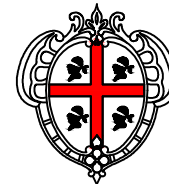




REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

Assessoradu de sos traballos pùblicos
Assessorato dei lavori pubblici



Ente acque della Sardegna
Servizio Gestione Nord

**Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del
Sistema Idrico Multisetoriale regionale (SIMR)**

finanziati attraverso il Piano Regionale delle Infrastrutture conversione RAS Ass.to LL.PP. - ENAS in data 23
Ottobre 2015 "L134 qa.a3: Riqualificazione e adeguamento dei Sistemi 3B Nord Occidentale. 3C Nord
Occidentale, 2C Tirso, 7A Flumendosa - Campidano - Cixerri"

SISTEMA 2C TIRSO

CUP I24H15001150002 L134 - q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso

CUP I24H15001120002 L134 - q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34

CUP I64H15001310002 L134 - q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47

PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO

**Relazione calcoli Idrologici e verifica
rivestimento spondale**

Allegato

PD-E_ALL23R0

Scala:

Il progettista:

Ing. Marcello Paolo Angius



Responsabile del Procedimento:

Ing. Massimiliano Deledda

Servizio Gestione Nord
Il Direttore
Ing. Fernando Mura

Il Direttore Generale
Ing. Maurizio Cittadini

Maggio 2021



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



RELAZIONE TECNICA SPECIALISTICA

CALCOLI IDROLOGICI E VERIFICA RIVESTIMENTO SPONDALE

SOMMARIO:

PREMESSA.....	2
1. RETE IDROGRAFICA.....	3
2. CALCOLI IDROLOGICI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA.....	3
2.1 DETERMINAZIONE DELLE PORTATE DI PIENA. GENERALITÀ	3
2.2 METODO CINEMATICO (O RAZIONALE) – PIOGGE SECONDO CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA DI CAO-PUDDU-PAZZAGLIA	4
2.3 ALTRI METODI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA.....	12
2.3.1 Metodo Cinematico (o Razionale) con le piogge calcolate col metodo TCEV applicato alle piogge	12
2.3.2 Metodo TCEV applicato alle portate.....	15
2.3.3 Metodo del Lazzari	18
2.3.4 Metodo del Sirchia.....	19
2.4 SCELTA DELLE PORTATE DI PIENA	21
3. VERIFICA DI STABILITÀ ALLE AZIONI DI TRASCINAMENTO	22

ALLEGATI:

- Planimetria del bacino imbrifero sotteso dal sifone Merd'e Cani
- Planimetria del bacino imbrifero sotteso dal sifone Riottu



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



PREMESSA

La presente relazione riguarda la verifica al trascinamento dei massi ciclopici previsti a protezione delle sponde in corrispondenza di due dei tre interventi previsti nell'ambito del progetto, quelli del sifone Merd'e Cani e del sifone Riottu.

Preliminarmente vengono eseguiti i calcoli idrologici relativi ai bacini idrografici dei due corsi d'acqua interessati dalle opere di protezione spondale in massi. Le sezioni di chiusura dei bacini considerati sono due e sono localizzate:

- una in corrispondenza del sifone Merd'e Cani;
- una in corrispondenza del sifone Riottu.

Per l'individuazione cartografica dei bacini si rimanda alla consultazione delle tavole allegate alla presente relazione, dove sono stati riportati i bacini scolanti presi in esame per i calcoli.



1. RETE IDROGRAFICA

I bacini idrografici scolanti sono stati tracciati sulla base dei riferimenti della cartografia ufficiale e verificati sulla base delle immagini satellitari e dei rilievi di campagna.

Le sezioni di chiusura dei bacini sono, come detto, quelle in corrispondenza delle tratte interessate dagli interventi in progetto, per queste sezioni sono stati eseguiti i calcoli idrologici per determinare le portate di piena per i vari tempi di ritorno.

2. CALCOLI IDROLOGICI PER LA DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI PIENA

2.1 *Determinazione delle portate di piena. Generalità*

E' stato individuato il bacino scolante delle citate sezioni con particolare riferimento ai seguenti parametri:

Tabella 2 - Caratteristiche morfologiche dei bacini

PARAMETRI morfologici – idrologici	U.M.
<i>Lunghezza asta fluviale (L)</i>	<i>Km</i>
<i>Superficie bacino (S)</i>	<i>Km²</i>
<i>Pendenza media asta fluviale (J_m)</i>	<i>%</i>
<i>Quota sezione (H₀)</i>	<i>m (s.l.m.)</i>
<i>Quota media bacino (H_m)</i>	<i>m (s.l.m.)</i>

Il bacino idrografico in esame si trova nella Sardegna centrale. Sottende aree di territorio limitrofe a stazioni pluviometriche che nelle relative osservazioni dei dati storici hanno rivelato un regime delle precipitazioni intense (maggiori responsabili dei fenomeni di piena nei corsi d'acqua della Sardegna) moderato, nel significato idrologico che verrà specificato più avanti.

Al fine della verifica e delle condizioni di sicurezza relativamente alle aree di piena è necessario determinare la portata al colmo, in relazione al cui passaggio si determinano le condizioni di sicurezza. Non essendo presenti nelle sezioni di interesse o in sezioni idrologicamente simili serie storiche di deflussi di piena significative, sulle quali esercitare l'analisi statistica volta a determinare le portate di dimensionamento, si è



proceduto utilizzando alcuni classici metodi dell'idrologia utilizzati in Sardegna, dei quali si forniscono, nei paragrafi seguenti, i principali fondamenti teorici.

2.2 Metodo Cinematico (o Razionale) – piogge secondo curve di possibilità pluviometrica di Cao-Puddu-Pazzaglia

Tale metodo risulta essere particolarmente adatto al caso di bacini di piccole dimensioni (fino a 100 Km²) quali quello in esame e pertanto è stato utilizzato per la stima della portata di piena.

Si ricorda che le ipotesi di base del metodo sono:

- *la formazione della piena è dovuta esclusivamente ad un fenomeno di trasferimento della massa liquida;*
- *ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende soltanto dalla posizione in cui essa è caduta;*
- *la velocità di ogni singola goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna scorre indipendentemente dalle altre;*
- *la portata defluente si ottiene sommando tra loro le portate elementari provenienti dalle singole aree del bacino che si presentano allo stesso istante nella sezione di chiusura.*

Il metodo fornisce, pertanto la portata di massima piena (in m³/s) attraverso la seguente relazione:



$$Q = \frac{\Phi \cdot A \cdot h_{tc}}{3.6 \cdot t_c}$$

nella quale:

- Q portata di piena espressa in m³/s;
Φ coefficiente di deflusso;
A area del bacino idrografico in km²;
t_c tempo di corrvazione del bacino in ore;
h_{tc} pioggia critica della durata t_c espressa in mm.

Utilizzando tale metodologia, si trasferisce il problema della modellazione probabilistica degli eventi dalla grandezza “portata di piena” alla grandezza “altezza di precipitazione di breve durata”, con il grande vantaggio di poter operare, in linea generale, su una base di dati molto più estesa.

Come detto, il metodo cinematico solitamente ben si adatta alle stime di portata di piena dei piccoli bacini, mentre per bacini di maggiori dimensioni fornisce risultati che in genere risultano sovrastimati. Le ragioni di tale sovrastima sono sostanzialmente due.

