in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di Metodi Diretti, cioè elaborano le misure di portata disponibili per il bacino in studio o per bacini idrologicamente simili, la seconda come Metodi Indiretti, fanno ricorso indirettamente dalla precipitazione meteorica tramite trasformazione afflussi-deflussi e a equazioni che permettono di ottenere la sola portata al colmo (metodi empirici, metodo razionale).

### Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

I primi prescindono dall'esame dell'influenza che i diversi fattori morfologici e climatici hanno sulla formazione dei deflussi di piena e si fondano sull'analisi probabilistica di una o più serie storiche di misura di portate di piena.

I secondi invece consentono la valutazione della portata di massima piena sulla base di parametri morfometrici del bacino imbrifero o sull'impostazione di un bilancio idrologico relativo all'evento di piena, in cui figura la precipitazione a cui è imputabile l'evento stesso. Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione nell'ipotesi che la frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizza quella della portata al colmo.

Tra le metodologie usualmente adottate per la valutazione delle portate di piena, per la Sardegna, ci si può limitare a considerare tre tipi di approccio:

- quello empirico basato sulla curva di inviluppo dei massimi eventi osservati, proposto da Sirchia ed aggiornato a fine anni '60 da Fasso;
- quello a fondamento razionale, basato su una schematizzazione in genere semplificata del processo di trasformazione afflussi-deflussi, che nella sua usuale formulazione per la Sardegna utilizza le curve di possibilità pluviometrica fornite da Cao e altri e recentemente aggiornate;
- il modello probabilistico regionale per la valutazione delle portate di piena basato sulla distribuzione probabilistica Log-Normale e Two Components Extreme Values applicati ai dati massimi annuali di portata al colmo. La prima metodologia fu introdotta dal Lazzari nel 1967, mentre la seconda, in base a studi più recenti, interpreta i fenomeni di piena con la distribuzione TCEV nella quale la probabilità di non superamento è data dalla miscellanea di due distribuzioni esponenziali.

Viene fatto riferimento, per i bacini con superficie superiore ai 60 km<sup>2</sup>, al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV descritto in dettaglio nella "Valutazione delle piene in Sardegna" (Cao C., Piga E., Salis M., Sechi G.M. Rapporto Regionale Sardegna, CNR-GNDICI, LINEA 1, Istituto di Idraulica, Università di Cagliari, 1991).

Per i bacini con superficie inferiore ai 60 km<sup>2</sup>, si procede con metodo indiretto mediante applicazione del metodo razionale.

Nel caso in cui nella schematizzazione di uno stesso bacino siano presenti sottobacini sia di superficie di poco superiore o inferiore a 60 km<sup>2</sup>, per questi ultimi si procede ponendo a confronto criticamente i risultati di entrambi i metodi scegliendo i risultati più verosimili.

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

Inoltre, dove disponibili e significativi, vengono considerati anche i valori delle portate di piena caratteristiche direttamente valutati con analisi statistica delle serie cronologiche delle stazioni di misura.

**Metodo Razionale.**

Il metodo razionale è l'espressione di un modello deterministico elementare a fondamento cinematico. Nell'applicazione del metodo si attribuisce implicitamente all'evento di piena la stessa probabilità dell'evento di pioggia e quindi il medesimo tempo di ritorno. La valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno, sulla base di uno schematico bilancio idrologico, è data dalla seguente relazione:

$$Q = \frac{\Phi \cdot ARF \cdot S \cdot H(Tc)}{3.6 \cdot Tc}$$

nella quale:

- F è il coefficiente di deflusso e rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in occasione dell'evento meteorico, scorre in superficie;
- ARF (Areal Reduction Factor) è il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area ed esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia media su tutto il bacino e l'altezza di pioggia in un punto al suo interno, valutati a parità di durata e di tempo di ritorno;
- S è la superficie del bacino, espressa in Km<sup>2</sup>;
- Tc è il tempo di corrivazione, espresso in ore;
- H è l'altezza di precipitazione che cade in un punto del bacino per una durata pari a Tc per un assegnato tempo di ritorno, espressa in mm;
- 3.6 è un fattore di conversione delle unità di misura che permette di ottenere la portata in m<sup>3</sup>/s.

Per un bacino che ha un tempo di corrivazione pari a Tc ed un diagramma aree-tempi lineare, nel quale cade una pioggia netta di intensità uniforme per una durata pari a t, il modello cinematico indica una portata di piena pari a:

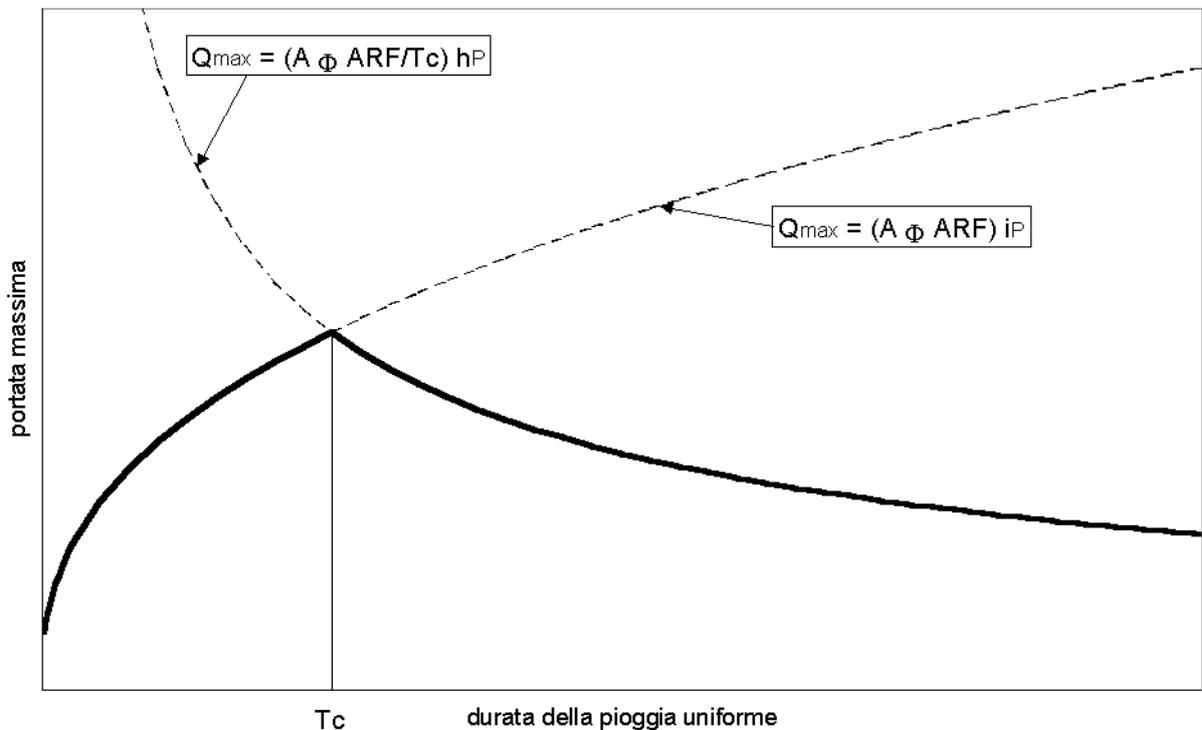
$$Q_{\max} = A i_N t/Tc = A h_N/Tc = A F ARF h_p/Tc = (A F ARF/Tc) h_p \quad (\text{se } t < Tc)$$

$$Q_{\max} = A i_N = A F ARF i_p = (A F ARF) i_p \quad (\text{se } t > Tc)$$

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

le due espressioni indicano che per durate minore del tempo di corrivazione, la portata massima è proporzionale (col coefficiente  $A F ARF/Tc$ ), all'altezza di precipitazione  $h_p$ , mentre per durate maggiori del tempo di corrivazione, la portata massima è proporzionale (col coefficiente  $A F ARF$ ), all'intensità di precipitazione  $i_p$ .

