

**NUOVA S.S.291
COLLEGAMENTO SASSARI - ALGHERO - AEROPORTO**

Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas - Alghero
e del 4° lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA29

PROGETTAZIONE: ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

PROGETTISTI:

*Dott. Ing. ACHILLE DEVITOFRANCESCHI
Ordine Ing. di Roma n. 19116*

*Dott. Ing. ALESSANDRO MICHELI
Ordine Ing. di Roma n. 19654*

IL GEOLOGO

*Dott. Geol. Serena MAJETTA
Ordine Geol. Lazio n. 928*

IL RESPONSABILE DEL S.I.A.

*Dott. Arch. GIOVANNI MAGARO'
Ordine Arch. di Roma n. 16183*

COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE

Geom. FABIO QUONDAM

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO

Dott. Ing. SALVATORE FRASCA

PROTOCOLLO

DATA

**IDROLOGIA E IDRAULICA
RELAZIONE IDROLOGICA**

CODICE PROGETTO

PROGETTO LIV. PROG. N. PROG.

L O P L S C D 1 6 0 1

NOME FILE

T00_ID00_IDR_CI01_A.dwg

REVISIONE

CODICE
ELAB.

T 0 0 I D 0 0 I D R R E 0 1

A

D

C

B

A

REV.

Nuova emissione a seguito indirizzo MIT del 11-05-2016

SET 2017

Ing. M. Governatori

Ing. A. Mita

Ing. A. Devitofranceschi

DESCRIZIONE

DATA

REDATTO

VERIFICATO

APPROVATO

INDICE

1	PEMESSE	3
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
2.1	Pianificazione di assetto idrogeologico	4
2.1.1	<i>Piano di Assetto Idrogeologico</i>	4
2.2	Idrografia e geologia	7
2.2.1	<i>Caratteri generali</i>	7
2.2.2	<i>Il Sub-bacino 3 Coghinas - Mannu - Temo</i>	10
2.2.2.1	Idrografia	10
2.2.2.2	Geologia	11
2.3	Pluviometria	12
2.4	Piano Stralcio delle Fasce Fluviali	14
2.5	Piano di Gestione del Rischio Alluvioni	16
2.5.1	<i>Misure strutturali di Piano</i>	17
2.6	Interferenze idrauliche	17
2.7	Caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua interferenti	17
3	STIMA DELLE MASSIME PRECIPITAZIONI	25
3.1	Analisi pluviometrica a scala regionale	25
3.1.1	<i>Altezza di pioggia ragguagliata (h_r)</i>	30
3.2	Valutazione delle perdite	30
3.2.1	<i>Intercettazione, evaporazione ed evapotraspirazione</i>	31
3.2.2	<i>Ritenzione nelle depressioni superficiali</i>	32
3.2.3	<i>Infiltrazione nei suoli impermeabili</i>	32
4	STIMA DELLE PORTATE AL COLMO	37
4.1	Stima delle portate al colmo dei bacini di dimensioni superiori a 60 kmq.	38
4.1.1	<i>Calcolo delle portate al colmo Riu Serra e Riu Sassu</i>	40
4.2	Stima delle portate al colmo dei bacini di superficie inferiore a 60 Kmq.	41
4.2.1	<i>Calcolo del tempo di corrivazione e di formazione Riu de Calvia</i>	41
4.2.2	<i>Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale lorda Riu de Calvia</i>	53
4.2.3	<i>Calcolo dell'altezza di pioggia ragguagliata lorda Riu de Calvia</i>	56
4.2.4	<i>Calcolo dell'altezze di pioggia netta Riu de Calvia</i>	57
4.2.5	<i>Calcolo delle portate al colmo Riu de Calvia</i>	58
4.3	Validazione dei risultati ottenuti e confronti	59
4.3.1	<i>Risultati</i>	65

