

**PIANO SULCIS - S.S. 195 "SULCITANA" - INTERVENTI DI ADEGUAMENTO STRADA DI COLLEGAMENTO S. GIOVANNI SUERGIU-GIBA DAL KM 91+100 AL KM 94+600; S.S. 293 "DI GIBA" - MESSA IN SICUREZZA STRADA GIBA-NUXIS DAL KM 60+100 AL KM 63+700 E DAL KM 64+200 AL KM 65+500**

## PROGETTO DEFINITIVO

IMPRESA ESECUTRICE:

Delta Lavori S.p.A.



II RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Edoardo Antonio Quattrone  
Responsabile Tecnico Nuove Costruzioni  
Compartimento Territoriale Sardegna  
Area Compartimentale Cagliari  
Via Biasi, 27 09131 - CAGLIARI

PROGETTISTI:



Il Direttore Tecnico

Progettista responsabile dell'integrazione fra le varie prestazioni specialistiche. Progettazione classe e categoria V.02  
Coordinatore Sicurezza in fase di progett.

Responsabile geologia

Progettazione strutture o parti di strutture in c.a., classe e categoria S.03

Progettazione fondazioni speciali, classe e categoria S.05

Ing. Francesco Frassinetti

Ing. Marcello Mancone

Dott. Geol. Pietro Accolti Gil

Ing. Andrea Lucarelli

Ing. Fabio Camorani

## 05 IDROLOGIA E IDRAULICA

### Relazione idrologica

|                  |                     |            |          |        |
|------------------|---------------------|------------|----------|--------|
| NOME FILE:       | T00 ID00 IDR RE01_C | REVISIONE: | FORMATO: | SCALA: |
| CODICE ELABORATO | T00 ID00 IDR RE01   | C          | A4       | —      |



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

**Relazione idrologica**

1 di 33

## INDICE

|   |    |
|---|----|
| INDICE.....   | 1  |
| 1. PREMESSA .....   | 2  |
| 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....  | 3  |
| 2.1. Localizzazione dell'area di intervento e descrizione del tracciato .....     | 3  |
| 2.2. Pianificazione di Assetto Idrogeologico.....                                 | 3  |
| 2.2.1. Idrografia e Geologia .....  | 4  |
| 2.2.2. Sub-bacino del Sulcis .....  | 6  |
| 2.2.3. Pluviometria. ....   | 7  |
| 2.2.4. Individuazione e perimetrazione delle Aree a Rischio Idraulico. ....       | 10 |
| 2.3. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali .....                                    | 11 |
| 2.4. Interferenze idrauliche.....   | 13 |
| 2.4.1. Assetto idraulico del Riu Palmas .....                                     | 14 |
| 2.5. Caratteristiche morfologiche dei bacini .....                                | 18 |
| 3. STIMA DELLE MASSIME PRECIPITAZIONI.....  | 19 |
| 3.1. Analisi pluviometria a scala regionale .....                                 | 19 |
| 4. STIMA DELLE PORTATE AL COLMO PER BACINI CON SUPERFICIE MINORE DI 60 KMQ.....   | 22 |
| 5. STIMA DELLE PORTATE AL COLMO PER BACINI CON SUPERFICIE MAGGIORE DI 60 KMQ..... | 28 |
| 6. CONCLUSIONI .....  | 32 |



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

**Relazione idrologica**

2 di 33

## 1. PREMESSA

La presente relazione riferisce lo studio eseguito per la definizione dei caratteri idrologici dei bacini idrografici sottesi alle interferenze con il reticolo idrografico di superficie degli assi stradali facenti capo al seguente progetto: S.S.195 "Sulcitana" - Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu-Giba dal km 91+100 al km 94+600; S.S.293 "di Giba" - Messa in sicurezza Strada Giba-Nuxis dal km 60+100 al km 63+700 km e dal km 64+200 al km 65+500.

Oggetto dello studio è la definizione di valori di colmo delle massime portate di piena da porre a base dello studio idraulico necessario al corretto dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento stradale dei corsi d'acqua, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino.

Nella presente relazione viene fornita una prima caratterizzazione idrologico-idraulica dell'area di interesse e vengono individuate le principali problematiche legate all'interazione tra l'infrastruttura e il sistema delle acque superficiali.

In particolare 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 dei principali bacini idrografici interagenti con l'opera di progetto e loro caratterizzazione idrologica e morfometrica.
- Acquisizione ed elaborazione dei dati di pioggia esistenti. 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 dei bacini idrografici scolanti, delle portate massime 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.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

**Relazione idrologica**

3 di 33

## 2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1. Localizzazione dell'area di intervento e descrizione del tracciato

L'intervento in progetto si sviluppa per il primo tratto (S.S.195 "Sulcitana" dal km 91+100 al km 94+600) quasi interamente nel comune di S.Giovanni Suergiu; per il secondo tratto (S.S.293 "di Giba" dal km 60+100 al km 63+700 km e dal km 64+200 al km 65+500) nei Piscinas, Giba e Santadi.

Entrambi i due interventi sono riconducibili ad interventi di adeguamento e messa in sicurezza della sede stradale esistente.

È parte integrante del progetto la sistemazione di tutta la viabilità locale interessata dal nuovo tracciato, in questo ambito rientrano sostanzialmente le deviazioni di strade minori esistenti in adiacenza al sedime dell'infrastruttura principale.

Sono previsti 3 nuovi ponti sulla SS293 ed il rifacimento di diversi tombini idraulici attualmente insufficienti.

In corrispondenza del viadotto Palmas, opera di lunghezza pari a 200 m, l'intervento, compatibilmente con le risorse finanziarie disponibili, prevede la sola messa in sicurezza stradale escludendo l'allargamento della sezione stradale del tratto e la messa in sicurezza idraulica, che nel caso di intervento vedrebbe la necessità di una demolizione e ricostruzione per garantire la sicurezza idraulica. Pertanto in corrispondenza dell'opera viene mantenuta l'attuale larghezza di piattaforma, pari a 7.50m, raccordando opportunamente ai tratti a monte e valle dell'opera mediante rastremazione delle sole banchine laterali.

### 2.2. Pianificazione di Assetto Idrogeologico

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 prima nel luglio 2004 e poi nel 2013. 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.

Più recentemente (2006-2009) la Regione Sardegna ha effettuato degli studi per l'aggiornamento del PAI. In particolare è stato effettuato, a cura dell'Università di Cagliari e del Cinsa (Centro Interdipartimentale di Ingegneria e Scienze Ambientali), un approfondimento e studio di dettaglio del quadro conoscitivo dei fenomeni di dissesto idrogeologico nei sub-bacini del Sulcis (Sub-bacino 1), che è quello di interesse del presente progetto. Pertanto per le analisi idrologiche dei corsi d'acqua interessati dall'intervento in progetto verranno presi a riferimento i risultati conseguiti nel suddetto studio.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

**Relazione idrologica**

4 di 33

### 2.2.1. Idrografia e Geologia

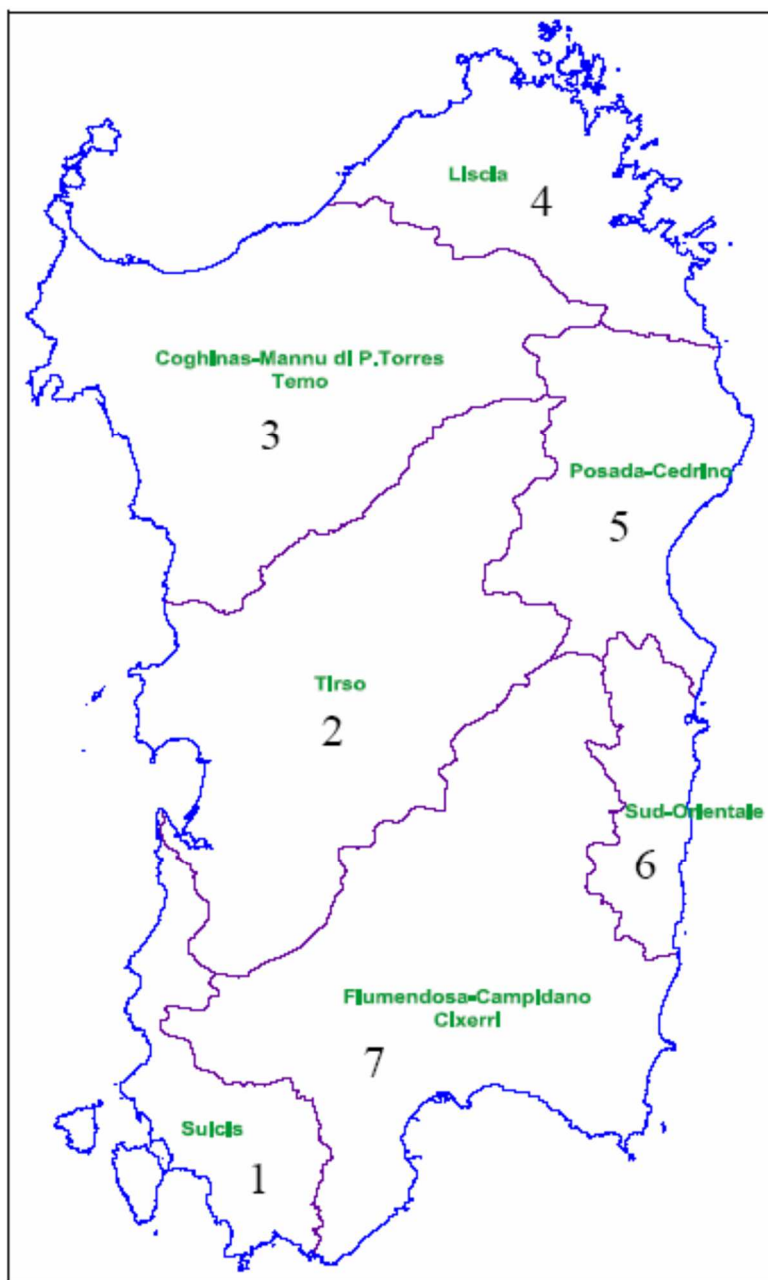
L'intero territorio della Sardegna è suddiviso in sette sub-bacini (Tabella 1 - Figura 1), ognuno dei quali risulta caratterizzato in grande da generali omogeneità geomorfologiche, geografiche, idrologiche ma anche da forti differenze di estensione territoriale.