Trascurando la dipendenza di  $F$  e  $ARF$  dalla durata della precipitazione, che è meno marcata rispetto a quella che presentano  $h_p$  e  $i_p$ , poiché all'aumentare della durata della pioggia, l'altezza di pioggia  $h_p$  aumenta, mentre l'intensità di precipitazione  $i_p$  diminuisce, il valore della durata della precipitazione per cui si ha la portata massima è pari al tempo di corrivazione  $T_c$ , come mostrato nella figura seguente:



Valore della portata massima nella sezione terminale del bacino al variare della durata di una precipitazione uniforme, a parità di  $ARF$  e  $F$ .

Si dimostra così che, utilizzando il modello di corrivazione con ietogramma di pioggia netta uniforme la durata della precipitazione per cui si ha la massima portata è pari al tempo di corrivazione del bacino.

**Valutazione del tempo di corrivazione.**

Il tempo di corrivazione del bacino  $T_c$  è invece il tempo necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Per la valutazione del tempo di corrivazione sono presenti in letteratura numerose espressioni empiriche fra le quali sembrano particolarmente adatte alla Sardegna le seguenti:

Formula di Viparelli

$$T_c = \frac{L}{3.6 \cdot v}$$

dove:

- $L$  è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- $v$  è una velocità media di scorrimento che in ambito urbano si può ritenere pari a 1.5 m/s.

Formula di Giandotti

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_o}}$$

dove:

- $S$  è la superficie del bacino, espressa in  $\text{Km}^2$ ;
- $L$  è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- $H_m$  è la quota media del bacino, espressa in m s.l.m.;
- $H_o$  è la quota della sezione di chiusura, espressa in m s.l.m.

Formula di Ventura

$$T_c = \frac{0.127\sqrt{S}}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

- $S$  è la superficie del bacino, espressa in  $\text{Km}^2$ ;
- $i_m$  è la pendenza media dell'asta principale.

Formula di Pasini

$$T_c = \frac{0.108 \cdot \sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

- $S$  è la superficie del bacino, espressa in  $\text{Km}^2$ ;
- $L$  è la lunghezza dell'asta principale, espressa in Km;
- $i_m$  è la pendenza media dell'asta principale.

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

Le espressioni empiriche precedenti forniscono, per il medesimo bacino, risultati spesso discordanti e comunque, caratterizzati da ampi margini di incertezza. Recenti analisi sono volte alla ricerca di un metodo di stima del tempo di corrivazione dei bacini dell'Isola in base alle caratteristiche dei tracciati idrometrografici. Sulla base dell'analisi di correlazione multipla per i valori relativi a 18 stazioni per quali si disponeva di una base dati sufficiente, si è ricavata la relazione:

$$\text{Formula VAPI-Sardegna } Tc = 0.212 \cdot S^{0.231} \cdot \left( \frac{H_m}{J_m} \right)^{0.289}$$

dove:

- S è la superficie del bacino, espressa in Km<sup>2</sup>;
- H<sub>m</sub> è la quota media del bacino, espressa in m s.l.m.;
- j<sub>m</sub> è la pendenza dell'asta principale.

Si ritiene corretto scegliere, nei casi in cui la pendenza dell'asta sia bassa (pianura), un metodo di stima del Tc che contempli tra le grandezze considerate (nella sua formula) la pendenza media dell'asta stessa. In via cautelativa si è scelto quello che i metodi appena definiti presenta i valori più bassi.

**Valutazione del coefficiente ARF.**

Il coefficiente ARF (coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area) dipende dalla durata della precipitazione e alla superficie del bacino; esso può essere stimato facendo ricorso a diverse formulazioni tra cui quella usata nel VAPI Sardegna che fa riferimento al Flood Studies Report - Wallingford Institute, UK 1977:

$$\text{per } S < 20 \text{ km}^2 \quad ARF = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot Tc^{(-0.40 + 0.0208 \cdot (4.6 - \ln(S)))}$$

$$\text{per } S > 20 \text{ km}^2 \quad ARF = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot Tc^{(-0.40 + 0.003832 \cdot (4.6 - \ln(S)))}$$

dove

- Tc è il tempo di corrivazione, espresso in ore;
- S è la superficie del bacino, espressa in Km<sup>2</sup>.

**Altezze di pioggia.**

In corrispondenza del tempo di corrvazione assunto, è possibile determinare l'altezza di pioggia da utilizzare per l'applicazione della formula razionale, facendo ricorso alle curve di possibilità pluviometrica che caratterizzano il regime pluviometrico sardo.

*Curva di possibilità pluviometrica di Cao-Puddu.*

L'altezza di precipitazione  $H(\tau)$  è legata alla durata ed al tempo di ritorno attraverso la curva di possibilità pluviometrica calibrata da Cao e Puddu:

$$H(\tau) = 10^{a+u \cdot b} \cdot \tau^{c+u \cdot d}$$

Dove:

- $H(\tau)$  è espressa in mm;
- a, b, c, d sono parametri legati alla posizione geografica del bacino e riportati nella tabella seguente;
- u è il frattile della distribuzione normale;
- $\tau$  è la durata dell'evento meteorico, espresso in ore.

