



Anas SpA

Direzione Centrale Progettazione

S.S. 131 di "Carlo Felice"

Adeguamento e messa in sicurezza della S.S.131

dal km 108+300 al km 209+500

Risoluzione dei nodi critici - 1° e 2° stralcio

PROGETTO DEFINITIVO

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE CENTRALE PROGETTAZIONE

PROGETTISTI:

Dott. Ing. CARLO BOSMAN Ordine Ing. di Roma n. 16449	Dott. Ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI Ordine Ing. di Roma n. 19116
Dott. Ing. ENRICO MITTIGA Ordine Ing. di Roma n. 20228	Dott. Ing. FULVIO MARIA SOCCODATO Ordine Ing. di Roma n. 18861

IL GEOLOGO

Dott. Geol. STEFANO SERANGELI
Ordine Geol. Lazio n. 659

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

Dott. Ing. GINEVRA BERETTA Ord. Ing. Prov. RM n. 20458	Dott. Ing. ADRIANA CORCELLI Ord. Ing. Prov. RM n. 33764
-----------------------------------------------------------	------------------------------------------------------------

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Dott. Arch. ROBERTO ROGGI
Ordine Architetti Prov. RM n° 10554

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. ANTONIO SCALAMANDRE'

PROTOCOLLO

DATA

GRUPPO DI PROGETTAZIONE ANAS

Dott. Ing. Carlo Bosman	- Responsabile di progetto
Dott. Ing. Gabriele Giovannini	- Cartografia
Dott. Ing. Ginevra Beretta	- Ambiente
Dott. Geol. Giuseppe Cardillo	- Ambiente
Dott. Ing. Adriana Corcelli	- Ambiente
Dott. Geol. Stefano Serangeli	- Geologia
Dott. Ing. Enrico Mittiga	- Geotecnica
Dott. Ing. Attilio Petrillo	- Idraulica
Dott. Ing. Gianfranco Fusani	- Strade
Dott. Ing. Francesco Primieri	- Strade
Geom. Claudio D'Arcangelo	- Strade
Dott. Ing. Alessandro Piccarreta	- Opere civili
Geom. Pietro Tomasiello	- Opere civili
Geom. Carmelo Zema	- Espropri
Dott. Ing. Pierluigi Fabbro	- Interferenze
Dott. Ing. Francesco Bezzi	- Impianti
Geom. Stefano De Masi	- Computi e capitolati
Geom. Marco Spinucci	- Sicurezza
Dott. Arch. Roberto Roggi	- Sicurezza

RESPONSABILI DI SERVIZI INGEGNERIA

Dott. Ing. Fulvio Maria Soccodato	- Territorio
Dott. Ing. Alessandro Micheli	- Geotecnica e Impianti
Dott. Ing. Achille Devitofranceschi	- Opere Civili
Geom. Fabio Quondam	- Computi e capitolati
Dott. Geol. Serena Majetta	

Relazione Idrologica

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

D P C A 0 9 D 1 4 0 1

NOME FILE

DPCA09_D_1401_T00_ID00_IDR_RE01_A.DWG

REVISIONE

SCALA:

CODICE ELAB. T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 1

A

--

C					
B					
A	EMISSIONE	Marzo 2015	Ing. A. Mita	Ing. A. Petrillo	Ing. F.M.Soccodato
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

Analisi Idrologica	2
1.1 Introduzione	2
1.2 Caratteristiche morfometriche e fisiografiche dei corsi d'acqua	3
1.3 Inquadramento di assetto idrogeologico	5
1.3.1 Piano Stralcio Di Bacino Per L'assetto Idrogeologico (PAI)	5
1.3.2 Piano Stralcio Delle Fasce Fluviali (PSFF)	5
1.4 Analisi pluviometrica	10
1.5 Stima delle portate al colmo	14

Analisi Idrologica

1.1 Introduzione

La presente relazione riferisce dello studio idrologico eseguito nell'ambito del Progetto Definitivo "Adeguamento e messa in sicurezza della S.S. 131 dal km 108+300 al km 209+500 – risoluzione dei nodi critici - 1° e 2° stralcio".

Nella presente relazione viene pertanto fornita la caratterizzazione idrologica dell'area di interesse e vengono individuate le principali problematiche legate all'interazione tra l'infrastruttura e il sistema delle acque superficiali.

In particolare, con specifico riferimento alle interferenze degli interventi in progetto con il reticolo idrografico principale, ovvero il reticolo rappresentato nell'ambito della Carta Tecnica della Regione Autonoma Sardegna, vengono affrontati i seguenti punti:

- Inquadramento dello stato di attuazione della Pianificazione di Assetto Idrogeologico nell'area di intervento.
- Caratterizzazione dell'area e individuazione delle principali problematiche dal punto di vista idrologico ed idraulico.
- Individuazione delle caratteristiche principali del bacino idrografico del corso d'acqua interagente con l'opera di progetto;
- elaborazione dei dati di pioggia disponibili dagli studi di regionalizzazione. Lo studio e le elaborazioni dei dati consentono di associare, in funzione del tipo e dell'importanza dell'opera, una corretta valutazione dell'evento meteorico generatore della portata di dimensionamento.
- Determinazione delle curve di possibilità pluviometrica aventi pertinenza sulla zona in esame, necessarie per la stima, note le caratteristiche del bacino idrografico, delle portate da utilizzare nello studio idraulico.
- Delineazione dello studio idrologico finalizzato alla determinazione delle portate massime attese con diversi tempi di ritorno in corrispondenza degli attraversamenti principali e secondari.

Lo studio idrologico, propedeutico all'analisi di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento, ed in particolare la valutazione delle portate di progetto al colmo,

caratterizzate dai tempi di ritorno di 200 anni, è stata effettuata sulla base di quanto indicato nell'elaborato "Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF) -- Metodologia di analisi" della Regione Autonoma della Sardegna.

1.2 Caratteristiche morfometriche e fisiografiche dei corsi d'acqua

La perimetrazione dei bacini idrografici è stata effettuata, con riferimento alla sezione di chiusura posta immediatamente a monte dell'attraversamento stradale, mediante l'individuazione dell'andamento degli spartiacque sulla cartografia I.G.M., in scala 1:25.000, con approfondimenti locali sulla Cartografia Tecnica Regionale CTR, in scala 1:10.000;

La caratterizzazione geografica, fisiografica e morfometrica delle aste fluviali interferite dagli interventi in progetto e dei relativi bacini idrografici è stata effettuata, in ambiente ArcGIS della ESRI, attraverso il codice Spatial Analyst, utilizzando il DEM del terreno con maglia 10m x 10m.

