

S.S. n.128 "Centrale Sarda"

Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbì
1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA356

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

PROGETTISTA E RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Francesco Nicchiarelli (Ord. Ing. Prov. Roma 14711)

RESPONSABILI D'AREA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*

Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*

Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*

Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*

GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)

VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Edoardo Quattrone

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:



MANDANTI:



IDROLOGIA E IDRAULICA

Relazione Idrologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO

LIV. PROG. ANNO

DPCA0356 D 21

NOME FILE

CA356_T00ID00IDRRE01_A

CODICE ELAB.

T00ID00IDRRE01

REVISIONE

SCALA:

A

VARIE

D

C

B

A

EMISSIONE

NOV. 2021

A.GECCOTTI

M.A.CUCCARO

F. NICCHIARELLI

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	6
2.1 Identificazione del bacino di intervento.....	7
2.2 Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).....	15
2.3 Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF).....	17
3. ANALISI IDROLOGICA	19
3.1 Caratterizzazione fisica e idrografica del bacino	19
3.2 Metodo di stima delle portate al colmo.....	35
3.2.1 <i> Criteri generali</i>	<i>35</i>
3.2.2 <i> Metodo SCS per la definizione delle portate al colmo</i>	<i>35</i>
3.2.3 <i> Stima del tempo di corrivazione.....</i>	<i>38</i>
3.2.4 <i> Metodo VAPI per la definizione delle portate al colmo</i>	<i>47</i>
3.2.5 <i> Valutazione degli idrogrammi di piena</i>	<i>50</i>
3.3 Analisi dei risultati idrologici.....	51
3.3.1 <i> Portate al colmo – Bacino B09 – Canale s'Arrole (Metodo VAPI).....</i>	<i>51</i>
3.3.2 <i> Portate al colmo – Bacino B01_Riu Pardu (Metodo SCS).....</i>	<i>52</i>
3.3.3 <i> Portate al colmo – Bacino B02_el_idr_98114 (Metodo SCS)</i>	<i>53</i>
3.3.4 <i> Portate al colmo – Bacino B03_Riu Tradori (Metodo SCS).....</i>	<i>54</i>
3.3.5 <i> Portate al colmo – Bacino B04_Riu Pala Zarruigus (Metodo SCS)</i>	<i>55</i>
3.3.6 <i> Portate al colmo – Bacino B05_Riu Funtana Casteddu (Metodo SCS)</i>	<i>56</i>
3.3.7 <i> Portate al colmo – Bacino B06_Riu Funtana (Metodo SCS)</i>	<i>57</i>
3.3.8 <i> Portate al colmo – Bacino B07_Gora Santessu (Metodo SCS).....</i>	<i>58</i>
3.3.9 <i> Portate al colmo – Bacino B08_Riu Cadelano (Metodo SCS).....</i>	<i>59</i>
3.3.10 <i> Portate al colmo – Bacino B10_el_idr_108671 (Metodo SCS)</i>	<i>60</i>
3.3.11 <i> Portate al colmo – Bacino B11_el_idr_108597 (Metodo SCS).....</i>	<i>61</i>
3.3.12 <i> Idrogrammi di piena.....</i>	<i>62</i>
3.4 Analisi dei risultati idrologici.....	66
3.4.1 <i> Curve di possibilità pluviometrica con metodologia VAPI-TCEV</i>	<i>66</i>
3.4.1 <i> Aggiornamento delle curve di possibilità pluviometrica con metodo GEV</i>	<i>69</i>

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbì 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

1. PREMESSA

La presente relazione riferisce lo studio eseguito per la definizione dei caratteri idrologici dei bacini idrografici sottesi alle interferenze con il reticolo idrografico superficiale dell’asse stradale della S.S. 128 “Centrale Sarda” che si sviluppa tra i comuni di Monastir e Senorbì.

L’opera fa parte dei lavori di ammodernamento e di adeguamento della S.S.128 “Centrale Sarda”, itinerario regionale di valenza storica che ha costituito fino alla metà degli anni ’60 uno dei tre itinerari fondamentali della percorribilità regionale Nord-Sud, e prevede la sistemazione e adeguamento funzionale del tratto da bivio Monastir a bivio Senorbì, della lunghezza di 16.5 Km ad una extraurbana secondaria tipo C1 (larghezza piattaforma stradale 10.50 m), in parte in nuova sede e con l’eliminazione degli incroci a raso.

Da un punto di vista idraulico l’area di interesse per lo studio appartiene al bacino idrografico denominato “Flumendosa – Campidano – Cixerri” all’interno del PAI della Regione Sardegna. L’inquadramento normativo connesso alle attività idrauliche consente di poter delimitare i vincoli attorno ai quali costruire/inserire l’intervento. Nel quadro complessivo, si porrà particolare attenzione alle norme regionali definite dal Distretto Idrografico (PAI, PSFF e Direttiva Alluvioni). L’attività idrologica sviluppata è coerente con i più recenti approcci consolidati in Regione Sardegna.

Con particolare riferimento alle zone di interferenza tra reticolo idrografico e asse stradale, sono state analizzate le porzioni di tratte stradali ricadenti nei vari Comuni e sono stati individuati i corsi d’acqua, denominati secondo le indicazioni GIS del GeoPortale della Regione Sardegna, e i relativi bacini idrografici.

Nel Comune di Monastir insiste il bacino idrografico relativo del Riu Pardu, nel seguito indicato con:

- B01 – Riu Pardu.

Nel Comune di Ussana insiste il bacino idrografico relativo a el_idr_98181, indicato con:

- B02 – el_idr_98181.

Il Comune di Samatzai è interessato dai bacini idrografici relativi a Riu Tradori, Riu Pala Zarruigus, Funtana Casteddu e Riu Funtana, indicati con:

- B03 – Riu Tradori;
- B04 – Riu Pala Zarruigus;
- B05 – Riu Funtana Casteddu;
- B06 – Riu Funtana.

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

Nel Comune di Pimentel insistono i bacini idrografici relativi a Gora Santessu e Riu Cadelano, indicati con:

- B07 – Gora Santessu;
- B08 – Riu Cadelano.

Il Comune di Ortacesus è interessato dal bacino idrografico relativo a Canale s'Arrole, di seguito indicato con:

- B09 – Canale s'Arrole.

Nel Comune di Senorbì insistono i bacini idrografici relativi a el_idr_108671 ed el_idr_108597, successivamente indicati con:

- B10 – el_idr_108671;
- B11 – el_idr_108597.

Il Riu Mannu costeggia l'asse stradale di nuova realizzazione lungo il suo sviluppo. Per tale motivo, nonostante si tratti di una interferenza in affiancamento, si è ritenuto modellare il corso d'acqua, identificando i punti in cui l'asse stradale viene intercettato dal fiume. In particolare:

- Progressiva 5+180.00 circa: l'area di esondazione 200ennale del corso d'acqua è ad una distanza di circa 40 metri dal corpo stradale principale;
- Dalla progressiva 8+720.00 alla progressiva 9+020.00 circa: l'area di esondazione lambisce il rilevato stradale;
- Progressiva 11+720.00 circa: l'area di esondazione 200ennale del corso d'acqua è ad una distanza di circa 20 metri dal corpo stradale della strada secondaria AS_E114;
- In prossimità della rotatoria esistente (progressiva 13+070.00 circa): l'area di esondazione 200ennale del corso d'acqua è ad una distanza di circa 50 metri dal corpo stradale principale.

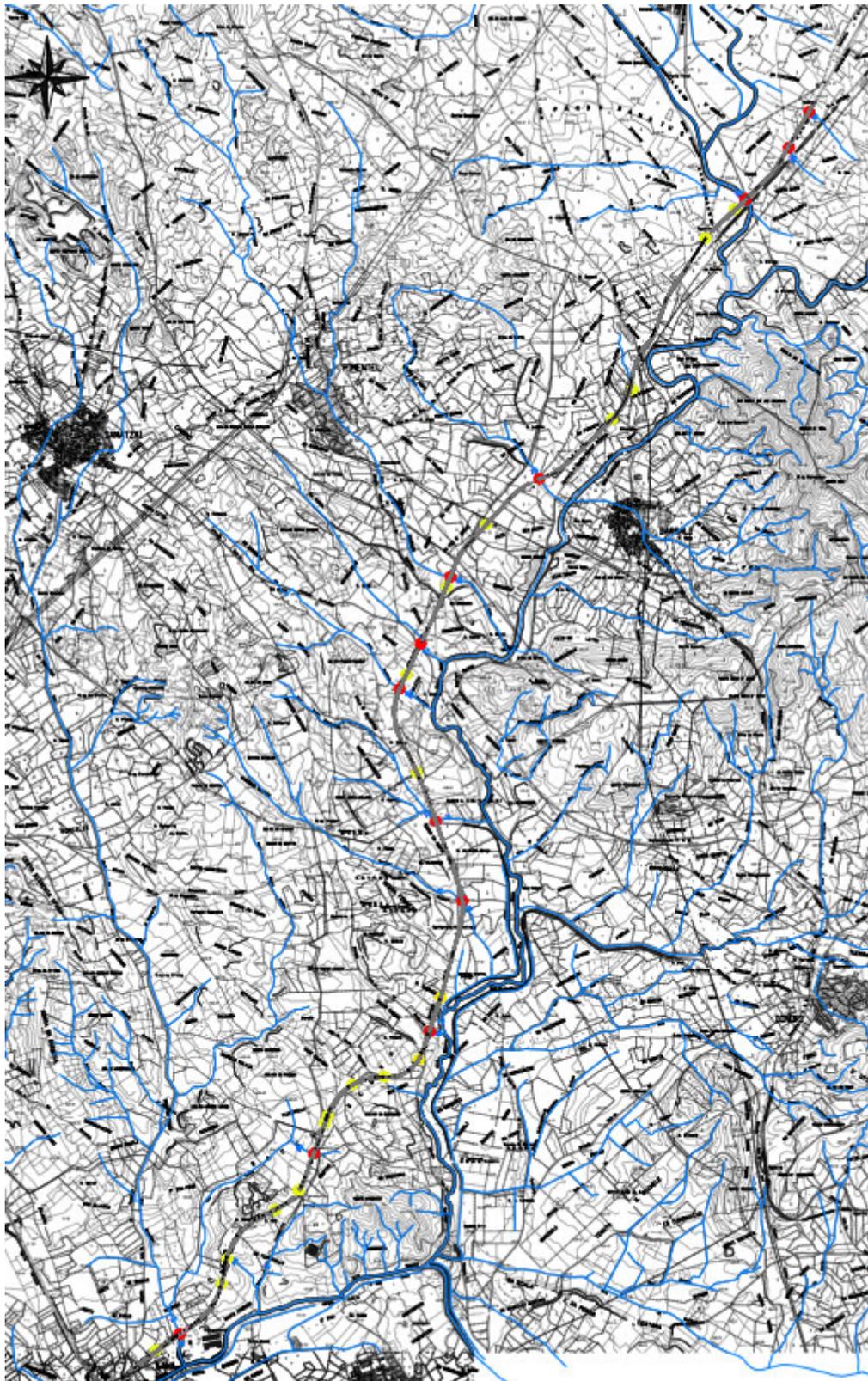


Figura 1-1 - Estratto planimetrico delle interferenze

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	<i>Relazione Idrologica</i>	

L'attività ha previsto la preliminare definizione del reticolo idrografico: il reticolo è stato mappato mediante diversi livelli cartografici, che comprendono la carta IGM 25.000, la CTR 10.000, il rilievo DTM 1x1 m regionale. Definito il reticolo, sono state individuate le interferenze con le opere stradali esistenti, oltre ai bacini ad esse sottesi (Corografia). L'analisi idrologica ha permesso di determinare le portate al colmo di piena nelle sezioni di attraversamento dei corsi d'acqua lungo il percorso stradale per i tempi di ritorno di riferimento del progetto. La stima delle portate è stata elaborata con riferimento ai metodi regionali sviluppati nello studio CNR-GNDICI, “La valutazione delle piene in Sardegna (VA.PI)”, secondo le “Linee Guida per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia” (PAI) della Regione Sardegna ed in coerenza con il Piano Stralcio Fasce Fluviali regionale.

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

2. RIFERIMENTI NORMATIVI

Le analisi sono svolte nel rispetto delle seguenti norme cogenti a livello regionale e nazionale:

- R.D. n. 523/1904 e ss.mm.ii.;
- D.Lgs. n. 152/2006;
- D.M. 11.03.1988 e Circolare 9.1.1996 n.218/24/3 del Ministero LL.PP.;
- D.P.R. n. 380 del 06/06/2001 – “Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia”;
- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617. C.S.LL.PP.;
- NTC 2018 – “Norme Tecniche per le Costruzioni”;
- N.T.A. e Linee Guida del Piano Stralcio per l’Assetto Idrologico;
- Direttive per la manutenzione degli alvei e la gestione dei sedimenti approvate dal Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino regionale della Sardegna con Delibera n° 22/2012;
- Piano Stralcio Fasce Fluviali,
- Piano di Gestione del Rischio di alluvioni (approvato con delibera C.I. n. 2 del 15/03/2016 con aggiornamento ottobre 2019 approvato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 03/10/2019 e successiva del 28/10/2019);
- Allegato n. 10 alla D.C.I. n. 1 del 18/12/2014 – “Repertorio canali tombati”;
- D.C.I. n. 3 del 07/07/2015 – D.M. 14/01/2008 – “Norme inerenti al franco idraulico”;
- D.C.I. n. 3 del 07/07/2015 – D.M. 14/01/2008 – “Direttiva per la manutenzione degli alvei e gestione sedimenti – allegato 2.0”;
- D.C.I. n. 3. del 30/07/2015 – “Reticolo idrografico di riferimento per le finalità di applicazione delle Norme di Attuazione del PAI”;
- D.C.I. n. 2 del 17/10/2017 – “Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti – allegato”;
- D.C.I. n. 1 del 03/10/2019 – “Modifica Norme Attuazione PAI – con allegati”;
- PAI – “Norme Tecniche di attuazione” – ottobre 2019 (testo coordinato).

2.1 Identificazione del bacino di intervento

L'intervento ricade nel settore meridionale della Sardegna, nel distretto n. 20 Campidano, interessando il territorio dei Comuni di Monastir, Ussana, Samatzai, Pimetel, Ortacesus e Senorbi, in Provincia di Cagliari, in un'area geograficamente inquadrabile nel settore nord-occidentale del Golfo di Cagliari ed ubicata a nord dello Stagno di Cagliari.

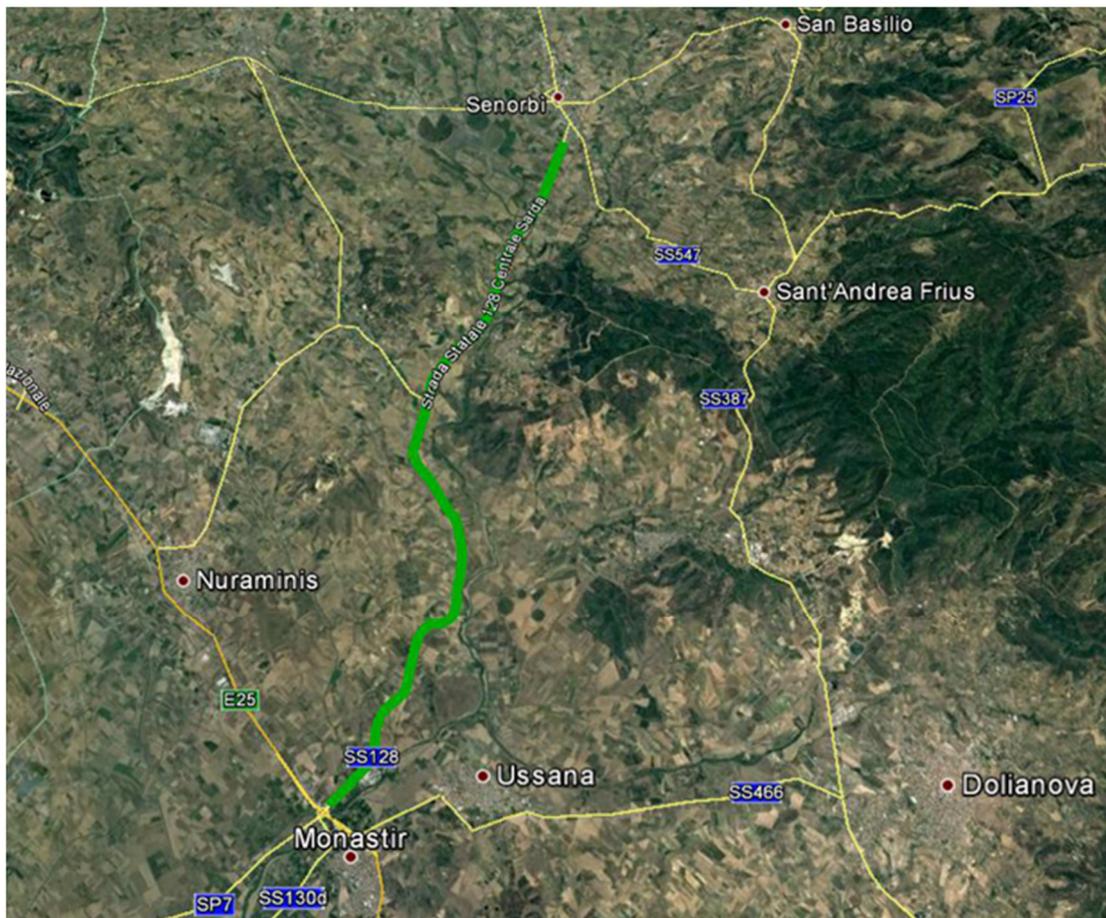


Figura 2-1 – Inquadramento geografico dell'area di intervento

Il contesto territoriale su cui si sviluppa l'infrastruttura in progetto è caratterizzato da un ambito sostanzialmente pianeggiante, facente parte di un territorio per lo più urbanizzato, dal momento che si sviluppa in prossimità dei centri abitati detti. Tra gli elementi localmente caratterizzanti l'ambito paesaggistico è da citare la depressione stagno-lacustre di Cagliari, che delimita un'area concavo-depressa immediatamente a valle dell'infrastruttura stessa.

La S.S. 128, come si evince dall'immagine precedente, si inserisce tra i territori dei comuni di Monastir e Senorbi, rispettivamente a nord-est e sud-ovest, mediante un tracciato che si mantiene in zona periferica rispetto ai centri stessi e organizzando la viabilità permettendo di alleggerire il traffico che altrimenti interesserebbe una vasta area interessata da un processo di diffusione

residenziale sul territorio originariamente agricolo, cui ha conferito nel tempo caratteri di insediamento residenziale con connotazioni di tipo urbano.

Ai sensi della Legge 183/89 l'intero territorio della Sardegna è considerato un bacino idrografico unico di interesse regionale. Sulla base di altri studi di settore (SISS, Piano Acque), comunque collegati e pertinenti alle attività previste nella presente iniziativa, per la superficie territoriale sarda, con Delibera di Giunta regionale n. 45/57 del 30 ottobre 1990, è stata approvata la suddivisione in sette sub-bacini, ognuno dei quali caratterizzato da generali omogeneità geomorfologiche, geografiche, idrologiche. Tali sub-bacini sono rappresentati nella figura che segue.

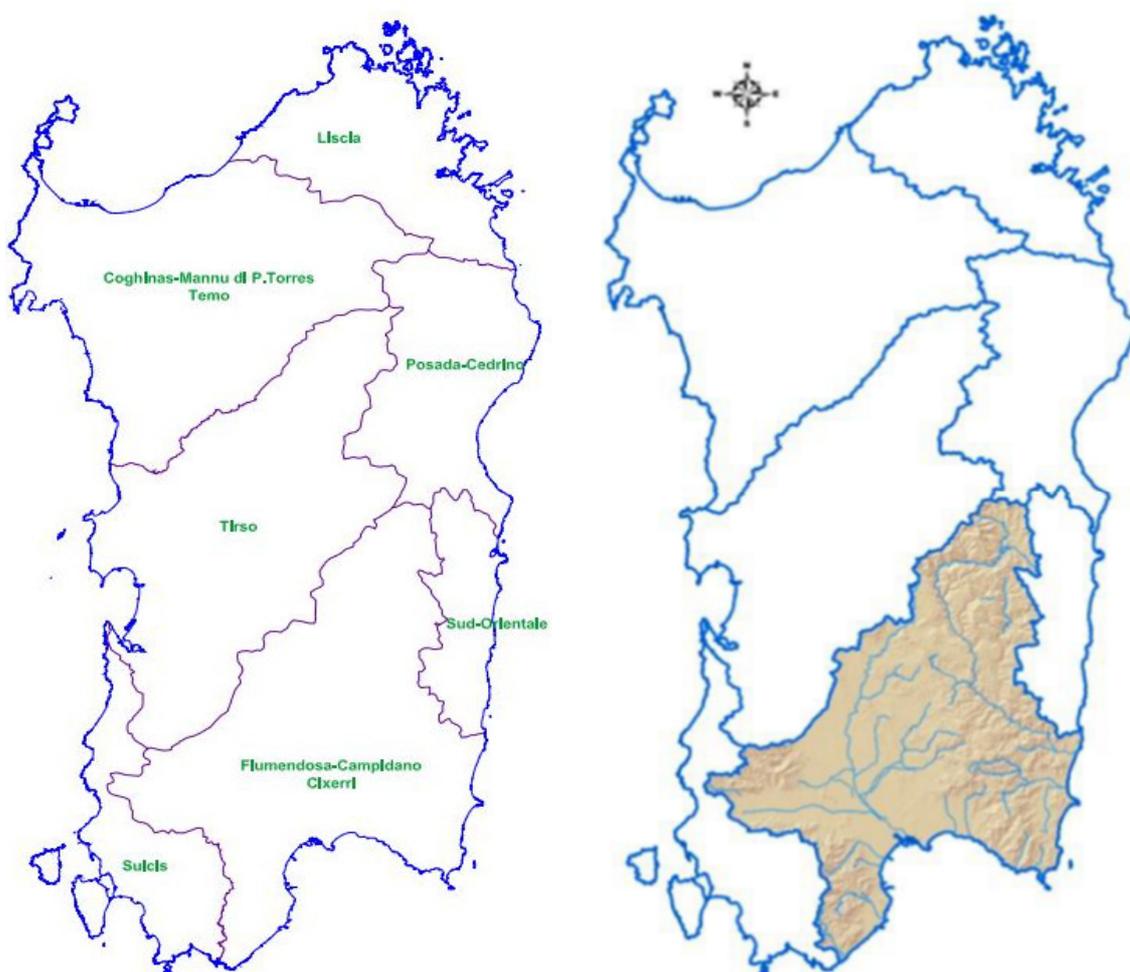


Figura 2-2 - Delimitazione dei sub-bacini regionali sardi e indicazione del bacino di interesse

La zona di interesse ricade, nell'ambito della suddivisione in sub-bacini del territorio regionale prevista dal PAI, nel sub-bacino n. 7 "Flumendosa-Campidano-Cixerri", evidenziato in figura 2.2.