	<p>Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico Multisetoriale regionale (SIMR) SISTEMA 2C TIRSO q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34 q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47 PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO</p>	
--	--	---

La prima ragione è relativa alla valutazione della pioggia ragguagliata sul bacino ed, in effetti, non è insita nel metodo quanto nel modo di applicarlo. Infatti nella formula del metodo cinematico compare l'altezza critica della precipitazione relativa alla durata del tempo di corrivazione del bacino. Tale altezza critica viene stimata in base alle curve di possibilità pluviometrica che sono valide per le stazioni di osservazione e, quindi, si riferiscono a valori puntuali della grandezza. E' ovvio che, all'aumentare dell'estensione del bacino, l'altezza di pioggia ragguagliata sull'intero bacino tende a diminuire, a parità di probabilità, rispetto alle stime puntuali, per effetto delle caratteristiche spaziali del fenomeno che non consente un'uguale intensità di pioggia per un tempo sufficientemente esteso su tutto il bacino.

Sulla base di analisi empiriche o sulla base di valutazioni teoriche che discendono dalla teoria della correlazione, alcuni autori hanno definito dei metodi di valutazione di coefficienti di "smoothing" in funzione della superficie del bacino. In relazione alle limitate dimensioni dei bacini, alla mancanza di osservazioni utili alla verifica di tali coefficienti e, comunque, in considerazione del fatto che operare in assenza della riduzione descritta è a vantaggio della sicurezza, ha portato a definire che la pioggia sull'intero bacino sia pari a quella valutata, sulla base della distribuzione probabilistica stimata, sulle osservazioni puntuali alle stazioni pluviometriche.

La seconda ragione di sovrastima che è, come detto, sempre più importante al crescere delle dimensioni del bacino, riguarda la caratteristica del metodo che si basa unicamente su un'onda cinematica, trascurando completamente tutti i fenomeni di accumulo nei piccoli invasi della superficie del bacino e nello stesso invaso determinato dalla superficie idrica nella rete idrografica. E' chiaro che, in questa ipotesi, la risposta del bacino ad una pioggia intensa è molto più diretta, in quando manca l'effetto di laminazione che sull'onda di piena è in grado di effettuare il volume d'invaso.

Come si può rilevare, le grandezze che è necessario stimare per l'applicazione della formula sono il *coefficiente di deflusso* ed il *tempo di corrivazione*.

Per il *coefficiente di deflusso* è stato adottato il valore stimato nell'ambito del Piano Acque, utilizzando la metodologia S.C.S. in funzione delle caratteristiche geomorfologiche e pedologiche del bacino. Al coefficiente di deflusso si deve poi moltiplicare il coefficiente di *smoothing* delle piogge per passare dai valori puntuali alle stazioni pluviometriche ai valori ragguagliati sul bacino a parità di probabilità che, sulla base della metodologia utilizzata nel Piano Acque, di volta in volta è stato ricavato dall'interpolazione della tabella a doppia entrata (Superficie/Tempo di ritorno) contenuta nel volume del P.A. dedicato alla stima delle piene.



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Il *tempo di corrivazione* viene valutato, di norma, mediante formule empiriche di diversi autori italiani stante la difficoltà di procedere a valutazioni e misure dirette. Si è ricorso alla valutazione del valore più attendibile con l'applicazione delle formule indirette più diffuse, che di seguito si ricordano.

Formula del Ventura

$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i}} \quad [\text{ore}]$$

nella quale "A" rappresenta la superficie del bacino espressa in km² e "i" rappresenta la pendenza media dell'asta principale del bacino che può essere calcolata con la formula:

$$\sqrt{i} = \frac{L}{\sum_k \frac{L_k}{\sqrt{i_k}}}$$

dove i valori di i_k ed L_k rappresentano rispettivamente la pendenza e la lunghezza dei tratti nei quali la pendenza dell'alveo può considerarsi uniforme; L rappresenta la lunghezza complessiva dell'asta principale del bacino, in Km, ed è uguale alla sommatoria delle L_k .

Formula del Giandotti:

$$t_c = \frac{1.5 \cdot L + 4 \cdot \sqrt{A}}{0.8 \cdot \sqrt{H_m} - H_o} \quad [\text{ore}]$$

nella quale i simboli A ed L assumono i significati precedentemente esposti, mentre H_m rappresenta l'altitudine media del bacino e H_o rappresenta l'altitudine della sezione di chiusura del bacino idrografico.

Formula del Viparelli

La formula indicata dal Viparelli determina il tempo di corrivazione assumendo una velocità costante e compresa, usualmente, fra 1.0 e 1.5 m/s:

$$t_c = \frac{L}{3600} \quad [\text{ore}]$$

dove L è, al solito, la lunghezza dell'asta principale espressa in metri



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Formula del Pasini (seconda formula)

La formula indicata dal Pasini determina il tempo di corrivazione assumendo quali grandezze caratteristiche la pendenza media dell'asta principale i , la superficie A del bacino [km^2], e la lunghezza dell'asta L [km]:

$$t_c = \frac{0.108 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i}} \quad [\text{ore}]$$

Formula del Kirpich-Pezzoli-Watt-Chow

Per i piccoli bacini è particolarmente indicata una formula che media i valori del tempo di corrivazione ottenuti con le formule del Kirpich, del Pezzoli, di Watt e di Chow. Essa assume la seguente forma:

$$t_c = 0.002221 \cdot \left(\frac{L}{\sqrt{i_a}} \right)^{0.80} \quad [\text{min}]$$

In cui t_c è espresso in minuti e L in metri.

Preliminarmente si è quindi calcolato il tempo di corrivazione del bacino, utilizzando le formule precedentemente illustrate.

Si ritiene che la stima più attendibile e cautelativa del tempo di corrivazione sia fornita dalla formula del Kirpich-Pezzoli-Watt-Chow che più si avvicina alla media fra i valori forniti dalle varie formule.

La valutazione della precipitazione critica si può ottenere mediante l'uso delle formule ricavate da Cao, Pazzaglia e Puddu[†] e riviste poi da Puddu[†] (Università di Cagliari) e da Liguori e Piga, ottenute mediante l'elaborazione statistica di tutti i dati delle precipitazioni intense di durata compresa fra 5 minuti primi e un giorno, registrate dalla rete pluviometrica regionale. Vengono suddivise le stazioni pluviometriche della Sardegna in 4 gruppi a ciascuno dei quali corrispondono differenti curve segnalatrici.

L'espressione matematica di tali curve di possibilità pluviometrica è la seguente:

$$h_{tc} = h_1 \cdot t_c^{(a+b \cdot u)} \quad [\text{mm}]$$



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



$$\text{dove } \log(h_1) = c + d \cdot u$$

Nelle precedenti espressioni h_1 rappresenta la pioggia critica di durata oraria, espressa in mm/ora, h_{tc} rappresenta la pioggia critica di durata t_c ore, espressa in mm, mentre u rappresenta il frattile della distribuzione normale standardizzata. Poiché il valore di u è funzione della probabilità o , che è lo stesso, del periodo di ritorno, le espressioni precedenti consentono di ricavare l'altezza di precipitazione critica relativa ad un evento avente un prefissato periodo di ritorno.