<b>gruppo</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>
<b>1</b>	0.31354	-0.00183	1.28174	0.17609
<b>2</b>	0.34448	-0.00807	1.30625	0.15331
<b>3</b>	0.35997	0.02868	1.38058	0.18845
<b>4</b>	0.45344	0.04835	1.48726	0.19867

*Curva di possibilità pluviometrica di Piga-Liguori.*

La curva di possibilità pluviometrica calibrata nel 1985 da Piga-Liguori (che rielaborarono quelle già stabilite nel 1969 da Cao Puddu e Pazzaglia, ed adottano le stesse metodologie ma aggiornando la base dati) è legata all'altezza di precipitazione  $H(\tau)$ , alla durata dell'evento ed al tempo di ritorno secondo la seguente relazione:

$$H(\tau) = 10^{a+u \cdot b} \cdot \tau^{c+u \cdot d}$$

dove:

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

- $H(\tau)$  è espressa in mm;
- a, b, c, d sono parametri legati alla posizione geografica del bacino e riportati nella tabella seguente;
- u è il frattile della distribuzione normale;
- $\tau$  è la durata dell'evento meteorico, espresso in ore.

gruppo	a	b	c	d
1	0.305043	-0.0171463	1.273175	0.179731
2	0.359699	-0.0179413	1.296258	0.167487
3	0.418225	0.0090927	1.379027	0.164598
4	0.497194	0.0412504	1.460799	0.191831

*Curva di possibilità pluviometrica di Deidda-Piga-Sechi.*

L'altezza di pioggia  $H(\tau)$  è data dalla curva di possibilità pluviometrica, calibrata nel 1997:

$$H(Tc) = (a_1 \cdot a_2) \cdot \tau^{(n_1+n_2)}$$

dove i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera  $h_g$ , dipendente dalla posizione geografica del bacino.

$$a_1 = h_g / (0.886.24 n_1)$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log h_g$$

I coefficienti  $a_2$  e  $n_2$  si determinano con le relazioni seguenti per differenti tempi di ritorno  $Tr$ , durata dell'evento meteorico delle sottozone di appartenenza:

- per tempi di ritorno  $Tr \leq 10$  anni

per la sottozona 1:

$$a_2 = 0.66105 + 0.85994 \log Tr$$

$$n_2 = -1.3558 \cdot 10^{-4} - 1.3660 \cdot 10^{-2} \log Tr$$

per la sottozona 2:

$$a_2 = 0.64767 + 0.89360 \log Tr$$

$$n_2 = -6.0189 \cdot 10^{-3} + 3.2950 \cdot 10^{-4} \log Tr$$

per la sottozona 3:

$$a_2 = 0.62408 + 0.95234 \log Tr$$

$$n_2 = -2.5392 \cdot 10^{-2} + 4.7188 \cdot 10^{-2} \log Tr$$

- per tempi di ritorno  $Tr > 10$  anni

## Relazione Specialistica Idraulica

### Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

per la sottozona 1:

$$a_2 = 0.46378 + 1.0386 \log Tr$$

$$n_2 = -0.18449 + 0.23032 \log Tr - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2$$

(per  $t \leq 1$  ora)

$$n_2 = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \log Tr$$

(per  $t \geq 1$  ora)

per la sottozona 2:

$$a_2 = 0.44182 + 1.0817 \log Tr$$

$$n_2 = -0.18676 + 0.24310 \log Tr - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2$$

(per  $t \leq 1$  ora)

$$n_2 = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \log Tr$$

(per  $t \geq 1$  ora)

per la sottozona 3:

$$a_2 = 0.41273 + 1.1370 \log Tr$$

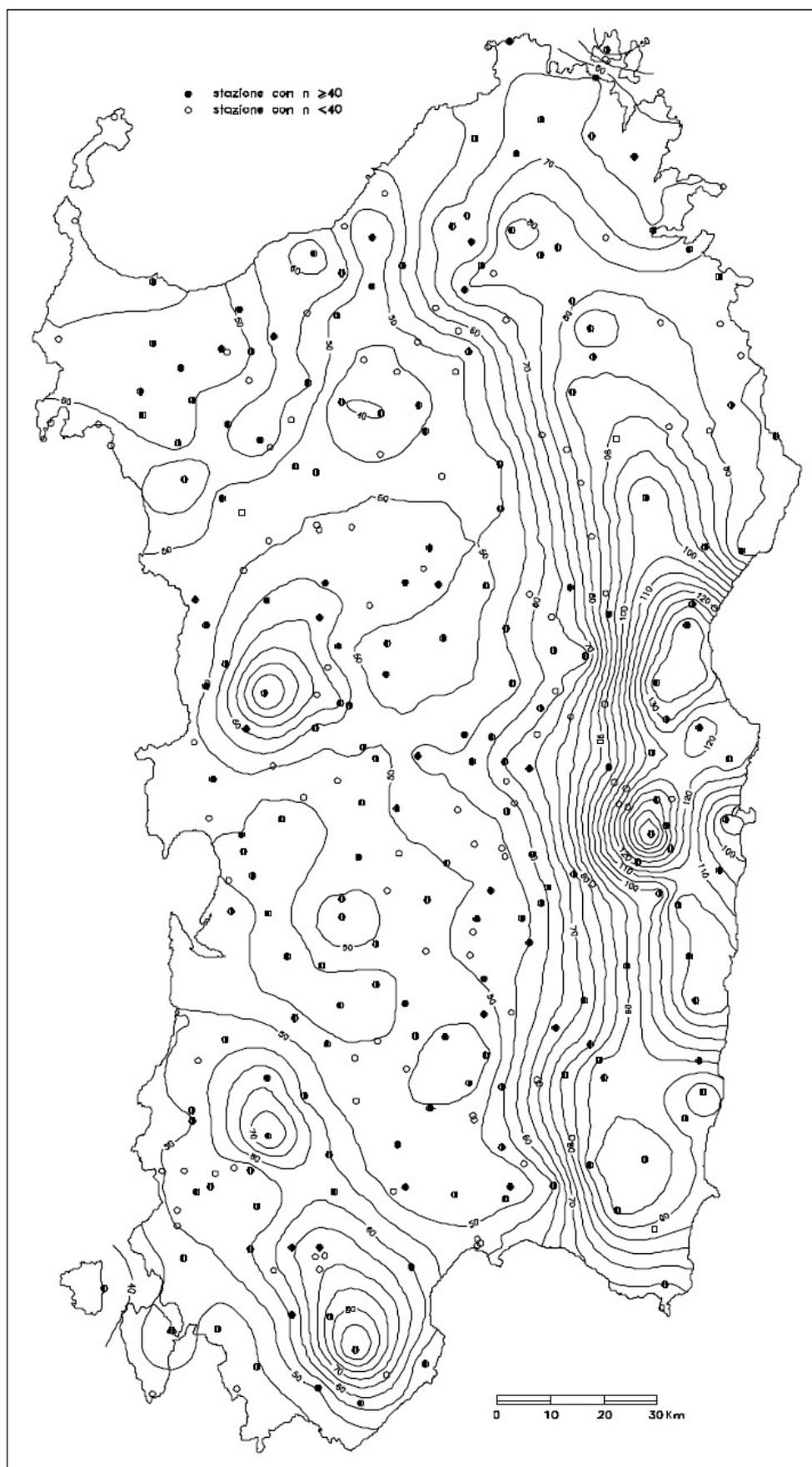
$$n_2 = -0.19055 + 0.25937 \log Tr - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2$$