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 2 di 79

4.4	Attraversamenti minori del tracciato stradale	68
4.4.1	Calcolo del tempo di corrivazione e di formazione attraversamenti minori.....	70
4.4.2	Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale lorda attraversamenti minori.....	71
4.4.3	Calcolo dell'altezza di pioggia ragguagliata lorda attraversamenti minori.....	72
4.4.4	Calcolo dell'altezze di pioggia netta attraversamenti minori.....	73
4.4.5	Calcolo delle portate al colmo attraversamenti minori.....	74
4.5	Validazione dei risultati ottenuti e confronti.....	74
5	Indice delle Figure	77
6	Indice delle Tabelle.....	78

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File:T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 3 di 79</p>
--	---

1 PEMESSE

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 in progetto per la realizzazione della nuova viabilità SS291 di collegamento tra Sassari-Alghero-Aeroporto di Fertilia, relativamente al lotto I° tratto Mamuntanas-Alghero ed al lotto IV° bretella di collegamento tra la SS291 e l'aeroporto di Fertilia.

Oggetto dello studio è la definizione di valori di colmo delle massime portate di piena da porre a base dello studio idraulico necessario sia al corretto dimensionamento idraulico delle opere di attraversamento stradale dei corsi d'acqua, sia alla verifica della compatibilità idraulica delle opere proposte con l'assetto idrogeologico delle aste fluviali, così come definito nell'ambito delle vigenti norme, direttive e strumenti di pianificazione di bacino.

Nella presente relazione viene fornita una prima caratterizzazione idrologica-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, della Pianificazione e perimetrazione delle Fasce Fluviali, nonché della Gestione del Rischio Alluvioni;
- caratterizzazione dell'area e individuazione delle principali problematiche dal punto di vista idrologico e 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 laddove possibile. 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;
- elaborazione 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 è propedeutico alle analisi di compatibilità idraulica delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua e al corretto dimensionamento e verifica delle opere medesime e degli elementi necessari al drenaggio della piattaforma stradale. Tali temi sono trattati nella Relazione Idraulica (T00ID00IDRRE02_A).

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File: T00ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 4 di 79</p>
--	---

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

2.1 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 approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici. In 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. Con decreto del Presidente della Regione n. 121 del 10/11/2015 pubblicato sul BURAS n. 58 del 19/12/2015, in conformità alla Deliberazione di Giunta Regionale n. 43/2 del 01/09/2015, sono state approvate le modifiche agli articoli 21, 22 e 30 delle N.A. del PAI, l'introduzione dell'articolo 30-bis e l'integrazione alle stesse N.A. del PAI del Titolo V recante "Norme in materia di coordinamento tra il PAI e il Piano di Gestione del rischio di alluvioni (PGRA)". In recepimento di queste integrazioni, come previsto dalla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 3 del 27/10/2015 è stato successivamente pubblicato il Testo Coordinato delle N.A. del PAI.

Dall'analisi dei documenti di riferimento per la pianificazione di assetto idrogeologico regionale (P.A.I.) i corsi d'acqua rientrano in zone individuate a pericolosità idraulica e ricadono all'interno delle perimetrazioni individuate nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, Piano territoriale di settore mediante cui sono normate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

2.1.1 Piano di Assetto Idrogeologico

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.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i>	<i>File: T00ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 5 di 79
---	--

In ciascun tronco si è proceduto prima alla stima delle portate di piena relative ai quattro livelli di pericolosità Hi 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:

- area a molto alta probabilità di inondazione, se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni;
- area ad alta probabilità d'inondazione se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 100 anni;
- a moderata probabilità d'inondazione se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 200 anni;
- aree a bassa probabilità d'inondazione se allagabile con portata con tempo di ritorno minore o uguale a 500 anni.

Le aree a Rischio Idraulico sono state quindi ricavate della sovrapposizione delle aree allagabili con gli elementi a rischio (**Figura 1** e **Figura 2**).