I valori dei parametri “a”, “b”, “c” e “d” delle curve di possibilità pluviometrica, rideterminati da Liguori e Piga nello studio “CAO C, PIGA E, SALIS M, SECHI G. M., Valutazione delle Piene in Sardegna-Rapporto Regionale, CNR-GNDCL.1991” sono i seguenti:

Tabella 4 - Valori dei parametri delle curve di possibilità pluviometrica per la Sardegna

Parametri →	a	b	c	d
Gruppo Pluviometrico ↓				
I° gruppo	0,305041	-0,017147	1,273178	0,179732
II° gruppo	0,359696	-0,017941	1,296212	0,167488
III° gruppo	0,418212	0,009093	1,379048	0,164598
IV° gruppo	0,497207	0,041251	1,460774	0,191832

I bacini in esame ricadono nel I° gruppo pluviometrico.

Coefficiente di Deflusso

Il coefficiente di Deflusso (Φ nella espressione matematica del metodo) può assumere, a giudizio del progettista, valori tanto più vicini all'unità quanto maggiore risulti l'effetto dei seguenti fattori:

- Φ tende a 1 per bacini di piccola estensione (inferiore a 50 km^2 , come nel caso in esame);
- Φ tende a 1 per eventi eccezionali (ovvero per tempi di ritorno elevati: già per valori di T superiori ai 200-500 anni sarebbe consigliabile assumere $\Phi = 0,9 \div 1,0$);
- Φ tende a 1 per bacini caratterizzati da elevata pendenza (non è il caso in esame);
- Φ tende a 1 per bacini impermeabili (non è il caso in esame).



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisettoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Stanti queste indicazioni a scopo cautelativo si è scelto di imporre sempre un valore del coefficiente di deflusso Φ almeno pari a 0,90 per gli eventi aventi un periodo di ritorno superiore o uguale a 200 anni.

Per gli eventi con periodo di ritorno di 100 anni e di 50 anni si è adottato un coefficiente di deflusso pari a 0,80.

Risultati

L'applicazione del metodo al caso in esame fornisce i risultati riportati nella tabella seguente con riferimento ai tempi di ritorno di verifica di 50, 100, 200 e 500 anni e Φ pari rispettivamente a 0.8, 0.8, 0.9 e 0.9.

Nelle tabelle allegate di seguito si riportano i risultati del calcolo portate di piena con il Metodo Cinematico (o Razionale) con le piogge calcolate secondo curve di possibilità pluviometrica di Cao-Puddu-Pazzaglia.



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Rio Merd'e Cani - sifone sul canale ENAS

Lunghezza asta principale	8.806	m
Pendenza media asta principale	1,399	%
Hm	86,39	m.s.l.m
Superficie	16,72	Kmq
Altezza sezione	10,00	m.s.l.m
Hmax bacino	279,21	m.s.l.m

Tempi di corrivazione		
Viparelli	2,45	h
Giandotti	4,23	h
Ventura	4,40	h
Pasini	4,82	h
MEDIA – Kirpich, Pezzoli, Watt e Chow-Watt	2,92	h

PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Ventura)					PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Giandotti)				
Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO				Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO			
	50	100	200	500		50	100	200	500
0.70	51,47	57,44	63,51	71,74	0.70	52,88	59,02	65,26	73,71
0.80	58,82	65,65	72,59	81,98	0.80	60,44	67,45	74,58	84,24
0.90	66,17	73,85	81,66	92,24	0.90	67,99	75,88	83,91	94,77

PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Viparelli)					PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Pasini)				
Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO				Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO			
	50	100	200	500		50	100	200	500
0.70	77,16	86,13	95,26	107,63	0.70	48,30	53,91	59,59	67,31
0.80	88,18	98,44	108,87	123,01	0.80	55,21	61,61	68,11	76,92
0.90	99,21	110,74	122,48	138,38	0.90	62,11	69,31	76,62	86,54

PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula MEDIA – Kirpich, Pezzoli, Watt e Chow-Watt)				
Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO			
	50	100	200	500
0.70	68,22	76,16	84,22	95,14
0.80	77,97	87,03	96,25	100,73
0.90	87,71	97,91	108,28	122,33



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisettoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Rio Arriotti - sifone sul canale ENAS

Lunghezza asta principale	3.932	m
Pendenza media asta principale	0,905	%
Hm	50,90	m.s.l.m
Superficie	5,584	Kmq
Altezza sezione	15,07	m.s.l.m
Hmax bacino	137,45	m.s.l.m

Tempi di corrivazione		
Viparelli	1,09	h
Giandotti	3,21	h
Ventura	3,16	h
Pasini	3,18	h
MEDIA – Kirpich, Pezzoli, Watt e Chow-Watt	1,83	h

PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Ventura)					PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Giandotti)				
Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO				Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO			
	50	100	200	500		50	100	200	500
0.70	21,59	24,11	26,66	30,11	0.70	21,38	23,86	26,39	29,81
0.80	24,67	27,55	30,46	34,41	0.80	24,43	27,27	30,16	34,07
0.90	27,76	30,99	34,27	38,72	0.90	27,49	30,68	33,93	38,33

PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Viparelli)					PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula Pasini)				
Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO				Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO			
	50	100	200	500		50	100	200	500
0.70	44,95	50,21	55,54	62,78	0.70	21,51	24,01	26,54	29,98
0.80	51,37	57,37	63,48	71,75	0.80	24,58	27,43	30,34	34,27
0.90	57,79	64,55	71,41	80,72	0.90	27,65	30,86	34,13	38,55

PORTATE PER I VARI TEMPI DI RITORNO (mc/s) (Formula MEDIA – Kirpich, Pezzoli, Watt e Chow-Watt)				
Coefficiente di deflusso	TEMPO DI RITORNO			
	50	100	200	500
0.70	31,53	35,21	38,94	44,01
0.80	36,03	40,23	44,51	50,29
0.90	40,54	45,26	50,07	56,58



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisettoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



2.3 Altri metodi per la determinazione della portata di piena

Come detto, il metodo cinematico è particolarmente indicato solo per bacini di modeste dimensioni; alcuni altri metodi largamente utilizzati nella valutazione delle piene dei fiumi della Sardegna sono i seguenti: Metodo Cinematico con le piogge calcolate col metodo TCEV applicato alle piogge, Metodo TCEV applicato direttamente alle portate, Metodo del Lazzari, Metodo del Sirchia. Di seguito viene data una sintetica descrizione dei metodi su menzionati.

2.3.1 Metodo Cinematico (o Razionale) con le piogge calcolate col metodo TCEV applicato alle piogge

Il metodo fornisce, la portata di massima piena (in m³/s) attraverso la relazione del metodo Cinematico (o Razionale) summenzionata:

$$Q = \frac{\Phi \cdot A \cdot h_{tc}}{3.6 \cdot t_c}$$

nella quale il significato dei simboli è quello anzidetto (cui si rimanda); l'unica differenza consiste nella stima della grandezza "altezza di precipitazione di breve durata", che è stata analizzata con la distribuzione statistica TCEV applicata ai dati pluviometrici.