(per  $t \leq 1$  ora)

$$n_2 = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \log Tr$$

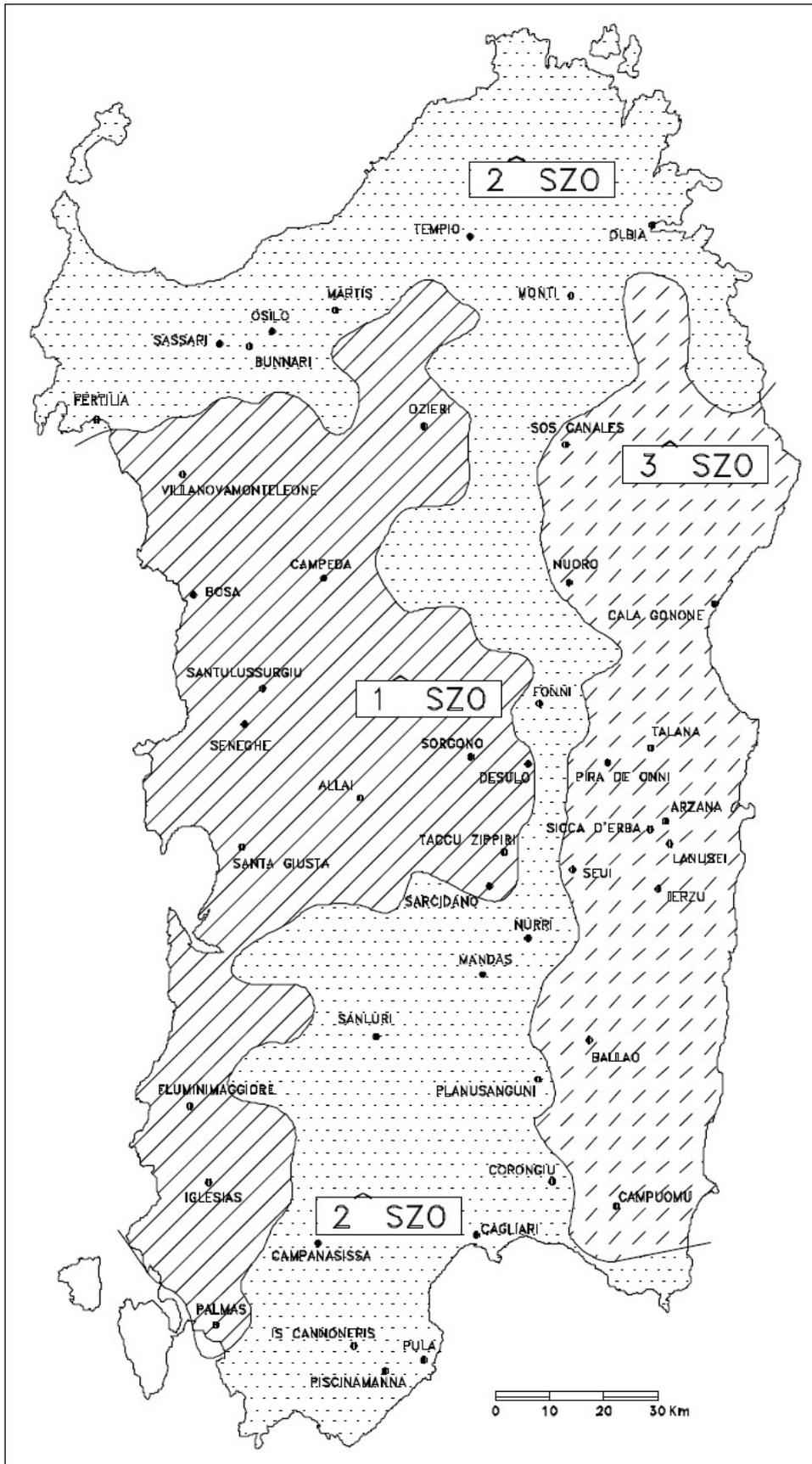
(per  $t \geq 1$  ora)

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia



Carta delle piogge indice giornaliera

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia



Carta delle sottozone

**Valutazione del coefficiente di deflusso  $\Phi$**

Nell'applicazione della formula razionale merita particolare attenzione la valutazione del coefficiente di deflusso che viene definito come rapporto tra il volume d'acqua defluito attraverso la sezione terminale del bacino e il volume d'acqua caduto per precipitazione all'interno di tutto il bacino, ossia rappresenta il rapporto tra pioggia netta e pioggia totale. Esso dipende dalla copertura vegetale, dalle caratteristiche del suolo e dalle relative condizioni iniziali di umidità diverse, in generale, da evento a evento.

In assenza di informazioni specifiche è possibile:

- valutare  $\Phi$  per diversi tipi di superficie, in funzione della pendenza  $i$  e del tempo di ritorno  $Tr$  della precipitazione, attraverso la Tabella della normativa tecnica della città di Austin (Texas, USA) (Chow e altri, 1988)

	<b>2</b>	<b>5</b>	<b>10</b>	<b>50</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>10000</b>
asfalto	0.73	0.77	0.81	0.90	0.95	0.97	1.00	1.00	1.00
calcestruzzo, tetti	0.75	0.80	0.83	0.92	0.97	0.98	1.00	1.00	1.00
coltivazioni ( $i=0-2\%$ )	0.31	0.34	0.36	0.43	0.47	0.51	0.57	0.61	0.75
coltivazioni ( $i=0-2\%$ )	0.35	0.38	0.41	0.48	0.51	0.55	0.60	0.64	0.76
coltivazioni ( $i>7\%$ )	0.39	0.42	0.44	0.51	0.54	0.57	0.61	0.64	0.74
pascoli ( $i=0-2\%$ )	0.25	0.28	0.30	0.37	0.41	0.46	0.53	0.58	0.74
pascoli ( $i=0-2\%$ )	0.33	0.36	0.38	0.45	0.49	0.53	0.58	0.62	0.75
pascoli ( $i>7\%$ )	0.37	0.40	0.42	0.49	0.53	0.56	0.60	0.63	0.74
boschi ( $i=0-2\%$ )	0.22	0.25	0.28	0.35	0.39	0.43	0.48	0.52	0.65
boschi ( $i=0-2\%$ )	0.31	0.34	0.36	0.43	0.47	0.51	0.56	0.60	0.73
boschi ( $>7\%$ )	0.35	0.39	0.41	0.48	0.52	0.55	0.58	0.61	0.72

- valutare  $\Phi$  attraverso la formula di Harolds che pone:

$$\phi = \phi_{100} (Tr / 100)^{0.2}$$

dove  $\Phi$  è il coefficiente di deflusso relativo ad un generico tempo di ritorno  $Tr$  e  $\Phi 100$  è il coefficiente di deflusso relativo a un tempo di ritorno di 100 anni. I valori di  $\Phi 100$ , in funzione del tipo di terreno e della vegetazione, possono essere desunti dalla tabella seguente.