| N°            | Sub_bacino                       | Superficie [km <sup>2</sup> ] | %            |
|---------------|----------------------------------|-------------------------------|--------------|
| 1             | Sulcis                           | 1646                          | 6.8          |
| 2             | Tirso                            | 5327                          | 22.2         |
| 3             | Coghinas - Mannu - Temo          | 5402                          | 22.5         |
| 4             | Liscia                           | 2253                          | 9.4          |
| 5             | Posada - Cedrino                 | 2453                          | 10.1         |
| 6             | Sud - Orientale                  | 1035                          | 4.3          |
| 7             | Flumendosa - Campidano - Cixerri | 5960                          | 24.8         |
| <b>Totale</b> |                                  | <b>24046</b>                  | <b>100.0</b> |

*Tabella 1 – Divisione territoriale in sub-bacini.*



**Relazione idrologica**



*Figura 1 – Divisione territoriale in sub-bacini.*

Dal punto di vista demografico, la Sardegna è caratterizzata da un elevato flusso migratorio estivo legato all'industria del turismo, che comporta un incremento della densità abitativa concentrato in particolare nelle zone costiere e per periodi brevi nell'arco dell'anno. La densa infrastrutturazione ed urbanizzazione del territorio in prossimità dei centri di attrazione turistica genera seri problemi dal punto di vista della difesa del suolo in quanto si osserva assai frequentemente come non vengano rispettate le condizioni necessarie ed un'evoluzione naturale dei bacini a causa dei vincoli apposti sul territorio dalla rete viaria,



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

**Relazione idrologica**

6 di 33

dalla intercettazione dei deflussi dovuta agli insediamenti, dall'incremento delle superfici impermeabili, etc. Inoltre, lo sviluppo del turismo costiero ha costituito una forte causa di migrazione interna con conseguente abbandono delle campagne e, perciò, della cura e manutenzione del territorio. Dal punto di vista pedologico, rimandando ai numerosi studi esistenti e utilizzati nell'ambito della redazione del PAI, si può qui brevemente ricordare che i suoli sardi sono generalmente caratterizzati da una notevolissima variabilità tipologica, scarsità della massa, elevato grado di pietrosità e rocciosità, intensa erosione superficiale. Tali non elevate qualità, legate certamente alle caratteristiche geologiche, morfologiche e climatiche della regione, sono tuttavia frutto anche di un prolungato e talvolta imprevedibile uso del territorio. L'idrografia regionale è caratterizzata dalla quasi totale assenza di corsi d'acqua perenni. Infatti, i soli fiumi classificati come tali sono costituiti dal Tirso, dal Flumendosa, dal Coghinas, dal Cedrino, dal Liscia e dal Temo, unico navigabile nel tratto terminale. Inoltre, la necessità di reperire risorse idriche superficiali da tutti i corsi d'acqua disponibili ha portato alla costruzione di numerosissimi invasi artificiali che di fatto hanno completamente modificato il regime idrografico, tanto che anche i fiumi succitati, a valle degli sbarramenti sono asciutti per lunghi periodi dell'anno. La maggior parte dei corsi d'acqua presenta caratteristiche torrentizie che, per la conformazione geomorfologica dei bacini imbriferi, presentano pendenze elevate per la maggior parte del loro percorso, con tratti vallivi brevi che si sviluppano nei conoidi di deiezione o nelle piane alluvionali; nel tracciato in esame ne costituiscono esempi tipici i corsi d'acqua del San Girolamo e del Baccalamanza. Di conseguenza nelle parti montane si verificano intensi processi erosivi dell'alveo, mentre nei tratti di valle si osservano fenomeni di sovralluvionamento che danno luogo a sezioni poco incise con frequenti fenomeni di instabilità planimetrica anche per portate non particolarmente elevate. Il tracciato in esame ricade interamente nel sub bacino Sulcis, di seguito descritto brevemente.

### 2.2.2. Sub-bacino del Sulcis

Il Sulcis-Iglesiente si estende per 1640 Km<sup>2</sup>, pari a circa il 7% dell'intero territorio sardo, ed è interessato da due invasi in esercizio. I corsi d'acqua più rilevanti sono costituiti dai seguenti rii:

- Rio Palmas, alimentato dalla confluenza del Rio Mannu di Narcao, del rio Gutturu de Ponti e del Rio Mannu di Santadi; il suo bacino imbrifero ricopre il territorio per la maggior parte.
- Rio Santu Milanu, attraversante la zona meridionale dell'abitato di Carbonia.
- Rio Cannas, attraversante la zona settentrionale dell'abitato di Carbonia.
- Rio Flumentepido, compreso fra Carbonia e Gonnese.
- Rio Mannu di Fluminimaggiore, che riceve i contributi del Rio Bega, del Rio Antas e del Rio isArrus.
- Rio Piscinas, che si sviluppa nella stretta vallata fra Monteponi e Montevecchio.

La rete idrografica è completata da alcuni rii minori, di breve corso sviluppatisi, in genere, perpendicolarmente alla linea di costa.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

7 di 33

### Relazione idrologica

La maggior parte dell'ossatura geologica del Sulcis è costituita dai terreni metamorfici della sequenza cambrica, per una potenza visibile di 2000 metri. Alla fine del Cambriano questi sedimenti sono emersi dal mare dopo essere stati deformati e dislocati dai prodromi del ciclo orogenetico caledonico che vanno sotto il nome di "Fase sarda". Alla fase tettonica è seguita la deposizione di altri depositi che vengono successivamente interessati dal corrugamento ercinico, al quale è da ricollegare la messa in posto della massa granitica tardo orogenetica, con annesse fasce termometamorfiche e corteo filoniano, sviluppati soprattutto sui lati nord e nord orientale.

Nella successiva fase continentale, che localmente continua anche nel Mesozoico, si verifica lo smantellamento progressivo dei rilievi formati e un intenso carsismo di quelli calcarei, facilitato anche dalle favorevoli condizioni climatiche presenti nella regione in questo periodo. Nel Trias medio, al disopra di queste spianate si instaurano condizioni ambientali da lagunare confinato a evaporitico, rappresentate da una più o meno spinta dolomitizzazione epigenetica (dolomia gialla) e da depositi conglomeratici dolomitici in genere poco potenti, come a Campumari. Si susseguono poi di cicli di emersione e trasgressione marina fino al Paleocene superiore per una nuova trasgressione marina di grande estensione (fino ai primi rilievi paleozoici interni, che delimitano verso nord e nord est il cosiddetto "bacino lignitifero del Sulcis" e spintasi verso est nella depressione tettonica del Cixerri) a cui si affiancano ulteriori episodi vulcanici. I depositi quaternari, localizzati ai piedi dei rilievi e nelle zone pianeggianti circostanti, sono costituiti da alluvioni ciottoloso-sabbiose-argillose, che assumono colorazione rossastra nei termini più antichi, terrazzati e, lungo le coste ed in particolare nell'Arburese, da depositi eolici sabbiosi.

Dal punto di vista morfologico il Sulcis presenta un rilievo poco marcato, con morfologie generalmente dolci, in particolare in corrispondenza degli argilloscisti, leggermente più accentuato nelle arenarie, nella "puddinga" ordoviciana e nei graniti. Nelle zone calcaree e dolomitiche si hanno invece forme talora aspre, con pareti verticali. L'area risente di un'erosione protrattasi per tempi molto lunghi, culminata localmente con una peneplanazione e successiva ingressione triassica, e seguita da dislocazioni che non hanno tuttavia cancellato la morfologia antecedente ad ampi penepiani, presenti in particolare nell'area a sud della miniera di San Giovanni.

Le valli principali e minori sono influenzate dalle direttrici tettoniche E-W e N-S, che hanno determinato, in particolare a sud e sud est dell'area in esame, la formazione di bacini subsidenti riempiti

#### 2.2.3. Pluviometria.

Rimandando ai numerosi ed approfonditi studi sull'idrologia della Sardegna, riportati nelle Linee Guida del PAI, si ricordano in sintesi le principali caratteristiche del regime idrologico del Bacino Unico Regionale, che presenta un clima semiarido con un'elevata variabilità temporale della precipitazione ed intensità orarie molto elevate, tipiche dei regimi idrologici pluviometrici marittimi.

In Tabella 2 sono riportati la media e la deviazione standard della precipitazione annuale per alcune stazioni pluviometriche, mentre in Tabella 3, a titolo di esempio, si riportano le intensità orarie registrate durante il tragico evento del novembre 1999 nel basso Campidano confrontate con i corrispondenti valori medi annui.





**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

8 di 33

**Relazione idrologica**

| Stazione    | Cagliari | Oristano | Sassari | Nuoro | Tempio | Is Cannoneris |
|-------------|----------|----------|---------|-------|--------|---------------|
| Media [mm]  | 430.1    | 581.3    | 593.2   | 714.8 | 800.0  | 1134.7        |
| Dev.st [mm] | 114.6    | 128.8    | 123.9   | 213.0 | 186.8  | 266.5         |

