

S.S. 131 di "Carlo Felice"
Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131
Risoluzione dei nodi critici - 2° stralcio
dal km 108+300 al km 158+000

PROGETTO ESECUTIVO

CA284

R.T.I. di PROGETTAZIONE:

Mandataria



**PRO
ITER**
Progetto
Infrastrutture
Territorio s.r.l.

Via G.B. Sammartini n°5
20125 - Milano
Tel. 02 6787911
email: mail@proiter.it

Mandante



Via Artemide n°3
92100 Agrigento
Tel. 0922 421007
email: deltaingegneria@pec.it

PROGETTISTI:

Ing. Riccardo Formichi - Pro Iter srl (Integratore prestazioni specialistiche)
Ordine Ing. di Milano n. 18045

Ing. Riccardo Formichi
Ordine Ing. di Milano n. 18045

IL GEOLOGO

Dott. Geol. Massimo Mezzanzanica - Pro Iter srl
Albo Geol. Lombardia n. A762

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Ing. Diego Ceccherelli
Ordine Ing. di Milano n. 15813

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. Salvatore FRASCA



PROTOCOLLO

DATA

IDROLOGIA ED IDRAULICA

Relazione idrologica

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG.	T00ID00IDRRE01B.pdf			
L O P L S Q	E	CODICE ELAB. T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 1		B	-
	N. PROG.				
D	1901				
C					
B	REVISIONE PER ISTRUTTORIA, VERIFICA E CONTROLLO D.LGS.35/11	Aprile 2021	Argirò	Besio	Formichi
A	EMISSIONE	Marzo 2020	Argirò	Besio	Formichi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1	PREMESSA	1
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	2
2.1	Inquadramento generale dell'area	2
3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	3
3.1	Normativa nazionale	3
3.2	Normativa regionale	5
4	ANALISI IDROLOGICA.....	9
4.1	Considerazioni sul tempo di ritorno.....	9
4.2	Caratteristiche pluviometriche	10
4.3	Analisi idrografica.....	13
4.3.1	Caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici	14
4.4	Modello di trasformazione afflussi-deflussi: metodo cinematico	17
4.4.1	Determinazione della durata critica	17
4.4.2	Determinazione del tempo di corrivazione	17
4.4.3	Determinazione dell'altezza di pioggia netta	18
5	VALUTAZIONE STATO EROSIONE DEI BACINI IDROGRAFICI	22
5.1	Riu Bonorchis.....	23
5.2	Riu Pitziu	23
5.3	Riu Mannu	24
5.4	Riu Flumini de Susu.....	25
5.5	Riu Murtazzolu	26
5.6	Riu Temo.....	27
5.7	Riu Chercucchi	27
5.8	Risultati dell'analisi morfologica dei bacini con le curve ipsometriche	28
6	VERIFICA ART. 3 DELLA "DIRETTIVA PER LO SVOLGIMENTO DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE ESISTENTI DI ATTRAVERSAMENTO VIARIO O FERROVIARIO DEL RETICOLO IDROGRAFICO DELLA REGIONE SARDEGNA NONCHÉ DELLE OPERE INTERFERENTI" DI CUI ALL'ART. 22 DELLE NA DEL PAI.....	29

1 PREMESSA

La presente relazione riferisce dello studio idrologico eseguito nell'ambito del Progetto Esecutivo "Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131 dal km 108+300 al km 209+500 – risoluzione dei nodi critici – 2° stralcio".

Scopo del presente lavoro è lo studio idrologico-idraulico delle interferenze della S.S. 131 con la rete idrografica locale, nonché la progettazione delle opere idrauliche necessarie a ristabilire la continuità idraulica della rete di drenaggi esistente e della regimentazione delle acque di versante e/o dei fossi scolanti nelle aree sulle quali insistono le opere viarie in progetto.

Lo studio idrologico, propedeutico all'analisi di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento e delle opere idrauliche di piattaforma è stato effettuato sulla scorta di quanto indicato nell'elaborato "Metodologie di analisi nell'ambito del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) della Regione Sardegna adottato con Delibera n. 2 del 17.12.2015".

A partire dai dati storici di precipitazione, l'applicazione delle usuali metodologie di statistica inferenziale ha permesso la definizione delle cosiddette "linee segnalatrici di possibilità pluviometrica" (LSPP), che stabiliscono il legame esistente fra la durata della pioggia e la relativa altezza di precipitazione per un assegnato tempo di ritorno. Per la stima dell'altezza di precipitazione si è adottata la procedura di regionalizzazione messa a punto nel progetto VAPI Sardegna.

Successivamente, utilizzando un modello matematico semplificato del tipo afflussi-deflussi, è stata dimensionata e verificata l'intera rete di drenaggio con tempo di ritorno di 25 anni per la piattaforma stradale, 50 anni per fossi di guardia e/o canali di gronda, 200 anni per il dimensionamento e la verifica dei ponti.

Il sistema di drenaggio delle acque così dimensionato è caratterizzato da un funzionamento a gravità.

Riassumendo, lo studio è stato sviluppando secondo la seguente metodologia:

- Analisi dei dati disponibili in termini di rilievi topografici e degli elaborati del progetto definitivo;
- Analisi della rete idrografica esistente con tracciamento dei bacini idrografici insistenti sulla rete viaria di progetto e studio delle loro caratteristiche geomorfologiche;
- Analisi dello stato di fatto e dei manufatti idraulici esistenti nella zona in esame;
- Analisi della rete idrografica esistente e individuazione del bacino di monte sotteso dalla/e sezione/i di chiusura in progetto;
- Recepimento dei dati pluviometrici per la zona in esame ed elaborazione degli stessi mediante metodologia VAPI Sardegna;
- Determinazione delle portate al colmo per gli interventi di progetto per i tempi di ritorno assunti alla base della progettazione;
- Progettazione e verifica degli interventi necessari alla risoluzione delle interferenze idrauliche.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 Inquadramento generale dell'area

Il tracciato stradale riferito al 2° stralcio si snoda principalmente nelle province di Oristano e Nuoro ed una parte nella provincia di Sassari.

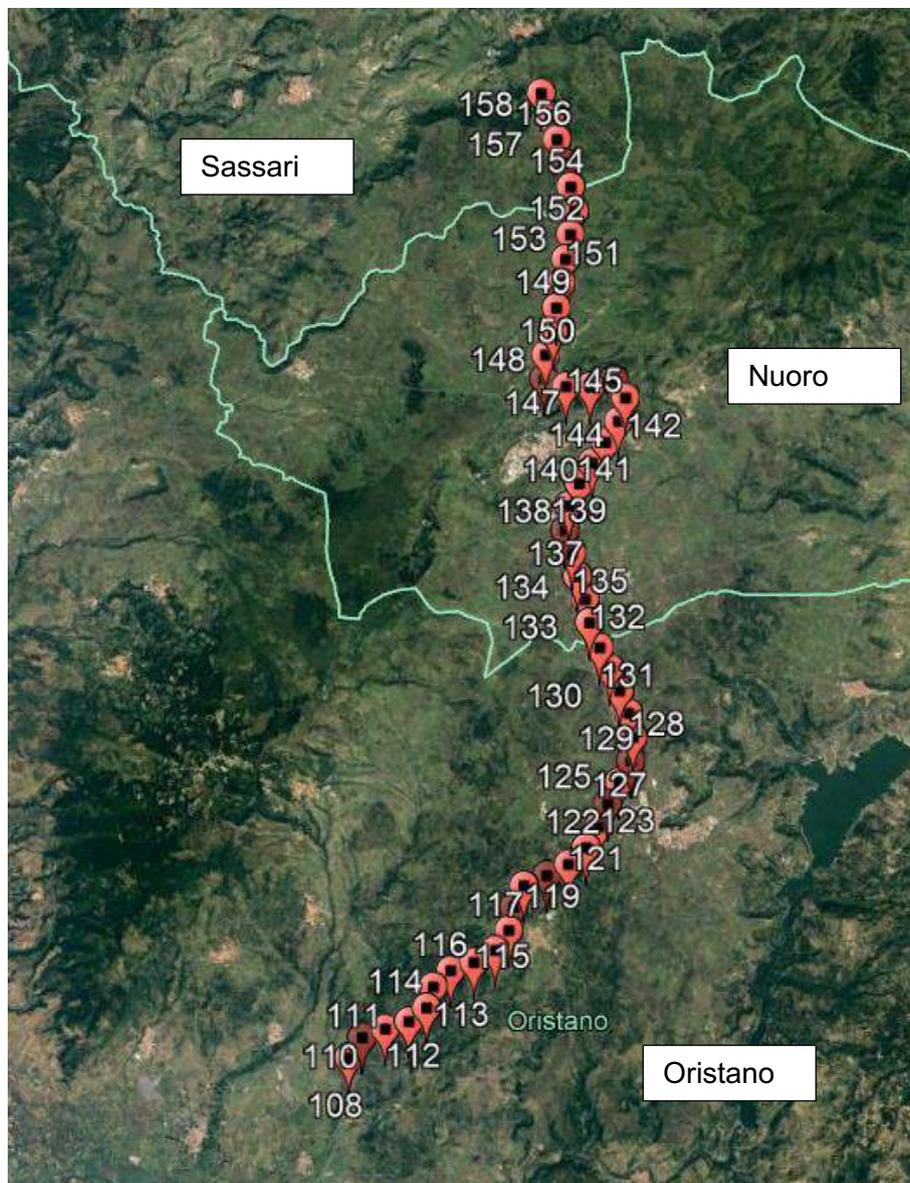


Figura 1 – Inquadramento geografico della zona di interesse

3 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

3.1 Normativa nazionale

Di seguito vengono riportate le principali leggi nazionali in materia ambientale e di difesa del suolo:

- RD 25/07/1904 n° 523: “Testo unico delle disposizioni di legge intorno alle opere idrauliche delle diverse categorie”.
- Regio Decreto Legislativo 30/12/1923, n° 3267: “Riordinamento e riforma della legislazione in materia di boschi e di terreni montani”. La legge introduce il vincolo idrogeologico.
- DPR 15/01/1972 n° 8: “Trasferimento alle Regioni a statuto ordinario delle funzioni amministrative statali in materia di urbanistica e di viabilità, acquedotti e lavori pubblici di interesse regionale e dei relativi personali ed uffici”.
- L. 64/74: “Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche”.
- DPR 24/7/1977 n° 616: “Trasferimento delle funzioni statali alle Regioni”.
- L. 431/85 (Legge Galasso): “Conversione in legge con modificazioni del decreto legge 27 giugno 1985, n. 312 concernente disposizioni urgenti per la tutela delle zone di particolare interesse ambientale”.
- L. 183/89: “Norme per il riassetto organizzativo e funzionale della difesa del suolo”. Scopo della legge è la difesa del suolo, il risanamento delle acque, la fruizione e la gestione del patrimonio idrico per gli usi di razionale sviluppo economico e sociale, la tutela degli aspetti ambientali ad essi connessi (art. 1 comma 1). Vengono inoltre individuate le attività di pianificazione, di programmazione e di attuazione (art. 3); vengono istituiti il Comitato Nazionale per la difesa del suolo (art. 6) e l’Autorità di Bacino (art. 12). Vengono individuati i bacini idrografici di rilievo nazionale, interregionale e regionale (artt. 13, 14, 15, 16) e date le prime indicazioni per la redazione dei Piani di Bacino (artt. 17, 18, 19).
- L. 142/90: “Ordinamento delle autonomie locali”.
- DL 04-12-1993 n° 496: “Disposizioni urgenti sulla riorganizzazione dei controlli ambientali e istituzione della Agenzia nazionale per la protezione dell’ambiente. (Convertito con modificazioni dalla L. 61/94)”.
- L. 36/94 (Legge Galli): “Disposizioni in materia di risorse idriche”.
- DPR 14/4/94: “Atto di indirizzo e coordinamento in ordine alle procedure ed ai criteri per la delimitazione dei bacini idrografici di rilievo nazionale ed interregionale, di cui alla legge 18 maggio 1989, N. 183”.
- DPR 18/7/95: “Approvazione dell’atto di indirizzo e coordinamento concernente i criteri per la redazione dei Piani di Bacino”.
- DPCM 4/3/96: “Disposizioni in materia di risorse idriche (direttive di attuazione della Legge Galli)”.
- Decreto Legislativo 31/3/1998, n° 112: “Conferimento di funzioni e compiti amministrativi dello Stato alle regioni ed agli enti locali, in attuazione del capo I della legge 15 marzo 1997, n. 59”.
- DPCM 29/9/98: “Atto di indirizzo e coordinamento per l’individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all’art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1989, N. 180”. Il decreto indica i criteri di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idrogeologico (punto 2) e gli indirizzi per la definizione delle norme di salvaguardia (punto 3).
- L. 267/98 (Legge Sarno): “Conversione in legge del DL 180/98 recante misure urgenti per la prevenzione del rischio idrogeologico ed a favore delle zone colpite da disastri franosi nella Regione Campania”. La legge impone alle Autorità di Bacino nazionali e interregionali la redazione dei Piani Stralcio per la tutela dal rischio idrogeologico e le misure di prevenzione per le aree a rischio (art. 1).
- DL 152/99: “Disposizioni sulla tutela delle acque dall’inquinamento e recepimento della direttiva 91/271/CEE concernente il trattamento delle acque reflue urbane e della direttiva 91/676/CEE relativa alla protezione delle acque dall’inquinamento provocato dai nitrati provenienti da fonti agricole”.
- DL 258/00: “Disposizioni correttive e integrative del DL 152/99”.