La poca disponibilità di osservazioni storiche di portata, insieme con la necessità di stime in svariate sezioni idrologiche lungo i corrispondenti tronchi critici, non può prescindere dall'uso della procedura indiretta per la valutazione della portata di piena. Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione nell'ipotesi, discutibile, che la frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizza quella della portata al colmo.

La portata di piena è espressa dalla ben nota Formula Razionale come prodotto tra l'intensità di precipitazione, i , di assegnata durata d e periodo di ritorno T_r , il coefficiente di assorbimento Φ , la superficie del bacino A il coefficiente di laminazione $\varepsilon(t)$:

$$Q = i[\Theta, T_r, r(\Theta, A)] \cdot \Phi \cdot A \cdot \varepsilon(\Theta)$$

dove con Θ si è indicato il valore di durata critica, mentre $r(\Theta, A)$, rappresenta il fattore di ragguglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata, Θ , e della superficie del bacino, A .



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisettoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



In questo caso la procedura proposta permette di calcolare l'intensità di pioggia ad assegnato periodo di ritorno in ciascun punto del bacino sardo tramite l'analisi regionale (VAPI Sardegna, 1996), condotta sulle precipitazioni intense di breve durata per le circa 200 stazioni con almeno quaranta anni di osservazione a partire dal 1922.

L'intensità di precipitazione, $i[\Theta, T_R]$, che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che, com'è noto, esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, d , ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T . Tale curva è riportata dalla letteratura tecnica come:

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

Recenti studi per la Sardegna mostrano che il modello probabilistico TCEV ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche, motivo per il quale è stato adottato nella procedura VAPI per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica.

La metodologia regionale di calcolo si basa sull'inferenza statistica del modello TCEV della variabile aleatoria adimensionale.

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

che è il massimo annuale di pioggia per assegnata durata, d , normalizzato rispetto alla media \bar{h} e successivamente sul calcolo della $\bar{h}(d)$ per le diverse durate.

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

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

dove i parametri della curva, $a(T)$ ed $n(T)$, vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO), per durate minori e maggiori di 1 ora e per tempi di ritorno maggiori di 10 anni.

Tabella 7 - Parametri della curva di possibilità climatica

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata > 1 ora
Sottozona 1	$a = 0.46420 + 1.0376 \cdot \text{Log}(T)$	$a = 0.46420 + 1.0376 \cdot \text{Log}(T)$
	$n = -0.18488 + 0.22960 \cdot \text{Log}(T) - 3.3216 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n = -1.0469 \cdot 10^{-2} - 7.8505 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



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	$a = 0.40926 + 1.1441 \cdot \text{Log}(T)$	$a = 0.40926 + 1.1441 \cdot \text{Log}(T)$
	$n = -0.19060 + 0.264438 \cdot \text{Log}(T) - 3.8969 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$	$n = 1.4929 \cdot 10^{-2} + 7.1973 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$

La pioggia media per diverse durate, detta anche pioggia indice, $\bar{h}(d)$, è funzione dalla pioggia media giornaliera, \bar{h}_g , secondo le espressioni

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

dove \bar{h}_g si ricava dalla distribuzione spaziale sull'intera Sardegna.

Il valore del coefficiente di afflusso Φ (nella precedente Formula Razionale), può essere calcolato con il metodo del SCS - Curve Number; che permette di ricavare la pioggia netta in base all'espressione:

$$h_{\text{netta}} = \frac{(h_{\text{lorda}} - I_a)^2}{(h_{\text{lorda}} + S - I_a)}$$



dove h_{lorda} è la pioggia stimata per assegnata distribuzione di probabilità, S (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione:

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

e I_a è l'assorbimento iniziale, legato empiricamente al parametro S dalla relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

I valori del parametro di assorbimento CN e della relativa capacità massima di assorbimento S vanno determinati per le sezioni idrologiche d'interesse facendo riferimento alla ben nota metodologia SCS - CN

	<p>Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico Multisettoriale regionale (SIMR) SISTEMA 2C TIRSO q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34 q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47 PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO</p>	
--	---	---

utilizzando la Carta Litologica e quella di Uso del Suolo alla discretizzazione spaziale di 400 m disponibile presso la Regione Sardegna nell'ambito del Sistema IFRAS.

Il coefficiente di ragguaglio delle piogge $r(\Theta, A)$, legato alla durata, Θ , e alla superficie del bacino, A , è espresso da diverse formulazioni tra cui quella, utilizzata nel VAPI Sardegna, che fa riferimento al Flood Studies Report:

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

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

in cui d è la durata della precipitazione ed A è la superficie del bacino (espressa in km^2).

Visti i risultati, in considerazione del fatto che le superfici dei bacini in esame risultano tutti al di fuori del campo di applicazione del metodo, si ritiene di non dover considerare attendibili i risultati forniti dal metodo TCEV direttamente applicato alle precipitazioni ai fini della verifica del progetto.

2.3.2 Metodo TCEV applicato alle portate

Appartiene ai così detti metodi di regionalizzazione, ed è basato sulla distribuzione TCEV, espressa formalmente dalla relazione:

$$(a) \quad P(x) = \exp \left(- \lambda_1 \exp \left(- x / \Theta_1 \right) - \lambda_2 \exp \left(- x / \Theta_2 \right) \right)$$

L'introduzione di questa distribuzione viene giustificata ipotizzando che gli elementi di piena siano indipendenti fra di loro e prodotti da due tipi di situazioni meteoriche dissimili il cui numero di accadimenti annuo è assimilabile in entrambi i casi ad un processo di Poisson, con parametri λ_1 e λ_2 rispettivamente, mentre le corrispondenti portate di piena sono distribuite in modo esponenziale con parametri Θ_1 e Θ_2 . Il massimo annuo di ciascuna delle due componenti risulta allora distribuito secondo una legge di Gumbel mentre il massimo di ambedue è evidentemente dato dal prodotto delle corrispondenti probabilità di non superamento che, come è immediato riconoscere, equivale alla relazione summenzionata.



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisettoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Introducendo la variabile ridotta

$$z = x / \Theta_1 - \ln \lambda_1 = (x - \varepsilon_1) / \Theta_1$$

con $\varepsilon_1 = \Theta_1 \ln \lambda_1$

Corrispondentemente la (a) assume la forma:

$$P(z) = \exp(-\exp(-z) - \lambda \exp(-z / \Theta))$$

ove si è posto



$$\theta = \Theta_2 / \Theta_1 \text{ e } \lambda = \lambda_2 / \lambda_1^{1/\theta}$$

Le espressioni analitiche dei momenti della relazione summenzionata sono stati ricavati da Beran ed altri nel caso che la variabile z possa assumere tutti i valori del campo reale. Dette espressioni consentono di dimostrare che il coefficiente di asimmetria della distribuzione TCEV dipende esclusivamente da λ e θ mentre il coefficiente di variazione dipende ulteriormente anche da λ_1 ma non da θ_1 .