In particolare, gli interventi sono ubicati nei comuni di Monastir, Ussana, Samatzai, Pimetel, Ortacesus e Senorbi per i quali sono stati reperiti gli studi di compatibilità idraulica previsti dall'art.8 delle norme PAI, dai quali si evincono zone a pericolosità idraulica molto elevata in corrispondenza del corso d'acqua Riu Mannu nel comune di Monastir. Nel tratto terminale del tracciato stradale,

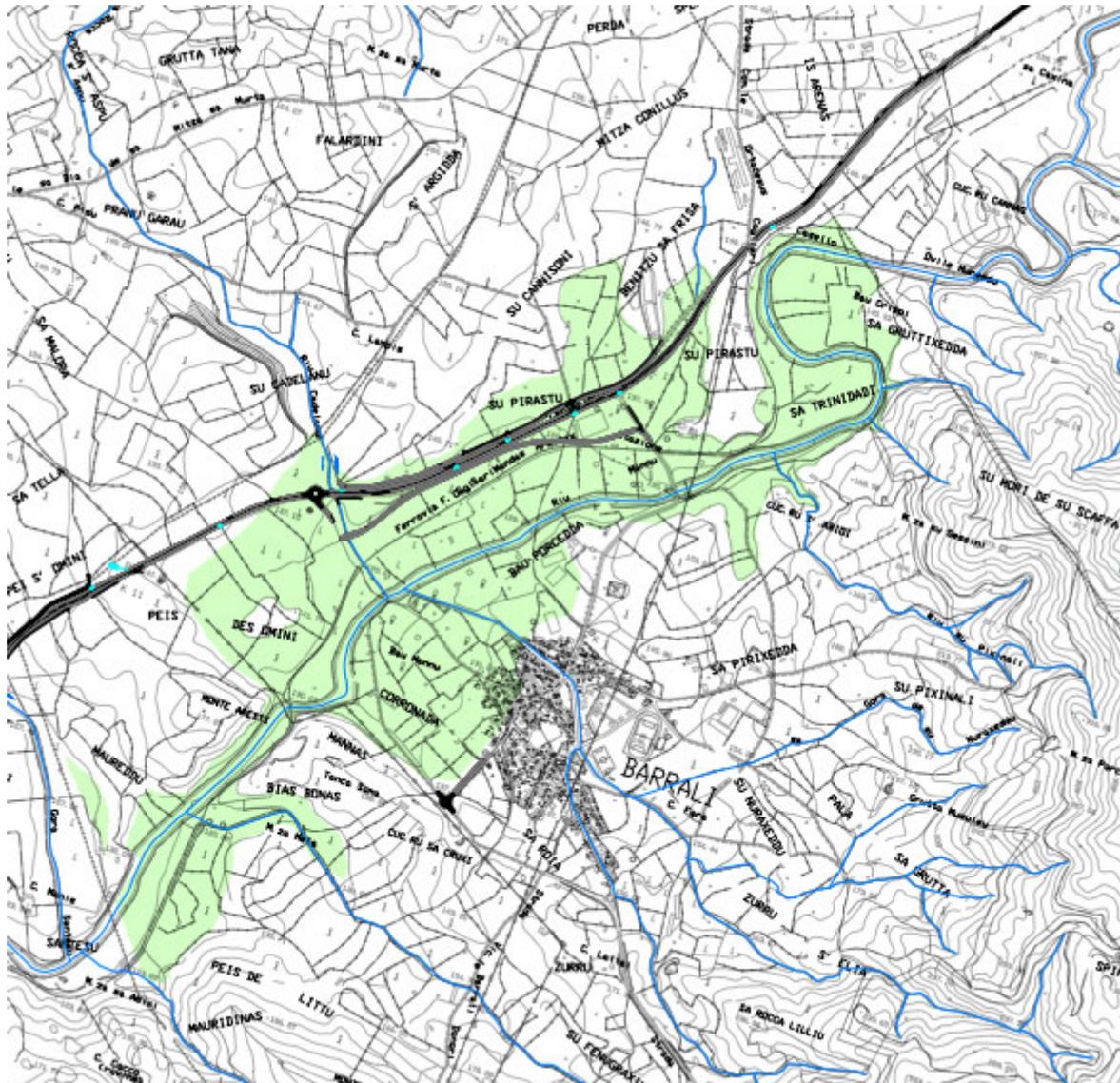
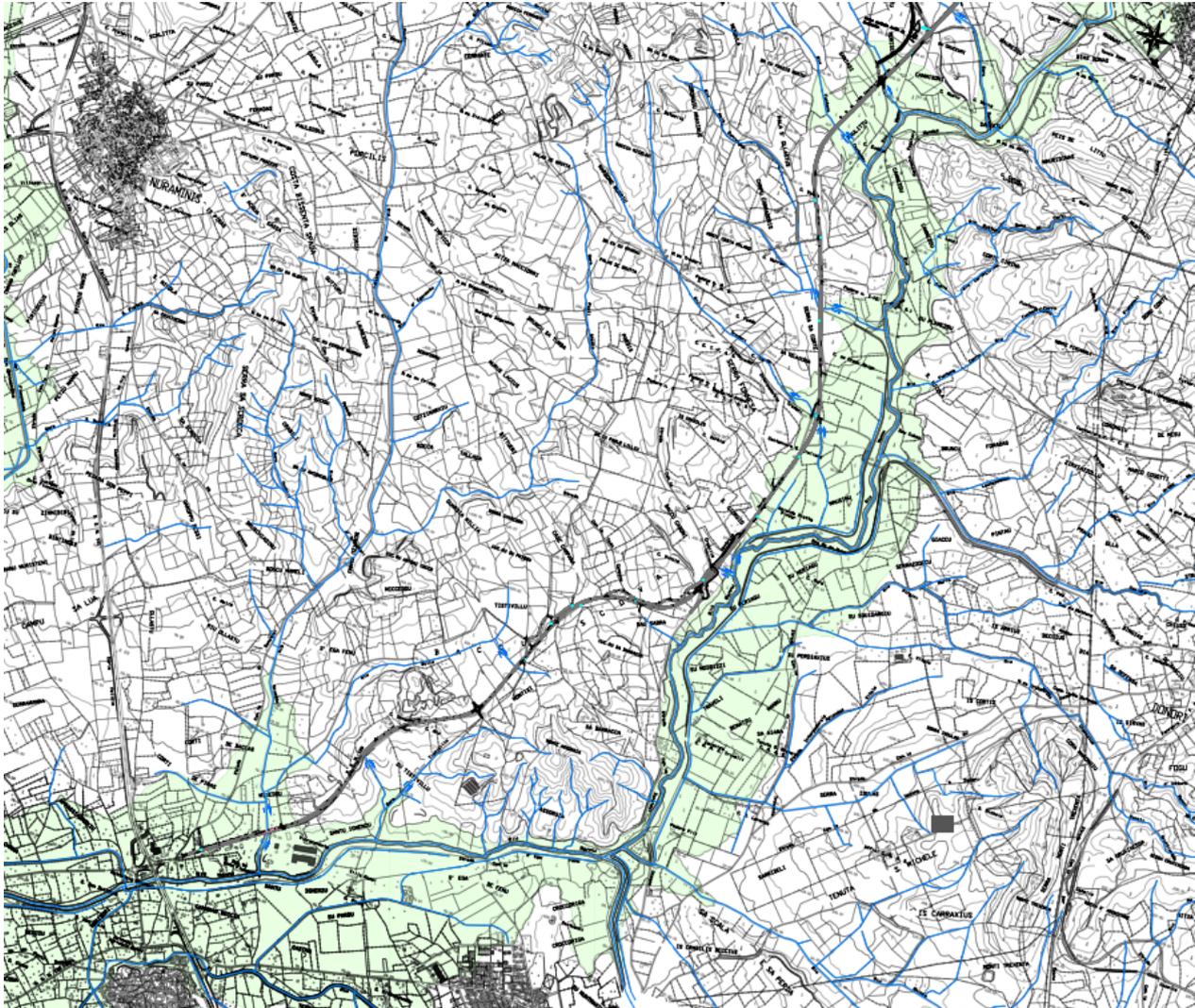


Figura 2-5 - Estratto cartografico in cui si evidenzia come nel territorio in cui ricade il progetto siano individuate nel PAI aree a pericolosità/rischio idraulico (Comune di Barrali)

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	<i>Relazione Idrologica</i>	

Lo studio ha previsto la preliminare definizione del reticolo idrografico, mappato mediante diversi livelli cartografici (che comprendono la carta IGM 25.000, la CTR 10.000, il rilievo DTM 1x1 m regionale, il rilievo speditivo di campagna) che hanno portato ad individuare i diversi livelli di reticolo che interferiscono con il progetto. Definito il reticolo, sono state individuate le interferenze con le opere stradali esistenti e in progetto, oltre ai bacini ad esse sottesi.

Con riferimento al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, tutti i corsi d’acqua detti risultano compresi nella delimitazione di pericolosità idraulica definita mediante la fascia C geomorfologica, o area di inondazione per piena catastrofica (nel PSFF, definita per i corsi d’acqua secondari la regione fluviale potenzialmente oggetto di inondazione nel corso di piene caratterizzate da un tempo di ritorno di 500 anni, e comunque di eccezionale gravità, tracciata con criteri geomorfologici).



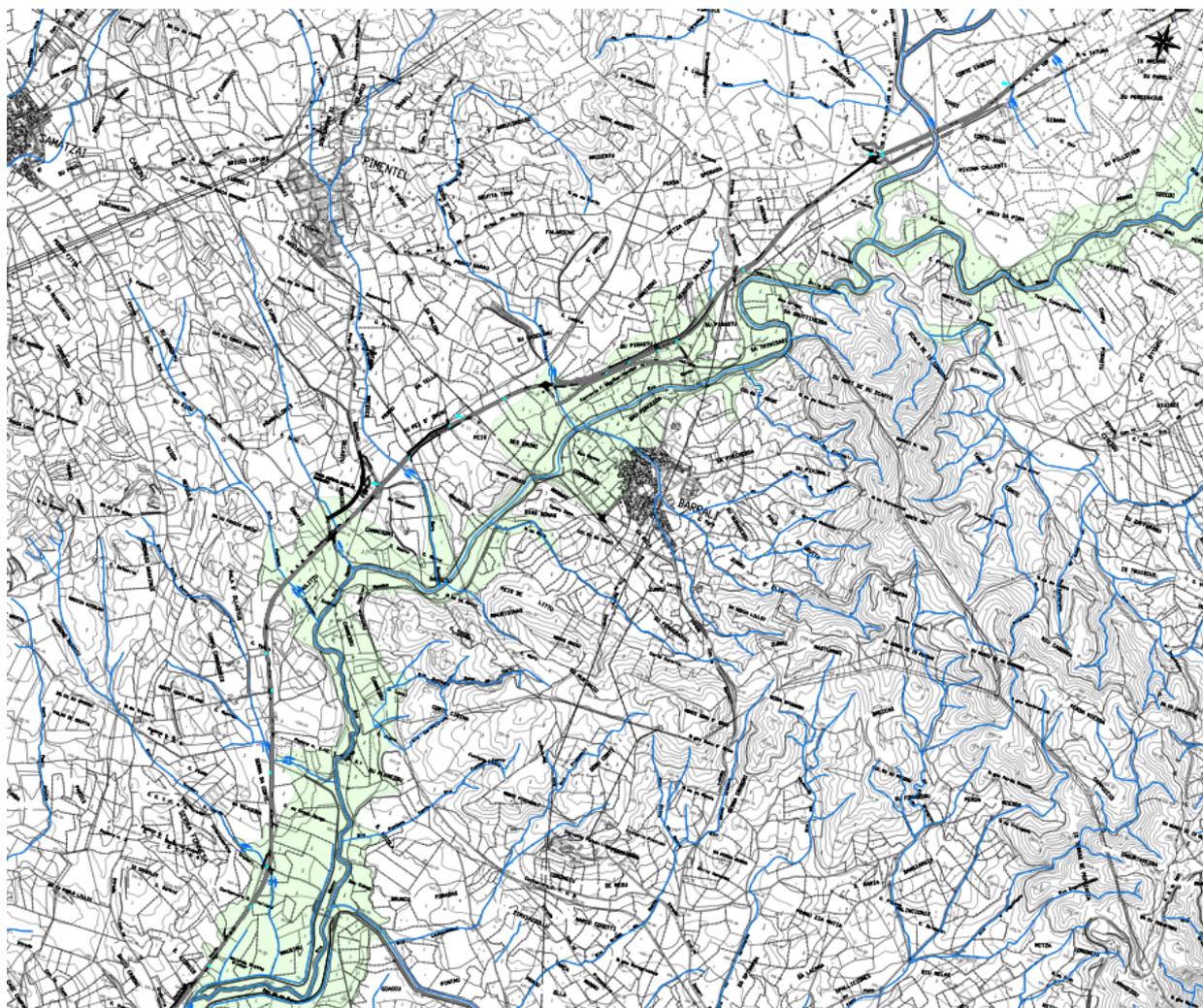


Figura 2-6 - Estratto cartografico in cui si evidenzia come nel territorio in cui ricade il progetto è presente la delimitazione delle fasce fluviali mediante valutazione geomorfologica

Nello Studio si è quindi proceduto all'individuazione e caratterizzazione fisiografica di n. 11 bacini e sottobacini, relativi ai soli corsi d'acqua interferenti con la soluzione progettuale della nuova viabilità, e dei quali sono state valutate le caratteristiche plano-altimetriche, nonché fisiografiche.

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA356	Relazione Idrologica	

2.2 Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano Stralcio per l’Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale PAI, è redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione.

Il PAI è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d’uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato. Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale.

Il PAI è stato approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10/07/2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici ed è stato oggetto di successive varianti ed integrazioni ultima delle quali approvata con Deliberazioni del Comitato Istituzionale n. 1 del 03/10/2019 e n. 1 del 28/10/2019.

Il PAI ha definito pericolosità idraulica e rischio non a livello estensivo sul reticolo principale e secondario ma solo in tronchi potenzialmente critici ai fini dello smaltimento della portata di piena, individuati secondo le metodologie descritte nelle Linee Guida allegate alla Relazione generale di piano. In tali tratti sono state definite quattro classi di pericolosità idraulica corrispondenti a tempi di ritorno crescenti, come descritto nella tabella seguente.

Pericolosità		Frequenza (1/T)	Periodo di ritorno (T anni)
H_{i1}	bassa	0.002	500
H_{i2}	moderata	0.005	200
H_{i3}	alta	0.010	100
H_{i4}	molto alta	0.020	50

Tabella 2.1 - PAI classi di pericolosità idraulica

In corrispondenza di tali tratti critici sono quindi stati definiti gli elementi soggetti a rischio (E) di essere colpiti da eventi calamitosi; tali elementi sono stati suddivisi in coerenza con la normativa vigente, secondo le seguenti classi.

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 ANAS GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

Classi	Elementi	Peso
E1	Aree escluse dalle definizioni E2, E3 ed E4. Zona boschiva. Zone di protezione ambientale con vincolo estensivo (p.e. vincolo Galasso). Zone falesie costiere con possibilità di frequentazione.	0,25
E2	Zona agricola generica. Infrastrutture puntuali per le telecomunicazioni. Zone di protezione ambientale con vincolo specifico ma non puntuale (p.e. parchi, riserve...).	0,50
E3	Infrastrutture pubbliche (altre infrastrutture viarie e fondo artificiale, ferrovie, oleodotti, elettrodotti, acquedotti, bacini artificiali). Zone per impianti tecnologici e discariche di R.S.U. ed assimilabili, zone di cava e zone minerarie attive e non, discariche minerarie di residui di trattamento, zona discarica per inerti. Beni naturali protetti e non, beni archeologici. Zona agricola irrigua o ad alta produttività, colture strategiche e colture protette. Specchi d'acqua con aree d'acquacoltura intensiva ed estensiva. Zona di protezione ambientale puntuale (monumenti naturali e assimilabili).	0,75
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità; nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane poco abitate; edifici sparsi; nuclei urbani non densamente popolati; aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); Zona discarica rifiuti speciali o tossico nocivi. Zona impianti industriali ad elevato rischio potenziale. Aree di intensa frequentazione turistica. Beni architettonici, storici e artistici. Infrastrutture pubbliche strategiche (strade statali). Porti vari, aeroporti, stazioni.	1

Tabella 2.2 - PAI classi elementi a rischio

In questo modo, posta cautelativamente la vulnerabilità pari a 1, è stato possibile definire le diverse classi di rischio secondo l'usuale formula:

$$R_i = H_i \cdot E \cdot V$$

Le classi di rischio adottate nel PAI conformi alla normativa in materia sono descritte nella tabella.

Rischio idraulico			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R ₁	Moderato	≤ 0,002	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R ₂	Medio	≤ 0,005	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R ₃	Elevato	≤ 0,01	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R ₄	Molto elevato	≤ 0,02	sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche

Tabella 2.3 - PAI classi di rischio idraulico

Le aree a rischio esondazione secondo il PAI per i corsi d'acqua analizzati sono rappresentate nella "Planimetria delle aree di pericolosità idraulica del PAI" allegata alla presente relazione, cui si rimanda, in cui la perimetrazione presente è stata acquisita direttamente dal sito del Distretto Idrografico della Regione Sardegna e direttamente dai comuni che hanno redatto gli studi di compatibilità idraulica previsti dall'art.8 delle norme PAI.

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

2.3 Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6, della legge n. 183 del 19 maggio 1989, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183. Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, adottato in via definitiva nel 2013 (ad eccezione dei soli comuni di Uta e Terralba), ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali. Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

L'approccio metodologico all'attività di delimitazione delle Fasce Fluviali ha seguito le indicazioni delle Linee Guida per la Redazione del PSFF; il differente livello di approfondimento del quadro conoscitivo definito per i corsi d'acqua principali, dove sono state condotte analisi geomorfologiche, idrologiche e idrauliche di dettaglio, rispetto a quello gli affluenti secondari (dove non sono state condotte verifiche idrauliche delle modalità di deflusso di piena) ha suggerito due differenti criteri di tracciamento delle fasce fluviali.

Sui corsi d'acqua principali sono state individuate cinque fasce:

- **Fascia A_2** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- **Fascia A_50** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- **Fascia B_100** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- **Fascia B_200** o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata; La delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate;
- **Fascia C** o area di inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'inviluppo esterno della fascia C geomorfologica

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	<i>Relazione Idrologica</i>	

(inviluppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena).

Sui corsi d'acqua secondari è stata definita la sola fascia C o area di inondazione per piena catastrofica, che, tracciata con criteri geomorfologici, rappresenta la regione fluviale potenzialmente oggetto di inondazione nel corso delle piene caratterizzate da un elevato tempo di ritorno (500 anni) e comunque di eccezionale gravità.

Nei tratti di intervento della S.S. 128 da Monastir a Senorbi tutti i corsi d'acqua interferenti sono interessati dal PSFF, relativamente ad una delimitazione di pericolosità idraulica definita esclusivamente mediante la fascia C geomorfologica. Quanto detto è riportato negli elaborati CA356_T00ID00IDRPL01_A e CA356_T00ID00IDRPL02_A.

La perimetrazione presente negli elaborati è stata acquisita direttamente dal sito del Distretto Idrografico della Regione Sardegna.

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	<i>Relazione Idrologica</i>	

3. ANALISI IDROLOGICA

3.1 Caratterizzazione fisica e idrografica del bacino

La caratterizzazione fisiografica dei bacini individuati è stata eseguita manualmente mediante le seguenti basi:

- DEM (maglia 10 x 10 m);
- CTR 1:10.000;
- Tavole IGM alla scala 1:25.000;

Per ciascun bacino individuato, sono state valutate le seguenti grandezze:

- **Superficie del bacino S** [km²]: elaborazione GIS; la superficie è calcolata sulla base del DEM, in relazione al poligono chiuso che individua ciascun singolo bacino idrografico;
- **Perimetro del bacino P** [km]: elaborazione GIS; la linea è calcolata sulla base del DEM, in relazione al poligono chiuso che individua ciascun singolo bacino idrografico;
- **Altitudine massima H_{max}** [m.s.l.m.], **altitudine minima** (altitudine sezione di chiusura) **H_{min}** [m.s.l.m.]: elaborazione GIS, direttamente dalla base del DEM, come risultato di un'analisi di tipo statistico (valore minimo e massimo) delle quote altimetriche delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante il bacino analizzato;
- **Altitudine media H_{media}** [m.s.l.m.]: elaborazione numerica direttamente dal DEM, come risultato dell'analisi della curva ipsografica relativa al bacino indagato e riferita alla sezione di chiusura posta in corrispondenza del punto di interferenza del corso d'acqua con l'asse stradale;
- **Pendenza media del bacino i_v** [%]: elaborazione GIS direttamente dalla base del DEM, come risultato dell'analisi delle pendenze medie delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante il bacino idrografico analizzato;
- **Lunghezza dell'asta L_{max}** [km]: calcolo automatico in GIS della lunghezza dei segmenti rappresentanti i corsi d'acqua digitalizzati, intesa come percorso idraulico più lungo all'interno del bacino idrografico analizzato.

I bacini idrografici individuati sono 11, di seguito denominati secondo una processione numerica e rappresentati nella tavola “*Corografia dei bacini idrografici principali*”. Questi rappresentano la porzione di territorio che, in seguito alle precipitazioni, genera deflusso attraverso la sezione di chiusura coincidente con il punto di interferenza tra i corsi d'acqua individuati e l'infrastruttura

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

stradale oggetto degli interventi. Tali punti di interferenza, nonché lo sviluppo delle aste fluviali attraverso i bacini idrografici detti, sono rappresentati nella tavola “*Planimetria delle interferenze con il reticolo idrografico*”.

Relativamente ai corsi d’acqua cui tali bacini sono riferiti, è possibile indicare:

- Bacino B01, relativo al Riu Pardu e sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 0+660.00 circa;
- Bacino B02, relativo a el_idr_98181 (secondo indicazione GIS dal GeoPortale della Regione Sardegna) e sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza dell’attraversamento della S.S. 128, in prossimità della progressiva 4+990.00 circa;
- Bacino B03, relativo al Riu Tradori, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 6+360.00 circa;
- Bacino B04, relativo a Riu Pala Zarruigus, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 7+240.00 circa;
- Bacino B05, relativo a Riu Funtana Casteddu, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 8+680.00 circa;
- Bacino B06, relativo a Riu Funtana, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 9+200.00 circa;
- Bacino B07, relativo a Gora Santessu, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 9+960.00 circa;
- Bacino B08, relativo a Riu Cadelano, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 11+340.00 circa;
- Bacino B09, relativo a Canale s’Arrole, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 15+000.00 circa;
- Bacino B10, relativo a el_idr_108671, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l’asse della S.S. 128 e l’asse dell’asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 15+700.00 circa;

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA356	Relazione Idrologica	

- Bacino B11, relativo a el_idr_108597, sotteso a partire dalla sezione di chiusura sita in corrispondenza del punto di interferenza tra l'asse della S.S. 128 e l'asse dell'asta fluviale, in corrispondenza della progressiva 16+100.00 circa.

Interferiscono con il corpo stradale di nuova realizzazione:

- el_idr_98114, in prossimità della progressiva 1+640.00 circa;
- el_idr_97761, in prossimità della progressiva 3+100.00 circa.

In seguito a sopralluoghi e analizzando i dati DTM, i due elementi idrici risultano assenti, rendendone impossibile la modellazione.

I bacini tracciati rappresentano la porzione di territorio che, in seguito alle precipitazioni, genera deflusso attraverso la sezione di chiusura coincidente con il punto di interferenza tra i corsi d'acqua individuati e l'infrastruttura stradale oggetto degli interventi. Tali punti di interferenza, nonché lo sviluppo delle aste fluviali attraverso i bacini idrografici detti, sono rappresentati nella “*Planimetria delle interferenze con il reticolo idrografico*” allegata alla presente relazione idrologica.

Per ogni bacino sono stati valutate le seguenti caratteristiche geomorfologiche dalle quali sono state calcolate le grandezze che descrivono la forma del bacino:

ID. BACINO	Area (km ²)	Perimetro (km)	Lunghezza asta (km)
B01 - Riu_Pardu	33.12	34.89	13.60
B02 - el_idr_98181	0.93	5.02	1.50
B03 - Riu_Tradori	2.70	9.49	3.40
B04 - Riu_Pala_Zarruigus	1.65	5.73	2.30
B05 - Riu_Funtana_Casteddu	3.83	10.69	2.79
B06 - Riu_Funtana	3.74	11.53	2.50
B07 - Gora Santessu	10.21	18.63	7.28
B08 - Riu_Cadelano	3.92	8.26	4.40
B09 - Canale s'Arrole	69.38	40.23	16.33
B10 - el_idr_108671	0.65	3.62	0.70
B11 - el_idr_108597	1.15	4.19	0.50

Tabella 3.1 - Caratteristiche dei bacini idrografici

Utilizzando le informazioni di carattere planimetrico, si può caratterizzare la forma del bacino attraverso i seguenti indici:

- **Fattore di circolarità:** esprime la somiglianza con un bacino di forma circolare avente lo stesso perimetro P

$$Rc = \frac{4\pi S}{P^2}$$

- **Fattore di uniformità:** è dato dal rapporto tra il perimetro del bacino e quello di un cerchio di uguale area.

$$Ru = \frac{P}{2\sqrt{\pi S}}$$

- **Fattore di allungamento:** è il rapporto tra il diametro del cerchio di uguale area A e la lunghezza L dell'asta principale.

$$Ra = \frac{2\sqrt{S}}{L\sqrt{\pi}}$$

In Tabella 3.2 si riportano i risultati ottenuti.