- L. 365/00 (Legge Soverato): “Conversione in legge del DL 279/00 recante interventi urgenti per le aree a rischio idrogeologico molto elevato ed in materia di protezione civile, nonché a favore delle zone della Regione Calabria danneggiate dalle calamità di settembre e ottobre 2000”. La legge individua gli interventi per le aree a rischio idrogeologico e in materia di protezione civile (art. 1); individua la procedura per l’adozione dei progetti di Piano Stralcio (art. 1-bis); prevede un’attività straordinaria di polizia idraulica e di controllo sul territorio (art. 2).
- D.lgs. 152/2006: Ha riorganizzato le Autorità di bacino introducendo i distretti idrografici. Tale Decreto legislativo disciplina, in attuazione della legge 15 dicembre 2004, n. 308, la difesa del suolo e la lotta alla desertificazione, la tutela delle acque dall’inquinamento e la gestione delle risorse idriche. Istituisce i distretti idrografici nei quali sarà istituita l’Autorità di bacino distrettuale, che va a sostituire la o le Autorità di Bacino previste dalla legge n. 183/1989. In forza del recente d.lgs. 8 novembre 2006, n. 284, nelle more della costituzione dei distretti idrografici di cui al Titolo II della Parte terza del d.lgs. 152/2006 e della revisione della relativa disciplina legislativa con un decreto legislativo correttivo, le Autorità di Bacino di cui alla legge 18 maggio 1989, n. 183, sono prorogate fino alla data di entrata in vigore del decreto correttivo che, ai sensi dell’articolo 1, comma 6, della legge n. 308 del 2004, definisca la relativa disciplina. Fino alla data di entrata in vigore del decreto legislativo correttivo di cui al comma 2-bis dell’articolo 170 del decreto legislativo 3 aprile 2006, n. 152, come inserito dal comma 3, sono fatti salvi gli atti posti in essere dalle Autorità di Bacino dal 30 aprile 2006. Inoltre l’articolo 113 del medesimo Decreto legislativo, stabilisce, in materia di controllo dell’inquinamento prodotto dal dilavamento delle acque meteoriche, che “...le regioni disciplinano... b) i casi in cui può essere richiesto che le immissioni delle acque di dilavamento ...siano sottoposte a particolari prescrizioni...”, art. 113 comma 1, e che “... i casi in cui può essere richiesto... siano convogliate e opportunamente trattate... in relazione alle attività svolte, vi sia il rischio di dilavamento da superfici impermeabili scoperte di sostanze pericolose...”, art. 113 comma 3.
- DM 14/01/2008: “Nuove norme tecniche per le costruzioni” (G.U. 4 febbraio 2008 n.29 – S.O. n. 30).
- Circolare 2/02/2009 n. 617: “Istruzioni per l’applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008”.
- Decreto n. 131 del 16/06/2008: Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare - Regolamento recante i criteri tecnici per la caratterizzazione dei corpi idrici (tipizzazione, individuazione dei corpi idrici, analisi delle pressioni) per la modifica delle norme tecniche del Decreto Legislativo n. 152 del 3/04/2006 recante: "Norme in materia ambientale", predisposto ai sensi dell’articolo 75, comma 4, dello stesso decreto. (GU n. 187 del 11/08/2008 - Suppl. Ordinario n. 189).
- Decreto n. 56 del 14/04/2009: Ministero dell’ambiente e della tutela del territorio e del mare - Regolamento recante “Criteri tecnici per il monitoraggio dei corpi idrici e l’identificazione delle condizioni di riferimento per la modifica delle norme tecniche del Decreto Legislativo n. 152 del 3/04/2006 recante Norme in materia ambientale, predisposto ai sensi dell’articolo 75, comma 3, del decreto legislativo medesimo” (GU n.124 del 30/05/2009 - Suppl. Ordinario n. 83).

Si riportano inoltre gli estremi di alcune leggi riguardanti la progettazione e la verifica dei ponti stradali:

- L. 532/1904: “*Testo unico sulle opere idrauliche*”. Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali.
- D. Min. LL.PP 4 maggio 1990: “*Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l’esecuzione e il collaudo dei ponti stradali*”.
“Quando il ponte interessa un corso d’acqua naturale o artificiale, il progetto dovrà essere corredato da una relazione riguardante i problemi idrologici, idrografici ed idraulici relativi alle scelte progettuali, alla costruzione e all’esercizio del ponte. L’ampiezza e l’approfondimento della relazione e delle indagini che ne costituiscono la base saranno commisurati all’importanza del problema e al grado di elaborazione del progetto. Una cura particolare è da dedicare, in ogni caso, al problema delle escavazioni dell’alveo ed alla protezione delle

fondazioni delle pile e delle spalle. La trattazione dei citati problemi dovrà avvenire nel rispetto del testo unico 25 luglio 1904, n. 523 e successivi aggiornamenti.” (Criteri generali e prescrizioni tecniche per la progettazione, esecuzione e collaudo dei ponti stradali – par. 2.4).

- Circ. LL.PP. n° 34233 del 25/02/1991: Istruzioni relative alla normativa tecnica dei ponti stradali.... Gli elementi del ponte, quali le opere di sostegno, di difesa ed accessorie, quando interessino l'alveo di un corso d'acqua, specie se di qualche importanza, dovranno far parte di un progetto unitarioNel caso in cui l'opera di attraversamento sia costituita, oltre che dal ponte vero e proprio, anche da uno o due rilevati collocati in alveo, dovranno essere valutate quali modifiche possono prodursi a monte dell'opera in conseguenza della riduzione della luce libera rispetto a quella primitiva.....La quota idrometrica e il franco dovranno essere posti in correlazione con la piena di progetto anche in considerazione della tipologia dell'opera e delle situazioni ambientali

3.2 Normativa regionale

- *Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna (P.A.I.)*
Relativamente agli aspetti connessi alla difesa del suolo, l'area interessata dalle opere in progetto ricade nell'ambito territoriale di competenza dell'Autorità di Bacino Unico della Regione Sardegna.
Seguendo gli adempimenti previsti dal Decreto-legge 11 Giugno 1998 n. 180, convertito in Legge n. 267 del 3 Agosto 1998, la Regione Autonoma della Sardegna ha provveduto a dotarsi del PAI (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto idrogeologico), il quale è stato adottato dalla Giunta Regionale con Delibera n. 22/46 del 21 Luglio 2003 e successivamente revisionato nel luglio 2004.
Si riportano integralmente, qui di seguito, gli indirizzi per la progettazione, la realizzazione e la manutenzione delle infrastrutture, tratte dall'art. 21 delle Norme del PAI, in base ai quali sono stati valutati i franchi idraulici per le opere di nuova costruzione previste, negli interventi in oggetto.
Entro due anni dall'approvazione del PAI, la Regione Sardegna approva per l'intero bacino idrografico regionale disposizioni e norme tecniche per la progettazione, la realizzazione e la manutenzione delle infrastrutture a rete o puntuali a fini di prevenzione verso l'insorgere di pericoli idrogeologici e di nuove situazioni di rischio idrogeologico.
Le disposizioni e norme tecniche tendono a stabilire principi generali e prescrizioni affinché le attività di progettazione, realizzazione e manutenzione di cui al precedente comma: conservino le funzioni e il livello naturale dei corsi d'acqua;
 - a. non creino in aree pianeggianti impedimenti al naturale deflusso delle acque;
 - b. prevedano l'attraversamento degli alvei naturali ed artificiali e delle aree di pertinenza da parte di condotte in sotterraneo a profondità compatibile con la dinamica fluviale;
 - c. garantiscano un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, pari a quanto indicato dall'analisi modellistica sul franco idraulico approvata dal Comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino, corrispondente al massimo tra:
 - i. $0,7 \cdot v^2 / 2g$, dove indica la velocità media della corrente;
 - ii. un metro;
 - iii. $0,87 \cdot y + \alpha y'$, dove è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata e α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87 \cdot y$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 e y' viene assunto pari a 2 m o alla profondità media, se questa risulta minore di 2.
 - d. per velocità superiori a 8 m/s il franco sarà almeno pari all'intera altezza cinetica $v^2 / 2g$; (lettera così modificata dal Decreto del Presidente della Regione Sardegna n° 148 del 26 ottobre 2012);
 - e. prevedano eventuali rampe di accesso alle infrastrutture di attraversamento in modo da non ostacolare il naturale deflusso delle acque;

- f. adottino per i nuovi attraversamenti criteri che possibilmente evitino o comunque limitino il numero di pile in alveo;
- g. configurino le spalle dei ponti in modo da non comportare restringimenti della sezione che pregiudichino la sicurezza del tronco d'alveo;
- h. prevedano le pile dei nuovi attraversamenti in modo da offrire la minore resistenza idrodinamica;
- i. garantiscano la protezione dall'erosione delle pile dei ponti preferibilmente evitando plateazioni della sezione di imposta;
- j. minimizzino il rischio di instabilità gravitativa e di alterazione del naturale reticolo drenante indotto dai tagli dei versanti lungo i tracciati;
- k. limitino le modificazioni della morfologia naturale dei pendii impegnati;
- l. prevedano appropriati sistemi di drenaggio, da sottoporre a adeguata manutenzione;
- m. prevengano l'apporto di suolo nei corsi d'acqua in conseguenza dell'esposizione agli agenti meteorici della superficie interessata dall'opera.

- *Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)*

Il Piano Stralcio delle fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, 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 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.

Tale Piano costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali. Con Delibera n. 1 del 31/03/2011, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna ha adottato in via preliminare, ai sensi degli artt. 8 comma 3 e 9 comma 2 della LR n. 19 del 6/12/2006, il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, costituito dagli elaborati elencati nell'allegato A alla delibera di adozione medesima. Con Delibera n. 1 del 23/06/2011, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna ha revocato la deliberazione del C.I. n. 1 del 31/03/2011, di adozione preliminare del PSFF e definito una nuova procedura per l'adozione e l'approvazione finale. Secondo la procedura fissata dalla Delibera n. 1 del 23/06/2011, le autonomie locali, le organizzazioni e associazioni economiche e sociali e tutti i soggetti interessati, possono presentare osservazioni al Comitato Istituzionale (C.I.). Con Delibera n. 1 del 03/09/2012 e con Delibera n. 1 del 31/10/2012 il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna ha adottato preliminarmente il nuovo PSFF. A seguito dello svolgimento delle conferenze programmatiche, tenute nel mese di gennaio 2013, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 20.06.2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

All'articolo 3 della suddetta Delibera si precisa che: "Sulle aree a pericolosità idraulica individuate dal PSFF "si applicano, quali norme di Salvaguardia, i vincoli di cui agli artt. 4, 8 cc. 8, 9, 10, 11 ed artt. 23, 24, 30 delle N.A. del PAI, assegnando alle medesime la classe di pericolosità Hi1; nell'ambito del P.S.F.F. sono state mappate aree inondabili con tempo di ritorno pari a due anni e pertanto su tali aree si applicano, quali Norme di Salvaguardia, i vincoli di cui agli artt. 4, 8 cc. 8, 9, 10, 11 ed artt. 23, 24, 27 delle N.A. del P.A.I., assegnando alle medesime la classe di pericolosità (Hi4); per i fiumi, torrenti e corsi d'acqua o tratti degli stessi, non indagati dal P.A.I. (approvato con Decreto del Presidente della G.R. n. 67 del 10.07.2006, pubblicato nel B.U.R.A.S. n. 25 del 25.02.2013),), sono adottate le aree a pericolosità idraulica perimetrate dallo studio P.S.F.F. e le corrispondenti misure di salvaguardia previste dalle vigenti N.A. del P.A.I. agli artt. n. 4, n. 8 (commi 8, 9, 10 e 11), nn. 23, 24, 27, 28, 29 e n. 30;

- per i fiumi, torrenti e corsi d'acqua o tratti degli stessi, studiati dal P.A.I. (approvato con Decreto del Presidente della G.R. n. 67 del 10.07.2006, pubblicato nel B.U.R.A.S.