Per ciascuna interferenza delle opere in progetto con il reticolo idrografico principale, definito nel database DB Prior – Idrografia, e per il relativo bacino idrografico sono stati valutati i seguenti parametri significativi:

- ✓ Superficie del bacino (S - km²) .. calcolata attraverso l'elaborazione GIS quale superficie del poligono chiuso;
- ✓ Altitudine massima (H_{max} - m s.m.);
- ✓ Altitudine media (H_{media} - m s.m.);
- ✓ Altitudine minima (altitudine in corrispondenza della sezione di chiusura - H_{min} - m s.m.); valutate attraverso l'elaborazione GIS: del DEM, come risultato di un'analisi di tipo statistico (valore medio, minimo e massimo) delle quote altimetriche delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante un bacino idrografico;
- ✓ Pendenza media del bacino (iv - %) .. elaborazione GIS: direttamente dalla base del DEM, come risultato dell'analisi delle pendenze medie delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante un bacino idrografico;
- ✓ Lunghezza dell'asta (L_{max} - km) valutata sulla base della cartografia disponibile.
- ✓ Pendenza media dell'asta (i - m/m).. valutata utilizzando il dato di lunghezza dell'asta precedentemente calcolato e le coordinate plano-altimetriche dei punti di

inizio e fine dei segmenti digitalizzati rappresentanti le aste, derivati direttamente da GIS.

Le caratteristiche morfometriche, fisiografiche dei corsi d'acqua interferiti e dei relativi bacini idrografici sono riportati nel seguente prospetto

ATTRAVERSAMENTO rif.	Area Bacino	L asta pr	i media asta	i media bacino	Ho sez chiusura	Hmax bacino	Hmedia bacino	h max asta
Progr km	kmq	km	m/m	%	m.s.l.m.	m.s.l.m.	m.s.l.m.	m.s.l.m.
121+308	2.20	0.1	0.249	3.74	275.0	327.0	310.6	300.0
122+025	9.89	5.7	0.022	0.40	277.9	450.0	335.0	400.0
122+358	27.30	16.7	0.024	0.30	281.0	917.0	511.0	680.0
127+625	16.87	8.5	0.029	0.25	325.0	592.9	419.9	570.0
135+770	0.28	0.3	0.014	0.78	430.2	435.8	433.5	434.0
138+600	42.57	9.0	0.043	8.69	395.2	801.7	659.8	780.0
143+260	0.46	0.1	0.086	3.99	537.7	558.3	553.0	550.0
144+580	0.46	0.1	0.446	2.60	586.0	790.0	676.0	650.0
145+900	10.34	6.8	0.032	12.82	550.0	785.0	628.9	770.0
146+700	0.53	1.3	0.008	8.40	590.0	700.0	630.0	600.0
148+140	0.34	0.1	0.144	11.03	634.2	661.0	651.1	650.0
151+080	1.21	1.2	0.055	0.50	651.7	740.2	685.0	720.0
151+455	0.48	0.2	0.270	0.50	650.4	725.0	680.0	700.0
151+820	4.87	6.6	0.052	13.3	654.1	1020.8	843.3	1000.0
152+100	4.87	6.6	0.052	13.3	654.1	1020.8	843.3	1000.0
154+495	30.50	12.9	0.032	0.25	643.4	1112.2	986.1	1060.0
158+000	0.83	1.3	0.020	0.35	649.9	680.0	664.0	675.0
159+800	3.56	3.6	0.017	2.18	645.0	711.0	674.0	706.0
164+000	0.19	0.6	0.075	12.60	443.0	492.0	474.0	485.0
164+500	10.92	5.4	0.046	14.55	399.0	661.0	509.0	646.0
165+000	1.99	2.0	0.088	14.60	410.0	624.0	492.0	591.0
166+230	0.24	0.1	0.861	11.53	434.8	542.8	456.2	530.0
167+150	1.83	1.6	0.098	15.91	430.4	630.1	520.0	590.5
167+400	0.13	0.2	0.060	14.32	428.9	537.5	448.0	443.6
169+045	1.09	0.9	0.070	14.00	410.0	570.2	452.8	474.4
169+465	0.96	1.8	0.082	15.67	410.0	630.0	500.5	554.2
169+832	0.66	0.6	0.015	8.22	408.8	533.2	425.0	418.0
170+400	1.51	0.1	0.052	14.69	406.7	622.5	478.5	409.6
171+560	1.66	1.3	0.041	5.57	386.7	455.1	411.4	440.0
190+400	0.56	1.0	0.012	0.50	321.0	340.0	330.0	334.0
190+900	0.26	0.6	0.012	0.50	327.0	339.0	333.0	334.0
200+900	1.65	2.3	0.037	14.30	160.0	462.0	232.0	246.0

Tabella 1 – Caratteristiche fisiografiche e morfologiche dei corsi d'acqua

1.3 Inquadramento di assetto idrogeologico

1.3.1 Piano Stralcio Di Bacino Per L'assetto Idrogeologico (PAI)

Relativamente agli aspetti connessi alla difesa del suolo, l'area interessata dalle opere in progetto ricade nell'ambito territoriale di competenza della Autorità di Bacino unico della Regione Sardegna.

Seguendo gli adempimenti previsti dal Decreto Legge 11 giugno 1998 n. 180, convertito in Legge 3 agosto 1998 n. 267, la Regione Autonoma della Sardegna ha provveduto a dotarsi del PAI (Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idro-geologico), il quale è stato adottato dalla Giunta Regionale con Deliberazione n° 22/46 del 21 luglio 2003 e successivamente revisionato nel luglio 2004. Di esso si riportano le considerazioni relative al territorio di progetto, con lo scopo di individuare le aree a rischio ed adottare le opportune misure di salvaguardia.

Dall'analisi dei documenti di riferimento per la pianificazione di assetto idrogeologico regionale (P.A.I.) il corso d'acqua non rientra in zone individuate a pericolosità idraulica.

1.3.2 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 2 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 perimetrata 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 perimetrata dal P.A.I., le aree a pericolosità idraulica perimetrata 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 perimetrata 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.

Come riportato nelle seguenti immagini due interventi ricadono all' interno delle perimetrazioni individuate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali ed in particolare nella fascia fluviale (classe C) non interessando le classi di fasce fluviali ulteriori previste dal piano.