Da questi risultati deriva sostanzialmente la procedura di analisi regionale che si fonda inoltre sulle seguenti osservazioni di carattere empirico:

- *il coefficiente di asimmetria campionario è, di norma, molto variabile ma non presenta una chiara tendenza a differenziarsi per zone anche su grandi aggregati territoriali;*
- *il coefficiente di variazione campionario, invece, tende ad assumere valori sensibilmente poco diversi fra loro in ambiti territoriali più ristretti ma sempre piuttosto ampi;*
- *la piena indice (media, moda o mediana) è in genere estremamente variabile da una sezione all'altra e dipende largamente dalle caratteristiche specifiche di ciascun bacino.*

Associando le precedenti osservazioni ai risultati analitici, discende infatti immediatamente l'ipotesi che i parametri λ e θ possano ritenersi costanti per tutti i bacini compresi in regioni molto ampie e che, all'interno di queste, sia possibile individuare opportune sottozone per le quali è ammissibile assumere ulteriormente l'ipotesi di invarianza del parametro λ_1 . Il parametro θ_1 o ε_1 , invece, resta definito esclusivamente dalle condizioni locali di ciascuna stazione. Nel caso della Sardegna sono state trovate le seguenti stime dei parametri adimensionali:

	<p>Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico Multisettoriale regionale (SIMR) SISTEMA 2C TIRSO q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34 q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47 PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO</p>	
---	--	---

$$\lambda^{\wedge} = 0.3938$$

$\theta^{\wedge} = 5.8866$ che caratterizzano l'intero territorio dell'Isola

$$\lambda_1^{\wedge} = 6.286 \text{ bacini occidentali}$$

$$\lambda_1^{\wedge} = 4.571 \text{ bacini orientali}$$

$$\ln \varepsilon_1^{\wedge} = -1.1954 + 0.9235 \ln(S)$$

bacini occidentali

$$\ln \varepsilon_1^{\wedge} = -0.9882 + 0.6452 \ln(S)$$

bacini orientali

In definitiva, il calcolo della portata di piena viene così condotto:

- nota la superficie S del bacino ed attribuito il medesimo al gruppo orientale o occidentale, si ricava tramite una delle formule il valore di ε_1 , quindi, si determina θ_1 essendo λ_1 fissato una volta classificato il bacino in uno dei due gruppi. Applicando poi le precedenti si determinano θ_2 e λ_2 ;
- fissato un periodo di ritorno T, si ricava la probabilità di non superamento P(x) della portata di piena x, e quindi il valore di x.

Il metodo, per essere stato applicato al di fuori del suo specifico campo di applicazione, fornisce risultati non del tutto attendibili, dal momento che le equazioni regionalizzate con i parametri summenzionati sono state ricavate dall'analisi dei dati di bacini aventi superficie compresa tra 60 km² e 1011 km²: per questo motivo, quando viene applicato per così piccoli bacini, il metodo tende a sottostimare i contributi unitari e, conseguentemente, le relative portate. Per quanto concerne il campo di applicazione di questa metodologia, si rileva che essa deriva dall'analisi di serie storiche relative alle stazioni che sottendono bacini di estensione superiore a circa 60 Km², elencati nella tabella seguente:

Tabella 10 - Elenco delle stazioni di misura portate utilizzate nel modello TCEV.

N	Bacino	Superficie [km ²]	N	Bacino	Superficie [km ²]
Bacini occidentali			Bacini orientali		
1	Rio Fluminimannu a is Acquas	61	1	Fiume Flumendosa a Bau e'mela	94
2	Rio di Fluminimaggiore	83	2	Rio Picocca a Monte Acuto	119
3	Rio Araxixi a Orto Sciavico	121	3	Rio Flumineddu a Stanali	389
4	Rio di Buttule a Buttule	169	4	Fiume Flumendosa a Gadoni	423
5	Fiume Temo a Reinamare	176	5	Fiume Flumendosa a Villanovatulo	548
6	Rio Mannu di Porto Torres a Pedras Alvas	225	6	Fiume Cedrino a Cedrino	621
7	Fiume Taloro a passerella Gavoi	226	7	Fiume Flumendosa a Monte Scrocca	1011
8	Rio di Oschiri a Concarabella	364			
9	Rio di Oschiri a Concarabella	364			



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



10	Rio di Palmas a Monti Pranu	436		
11	Fiume Tirso a Rifornitore Tirso	587		
12	Rio Mannu di Ozieri a Fraigas	757		
13	Rio Flumineddu o Massari ad Allai	787		

Visti i risultati, in considerazione del fatto che le superfici dei bacini in esame risultano tutti al di fuori del campo di applicazione del metodo, si ritiene di non dover considerare attendibili i risultati forniti dal metodo TCEV direttamente applicato alle portate ai fini della verifica del progetto.

2.3.3 Metodo del Lazzari

E' un metodo di tipo statistico basato sul fatto che le distribuzioni statistiche delle piene dei corsi d'acqua sardi possono essere regolarizzate con la legge log-normale di Galton. Come indice morfometrico caratteristico di ciascun bacino idrografico, viene assunto il prodotto SH_m della superficie del bacino S per la sua quota media H_m sul livello del mare; la probabilità p di non superamento di una data punta di piena Q_c è assunta funzione di tale indice e della stessa Q_c . Il legame fra queste tre grandezze si concreta in due diverse formule, una relativa ai bacini che ricadono nel versante orientale della Sardegna e l'altra a quelli del versante occidentale.

$$\log Q_c = 0.3583 z_p + 0.956 \log(S \cdot H_m) - 8.731$$

Per i bacini occidentali la formula è la seguente:

Per i bacini orientali la formula è la seguente

$$\log Q_c = 0.4413 z_p + 0.746 \log(S \cdot H_m) - 6.257$$

In ambedue le formule, z_p rappresenta il frattile della distribuzione normale di Gauss relativo alla probabilità di superamento p ; inoltre S è espressa in m^2 ed H_m in metri. Detta formula è in generale attendibile per bacini di medio – grandi dimensioni.

Il prodotto SH_m definisce anche il campo di applicabilità del metodo: infatti, questo non è applicabile quando $SH_m < 50 \times 10^9$



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Il metodo, non risultando applicabile per via del fatto che il parametro $SH_m < 50 \times (10^9)$ in tutti i casi considerati, fornisce risultati di cui è comunque sconsigliata l'applicazione ai piccoli bacini; si ritiene quindi di non considerare attendibili le portate da questo fornite.

2.3.4 Metodo del Sirchia

E' un tipico metodo empirico basato sul concetto di massima piena prevedibile. Sono stati riportati su un piano cartesiano, per tutti i bacini osservati dell'Isola, i massimi contributi q di piena noti, in funzione delle rispettive superfici. Per la Sardegna è stata ricavata la curva inviluppo dei massimi di piena che permette di ricavare il valore del contributo unitario di piena, q , secondo le espressioni aggiornate al 1969 che descrivono l'iperbole di equazione:

$$q = 207 A^{-0.6}$$

per bacini con $21 \text{ km}^2 < A < 1000 \text{ km}^2$

$$q = 45.8 A^{-0.106}$$

per bacini con $A < 21 \text{ km}^2$


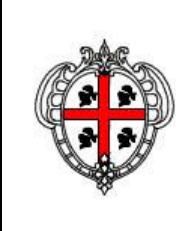
essendo q il contributo unitario in $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}^2$ ed A la superficie del bacino in Km^2 .

Il valore del contributo così ottenuto (significativo per bacini di dimensione superiore ai 20 Km^2) viene poi moltiplicato per un coefficiente riduttore ψ . Detto coefficiente, nella revisione di Fassò, assume i valori indicati nella figura riportata in appendice alla relazione; esso è variabile fra $0.4 \div 0.6$, $0.6 \div 0.8$, $0.8 \div 1.0$, secondo le valutazioni espresse dagli Autori per le diverse zone idrografica della regione, in dipendenza dalle caratteristiche morfometriche e geografiche del bacino.