ID. BACINO	Rc	Ru	Ra
B01 - Riu_Pardu	0.342	1.710	0.477
B02 - el_idr_98181	0.464	1.468	0.725
B03 - Riu_Tradori	0.377	1.629	0.545
B04 - Riu_Pala_Zarruigus	0.632	1.258	0.630
B05 - Riu_Funtana_Casteddu	0.421	1.541	0.791
B06 - Riu_Funtana	0.354	1.682	0.873
B07 - Gora Santessu	0.370	1.645	0.495
B08 - Riu_Cadelano	0.722	1.177	0.508
B09 - Canale s'Arrole	0.539	1.362	0.576
B10 - el_idr_108671	0.623	1.267	1.300
B11 - el_idr_108597	0.823	1.102	2.420

Tabella 3.2 - Parametri di forma dei bacini idrografici

Sono stati valutati tutti i parametri altimetrici necessari alla definizione del bacino, quali:

- **Pendenza media dell'asta principale s [%]**, data dal rapporto tra il dislivello tra sorgente e sezione di chiusura del bacino e la lunghezza dell'asta;
- **Altezza massima e minima del bacino H_{max} e H_{min}** ;
- **Altezza massima e minima dell'alveo h_{max} e h_{min}** ;
- **Altezza media del bacino H_{media}** , ricavata dalla curva ipsografica la formula;

$$H_{media} = \frac{\sum_i H_i S_i}{S}$$

Dove: S_i = superficie del bacino compresa tra due linee di livello contigue
 H_i = altitudine media corrispondente

I valori delle grandezze elencate sono riportati nelle Tabelle 3.3 di seguito.

ID. BACINO	Altezza media del bacino (m s.l.m.)	Altezza minima del bacino (m s.l.m.)	Altezza massima del bacino (m s.l.m.)	Pendenza media bacino (%)	Altezza massima dell'asta principale (m s.l.m.)	Altezza minima dell'asta principale (m s.l.m.)	Pendenza media dell'asta principale (%)
B01 - Riu_Pardu	146.10	68.85	303.32	5.73	250.14	68.85	1.34
B02 - el_idr_98181	122.59	99.52	150.58	7.03	100.00	99.52	0.03
B03 - Riu_Tradori	145.43	101.55	212.80	6.29	172.82	101.55	2.07
B04 - Riu_Pala_Zarruigus	141.97	114.57	190.48	5.91	170.00	114.57	2.38
B05 - Riu_Funtana_Casteddu	157.17	118.06	212.45	5.03	155.56	118.06	1.35
B06 - Riu_Funtana	165.76	119.80	240.00	5.87	160.31	119.80	1.62
B07 - Gora Santessu	201.30	134.21	322.89	6.47	305.34	134.21	2.35
B08 - Riu_Cadelano	176.31	129.89	250.00	7.40	170.00	129.89	0.92
B09 - Canale s'Arrole	215.95	149.18	495.98	7.43	378.86	149.18	1.41
B10 - el_idr_108671	161.87	157.97	171.46	1.30	159.75	157.97	0.26
B11 - el_idr_108597	166.62	159.55	184.05	2.46	160.00	159.55	0.09

Tabella 3.3 - Parametri altimetrici

Si riporta il profilo altimetrico dell'asta principale di ciascuno dei bacini individuati, riportando in ascisse la distanza progressiva misurata a partire dalla sorgente e sull'asse delle ordinate le corrispondenti quote s.l.m.