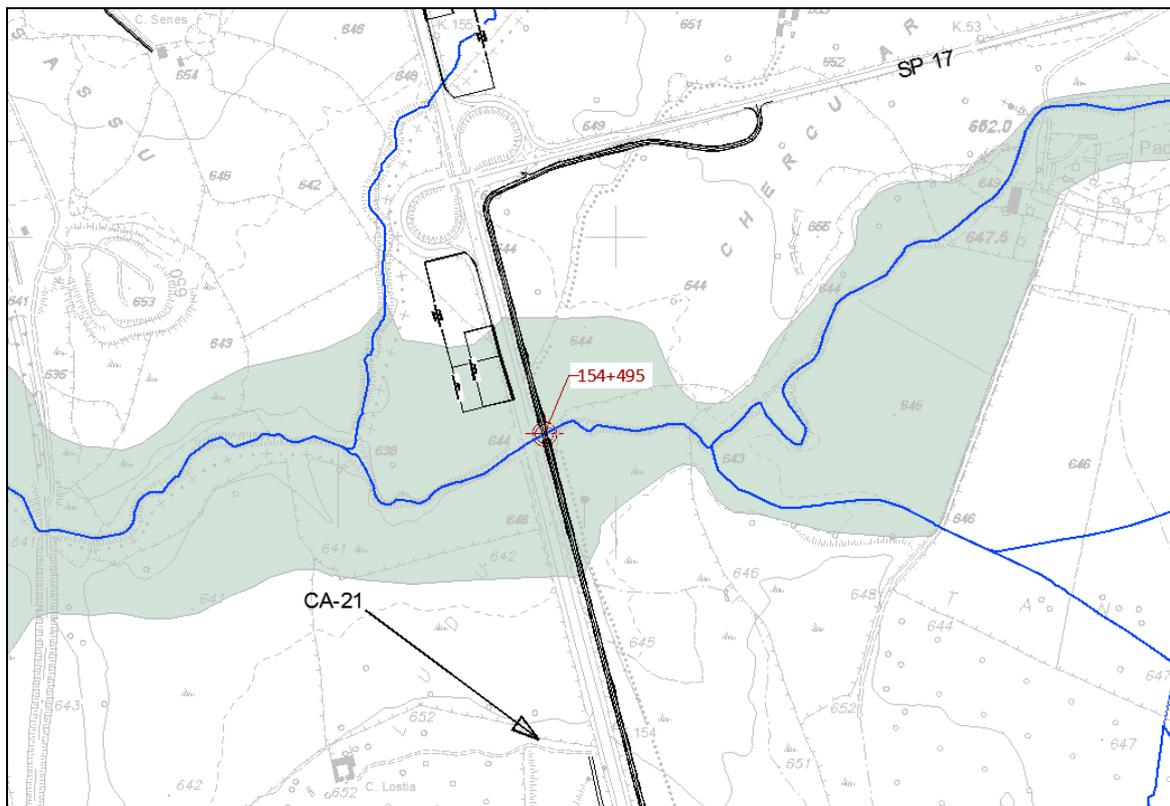


Figura 1 PSFF intervento a progr km 154+495

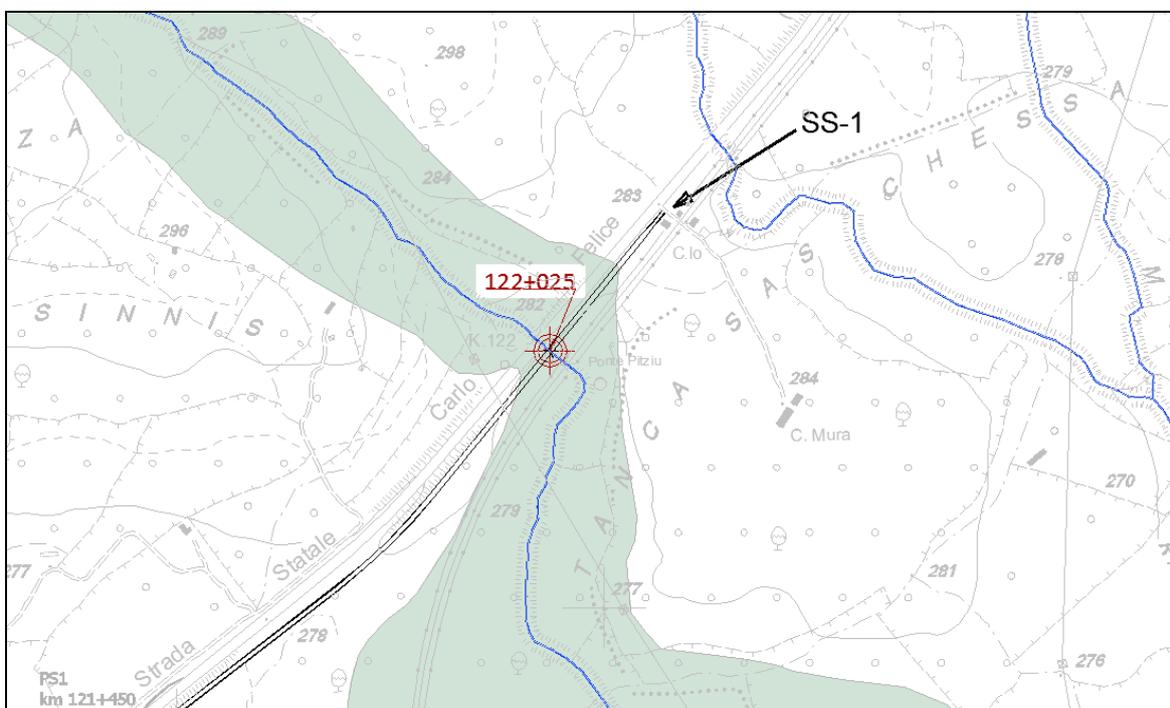


Figura 2 PSFF intervento a progr km 122+025

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’involuppo esterno della fascia C geomorfologica (involuppo 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.

1.4 Analisi pluviometrica

Per il calcolo delle portate di dimensionamento si è fatto riferimento alla metodologia di analisi delle piogge indicata dalle Linee Guida del PAI Sardegna (“Linee guida per le attività di individuazione e di perimetrazioni delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”) per la quale è possibile stimare le curve di possibilità pluviometrica a partire da un’analisi regionalizzata basata sul modello probabilistico TCEV.

Infatti la curva di possibilità pluviometrica che, com’è noto, esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, d , ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T è riportata dalla letteratura tecnica con l’espressione:

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

Recenti studi per la Sardegna (Deidda ed altri 1997) mostrano che il modello probabilistico TCEV ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche motivo per il quale è stato adottato nella procedura VAPI per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica.