n. 25 del 29.07.2006) e successivamente dal P.S.F.F., sono adottate, in aggiunta alle aree già perimetrate dal P.A.I., le aree a pericolosità idraulica perimetrate dallo studio P.S.F.F. e le corrispondenti misure di salvaguardia previste dalle vigenti N.A. del P.A.I. agli artt. n. 4, n. 8 (commi 8, 9, 10 e 11), nn. 23, 24, 27, 28, 29 e n. 30, fino all'approvazione finale dello studio P.S.F.F. ed alla successiva variante generale al P.A.I. Nei casi di sovrapposizione tra aree a pericolosità idraulica perimetrate dal vigente P.A.I. e dal P.S.F.F., e relative a portate con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni, si dovrà fare riferimento cautelativamente all'area a maggiore pericolosità idraulica ed alle relative prescrizioni imposte dalle Norme di Attuazione del P.A.I.;

- per i fiumi, torrenti e corsi d'acqua o tratti degli stessi, studiati dalla variante al P.A.I. C.I.N.S.A. parte idraulica – bacini nn. 5 e 6 e successivamente dal P.S.F.F., sono confermate le aree a pericolosità idraulica perimetrate nell'ambito della variante C.I.N.S.A. – bacini nn. 5 e 6 approvata con Decreto n. 81 in data 18.07.2011 del Presidente della Regione Autonoma della Sardegna, relative a portate con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni. Per le aree a pericolosità idraulica perimetrate dal P.S.F.F. con il solo criterio geomorfologico e per le portate con tempo di ritorno di 500 anni (Hi1), che non sono state evidenziate nell'ambito della variante al P.A.I. del C.I.N.S.A. – bacini nn. 5 e 6, sono imposte le misure di salvaguardia di cui ai vincoli previsti dalle vigenti N.A. del P.A.I. negli artt. 4, 8 cc. 8, 9, 10, 11 ed artt. 23, 24, 30, assegnando alle medesime la classe di pericolosità (Hi1);
- per il Rio San Girolamo, studiato dal PSFF e dalla successiva variante al P.A.I., approvata con Decreto n. 128 in data 16.11.2011 del Presidente della Regione Autonoma della Sardegna, sono confermate le aree a pericolosità idraulica perimetrate nell'ambito della medesima variante approvata con Decreto n. 128 in data 16.11.2011 del Presidente della R.A.S., relative alle portate con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni;
- per il Flumini Mannu a Samassi, studiato dal PSFF e dalla successiva variante al P.A.I., approvata in via definitiva dal Comitato Istituzionale con Delibera n. 4 in data 03.04.2013, sono confermate le aree a pericolosità idraulica perimetrate nell'ambito della medesima variante, relative alle portate con tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Nella relazione monografica di sub-bacino, al capitolo “Delimitazione delle fasce fluviali”, si definiscono le tipologie di 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 (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).

Ai sensi della Delibera n. 1 del 20/06/2013, art. 3 punto 2) sulle aree delle fasce fluviali mappate dal PSFF si applicano i vincoli sopradetti delle Norme di attuazione del PAI.

- *Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna nonché delle altre opere interferenti". (Art. 2 delle Norme di Attuazione del PAI).*

4 ANALISI IDROLOGICA

4.1 Considerazioni sul tempo di ritorno

La grandezza comunemente presa a riferimento come valore di progetto (per es., per valutare il grado di protezione dagli allagamenti offerto dalla rete di drenaggio) è il tempo di ritorno Tr della portata di dimensionamento. Tramite tale espressione si indica il numero di anni in cui il superamento del valore assegnato avviene mediamente una volta; alternativamente, il tempo di ritorno rappresenta il numero di anni che in media separano il verificarsi di due eventi di entità eguale o superiore alla soglia assegnata.

Il tempo di ritorno da assumere alla base della progettazione deve essere da un lato sufficientemente elevato da garantire il buon funzionamento della rete idraulica, e dall'altro accuratamente ponderato onde consentire un dimensionamento non eccessivamente oneroso. Si tratta, quindi, di trovare il giusto compromesso tecnico-economico.

La scelta del valore del tempo di ritorno da utilizzare nell'analisi idraulica è stata eseguita sulla base della tipologia e dell'importanza strategica e funzionale delle singole opere in progetto, basandosi su un'attenta analisi del cosiddetto rischio d'insufficienza.

Si definisce rischio associato ad una certa portata la probabilità che la portata stessa sia superata almeno una volta in un numero prefissato di anni; pertanto il rischio dipende dall'estensione del periodo considerato e dalla portata in esame, ovvero dal suo tempo di ritorno. Se il dimensionamento dell'opera è stato condotto con riferimento alla portata $Q(Tr)$ di Tr anni di tempo di ritorno, il rischio $R_N[Q(Tr)]$, ovvero la probabilità che, durante N anni di funzionamento, l'opera risulti insufficiente una o più volte, è esprimibile come:

$$R_N[Q(Tr)] = 1 - \left(1 - \frac{1}{Tr}\right)^N$$

Le tabelle seguenti forniscono i valori del rischio di insufficienza di un'opera dimensionata sulla base di un valore di portata corrispondente ad un tempo di ritorno di 25 anni, 50 anni e 200 anni.

Anni di vita dell'opera N [anni]	Rischio d'insufficienza R_N [%]
5	18.5
10	33.5
20	55.8
25	64.0
50	87.0
100	98.3
200	99.9

Tabella 1 - Curve di possibilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno di 25 anni

Anni di vita dell'opera N [anni]	Rischio d'insufficienza R_N [%]
5	9.6%
10	18.3%
20	33.2%
25	39.7%
50	63.6%
100	86.7%
200	98.2%

Tabella 2 - Curve di possibilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno di 50 anni

Anni di vita dell'opera N [anni]	Rischio d'insufficienza R _N [%]
5	2.5%
10	4.9%
20	9.5%
25	11.8%
50	22.2%
100	39.4%
200	63.3%

Tabella 3 - Curve di possibilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno di 200 anni

In base a quanto sopra riportato risulta che il verificarsi di uno o più crisi di una rete di drenaggio durante il suo periodo di funzionamento sia un evento alquanto probabile, quasi certo. Ciò peraltro corrisponde ad una precisa scelta progettuale, in quanto il contenimento del rischio di fallanza della rete comporta la necessità di incrementare sensibilmente il tempo di ritorno di progetto, con i conseguenti (ed in genere inaccettabili) incrementi delle dimensioni ed aggravii dei costi delle canalizzazioni.

Discende da ciò che nei calcoli di verifica o dimensionamento occorre preliminarmente stabilire quale rischio d'insufficienza si vuole accettare. In altri termini occorre fissare il valore del tempo di ritorno T_r di progetto.

La scelta di T_r discende da un compromesso tra l'esigenza di contenere la frequenza delle esondazioni e la necessità di contenere le dimensioni dei collettori e comunque delle strutture di controllo delle piene entro limiti economicamente accettabili e compatibili con i vincoli esistenti nel territorio interessato.

Nel progetto sono stati adottati i seguenti valori di tempi di ritorno:

- 25 anni per il dimensionamento della rete di drenaggio della pavimentazione stradale e degli elementi marginali dell'idraulica di piattaforma;
- 50 anni per il dimensionamento dei fossi di guardia e/o canali di gronda
- 200 anni per il dimensionamento delle sistemazioni idrauliche/deviazioni del reticolo principale dei tombini idraulici di attraversamento.

4.2 Caratteristiche pluviometriche

Nel presente lavoro è stata condotta un'analisi a scala locale con la quale si intende il procedimento di stima delle massime precipitazioni su un bacino idrografico basato sull'elaborazione statistico-probabilistica di serie storiche di massimi annuali misurati in un punto specifico quale il pluviografo, e quindi a valore locale, che vengono poi estrapolati con diverse tecniche all'intera superficie del bacino.

Come noto, nel processo di dimensionamento di un'opera idraulica occorre considerare le portate che comportano la crisi del sistema, ovvero fare riferimento alle portate che si originano dagli eventi pluviometrici di breve durata e forte intensità. Per definire le altezze di precipitazione corrispondenti a tali eventi, vengono generalmente utilizzate le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (*LSPP*), elaborate a partire dalle registrazioni delle altezze di pioggia effettuate nelle stazioni pluviometriche. Tali curve esprimono la relazione fra la durata della pioggia t e la relativa altezza di precipitazione h per un assegnato valore del tempo di ritorno T .

Per la definizione delle precipitazioni è stato preso come riferimento l'analisi regionale sulle precipitazioni breve ed intense nel progetto "VAPI Sardegna".

Secondo tale procedura la pioggia indice $\mu(d)$ di durata d (ovvero la media dei massimi annui della pioggia di durata d) può essere espressa in forma monomia:

$$\mu = a_1 d^{n_1}$$

dove a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia media dei massimi annui giornalieri o pioggia indice giornaliera μ_g :

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

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log_{10}(\mu_g)$$

L'altezza di pioggia $h_T(d)$ di durata d (in ore) con assegnato tempo di ritorno T (in anni) si ottiene moltiplicando la pioggia indice $\mu(d)$ per un coefficiente di crescita $K_T(d)$:

$$h_T(d) = \mu(d) * K_T(d) = a_1 a_2 * d^{n_1 + n_2}$$

dove a_2 e n_2 si determinano in funzione della sottozona omogenea (SZO) di appartenenza.

La Sardegna è suddivisa in 3 sottozone:

a) Per tempi di ritorno $T \leq 10$ anni:

SZO 1 $a_2 = 0.66129 + 0.85935 * \log_{10}(T)$; $n_2 = -1.8438 * 10^{-4} - 1.5339 * 10^{-2} * \log_{10}(T)$

SZO 2 $a_2 = 0.64597 + 0.89777 * \log_{10}(T)$; $n_2 = -5.6073 * 10^{-3} + 7.0047 * 10^{-4} * \log_{10}(T)$

SZO 3 $a_2 = 0.62235 + 0.95656 * \log_{10}(T)$; $n_2 = -2.4882 * 10^{-2} + 4.5884 * 10^{-2} * \log_{10}(T)$

b) Per tempi di ritorno $T \geq 10$ anni:

SZO 1

$$a_2 = 0.4642 + 1.0376 * \log_{10}(T)$$

$$n_2 = -0.18448 + 0.2296 * \log_{10}(T) - 3.3216 * 10^{-2} * (\log_{10}(T))^2 \quad t \leq 1 \text{ ora}$$

$$n_2 = -1.0469 * 10^{-2} - 7.8505 * 10^{-3} * \log_{10}(T) \quad t \geq 1 \text{ ora}$$

SZO 2

$$a_2 = 0.43797 + 1.089 * \log_{10}(T)$$

$$n_2 = -0.18722 + 0.24862 * \log_{10}(T) - 3.6305 * 10^{-2} * (\log_{10}(T))^2 \quad t \leq 1 \text{ ora}$$

$$n_2 = -6.3887 * 10^{-3} - 4.542 * 10^{-3} * \log_{10}(T) \quad t \geq 1 \text{ ora}$$

SZO 3

$$a_2 = 0.40926 + 1.1441 * \log_{10}(T)$$

$$n_2 = -0.1906 + 0.264438 * \log_{10}(T) - 3.8969 * 10^{-2} * (\log_{10}(T))^2 \quad t \leq 1 \text{ ora}$$

$$n_2 = 1.4929 * 10^{-2} + 7.1973 * 10^{-3} * \log_{10}(T) \quad t \geq 1 \text{ ora}$$

La pioggia indice giornaliera μ_g è stata determinata mediando i valori dei massimi annuali registrati nelle stazioni di misura pluviometriche.

Nota la durata critica, le formule permettono di calcolare l'altezza di pioggia lorda.