La portata di piena al colmo (Sirchia-Fassò) risulta pertanto pari a:

$$Q_p = \Psi \cdot A \cdot q$$



Va detto che il metodo, non essendo caratterizzato da alcun fondamento statistico, ma avendo un approccio esclusivamente "deterministico" del problema idrologico, restituisce un valore che – nelle intenzioni degli autori – dovrebbe interpretare la "massima portata prevedibile", senza alcun riferimento al tempo di ritorno:

	<p>Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico Multisetoriale regionale (SIMR) SISTEMA 2C TIRSO q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34 q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47 PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO</p>	
--	--	--

in effetti, è possibile *reinterpretare* il risultato del metodo come se la portata provenisse (ad esempio) da un calcolo eseguito col metodo cinematico; con tale metodica è stato ottenuto il tempo di ritorno corrispondente ai valori delle portate ottenute col metodo del Sirchia, ed in tutti i casi si è ottenuto che il tempo di ritorno *equivalente* è sempre superiore a 500 anni, e pertanto esula dalla presente indagine.

Va detto che, nell'ambito della Sardegna, il metodo è uno di quelli ufficialmente riconosciuti dal Servizio Idrografico del Genio Civile per il rilascio delle autorizzazioni di competenza nei riguardi delle opere di attraversamento fluviali, pertanto assume un significato di ufficialità e di riferimento al di là del suo significato tecnico-statistico.

In realtà, viste le ridotte dimensioni dei bacini idrografici scolanti e del loro limitato significato statistico, si ritiene di non dover fornire i risultati del metodo, ricordando che le portate risultano estremamente sovrastimate e non riferite a tempi di ritorno (ovvero equivalenti a tempi di ritorno di gran lunga superiori a quelli per cui si svolge l'indagine).

	<p>Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico Multisetoriale regionale (SIMR) SISTEMA 2C TIRSO q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34 q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47 PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO</p>	
--	--	---

2.4 Scelta delle portate di piena

In base alle considerazioni sopra riportate, il metodo ritenuto più adatto ad interpretare la formazione delle piene è stato quello razionale (o cinematico), nelle sue due formulazioni (con piogge secondo TCEV e con piogge secondo Cao-Puddu-Pazzaglia) determinate per la Sardegna.

Tra le due determinazioni delle piogge, le curve di possibilità pluviometrica ricavate da Cao C., Puddu P., Pazzaglia P. ed aggiornate da Piga E., Liguori G. nel 1991, risultano di maggior tradizione storica nell'esperienza applicativa dei progettisti rispetto alla TCEV.

Va detto che – a parità di tempi di ritorno – le curve di possibilità pluviometrica secondo Cao-Puddu-Pazzaglia forniscono valori dell'altezza di pioggia lievemente superiori rispetto alle corrispondenti stime della TCEV; in effetti, pur risultando particolarmente adatte per i cosiddetti “piccoli bacini” (intendendosi in tale accezione quelli che hanno superficie inferiore ai 50 km²), conducono – al tendere a 0 della superficie – ad una sovrastima dei contributi unitari.



3. VERIFICA DI STABILITÀ ALLE AZIONI DI TRASCINAMENTO

L'analisi della stabilità del materiale utilizzato per le difese di sponda in progetto rispetto all'azione di trascinamento della corrente idraulica è svolta secondo la seguente procedura:

1. definizione dei parametri idraulici di interesse;
2. caratterizzazione del materiale e verifica della sua stabilità nella situazione di progetto.

Differenti formule di calcolo sono disponibili in letteratura per la valutazione della stabilità di materiali di assegnata granulometria soggetti all'azione di trascinamento della corrente. Questi procedimenti si basano sulla determinazione dei valori critici (in generale desunti da dati sperimentali) delle velocità o delle tensioni tangenziali (intesi come valori che corrispondono alle condizioni di moto incipiente per il materiale considerato) e sul confronto con i valori reali di tali grandezze. Le variabili che possono essere prese in considerazione sono:

- velocità media della corrente;
- velocità al fondo;
- pendenza del fondo alveo;
- portata per unità di larghezza;
- numero di Froude;
- sforzo di trascinamento;
- dimensione caratteristica dei grani;
- parametro di Shields.

Sforzo di trascinamento

L'analisi delle condizioni critiche di moto incipiente è effettuata anche mediante l'utilizzo di formule basate sul confronto delle tensioni di trascinamento.

Tale criterio si basa sulla definizione dello sforzo tangenziale esercitato dalla corrente sul materiale costituente il letto fluviale, secondo la formula:



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i \quad (\text{N/m}^2)$$

dove:

- $\gamma (\text{N/m}^3)$ è il peso specifico dell'acqua,
- $R \text{ (m)}$ è il raggio idraulico della sezione,
- $i \text{ (m/m)}$ la pendenza di fondo.

La condizione di stabilità del fondo risulta quando $\tau_{cr} \geq \tau_0$, ossia quando la tensione tangenziale critica è maggiore o uguale a quella di moto incipiente esercitata dalla corrente.



La seguente analisi di stabilità è riferita alla teoria della tensione tangenziale critica (Shields - 1936 - la cui formula base è stata ricavata da esperimenti su letti a granulometria uniforme di forte scabrezza), attraverso la valutazione della forza che determina il moto incipiente dei granuli, esprimibile in termini generali con la seguente relazione che esprime una condizione di equilibrio:

$$\frac{\tau_{cr}}{(\gamma_s - \gamma)d} = \Phi(Re^*)$$

dove:

- τ_{cr} = tensione tangenziale critica (N/m^2);
- γ_s = peso specifico materiale d'alveo (N/m^3);
- γ = peso specifico dell'acqua (N/m^3);
- d = diametro del granulo (m);
- Φ = parametro adimensionale dipendente dalle caratteristiche dei granuli, del letto fluviale e dal numero di Reynolds (Re^*) relativo alla velocità di attrito $(u^* = \sqrt{\tau_{cr}/\rho})$

Per la traduzione della condizione di equilibrio suddetta in termini empirici ed ingegneristici sono state proposte varie formulazioni, derivanti da osservazioni sperimentali, ciascuna caratterizzata da limiti e campi di applicabilità specifici che ne condizionano l'utilizzo alla preventiva definizione della tipologia dei substrati naturali o artificiali e del comportamento idraulico dell'alveo.

	<p>Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico Multisettoriale regionale (SIMR) SISTEMA 2C TIRSO q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34 q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47 PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO</p>	
---	---	---

In particolare alcuni autori hanno individuato valori empirici specifici del parametro di Shields:

- $\Phi = 0,058 \div 0,060$ nell' espressione originale di Shields, valida in moto turbolento $Re^* > 1000$ e con diametro medio del materiale molto inferiore del tirante idrico;
- $\Phi = 0,116$ nell' espressione di Kalinske, che considera un fattore di compattezza del materiale rappresentante l'effetto di mutuo incastro delle particelle;
- $\Phi = 0,06 \left[1 + 0,67 \left(\frac{d}{h} \right)^{0,5} \right]$ nella formulazione di Armanini, valida per diametri comparabili con il tirante idrico h .