<b>tipo di terreno</b>	<b>bassa densità vegetale</b>	<b>alta densità vegetale</b>
<b>impermeabile</b>	0.85	0.77
<b>debolmente permeabile</b>	0.7	0.6
<b>permeabile</b>	0.55	0.5

- valutare  $\Phi$  ricorrendo al metodo del Curve Number, elaborato dal Soil Conservation Service dove:

$$\Phi = \frac{(H - 0.2 \cdot S)^2}{H \cdot (H + 0.8 \cdot S)}$$

con

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

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

Il valore di CN è legato alle caratteristiche del terreno e della copertura vegetale.

L'applicazione di questo metodo presuppone, oltre alla conoscenza della precipitazione totale H, la stima del massimo volume invasabile nel suolo S che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra 0 (superficie perfettamente impermeabile) e infinito (nessuna formazione di deflusso superficiale).

La valutazione di S, presuppone la stima del parametro CN, denominato Curve Number, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il CN dà un'indicazione dell'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati nella Tabella di cui al seguito, in relazione alle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. La stima del CN presuppone inizialmente la determinazione del gruppo idrologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedente all'inizio dell'evento AMC (Antecedent Moisture Condition). La definizione di AMC richiede la determinazione della precipitazione totale caduta dei cinque giorni precedenti l'evento in esame.

Nel caso si ricada nella condizione AMCI (secca) o in quella AMCII (umida) devono essere utilizzati i valori di CN corretti, utilizzando le seguenti formule di conversione :

$$CN(I) = \frac{4.2 CN(II)}{10 - 0.058CN(II)}$$

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

## Relazione Specialistica Idraulica

### Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

USO DEL SUOLO	TIPO DI DRENAGGIO	CONDIZIONI IDROLOGICHE	TIPO DI TERRENO			
			A	B	C	D
<i>Terreno Residenziale</i>						
Zone urbane	85% impermeabile	qualsiasi	89	92	94	95
Zone industriali	72% impermeabile	“ ”	81	88	91	93
Case a schiera	65% impermeabile	“ ”	77	85	90	92
Ville isolate	25% impermeabile	“ ”	54	70	80	85
Parcheggi	100% impermeabile	“ ”	98	98	98	98
Parchi	75% a verde	“ ”	39	71	74	80
Strade pavimentate	Con cunette e fognatura	“ ”	98	98	98	98
Strade in macadam	---	“ ”	76	85	89	91
Strade sterrate	---	“ ”	72	82	87	89
<b>Terreno Agricolo</b>						
Prato stabile	---	qualsiasi	77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittocchino	Cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittocchino	Buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	Cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	Buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato	Cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato	Buone	59	70	78	81
Pascolo	---	Cattive	68	79	86	89
Pascolo	---	Discrete	49	69	79	84
Pascolo	---	Buone	39	71	64	80
Erbaio	---	qualsiasi	30	58	71	78
Terreno boschivo	---	Cattive	45	66	77	83
Terreno boschivo	---	Discrete	36	60	73	79
Terreno boschivo	---	Buone	25	55	70	77

Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (AMCII).

Classe	Valori di CN corrispondenti alle diverse classi AMC										
I	100	78	63	51	40	31	22	15	9	4	0
II	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
III	100	96	91	85	78	70	60	50	37	22	0

Tabella di conversione per AMC I e III.

Gruppo	TIPO DI TERRENO
A	Suolo con alta capacità di infiltrazione, anche se già bagnato. Principalmente sabbia e ghiaia, con strati profondi e ben drenati.
B	Suolo con moderata capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Moderato drenaggio profondo. Tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana
C	Suolo con piccola capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Solitamente presentano uno strato che impedisce il drenaggio verticale o possiedono una tessitura da moderatamente fina a fina.
D	Suolo con molto piccola capacità di infiltrazione. Principalmente argille con alto potenziale di rigonfiamento; suoli con livello di falda alto e permanente; suoli con strati argillosi in superficie; suoli poco profondi su strati impermeabili o semi-impermeabili.

Caratteristiche dei gruppi di suolo.

***Modello TCEV per la definizione delle portate al colmo***

Per la stima delle portate al colmo dei bacini di dimensioni superiori a 60 km<sup>2</sup>, si fa riferimento al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV.

Si ricorda che le analisi svolte condotte dal Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche del Consiglio Nazionale delle Ricerche hanno preso in considerazione la modellazione probabilistica delle portate al colmo in Sardegna aggiornando il modello basato sulla distribuzione Log-normale, già da tempo disponibile per la Regione, predisponendo il modello basato sulla distribuzione Two Componente Extreme Values TCEV ed effettuando un confronto fra le loro capacità interpretative.

Si riportano i passaggi significativi e gli elementi fondamentali per la definizione delle portate al colmo secondo l'applicazione del metodo regionale TCEV.

Per quanto concerne il primo livello di analisi regionale, si è ritenuto coerente allo spirito del metodo non operare alcuna differenziazione territoriale, nonostante la tendenza dell'asimmetria ad assumere valori mediamente più elevati per i bacini orientali e il valore molto basso che si ha per il Mannu di Porto Torres. Si sono pertanto ottenute le seguenti stime dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  di modello:

$$\Lambda^* = 0,3938 ; \theta^* = 5,887$$

che caratterizzano l'intero territorio dell'isola.

Al secondo livello di regionalizzazione, le stazioni a disposizione sono state differenziate in relazione al versante di appartenenza, orientale od occidentale, e alle indicazioni ottenute dalle stime preliminari di  $\Lambda_1$  per ciascuna stazione. Le stime dei valori di massima verosimiglianza del parametro per i due versanti risultano:

$$\text{Bacini occidentali } \Lambda_1 = 6,286$$

$$\text{Bacini orientali } \Lambda_1 = 4,571$$

Pertanto i parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate in Sardegna risultano:

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

$\theta^* = 5,8866$

Bacini occidentali

$\Lambda_1 = 6,286 \quad \eta = 4,377$

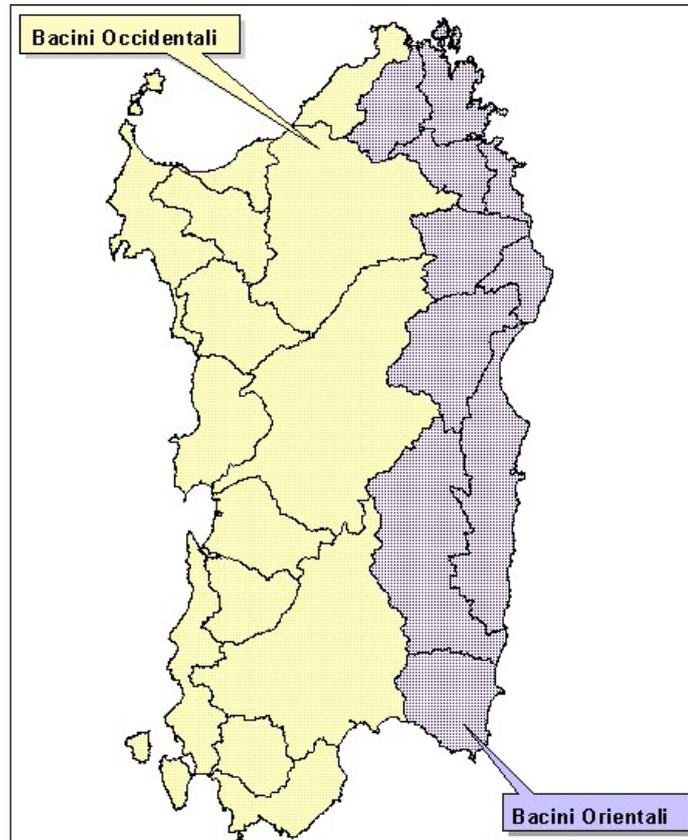


Figura 9– Suddivisione della Regione Sardegna nei due versanti: occidentale e orientale.