Le opere in progetto ricadono all'interno della sottozona SZ1 come si può desumere dalla Fig. 2 seguente:

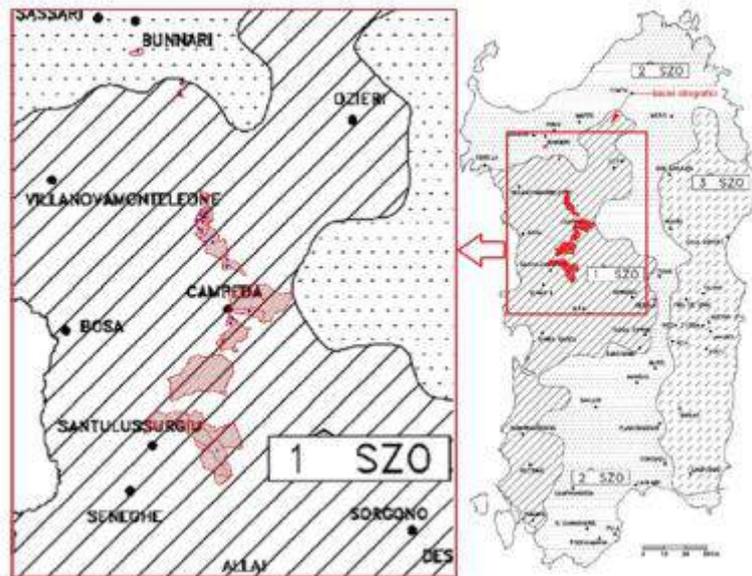


Figura 2 - Individuazione della sottozona di appartenenza

Per determinare il valore della pioggia indice giornaliera μ_g è stata considerata la stazione pluviometrica più vicina a ciascun bacino analizzato. L'analisi della serie storica dei massimi annuali di precipitazione relativi a ciascuna stazione pluviometrica ha fornito il valore della pioggia indice giornaliera. Nell'immagine seguente sono riportati i bacini idrografici e le stazioni di riferimento considerate:

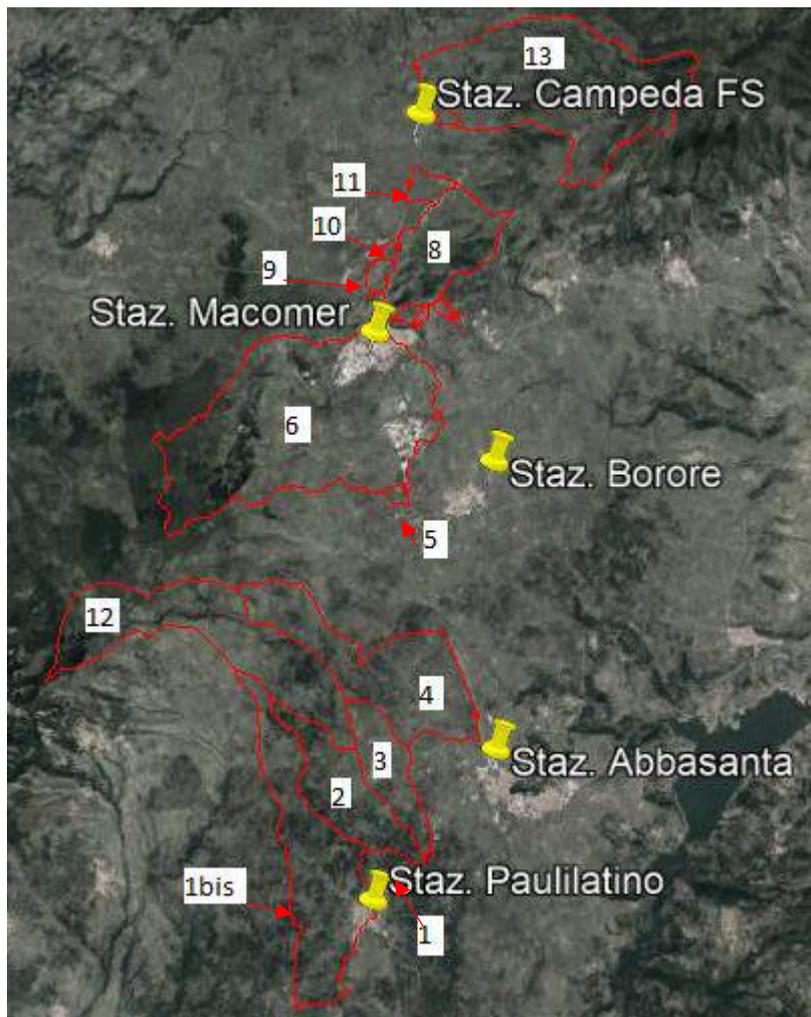


Figura 3 – Stralcio planimetrico con indicazione dei bacini idrografici e stazioni pluviometriche

Di seguito, sono riportati in tabella i valori dei parametri necessari alla stima dell'altezza di pioggia.

BACINO	Prog.	Staz. pluviometrica	TR [anni]	μ_g [mm]	a1 [mm/h]	a2 [mm/h]	n1 [-]	$t \leq 1$ h	$t \geq 1$ h
								n2 [-]	n2 [-]
1	121+300	Paulilatino	200	50,61	20,78	2,85	0,318	0,167	-0.028
1 bis	115+105	Paulilatino	200	50,61	20,78	2,85	0,318	0,167	-0.028
2	122+025	Abbasanta	200	55,96	21,50	2,85	0,338	0,168	-0.029
3	122+400	Abbasanta	200	55,96	21,50	2,85	0,338	0,168	-0.029
4	127+895	Abbasanta	200	55,96	21,50	2,85	0,338	0,168	-0.029
5	135+770	Borore	200	50,08	20,70	2,85	0,316	0,168	-0.029
6	138+600	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
7	143+260	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
7d	143+600	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
7a-7c	145+560	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
8	145+900	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
9	146+700	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
10	148+140	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
11	151+080	Macomer	200	58,44	21,83	2,85	0,348	0,168	-0.029
12	-	Abbasanta	200	55,96	21,50	2,85	0,338	0,168	-0.029
13bl	153+370	Campeda FS	200	56.34	21.55	2.85	0.340	0,168	-0.029
13blI	153+190	Campeda FS	200	56.34	21.55	2.85	0.340	0,168	-0.029
13	154+495	Campeda FS	200	56.34	21.55	2.85	0.340	0.168	-0.029

Tabella 4 – Valori dei parametri delle curve di pioggia relativi ai bacini idrografici analizzati

4.3 Analisi idrografica

Al fine di dimensionare correttamente ciascun manufatto in progetto, si è anzitutto proceduto con l'individuazione e la caratterizzazione dei bacini idrografici dei singoli corsi d'acqua.

I bacini sono stati tracciati fino alla sezione di chiusura opportunamente posizionate, anche in virtù della presenza di opere idrauliche esistenti quali presenza di eventuali opere di regolazione della portata, etc.

Per tutti i bacini oggetto di studio sono stati definiti i principali elementi che caratterizzano le unità idrografiche dei bacini e i conseguenti parametri geografici, fisiografici e morfometrici, quali ad esempio:

- Superficie del bacino A (km²);
- Altimetria (m. s.l.m.):
 - altezza massima (H_{max});
 - altezza media (H_{media});
 - altezza alla sezione di chiusura (H_0);
- Lunghezza del percorso idraulicamente più sfavorito e/o dell'asta principale (km);
- Pendenza media del bacino (i_b) e dell'asta principale (i_a) (%).

Le caratteristiche morfologiche di ciascun bacino sono state valutate attraverso l'elaborazione del modello DTM 10 m della Regione Sardegna, tramite software GIS. I metadati sono stati scaricati dal Geoportale della Regione Sardegna.

(<http://www.sardegna.geoportale.it/areetematiche/modellidigitalidielevazione/>).

BACINO	Prog.	A [km ²]	ib [%]	L asta [km]	ia [%]	H ₀ [mslm]	H _{MAX} [mslm]	H _{MED} [mslm]	H _{MAX ASTA} [mslm]
1	121+300	2.07	4.50	2.70	1.82	275.19	325.16	304.25	324.21
1 bis	115+105	19.83	4.17	13.34	2.24	179.02	503.80	304.00	477.95
2	122+025	10.45	2.42	5.61	1.05	280.80	451.23	330.00	339.67
3	122+400	6.53	9.10	4.69	1.10	283.09	392.82	335.00	334.79
4	127+895	18.23	3.65	11.00	1.89	324.93	588.37	378.50	533.29
5	135+770	0.40	0.76	0.56	0.83	430.33	436.27	434.00	434.99
6	138+600	40.92	9.08	11.00	2.91	392.96	801.09	559.00	713.70
7	143+260	0.12	23.83	0.76	26.64	548.66	789.65	665.00	752.43
7d	143+600	0.23	33.24	0.68	31.61	559.95	790.35	680.00	774.91
7a-7c	145+560	0.51	16.65	1.12	14.67	557.39	787.35	608.00	721.85
8	145+900	10.07	13.32	6.60	3.75	550.10	869.45	698.00	797.90
9	146+700	0.77	15.93	1.16	3.92	589.58	694.70	633.00	635.09
10	148+140	0.31	11.59	0.44	7.33	636.20	694.47	660.00	668.52
11	151+080	1.25	5.38	1.19	2.24	653.33	741.44	668.00	680.11
12	-	20.77	7.46	13.11	3.01	337.79	917.31	567.00	730.00
13bl	153+370	0.47	2.50	1.06	2.00	653.88	681.21	666.00	675.00
13blI	153+190	0.17	2.30	0.76	2.00	655.00	670.93	659.00	669.95
13	154+495	30.26	11.37	12.68	3.02	643.42	1110.20	854.00	1026.10

Tabella 5 – Riepilogo delle caratteristiche geometriche dei bacini contribuenti

4.3.1 Caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici

Le caratteristiche morfologiche di ciascun bacino sono state valutate attraverso l'elaborazione del modello DTM 10 m della Regione Sardegna, tramite software GIS. I metadati sono stati scaricati dal Geoportale della Regione Sardegna.

(<http://www.sardegna.geoportale.it/areetematiche/modellidigitalidielevazione/>).

Si riporta, di seguito, a titolo esemplificativo, la procedura per il calcolo delle caratteristiche morfologiche del bacino 6. In maniera analoga sono stati indagati i restanti bacini.

Il bacino analizzato, di cui si riporta lo sviluppo nel seguito, è quello interessato dal Riu Murtazzolu alla progressiva 138+600.

Dal modello Digital Elevation Model (DEM) ufficiale con passo 10 m, è stato possibile ricostruire i pluvi e displuvi del bacino, dunque il tracciato del Riu Murtazzolu ed i confini del bacino. Ciò noto, si è misurata l'area A, l'altitudine massima H_{MAX}, l'altitudine della sezione di chiusura H₀ nonché la lunghezza dell'asta fluviale, l'altitudine massima dell'asta H_{MAX ASTA} e la pendenza media dell'asta i_a, essendo:

$$i_a = \frac{H_{MAX ASTA} - H_0}{L_{ASTA}}$$

La pendenza media del bacino i_b è stata invece determinata in funzione della lunghezza totale delle curve di livello entro il bacino L_t [m], dall'equidistanza delle curve di livello e [m], della superficie del bacino A [m²], attraverso l'equazione proposta da Chow nel 1964:

$$i_b = 100 \frac{L_t \cdot e}{A}$$

Nel caso in esame L_t = 371529 m, e = 10 m, A = 40920540 m², i_b = 9.08%

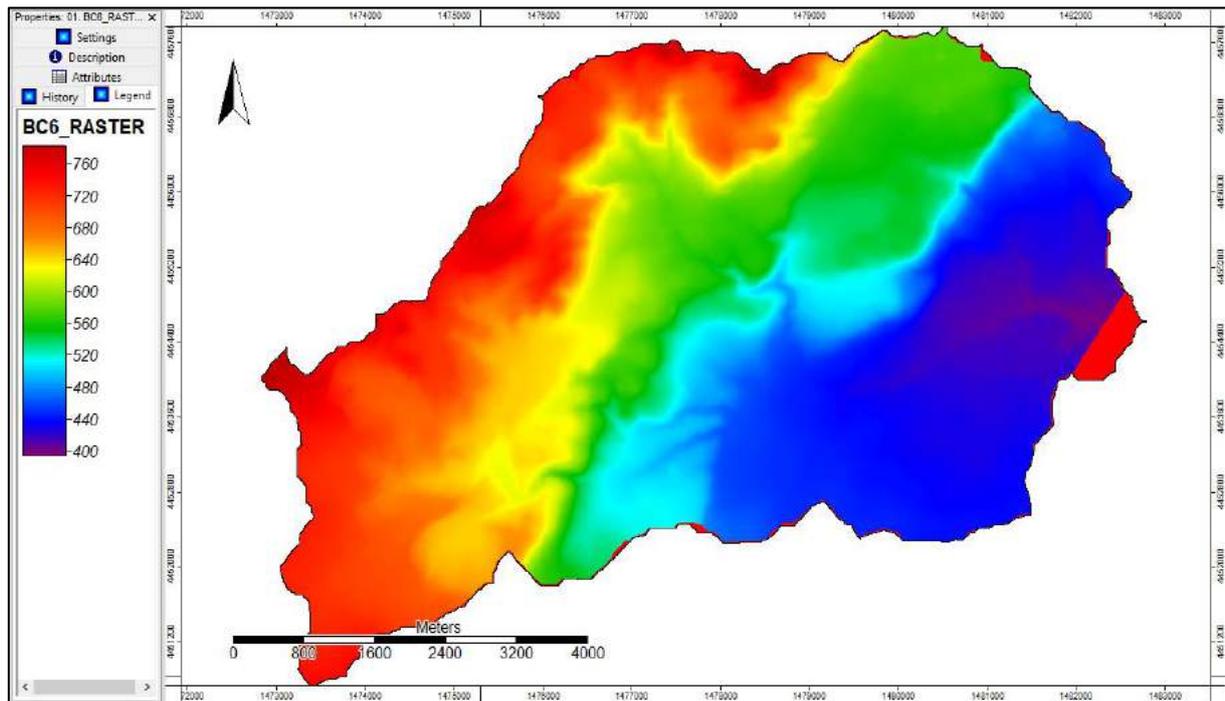


Figura 4 – DTM del bacino 6 – Riu Murtazzolu

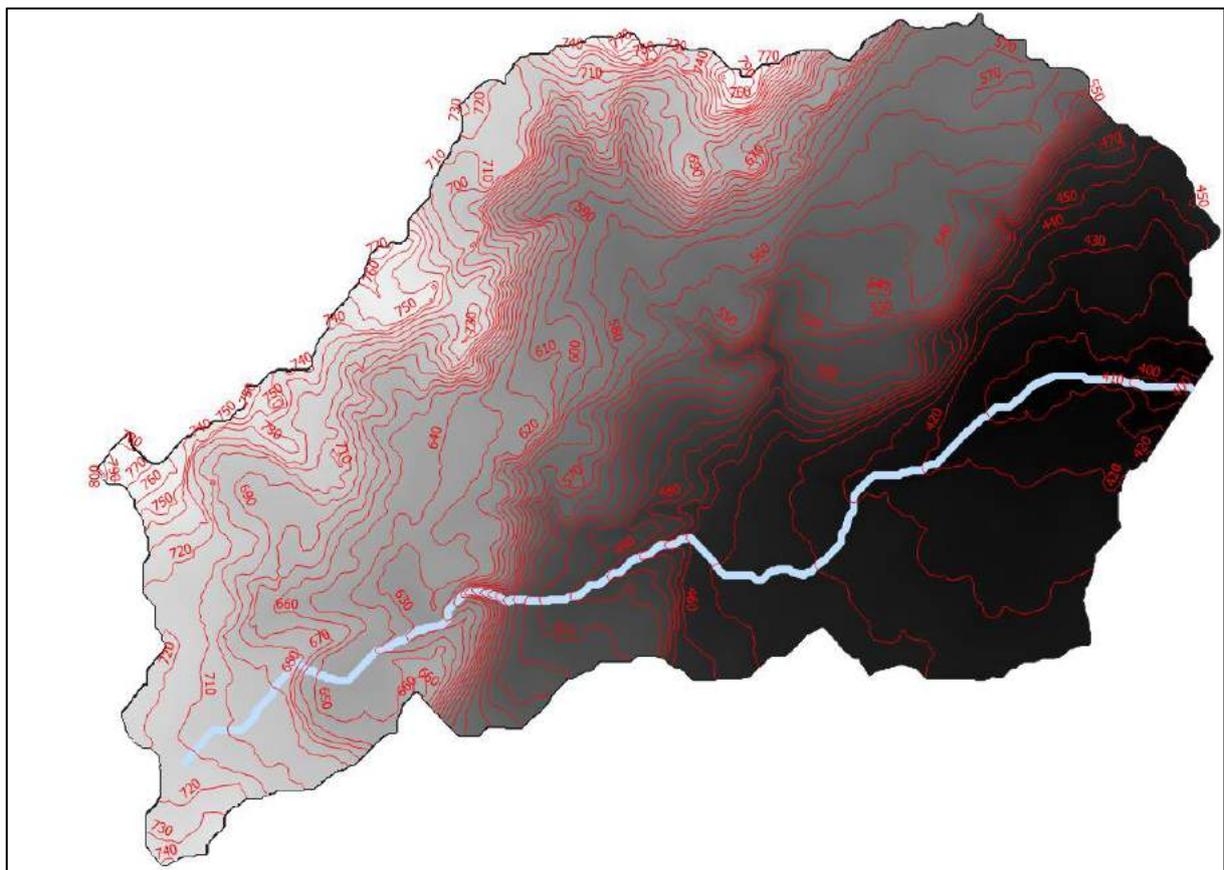


Figura 5 – Curve di livello ad equidistanza 10 m del bacino 6 – Riu Murtazzolu

Per il calcolo dell'altezza media è necessario ricostruire la curva ipsografica. La curva ipsografica rappresenta la distribuzione delle superficie sottese nelle diverse fasce altimetriche in funzione del perimetro del bacino idrografico. L'elevazione media del bacino è pari a 559 m s.l.m.

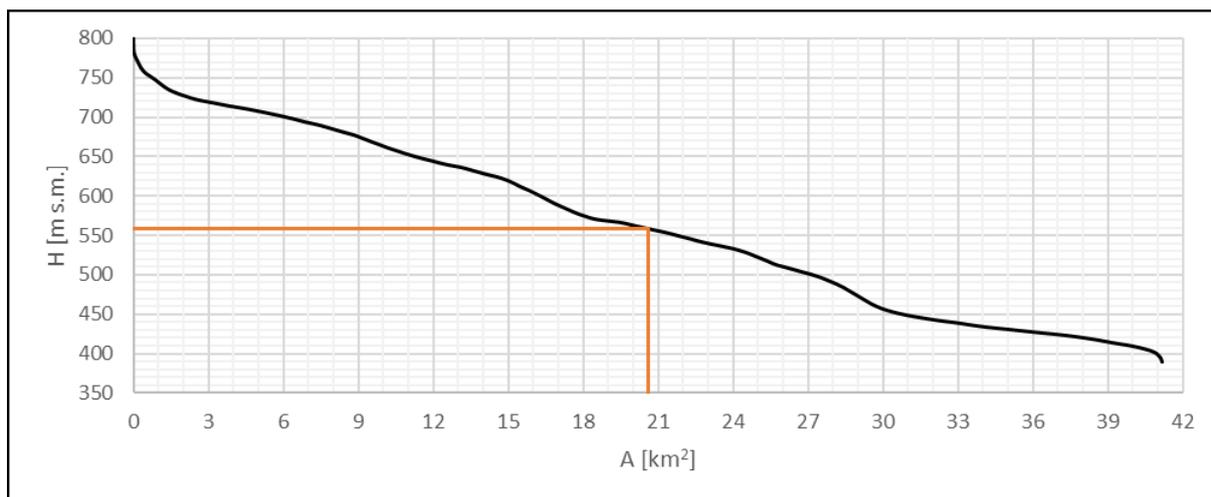


Figura 6 – Curva ipsografica del bacino 6 – Riu Murtazzolu

4.4 Modello di trasformazione afflussi-deflussi: metodo cinematico

Il calcolo della portata di piena è stato effettuato utilizzando il modello di trasformazione afflussi-deflussi del metodo del Curve Number (CN), introdotto dal Soil Conservation Service (SCS). La formula empirica del Soil Conservation Service (SCS) si basa sulle seguenti assunzioni:

- I coefficienti di deflusso derivano dall'analisi del metodo SCS-CN;
- La durata della pioggia netta è inferiore a 0.133 tc;
- La durata della pioggia è inferiore a 0.2 volte il tempo di crescita dell'onda di piena.

In queste condizioni il valore della portata al colmo segue la relazione:

$$Q_c = 0.28 \cdot h_N \cdot \frac{A}{t_p} \text{ [m}^3\text{/s]}$$

in cui:

- h_N è il volume netto di pioggia per unità di superficie ricavata dall'espressione dell'SCS-CN;
- A è la superficie del bacino espressa in km²;
- t_p è il tempo di crescita dell'onda di piena (espressa in ore) dato dalla seguente espressione:

$$t_p = \frac{D}{2} + t_{lag}$$

- D è la durata della pioggia;
- t_{lag} è l'intervallo di tempo tra il centroide della pioggia ed il colmo; assumendo D pari a 0.133Θ e t_{lag} pari a 0.6Θ , dove Θ indica la durata critica della pioggia. si ottiene la relazione:

$$t_p = \frac{0.133 \Theta}{2} + 0.6 \Theta = 0.6665 \Theta$$

4.4.1 Determinazione della durata critica

La durata critica di pioggia Θ può considerarsi, come suggerito dal PSFF, somma di due contributi. La prima delle quali è da attribuirsi al tempo di formazione del deflusso superficiale (t_r) e la seconda al tempo di corrivazione (t_c).

Il primo termine t_r esprime il tempo in cui si forma il deflusso superficiale prima che inizi a scorrere sul bacino, dipende dalla capacità di assorbimento del suolo, dall'intensità e durata della pioggia lorda. Per piccoli bacini si assume che esso non sia mai superiore al 50% del tempo di corrivazione, quindi, assumendo al massimo $t_r = 0.50 t_c$. si ottiene:

$$\Theta = 0.50 t_c + t_c = 1.50 t_c.$$

4.4.2 Determinazione del tempo di corrivazione

Il tempo di corrivazione valutato in un determinato punto di una rete di drenaggio naturale è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame. Esso varia in funzione delle caratteristiche topografiche, pedologiche e geologiche del bacino e degli usi del suolo attuati sullo stesso.

Il tempo di corrivazione t_c , espresso in ore, si determina essenzialmente con l'utilizzo di diverse formule empiriche, quelle utilizzate nella seguente applicazione sono:

- Formula di Ventura:

$$t_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_a}}$$

- Formula di Pasini:

$$t_c = \frac{0.108 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i_a}}$$

- Formula di Viparelli:

$$t_c = \frac{L}{3.6 \cdot V}$$

- Formula di Giandotti (non applicabile al caso in esame a causa della modesta estensione dei bacini):

$$t_c = \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (Q_{med} - Q_{min})^{0.5}}$$

- Formula di Kirpick:

$$t_c = 0.000325 \cdot (L \cdot 1000)^{0.77} \cdot i_b^{-0.385}$$

- Formula del Soil Conservation Service (SCS):

$$t_c = 1.67 \cdot 2.587 \cdot \frac{L^{0.8}}{1900 \cdot i_b^{0.5}} \cdot \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}$$

dove:

- A [Km²] è l'area del bacino idrografico;
- L [m] è la lunghezza dell'asta principale (nella Formula di Pasini la lunghezza dell'asta è in km);
- CN è il Curve Number;
- Q_{max} [mslm] è la quota massima del bacino idrografico;
- Q_{med} [mslm] è la quota media del bacino idrografico;
- Q_{min} [mslm] è la quota minima del bacino idrografico;
- D_{max} [Km] è la distanza massima tra lo spartiacque e la sezione di chiusura;
- i_b [m/m] è la pendenza media del bacino idrografico;
- i_a [m/m] è la pendenza media dell'asta principale;
- V [m/s] è la velocità media di deflusso all'interno dei canali assunto pari ad 1 m/s.

Nel caso in esame, il tempo di corrivazione adottato è quello calcolato con la metodologia del SCS-Curve Number.

4.4.3 Determinazione dell'altezza di pioggia netta

Il valore del coefficiente di afflusso è stato calcolato con il metodo SCS-Curve Number che permette di ricavare la pioggia netta.

Il metodo del SCS-Curve Number consiste principalmente nel determinare la quantità di pioggia al netto delle perdite dovute alla permeabilità del terreno ed alle perdite iniziali.

Secondo tale metodo, il volume specifico (altezza) di pioggia netta h_N, dall'inizio dell'evento meteorico fino all'istante generico t, risulta legato al volume specifico (altezza) di pioggia lorda h, caduta nel medesimo intervallo temporale dalla relazione:

$$h_N = \frac{(h - I_a)^2}{h + S - I_a} \text{ [mm]}$$

nella quale S è il massimo volume specifico di acqua che il terreno può trattenere in condizioni di saturazione, I_a è la cosiddetta perdita iniziale, vale a dire quel valore limite di altezza di pioggia che il terreno può trattenere nella fase iniziale del fenomeno, senza che si abbia produzione di deflusso. Con questo parametro si tiene conto anche di quel complesso di fenomeni, quali l'intercettazione da

parte della vegetazione e l'accumulo nelle depressioni superficiali del terreno, che ritardano il verificarsi del deflusso superficiale.

L'altezza di pioggia lorda h , calcolata per la durata critica di ogni bacino, viene raggugliata all'area tramite il parametro r , secondo la formulazione del VAPI, che fa riferimento al Flood Studies Report:

$$r = 1 - (0.0394 A^{0.354})\theta^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A < 20 \text{ km}^2$$
$$r = 1 - (0.0394 A^{0.354})\theta^{(-0.40+0.003832 \ln(4.6-\ln(A)))} \quad \text{per } A > 20 \text{ km}^2$$

dove:

θ è la durata critica della precipitazione;
 A è la superficie del bacino (km^2)

I parametri S (massimo volume specifico) e I_a (perdita iniziale) sono ricavati dalle seguenti relazioni:

$$I_a = 0.2 S$$

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

con S espressa in mm.