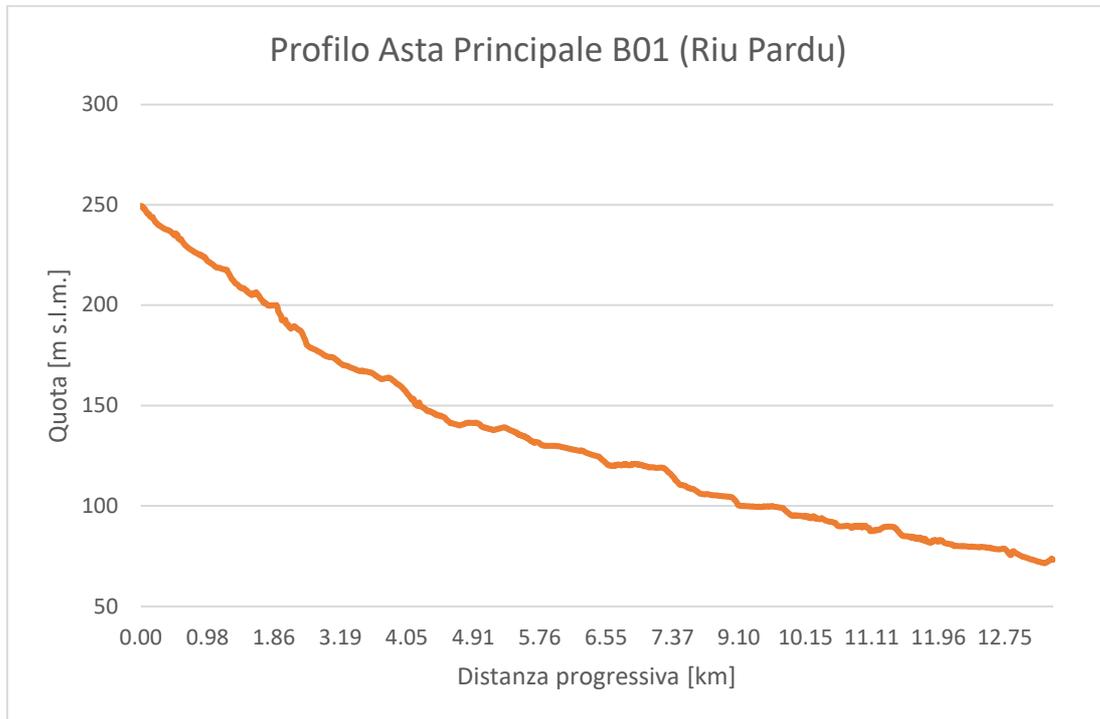


Figura 3-1 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B01

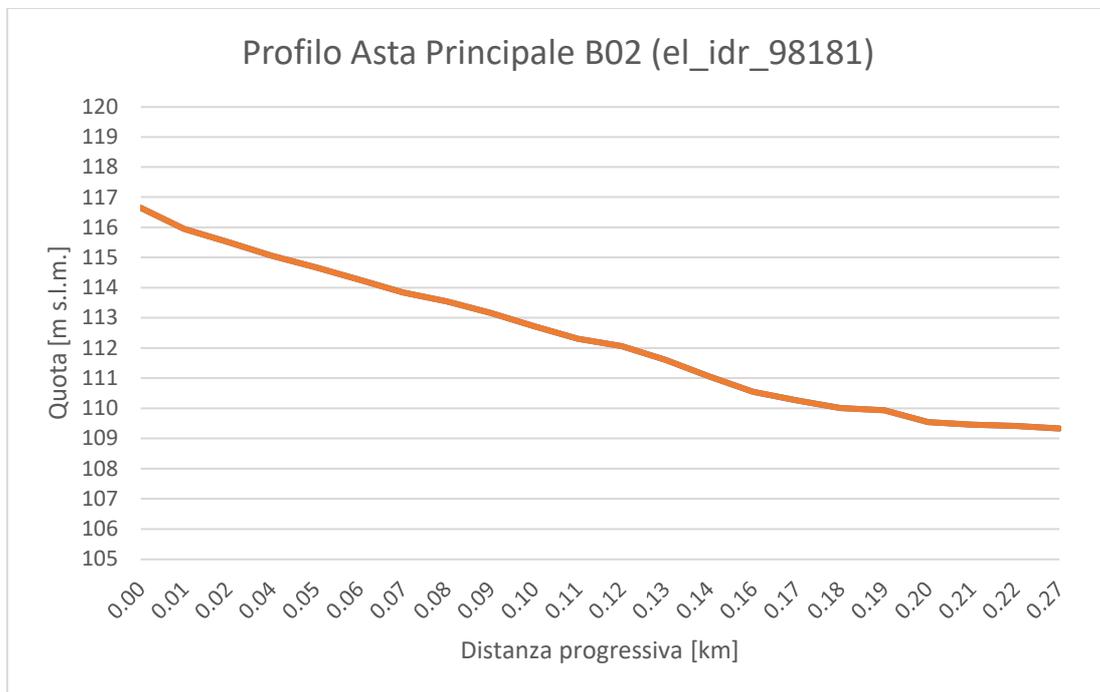


Figura 3-2 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B02

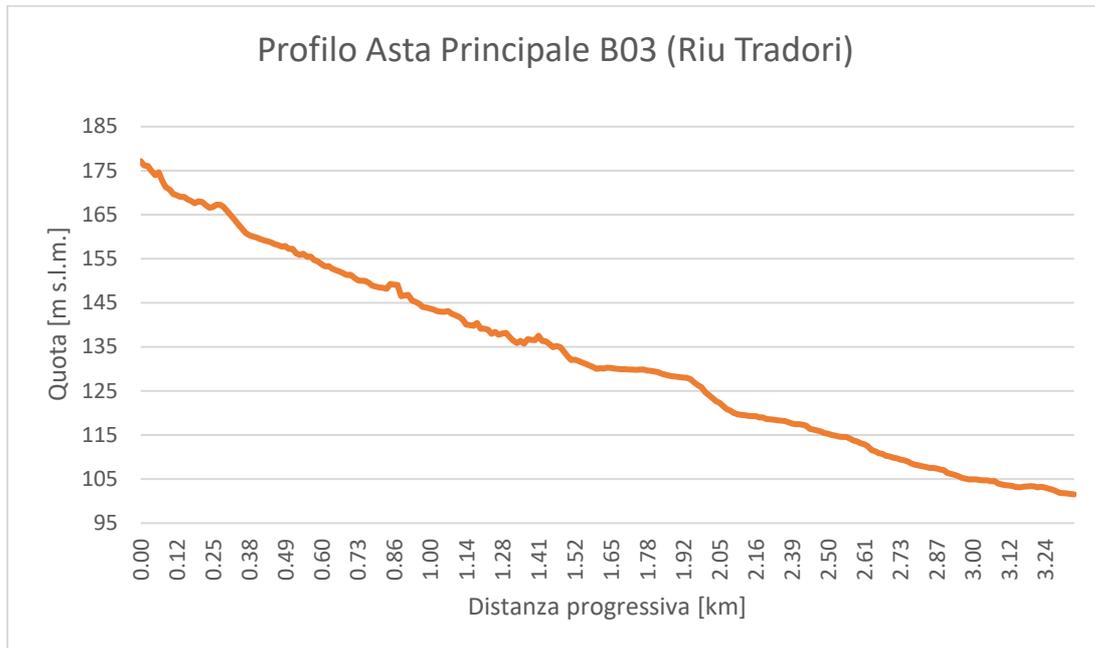


Figura 3-3 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B03

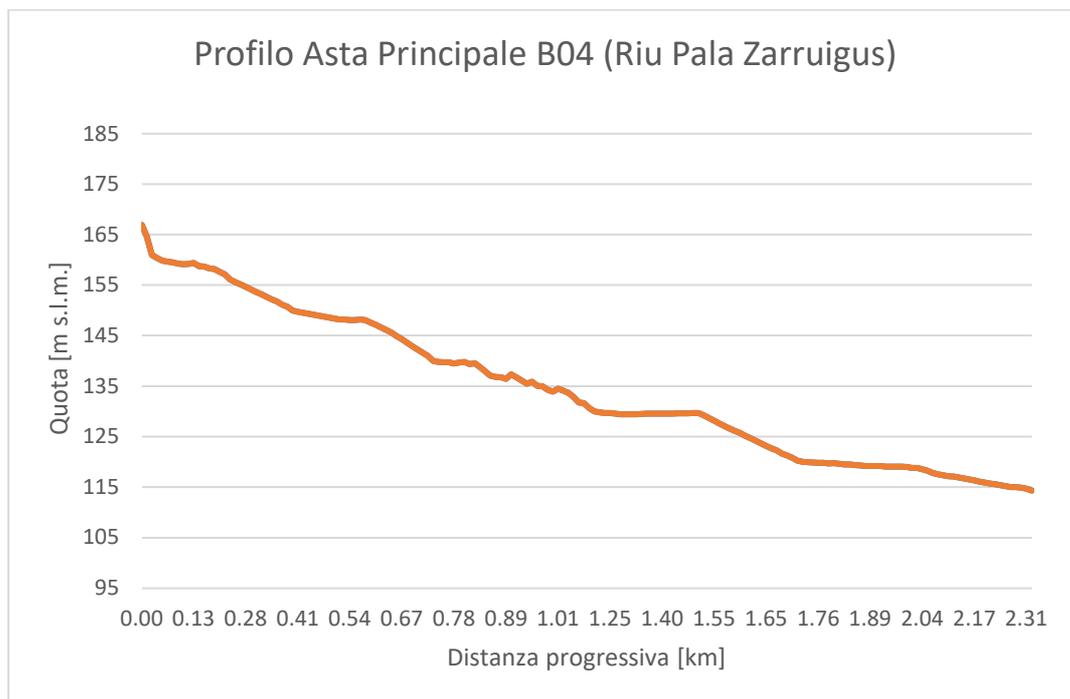


Figura 3-4 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B04

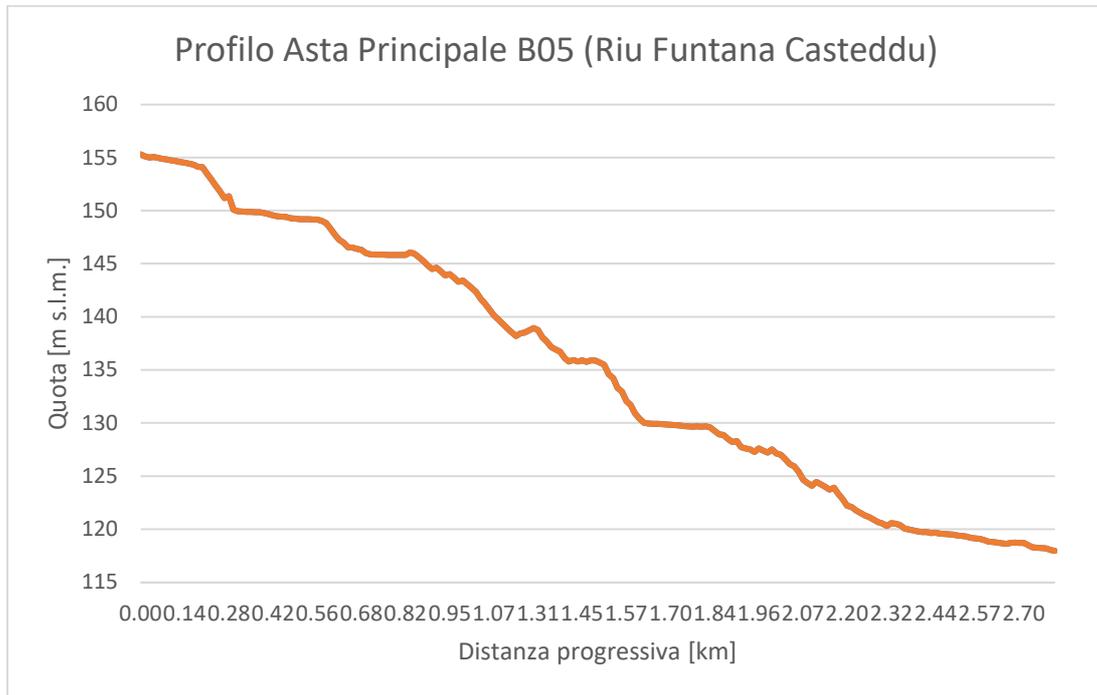


Figura 3-5 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B05

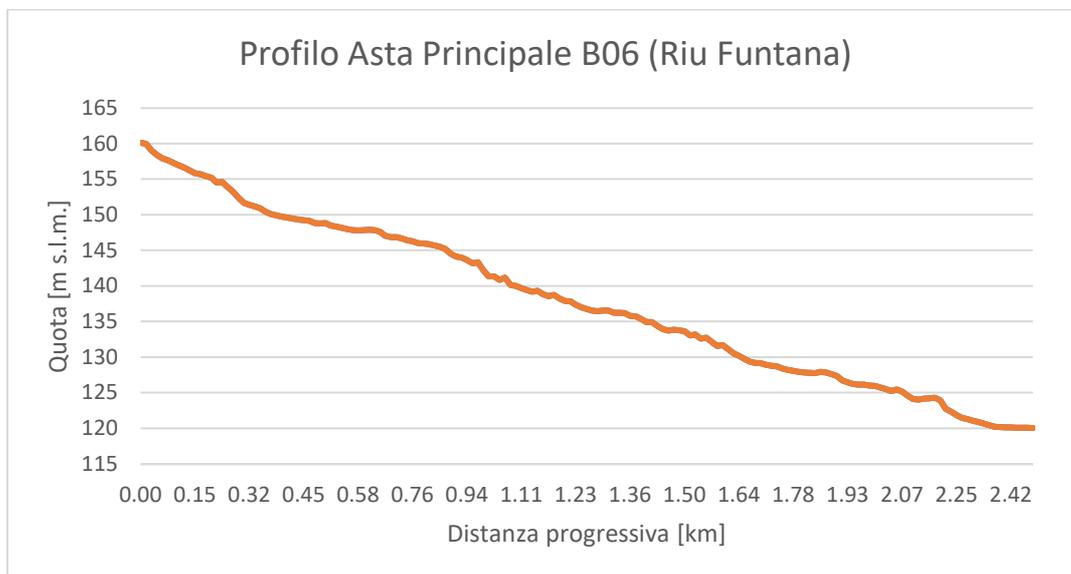


Figura 3-6 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B06

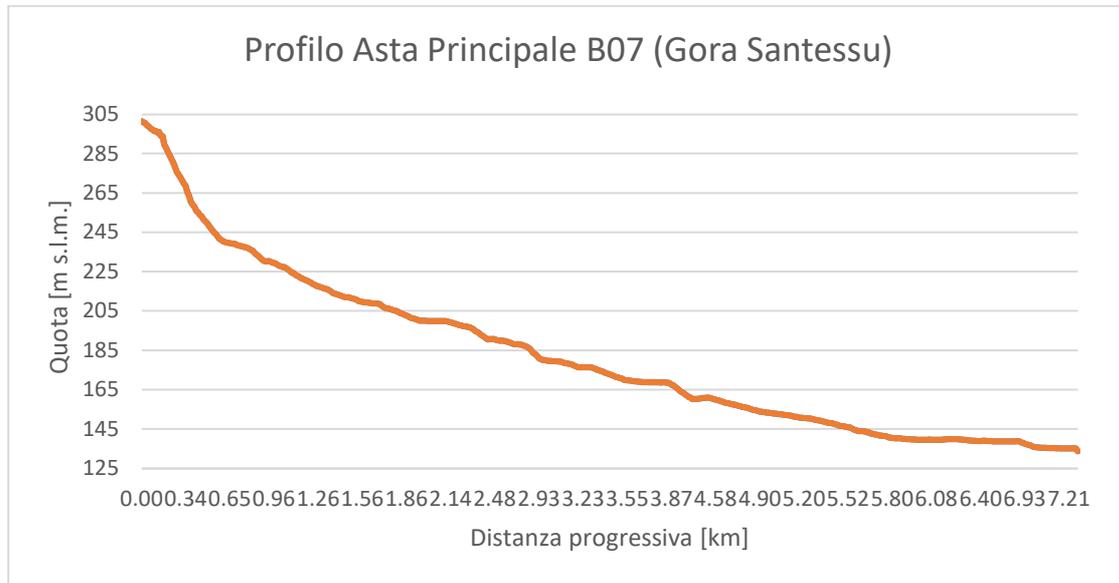


Figura 3-7 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B07

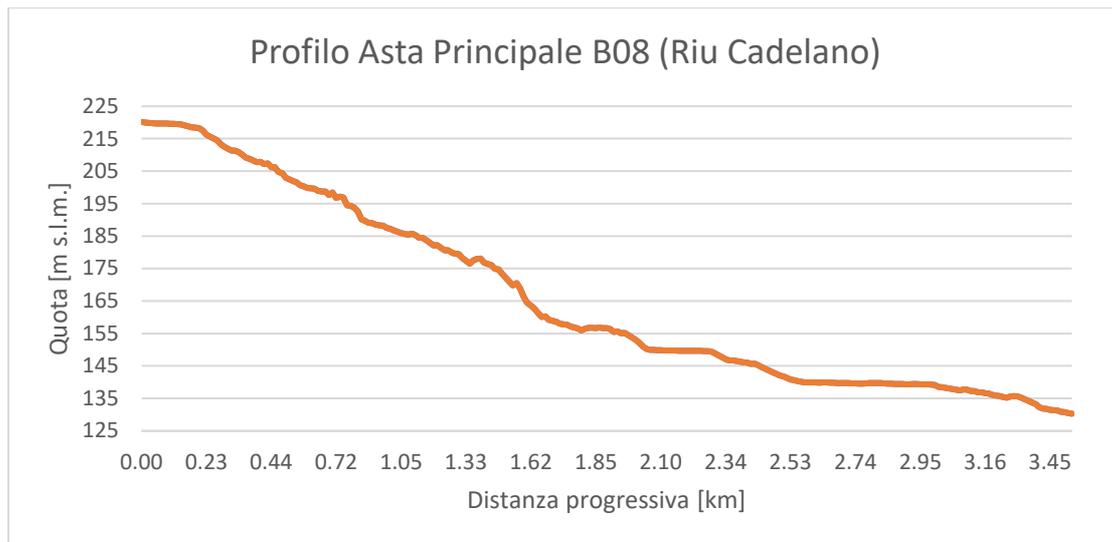


Figura 3-8 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B08

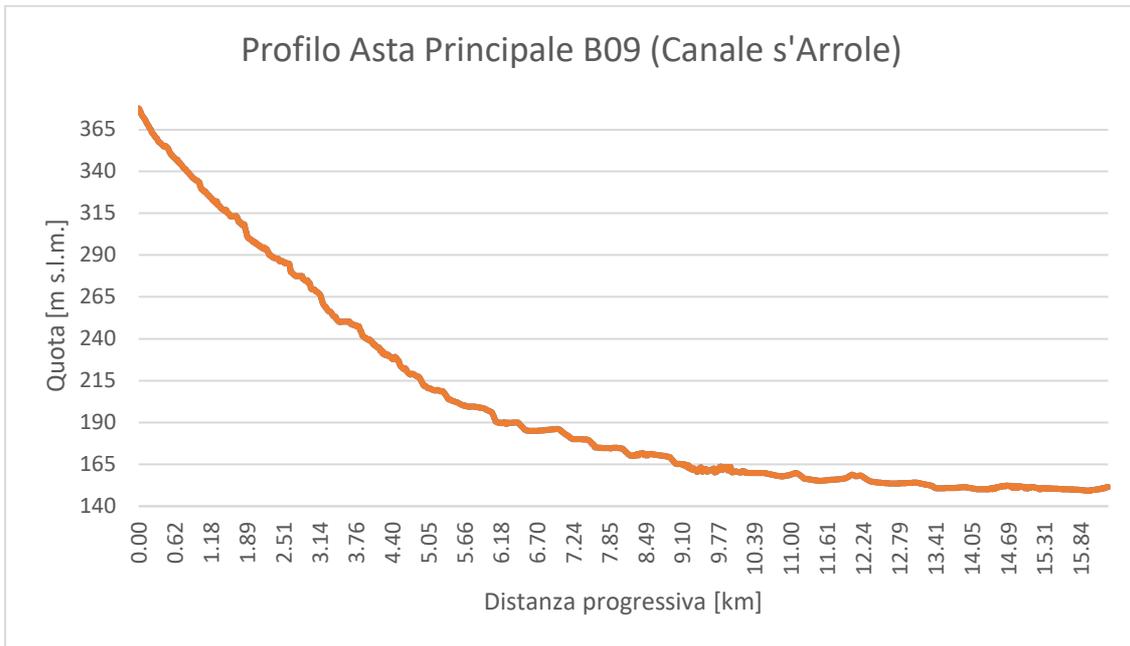


Figura 3-9 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B09

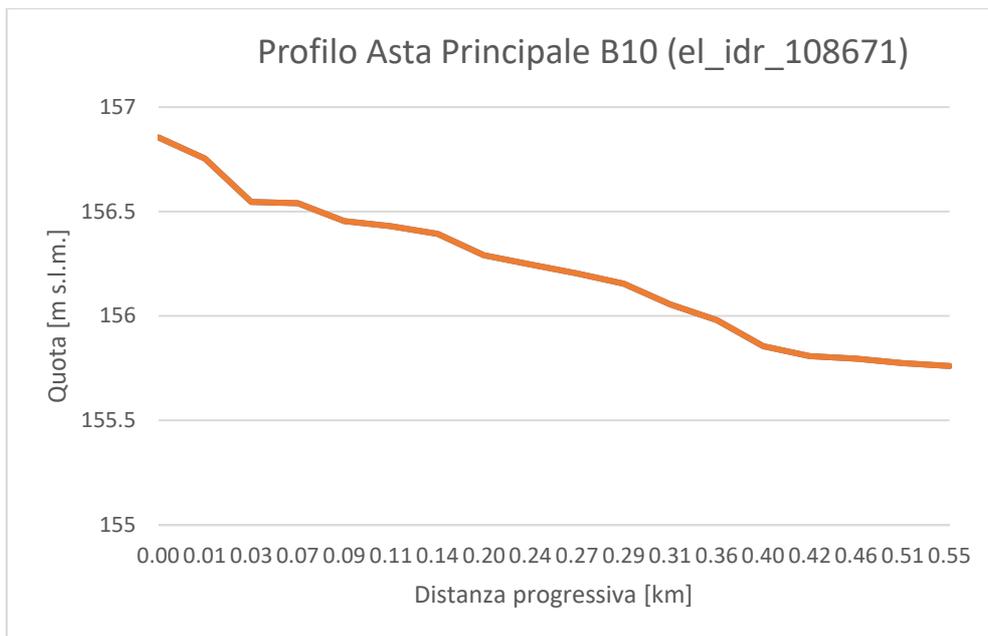


Figura 3-10 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B10

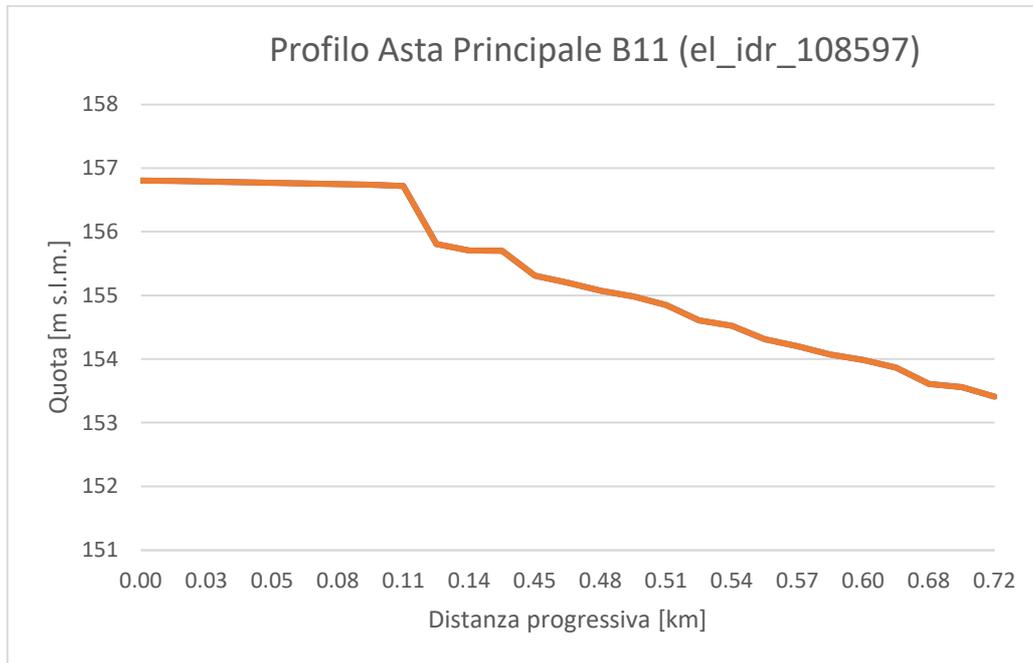


Figura 3-11 - Profilo altimetrico dell'asta principale del Bacino B11

Per ogni bacino idrografico è stata ricostruita la curva ipsografica, in cui i punti del grafico rappresentano la percentuale di bacino che si trova al di sopra della quota considerata.

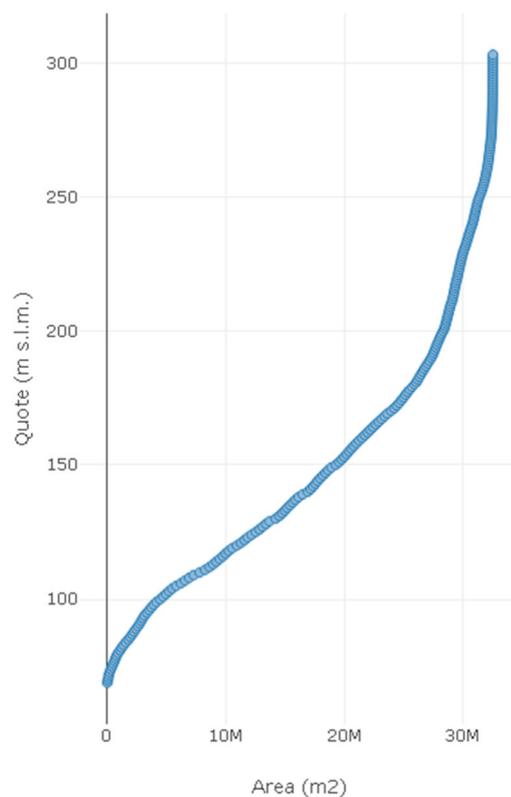


Figura 3-12 - Curva ipsografica relativa al Bacino B01

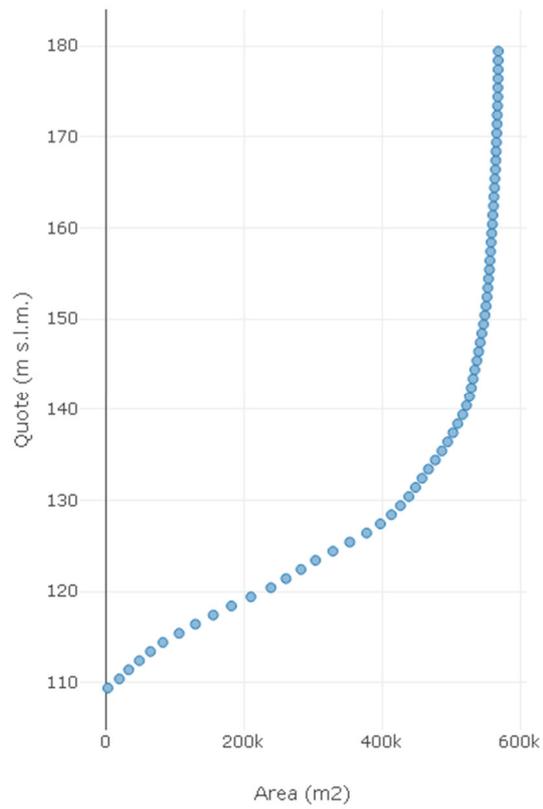


Figura 3-13 - Curva ipsografica relativa al Bacino B02

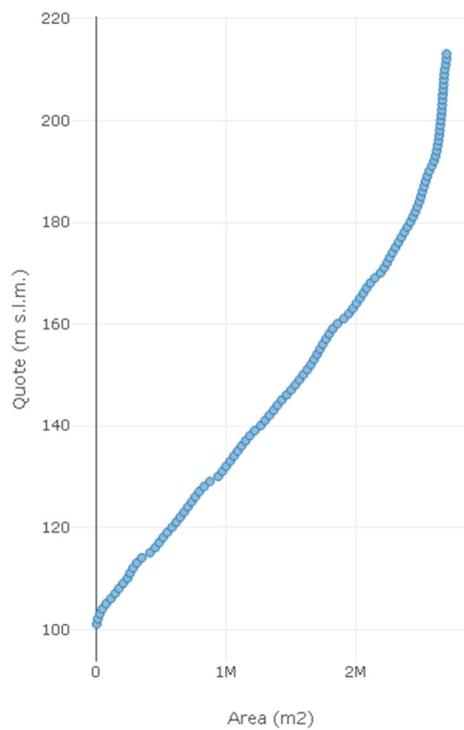


Figura 3-14 Curva ipsografica relativa al Bacino B03

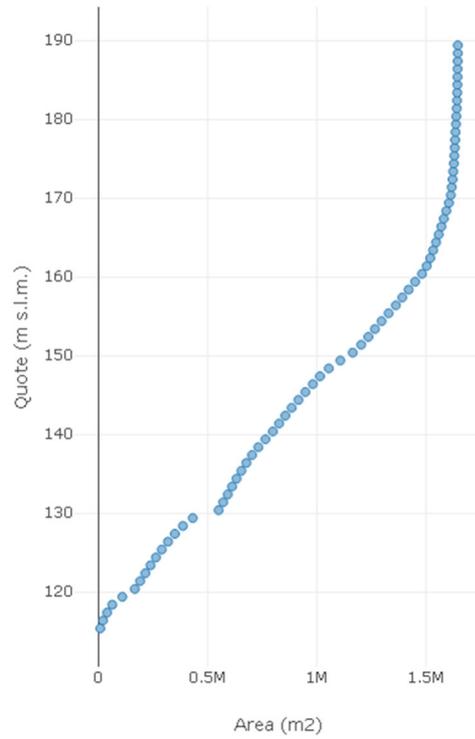


Figura 3-15 Curva ipsografica relativa al Bacino B04

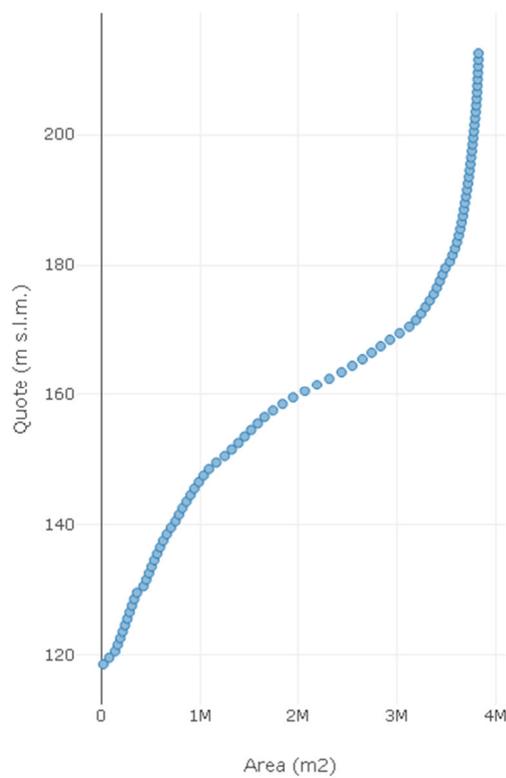


Figura 3-16 Curva ipsografica relativa al Bacino B05

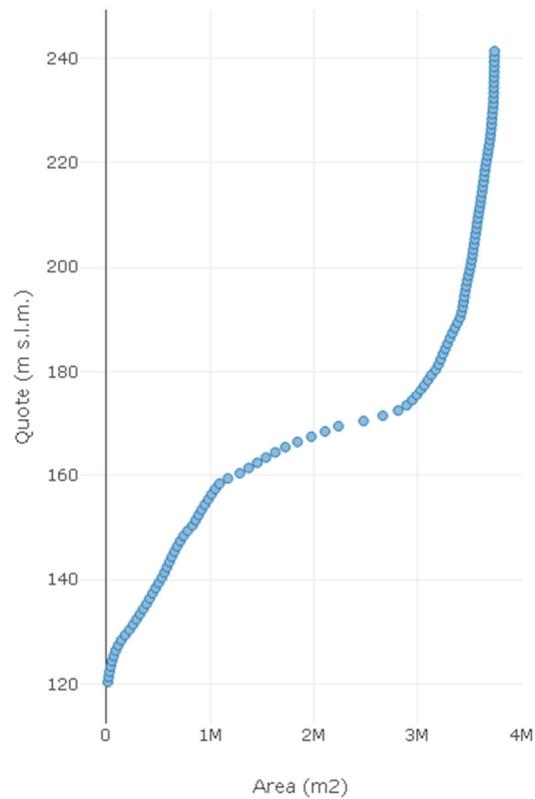


Figura 3-17 Curva ipsografica relativa al Bacino B06

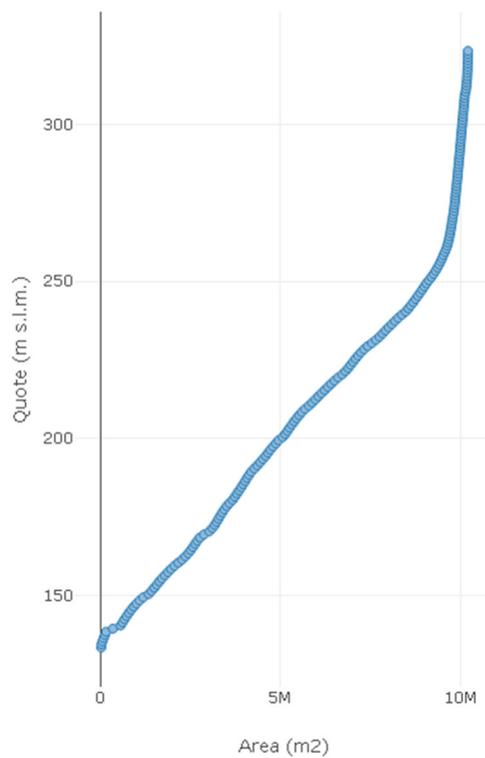


Figura 3-18 Curva ipsografica relativa al Bacino B07

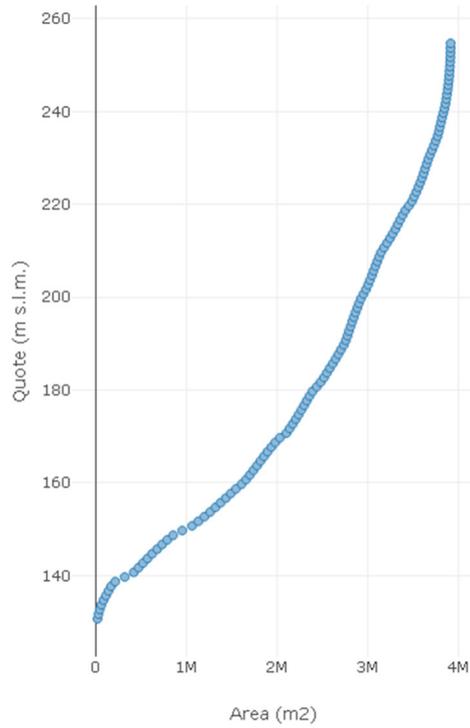


Figura 3-19 Curva ipsografica relativa al Bacino B08

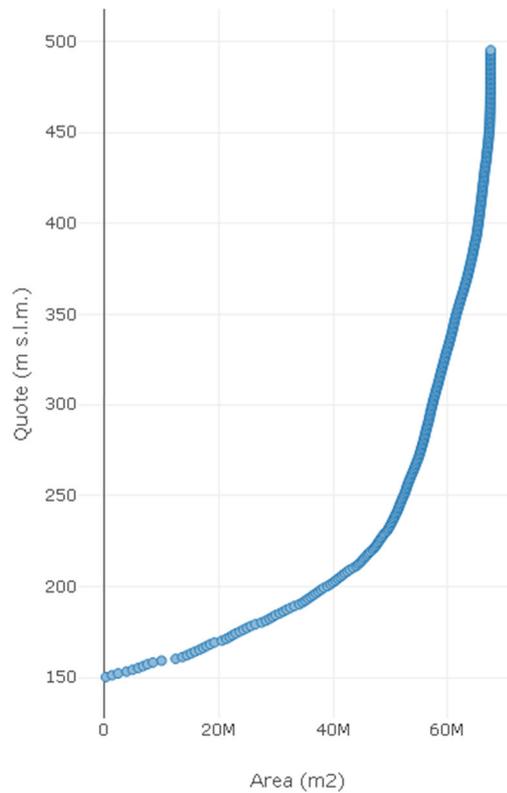


Figura 3-20 Curva ipsografica relativa al Bacino B09

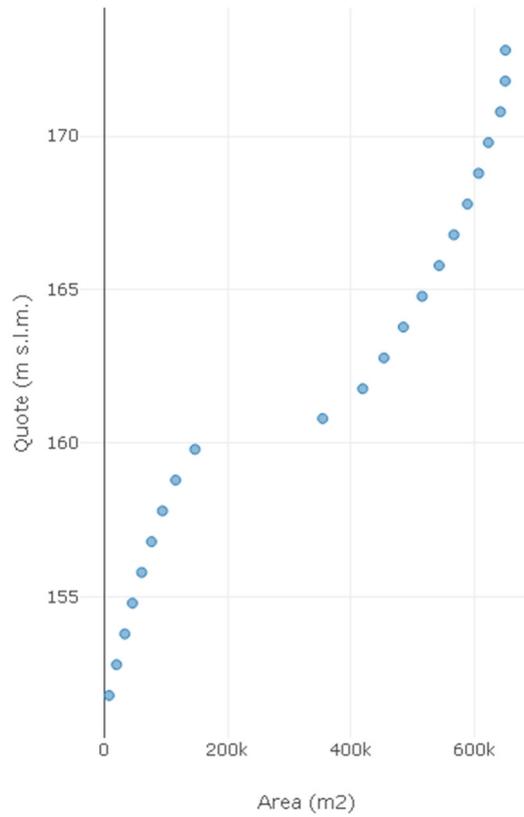


Figura 3-21 Curva ipsografica relativa al Bacino B10

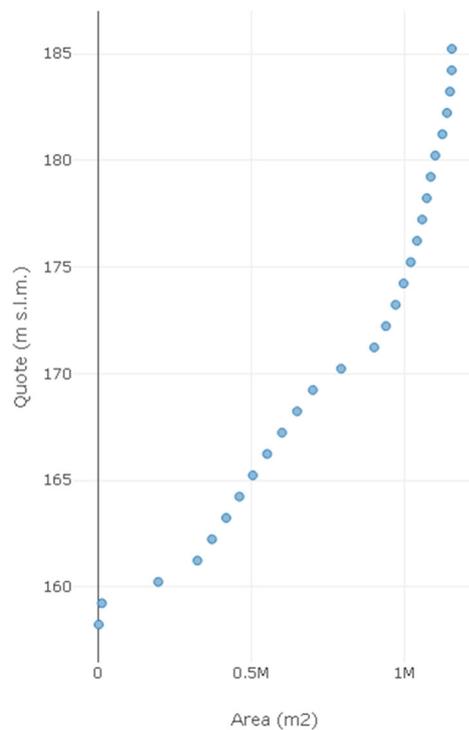


Figura 3-22 Curva ipsografica relativa al Bacino B11

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

3.2 Metodo di stima delle portate al colmo

La stima delle portate al colmo di piena riveste una fondamentale importanza nella progettazione di opere interferenti con un corso d’acqua, al fine di non produrre indesiderate modifiche allo stato attuale delle dinamiche fluviali oppure, nel caso di opere di regolazione e controllo delle piene, ricondursi proprio allo schema di funzionamento in progetto. I metodi di calcolo possono essere classificati secondo diversi criteri e nel seguito sono esposti quelli utilizzati per il caso in esame.

3.2.1 Criteri generali

Sono state valutate le portate al colmo per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni, sulla base di quanto indicato nelle “Linee guida per l’attività di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”. Viene fatto riferimento, per i bacini con superficie superiore ai 60 km², al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV, riportato nelle sopraccitate Linee guida e 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 km², si procede con metodo indiretto mediante applicazione del metodo razionale. Per la stima delle portate al colmo dei bacini di superficie inferiore a 60 km², si fa riferimento alla formula empirica del Soil Conservation Service Method, si seguito definito SCS, in base ai criteri esposti nel seguito.

Come si evince dalla Tabella 3.1 il solo bacino B09, relativo al Canale s’Arrole, presenta una superficie superiore ai 60 km², pertanto è stato analizzato mediante la metodologia VAPI, mentre i restanti bacini sono stati analizzati con il Metodo SCS, così come indicato dalle Linee Guida della Regione Sardegna.

3.2.2 Metodo SCS per la definizione delle portate al colmo

La stima delle portate al colmo con il metodo SCS, si basa sui seguenti criteri:

- Le precipitazioni intense vengono desunte dalla regionalizzazione VAPI;
- I tempi di corrivazione vengono valutati dai parametri morfometrici definiti come specificato, secondo le espressioni empiriche più rispondenti alle tipologie dei bacini in esame;
- I coefficienti di deflusso derivano dall’analisi secondo il metodo SCS – Curve Number, raffrontato con i dati disponibili da studi pregressi e da eventuali misure idrologiche relative a eventi di piena storici.

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

Nell'utilizzazione del metodo si è assunta una pioggia di durata pari a quella della pioggia critica, che è stata assunta coincidente con il tempo di corrivazione calcolato come detto.

In queste condizioni il valore al colmo della portata risulta:

$$Q_c = 0.278 \cdot \frac{R_o \cdot S}{T_c}$$

dove: R_o = volume netto di pioggia per unità di superficie (mm);

S = superficie del bacino (km²);

T_c = tempo di corrivazione (h).

Vengono nel seguito descritte le assunzioni e le metodologie di stima di tali parametri.

3.2.2.1 Curve segnalatrici di possibilità pluviometrica in Sardegna

Per definire delle precipitazioni è innanzi tutto necessario definire la sottozona omogenea SZO della Regione Sardegna di appartenenza del bacino in esame, secondo la divisione riportata in figura 3.7.

La base di dati utilizzata nell'analisi delle piogge brevi ed intense è condotta su una base di dati costituita dalle massime piogge annue di durata τ pari a 15, 30, 45 e 60 minuti primi e 3, 6, 12 e 24 ore, registrate nel periodo 1929-1982 in 46 stazioni pluviografiche con almeno 17 anni osservati (Deidda R., L'ACQUA 5/2000).

La pioggia indice $\mu(t)$ di durata t (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata t) può essere espressa in forma monomia:

$$\mu(t) = a_1 \cdot t^{n_1}$$

dove i coefficienti a_1 e n_1 possono determinarsi in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g :

$$a_1 = \mu_g / (0.886 \cdot 24^{n_1})$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \cdot \log \mu_g$$

La pioggia indice giornaliera μ_g viene stimata sulla base della carta delle isoiete riportata in fig. 3.8.

L'altezza di pioggia $h_{Tr}(t)$ di durata t con assegnato tempo di ritorno Tr in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice $\mu(t)$ per un coefficiente di crescita $K_{Tr}(t)$ dato da:

$$K_{Tr}(t) = a_2 \cdot t^{n_2}$$

Per cui:

$$h_{Tr}(t) = \mu(t) \cdot K_{Tr}(t) = (a_1 \cdot a_2) \cdot t^{(n_1+n_2)}$$

dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le seguenti relazioni, distinte per sottozona, per differenti tempi di ritorno Tr e durate di pioggia t .