*Tabella 2 – Media e deviazione standard delle precipitazioni annuali.*

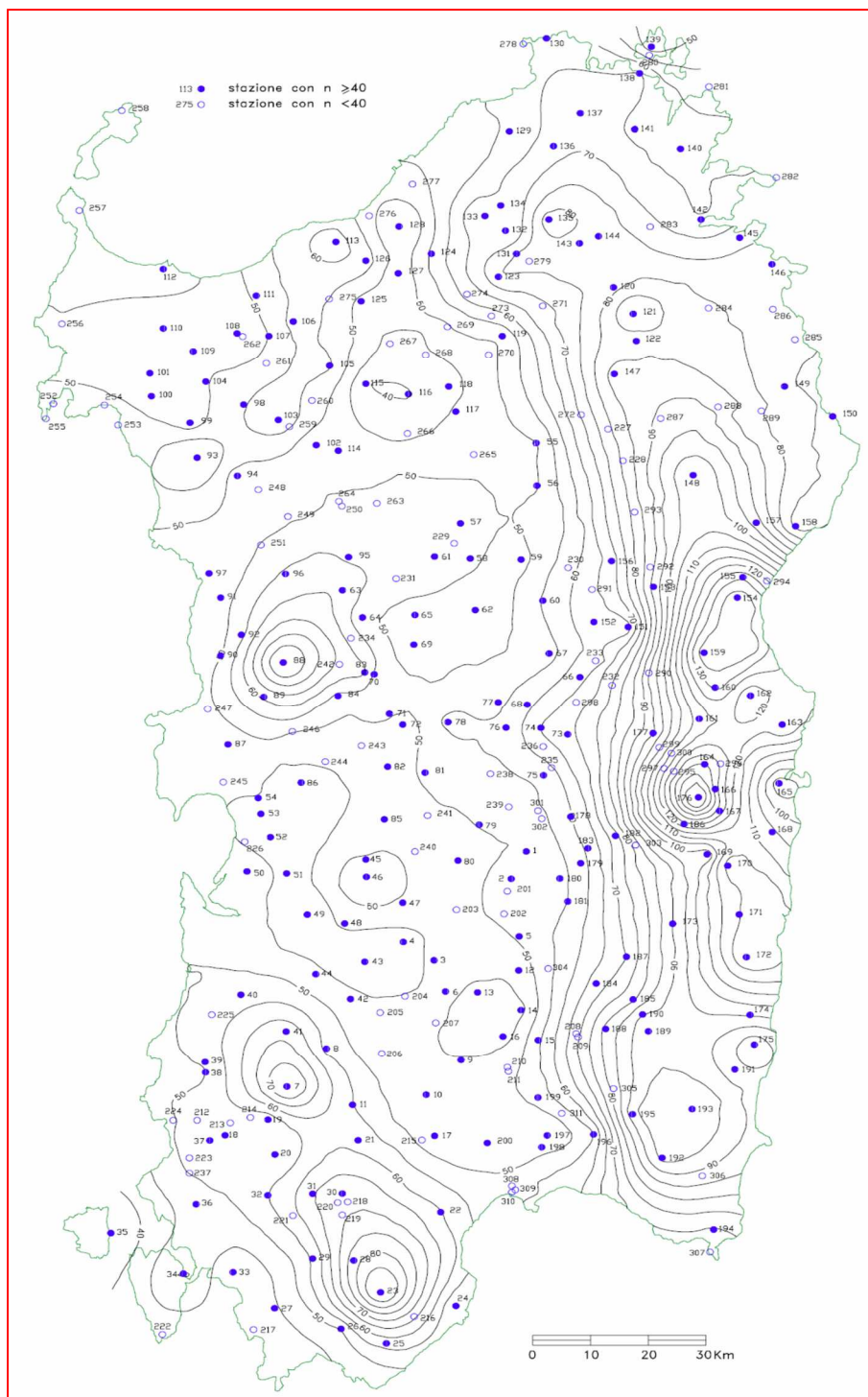
| Stazione    | 24h   | 12h   | 6h    | 3h    | 1h    | Anno  | Dev.st. |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|
| Uta         | 464.4 | 448.6 | 313.8 | 179.4 | 105.8 | 526.5 | 127.9   |
| Decimomannu | 474.2 | 429.8 | 314.0 | 203.0 | 79.0  | 495.4 | 139.2   |

*Tabella 3 – Media e deviazione standard evento calamitoso novembre 1999.*


Alla variabilità temporale della precipitazione si aggiunge anche quella spaziale caratterizzata dalla forte influenza dell'orografia con le principali direzioni dei flussi di umidità indotte dalle perturbazioni atmosferiche, come si evince dalla distribuzione spaziale della media giornaliera (Figura 2). Tale variabilità si manifesta anche sul valore annuale di precipitazione (Tabella 2) dove si può osservare come la precipitazione media annua varia dai 430 mm di Cagliari, praticamente al livello del mare, sino agli oltre 1100 mm di Is Cannoneris, ubicata a quota 700 m circa e ad appena 30 Km di distanza dalla precedente.



**Relazione idrologica**



*Figura 2 – Isoiete medie giornaliere.*

|   |   |                 |
|---|---|-----------------|
|  | <p><b>GARA CA 13/16-</b> Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;"><b>Relazione idrologica</b></p> | <p>10 di 33</p> |
|---|---|-----------------|

Come indicato nel PAI, inoltre, nell'ultimo quinquennio si è assistito ad un progressivo abbassamento della media annua, mentre nel contempo si sono manifestati alcuni eventi di eccezionale intensità difficilmente inquadrabili negli schemi modellistici attualmente disponibili. In conseguenza di tali regimi pluviometrici, oltre che per la nota dipendenza dai fattori litologici del bacino, i deflussi nei corsi d'acqua risultano ancor più irregolari, con bassi o quasi nulli valori nel trimestre estivo ma con picchi di portata talvolta assai intensi in limitati periodi della stagione autunno-inverno.

#### 2.2.4. Individuazione e perimetrazione delle Aree a Rischio Idraulico.

Nell'ambito della redazione del PAI, per ciascun bacino idrografico l'individuazione delle aree a rischio è stata operata secondo la seguente articolazione:

- individuazione dei tronchi critici del reticolo idrografico;
- analisi idrologica e idraulica per ciascun tronco critico;
- delimitazione delle aree inondabili di ciascun tronco critico e loro intersezione con elementi a rischio.

L'individuazione dei tronchi critici è stata condotta in base a diversi criteri quali:

- l'analisi storica delle inondazioni;
- l'analisi geomorfologica dell'area e dell'alveo;
- le intersezioni delle infrastrutture viarie e ferroviarie con il reticolo idrografico;
- la considerazione di aree di pregio adiacenti al reticolo idrografico;
- la presenza di dighe.

In ciascun tronco si è proceduto prima alla stima delle portate di piena relative ai quattro livelli di pericolosità  $H_i$  definiti per i differenti periodi di ritorno e quindi alla verifica idraulica, che, in caso di insufficiente capacità di smaltimento, ha condotto all'individuazione delle aree allagabili per ciascun livello di pericolosità. Nelle analisi idrologiche si sono applicati sia metodi diretti, basati sulle serie storiche dei dati, che i metodi di stima per le piene della Sardegna attualmente disponibili nella letteratura scientifica, operando successivamente ad una analisi critica dei risultati al fine di effettuare la scelta dei valori di riferimento.

L'individuazione delle aree pericolose, ossia quelle eventualmente allagabili, è stata quindi operata con la ricostruzione del possibile profilo di corrente in moto permanente, per i quattro livelli di pericolosità assegnati, in un numero di sezioni sufficientemente significative del tronco critico, tenendo conto dell'effettiva configurazione degli alvei e delle aree interessate dalla potenziale espansione della piena secondo rilievi di dettaglio in sito ed aereofotogrammetrici (cfr. Linee Guida).

Nel PAI, quindi, le aree inondabili sono state suddivise in:



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

11 di 33

#### Relazione idrologica

- aree con probabilità molto alta di inondazione, se allagabili con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni (identificate con il codice Hi-4);
- aree ad alta probabilità d'inondazione, se allagabili con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 100 anni (identificate con il codice Hi-3);
- aree a moderata probabilità d'inondazione, se allagabili con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni (identificate con il codice Hi-2);
- aree a bassa probabilità d'inondazione, se allagabili con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 500 anni (identificate con il codice Hi-1).

Le aree a Rischio Idraulico sono state quindi ricavate della sovrapposizione delle aree allagabili con gli elementi a rischio.

I corsi d'acqua inseriti nell'indice generale di riferimento dei siti a rischio di piena, così come perimetrati ai sensi della legge 267/98, individuabili nell'area oggetto dell'intervento, sono riportati nella Cartografia delle aree inondabili e a rischio di piena facente parte degli elaborati del PAI Sardegna.

La sovrapposizione delle aree di pericolosità idraulica indicate dal PAI con il tracciato stradale di progetto, è rappresentata nella tavole dedicate.

### 2.3. Piano Stralcio delle Fasce Fluviali

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.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) 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 c.3 e 9 c.2 della L.R. n. 19 del 6.12.2006, il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.), costituito dagli elaborati elencati nell'allegato A alla delibera di adozione medesima.

Nell'ambito della redazione del P.S.F.F., è stato inoltre predisposto l'elaborato denominato "Linee Guida per la redazione del progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali – Integrazioni Metodologiche",



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

12 di 33

### Relazione idrologica


(allegato B alla delibera di adozione preliminare del C.I. n. 1 del 31.03.2001), a cura della Direzione di Progetto e consulenza scientifica del P.S.F.F.. 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 P.S.F.F. e definito una nuova procedura per l'adozione e l'approvazione finale.

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

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

- fascia A\_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- fascia A\_50 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- fascia B\_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- fascia B\_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata; La delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate;
- fascia C o area di inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'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).

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

|   |   |                 |
|---|---|-----------------|
|  | <p><b>GARA CA 13/16-</b> Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500</p> <p style="text-align: center;"><b>Relazione idrologica</b></p> | <p>13 di 33</p> |
|---|---|-----------------|

Il tracciamento delle fasce fluviali relative agli eventi di piena corrispondenti ai tempi di ritorno oggetto di studio è stato eseguito a partire dai risultati delle analisi idrauliche e geomorfologiche svolte; in particolare sono stati utilizzati i seguenti elementi conoscitivi sviluppati:

- andamento planimetrico dell'alveo e modificazioni recenti;
- evidenze morfologiche di antichi alvei abbandonati;
- tendenze evolutive dell'alveo;
- definizione dell'assetto delle opere idrauliche esistenti: argini, difese di sponda, soglie o traverse di fondo, opere di sponda con funzioni di regimazione idraulica;
- analisi della funzionalità delle opere in relazione al contenimento delle piene e al controllo delle modificazioni morfologiche dell'alveo;
- individuazione delle infrastrutture e degli insediamenti condizionanti l'assetto del corso d'acqua: cave in golena, attraversamenti, viabilità, insediamenti;
- profili liquidi in condizioni di piena per eventi con tempo di ritorno crescente tra 2 e 500 anni.

La sovrapposizione delle opere in progetto con la perimetrazione delle fasce fluviali è mostrata nell'elaborati dedicati, dove si evidenzia che il tracciato della SS195 interferisce con le fasce A, B e C del Riu Palmas in corrispondenza del viadotto esistente e del relativo rilevato di approccio.

#### **2.4. Interferenze idrauliche.**

L'interferenza idraulica principale è costituita dal Riu Palmas nel tratto a valle della diga che interseca il tracciato della SS195 esistente mediante un attraversamento in viadotto.

In ordine di importanza sono degne di nota anche le seguenti interferenze idrauliche sulla SS293.

- Rio\_Mannu\_di\_Santadi
- Riu di Piscinas

Queste interferenze vengono risolte nel presente progetto mediante il rifacimento di nuovi ponti aventi caratteristiche tali da ottenere il raggiungimento della piena compatibilità idraulica dell'opera.

Sono presenti ulteriori corsi d'acqua interferenti sempre con la SS293 aventi bacini di una certa entità, ma comunque inferiori a 5 kmq, questi attraversano l'asse viario mediante ponte o tombino scatolare.