Per le verifiche di stabilità del rilevato in progetto verrà fatto riferimento, nel caso specifico, all'espressione di Kalinske.

Per le verifiche di stabilità del paramento inclinato (rivestimento spondale), la condizione di moto incipiente va espressa considerando le componenti attive del peso e della spinta idrodinamica in relazione alla pendenza (α) della sponda rispetto all'orizzontale. A tal scopo è normalmente utilizzata la seguente espressione (E.Lane, 1953):

$$\tau_{cr}(\alpha) = \tau_{cr}(0) \left[\cos \alpha \sqrt{1 - \frac{\tan^2 \alpha}{\tan^2 \varphi}} \right]$$

dove

$\tau_{cr}(0)$ = tensione critica sul fondo,

φ = angolo d'attrito interno del materiale.

Nel caso di asta fluviale non rettilinea, con sezione da verificare posizionata in curva, il valore della tensione critica sulla sponda concava subisce un aumento, di cui si tiene conto attraverso un coefficiente k_1 funzione del rapporto tra il raggio di curvatura e la larghezza del pelo libero nella sezione considerata. In entrambi i casi in esame il tratto di asta fluviale considerato è rettilineo e pertanto non si applicherà il coefficiente maggiorativo k_1 .

Calcolo delle condizioni critiche di moto incipiente



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Dal confronto fra le tensioni tangenziali esercitate dalla corrente sul paramento e la corrispondente tensione tangenziale critica legata alla pezzatura del materiale utilizzato per il rivestimento, è possibile verificarne la stabilità.

La tensione tangenziale τ_0 agente sul fondo è stata calcolata con riferimento all'espressione:

$$\tau_0 = \gamma \cdot R \cdot i$$

assumendo

- $\gamma = 1000 \text{ kg/m}^3$ peso specifico dell'acqua;
- R = raggio idraulico in alveo inciso e scelto nelle sezioni in corrispondenza dei sifoni da realizzare, considerando la sezione completamente occupata dalla corrente di piena, con franco annullato
- i = pendenza media del fondo alveo nel tratto in esame = circa 1.00%.

Dall'applicazione della formula sopraccitata risulta e considerando che per la tensione tangenziale presente sulle sponde si può considerare il 75% di quella sul fondo otteniamo:

Sezioni di calcolo	Sifone Riottu	Sifone Merd'e Cani
R [m]	1.20	1.22
τ_0 fondo [N/m^2]	117.17	111.95
τ_0 sponde [N/m^2]	87.88	83.96

Calcolo della tensione di trascinamento critica: dimensionamento

Si assumono le seguenti valutazioni per le caratteristiche del materiale di rivestimento delle sponde (ipotizzate in massi): diametro medio del masso di riferimento assunto cautelativamente pari a 0.40 m e un peso specifico medio del masso assunto cautelativamente pari a circa 2200 kg/m^3 .

Inoltre si assume un angolo della scarpata di progetto pari a 1/1 (circa 45°) ed un angolo di attrito del materiale pari a 55° .

La presenza di eventuale intasamento in calcestruzzo non viene cautelativamente considerata nella presente verifica. L'applicazione dei parametri alla formulazione di Shields-Kalinske permette di calcolare per le opere in progetto una tensione critica (di equilibrio del masso) di circa 275 N/m^2 garantendo un coefficiente di sicurezza rispettivamente pari a 3.13 per il sifone Riottu e 3.28 per il sifone Merd'e Cani.



Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



Sezioni di calcolo	Sifone Riottu	Sifone Merd'e Cani
$\tau_{cr} (0)$ fondo [N/m ²]	545.66	545.66
$\tau_{cr} (\alpha)$ sponde [N/m ²]	275.47	275.47
τ_0 sponde [N/m ²]	87.88	83.96
Coeff. di sicurezza	3.13	3.28

Verifica di stabilità a trascinamento: conclusioni

Nell'ipotesi, quindi, di utilizzo di massi di cava sciolti a ricoprimento e difesa delle sponde del rio Ariotti e del Rio Merd'e Cani (soluzione utilizzata in corrispondenza dei sifoni sul canale ENAS) di peso specifico non inferiore a 2200 kg/m³ e diametro medio non inferiore a 0.40 m, la verifica di stabilità risulta positiva con ampio margine di sicurezza.





Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico
Multisetoriale regionale (SIMR)
SISTEMA 2C TIRSO
q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso
q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34
q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47
PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



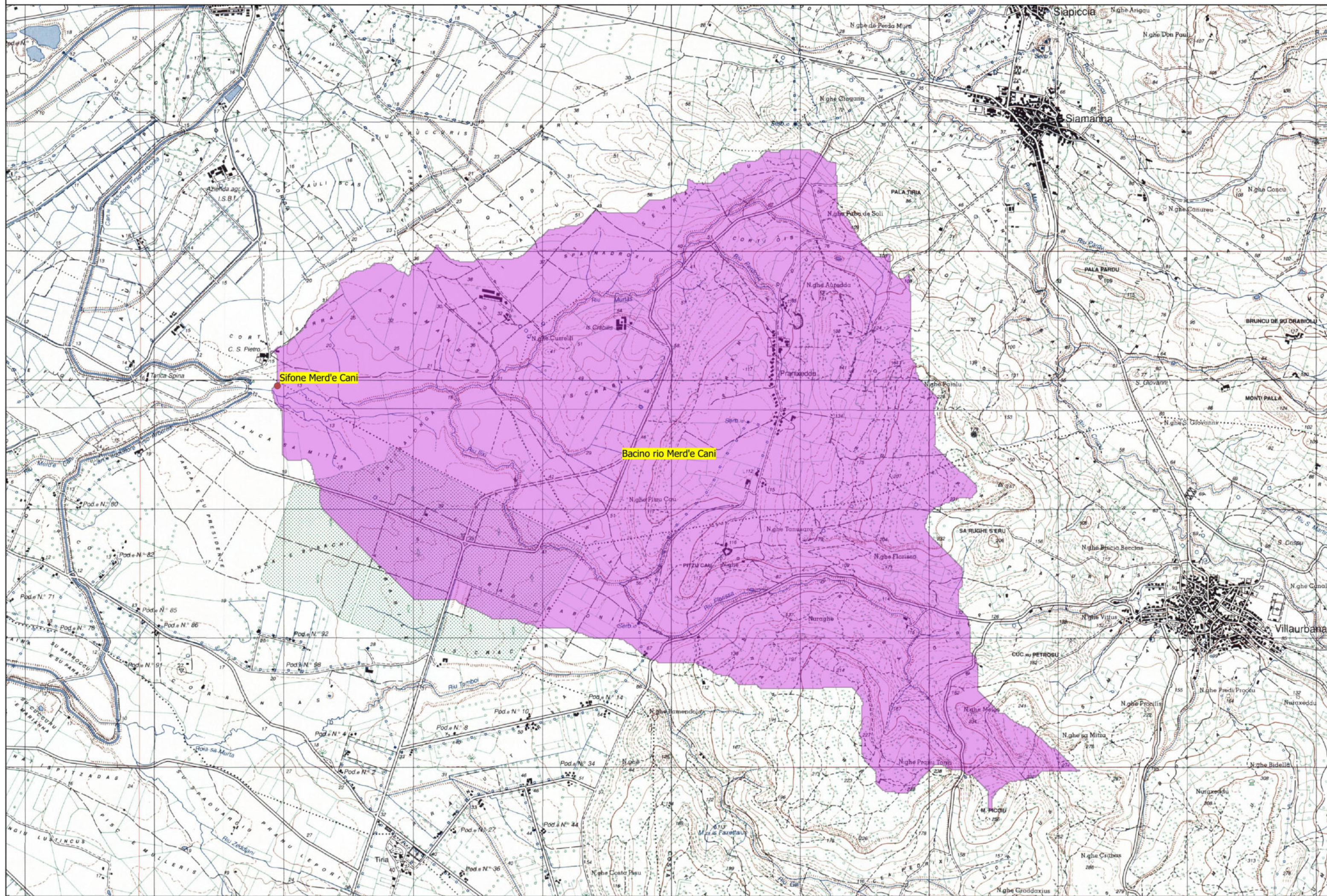
BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