Nella tabella seguente vengono riportati i valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le portate in Sardegna limitatamente ai tempi di ritorno definiti nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

Tabella 3- Valori teorici di  $K_T$ , coefficiente probabilistico di crescita.

<b>T</b>	<b>KT</b>
<b>(anni)</b>	<b>(bacini occidentali)</b>
2	0.65
50	4.41
100	5.35
200	6.29
500	7.52

Per quanto riguarda infine il terzo livello di analisi delle piene, nella struttura gerarchica del modello TCEV, si è fatto riferimento all’analisi del parametro modale  $\epsilon_1$  della distribuzione TCEV. Il legame teorico tra questo parametro e la piena media annua  $\mu_x$  è:

$$\mu_x = \frac{\varepsilon_1}{\ln(\Lambda_1)} \eta$$

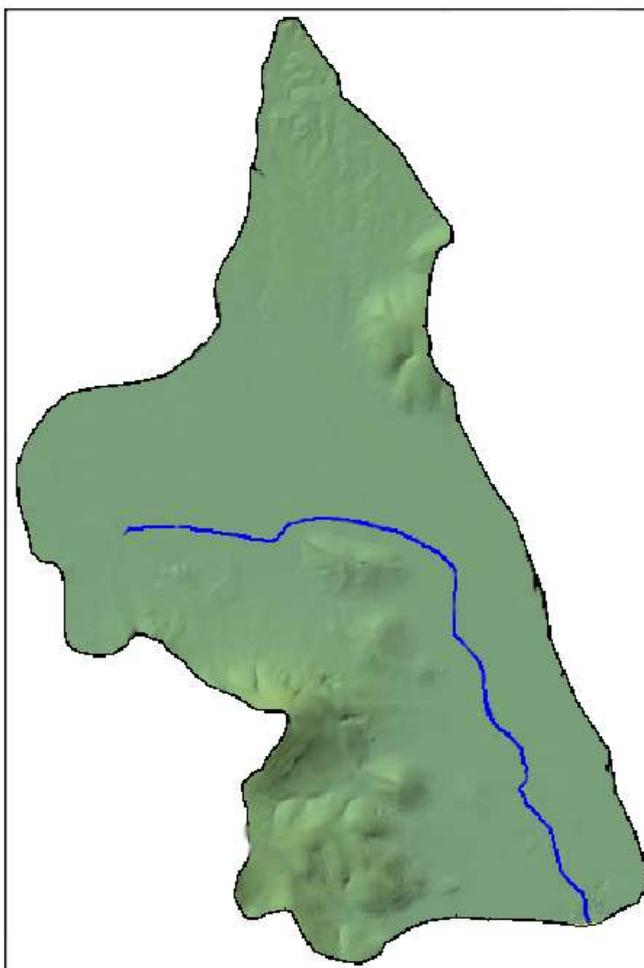
I valori stimati nelle singole stazioni idrometriche sono stati regolarizzati in funzione della superficie del bacino  $S$  in modo analogo a quanto fatto per le medie nel modello lognormale ottenendo le seguenti relazioni:

Bacini occidentali  $\ln \varepsilon_1 = 1,1954 + 0,9235 \ln S$

### ***Determinazione portate di piena.***

#### **Stima delle portate al colmo per il Canale Urune**

Date le dimensioni del bacino che comprende sottobacini con superfici inferiori ai 60 km<sup>2</sup>, le portate al colmo sono state definite con il metodo indiretto.



## Relazione Specialistica Idraulica

### Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

#### Stralcio Bacino canale Urune

La procedura seguita fa riferimento all'applicazione della Formula razionale.

Nella seguente tabella vengono riportati i parametri  $a(T)$  e  $n(T)$  della curva normalizzata SZO2 a cui appartiene il bacino in esame, definite sulla base dei tempi di ritorno di interesse per il presente studio.

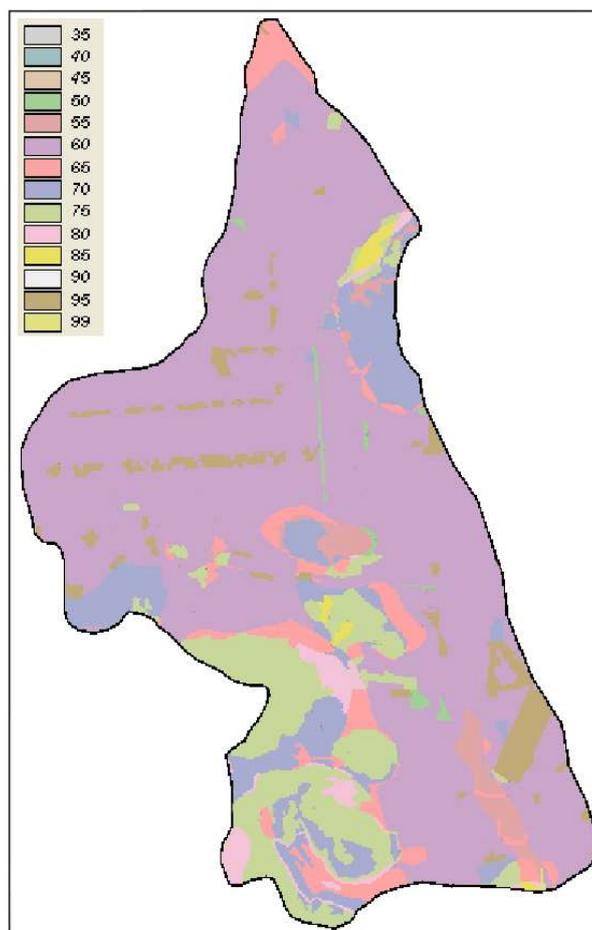
Parametri  $a(T)$  e  $n(T)$  della curva normalizzata per la SZO2 a cui appartengono il bacino in esame e i tempi di ritorno di interesse.

Area	T 50		T 100		T 200		T 500	
	a	n	a	n	a	n	a	n
SZO 2	2,28	-0,013	2,61	-0,014	2,93	-0,015	3,36	-0,017

Attraverso l'incrocio con la carta dei CN della Regione Sardegna si sono ottenuti i seguenti valori di CN.