Per i fossi e gli altri corsi d'acqua minori sono previsti attraversamenti con tombini circolari e scatolari di dimensioni variabili. Per motivi di trasparenza idraulica ai deflussi di versante e per consentire l'attraversamento di canali di bonifica esistenti sono stati previsti una serie di tombini. La lista di tali opere è riportata di seguito.



**Relazione idrologica**

| Piano Sulcis | Bacino | Attraversamento rif. | Denominazione corso d'acqua | Opera Esistente   | Opera di progetto |
|--------------|--------|----------------------|-----------------------------|-------------------|-------------------|
| SS           | CODICE | Km                   |                             |                   |                   |
| 293          | 16     | 64+485               | Gora di Piscinas            | Ponte a 2 archi   | Nuovo ponte       |
| 293          | 18     | 64+650               | Riu di Piscinas             | Ponte a 5 archi   | Nuovo ponte       |
| 293          | 19     | 61+220               | Riu Mannu di Santadi        | Ponte             | Nuovo Ponte       |
| 293          | -      | 60+340               | -                           | Tombino 1.5x1.0   | Tombino 3.0x1.5   |
| 293          | -      | 61+610               | -                           | Tombino 1.5x1.0   | Tombino 1.5x1.5   |
| 293          | -      | 62+020               | -                           | Tombino 0.8x0.8   | Tombino 3.5x2.0   |
| 195          | -      | 91+335               | -                           | Tombino 2.5x1.4   | Tombino 4.0x2.5   |
| 195          | -      | 92+660               | Riu S Elena                 | Tombino 2.6x2.4   | Tombino 4.0x2.5   |
| 195          | -      | 93+200               | -                           | Tombino 2.5x0.9   | Tombino 3.0x1.5   |
| 195          | -      | 93+610               | -                           | Tombino D=1.1m    | Tombino 3.0x1.5   |
| 195          | -      | 94+020               | -                           | Tombino 2.5x1.2   | Tombino 3.5x2.0   |
| 293          | -      | 64+870               | -                           | tombino esistente | Tombino 3.0x1.5   |
| 293          | -      | 63+530               | -                           | tombino esistente | Tombino 2.5x0.8   |
| 293          | -      | 61+400               | -                           | tombino esistente | Tombino 1.50x1.50 |

*Tabella 4 – Elenco delle interferenze minori del tracciato.*

Nel seguito, verranno quindi esposte le caratteristiche morfologiche generali di tutti bacini idrografici interferiti e le risultanze delle analisi idrologiche condotte, volte a determinare il valore della massima piena da utilizzare per le verifiche di compatibilità idraulica dell'infrastruttura.

#### 2.4.1. Assetto idraulico del Riu Palmas

Come anticipato in premessa l'interferenza della SS195 con il Riu Palmas costituisce l'interferenza idraulica principale. Tuttavia compatibilmente con le risorse finanziarie disponibili, il progetto prevede la sola messa in sicurezza stradale escludendo l'allargamento della sezione stradale del tratto e la messa in sicurezza idraulica che nel caso di intervento vedrebbe la necessità di una demolizione e ricostruzione per garantire la sicurezza idraulica. Pertanto in corrispondenza dell'opera viene mantenuta l'attuale larghezza di piattaforma, pari a 7.50m, raccordando opportunamente ai tratti a monte e valle dell'opera mediante rastremazione delle sole banchine laterali..

Il tratto di corso d'acqua che va dalla diga alla foce è stato ampiamente studiato nell'ambito della redazione dello studio denominato Progetto di Piano Stralcio delle fasce fluviali (PSFF).



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

15 di 33

### Relazione idrologica



L'assetto attuale del Riu Palmas è caratterizzato dall'invaso di Monte Pranu, costituito da uno sbarramento a gravità massiccia in muratura di pietrame con malta di cemento, che, realizzato per fini irrigui tra il 1948 e il 1951, raccoglie le acque del bacino montano e condiziona il regime dei deflussi nel tratto vallivo. Il tratto di corso d'acqua in esame, compreso tra lo sbarramento e lo sbocco a mare (lunghezza complessiva 8km), si presenta in condizioni prevalentemente naturali e stabili fino all'attraversamento della SS Sulcitana; a valle vi sono gli interventi di arginatura continua lungo entrambe le sponde fino alla foce, funzionali alla bonifica e all'utilizzazione agricola della pianura, realizzati negli anni '50.

Lungo lo sviluppo del corso d'acqua, la pressione antropica è modesta; se si esclude la viabilità locale ed alcuni insediamenti isolati non sono presenti elementi sensibili in corrispondenza della fascia d'esondazione del corso d'acqua. In prossimità della costa, in area inondabile, si sviluppano in destra le Saline di S. Antioco e in sinistra un impianto di ittiocoltura.

L'alveo del Palmas presenta una pendenza di fondo costante, mediamente pari allo 0,25% e una larghezza, crescente verso valle, compresa tra 25 e 50 m. Il tratto tra la diga e il ponte della S.S. Sulcitana è prevalentemente in secca, con una significativa presenza di vegetazione in alveo, in buona parte arbustiva, che costituisce ostacolo al deflusso della corrente in corso di piena.





**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

16 di 33

#### **Relazione idrologica**

In questo tratto la fascia d'erosione, in occasione di eventi estremi, tende a coinvolgere l'intero fondovalle raggiungendo una larghezza pari a 800 – 1000 m, senza tuttavia interessare aree urbanizzate.

A valle del ponte della Sulcitana, le simulazioni hanno evidenziato l'inadeguatezza delle arginature presenti, caratterizzate peraltro da uno sviluppo irregolare in senso sia longitudinale che trasversale. Per tempi di ritorno superiori a 50 anni si riscontra il sormonto delle stesse con il conseguente allagamento di un'ampia porzione del territorio retrostante, con livelli anche superiori a 1.5 m per i tempi di ritorno più elevati.

Il Riu Palmas presenta, per tutto il tratto d'interesse (dalla diga di Monte Pranu al Golfo di Palmas), un alveo -tipo monocursale sinuoso, quasi meandriforme; il corpo idrico mantiene un profilo di fondo regolare con pendenze modeste, dell'ordine del 2,5 ‰.

L'assetto attuale del Palmas è fortemente condizionato dalla diga realizzata nei primi anni '50 in corrispondenza del centro di Tratalias; la diga ha modificato in maniera sostanziale il regime idrologico del corso d'acqua nel tratto a valle di essa, condizionando la dimensione degli eventi di piena e trattenendo completamente il trasporto solido di fondo proveniente dalla parte alta del bacino. In queste condizioni il corso d'acqua si è stabilizzato nella posizione occupata attualmente, rielaborando i sedimenti presenti all'interno del proprio alveo, operando una selezione delle granulometrie in funzione della competenza della corrente nei vari tratti.

Nel tratto compreso tra la diga e la statale SS 195 S. Giovanni Suergiu – Cagliari, il Palmas presenta un alveo tipo monocursale sinuoso, con sezione di deflusso dell'alveo inciso di modesta larghezza (larghezza media di deflusso in magra inferiore a 5 m) ed incisa tra il terrazzo alluvionale in sponda destra e il versante collinare in sinistra; entrambe le sponde appaiono per lunghi tratti in erosione.

Nel tratto di valle, dopo l'attraversamento della strada statale SS 195, che scorre parallela alla costa, l'asta palesa gli interventi di regimazione eseguiti a cavallo dell'ultimo conflitto mondiale, finalizzati alla bonifica della zona; il rio procede arginato sia in destra che in sinistra mantenendo una larghezza costante e uniforme della sezione di deflusso. La pendenza del profilo di fondo è modesta e i depositi fluviali sono prevalentemente limoso-sabbiosi.

La realizzazione delle arginature ha stabilizzato in maniera definitiva sia il tracciato planimetrico dell'alveo, nel tratto terminale della piana alluvionale, sia la sua posizione nell'ambito dell'apparato deltizio. Tutta l'area costiera è caratterizzata da un complesso sistema di aree umide ( la Salina Manna e di S. Antioco, in destra idrografica, e lo Stagno di Mulargia in sinistra idrografica) ad elevato valore naturalistico.

Nel tratto che compreso tra loc. Is Garaus e il ponte della SS 195. Il riu Palmas, riceve le acque del riu s'Arriaxiu, la sezione di deflusso del corso d'acqua aumenta; in corso di piena la fascia d'erosione coinvolge ampie aree golenali sia in sinistra, dove raggiunge le pendici dei rilievi esistenti, che in destra, dove si spinge fino alla strada comunale per Is Garaus. L'inondazione di queste aree è favorita



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

17 di 33

#### **Relazione idrologica**

dall'evidente interferenza con i deflussi dell'attraversamento della SS 195, che palesa l'inadeguatezza già al transito della piena cinquantennale. Per eventi estremi i rilevati di accesso e l'impalcato vengono sormontati e l'abitato di Is Achenzas, posto a ridosso del ponte, in destra, è inondato con tiranti idrici dell'ordine di 0,5 m.

A valle del ponte della SS 195, il Palmas entra nel tratto focivo, storicamente interessato da rilevanti interventi di regimazione idraulica, finalizzati alla bonifica delle terre paludose limitrofe; i rilevati arginali esistenti, in cattivo stato di manutenzione, sono inadeguati a contenere eventi di piena con tempi di ritorno pari o superiori a 50 anni, le aree retrostanti sono inondate con tiranti fino a 2 m, coinvolgendo le saline di S. Antioco e lo stabilimento ittico in sinistra.

In estrema sintesi, l'assetto attuale del riu Palmas è caratterizzato dagli interventi di sistemazione idraulica eseguiti a cavallo dell'ultimo conflitto mondiale; la realizzazione della diga di monte Pranu da un lato e le opere di regimazione del tratto focivo dall'altro hanno profondamente mutato il regime naturale dei deflussi: il trasporto solidi dell'intero bacino montano è stato arrestato in corrispondenza dell'invaso mentre le zone paludose del golfo di Palmas sono state bonificate e convertite in aree agricole, regimando il corpo idrico che oggi, con un lungo tratto risezionato e arginato, è convogliato direttamente a mare.

La stabilità dell'assetto geomorfologico-idraulico attuale è confermata dalle analisi eseguite nonostante la modesta tendenza all'erosione e all'approfondimento del profilo di fondo riscontrabile nel tratto vallivo.