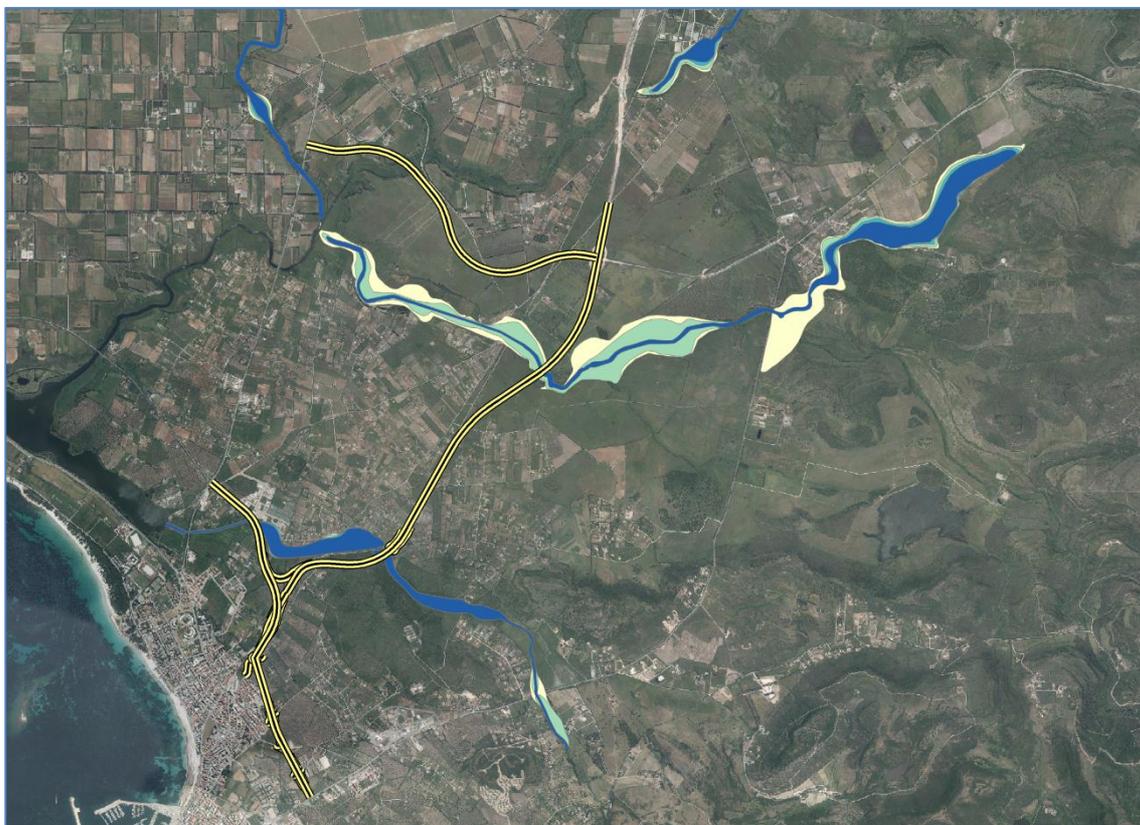


Figura 1 - Perimetrazione P.A.I. - Pericolo Piena (aggiornamento 31.12.2016)