L'indice CN è un parametro adimensionale, compreso tra 0 e 100, decrescente in funzione della permeabilità intesa come caratteristica globale del tipo ed uso del suolo. Pertanto, tale parametro è in funzione della natura del suolo (SCS ha classificato i vari tipi di suolo in quattro gruppi (A, B, C, D) sulla base della capacità di assorbimento del terreno nudo a seguito di prolungato adacquamento, del tipo di copertura vegetale e delle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione.

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di imbibimento del terreno all'inizio dell'evento meteorico, il metodo individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC - Antecedent Moisture Condition), a seconda del valore di altezza di pioggia caduta nei cinque giorni antecedenti l'evento meteorico.

A partire dal valore del $CN II$ (CN relativo alla condizione di umidità media) si ricavano dalle relazioni seguenti i valori del CN per le altre due condizioni: AMC I (terreno secco) e AMC III (terreno da mediamente umido a saturo).

$$CN I = \frac{CN II}{2.3 - 0.013 CN II}$$

$$CN III = \frac{CN II}{0.43 - 0.0057 CN II}$$

Il valore del $CN II$ è stato ricavato dalla carta del Curve Number (CN), sviluppata e prodotta dal Dipartimento Geologico dell'ARPAS, è costruito a partire dalle carte al 25000 relative all'uso del suolo 2008 ed alla permeabilità dei substrati e rappresenta l'adeguamento della carta regionale adottata nell'ambito del PSFF e della Regione Sardegna (DGR n.2 del 17/12/2015).

Ai fini del calcolo della portata al colmo si è utilizzato, cautelativamente, la condizione di terreno saturo, ovvero il $CN III$. Sotto le indicazioni dell'AdB è stato adottato in via cautelativa valori del $CN III$ maggiori o uguali di 92.

A titolo esemplificativo si riporta la carta del CN estrapolata per il solo bacino 6.

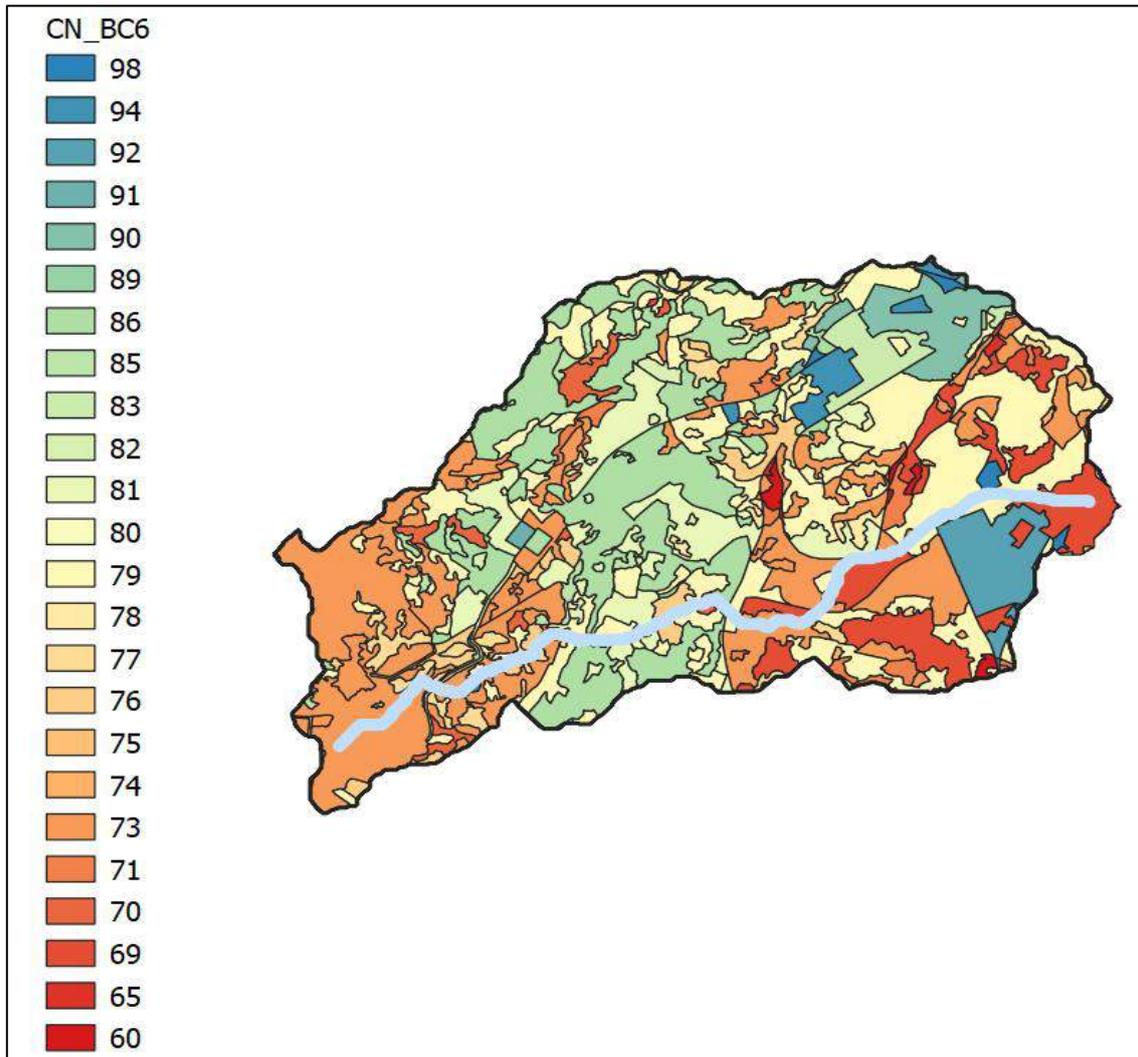


Figura 7 – Estratto della carta del CN per il bacino 6 – Riu Murtazzolu

La metodologia sopra descritta è stata adottata per stimare la portata massima con la quale dimensionare ciascun elemento del sistema di drenaggio.

Riassumendo, la procedura adottata per ciascun bacino si articola nei seguenti passi:

- calcolo del tempo di corrvazione;
- calcolo dell'altezza di pioggia puntuale;
- calcolo della pioggia netta;
- calcolo della portata al colmo.

Alla base della procedura vi sono le seguenti assunzioni:

- la massima piena avvenga per precipitazioni meteoriche con durata pari al tempo di corrvazione del bacino;
- il picco di piena abbia il medesimo tempo di ritorno della precipitazione che lo ha generato;
- la formazione della piena nel bacino ed il suo trasferimento lungo il reticolo idrografico avvengano senza la formazione di significativi invasi. nel caso si formino invasi il colmo di piena calcolato con questa metodologia sarà comunque sovrastimato. a favore di sicurezza.

BACINO	Corso d'acqua	Prog.	A [km ²]	Ventura [h]	Pasini [h]	Kirpich [h]	SCS [h]	Viparelli [h]	tc ADOTTATO [h]
1		121+300	2.07	1.36	1.47	0.47	1.42	1.00	1.42
1 bis	Flumini de Susu	115+105	19.83	3.78	4.63	1.66	3.96	3.71	3.96
2	Riu Pitziu	122+025	10.45	4.01	4.09	1.05	2.59	1.56	2.59
3	Riu Mannu	122+400	6.53	3.09	3.22	0.55	1.09	1.30	1.09
4	Riu Bonorchis	127+895	18.23	3.95	3.71	1.50	3.16	3.06	3.16
5		135+770	0.40	0.88	0.72	0.27	0.68	0.16	0.68
6	Riu Murtazzolu	138+600	40.92	4.77	4.85	1.06	1.92	3.06	1.92
7		143+260	0.12	0.09	0.10	0.09	0.17	0.21	0.17
7d		143+600	0.23	0.11	0.10	0.07	0.14	0.19	0.14
7a-7c		145+560	0.51	0.24	0.23	0.15	0.34	0.31	0.34
8	Riu Chercucchi	145+900	10.07	2.08	2.26	0.62	1.10	1.83	1.10
9		146+700	0.77	0.56	1.13	0.15	0.34	0.32	0.34
10		148+140	0.31	0.26	0.20	0.08	0.13	0.12	0.13
11		151+080	1.25	0.95	0.82	0.23	0.66	0.33	0.66
12	Riu S. Leonardo	-	20.77	3.34	4.03	1.31	2.82	3.64	2.82
13bl		153+370	0.47	0.62	0.61	0.29	0.61	0.29	0.61
13bll		153+190	0.17	0.38	0.39	0.23	0.49	0.21	0.49
13	Riu Temo	154+495	30.26	4.03	4.52	1.08	3.45	3.52	3.45

Tabella 6 – Riepilogo del tempo di corruzione adottato per ciascun bacino idrografico

Si riporta nel seguito la tabella riassuntiva riportante la portata idrologica per tempo di ritorno 200 anni calcolata alla sezione di chiusura per ciascun bacino riportati negli elaborati:

T00ID00IDRCO01A – Corografia dei bacini idrografici (Tav. 1);

T00ID00IDRCO02A – Corografia dei bacini idrografici (Tav. 2).

Nella stessa tabella sono riportate, per confronto, le portate relative al progetto definito.

Bacino	Prog.	Corso d'acqua	Opera	A [km ²]	CN III	CN adottato	Q TR 200 [m ³ /s]
1	121+300		Tombino scatolare 4x2.4 m	2.07	88.26	92.00	16.78
1 bis	115+105	Flumini de Susu	Ponte L=16 m	19.83	88.63	92.00	93.07
2	122+025	Riu Pitziu	Ponte L=23 m	10.45	88.72	92.00	64.38
3	122+400	Riu Mannu	Ponte L=23 m	6.53	90.08	92.00	65.29
4	127+895	Riu Bonorchis	Ponte L=23 m	18.22	89.64	92.00	98.32
5	135+770		Tombino scatolare 3x2 m	0.40	90.58	92.00	4.65
6	138+600	Riu Murtazzolu	Ponte L=40 m	40.92	92.95	92.95	302.16
7	143+260		Tombino scatolare 1.75x1.1	0.17	87.79	92.00	1.90
7d	143+600		Tombino scatolare 2x1.5 m	0.23	87.40	92.00	3.42
7a-7c	145+560		Tombino scatolare 2x2 m	0.51	82.35	92.00	7.15
8	145+900	Riu Chercucchi	Ponte L=27 m	10.07	90.22	92.00	100.84
9	146+700		Tombino scatolare 3x2 m	0.77	83.68	92.00	10.74
10	148+140		Tombino scatolare 2x2 m	0.31	92.76	92.76	5.06
11	151+080		Tombino scatolare 4x2.4 m	1.25	92.80	92.80	16.24
12	-	Riu S. Leonardo	Biforcazione Riu Mannu e	20.77	89.51	92.00	119.73
13bl	153+370		Tombino scatolare 2x2 m	0.47	91.05	92.00	6.06
13bll	153+190		Tombino scatolare 1.5x1.5 m	0.17	91.05	92.00	2.34
13	154+495	Riu Temo	Ponte L=27 m	30.27	89.66	92.00	153.60

Tabella 7 – Riepilogo delle portate calcolate per ciascun bacino idrografico e indicazione delle opere di progetto

5 VALUTAZIONE STATO EROSIVO DEI BACINI IDROGRAFICI

L'integrale ipsometrico (ovvero l'area sottesa dalla curva ipsometrica) è un parametro geomorfologico che assume notevole importanza nella stima dello stato di erosione del bacino. Strahler nella pubblicazione "Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topography" (1952) ed altri Autori in pubblicazioni successive, definiscono l'integrale ipsometrico un'indicazione del ciclo di erosione di un bacino.

Il ciclo di erosione è definito come il tempo totale richiesto per la riduzione di un'unità topografica terrestre al livello base, ovvero al livello più basso (Figura 7). L'intero periodo o il ciclo di erosione può essere suddiviso in tre fasi:

- stadio giovanile del bacino: nella figura – identificato come Inequilibrium (young) stage. In questo caso l'integrale ipsometrico ha un valore maggiore di 0.6 rappresentativo di un bacino altamente suscettibile all'erosione;
- stadio maturo o di equilibrio: nella figura – identificato come Equilibrium (medium) stage. In questo caso l'integrale ipsometrico assume valori compresi tra 0.4 e 0.6;
- stadio senile (monadnock) del bacino: nella figura – identificato come Monadnock phase. In questo caso l'integrale ipsometrico assume valori inferiori allo 0.4 rappresentativo di un bacino completamente stabilizzato.