Il deflusso della piena di riferimento determina esondazioni significative, raggiungendo una larghezza prossima a 1000 m nel tratto compreso tra la diga e l'inizio delle arginature (attraversamento SS195 Sulcitana); nel tratto regimato l'assetto del sistema difensivo è inadeguato al contenimento dei livelli di piena e le inondazioni coinvolgono tutte le terre basse tra mare e fiume (saline di S. Antioco e stagno di Mulargia).

La pressione antropica lungo le sponde si mantiene modesta pertanto le inondazioni interessano solo qualche insediamento isolato e, in occasione di eventi estremi, l'abitato di Is Achenzas che, posto in sponda destra immediatamente a valle del rilevato della SS 195, viene inondato a causa dell'inefficacia del sistema difensivo esistente (arginature lungo il Palmas e rilevato stradale).

Le criticità più evidenti sono da ricondursi all'interferenza con i deflussi di piena dei due attraversamenti principali esistenti: il ponte per Tratalias e il manufatto della SS 195 Sulcitana.

Il ponte della SS 195 ha franco idraulico negativo già per l'evento con TR 50 anni e può essere sormontato in occasione degli eventi più estremi con rischi concreti per la stabilità della struttura inoltre la fascia d'esondazione a monte coinvolge i rilevati per il loro intero sviluppo (500 m in destra e 400 in sinistra) con tiranti idrici in golena fino a 3 m.



## 2.5. Caratteristiche morfologiche dei bacini

Per tutti i bacini oggetto di studio sono state determinate, attraverso software GIS in grado di processare i dati territoriali tridimensionali ed effettuare analisi spaziali, le distribuzioni rispetto alla superficie dei bacini stessi delle principali caratteristiche morfologiche, fisiche ed idrologiche, utili o necessarie all'analisi idrologica che si intende condurre.

In particolare sono state ricostruite sulla base dei dati disponibili:

- l'altimetria;
- la clivometria;
- l'esposizione dei versanti;
- il parametro Curve Number (CN).

Sono state ricavate dalla cartografia disponibile (Carta Tecnica Regionale scala 1:25.000) sovrapposta al modello tridimensionale del terreno (DEM), le caratteristiche morfologiche peculiari, di seguito riportate:

| Piano Sulcis | Bacino | Attraversamento rif. | A <sub>Bacino</sub> | L <sub>asta principale</sub> | i <sub>media asta</sub> | i <sub>media bacino</sub> | H <sub>0</sub> sezione chiusura | H <sub>max</sub> bacini | H <sub>media</sub> bacino |
|--------------|--------|----------------------|---------------------|------------------------------|-------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------|---------------------------|
| SS           | CODICE | Km                   | Kmq                 | km                           | m/m                     | %                         | m s.l.m.                        | m s.l.m.                | m s.l.m.                  |
| 293          | 16     | 64+485               | 1.7                 | 2.7                          | 1.8                     | 6.1                       | 62.6                            | 135.0                   | 83.0                      |
| 293          | 18     | 64+650               | 69.5                | 20.9                         | 3.6                     | 29.9                      | 63.8                            | 902.0                   | 277.0                     |
| 293          | 19     | 61+220               | 88.7                | 18.2                         | 4.8                     | 35.4                      | 74.8                            | 1103.0                  | 388.0                     |
| 293          | -      | 60+340               | 0.3                 | 0.6                          | 1.0                     | 1.0                       | 86.0                            | 82.0                    | 89.0                      |
| 293          | -      | 61+610               | 0.2                 | 0.4                          | 1.4                     | 1.4                       | 72.5                            | 78.0                    | 75.3                      |
| 293          | -      | 62+020               | 1.9                 | 1.7                          | 7.2                     | 7.2                       | 73.0                            | 195.0                   | 134.0                     |
| 195          | -      | 91+335               | 3.3                 | 2.6                          | 1.1                     | 3.3                       | 7.5                             | 83.0                    | 26.0                      |
| 195          | -      | 92+660               | 0.1                 | 0.3                          | 1.2                     | 2.2                       | 6.0                             | 12.0                    | 9.0                       |
| 195          | -      | 93+200               | 0.2                 | 0.5                          | 0.6                     | 0.6                       | 6.0                             | 9.0                     | 7.5                       |
| 195          | -      | 93+610               | 2.2                 | 2.9                          | 0.7                     | 0.7                       | 6.0                             | 25.0                    | 15.5                      |
| 195          | -      | 94+020               | 2.2                 | 2.9                          | 0.7                     | 0.7                       | 6.0                             | 25.0                    | 15.5                      |
| 293          | -      | 64+870               | 0.35                | 0.5                          | 3.2                     | 3.2                       | 70                              | 130                     | 100                       |
| 293          | -      | 63+530               | 0.67                | 1                            | 9.6                     | 9.6                       | 65                              | 161                     | 113                       |
| 293          | -      | 61+400               | 0.03                | 0.1                          | 3.3                     | 3.3                       | 71                              | 75                      | 73                        |

Tabella 5 - Caratteristiche dei bacini idrografici interferiti dal tracciato di progetto.

Dove viene indicato con:

- **A**, l'area del bacino idrografico;
- **L<sub>asta pr.</sub>**, la lunghezza dell' asta principale, considerata come quella a maggior sviluppo planimetrico del reticolo idrografico sotteso alla sezione di chiusura;
- **i<sub>media asta</sub>**, la pendenza media dell'asta principale;
- **H<sub>min</sub>** la quota minima del bacino, coincidente con la quota minima dell'asta fluviale principale alla sezione di chiusura;
- **h<sub>max</sub>** la quota massima dell'asta fluviale principale;
- **H<sub>med</sub>** la quota media del bacino idrografico rispetto alla sezione di chiusura.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

**Relazione idrologica**

19 di 33

### 3. STIMA DELLE MASSIME PRECIPITAZIONI

#### 3.1. Analisi pluviometria a scala regionale

E' stata seguita la 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.

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 4), per durate minori e maggiori di 1ora e per tempi di ritorno variabili, come mostrato nella tabella seguente:



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

20 di 33

**Relazione idrologica**

tempi di ritorno T <= 10 ANNI

$$\begin{aligned} \text{SZO 1 } a_2 &= 0,66105 + 0,85994 \text{ Log}_{10} T ; \\ n_2 &= -1,3558 \cdot 10^{-4} - 1,3660 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T ; \\ \text{SZO 2 } a_2 &= 0,64767 + 0,89360 \text{ Log}_{10} T ; \\ n_2 &= -6,0189 \cdot 10^{-3} + 3,2950 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T ; \\ \text{SZO 3 } a_2 &= 0,62408 + 0,95234 \text{ Log}_{10} T ; \\ n_2 &= -2,5392 \cdot 10^{-2} + 4,7188 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T ; \end{aligned}$$

tempi di ritorno T > 10 ANNI

$$\begin{aligned} \text{SZO 1 } a_2 &= 0,46378 + 1,0386 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0,18449 + 0,23032 \text{ Log}_{10} T - 3,3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 && \text{(per } \tau \leq 1 \text{ ora)} \\ n_2 &= -1,0563 \cdot 10^{-2} - 7,9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T && \text{(per } \tau \geq 1 \text{ ora)} \\ \text{SZO 2 } a_2 &= 0,44182 + 1,0817 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0,18676 + 0,24310 \text{ Log}_{10} T - 3,5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 && \text{(per } \tau \leq 1 \text{ ora)} \\ n_2 &= -5,6593 \cdot 10^{-3} - 4,0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T && \text{(per } \tau \geq 1 \text{ ora)} \\ \text{SZO 3 } a_2 &= 0,41273 + 1,1370 \text{ Log}_{10} T \\ n_2 &= -0,19055 + 0,25937 \text{ Log}_{10} T - 3,8160 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 && \text{(per } \tau \leq 1 \text{ ora)} \\ n_2 &= 1,5878 \cdot 10^{-2} + 7,6250 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T && \text{(per } \tau \geq 1 \text{ ora)} \end{aligned}$$

Tabella 6 - Parametri della curva di possibilità climatica.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

21 di 33

### Relazione idrologica

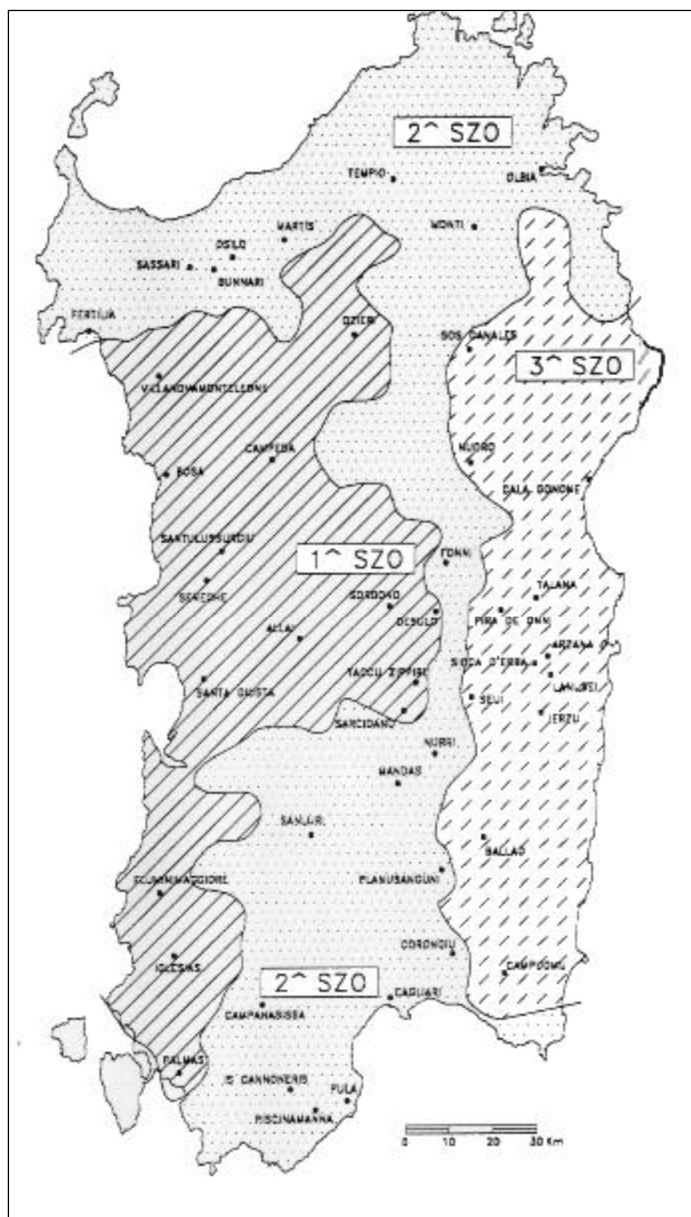


Figura 3 - Sotto-zone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

22 di 33

### Relazione idrologica

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 (Figura 3).