- N. Orrù, Grid Processor, *un sistema per il trattamento e la visualizzazione interattivi di dati raster (Tesi di Diploma)*, Università degli Studi di Cagliari, 2000
- M. C. Halley, S. O. White and E. W. Watkins, *ESRI User Conference Proceedings*, 657, 2000
- S. D. Peckham, *Doctoral thesis dissertation*, University of Colorado at Boulder, 1995
- J. Fairfield, P. Leymarie, *Water Resources Research*, 22, 15-24, 1986
- F. Oliveira, *Doctoral thesis dissertation*, University of Texas at Austin, 1996
- CAO C., PAZZAGLIA G., PUDDU P. - *Determinazione statistica delle curve di possibilità pluviometrica. Applicazione alle piogge di durata inferiore alle 24 ore in Sardegna*. Convegno Nazionale sull'Idrologia e la Sistemazione dei piccoli bacini. Roma, 1969.
- CAO C., SECHI G.M., BECCIU G. - *Analisi regionale per la valutazione probabilistica delle piene in Sardegna - XXI Convegno di Idraulica e Costruzioni Idrauliche*, L'Aquila, 1988
- CAO C., PIGA E., SALIS M., SECHI G. M., *Valutazione delle Piene in Sardegna-Rapporto Regionale*, CNR-GNDICI.1991;
- CRUDEN D.M., VARNES D.J.) - *Landslides Types and Processes*. In "Landslides: Investigation and Mitigation". Transportation Research Board. National Academy of Sciences, 1994;
- DEIDDA R., PIGA E., SECHI G.M. - *Studio regionale delle massime precipitazioni giornaliere in Sardegna, Rapporto 1992-93 Linea 1* - ed. F. Rossi, CNR GNDICI, 1993;
- DEIDDA R., PIGA E., SECHI G.M. - *Studio regionale delle massime precipitazioni giornaliere in Sardegna*, Quaderni ricerca, 9, 30 pp.c, 1997;
- DEIDDA R., PIGA E., SECHI G.M. - *Analisi regionale di frequenza delle precipitazioni intense in Sardegna*. 2000;
- FASSÒ C.A. (1969) - *Rapporto Regionale: Sardegna. Atti del Convegno nazionale sull'Idrologia e la sistemazione dei piccoli bacini* - Roma, 1969;
- LAZZARI E. - *Studio probabilistico delle piene con particolare riferimento ai corsi d'acqua della Sardegna*. L'Energia Elettrica, vol. XLIV,n.4, 1967;
- KOTTEGODA, N.T. & R. ROSSO, 1997, *Statistics, probability and reliability for civil and environmental engineers*, MCGRAW-HILL, NEW YORK, 1997
- MAIDMENT, D. R., *Handbook of Hydrology*, ed. D.R. Maidment, McGraw-Hill,INC., isbn 0-07-039732-5,1993;
- MOISELLO, U., *Idrologia Tecnica*, La Goliardica Pavese, isbn 88-7830-269-4, 1988;
- PIGA E., LIGUORI G. (1985) - *Il regime delle piogge intense in Sardegna*. Raccolta dati. Atti Facoltà di Ingegneria. Vol. 27, 1985;
- ROSSI, F., M. FIORENTINO, and P. VERSACE, *Two Component Extreme value distribution for flood frequency analysis*, Water Resources Research, vol. 20, pp. 847-856, 1984;
- SALIS M., SECHI G.M. (1985) - *Metodi di valutazione delle portate di Piena con riferimento alla Sardegna*. Atti Facoltà di Ingegneria, vol. 26. Maggio 1985.
- SALIS M., SECHI .M (1986) - *Valutazione del coefficiente correttivo per l'applicazione della curva dei massimi valori di contributo di piena per la Sardegna*. Atti Facoltà di Ingegneria, vol. 28. Ottobre 1986.
- SALIS M., SECHI G.M. (1990) - *Un modello regionale per la generazione di idrogrammi di piena*. Idrotecnica n.4 luglio-agosto1990.
- SECHI, G.M., *Prime analisi comparative fra la modellazione regionale delle piogge giornaliere e delle portate al colmo in Sardegna* - GNDICI - CNR rapporto 1992-93;
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1994) – Quaderni serie III volume 4. *Carta Geomorfologica d'Italia 1:50.000 Guida al rilevamento* (a cura di Gruppo di lavoro per la Cartografia Geomorfologica: SGN e Gruppo Nazionale di Geografia Fisica e Geomorfologia). Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato Libreria dello Stato, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO NAZIONALE (1996) - Miscellanea VII. *Guida al censimento dei fenomeni franosi ed alla loro archiviazione* (a cura di Amanti M., Casagli N., Catani F., D'Orefice M., Motteran G.). Istituto Poligrafico e Zecca dello Stato Libreria dello Stato, Roma.
- VARNES D.J. (1978) - *Slope movements types and processes*. In SCHUSTER R.L. & KRIZECK R.J: (Eds.) "Landslides: analysis and control". Washington Transp. Res. Board, Spec. Rep. 176, Nat. Sci. Acad., 11-33
- WP/WLI - *International Geotechnical Societies - UNESCO Working Party on World Landslide Inventory –A suggested method for reporting a landslide*. IAEG Bull., 41: 5-12, 1990;
- WP/WLI, *A suggested method for describing the activity of a landslide*, International Geotechnical Societies UNESCO Working Party on World Landslide Inventory IAEG Bull., 47: 53-5, 1993a;.

	<p>Interventi di manutenzione straordinaria delle opere e impianti del Sistema Idrico Multisettoriale regionale (SIMR) SISTEMA 2C TIRSO q1.4: Riqualificazione sezionamenti canale sinistra Tirso q1.6: Riqualificazione canale da ponte 24 a ponte 34 q1.7: Riqualificazione canale da ponte 35 a ponte 47 PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO</p>	
--	--	--

- WP/WLI - *International Geotechnical Societies* - UNESCO Working Party on World Landslide Inventory) – Multilingual Glossary for Landslides. The Canadian Geotechnical Society. BiTech Publisher Ltd., Richmond (CAN), 1993b;

Bacino rio Merd'e Cani scala 1:25000



Bacino rio Arriotti scala 1:25000