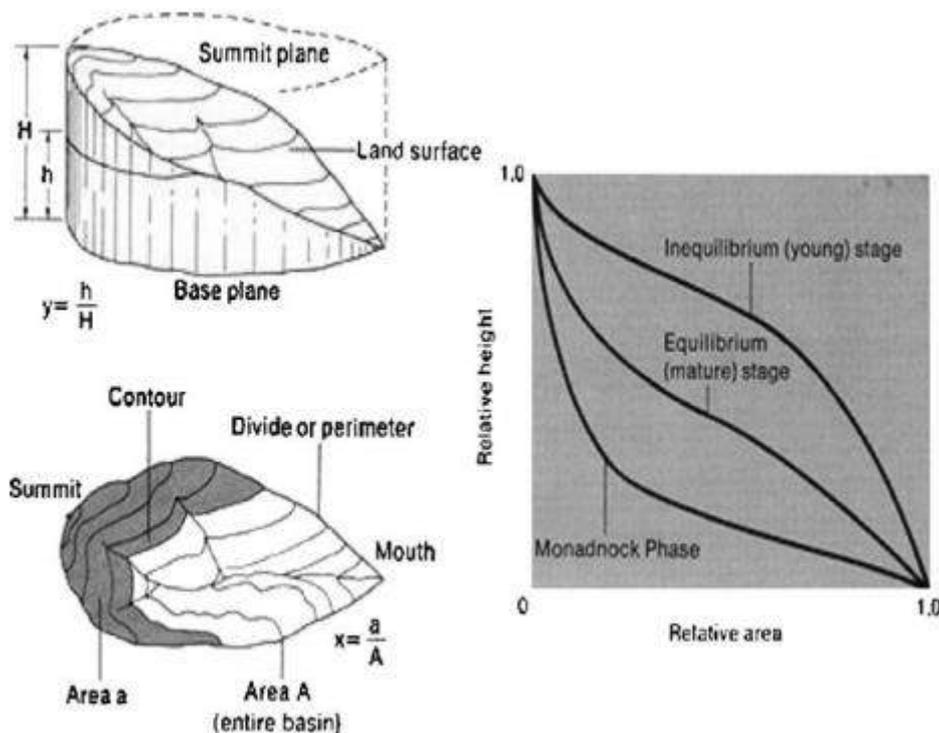


Figura 8 – Schematizzazione della curva ipsometrica (rif. Figura 1 pubblicazione "Hypsometric analysis with a geographic information system" – Wei Luo)

Di seguito si riportano le curve ipsometriche dei bacini idrografici analizzati con indicazione dello stato erosivo degli stessi.

5.1 Riu Bonorchis

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del bacino relativo al Riu Bonorchis.

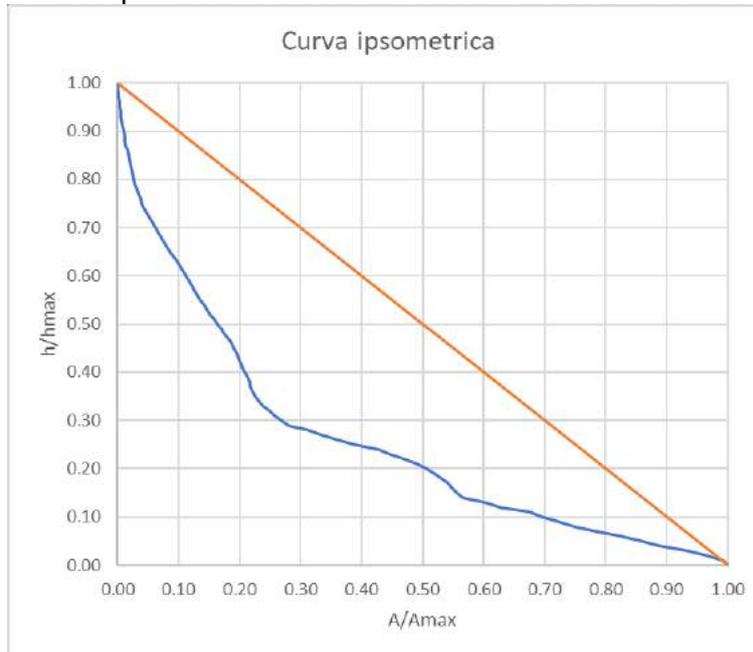


Figura 9 - Curva ipsometrica Riu Bonorchis

Come si evince dal grafico, la curva ipsometrica ha la concavità verso l'alto, in accordo con quanto rappresentato nella Figura 7, ed è rappresentativo di un bacino nello stadio senile (Monadnock phase) ovvero indicativo di uno stadio evolutivo molto avanzato.

L'integrale ipsometrico assume un valore pari a 0.25, minore di 0.4 che è il limite superiore dello stadio senile.

Pertanto, si può assumere che il bacino relativo al Rio Bonorchis è un bacino completamente stabilizzato con un ciclo di erosione esaurito.

5.2 Riu Pitziu

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del bacino relativo al Riu Pitziu.

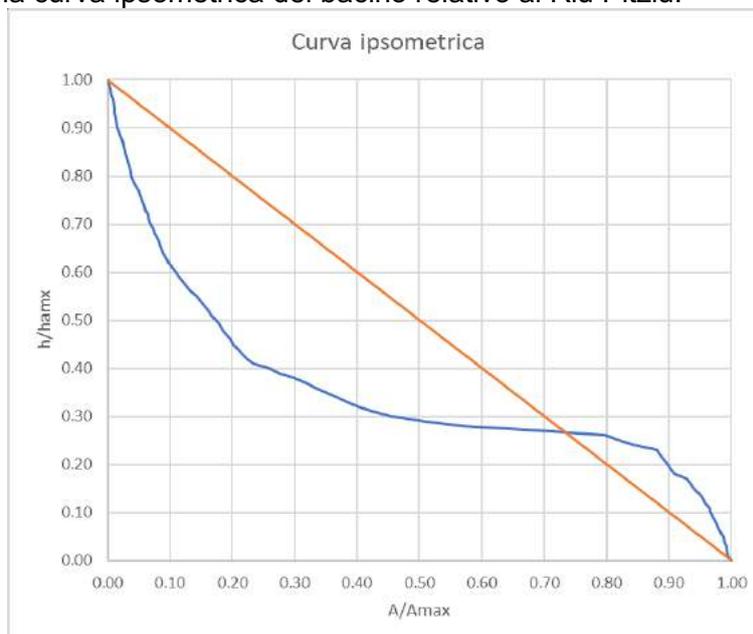


Figura 10 - Curva ipsometrica Riu Pitziu

Come si evince dal grafico l'andamento della curva ipsometrica è a forma di S, ossia caratterizzata da una concavità verso l'alto e da un punto di flesso che tende a spostarsi verso i valori più alti di A/A_{max} al procedere del processo evolutivo.

L'integrale ipsometrico assume un valore pari a 0.35, minore di 0.4 che è il limite superiore dello stadio senile.

Pertanto, si può assumere che il bacino relativo al Rio Pitziu è un bacino completamente stabilizzato con un ciclo di erosione esaurito.

5.3 Riu Mannu

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del bacino relativo al Riu Mannu.

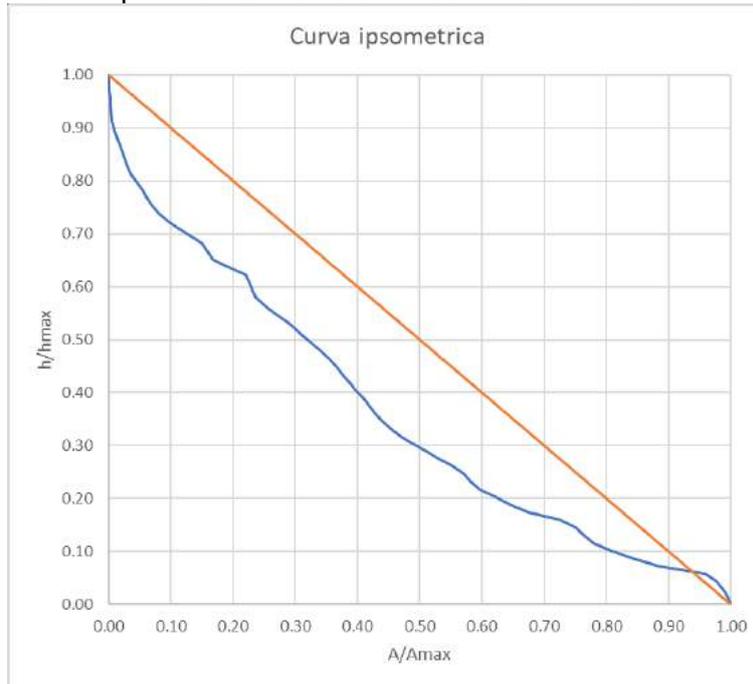


Figura 11 - Curva ipsometrica Riu Mannu

Come si evince dal grafico, la curva ipsometrica ha la concavità verso l'alto, in accordo con quanto rappresentato nella Figura 7, ed è rappresentativo di un bacino nello stadio senile (Monadnock phase) ovvero indicativo di uno stadio evolutivo molto avanzato.

L'integrale ipsometrico assume un valore pari a 0.36, minore di 0.4 che è il limite superiore dello stadio senile.

Pertanto, si può assumere che il bacino relativo al Riu Mannu è un bacino completamente stabilizzato con un ciclo di erosione esaurito.

5.4 Riu Flumini de Susu

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del bacino relativo al Riu Flumini de Susu.

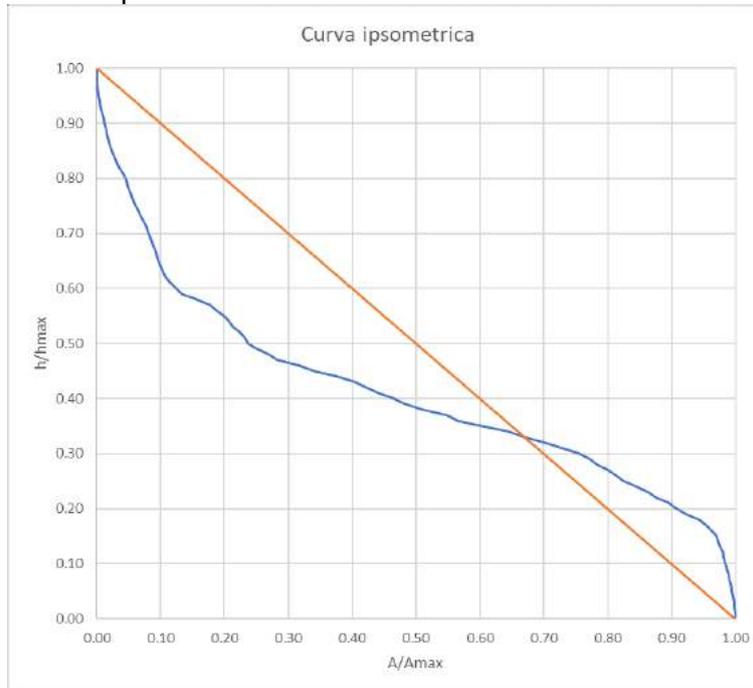


Figura 12 - Curva ipsometrica del Flumini de Susu

Come si evince dal grafico l'andamento della curva ipsometrica è a forma di S, ossia caratterizzata da una concavità verso l'alto e da un punto di flesso che tende a spostarsi verso i valori più alti di A/A_{max} al procedere del processo evolutivo.

L'integrale ipsometrico assume un valore pari a 0.40, uguale a 0.4 che è il limite superiore dello stadio senile, ed è rappresentativo di un bacino nello stadio maturo nella condizione di equilibrio. Pertanto, si può assumere che il bacino relativo al Rio Flumini de Susu è un bacino maturo in equilibrio con un ciclo di erosione marginale e prossimo all'esaurimento.

5.5 Riu Murtazzolu

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del bacino relativo al Riu Murtazzolu.

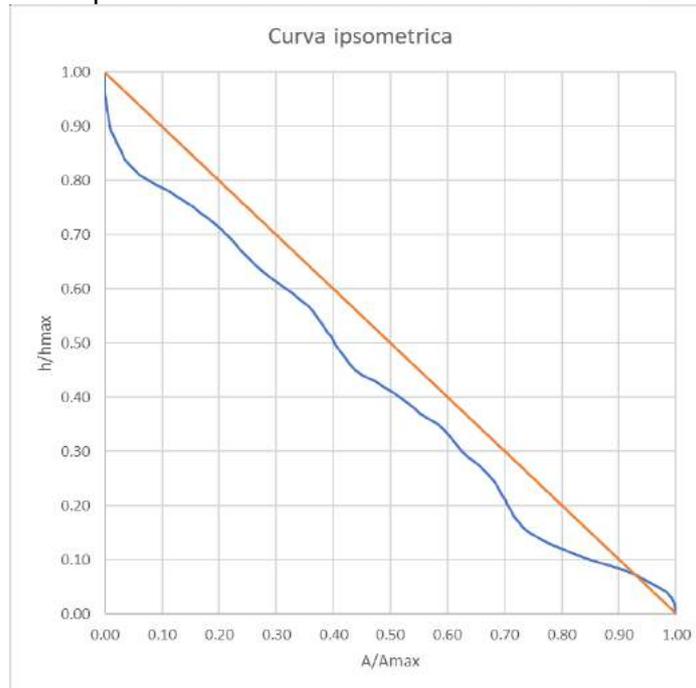


Figura 13 – Curva ipsometrica Riu Murtazzolu

Come si evince dal grafico l'andamento della curva ipsometrica non ha una concavità verso l'alto ben definita, in accordo con quanto rappresentato nella Figura 7, tende ad essere rappresentativo di un bacino maturo nello stato di equilibrio.