La metodologia regionale di calcolo si basa sull’inferenza statistica del modello TCEV della variabile aleatoria dimensionale

$$h' = h(d)/h_m(d)$$

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

L’equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata è per ciascun tempo di ritorno T :

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

dove i parametri della curva, $a(T)$ ed $n(T)$, vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO) (Figura in basso), per durate minori e maggiori di 1 ora e per i vari tempi di ritorno come mostrato nelle figure seguenti:

tempi di ritorno $T \leq 10$ ANNI	
SZO 1	$a_2 = 0,66105 + 0,85994 \text{ Log}_{10} T$; $n_2 = -1,3558 \cdot 10^{-4} - 1,3660 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$;
SZO 2	$a_2 = 0,64767 + 0,89360 \text{ Log}_{10} T$; $n_2 = -6,0189 \cdot 10^{-3} + 3,2950 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T$;
SZO 3	$a_2 = 0,62408 + 0,95234 \text{ Log}_{10} T$; $n_2 = -2,5392 \cdot 10^{-2} + 4,7188 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$;
tempi di ritorno $T > 10$ ANNI	
SZO 1	$a_2 = 0,46378 + 1,0386 \text{ Log}_{10} T$ $n_2 = -0,18449 + 0,23032 \text{ Log}_{10} T - 3,3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora) $n_2 = -1,0563 \cdot 10^{-2} - 7,9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau \geq 1$ ora)
SZO 2	$a_2 = 0,44182 + 1,0817 \text{ Log}_{10} T$ $n_2 = -0,18676 + 0,24310 \text{ Log}_{10} T - 3,5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora) $n_2 = -5,6593 \cdot 10^{-3} - 4,0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau \geq 1$ ora)
SZO 3	$a_2 = 0,41273 + 1,1370 \text{ Log}_{10} T$ $n_2 = -0,19055 + 0,25937 \text{ Log}_{10} T - 3,8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2$ (per $\tau \leq 1$ ora) $n_2 = 1,5878 \cdot 10^{-2} + 7,6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T$ (per $\tau \geq 1$ ora)

Figura 3- Parametri della curva di possibilità climatica

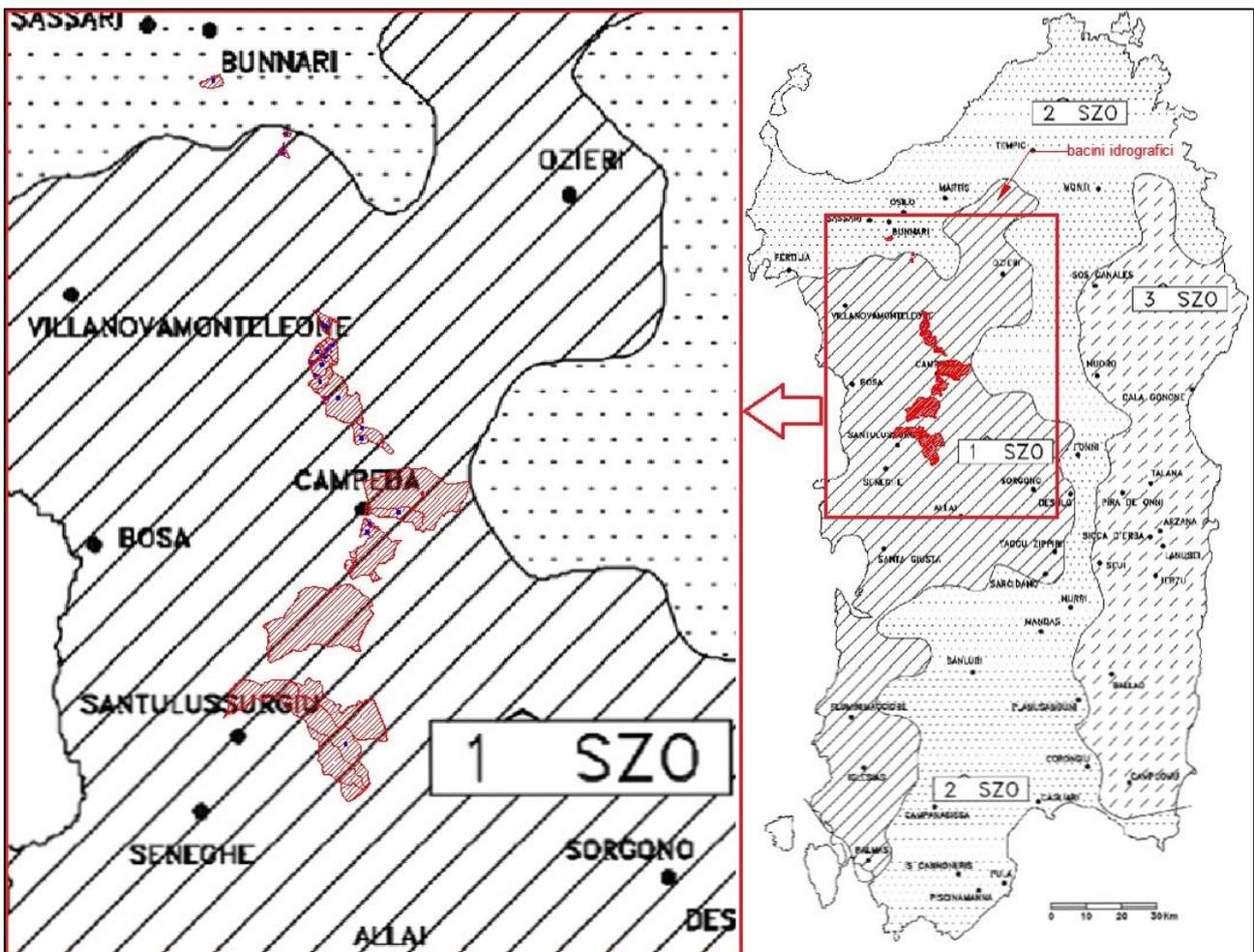


Figura 4 – Sottozone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna

La pioggia media per diverse durate, detta anche pioggia indice, $h_m(d)$, è funzione della pioggia media giornaliera h_g secondo l'espressione:

$$h_m(d) = \frac{(h_g)}{0.886 * 24^{(-0.493+0.476 \text{Log}(h_g))}} * d^{(-0.493+0.476 \text{Log}(h_g))}$$

dove h_g si ricava dalla distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera sull'intera Sardegna riportata nella Figura e nella tabella seguente.