Anche in questo caso i risultati ottenuti dall'applicazione della metodologia indicata nelle Linee Guida del PAI sono esposti nei successivi paragrafi.

#### 4. STIMA DELLE PORTATE AL COLMO PER BACINI CON SUPERFICIE MINORE DI 60 KMQ

La valutazione delle portate di progetto al colmo, caratterizzate dai tempi di ritorno di 200 anni, è stata effettuata 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  $S < 60$  kmq, 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  $T_r$ ;
- $\Phi$  il coefficiente di assorbimento;
- $A$  la superficie del bacino;
- $\varepsilon(t)$ : il coefficiente di laminazione;
- $\Theta$  indica il valore di durata critica,
- $r(\Theta, A)$ , rappresenta il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata,  $\Theta$ , 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 tc;
- la durata  $D$  è minore di 0,2 volte il tempo di crescita dell'onda di piena ( $t_p$ ).



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

23 di 33

**Relazione idrologica**

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

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

dove:

- $\varepsilon$ (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  $A < 20$  kmq;
- $r$  (adim.) =  $1 - (0,0394 A^{0.354}) d^{(-0.40+0.003832 (4.6-\ln(A)))}$  per  $A > 20$  kmq
- $A$ (kmq); = 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 geomorfologici dei corsi d'acqua interferiti e dei relativi bacini, in funzione dell'estensione dei bacini ed è stato valutato attraverso una serie di formulazioni (indicate nelle Linee Guida PAI) quali:

SCS:

$$T_c = 1.67 \times \frac{100L^{0.8} \times \left[ \left( \frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0.7}}{1900 \times i_{versante}^{0.5}} \quad [\text{minuti}]$$

In cui:





**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

24 di 33

**Relazione idrologica**

$L$  [ft] è la lunghezza dell'asta principale;

$I_{versante}$  [%] è la pendenza media del bacino;

$CN$  [adim.] è il Curve Number

Pasini:

$$T_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{A \times L}}{\sqrt{J_m}} \quad [ore]$$

dove:

$A$  [ $km^2$ ], è l'area del bacino;

$L$  [ $km$ ], la lunghezza dell'asta fluviale:

$J_m$  [ $m/m$ ], è la pendenza media del reticolo idrografico.

Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - h}} \quad [ore]$$

dove:

$S$  [ $km^2$ ] è l'area del bacino idrografico

$L$  [ $km$ ] è la lunghezza dell'asta principale

$H_m$  [m s.l.m.] è la quota media del bacino

$H_0$  [m s.l.m.] è la quota della sezione di chiusura

Formula VAPI-Sardegna:

$$T_c = 0.212 \times A^{0.231} \times \left(\frac{H_m}{J_m}\right)^{0.289} \quad [ore]$$

È stata quindi adottata per la caratterizzazione del  $t_c$  di progetto il minimo dei valori calcolati come indicato dalle Linee guida PAI.



**Relazione idrologica**

| Piano Sulcis | Bacino | Attraversamento rif. | A <sub>Bacino</sub> | Giandotti | Pasini | Metodo SCS | Metodo VAPI | Tc Adottato |
|--------------|--------|----------------------|---------------------|-----------|--------|------------|-------------|-------------|
| SS           | CODICE | Km                   | Kmq                 | h         | h      | h          | h           | h           |
| 293          | 16     | 64+485               | 1.7                 | 2.56      | 1.34   | 1.72       | 2.52        | 1.34        |
| 293          | 18     | 64+650               | 69.5                | 5.54      | 6.45   | 3.99       | 4.91        | 3.99        |
| 293          | 19     | 61+220               | 88.7                | 4.59      | 5.78   | 3.29       | 5.00        | 3.29        |
| 293          | -      | 60+340               | 0.3                 | 2.09      | 0.57   | 1.28       | 2.11        | 0.57        |
| 293          | -      | 61+610               | 0.2                 | 1.70      | 0.38   | 0.79       | 1.67        | 0.38        |
| 293          | -      | 62+020               | 1.9                 | 1.29      | 0.60   | 1.10       | 1.82        | 0.60        |
| 195          | -      | 91+335               | 3.3                 | 3.25      | 2.11   | 2.27       | 1.84        | 1.84        |
| 195          | -      | 92+660               | 0.1                 | 1.03      | 0.26   | 0.49       | 0.67        | 0.26        |
| 195          | -      | 93+200               | 0.2                 | 2.55      | 0.64   | 1.42       | 1.06        | 0.64        |
| 195          | -      | 93+610               | 2.2                 | 4.14      | 2.47   | 5.54       | 1.82        | 1.82        |
| 195          | -      | 94+020               | 2.2                 | 4.17      | 2.47   | 5.54       | 1.82        | 1.82        |
| 293          | -      | 64+870               | 0.35                | 0.71      | 0.34   | 0.62       | 1.54        | 0.34        |
| 293          | -      | 63+530               | 0.67                | 0.77      | 0.09   | 0.19       | 0.87        | 0.09        |
| 293          | -      | 61+400               | 0.03                | 0.86      | 0.31   | 0.62       | 1.27        | 0.31        |

*Tabella 7 – 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" 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 ).

I risultati per i bacini in esame sono i seguenti:

| Piano Sulcis | Attraversamento rif. | A <sub>Bacino</sub> | CN (III) |
|--------------|----------------------|---------------------|----------|
| SS           | Km                   | Kmq                 |          |
| 293.00       | 64+485               | 1.70                | 92.33    |
| 293.00       | 64+650               | 69.50               | 87.63    |
| 293.00       | 61+220               | 88.70               | 88.09    |
| 293.00       | 60+340               | 0.25                | 80.39    |
| 293.00       | 61+610               | 0.20                | 83.54    |
| 293.00       | 62+020               | 1.90                | 80.60    |
| 195.00       | 91+335               | 3.30                | 83.54    |
| 195.00       | 92+660               | 0.06                | 89.63    |
| 195.00       | 93+200               | 0.19                | 80.06    |
| 195.00       | 93+610               | 2.20                | 73.66    |
| 195.00       | 94+020               | 2.20                | 73.66    |
| 293          | 64+870               | 0.35                | 84.60    |
| 293          | 63+530               | 0.67                | 85.40    |
| 293          | 61+400               | 0.03                | 91.20    |

*Tabella 8 - CN III*



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

26 di 33

**Relazione idrologica**

Per quanto riguarda invece la caratterizzazione del coefficiente di laminazione  $\epsilon$  è stato assunto prudenzialmente  $\epsilon = 1.0$ .

Nell'ambito di questa fase progettuale si è scelto di verificare idraulicamente gli 11 tombini interferenti con l'opera di progetto per i quali già in fase preliminare era stato previsto il rifacimento. Nel Progetto Preliminare erano stati verificati idraulicamente soltanto 2 tombini e per i restanti era stato effettuato un dimensionamento di massima. In questa fase, oltre alla verifica idraulica di tutti i tombini si è verificato la compatibilità degli stessi con la livelletta stradale. Anche quest'ultima verifica era assente nel progetto preliminare.

Per ognuno dei tombini studiati sono stati individuati i bacini idrografici afferenti e con la metodologia precedentemente descritta si è determinato la portata al colmo. Di seguito si riportano i risultati della modellazione idrologica.

Sono stati determinati tutti i parametri necessari per la definizione delle portate al colmo TR50, 100, 200, 500 anni. nelle seguenti tabelle in cui si indica con:

hl (mm) altezza lorda di precipitazione

r : coefficiente di ragguaglio areale

hl r (mm) altezza lorda di precipitazione ragguagliata

hnetta (mm) altezza netta di precipitazione

i (mm/h) intensità di precipitazione

Q (mc/s) portata al colmo



**GARA CA 13/16- Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500**

27 di 33

**Relazione idrologica**

| Piano Sulcis | traversamento ri | Tempo di ritorno | ABacino | hl    | r    | hlr   | hn    | i     | Q     |
|--------------|------------------|------------------|---------|-------|------|-------|-------|-------|-------|
| SS           | Km               |                  | Kmq     | mm    | -    | mm    | mm    | mm/h  | mc/s  |
| 293.00       | 64+485           | 50.00            | 1.70    | 51.52 | 0.96 | 49.33 | 33.52 | 25.05 | 8.04  |
| 293.00       | 60+340           | 50.00            | 0.25    | 36.95 | 0.97 | 35.85 | 14.34 | 24.99 | 0.69  |
| 293.00       | 61+610           | 50.00            | 0.20    | 30.66 | 0.97 | 29.72 | 11.89 | 31.68 | 0.60  |
| 293.00       | 62+020           | 50.00            | 1.90    | 37.56 | 0.94 | 35.30 | 14.12 | 23.70 | 5.00  |
| 195.00       | 91+335           | 50.00            | 3.30    | 59.94 | 0.95 | 57.09 | 33.80 | 18.35 | 9.99  |
| 195.00       | 92+660           | 50.00            | 0.06    | 25.92 | 0.98 | 25.29 | 12.39 | 47.96 | 0.39  |
| 195.00       | 93+200           | 50.00            | 0.19    | 37.44 | 0.97 | 36.47 | 14.59 | 22.93 | 0.48  |
| 195.00       | 93+610           | 50.00            | 2.20    | 53.36 | 0.96 | 51.15 | 20.46 | 11.23 | 0.92  |
| 195.00       | 94+020           | 50.00            | 2.20    | 53.36 | 0.96 | 51.15 | 51.15 | 11.23 | 1.92  |
| 293          | 64+870           | 50.00            | 0.35    | 28.81 | 0.96 | 27.63 | 11.05 | 32.73 | 1.27  |
| 293          | 63+530           | 50.00            | 0.67    | 27.62 | 0.95 | 26.14 | 10.46 | 34.28 | 2.55  |
| 293          | 61+400           | 50.00            | 0.03    | 16.76 | 0.97 | 16.30 | 6.52  | 71.56 | 0.24  |
| Piano Sulcis | traversamento ri | Tempo di ritorno | ABacino | hl    | r    | hlr   | hn    | i     | Q     |
| SS           | Km               |                  | Kmq     | mm    | -    | mm    | mm    | mm/h  | mc/s  |
| 293.00       | 64+485           | 100.00           | 1.70    | 58.86 | 0.96 | 56.35 | 40.21 | 30.06 | 10.13 |
| 293.00       | 60+340           | 100.00           | 0.25    | 41.44 | 0.97 | 40.21 | 16.08 | 28.03 | 0.78  |
| 293.00       | 61+610           | 100.00           | 0.20    | 33.90 | 0.97 | 32.87 | 13.15 | 35.03 | 0.66  |
| 293.00       | 62+020           | 100.00           | 1.90    | 42.19 | 0.94 | 39.64 | 15.86 | 26.61 | 5.62  |
| 195.00       | 91+335           | 100.00           | 3.30    | 69.92 | 0.95 | 66.60 | 39.43 | 21.40 | 11.65 |
| 195.00       | 92+660           | 100.00           | 0.06    | 28.30 | 0.98 | 27.62 | 13.53 | 52.37 | 0.43  |
| 195.00       | 93+200           | 100.00           | 0.19    | 42.07 | 0.97 | 40.98 | 16.39 | 25.77 | 0.54  |
| 195.00       | 93+610           | 100.00           | 2.20    | 60.76 | 0.96 | 58.25 | 23.30 | 12.79 | 1.04  |
| 195.00       | 94+020           | 100.00           | 2.20    | 60.76 | 0.96 | 58.25 | 23.30 | 12.79 | 2.19  |
| 293          | 64+870           | 100.00           | 0.35    | 31.73 | 0.96 | 30.43 | 12.17 | 36.04 | 1.40  |
| 293          | 63+530           | 100.00           | 0.67    | 30.32 | 0.95 | 28.69 | 11.48 | 37.62 | 2.80  |
| 293          | 61+400           | 100.00           | 0.03    | 17.69 | 0.97 | 17.21 | 6.88  | 75.53 | 0.25  |
| Piano Sulcis | traversamento ri | Tempo di ritorno | ABacino | hl    | r    | hlr   | hn    | i     | Q     |
| SS           | Km               |                  | Kmq     | mm    | -    | mm    | mm    | mm/h  | mc/s  |
| 293.00       | 64+485           | 200.00           | 1.70    | 66.19 | 0.96 | 63.37 | 47.15 | 35.25 | 12.38 |
| 293.00       | 60+340           | 200.00           | 0.25    | 45.92 | 0.97 | 44.56 | 17.82 | 31.06 | 0.86  |
| 293.00       | 61+610           | 200.00           | 0.20    | 37.13 | 0.97 | 36.00 | 14.40 | 38.37 | 0.72  |
| 293.00       | 62+020           | 200.00           | 1.90    | 46.79 | 0.94 | 43.97 | 17.59 | 29.52 | 6.23  |
| 195.00       | 91+335           | 200.00           | 3.30    | 79.98 | 0.95 | 76.18 | 45.13 | 24.50 | 13.34 |
| 195.00       | 92+660           | 200.00           | 0.06    | 30.68 | 0.98 | 29.94 | 14.67 | 56.78 | 0.46  |
| 195.00       | 93+200           | 200.00           | 0.19    | 46.70 | 0.97 | 45.48 | 18.19 | 28.60 | 0.60  |
| 195.00       | 93+610           | 200.00           | 2.20    | 68.14 | 0.96 | 65.32 | 26.13 | 14.34 | 1.17  |
| 195.00       | 94+020           | 200.00           | 2.20    | 68.14 | 0.96 | 65.32 | 26.13 | 14.34 | 2.45  |
| 293          | 64+870           | 200.00           | 0.35    | 34.63 | 0.96 | 33.21 | 13.28 | 39.34 | 1.53  |
| 293          | 63+530           | 200.00           | 0.67    | 33.01 | 0.95 | 31.23 | 12.49 | 40.96 | 3.05  |
| 293          | 61+400           | 200.00           | 0.03    | 18.66 | 0.97 | 18.15 | 7.26  | 79.67 | 0.27  |
| Piano Sulcis | traversamento ri | Tempo di ritorno | ABacino | hl    | r    | hlr   | hn    | i     | Q     |
| SS           | Km               |                  | Kmq     | mm    | -    | mm    | mm    | mm/h  | mc/s  |
| 293.00       | 64+485           | 500.00           | 1.70    | 75.87 | 0.96 | 72.65 | 56.28 | 42.07 | 15.39 |
| 293.00       | 60+340           | 500.00           | 0.25    | 51.91 | 0.97 | 50.36 | 20.15 | 35.11 | 0.98  |
| 293.00       | 61+610           | 500.00           | 0.20    | 41.50 | 0.97 | 40.24 | 16.10 | 42.89 | 0.81  |
| 293.00       | 62+020           | 500.00           | 1.90    | 52.94 | 0.94 | 49.75 | 19.90 | 33.40 | 7.05  |
| 195.00       | 91+335           | 500.00           | 3.30    | 93.21 | 0.95 | 88.78 | 52.56 | 28.53 | 15.53 |
| 195.00       | 92+660           | 500.00           | 0.06    | 33.96 | 0.98 | 33.14 | 16.24 | 62.85 | 0.51  |
| 195.00       | 93+200           | 500.00           | 0.19    | 52.85 | 0.97 | 51.48 | 20.59 | 32.37 | 0.68  |
| 195.00       | 93+610           | 500.00           | 2.20    | 77.86 | 0.96 | 74.64 | 29.86 | 16.39 | 1.34  |
| 195.00       | 94+020           | 500.00           | 2.20    | 77.86 | 0.96 | 74.64 | 29.86 | 16.39 | 3.04  |
| 293          | 64+870           | 500.00           | 0.35    | 38.57 | 0.96 | 36.99 | 14.80 | 43.82 | 1.70  |
| 293          | 63+530           | 500.00           | 0.67    | 36.67 | 0.95 | 34.70 | 13.88 | 45.50 | 3.39  |
| 293          | 61+400           | 500.00           | 0.03    | 20.11 | 0.97 | 19.55 | 7.82  | 85.84 | 0.29  |



## 5. STIMA DELLE PORTATE AL COLMO PER BACINI CON SUPERFICIE MAGGIORE DI 60 KMQ

Per i bacini con superficie superiore ai 60 kmq, viene fatto riferimento al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV, riportato nelle sopraccitate Linee Guida.

Si riportano di seguito gli elementi essenziali utilizzati secondo l'applicazione di tale metodo.

Per quanto concerne il primo livello di analisi regionale sono state ottenute le seguenti stime dei parametri  $\Lambda^*$  e  $\theta^*$  di modello:

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

che caratterizzano l'intero territorio dell'isola.

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

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

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

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

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

$$\text{Bacini occidentali} \quad \Lambda_1 = 6,286 \quad \eta = 4,377$$

$$\text{Bacini orientali} \quad \Lambda_1 = 4,571 \quad \eta = 4,058$$

Nella tabella seguente vengono riportati i valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita  $K_T$  per le portate in Sardegna per alcuni valori del periodo di ritorno e sono evidenziati i valori del  $K_T$  relativi ai tempi di ritorno definiti per il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

| T(anni)                    | 2    | 5    | 10   | 20   | 25   | 40   | 50   | 100  | 200  | 500  | 1000 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $K_T$ (Bacini occidentali) | 0.65 | 1.31 | 2.20 | 3.16 | 3.47 | 4.11 | 4.41 | 5.35 | 6.29 | 7.52 | 8.46 |
| $K_T$ (Bacini Orientali)   | 0.63 | 1.34 | 2.29 | 3.33 | 3.66 | 4.36 | 4.68 | 5.7  | 6.71 | 8.04 | 9.04 |

Tabella 9 – Valori del parametro  $K_T$  per diversi tempi di ritorno per i bacini occidentali ed orientali della Sardegna.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

29 di 33

**Relazione idrologica**

Per quanto riguarda infine il terzo livello di analisi delle piene, nella struttura gerarchica del modello TCEV, si è fatto riferimento all'analisi del parametro modale  $\varepsilon 1$  della distribuzione TCEV. Il legame teorico tra questo parametro e la piena media annua  $\mu x$  è:

$$\mu x = \frac{\varepsilon 1}{Ln(\Lambda 1)} \cdot \eta$$

I valori stimati nelle singole stazioni idrometriche sono stati regolarizzati in funzione della superficie del bacino S ottenendo le seguenti relazioni:

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

Bacini orientali  $\ln \varepsilon 1 = 0,9882 + 0,6452 \ln S$

Considerata la posizione del bacino in esame, bacini occidentali, i parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate risultano:

$$\theta^* = 5,8866 \quad \Lambda^* = 0,3938 \quad \Lambda 1 = 6,286 \quad \eta = 4,377$$

mentre i valori di KT, coefficiente probabilistico di crescita, per i tempi di ritorno di interesse allo studio in corso, sono riportati nella Tabella 14.

Dalle calcolazioni esperite si ottengono i seguenti valori di riferimento delle portate da utilizzare per le verifiche idrauliche.

A differenza del Progetto Preliminare, dove era presente la sola portata duecentennale, si riportano di seguito anche le portate al colmo anche per i tempi di ritorno di 50, 100, e 500 anni.

| PIANO SULCIS | BACINO | ATTRAVERSAMENT<br>O rif. | DENOMINAZIONE CORSO D'ACQUA               | OPERA ESISTENTE | OPERA DI PROGETTO | Q <sub>50</sub> | Q <sub>100</sub> | Q <sub>200</sub> | Q <sub>500</sub> |
|--------------|--------|--------------------------|---|-----------------|-------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|
| SS           | CODICE | KM                       |   |                 |                   | mc/s            | mc/s             | mc/s             | mc/s             |
| 293          | 18     | 64+650                   | Riu di Piscinas - Riu Palmas (monte diga) | ponte a 5 archi | nuovo ponte       | 159.6           | 193.7            | 227.7            | 272.2            |
| 293          | 19     | 61+220                   | Riu Mannu di Santadi (monte diga)         | ponte           | nuovo ponte       | 199.9           | 242.5            | 285.1            | 340.8            |

Tabella 10 – Portate per assegnato tempo di ritorno

Per l'implementazione delle modellistiche in moto vario bidimensionali sono stati anche calcolati gli idrogrammi tempo varianti.

Essendo note le portate al colmo per i 3 corsi d'acqua principali (Santadi, Gora Piscinas, Riu Piscinas), derivate dalla metodologia di cui sopra ed in assenza di altre informazioni, gli idrogrammi al variare del



**Relazione idrologica**

tempo di ritorno sono stati determinati a partire dalla base teorica del metodo della corrivazione che dà luogo a idrogrammi triangolari caratterizzati dalla portata al colmo all'istante  $t=t_c$  e portata nulla all'istante  $t=0$  e  $t=2t_c$  (idrogramma triangolare).