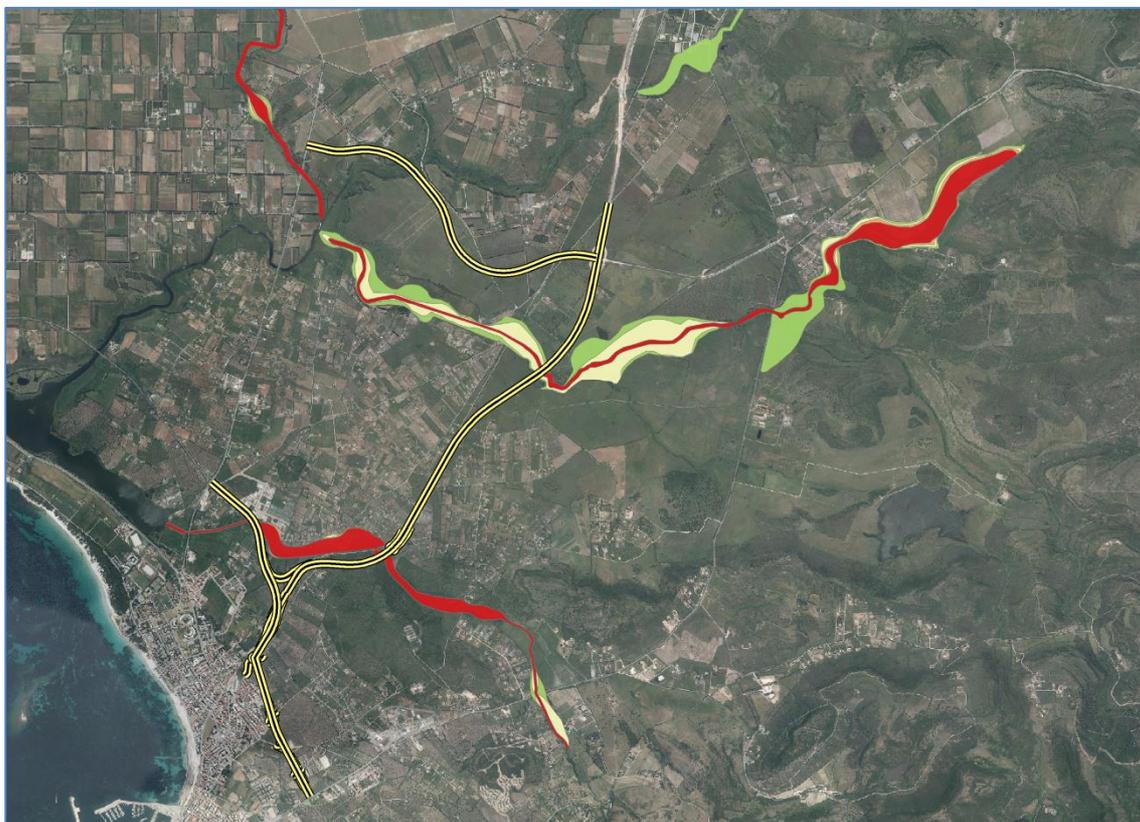


Figura 2 - Perimetrazione P.A.I. - Rischio Piena (aggiornamento 31.12.2016)

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 7 di 79</p>
--	--

2.2 Idrografia e geologia

2.2.1 Caratteri generali

L'intero territorio della Sardegna è suddiviso in sette *sub-bacini* (**Figura 3 - Tabella 1**), ognuno dei quali caratterizzato in grande da generali omogeneità geomorfologiche, geografiche, idrologiche ma anche da forti differenze di estensione territoriale.

N°	Sub bacino	Superficie [km ²]	%
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	2423	10.1
6	Sud Orientale	1035	4.3
7	Flumendosa-Campidano-Cixerri	5960	24.8
Totale		24046	100.0