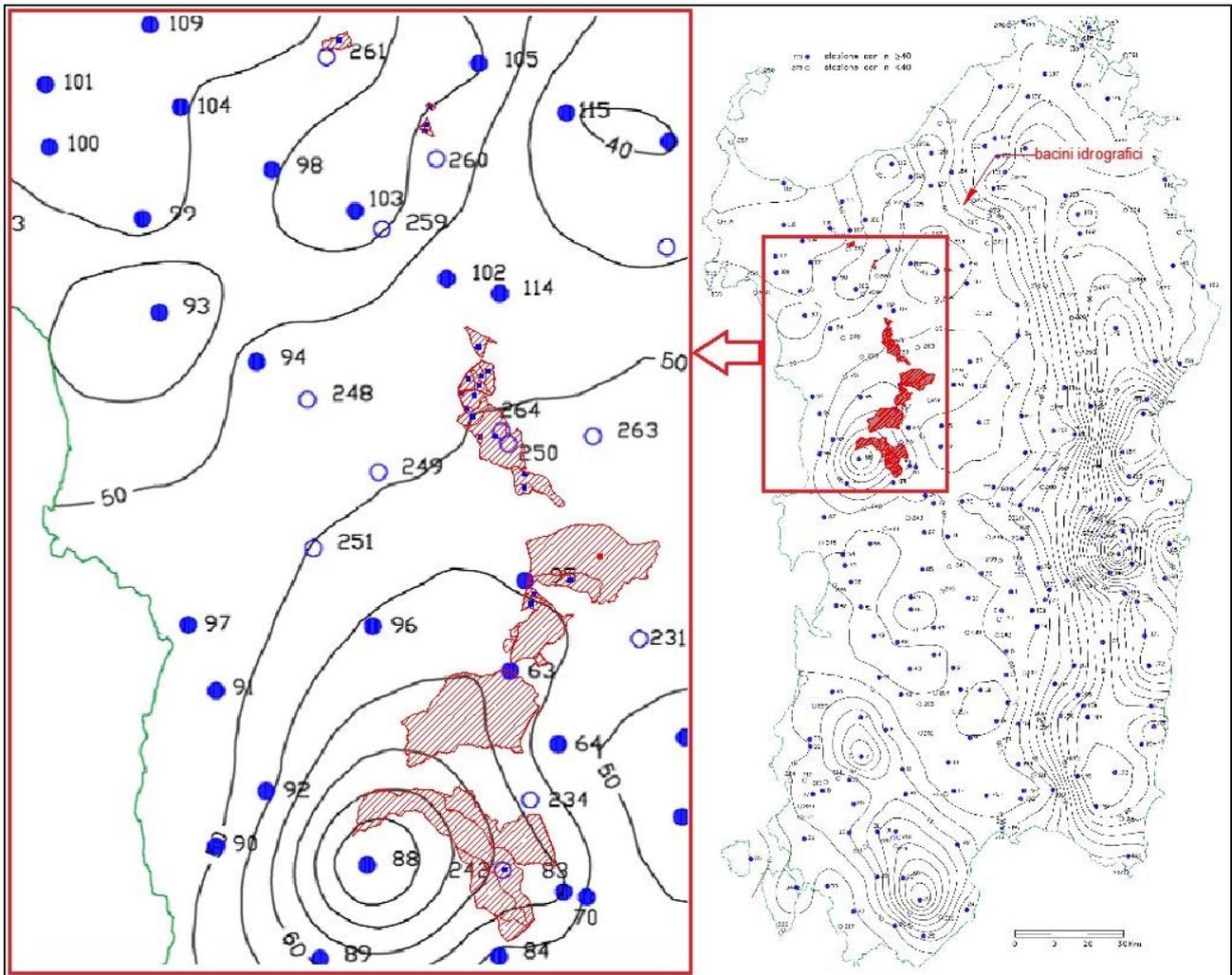


Figura 5 – Altezza di pioggia giornaliera in Sardegna

ATTRAVERSAMENTO rif.	µg
Progr km	mm
121+308	58.0
122+025	65.0
122+358	65.0
127+625	70.0
135+770	57.0
138+600	60.0
143+260	56.0
144+580	65.0
145+900	56.0
146+700	57.0
148+140	57.0
151+080	55.0
151+455	55.0
151+820	54
152+100	54
154+495	54.0
158+000 e 158+100	53.0
159+800	53.0
164+000	50.5
164+500	51.0
165+000	50.0
166+230	48.0
167+150	48.0
167+400	48.0
169+045	48.0
169+465	48.0
169+832	48.0
170+400	48.0
171+560	48.0
190+400	52.0
190+900	53.0
200+900	52.0

Tabella 2 – Pioggia indice giornaliera

1.5 Stima delle portate al colmo

La valutazione delle portate di progetto al colmo, caratterizzate dai tempi di ritorno di 200, è stata effettuata, come già indicato nella premessa, sulla base di quanto indicato nelle *“Studi, indagini, elaborazioni attinenti all’ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF) -metodologie di analisi- Metodologia di analisi”* della Regione Autonoma della Sardegna.

In particolare per i bacini idrografici interferiti, caratterizzati nella totalità dei casi da una superficie inferiore ai $S < 60 \text{ km}^2$, la portata di piena viene espressa dalla ben nota Formula Razionale:

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

In cui:

- ✓ i rappresenta l'intensità di precipitazione, i , di assegnata durata d e periodo di ritorno T_r ;
- ✓ Φ il coefficiente di assorbimento;
- ✓ A la superficie del bacino;
- ✓ $\varepsilon(t)$: il coefficiente di laminazione;
- ✓ Θ indica il valore di durata critica,
- ✓ $r(\Theta, A)$, rappresenta il fattore di ragguglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata, Θ , e della superficie del bacino, A .

Tale formulazione è stata sviluppata sulla base delle seguenti ipotesi:

- ✓ le precipitazioni intense vengono desunte dalla regionalizzazione VAPI
- ✓ i tempi di corrivazione vengono valutati a partire 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.

Il metodo adotta le seguenti assunzioni:

- ✓ la durata D della pioggia netta è inferiore o uguale di $0,133 t_c$;
- ✓ la durata D è minore di $0,2$ volte il tempo di crescita dell'onda di piena (t_p).

Sotto dette ipotesi il valore al colmo della portata risulta (*cfr I par.1.4.2 della Relazione PSFF*):

$$Q_c = 0.28 \varepsilon r R_o A / t_p \text{ (m}^3\text{/s)}$$

dove:

- ✓ ε (adim.): il coefficiente di laminazione;
- ✓ R_o (mm) = volume netto di pioggia per unità di superficie (mm);
- ✓ r (adim.) = $1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))}$ per $A < 20 \text{ km}^2$;
- ✓ r (adim.) = $1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))}$ per $A > 20 \text{ km}^2$
- ✓ A (km²); = superficie del bacino
- ✓ t_p (h). = tempo di crescita dell'onda di piena

con:

$$R_o(\text{mm}) = (h - 0,2 S)^2 / (h + 0,8 S)$$

dove

- ✓ h (mm); = precipitazione meteorica ragguagliata
- ✓ S (mm); = valore massimo dell'invaso per infiltrazione

Il valore S è calcolato dall'equazione:

$$S = 25((1000/CN) - 10) \text{ (mm)}$$

$$t_p = D/2 + t_{lag} = 0,133 / 2 t_c + 0,6 t_c = 0.6665 t_c$$

con

- ✓ D (h) = durata della pioggia;;
- ✓ $T_{lag}(h)$ = intervallo di tempo tra il centroide della pioggia e il colmo..