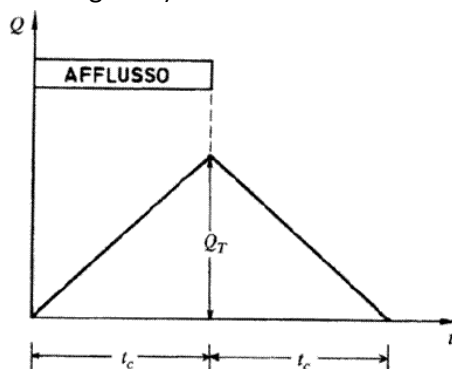


Figura 4 – idrogramma metodo razionale

Calcolati i tempi di corrivazione dei bacini:

- Santadi  $t_c = 2.648$  h (media tra formulazioni Giandotti, Ventura, Pasini, Kirpich)
- Riu Piscinas  $t_c = 3.020$  h (media tra formulazioni Giandotti, Ventura, Pasini, Kirpich)
- Gora Piscinas  $t_c = 1.03$  h (come da progetto preliminare)

Si sono ricostruiti gli idrogrammi, secondo quanto descritto in precedenza. Si riportano di seguito gli idrogrammi per i 3 corsi d'acqua al variare del tempo di ritorno.

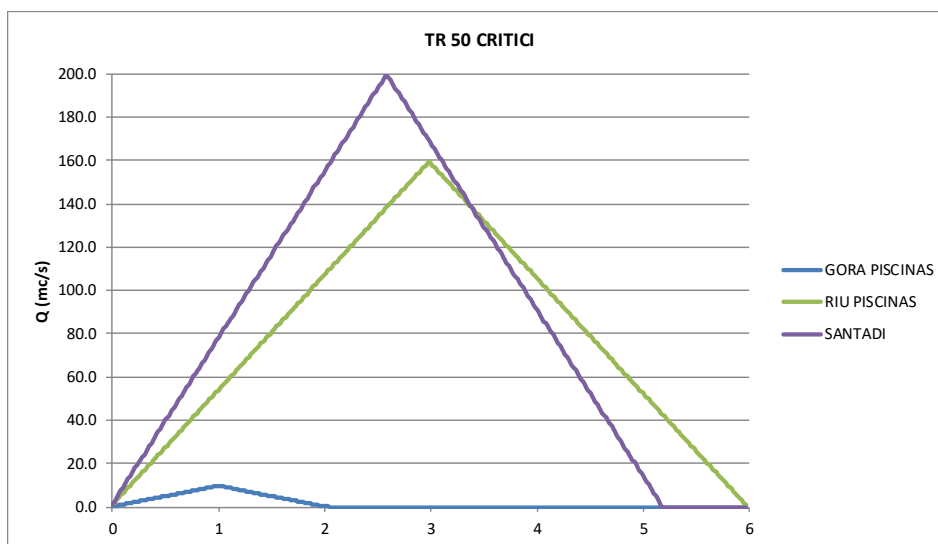
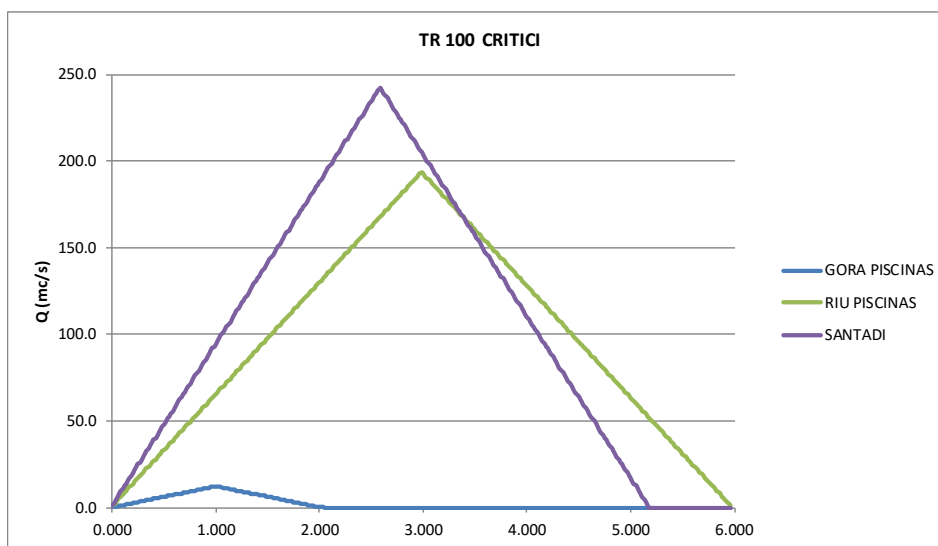


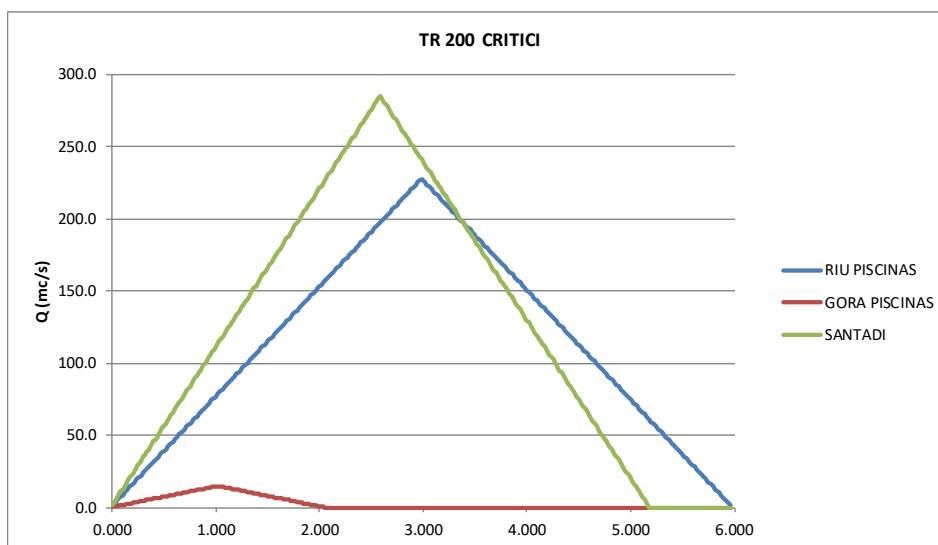
Figura 5 – Idrogrammi Tr 50 anni



**Relazione idrologica**



*Figura 6 – Idrogrammi Tr 100 anni*



*Figura 7 – Idrogrammi Tr 200 anni*





**Relazione idrologica**

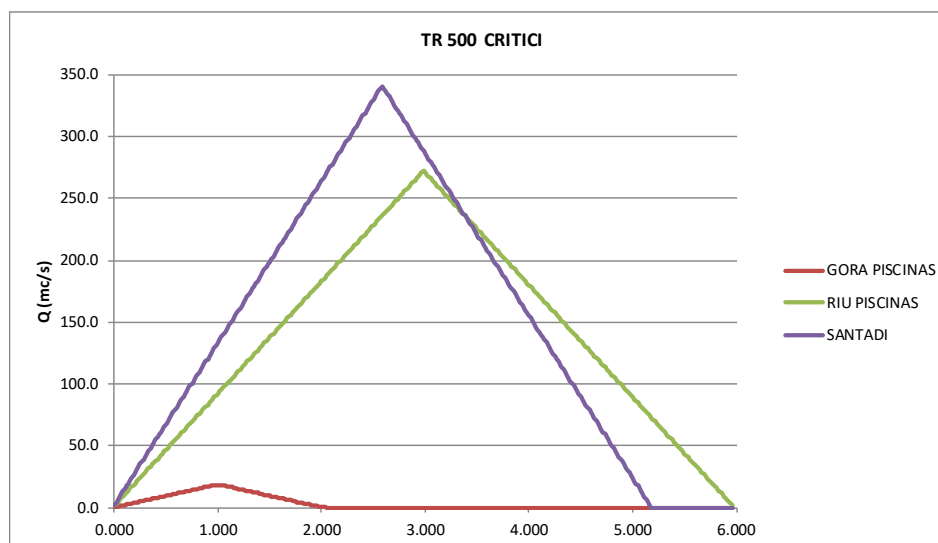


Figura 8 – Idrogrammi Tr 500 anni

## 6. CONCLUSIONI

L'indisponibilità di dati idrologico-idraulici e di osservazioni di eventi di piena nei bacini idrografici interferiti dagli assi stradali in progetto, ha reso necessario ricorrere ad un metodo regionale di analisi della frequenza delle precipitazioni, allo scopo di pervenire alla stima del valore assunto dalla portata di piena nella sezione dell'attraversamento stradale in corrispondenza del periodo di ritorno stabilito dalla normativa come riferimento per le verifiche di compatibilità idraulica.

Tra i modelli di regionalizzazione disponibili si è ritenuto di adottare il metodo proposto dal progetto VAPI del CNR, nella sua formulazione relativa alla regione Sardegna, giacché calibrato a scala locale a partire da una consistente base dati, e raccomandato dalla normativa vigente per la determinazione delle grandezze idrologiche nei bacini ove non siano disponibili misure dirette sufficienti ad un'analisi idrologica specifica.

Pertanto, recependo anche le raccomandazioni delle "Linee guida per le attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia" dell'Autorità di Bacino Regionale della Sardegna, si è ritenuto di utilizzare la procedura descritta nel "Rapporto VAPI Sardegna" solo per l'inferenza statistica delle piogge, per determinare, successivamente, le portate attraverso un metodo di trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi superficiali. Tra i metodi disponibili in letteratura si è scelto il metodo del Curve Number sviluppato dal Soil Conservation Center.

Per i bacini con superficie superiore ai 60 kmq, è stato fatto riferimento al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV, riportato nelle sopraccitate Linee Guida.



**GARA CA 13/16-** Progettazione definitiva ed esecutiva ed esecuzione dei lavori: "Piano Sulcis - S.S 195 SULCITANA" Interventi di adeguamento strada di collegamento S.Giovanni Suergiu - Giba dal Km 91+100 al km 94+600; S.S.293 " Di Giba" messa in sicurezza strada Giba - Nuxis dal Km 60+100 al Km 63+700 e dal Km 64+200 al Km 65+500

33 di 33

**Relazione idrologica**