CN (AMC II)	CN (AMC III)
65	81

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia



Stralcio della carta dei CN della Regione Sardegna per il bacino del Canale Urune

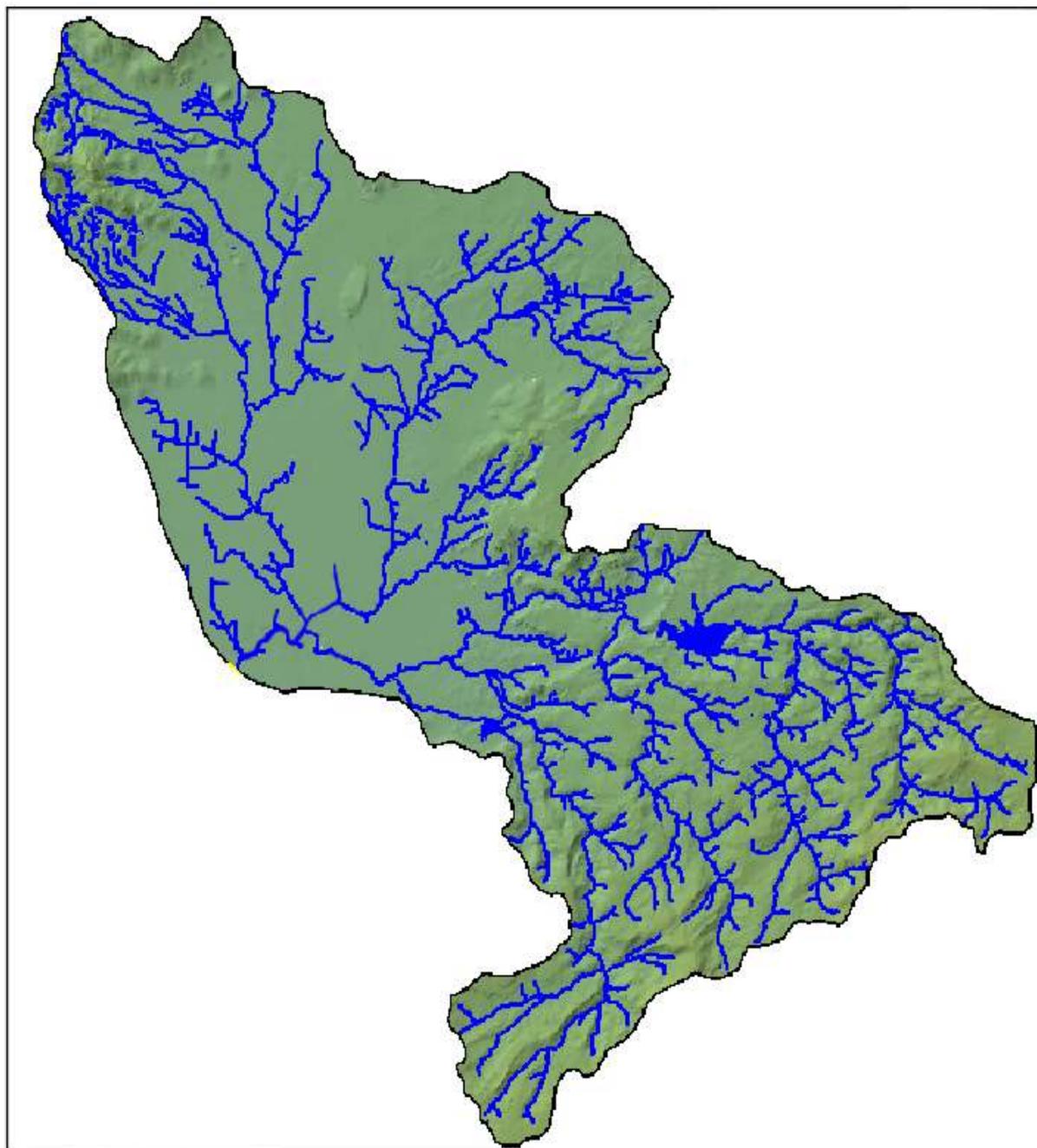
Nella tabella seguente vengono riportati i valori dell'area del Bacino, del tempo di corrivazione, delle altezze di pioggia critiche (lorde, ragguagliate e nette) e delle portate al colmo per il bacino in studio.

Bacino canale Urune		valori
Area del Bacino [km <sup>2</sup> ]		46.4
Tempo di corrivazione tc [h]		4.6
Altezze di pioggia critiche lorde	H(T50) [mm]	72
	H(T100) [mm]	82
	H(T200) [mm]	91
	H(T500) [mm]	104
Altezze di pioggia critiche ragguagliate r=0.92	Hr(T50) [mm]	66
	Hr(T100) [mm]	75
	Hr(T200) [mm]	84
	Hr(T500) [mm]	95
R0 Volume netto di pioggia per unità di superficie per i differenti tempi di ritorno	Hn(T50) [mm]	26
	Hn(T100) [mm]	32
	Hn(T200) [mm]	39
	Hn(T500) [mm]	49
Portate al colmo Canale Urune per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo indiretto	Q(T50) [mm]	109
	Q(T100) [mm]	137
	Q(T200) [mm]	167
	Q(T500) [mm]	207

Il bacino del Canale Urune non ha stazioni idrometriche storiche utilizzabili per valutazioni statistiche di confronto.

### **Stima delle portate al colmo per il Rio Barca**

Date le dimensioni del bacino con superficie maggiore ai 60 km<sup>2</sup> si è proceduto con il metodo diretto. La procedura di calcolo si basa sul metodo diretto, appoggiato alla distribuzione TCEV (Two Components Extreme Values). Si riportano di seguito i risultati ottenuti.



Stralcio Bacino Rio Barca

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia

Considerata la posizione del bacino sul versante occidentale, i parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate risultano:

$$\theta^* = 5,8866 \quad \Lambda^* = 0,3938$$

$$\Lambda_1 = 6,286 \quad \eta = 4,377$$

mentre i valori di KT, coefficiente probabilistico di crescita, per i tempi di ritorno di interesse in corso, sono riportati nella seguente tabella