Il tempo di corrivazione è stato valutato sulla base dei parametri fisiografici e geomorfologici dei corsi d'acqua interferiti e dei relativi bacini, in funzione dell'estensione del bacini ed è stato valutato attraverso una serie di formulazioni quali:

SCS:

$$t_c = \frac{100 L^{0.8} \left(\frac{1.000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1.900 i_v^{0.5}}$$

In cui:

- ✓ L (ft) è la lunghezza dell' asta principale;
- ✓ i_v (%) = pendenza media dei versanti;

✓ $CN(\text{adim.}) = \text{Curve number}$

Ventura:
$$\tau_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i}}$$

in cui:

- ✓ S è la superficie del bacino idrografico ;
- ✓ i rappresenta la pendenza media dell'asta principale ottenuta dal rapporto tra la differenza delle quote massima e minima del bacino e la lunghezza dell'asta.

Kirpich:

$$t_c = 0.945 (L^3 / DH)^{0.385}$$

dove:

- ✓ L (km) , è la lunghezza dell'asta fluviale
- ✓ DH (m) , è il dislivello altimetrico tra gli estremi dell'asta

Pasini:

$$t_c = \frac{0.108(A * L)^{1/3}}{I^{1/2}}$$

dove:

- ✓ A (km²), l'area del bacino;
- ✓ L (km), la lunghezza dell'asta fluviale:
- ✓ I (m/m), è la pendenza media del reticolo idrografico.

Giandotti:

$$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{S} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$$

dove:

- ✓ S (km²) è l' area del bacino idrografico
- ✓ L (km) è la lunghezza dell' asta principale
- ✓ H (m sm)media è l' altezza media del bacino
- ✓ H_0 (m sm) è l' altezza della sezione di chiusura

E' stata quindi adottata per la caratterizzazione del tc di progetto la formulazione SCS in quanto, sulla base dei parametri caratterizzanti la morfologia dei bacini, fornisce i valori piu' bassi e quindi maggiormente cautelativi.

ATTRAVERSAMENTO rif.	Area Bacino	Ventura	Pasini	Kirpich	Giandotti	SCS	Adottato	
Progr km	kmq	h	h	h	h	h	h(SCS)	min
121+308	2.20	0.38	0.13	0.01	1.27	0.10	0.10	5.79
122+025	9.89	2.72	2.81	0.96	3.49	2.88	2.88	172.73
122+358	27.30	4.30	5.38	2.04	3.79	4.36	4.36	261.43
127+625	16.87	3.07	3.33	1.30	3.74	3.32	3.32	199.01
135+770	0.28	0.57	0.39	0.11	1.74	0.39	0.39	23.11
138+600	42.57	4.01	3.79	1.18	3.04	2.02	2.02	121.31
143+260	0.46	0.29	0.15	0.03	0.94	0.04	0.04	2.28
144+580	0.46	0.13	0.07	0.01	0.38	0.04	0.04	2.49
145+900	10.34	2.27	2.49	1.06	3.25	1.30	1.30	77.98
146+700	0.53	1.05	1.09	0.21	0.96	0.39	0.39	23.40
148+140	0.34	0.20	0.10	0.02	0.76	0.05	0.05	3.08
151+080	1.21	0.60	0.53	0.22	1.36	0.53	0.53	31.64
151+455	0.48	0.17	0.09	0.03	0.70	0.12	0.12	6.97
151+820	4.87	1.2	1.5	0.9	1.7	1.24	1.24	74.47
152+100	4.87	1.2	1.5	0.9	1.7	1.24	1.24	74.47
154+495	30.50	3.91	4.41	1.70	2.80	2.42	2.42	145.50
158+000&158+100	0.83	0.82	0.78	0.33	1.85	0.57	0.57	34.01
159+800	3.56	1.83	1.93	0.82	2.99	1.92	1.92	115.42
164+000	0.19	0.20	0.19	0.11	0.58	0.16	0.16	9.64
164+500	10.92	1.95	1.95	0.77	2.53	0.92	0.92	55.48
165+000	1.99	0.60	0.58	0.27	1.20	0.42	0.42	24.99
166+230	0.24	0.07	0.03	0.01	0.57	0.05	0.05	2.98
167+150	1.83	0.55	0.50	0.22	1.04	0.49	0.49	29.33
167+400	0.13	0.19	0.14	0.03	0.52	0.10	0.10	5.77
169+045	1.09	0.50	0.41	0.12	1.06	0.24	0.24	14.30
169+465	0.96	0.43	0.45	0.23	0.86	0.51	0.51	30.80
169+832	0.66	0.84	0.65	0.08	1.29	0.23	0.23	14.09
170+400	1.51	0.69	0.21	0.00	0.74	0.03	0.03	1.58
171+560	1.66	0.81	0.69	0.25	1.79	0.56	0.56	33.78
190+400	0.56	0.85	0.81	0.32	1.90	0.98	0.98	58.81
190+900	0.26	0.58	0.52	0.19	1.47	0.58	0.58	34.63
200+900	1.65	0.84	0.87	0.27	1.26	0.63	0.63	37.67

Tabella 3 – Tempo di corrivazione

Il CN è stato calcolato con il procedimento descritto all'interno dell'elaborato "Metodologie di Analisi" relativo agli "Studi, Indagini, Elaborazioni attinenti all'Ingegneria Integrata, necessari alla redazione dello Studio denominato – Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)".

Tale metodologia di calcolo incrocia, in ambiente GIS, il tematismo della "Carta del Curve Number per la Regione Sardegna" (in formato raster con maglia 10 x 10) con quello della perimetrazione dell'area in esame. Il CN ottenuto, che rappresenta condizioni medie di umidità del suolo antecedenti l'evento (AMCII), è stato ulteriormente incrementato per valutare elevate condizioni di umidità antecedenti l'evento (AMCIII).