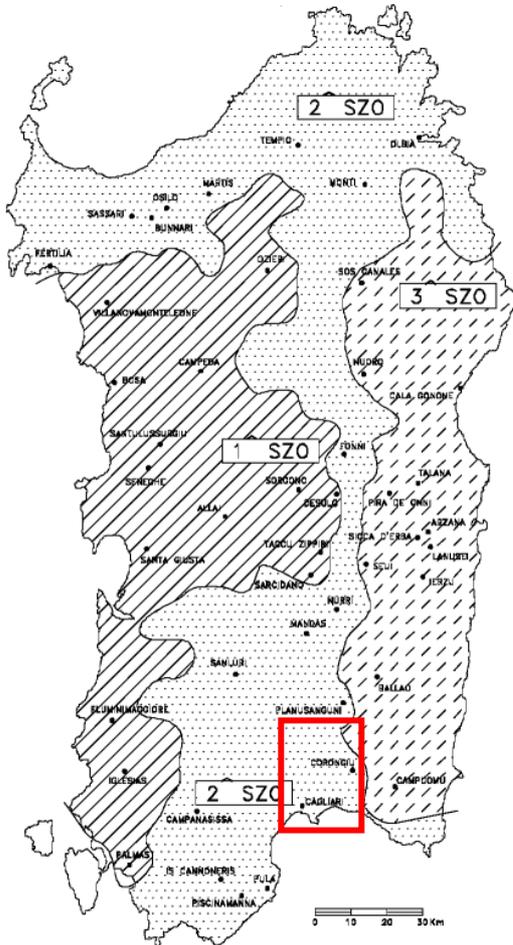


Figura 3-23 - Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna

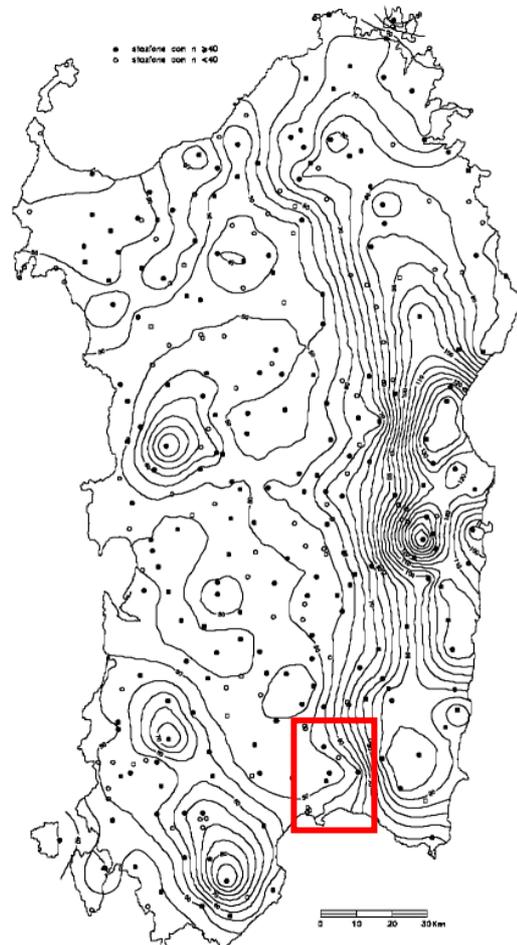


Figura 3-24 - Carta delle isoiete per la pioggia indice giornaliera in mm

- Per $Tr > 10$ anni

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

$$\text{SZO 1 } n_2 = -0.18449 + 0.23032 \log Tr - 3.3330 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2 \quad \text{per } t \leq 1 \text{ ora}$$

$$n_2 = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \log Tr \quad \text{per } t > 1 \text{ ora}$$

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

$$\text{SZO 2 } n_2 = -0.18676 + 0.24310 \log Tr - 3.5453 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2 \quad \text{per } t \leq 1 \text{ ora}$$

$$n_2 = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \log Tr \quad \text{per } t > 1 \text{ ora}$$

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

$$\text{SZO 3 } n_2 = -0.19055 + 0.25937 \log Tr - 3.8160 \cdot 10^{-2} (\log Tr)^2 \quad \text{per } t \leq 1 \text{ ora}$$

$$n_2 = -1.5878 \cdot 10^{-2} - 7.6250 \cdot 10^{-3} \log Tr \quad \text{per } t > 1 \text{ ora}$$

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

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

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

Dove: Θ_C = durata della pioggia critica

S = superficie del bacino in km^2

Da cui si ottiene l'altezza di pioggia ragguagliata all'area del bacino:

$$h_r = h_{Tr}(t) \cdot r$$

Assumendo che l'invaso per infiltrazione nel suolo in ogni istante sia proporzionale al valore massimo dello stesso e che la precipitazione efficace sia proporzionale all'afflusso meteorico, si ha la seguente equazione (USDA – SCS, 1986) per la definizione del volume netto di pioggia per unità di superficie R_o , che coincide con la pioggia netta h_n :

$$R_o = \frac{(h_r - I_a)^2}{h - I_a + S_{POT}} = h_n$$

Dove: h_r = precipitazione meteorica ragguagliata [mm]

I_a = perdita iniziale [mm]

S_{POT} = capacità di ritenzione potenziale [mm]

$$S_{POT} = 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right)$$

3.2.3 Stima del tempo di corrivazione

Ai fini di un confronto critico, il tempo di corrivazione relativo a ciascun bacino idrografico indagato è stato calcolato con le seguenti relazioni presenti in letteratura:

Formula di Giandotti $t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{h_m - H_{\min}}}$

Formula di Kirpich $t_c = 0,066L^{0,77} \cdot s^{-0,385}$

Formula di Pasini $t_c = \frac{0,0045}{\sqrt{s}} \sqrt[3]{A \cdot L}$

Formula di Pezzoli $t_c = \frac{0,055L}{\sqrt{s}}$

Formula di Ventura $t_c = 0,315\sqrt{A}$

Formula di R. Rosso $t_c = 1,584 \left(\frac{Rb}{Ra} \right)^{0,55} R_l^{-0,38} \frac{LC}{Vm}$

Per tutte le formule precedenti si ha che:

t_c = tempo di corrivazione (ore)

A = area del bacino

L = lunghezza dell'asta principale

H_{\max} = quota massima del bacino

H_{\min} = quota della sezione di chiusura

h_m = quota media del bacino

s = pendenza media dell'alveo

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

Oltre a queste, sulla base di quanto indicato dalle Linee Guida regionali, la determinazione del valore del tempo di corrivazione per il calcolo della portata al colmo è stata effettuata avvalendosi della formulazione SCS [ore], secondo cui:

$$T_c = 0.571 \cdot \frac{L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{\sqrt{i_v}}$$

Dove: L = lunghezza dell'asta principale [km]

i_v = pendenza media del bacino [%]

I valori del parametro di assorbimento CN sono stati ricavati secondo la metodologia elaborata dal CIMA (Centro di Ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale, Savona) per conto ed in coordinamento con la Protezione Civile Nazionale.

La carta del CN è costruita sulla base delle informazioni sull'uso del suolo, la litologia e la permeabilità a disposizione. La procedura prevede inizialmente l'associazione ad ogni tipologia di copertura del territorio di un valore di CN secondo la classificazione riportata in Tabella 3.7.

DESCRIZIONE	CN
1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	95
1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO	95
1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	95
1122 - FABBRICATI RURALI	95
1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	95
1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	95
1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	95
1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	95
1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	99
1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	95
123 - AREE PORTUALI	95
124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	95
131 - AREE ESTRATTIVE	75
1321 - DISCARICHE	75
1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	75
133 - CANTIERI	95
141 - AREE VERDI URBANE	70
1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE	95
1422 - AREE ARCHEOLOGICHE	75
143 - CIMITERI	95
2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	60
2112 - PRATI ARTIFICIALI	75
2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	60

DESCRIZIONE	CN
2122 – RISAIE	99
2123 – VIVAI	70
2124 - COLTURE IN SERRA	75
221 – VIGNETI	60
222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI	60
223 – OLIVETI	60
231 - PRATI STABILI	75
2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	60
2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	99
2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	60
242 - SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	60
243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI	70
244 - AREE AGROFORESTALI	70
3111 - BOSCHI DI LATIFOGIE	50
31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI	50
31122 – SUGHERETE	65
31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO	50
31124 – ALTRO	50
3121 - BOSCHI DI CONIFERE	70
3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	70
313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE	60
321 - AREE A PASCOLO NATURALE	75
3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	65
3222 - FORMAZIONI DI RIPANON ARBOREE	65
3231 - MACCHIA MEDITERRANEA	65
3232 – GARIGA	65
3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	70
3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	70
3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	99
332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE	75
333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% E< 40%	75
411 - PALUDI INTERNE	99
421 - PALUDI SALMASTRE	99
422 – SALINE	75
423 - ZONE INTERTIDALI	99
5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI	99
5112 - CANALI E IDROVIE	99
5121 - BACINI NATURALI	99

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

DESCRIZIONE	CN
5122 - BACINI ARTIFICIALI	99
5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	99
5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	99
522 - ESTUARI E DELTA	99
5231 - AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	99
5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	99

Tabella 3.4 - Valori di Curve Number in funzione delle diverse tipologie di uso del suolo

La carta tematica costruita utilizzando le informazioni riportate sopra restituisce una visione d’insieme delle diverse risposte del suolo secondo l’immagine sotto riportata.

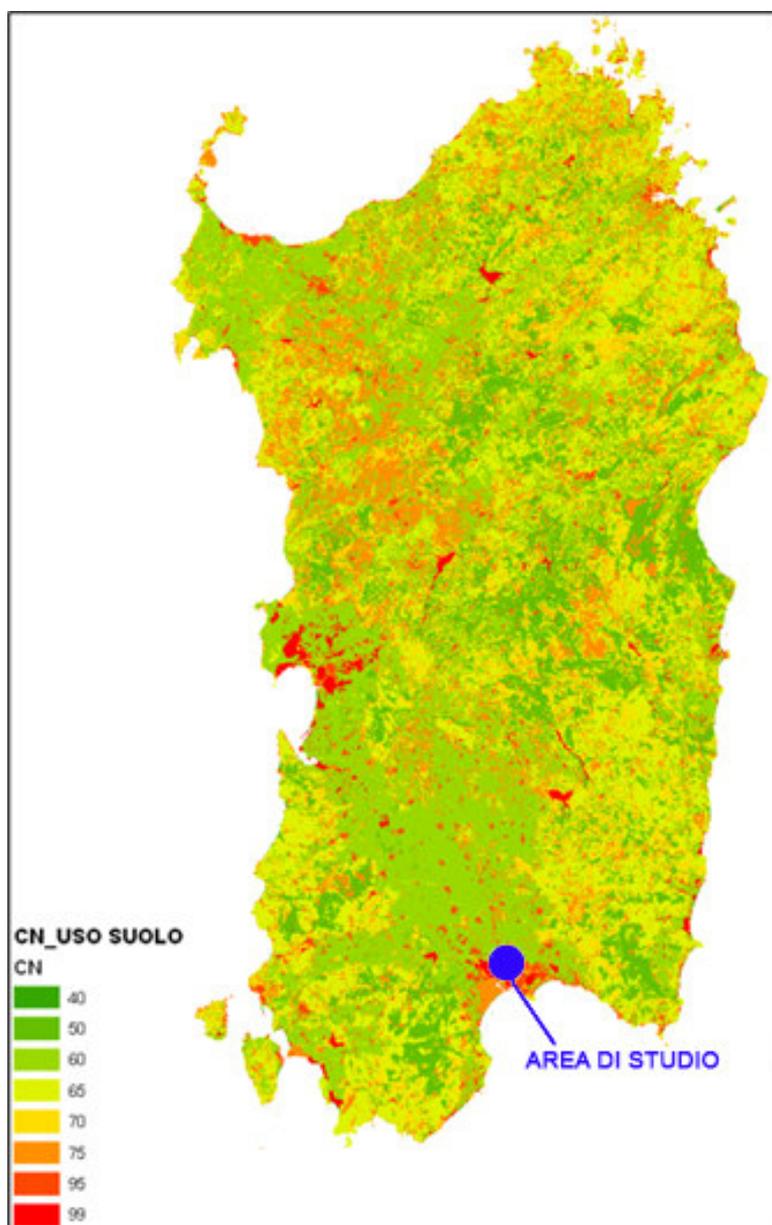


Figura 3-25 - Carta del CN in funzione del solo Uso Suolo, sulla base dei dati Carta Corine

Successivamente, come indicato dalla metodologia CIMA-Protezione Civile Nazionale, si è proceduto ad analizzare le informazioni presenti nella Carta geologica, al fine di ottenere fattori correttivi per il calcolo definitivo dei valori di CN a scala regionale.

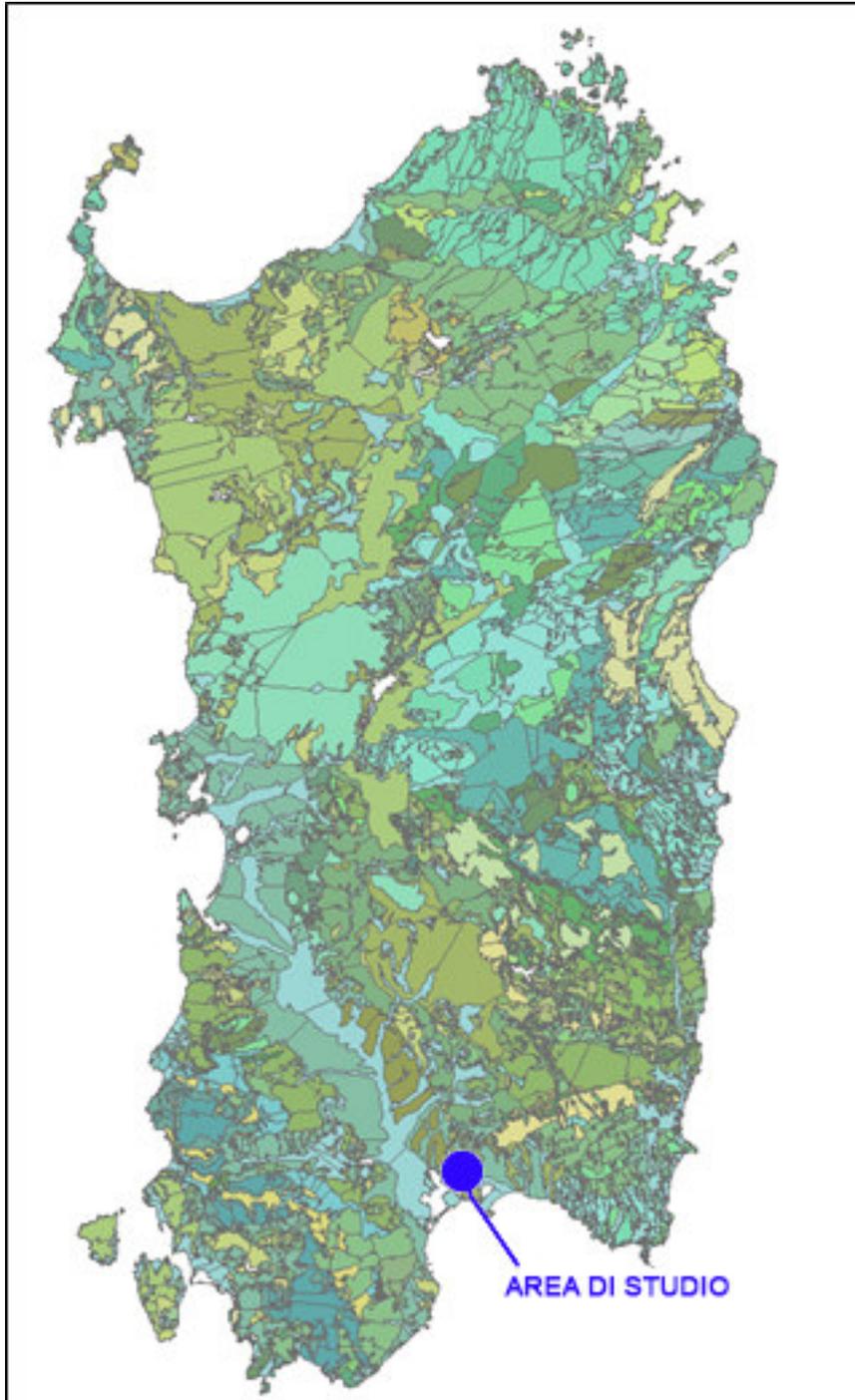


Figura 3-26 - Carta geologica della Sardegna

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

Ogni classe è stata indagata e, in considerazione degli aspetti geologici preminenti e delle caratteristiche di permeabilità proprie, sono stati stimati i coefficienti di variazione del CN da attribuire ad ogni tipo litologico. I coefficienti di variazione del Curve Number sono stato assunti nell'intervallo di valori (- 5, +15); un coefficiente di variazione pari a -5 è tipico dei terreni incoerenti ad elevata capacità di infiltrazione: ne sono un esempio i depositi detritici, come il tipo "Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di origine alluvionale, eolica e litorale"; al contrario un valore del coefficiente di variazione pari a +15 è proprio delle rocce con strutture cristalline compatte e poco permeabili, come il tipo "Metarioliti e Metariodaciti con fenocristalli da millimetrici a decimetrici di kfs; quarziti, metarenarie, metaconglomerati poligenici con elementi di metavulcaniti, metaepiclastiti, metagrovacche. (Ordoviciano medio)". La tavola dei fattori correttivi al Curve Number che si è infine desunta secondo la metodologia CIMA-Protezione Civile Nazionale, è riportata in (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**).

DESCRIZIONE	ΔCN
Alternanza di metarenarie, quarziti e filladi (47b). Metarenarie e filladi a bt (47a). Successioni terrigene	5
Alternanza di quarziti, metarenarie, metapeliti e metasiltiti, metaconglomerati e breccie; olistoliti e olistostromi della	10
Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità tholeiitica e calcalcalina, talora brecciati in colate, cupole di	10
Anfiboliti con relitti di paragenesi eclogitiche. (Precambriano)	15
Anfiboliti e anfiboliti ultramafiche con relitti di paragenesi granulitiche. (Precambriano)	15
Arenarie di San Vito e Formazione di Solanas: metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari	10
Arenarie eoliche wurmiane (2c); Conglomerati, arenarie e biocalcareni di spiaggia (2b); Conglomerati, sabbie,	0
Arenarie marnose, siltiti, calcareniti sublitorali (9d). (Serravalliano med. - sup.) Marne e marne arenacee epibatiali	10
Argille rosso violacee, arenarie quarzoso-micacee e conglomerati di piana alluvionale, con intercalazioni di calcari	10
Basalti alcalini e transizionali, trachibasalti, andesiti basaltiche e basalti subalcalini, intercalati, alla base, da	10
Conglomerati a matrice argillosa e arenarie di derivazione alluvionale (8d). Calcarivacuolari e brecciati sopratidali	0
Conglomerati e arenarie continentali con banchi di selce, tuffi, tufi pomicei (10f). (Burdigagliano)Arenarie,	0
Conglomerati, arenarie ed argille derivanti dallo smantellamento di sedimentimiocenici (Formazione di Samassi)	0
Conglomerati, arenarie marnose, marne e calcareniti sublitorali (Plioc. inf.)	0
Dolomie, dolomie marnose e marne con gessi e argille. (Trias sup) Depositi carbonatici di piattaforma: calcari	10
Filoni a composizione prevalentemente basaltica e comenditica. (Oligocene sup.- Mioceneinf. medio)	10
Filoni a composizione trachibasaltica, alcalibasaltica e hawaitica. (Pliocene-Pleistocene)	10
Filoni principali di porfidi granitici e ammassi di micrograniti, principali filoni aplitici e pegmatitiche. (Carbonifero	10
Filoni principali di quarzo. (Carbonifero sup. Permiano)	10
Formazione di Cabitza: argilloscisti, metarenarie, metacalcari nodulari, metasiltiti con rare lenti calcaree.	10
Formazione di Dorgali: dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circa litorali; conglomerati,	5
Formazione di Gonnese (Metallifero Auct.): metacalcari e metadolomie; metadolomie e metacalcaristomatolitici.	5
Formazione di Nebida (Formazione delle Arenarie Auct.): metarenarie a cemento carbonatico, metadolomie,	10
Formazione di Serra Tonnai: metavulcaniti intermedie o raramente basiche, metagrovacche vulcaniche;	5
Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di origine alluvionale, eolica e litorale.	-5
Granitoidi a crd. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granitoidi foliati, principalmente granodioriti tonalitiche fino a tonaliti. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti tonalitiche. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti, monzogranitiche equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 ANAS GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

DESCRIZIONE	ΔCN
Granodioriti, monzogranitiche inequigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Leucograniti a grt. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Leucograniti equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Marmi grigi, raramente dolomitici, con alternanze filladiche, localmente fossiliferi. (Devoniano)	5
Metacalcari nodulari. (Devoniano) Metacalcari a graptoliti. (Siluriano-Devoniano inf.)	10
Metacalcari nodulari; sottili alternanze di metacalcari e metasiltiti (49b). (Devoniano inf. medio-Tournaisiano inf.)	10
Metaconglomerati, metarcosi, metesiltiti, metagrovacche, con intercalazioni di metabasiti alcaline; metacalcareniti	10
Metagabbri alcalini (45b). (Carbonifero inf.) Filladi scure carboniose, metasiltiti, quarziti nere con rare e sottili	10
Metapeliti scure carboniose, nella parte inferiore livelli di quarziti nere a graptoliti; nelle partesuperiore metacalcari	5
Metapeliti scure carboniose; nella parte inferiore quarziti nere a graptoliti. (Siluriano inf.)	15
Metarenarie, quarziti, filladi, metaconglomerati ad elementi di liti, olistoliti e olistostromi della successione siluro-	10
Metarioliti e metariodaciti con fenocristalli da millimetrici a decimetrici di kfs; alla base sono presentiquarziti,	15
Metasiltiti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufi; metaconglomerati con olistoliti di	10
Metavulcaniti acide, intermedie e basiche e metaepiclastiti. (Ordoviciano medio)	10
Micascisti e paragneiss a grt+/-oligoclasio. (Paleozoico)	10
Migmatiti leucocratiche, nebuliti, magmatiti, gneiss, talora con lenti a silicati di calcio. (Precambriano)	10
Monzograniti equigranulari (28b). Monzograniti inequigranulari (28a). (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Ortogneiss granodioritici e granitici. (Ordoviciano medio)	10
Ortogneiss granodioritici e monzogranitici. (Precambriano)	10
Ortogneiss granodioritici. (Ordoviciano medio)	15
Paragneiss, micascisti a grt+/-st+/-ky e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia, miloniti di variabile	10
Paragneiss, micascisti e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia con sovrainfrantati alta	10
Porfidi grigi: metariodaciti e metadaciti massive, spesso porfiriche, metatufi e metatuffiti; metavulcanitiriolitiche	15
Principali corpi filoniani a composizione prevalentemente basaltica ad affinità calcocalina e subordinatamente	10
Rioliti e riolaciti in espandimenti ignimbrici e colate, porfidi in ammassi subvulcanici, lave, breccieandesitiche,	10
Rioliti e riolaciti, daciti porfiriche vetrose e bollose. (Pliocene)	15
Rioliti, riolaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbrici, cupole diristagno e rare colate a	10
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, calcari dolomitici, calcariolitici e calcari	5
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, marne e calcareniti glauconitiche sublitorali e	10
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: dolomie e calcari dolomitici, calcariolitici, calcari ad	5
Sardegna orientale: calcari, calcari maenosi e marne argillose sublitorali (14b). Arenarie e conglomerati poligenici	10
Sieniti sodiche. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Sulcis e Trexenta: calcari litorali e transizionali, calcari marnosi, marne e argille continentali e paralico-transizionali	0
Tonaliti (33b). Gabbri e masse gabbro-tonalitiche (33a). (Carbonifero sup.-Permiano)	10

Tabella 3.5 - Assegnazione dei fattori correttivi al CN per caratteristiche geologiche

Utilizzando la tabella correttiva, è stata realizzata una carta tematica che restituisce visivamente la distribuzione dei fattori correttivi ΔCN.