L'integrale ipsometrico assume un valore pari a 0.42, di poco maggiore di 0.4 che è il limite superiore dello stadio senile, ed è rappresentativo di un bacino maturo nella condizione di equilibrio.

Pertanto, poiché il valore dell'integrale ipsometrico è prossimo al limite inferiore della condizione di bacino maturo in equilibrio, si può assumere che il bacino relativo al Riu Murtazzolu è un bacino maturo in equilibrio con un ciclo di erosione marginale e prossimo all'esaurimento.

5.6 Riu Temo

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del bacino relativo al Riu Temo.

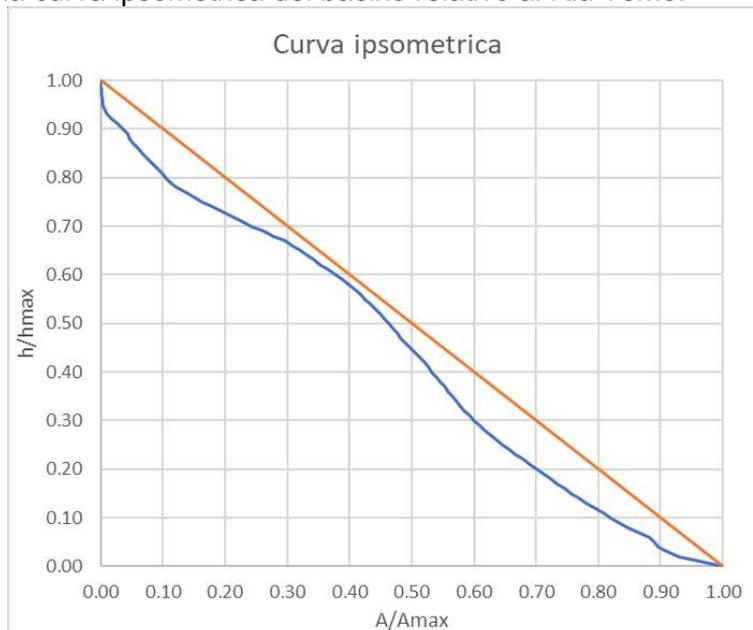


Figura 14 - Curva ipsometrica Riu Temo

Come si evince dal grafico l'andamento della curva ipsometrica non ha una concavità verso l'alto ben definita, in accordo con quanto rappresentato nella Figura 7, tende ad essere rappresentativo di un bacino maturo nello stato di equilibrio.

L'integrale ipsometrico assume un valore pari a 0.43, di poco maggiore di 0.4 che è il limite superiore dello stadio senile, ed è rappresentativo di un bacino maturo nella condizione di equilibrio.

Pertanto, poiché il valore dell'integrale ipsometrico è prossimo al limite inferiore della condizione di bacino maturo in equilibrio, si può assumere che il bacino relativo al Riu Temo è un bacino maturo in equilibrio con un ciclo di erosione marginale e prossimo all'esaurimento.

5.7 Riu Chercucchi

Di seguito si riporta la curva ipsometrica del bacino relativo al Riu Chercucchi.

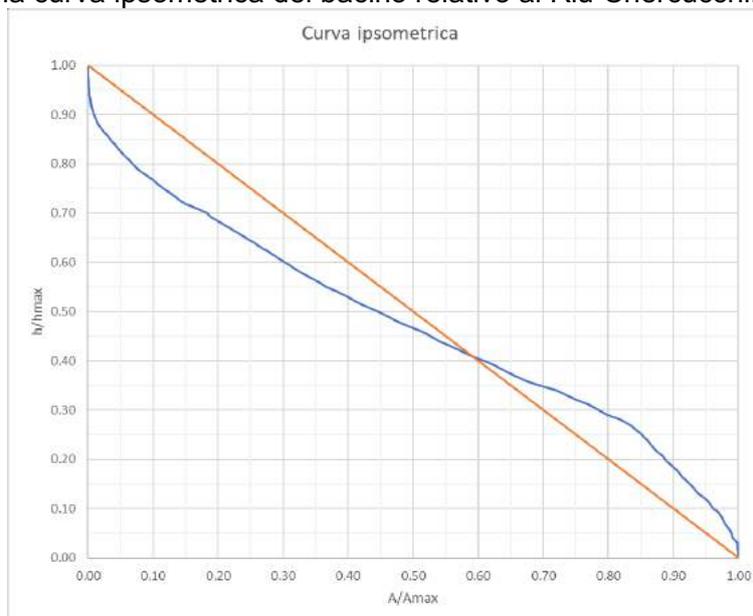


Figura 15 - Curva ipsometrica Riu Chercucchi

Come si evince dal grafico l'andamento della curva ipsometrica è a forma di S, ossia caratterizzata da una concavità verso l'alto e da un punto di flesso che tende a spostarsi verso i valori più alti di A/A_{max} al procedere del processo evolutivo.

L'integrale ipsometrico assume un valore pari a 0.47, maggiore di 0.4 che è il limite superiore dello stadio senile, ed è rappresentativo di un bacino maturo nella condizione di equilibrio.

Pertanto, poiché il valore dell'integrale ipsometrico è prossimo al valore di 0.50, si può assumere che il bacino relativo al Riu Chercucchi è un bacino maturo in equilibrio.

5.8 Risultati dell'analisi morfologica dei bacini con le curve ipsometriche

L'analisi ipsometrica (Strahler, 1965) mette a confronto, nell'ambito di un bacino idrografico, le aree di sezioni planimetriche successive con le relative altitudini rispetto alla quota di chiusura.

I valori delle aree e dei dislivelli, espressi come % dell'area e del dislivello totale del bacino, riportati rispettivamente in ascissa ed ordinata di un diagramma cartesiano, danno origine a delle curve dagli andamenti caratteristici, dette curve ipsometriche.

La forma di tali curve e l'area percentuale della porzione di diagramma sotto le curve stesse (integrale ipsometrico), sono indici importanti delle condizioni di equilibrio morfologico.

I valori dell'integrale ipsometrico sempre minori o di poco superiori il valore 0.4 è rappresentativo di condizioni di equilibrio ed una fase matura di evoluzione.

6 VERIFICA ART. 3 DELLA “DIRETTIVA PER LO SVOLGIMENTO DELLE VERIFICHE DI SICUREZZA DELLE INFRASTRUTTURE ESISTENTI DI ATTRAVERSAMENTO VIARIO O FERROVIARIO DEL RETICOLO IDROGRAFICO DELLA REGIONE SARDEGNA NONCHÉ DELLE OPERE INTERFERENTI” DI CUI ALL’ART. 22 DELLE NA DEL PAI

Trattandosi del progetto di “Adeguamento e messa in sicurezza della SS131”, si ritiene necessario richiamare la “Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Regione Sardegna nonché delle altre opere interferenti” di cui all’art. 22 delle Norme di Attuazione del PAI.

L’art 3 della Direttiva di cui sopra riporta quanto segue:

“...La verifica non è richiesta nel caso in cui le opere siano state progettate, realizzate e collaudate nel rispetto delle previsioni delle N.A. del P.A.I. e nel caso in cui per l’opera di attraversamento si verifichino entrambe le seguenti condizioni:

- *Bacino idrografico sotteso inferiore a 0,5 km²;*
- *Portata idrica inferiore a 10 m³/s, da calcolare con tempo di corrivazione fornito dalla formula di Viparelli (V=1 m/s), con utilizzo del metodo TCEV/SCS con CN(III) non inferiore a 95”.*

L’intervento S17 alla km 153+370 prevede la realizzazione di uno scatolare per garantire la continuità idraulica con le opere della SS131.

I bacini che insistono sui manufatti esistenti, rispettivamente tombini circolari del diametro di 1.00 m, rispettano le limitazioni di cui al citato art. 3. Ossia, superficie inferiore a 0.5 km² e portata idrica inferiore a 10 m³/s, valutata considerando il tempo di corrivazione con la formula di Viparelli e CN pari a 95.

Nella figura seguente si riportano i bacini insistenti sulle opere esistenti della SS131.

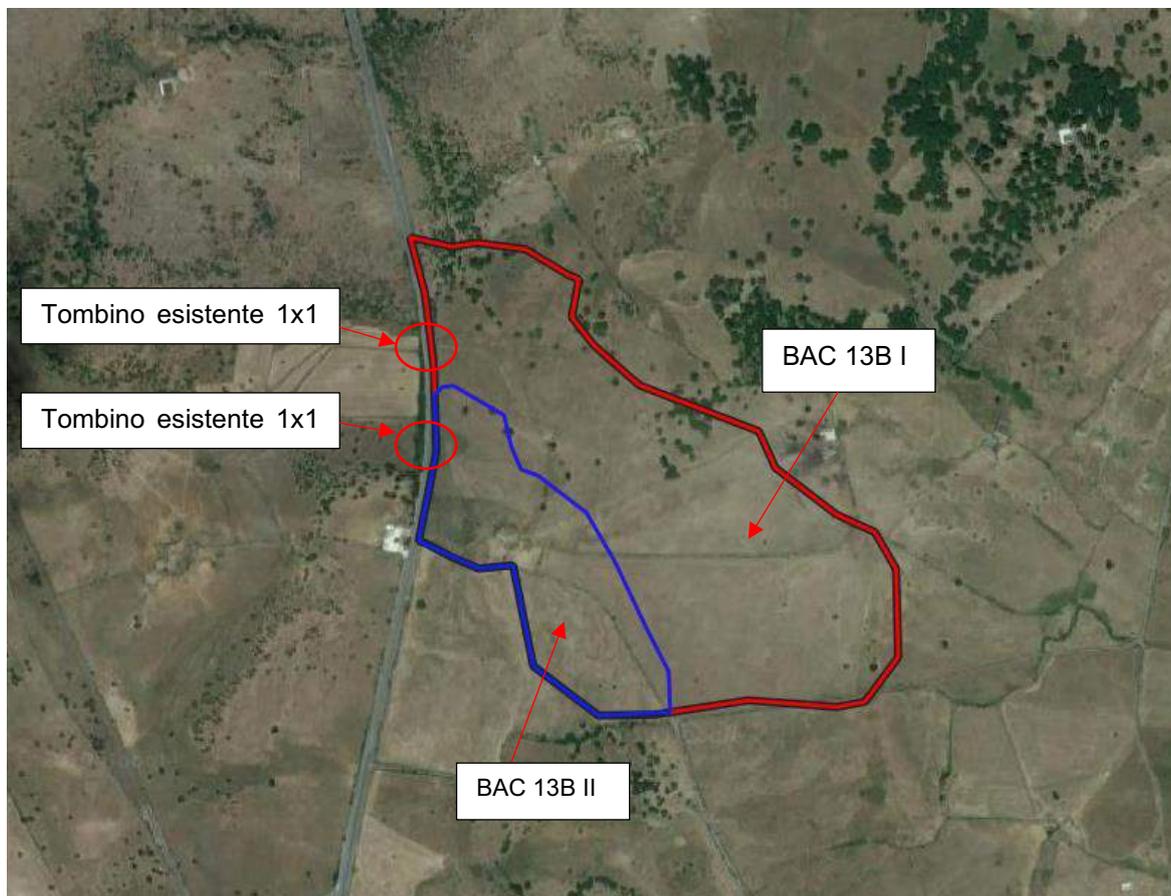


Figura 16 – Inquadramento dei bacini insistenti sulle opere esistenti della SS131

Nella tabella seguente, invece, sono riportate le verifiche di compatibilità con l'art. 3 della citata Direttiva.

ID Bacino	Sup. [km ²]	L _{asta} [m]	t _c Vip [min]	CN	Q TR 200 [m ³ /s]	Verifiche S < 0.50 km ²	Verifiche Q (TR 200 anni) < 10 m ³ /s
BAC 13B I	0.47	1061	17.68	95	8.99	OK	OK
BAC 13B II	0.17	761	12.68	95	3.62	OK	OK

In conclusione, essendo rispettate entrambe le condizioni di cui all'art. 3 della citata Direttiva, non si procede alla verifica dei manufatti esistenti sulla SS131.