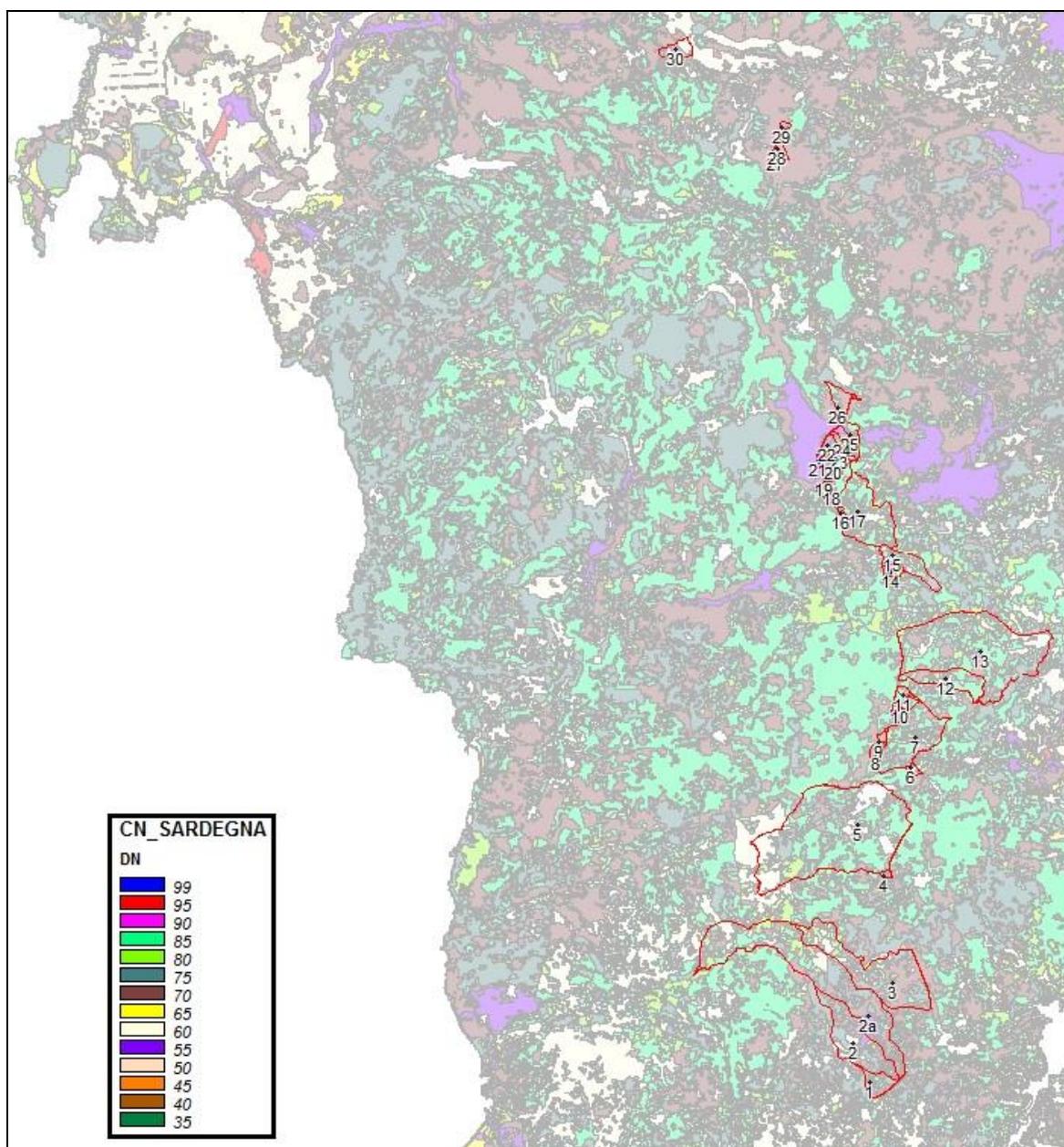


Figura 6 – Analisi CN

I risultati per i bacini in esame sono riassunti in Tabella 4 - CN II e CN III

ATTRAVERSAMENTO	CNII	CNIII
Progr km	AMCII	AMCIII
121+308	70.8	84.8
122+025	72.1	85.6
122+358	73.8	86.7
127+625	72.1	85.6
135+770	79.9	90.1
138+600	76.7	88.4
143+260	78.0	89.1
144+580	78.0	89.1
145+900	77.9	89.0
146+700	81.8	91.2
148+140	78.1	89.1
151+080	77.1	88.6
151+455	76.2	88.0
151+820	78.0	89.1
152+100	78.0	89.1
154+495	76.4	88.1
158+000&158+100	80.3	90.3
159+800	76.9	88.4
164+000	82.2	91.4
164+500	81.6	91.1
165+000	82.8	91.7
166+230	78.8	89.5
167+150	65.4	81.3
167+400	72.8	86.0
169+045	79.9	90.1
169+465	66.3	81.9
169+832	78.3	89.2
170+400	78.5	89.4
171+560	74.6	87.1
190+400	70.0	84.3
190+900	70.0	84.3
200+900	69.0	83.6

Tabella 4 - CN II e CN III

Per quanto riguarda invece la caratterizzazione del coefficiente di laminazione ϵ , in relazione all'influenza che i fenomeni di laminazione ed invaso rivestono nel caso di bacini pianeggianti, caratterizzati da esigue pendenze dei suoli e da maggiore complessità ed

estensione della rete idrografica sulla formazione dei deflussi, determinando sensibili riduzioni dei valori al colmo rispetto alla modello cinematico, per i bacini con superficie superiore a 10 km² e con ampie aree estremamente pianeggianti a monte dell'attraversamento è stato assunto $\varepsilon = 0.7$.

Si è infatti osservato che utilizzando, per i bacini maggiormente pianeggianti, relazioni derivate dal modello dell'invaso lineare, quali la formula di Supino

$$u = (26\alpha + 66) \cdot n' \cdot \frac{(\phi \cdot a')^{\frac{1}{n'}}}{w^{\left(\frac{1}{n'} - 1\right)}}$$

In cui:

- ✓ u è il coefficiente udometrico o contributo unitario;
- ✓ α esponente della scala di deflusso della sezione trapezia pari a 1.5;
- ✓ a coefficiente della curva di possibilità climatica;
- ✓ n esponente della curva di possibilità climatica;
- ✓ ϕ coefficiente di deflusso;
- ✓ w volume specifico invasato

si ottengono, per l'evento duecentennale, risultati in termini di contributi unitari, inferiori di circa il 30% rispetto ai risultati del modello cinematico.

Per tutti gli altri bacini è stato assunto prudenzialmente $\varepsilon = 1.0$.