T [anni]	KT
2	0,65
50	4,41
100	5,35
200	6,29
500	7,52

Valutato il parametro modale  $\epsilon_1$  secondo l'espressione

$$\ln \epsilon_1 = 1,1954 + 0,9235 \ln S$$

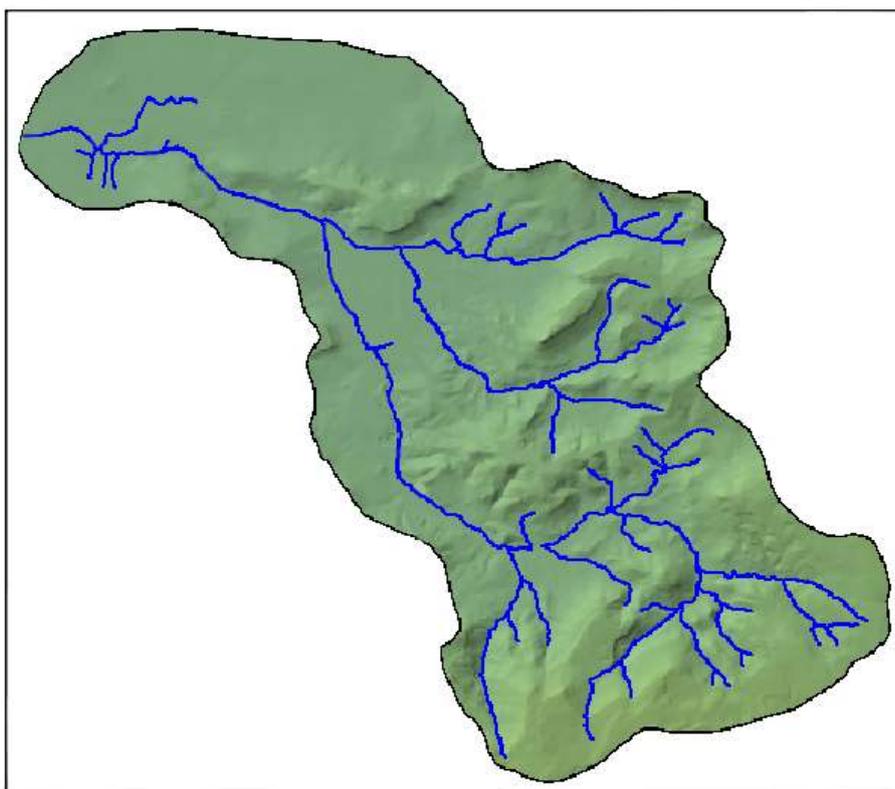
si ottengono i seguenti valori di portata in tabella

Area [km <sup>2</sup> ]	Q(T2) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T50) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T100) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T200) [m <sup>3</sup> /s]	Q(T500) [m <sup>3</sup> /s]
347.1	104	705	855	1010	1200

Il bacino del rio Barca non ha stazioni idrometriche storiche utilizzabili per valutazioni statistiche di confronto.

**Stima delle portate al colmo per Riu de Calvia**

Date le dimensioni del bacino con superficie inferiore ai 60 km<sup>2</sup>, le portate al colmo sono state definite con il metodo indiretto.



Stralcio Bacino Rio de Calvia

La procedura seguita fa riferimento all'applicazione della Formula razionale.

Nella seguente tabella vengono riportati i parametri  $a(T)$  e  $n(T)$  della curva normalizzata SZO2 a cui appartiene il bacino in esame, definite sulla base dei tempi di ritorno di interesse per il presente studio.

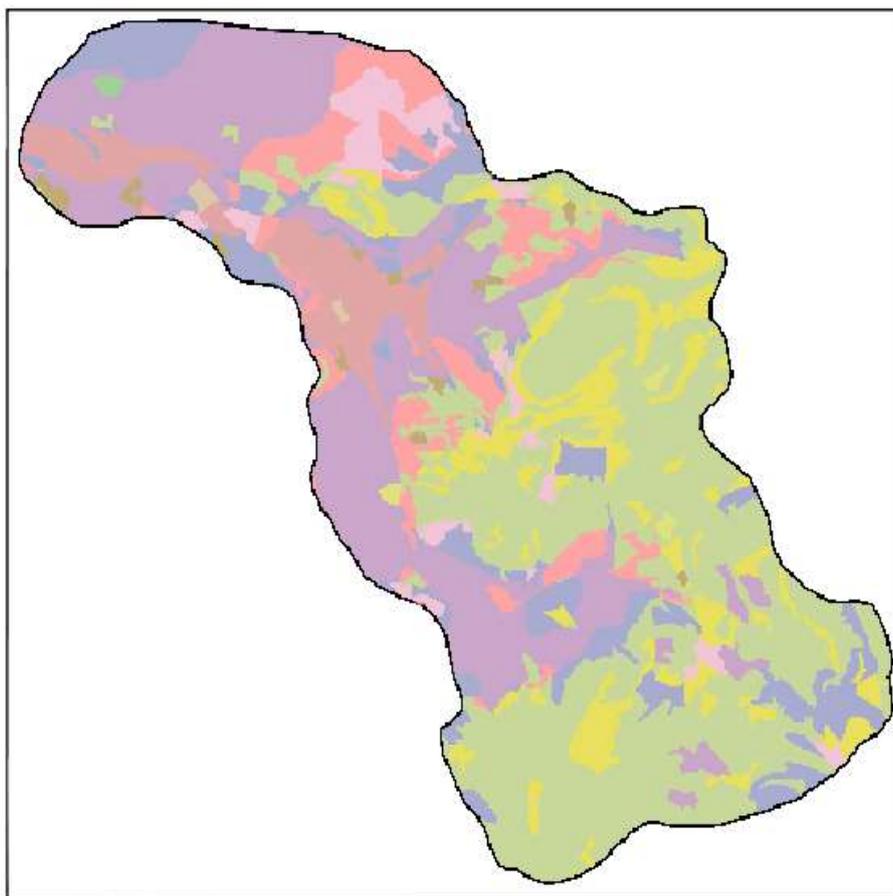
Parametri  $a(T)$  e  $n(T)$  della curva normalizzata per la SZO2 a cui appartengono il bacino in esame e i tempi di ritorno di interesse.

Area	T 50		T 100		T 200		T 500	
	a	n	a	n	a	n	a	n
SZO 2	2,28	-0,013	2,61	-0,014	2,93	-0,015	3,36	-0,017

Attraverso l'incrocio con la carta dei CN della Regione Sardegna si sono ottenuti i seguenti valori di CN.

CN (AMC II)	CN (AMC III)
70	84

Lavori di Ripristino Funzionale del Porto-Canale di Fertilia



Stralcio della carta dei CN della Regione Sardegna per il bacino del Rio de Calvia

Nella tabella seguente vengono riportati i valori dei tempi di corrivazione, delle altezze di pioggia critiche (lorde, raggugliate e nette) e delle portate al colmo per il bacino in studio.

Bacino - Rio de Calvia		valori
Area del Bacino [km2]		32.6
Tempo di corrivazione $t_c$ [h]		3.2
Altezze di pioggia critiche lorde	H(T50) [mm]	73
	H(T100) [mm]	83
	H(T200) [mm]	93
	H(T500) [mm]	106
Altezze di pioggia critiche raggugliate $r=0.93$	Hr(T50) [mm]	68
	Hr(T100) [mm]	77
	Hr(T200) [mm]	86
	Hr(T500) [mm]	98
R0 Volume netto di pioggia per unità di superficie per i differenti tempi di ritorno	Hn(T50) [mm]	32
	Hn(T100) [mm]	40
	Hn(T200) [mm]	48
	Hn(T500) [mm]	58
Portate al colmo Canale Urune per i differenti tempi di ritorno calcolate con il metodo indiretto	Q(T50) [mm]	92
	Q(T100) [mm]	113
	Q(T200) [mm]	135
	Q(T500) [mm]	164