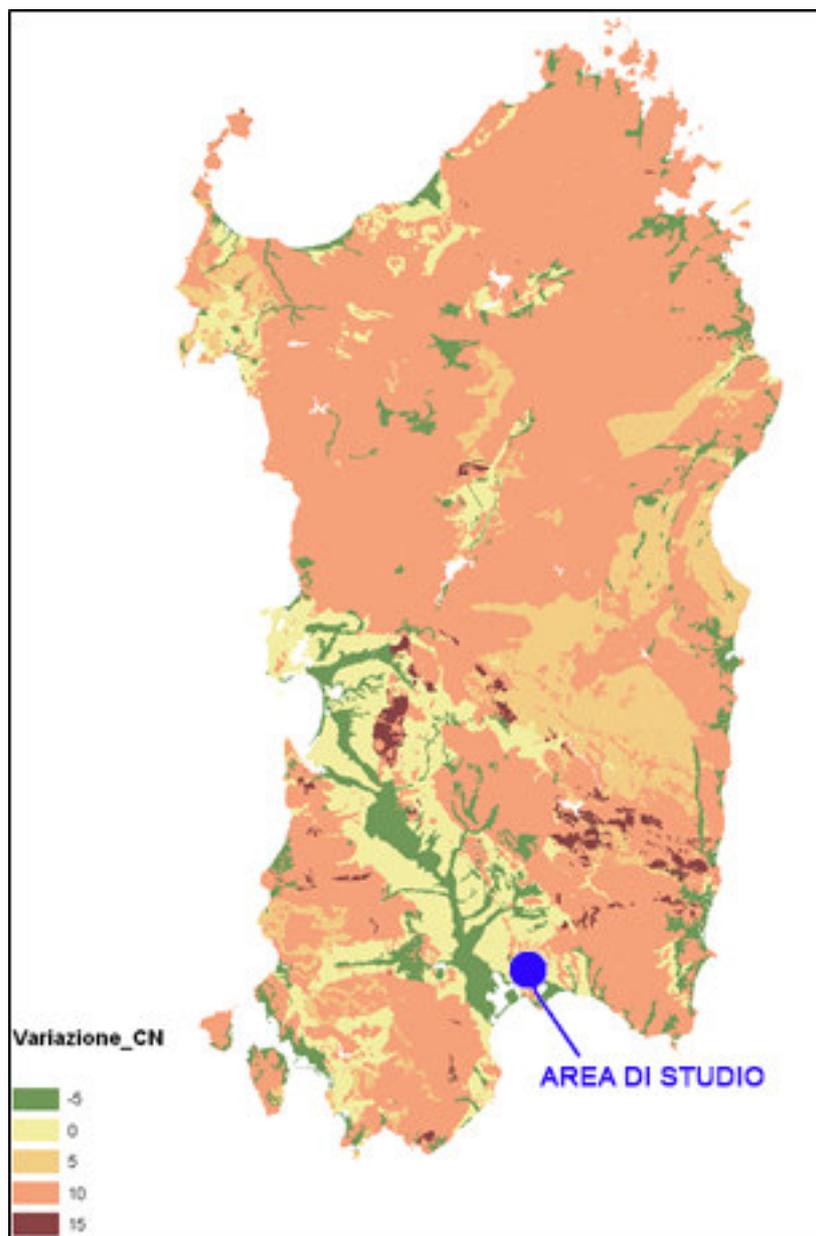


Figura 3-27 - Carta di variazione del CN

In tal modo è stato possibile effettuare la correzione dei valori di Curve Number associati alle caratteristiche di uso del suolo (CORINE) con i fattori di variazione derivanti dall'analisi delle informazioni geologiche; il prodotto finale è la "Carta del Curve Number per la Regione Sardegna", in formato raster, con maglia 10 X 10 metri.

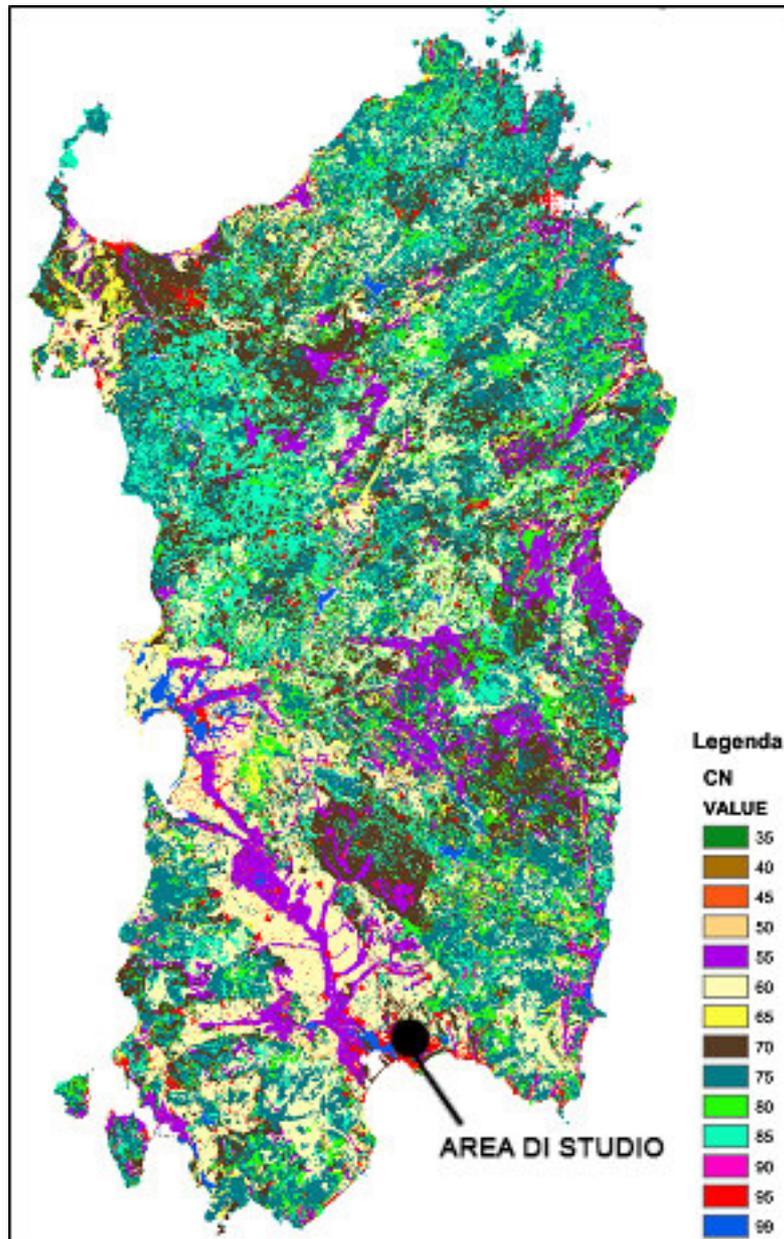


Figura 3-28 - Carta del CN aggiornato

Infine, un ulteriore incremento del CN avviene per ogni sottobacino nel valutare elevate le condizioni di umidità antecedenti l'evento. Per ogni sottobacino viene quindi incrociato in ambiente GIS il tematismo della carta dei CN con quello della perimetrazione dell'area in esame e definito il valore di CN da utilizzare.

Per quanto detto, per i bacini idrografici esaminati sono risultati i valori del tempo di corrivazione riportati nella seguente tabella:

Tabella 3.6 - Confronto tra tempi di corrivazione

ID BACINO	T _c (ore)					
	Giandotti	Kirpich	Pasini	Pezzoli	Ventura	SCS
B01_Riu Pardu	6.17	0.44	3.45	0.64	3.06	4.05
B02_el_idr_98181	1.59	0.34	0.45	0.46	0.46	0.48
B03_Riu Tradori	2.22	0.13	0.91	0.13	0.83	1.16
B04_Riu Pala Zarruigus	2.06	0.09	0.7	0.08	0.67	0.81
B05_Riu Funtana Casetddu	2.4	0.13	1.06	0.13	1.11	1.21
B06_Riu Funtana	2.12	0.11	0.94	0.11	1.02	0.96
B07_Gora Santessu	3.62	0.22	1.76	0.26	1.60	2.16
B08_Riu Cadelano	2.66	0.21	1.02	0.25	0.93	1.39
B09_Canale s'Arrole	8.84	0.5	4.13	0.76	3.88	3.43
B10_el_idr_108671	2.70	0.08	0.72	0.07	0.9	0.73
B11_el_idr_108597	2.38	0.10	0.58	0.10	0.87	0.39

La stima del tempo di crescita dell'onda di piena è invece ricavata con la seguente formula:

$$T_p = \frac{D}{2} + T_{lag}$$

Dove: D = durata della pioggia che genera deflusso [h] = 0.133 T_c

T_{lag} = intervallo tra il centroide della pioggia ed il colmo = 0.6 T_c

3.2.4 Metodo VAPI per la definizione delle portate al colmo

Per la stima delle portate al colmo dei bacini di dimensioni superiori a 60 km², 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 nell'ambito del GNDCI 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. Rimandando alle Linee Guida per una descrizione completa, 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 ed il valore molto basso che si ha per il Mannu di P.to Torres. Si sono pertanto ottenute le seguenti stime dei parametri λ^* e θ^* di modello che caratterizzano l'intero territorio dell'isola.

$$\lambda^* = 0.3938$$

$$\theta^* = 5.887$$

Al secondo livello di regionalizzazione, le stazioni a disposizione sono state differenziate in relazione al versante di appartenenza, orientale od occidentale, ed alle indicazioni ottenute dalle stime preliminari di λ_1 per ciascuna stazione.

Le stime dei valori di massima verosimiglianza del parametro per i due versanti risultano:

Bacini occidentali $\lambda_1 = 6,286$

Bacini orientali $\lambda_1 = 4,571$

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

Bacini occidentali $\lambda_1 = 6,286$ $\eta = 4.377$

Bacini orientali $\lambda_1 = 4,571$ $\eta = 4.058$

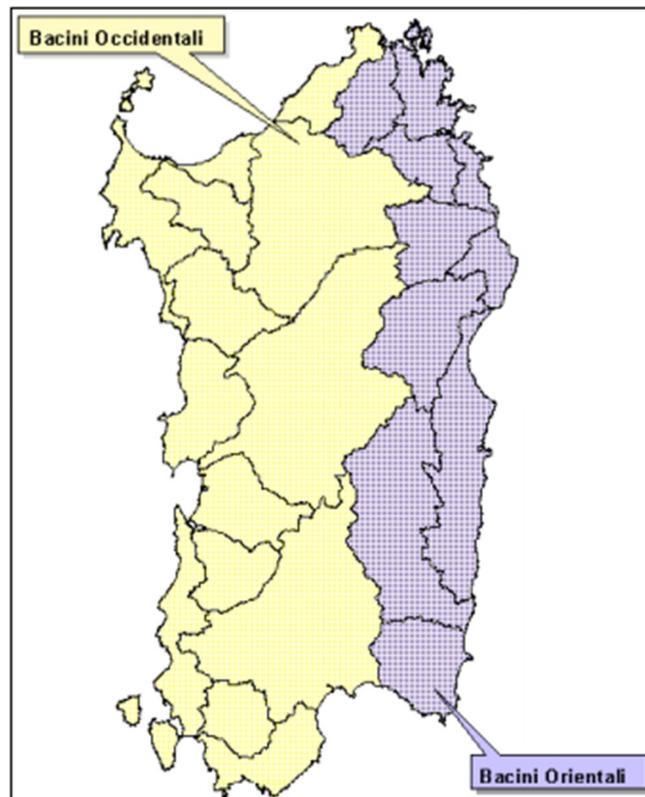


Figura 3-29 - Suddivisione della Regione Sardegna nei due versanti: occidentale e orientale

Nella tabella seguente vengono riportati i valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_{Tr} per le portate in Sardegna limitatamente ai tempi di ritorno definiti per il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

S.S. 128 “Centrale Sarda”
Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi
1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700



CA356

Relazione Idrologica

T (anni)	K_T (bacini occidentali)	K_T (bacini orientali)
2	0,65	0,63
50	4,41	4,68
100	5,35	5,70
200	6,29	6,71
500	7,52	8,04

Tabella 3.7 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

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 ε_1 della distribuzione TCEV. Il legame teorico tra questo parametro e la piena media annua μ_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 log-normale ottenendo le seguenti relazioni:

$$\text{Bacini occidentali} \quad \ln \varepsilon_1 = -1.1954 + 0.9235 \ln S$$

$$\text{Bacini orientali} \quad \ln \varepsilon_1 = 0.9882 + 0.6452 \ln S$$

Nota, quindi, la piena media annua μ_x è possibile ricavare la portata al colmo relativa i vari tempi di ritorno considerati mediante la relazione:

$$Q_C = \mu_x \cdot K_{Tr}$$

3.2.5 Valutazione degli idrogrammi di piena

Gli idrogrammi di piena riferiti alla generica sezione di chiusura, posta in corrispondenza del punto di interferenza tra l'asta principale del bacino in esame e l'asse stradale, sono stati ricavati secondo la metodologica SCS. Il metodo adotta le seguenti assunzioni:

- La durata D della pioggia netta è non superiore a 0.133 volte il tempo di corrivazione T_C
- La durata D della pioggia netta è minore di 0.2 volte la durata della fase ascendente dell'onda di piena, o tempo di crescita T_p

L'idrogramma detto risulta essere triangolare non simmetrico, con una fase ascendente di durata pari al tempo di accumulo T_a , più breve rispetto alla fase discendente che presenta una durata pari a 1.67 volte il tempo di accumulo detto.

Il colmo di portata si presenta dopo un tempo di ritardo T_{lag} a partire dal centroide della pioggia, pari a 0.6 volte il tempo di corrivazione, ossia dopo un tempo pari a $2/3$ del T_C a partire dall'inizio della pioggia.

Secondo il metodo si ha:

$$D = 0.133 T_C$$

$$T_a = D/2 + T_{lag} = 2/3 T_C$$

$$T_{tot} = T_a + T_e = 2.67 T_a$$

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

3.3 Analisi dei risultati idrologici

Di seguito si riportano i risultati ottenuti dall'applicazione dei metodi di stima precedentemente detti per la definizione delle portate al colmo relative ai bacini di interesse.

Ai fini della procedura VAPI la pioggia indice giornaliera è stata assunta pari a 50 mm, estrapolando tale valore dalla carta delle isoiete riferite alla Regione Sardegna e ricadenti nell'area di interesse del presente studio.

I tre bacini indagati risultano come bacini “occidentali” secondo la suddivisione di versante della Regione Sardegna, pertanto sono stati considerati i parametri relativi a tale criterio.

Per quanti riguarda, invece, il metodo SCS il parametro Curve Number è stato calcolato come valore medio sull'intera superficie del generico bacino riferito alle condizioni di umidità del terreno relative alla classe AMC III, utilizzando le informazioni contenute nella “Carta del Curve Number della Regione Sardegna” disponibile in formato digitale sul GeoPortale della Regione.

3.3.1 Portate al colmo – Bacino B09 – Canale s'Arrole (Metodo VAPI)

Lo studio idrologico del bacino idrografico 1 è stato condotto seguendo la metodologia VAPI, dal momento che la superficie dello stesso risulta superiore ai 60 km².

Per il controllo e la validazione dei dati ottenuti dal calcolo si è comunque proceduto alla valutazione delle portate al colmo alla sezione di chiusura anche con il metodo SCS, dal quale risultano valori confrontabili con quelli derivati dal metodo VAPI.

I parametri della distribuzione TCEV utilizzati sono quelli riferiti ai bacini occidentali, secondo la suddivisione di versante indicata dalla Regione Sardegna. Relativamente ai coefficienti probabilistici di crescita, oltre a quelli precedentemente indicati è stato ricavato il K_{Tr} per tempo di ritorno di 25 anni per interpolazione dei dati disponibili.

λ^*	θ^*	λ_1	η	ϵ_1	μ_x
0,3938	5,887	6,286	4,377	15,18	35,24

Tabella 3.8 - Parametri della distribuzione TCEV per il Bacino B09

Le portate al colmo ottenute per i vari tempi di ritorno risultano pertanto:

Tr (anni)	25	50	100	200	500
K_{Tr}	2.45	4.41	5.35	6.29	7.52
Q_c (m ³ /s)	88,6	159,4	193,3	227,3	271,8
q (m ³ /s · kmq)	1,28	2,30	2,79	3,28	3,92

Tabella 3.9 - Portate al colmo per il Bacino B09

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.2 Portate al colmo – Bacino B01_Riu Pardu (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B01_Riu Pardu si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartengono i bacini in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.10 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B01_Riu Pardu	4,05	32	0,92	84	10	48,40

Tabella 3.11 - Parametri di calcolo per il Bacino 2

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B01_Riu Pardu					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr} (\Theta_c)$	1,9	2,2	2,6	2,9	3,3
$h_{Tr} (\Theta_c)$	62	72	82	92	106
$h_{ragg.}$ (mm)	57	66	76	85	97
h_{netta} (mm)	23	31	38	46	57
Q_c (m ³ /s)	36.24	47.39	59.05	71.10	87.45
q (m ³ /s · kmq)	1.09	1.43	1.78	2.15	2.64

Tabella 3.12 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B01

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.3 Portate al colmo – Bacino B02_el_idr_98181 (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B02 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.13 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B02_el_idr_98181	0.48	16	0.95	91	5	25.1

Tabella 3.14 - Parametri di calcolo per il Bacino B02

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B02_el_idr_98181					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr} (\Theta_c)$	2.0	2.3	2.6	3.0	3.4
$h_{Tr} (\Theta_c)$	32	38	43	49	56
$h_{ragg.}$ (mm)	31	36	41	46	53
h_{netta} (mm)	13	17	21	26	32
Q_c (m ³ /s)	3.15	4.13	5.15	6.20	7.65
q (m ³ /s · kmq)	3.40	4.45	5.56	6.70	8.26

Tabella 3.15 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B02

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.4 Portate al colmo – Bacino B03_Riu Tradori (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B03 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.16 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B03_Riu Tradori	1.16	22	0.95	87	8	38.0

Tabella 3.17 - Parametri di calcolo per il Bacino B03

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B03_Riu Tradori					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr} (\Theta_c)$	2.0	2.3	2.6	2.9	3.4
$h_{Tr} (\Theta_c)$	42	49	56	63	73
$h_{ragg.}$ (mm)	40	47	53	60	69
h_{netta} (mm)	15	20	25	30	38
Q_c (m ³ /s)	4.39	5.83	7.35	8.93	11.10
q (m ³ /s · kmq)	1.63	2.16	2.72	3.31	4.11

Tabella 3.18 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B03

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.5 Portate al colmo – Bacino B04_Riu Pala Zarruigus (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B04 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.19 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B04_Riu Pala Zarruigus	0.81	19	0.95	85	6	31.4

Tabella 3.20 - Parametri di calcolo per il Bacino B04

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B04_Riu Pala Zarruigus					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr}(\Theta_c)$	2.00	2.30	2.60	2.90	3.40
$h_{Tr}(\Theta_c)$	38	44	51	57	65
$h_{ragg.}$ (mm)	36	42	48	54	62
h_{netta} (mm)	14	19	24	29	36
Q_c (m ³ /s)	3.71	4.88	6.11	7.39	9.14
q (m ³ /s · kmq)	2.25	2.96	3.70	4.48	5.54

Tabella 3.21 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B04

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.6 Portate al colmo – Bacino B05_Riu Funtana Casteddu (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B05 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.22 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B05_Riu Funtana Casteddu	1.21	22	0.94	84	10	48.4

Tabella 3.23 - Parametri di calcolo per il Bacino B05

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B05_Riu Funtana Casteddu					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr}(\Theta_c)$	1.90	2.30	2.60	2.90	3.40
$h_{Tr}(\Theta_c)$	43	50	57	64	74
$h_{ragg.}$ (mm)	40	47	54	60	69
h_{netta} (mm)	12	16	21	26	33
Q_c (m ³ /s)	4.74	6.49	8.37	10.36	13.11
q (m ³ /s · kmq)	1.24	1.69	2.19	2.70	3.42

Tabella 3.24 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B05

3.3.7 Portate al colmo – Bacino B06_Riu Funtana (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B06 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.25 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B06_Riu Funtana	0.96	20	0.94	86	8	41.3

Tabella 3.26 - Parametri di calcolo per il Bacino B06

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B06_Riu Funtana					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr} (\Theta_c)$	2.00	2.30	2.60	2.90	3.40
$h_{Tr} (\Theta_c)$	40	47	53	60	69
$h_{ragg.}$ (mm)	37	44	50	56	64
h_{netta} (mm)	12	16	21	26	32
Q_c (m ³ /s)	5.91	8.00	10.24	12.59	15.84
q (m ³ /s · kmq)	1.58	2.14	2.73	3.36	4.23

Tabella 3.27 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B06

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.8 Portate al colmo – Bacino B07_Gora Santessu (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B07 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.28 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B07_Gora Santessu	2.16	26.00	0.93	86	8	41.3

Tabella 3.29 - Parametri di calcolo per il Bacino B07

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B07_Gora Santessu					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr}(\Theta_c)$	1.90	2.30	2.60	2.90	3.30
$h_{Tr}(\Theta_c)$	51	60	68	76	88
$h_{ragg.}$ (mm)	48	56	63	71	82
h_{netta} (mm)	9	25	32	38	47
Q_c (m ³ /s)	11.48	15.07	18.83	22.72	28.03
q (m ³ /s · kmq)	1.12	1.47	1.84	2.22	2.74

Tabella 3.30 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B07

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.9 Portate al colmo – Bacino B08_Riu Cadelano (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B08 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.31 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B08_Riu Cadelano	1.39	23.00	0.94	85	9	44.8

Tabella 3.32 - Parametri di calcolo per il Bacino B08

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B08_Riu Cadelano					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr}(\Theta_c)$	1.90	2.30	2.60	2.90	3.30
$h_{Tr}(\Theta_c)$	45	52	60	67	77
$h_{ragg.}$ (mm)	42	49	56	63	72
h_{netta} (mm)	14	19	24	30	37
Q_c (m ³ /s)	5.02	6.76	8.61	10.55	13.21
q (m ³ /s · kmq)	1.28	1.72	2.19	2.69	3.37

Tabella 3.33 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B08

S.S. 128 "Centrale Sarda" Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.10 Portate al colmo – Bacino B10_el_idr_108671 (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B10 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.34 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B10_el_idr_108671	0.73	19	0.96	86	8	41.3

Tabella 3.35 - Parametri di calcolo per il Bacino B10

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B10_el_idr_108671					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr} (\Theta_c)$	2.00	2.30	2.60	2.90	3.40
$h_{Tr} (\Theta_c)$	37	43	49	55	63
$h_{ragg.}$ (mm)	35	41	47	53	61
h_{netta} (mm)	11	15	19	23	29
Q_c (m ³ /s)	1.20	1.65	2.12	2.62	3.31
q (m ³ /s · kmq)	1.85	2.53	3.26	4.03	5.09

Tabella 3.36 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B10

3.3.11 Portate al colmo – Bacino B11_el_idr_108597 (Metodo SCS)

Per la valutazione delle portate al colmo relative al bacino B11 si è utilizzato il metodo SCS, dal momento che la superficie risulta poco estesa e contenuta comunque entro i 60 km². Sulla base della pioggia indice giornaliera sono stati calcolati i parametri:

$$\mu_g = 50 \text{ mm} \quad a_1 = 20.69 \quad n_1 = 0.32$$

Per quanto concerne la definizione delle altezze di pioggia, sono stati definiti i parametri a_2 e n_2 delle curve di possibilità pluviometrica normalizzate alla sottozona 2 (SZ02), alla quale appartiene il bacino in esame, e per ciascuno dei tempi di ritorno di riferimento.

	Tr = 25		Tr = 50		Tr = 100		Tr = 200		Tr = 500	
	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2	a_2	n_2
t < 1h	1.95	0.08	2.28	0.12	2.61	0.16	2.93	0.18	3.36	0.21
t > 1h		-0.011		-0.013		-0.014		-0.015		-0.017

Tabella 3.37 - Parametri a ed n della CSPP relativi alla SZ02

Si è quindi proceduto al calcolo dei seguenti parametri:

BACINO	$T_c = \Theta_c$ (ore)	$\mu(\Theta_c)$	r	CN (III)	I_a (mm)	S_{POT} (mm)
B11_el_idr_108597	0.68	18.33	0.95	85	9	44.1

Tabella 3.38 - Parametri di calcolo per il Bacino B11

Sono state quindi calcolati i coefficienti probabilistici di crescita considerando la durata della pioggia critica coincidente con il tempo di corrivazione, ponendosi quindi nella condizione più sfavorevole ai fini del deflusso. Infine, è stata valutata la pioggia netta ragguagliata per i diversi tempi di ritorno, ossia la pioggia che contribuisce al deflusso attraverso la sezione di chiusura, sulla base di cui si è calcolata la portata al colmo per i due bacini analizzati.