Per quanto riguarda le portate al colmo dei corsi d'acqua Riu Pitriu e Riu Mannu, interferiti rispettivamente alle progr. km 122+025 e km 122+358 della SS 131 Carlo Felice, da assumere per le verifiche di compatibilità delle opere, in relazione alla riscontrata presenza di una interconnessione idraulica tra i due bacini, è stata assunta pari alla media delle portate complessive dei due bacini:

$$Q_{200} = (42.28 + 95.94) / 2 = 69.1 \text{ m}^3/\text{s}$$

I valori delle portate e dei contributi unitari al colmo, caratterizzati da un tempo di ritorno di 200 anni, relativi ai corsi d'acqua interferiti dagli interventi in progetto sono sintetizzati in Tabella 5 - *Portate al colmo e contributi unitari dei corsi d'acqua interferiti*

ATTRAVERSAMENTO	SZO	A	Θ	r	ϵ	tp	Q 200 (t)	u 200 (t)
Progr km		kmq	h	-	-	h	mc/s	mc/s
121+308	I	2.20	0.14	0.89	1.00	0.10	14.34	6.52
122+025	I	9.89	4.32	0.95	0.70	2.88	42.28	4.28
122+358	I	27.30	6.54	0.94	0.70	4.36	95.94	3.51
127+625	I	16.87	4.98	0.94	0.70	3.32	71.35	4.23
135+770	I	0.28	0.58	1.00	1.00	0.39	4.88	17.69
138+600	I	42.57	3.03	0.90	1.00	2.02	302.55	7.11
143+260	I	0.46	0.06	1.00	1.00	0.04	5.62	12.20
144+580	I	0.46	0.06	1.00	1.00	0.04	5.29	11.55
145+900	I	10.34	1.95	0.93	1.00	1.30	95.16	9.20
146+700	I	0.53	0.58	1.00	1.00	0.39	10.03	18.89
148+140	I	0.34	0.08	1.00	1.00	0.05	4.84	14.19
151+080	I	1.21	0.79	0.95	1.00	0.53	16.74	13.79
151+455	I	0.48	0.17	1.00	1.00	0.12	7.38	15.23
151+820	I	4.87	1.86	0.95	1.00	1.24	45.97	9.44
152+100	I	4.87	1.86	0.95	1.00	1.24	45.97	9.44
154+495	I	30.50	3.64	0.92	0.70	2.42	127.67	4.19
158+000&158+100	I	0.83	0.85	1.00	1.00	0.57	13.27	15.96
159+800	I	3.56	2.89	0.96	1.00	1.92	25.62	7.20
164+000	I	0.19	0.24	1.00	1.00	0.16	4.26	21.89
164+500	I	10.92	1.39	0.92	1.00	0.92	136.67	12.51
165+000	I	1.99	0.62	0.94	1.00	0.42	33.31	16.73
166+230	I	0.24	0.07	1.00	1.00	0.05	3.90	16.57
167+150	I	1.83	0.73	0.95	1.00	0.49	14.11	7.72
167+400	I	0.13	0.14	1.00	1.00	0.10	1.52	11.46
169+045	I	1.09	0.36	0.94	1.00	0.24	17.92	16.37
169+465	I	0.96	0.77	1.00	1.00	0.51	8.71	9.07
169+832	I	0.66	0.35	1.00	1.00	0.23	11.12	16.96
170+400	I	1.51	0.04	0.85	1.00	0.03	9.55	6.33
171+560	I	1.66	0.84	0.95	1.00	0.56	19.18	11.52
190+400	I	0.56	1.47	1.00	1.00	0.98	5.71	10.18
190+900	I	0.26	0.87	1.00	1.00	0.58	2.87	11.14
200+900	II	1.65	0.94	0.95	1.00	0.63	16.57	10.06

Tabella 5 – Portate al colmo e contributi unitari di progetto ($T_R=200$ anni)

ATTRAVERSAMENTO	Q 50 (t)	Q 100 (t)	Q 200 (t)	Q 500 (t)	u 50 (t)	u 100 (t)	u 200 (t)	u 500 (t)
Progr km	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s
121+308	9.0	11.5	14.34	18.8	4.08	5.24	6.52	8.54
122+025	29.6	35.9	42.28	50.8	2.99	3.63	4.28	5.14
122+358	68.7	82.3	95.94	114.1	2.52	3.01	3.51	4.18
127+625	50.4	60.8	71.35	85.4	2.99	3.60	4.23	5.06
135+770	3.4	4.1	4.88	5.9	12.39	15.00	17.69	21.38
138+600	211.7	256.7	302.55	363.9	4.97	6.03	7.11	8.55
143+260	4.3	4.9	5.62	6.8	9.37	10.68	12.20	14.81
144+580	4.0	4.6	5.29	6.4	8.74	10.05	11.55	14.08
145+900	65.8	80.3	95.16	115.1	6.36	7.76	9.20	11.13
146+700	7.1	8.6	10.03	12.0	13.41	16.12	18.89	22.68
148+140	3.6	4.2	4.84	5.9	10.69	12.35	14.19	17.18
151+080	11.3	14.0	16.74	20.6	9.28	11.49	13.79	16.95
151+455	5.2	6.3	7.38	9.0	10.79	12.94	15.23	18.65
151+820	31.7	38.8	45.97	55.7	6.51	7.96	9.44	11.43
152+100	31.7	38.8	45.97	55.7	6.51	7.96	9.44	11.43
154+495	89.4	108.4	127.67	153.5	2.93	3.55	4.19	5.03
158+000&158+100	9.2	11.2	13.27	16.1	11.03	13.46	15.96	19.35
159+800	17.9	21.7	25.62	30.9	5.02	6.10	7.20	8.67
164+000	3.1	3.7	4.26	5.1	16.18	18.98	21.89	26.02
164+500	92.7	114.4	136.67	166.6	8.49	10.47	12.51	15.26
165+000	23.5	28.4	33.31	40.1	11.82	14.24	16.73	20.13
166+230	3.0	3.4	3.90	4.7	12.72	14.54	16.57	19.85
167+150	8.3	11.1	14.11	18.4	4.57	6.08	7.72	10.07
167+400	1.0	1.3	1.52	1.9	7.83	9.57	11.46	14.35
169+045	12.6	15.2	17.92	21.7	11.54	13.91	16.37	19.83
169+465	5.3	6.9	8.71	11.2	5.51	7.22	9.07	11.68
169+832	7.8	9.4	11.12	13.5	11.90	14.38	16.96	20.61
170+400	7.3	8.3	9.55	11.9	4.85	5.51	6.33	7.92
171+560	12.5	15.8	19.18	23.9	7.52	9.47	11.52	14.35
190+400	3.6	4.6	5.71	7.2	6.39	8.24	10.18	12.85
190+900	1.8	2.3	2.87	3.6	7.07	9.05	11.14	14.05
200+900	10.3	13.3	16.57	21.1	6.23	8.09	10.06	12.82

Tabella 6 Portate al colmo e contributi unitari - TR=50, 100, 200 e 500 anni