I risultati ottenuti sono riportati nella tabella seguente:

BACINO B11_el_idr_108597					
Tr (anni)	25	50	100	200	500
$K_{Tr} (\Theta_c)$	2.00	2.30	2.60	3.00	3.40
$h_{Tr} (\Theta_c)$	30	36	41	46	53
$h_{ragg.}$ (mm)	29	33	38	43	49
h_{netta} (mm)	8	11	15	18	23
Q_c (m ³ /s)	3.10	4.26	5.52	6.85	8.70
q (m ³ /s · kmq)	2.69	3.69	4.78	5.94	7.55

Tabella 3.39 - Risultati dell'analisi idrologica per il bacino B11

S.S. 128 “Centrale Sarda” Lotto 0 bivio Monastir – bivio Senorbi 1° stralcio dal km 0+200 al km 16+700		
CA356	Relazione Idrologica	

3.3.12 Idrogrammi di piena

Si riportano di seguito gli idrogrammi di piena calcolati per i bacini idrografici secondo il metodo SCS, il quale prevede un idrogramma di piena di forma triangolare non simmetrico, con una fase ascendente di durata pari al tempo di accumulo T_a , più breve rispetto alla fase discendente che presenta una durata pari a 1.67 volte il tempo di accumulo detto.

Il colmo di portata si presenta dopo un tempo di ritardo T_{lag} a partire dal centroide della pioggia, pari a 0.6 volte il tempo di corrivazione, ossia dopo un tempo pari a $2/3$ del T_C a partire dall'inizio della pioggia. Secondo il metodo si ha:

$$D = 0.133 T_C \qquad T_a = D/2 + T_{lag} = 2/3 T_C \qquad T_{tot} = T_a + T_e = 2.67 T_a$$

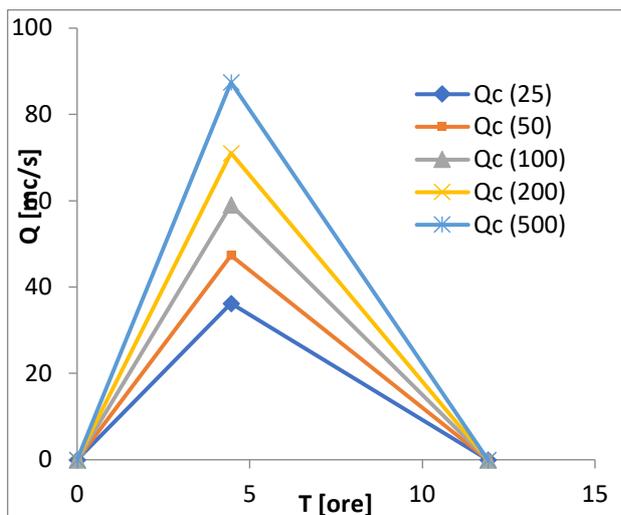


Figura 3-30 - Idrogramma di piena B01_Riu Pardu

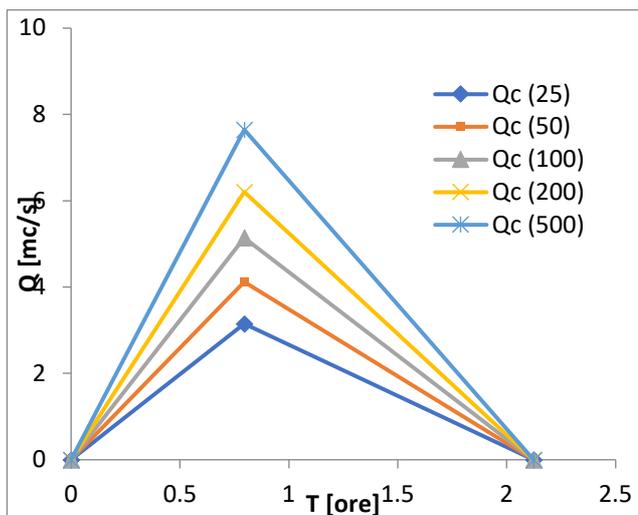


Figura 3-31 - Idrogramma di piena B02_el_idr_98181

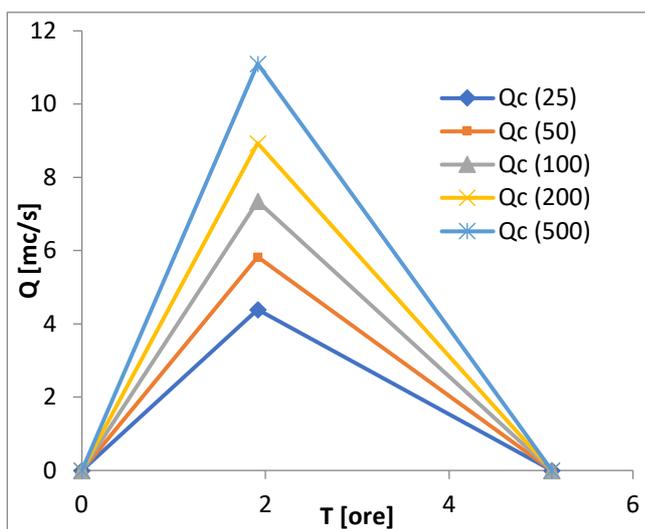


Figura 3-32 - Idrogramma di piena B03_Riu Tradori

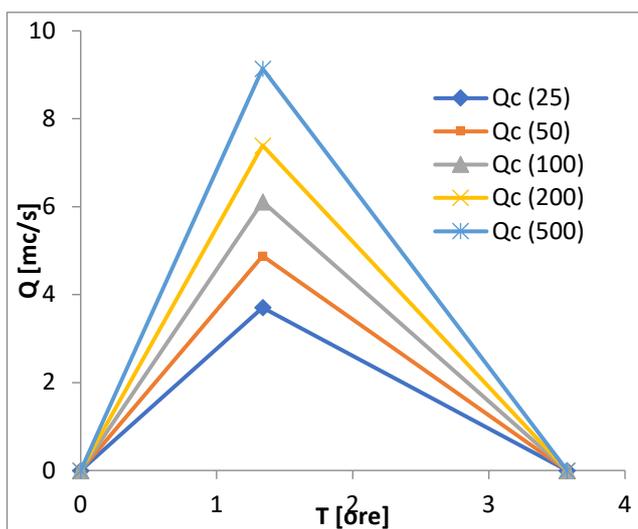


Figura 3-33 - Idrogramma di piena B04_Riu Pala Zarruigus

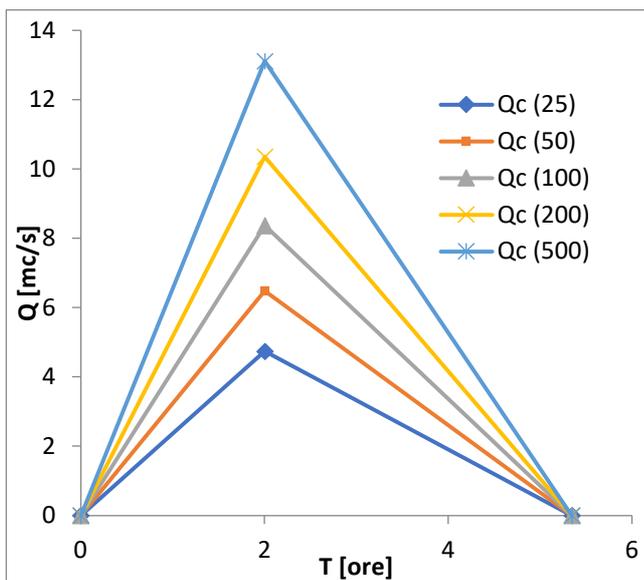


Figura 3-34 - Idrogramma di piena B05_Riu Funtana Casteddu

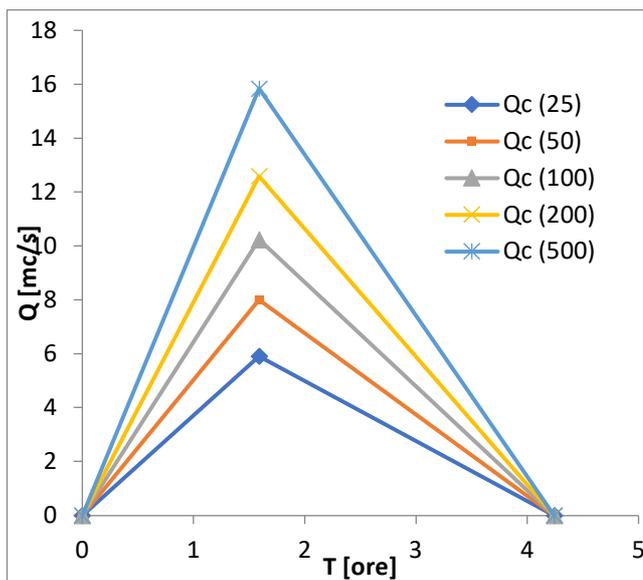


Figura 3-35 - Idrogramma di piena B06_Riu Funtana

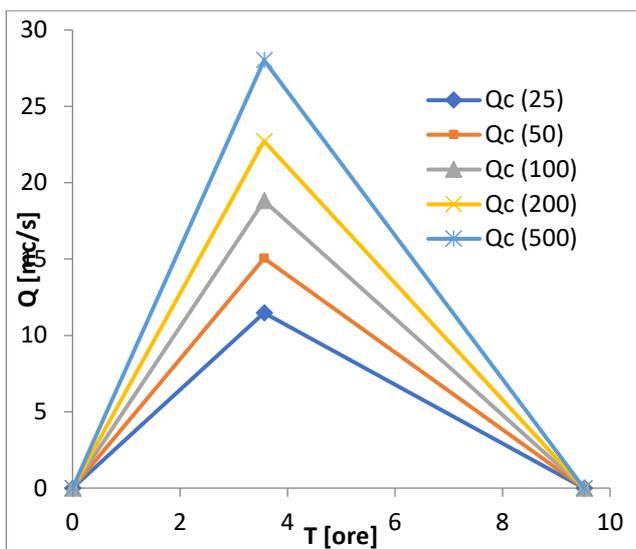


Figura 3-36 - Idrogramma di piena B07_Gora Santessu

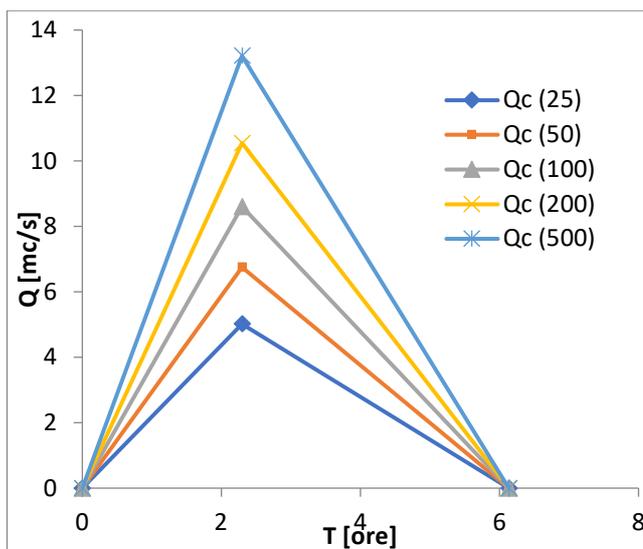


Figura 3-37 - Idrogramma di piena B08_Riu Cadelano

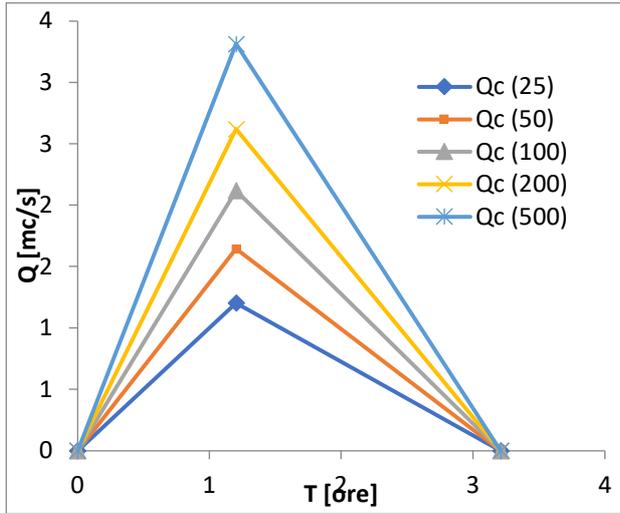


Figura 3-38 - Idrogramma di piena B10_el_idr_108671

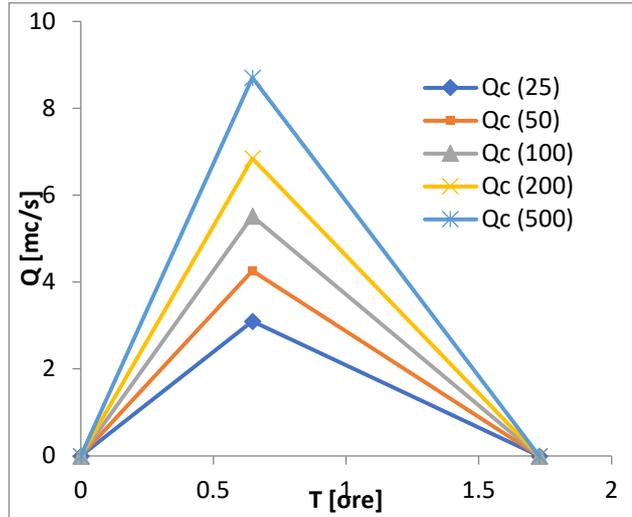


Figura 3-39 - Idrogramma di piena B11_el_idr_108597

Si è omesso l'idrogramma di piena del bacino B09_Canale s'Arrole poiché, essendo questo di dimensioni superiori ai 60 km², non presenterà un andamento triangolare ma con una fase ascendente ed una di esaurimento descritte da una specifica legge non lineare.

3.4 Analisi dei risultati idrologici

3.4.1 Curve di possibilità pluviometrica con metodologia VAPI-TCEV

Il calcolo delle altezze di pioggia è stato effettuato facendo riferimento alla metodologia VAPI, basata su un modello probabilistico TCEV che prevede l'individuazione della pioggia indice e del fattore di

crescita. Il prodotto fra i due costituisce l'altezza di pioggia, in funzione della durata d e del tempo di ritorno T .

L'altezza di pioggia di durata d corrispondente ad un assegnato tempo di ritorno T si ottiene dal prodotto della pioggia media massima annuale di durata d , per il fattore di crescita e per il fattore di riduzione areale.

$$h(d, T) = ARF \cdot K(T) \cdot \bar{h}(d)$$

La pioggia media massima annuale di durata d risulta funzione della durata d stessa e dei valori medi dei massimi annuali della pioggia giornaliera \bar{h}_g ,

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

riconducibile alla forma monomia:

$$\bar{h}(d) = a d^n$$

La determinazione dei valori medi dei massimi annuali delle piogge giornaliere avviene attraverso la rappresentazione a curve isoparametriche che consentono la stima della pioggia \bar{h}_g in un generico sito attraverso l'interpolazione lineare fra le curve più vicine al sito stesso.

Il fattore di crescita è funzione del tempo di ritorno e della durata della pioggia. Per tempi di ritorno superiori ai 10 anni, il fattore di crescita $K(T)$ assume l'espressione monomia:

$$K(T) = a T^n$$

Dove i coefficienti a e n sono i parametri dedotti dalle seguenti espressioni:

SZO	Durata ≤ 1ora	Durata > 1ora
Sottozona 2	$a = 0.44182 + 1.0817 \times \log_{10} T$	
	$n = -0.18676 + 0.2431 \times \log_{10} T$ $- 0.035435 \times \log_{10} T$	$n = -5.6593 \times 10^{-3}$ $- 4.0872 \times 10^{-3} \times \log_{10} T$

Di seguito si riportano i calcoli relativi alla costruzione della CPP nella zona SZO2 in cui ricade il bacino di studio. La pioggia media giornaliera \bar{h}_g , ricavata dalla distribuzione spaziale sull'intera Sardegna, è pari a 50 mm.

TCEV TR>10 anni SZO2	Parametri di calcolo h*						
	hg= 50 mm						
	a= 20.69						
	n= 0.32						

h*(d)	Pioggia indice						
d [ore]	0.25	0.5	1	3	6	12	24
	13.36	16.62	20.69	29.27	36.43	45.34	56.43

K(T)	Fattore di crescita						
T [anni] / d [ore]	0.25	0.5	1	3	6	12	24
25	1.74	1.84	1.95	1.93	1.91	1.90	1.88
50	1.92	2.09	2.28	2.25	2.23	2.21	2.19
100	2.09	2.34	2.61	2.57	2.54	2.52	2.49
200	2.27	2.58	2.93	2.88	2.85	2.82	2.79
500	2.51	2.90	3.36	3.30	3.26	3.22	3.19

h(d,T)	CPP						
T [anni] / d [ore]	0.25	0.5	1	3	6	12	24
25	23.24	30.65	40.43	56.48	69.75	86.13	106.35
50	25.64	34.78	47.17	65.81	81.19	100.17	123.59
100	27.96	38.83	53.91	75.10	92.58	114.13	140.70
200	30.29	42.86	60.64	84.38	103.93	128.01	157.67
500	33.50	48.27	69.55	96.60	118.84	146.22	179.89

Tabella 3.40 - Calcolo delle CPP con metodo VAPI-TCEV

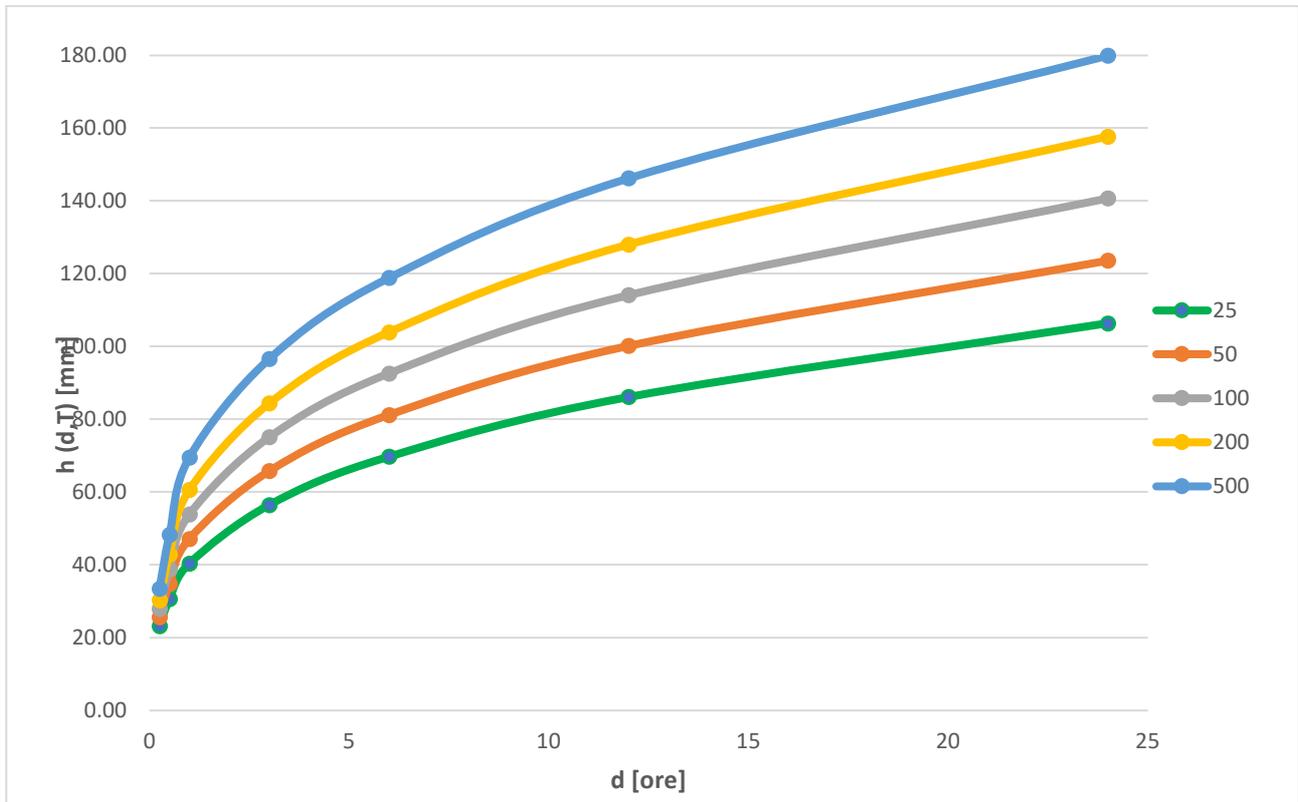


Figura 3-40. Curve di possibilità pluviometrica per la SZO2, corrispondenti ai diversi tempi di ritorno, calcolate con VAPI-TCEV

3.4.1 Aggiornamento delle curve di possibilità pluviometrica con metodo GEV

Il Professor Roberto Deidda, del dipartimento di Ingegneria dell'Università di Cagliari, in collaborazione con l'Agenzia del Distratto Idrografico della Regione Sardegna, ha sviluppato un metodo per la valutazione delle altezze di pioggia sul territorio sardo che va a ridisegnare la distribuzione delle piogge basati su precedenti metodi come il TCEV, tenendo conto dei recenti eventi estremi verificatisi nella regione dal 2008 al 2013.

Per la valutazione delle piogge è stato adottato il modello GEV con distribuzione geostatistica dei parametri di forma (k) e di scala (σ^*). Il modello utilizza il metodo della pioggia indice per la distribuzione spaziale, come previsto anche dal modello regionalizzato TCEV.

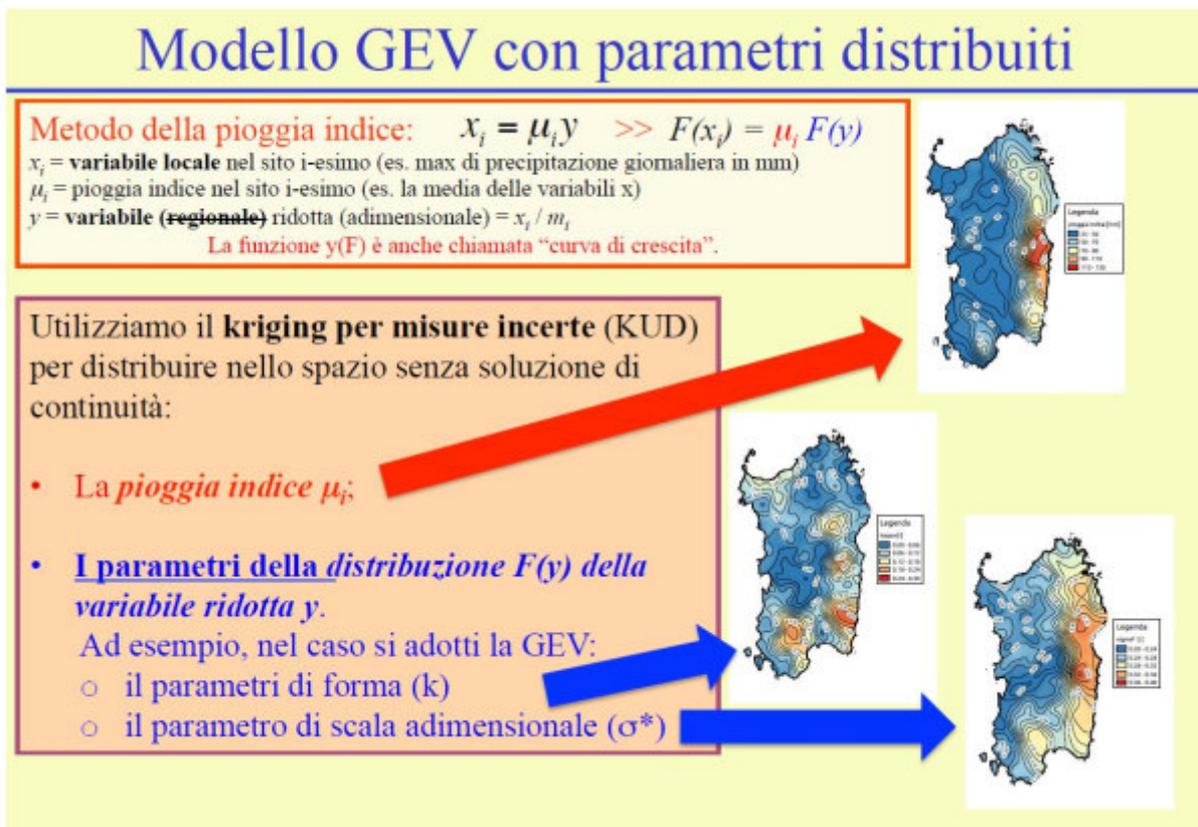


Figura 3-41. Modello GEV con approccio geostatistico

Dal confronto fra le carte delle isoiete, per TR 200 anni, del metodo TCEV e del metodo GEV geostatistico, si può osservare come in quest'ultima carta si evidenzia un marcato aumento delle altezze di pioggia nelle aree centro orientali e sud-occidentali della regione con un incremento delle precipitazioni in queste aree che va dal 23%, nell'area centro orientale, al 30%, nell'area sud-occidentale.

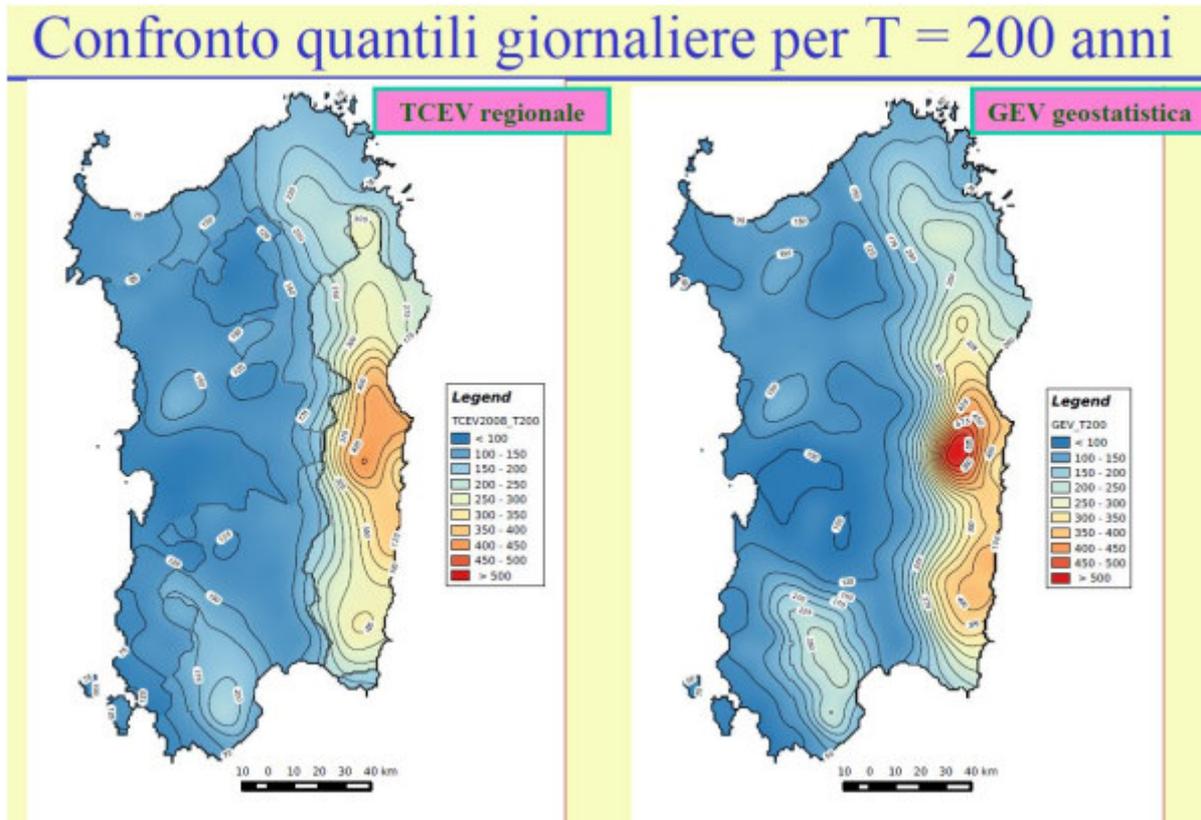


Figura 3-42.- Confronto isoiete di pioggia cumulata per TR200 metodo TCEV e GEV geostatistico

Di seguito vengono costruite le curve segnalatrici di possibilità pluviometrica per l'area d'intervento e saranno confrontate con quelle del metodo TCEV.

Secondo tale metodologia l'altezza di pioggia per un assegnato tempo di ritorno segue la legge:

$$h_T(\tau) = m(\tau) * y_T(\tau) = \begin{cases} a_1 \tau^{n_1} & \tau \leq 1 \text{ ora} \\ a_2 \tau^{n_2} & \tau \geq 1 \text{ ora} \end{cases}$$

$$a_1 = a_{1m} * a_{1y}$$

$$a_2 = a_{2m} * a_{2y}$$

$$n_1 = n_{1m} + n_{1y}$$

$$n_2 = n_{2m} + n_{2y}$$

$$n_{1m} = -0.20 + 0.33 \log_{10} m_D$$

$$n_{2m} = -0.60 + 0.52 \log_{10} m_D$$

$$a_{1m} = a_{2m} = \frac{-10 + 1.25 m_D}{24^{n_{2m}}}$$

$$n_{1y} = n_{1y_p} + n_{1y_q} \log_{10} T$$

$$n_{2y} = n_{2y_p} + n_{2y_q} \log_{10} T$$

$$a_{1y} = a_{2y} = 10^{a_{1y_p} + a_{1y_q} \log_{10} T + a_{1y_r} (\log_{10} T)^2}$$

La dipendenza territoriale della variabile ridotta adimensionale $y_T(\tau)$ è introdotta dalle relazioni:

$$n_{1y_p} = -0.08441 - 0.09092 \kappa_D + 0.07846 \sigma_D^* + 0.32383 \kappa_D^2 + 0.00793 \kappa_D \sigma_D^* + 0.01891 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{1y_q} = +0.02720 + 0.13097 \kappa_D + 0.18360 \sigma_D^* - 0.37370 \kappa_D^2 - 0.07701 \kappa_D \sigma_D^* - 0.07303 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{2y_p} = +0.01206 - 0.17695 \kappa_D + 0.01612 \sigma_D^* - 0.67415 \kappa_D^2 - 0.05609 \kappa_D \sigma_D^* + 0.13555 \sigma_D^{*2}$$

$$n_{2y_q} = -0.10358 + 0.17971 \kappa_D + 0.29584 \sigma_D^* + 0.74819 \kappa_D^2 + 0.36062 \kappa_D \sigma_D^* - 0.34968 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_p} = -0.06465 - 0.04403 \kappa_D - 0.08110 \sigma_D^* + 0.08870 \kappa_D^2 + 0.06253 \kappa_D \sigma_D^* + 0.05123 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_q} = +0.20019 + 0.06131 \kappa_D + 0.38674 \sigma_D^* - 0.09988 \kappa_D^2 - 0.10208 \kappa_D \sigma_D^* - 0.10724 \sigma_D^{*2}$$

$$a_{1y_r} = -0.01193 - 0.00329 \kappa_D - 0.05745 \sigma_D^* - 0.01044 \kappa_D^2 + 0.01938 \kappa_D \sigma_D^* + 0.01084 \sigma_D^{*2}$$

La pioggia indice media (m_D), i parametri di forma (κ) e di scala (σ^*) della funzione GEV, sono ricavabili dalle carte con i parametri distribuiti:

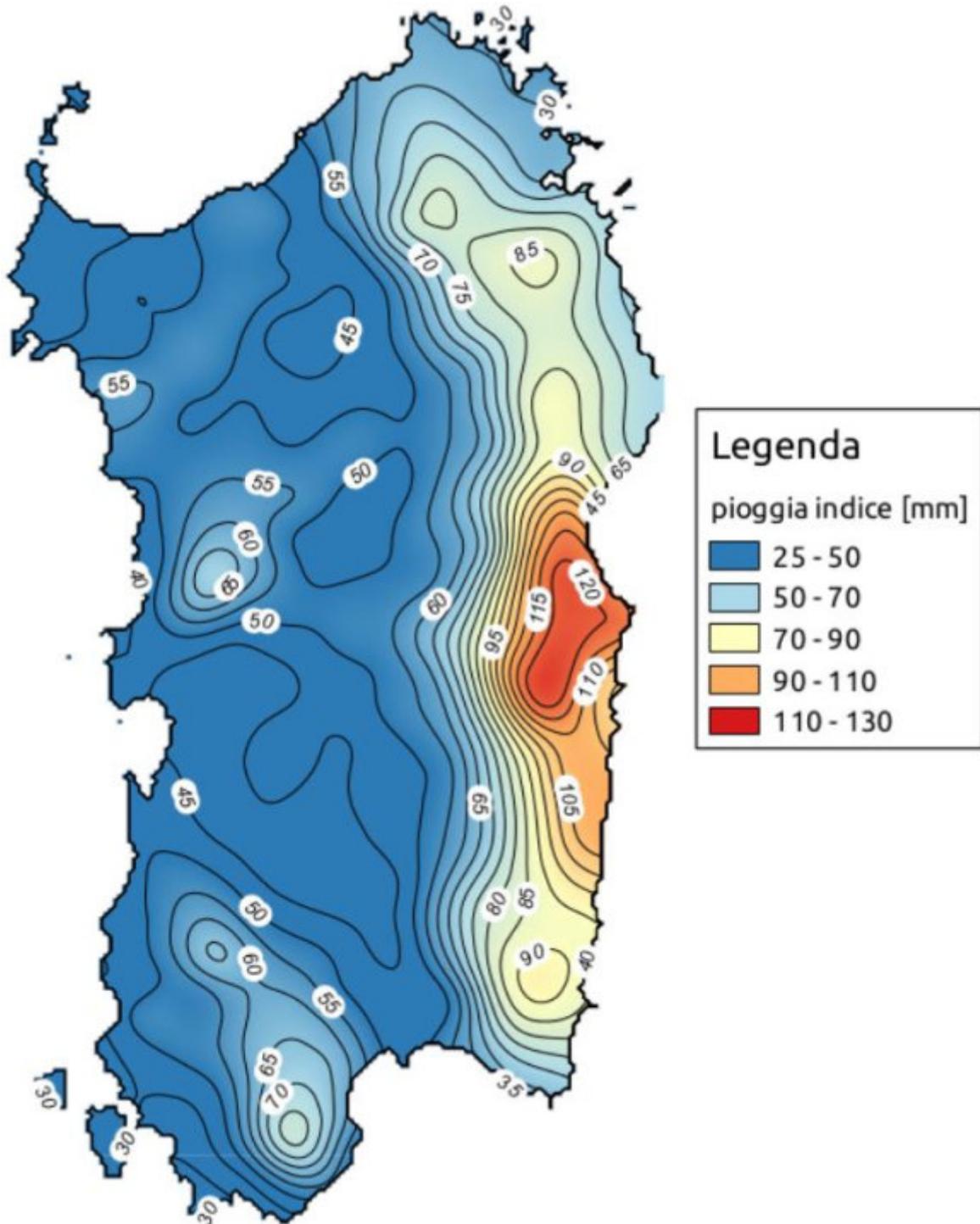


Figura 3-43. Carta della pioggia indice, Metodo GEV con approccio geostatistico

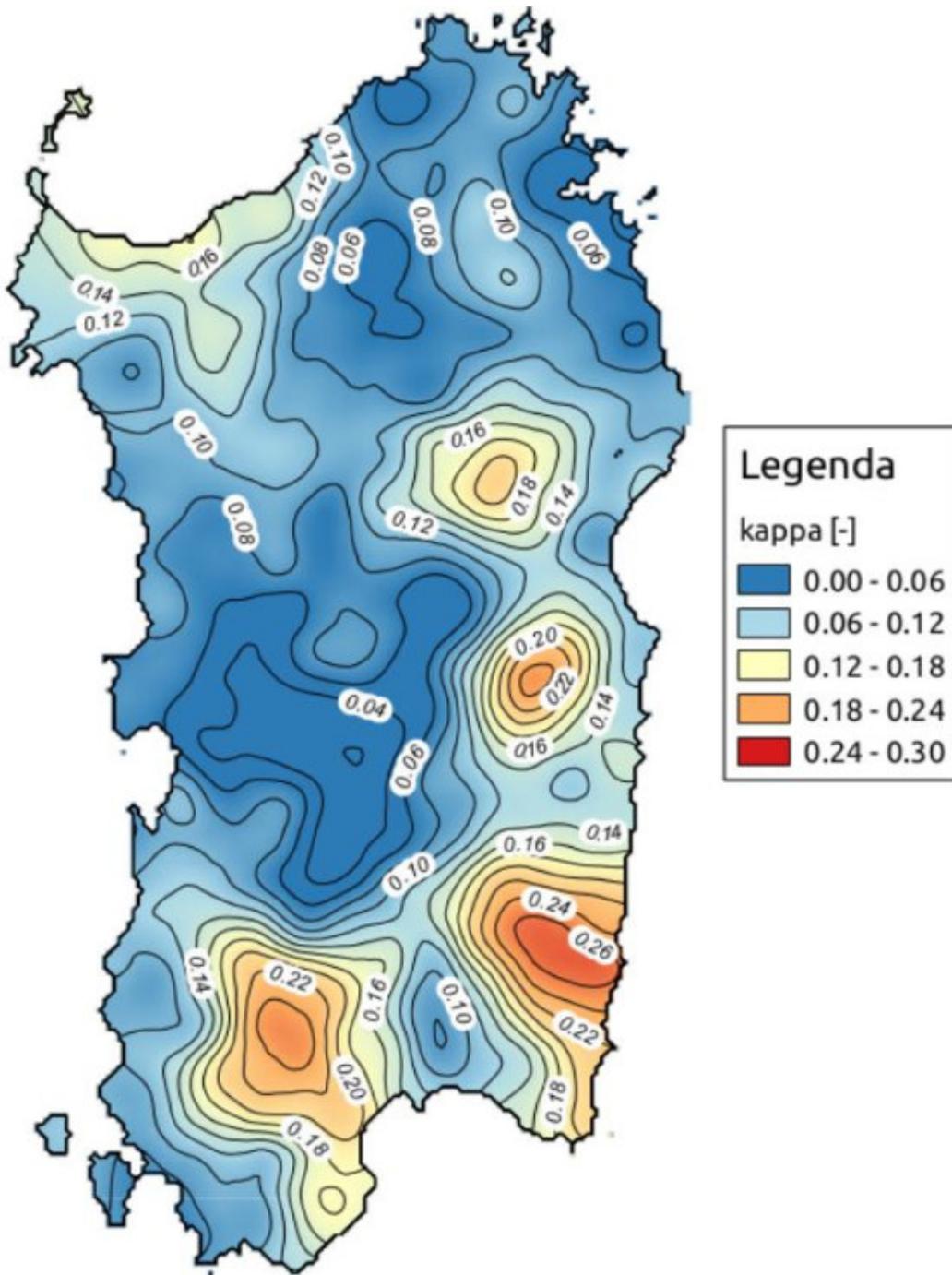


Figura 3-44. Carta del fattore di forma, Metodo GEV con approccio geostatistico

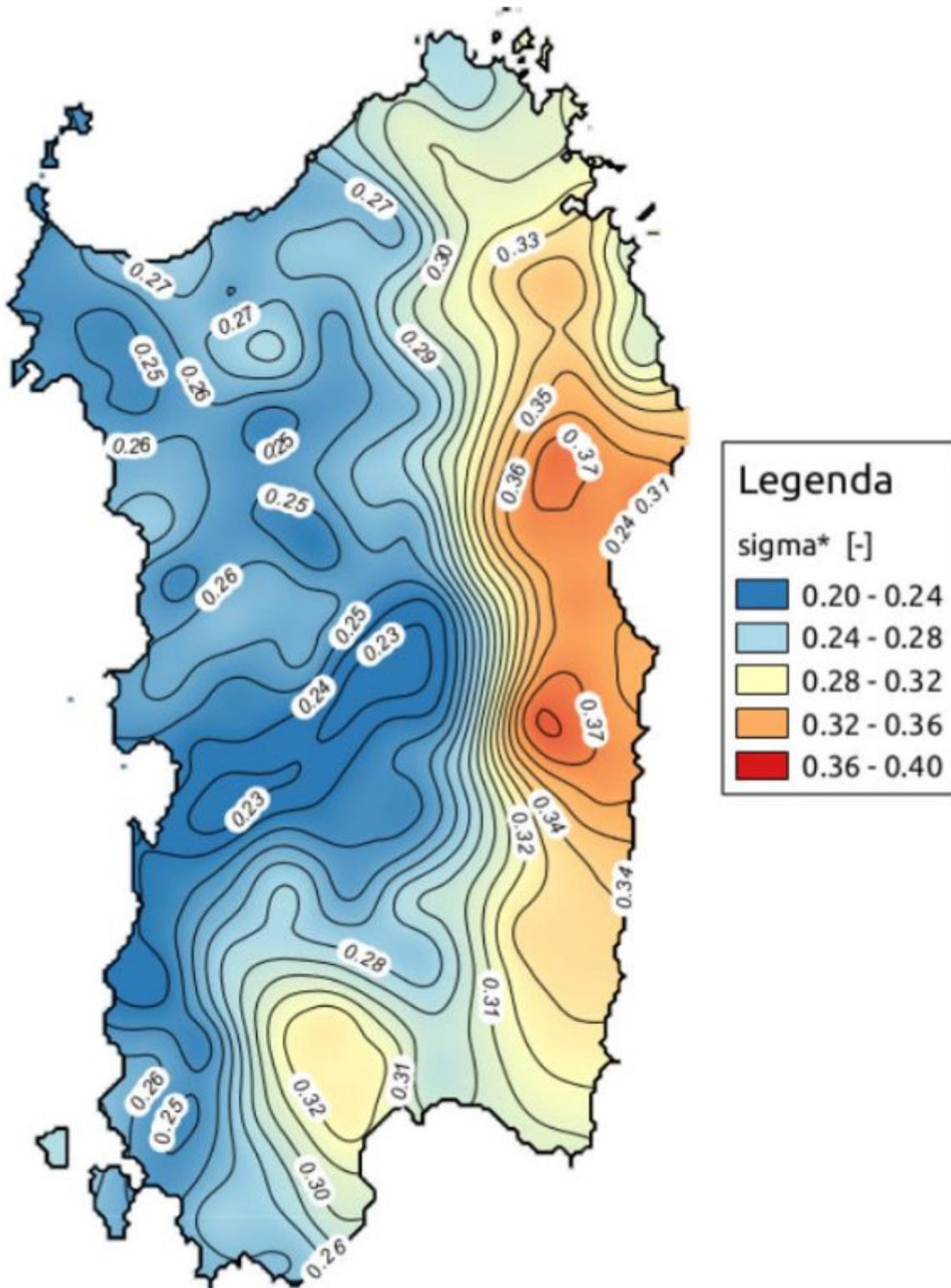


Figura 3-45. Carta del fattore di scala, Metodo GEV con approccio geostatistico

Di seguito vengono riportati i valori dei parametri delle CPP calcolati per i bacini dell'area in progetto:

GEV TR>10 anni	Parametri di calcolo
	$m_D = 50 \text{ mm}$
	$k_D = 0.10$
	$\sigma^* = 0.29$

h(d,T) T [anni] /d [ore]	CPP		
	a	n1	n2
25	41.36	0.41	0.27
50	48.18	0.43	0.27
100	55.48	0.46	0.26
200	63.16	0.48	0.26
500	73.65	0.51	0.26

h(d,T) T [anni] /d [ore]	CPP						
	0.25	0.5	1	3	6	12	24
25	23.47	31.15	41.36	55.63	67.07	80.85	97.48
50	26.42	35.68	48.18	64.56	77.65	93.39	112.33
100	29.41	40.40	55.48	74.07	88.87	106.64	127.97
200	32.36	45.21	63.16	84.00	100.56	120.38	144.11
500	36.08	51.55	73.65	97.48	116.33	138.83	165.68

Tabella 3.41 - Calcolo delle CPP con modello GEV con approccio geostatistico

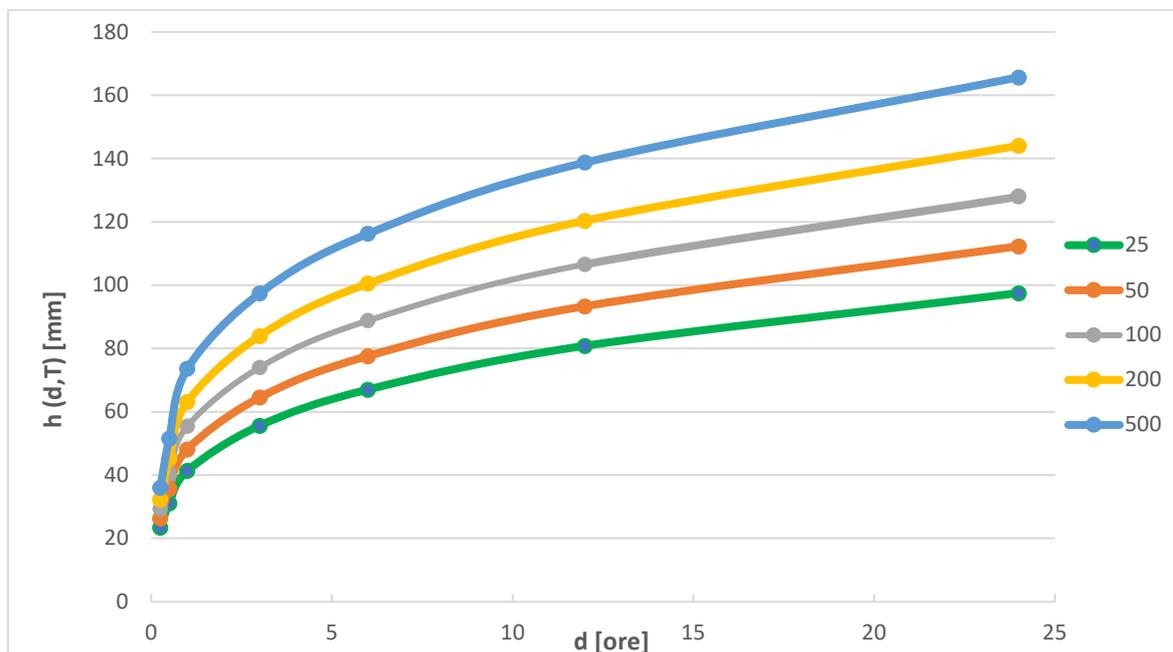


Figura 3-46. Curve di possibilità pluviometrica per la SZO2, corrispondenti ai diversi tempi di ritorno, calcolate con modello GEV

h (d,T)	Confronto percentuale CPP VAPI-TCEV/GEV							
	T [anni] /d [ore]	0.25	0.5	1	3	6	12	24
25		-0.98%	-1.62%	-2.25%	1.54%	4.00%	6.52%	9.11%
50		-2.96%	-2.53%	-2.10%	1.93%	4.56%	7.26%	10.03%
100		-4.92%	-3.88%	-2.84%	1.40%	4.17%	7.02%	9.95%
200		-6.40%	-5.20%	-3.98%	0.45%	3.35%	6.33%	9.40%
500		-7.16%	-6.37%	-5.57%	-0.90%	2.16%	5.32%	8.58%

Tabella 3.42 - Confronto percentuale CPP GEV/VAPI-TCEV

Dal confronto delle altezze di pioggia calcolate con i due metodi, si può notare che quelle ricavate con il metodo VAPI-TCEV, per durate di pioggia superiori alle 3 ore, sono maggiori rispetto a quelle ottenute adottando la metodologia GEV con approccio geostatistico.

D'altra parte, per i bacini di piccole dimensioni, per i quali sono stati ottenuti tempi di corrivazione ridotti, il modello VAPI-TCEV comporta altezze di pioggia minori rispetto a quello ottenuti con la metodologia GEV. Tuttavia, poiché la variazione percentuale fra i valori è abbastanza contenuta (massimo 7%), ai fini della progettazione dell'infrastruttura il progettista assume che le altezze di pioggia considerate sono quelle ottenute con il metodo VAPI-TCEV.