Tabella 1 - *Divisione territoriale in sub bacini.*

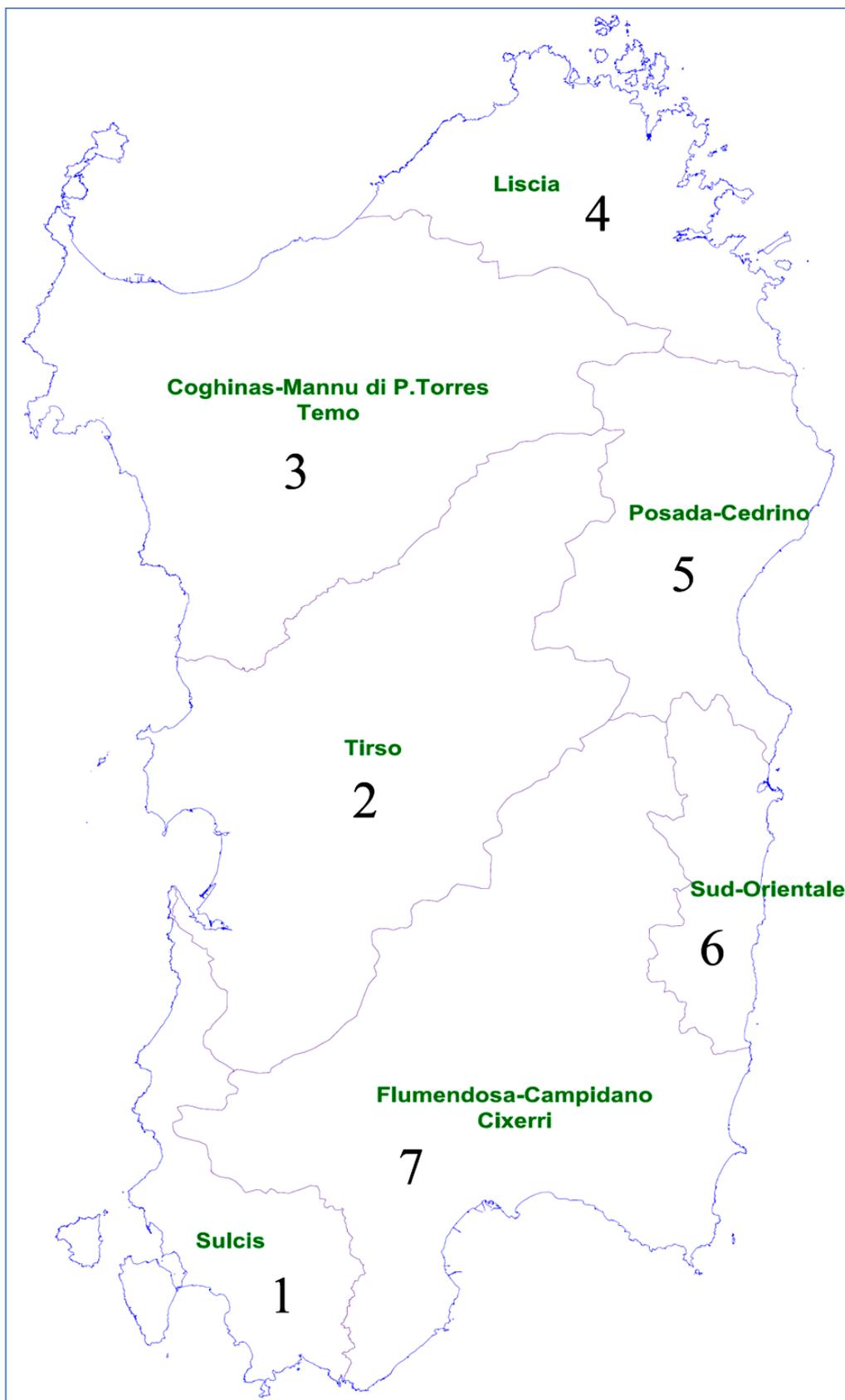


Figura 3 - Divisione territoriale in sub bacini.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i>	File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 9 di 79
---	--

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, 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.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 10 di 79</p>
--	--

2.2.2 Il Sub-bacino 3 Coghinas - Mannu - Temo

2.2.2.1 Idrografia

Il Sub_Bacino si estende per 5402 Km², pari al 22.5% del territorio regionale; in esso sono presenti nove opere di regolazione in esercizio e cinque opere di derivazione. I corsi d'acqua principali sono i seguenti.

- Rio Mannu di Porto Torres, sul quale confluiscono, nella parte più montana, il Rio Bidighinzu con il Rio Funtana Ide (detto anche Rio Binza 'e Sea).
- Il Rio Minore che si congiunge al Mannu in sponda sinistra.
- Rio Carrabusu affluente dalla sinistra idrografica.
- Rio Mascari, affluente del Mannu di Portotorres in sponda destra, si innesta nel tratto mediano del rio presso la fermata San Giorgio delle Ferrovie Complementari.
- Fiume Temo, regolato dall'invaso di Monteleone Roccadoria, riceve i contributi del Rio Santa Lughia, Rio Badu 'e Ludu, Rio Mulino, Rio Melas, affluenti di sinistra che si sviluppano nella parte montana del bacino. Negli ultimi chilometri il Temo, unico caso in Sardegna, è navigabile con piccole imbarcazioni; il suo sbocco al mare, sulla spiaggia di Bosa Marina, avviene tramite un ampio estuario. In particolari situazioni meteomarine il deflusso del Temo viene fortemente condizionato causando non rari allagamenti della parte bassa dell'abitato di Bosa; per gli stessi motivi riveste particolare rilevanza il reticolo idrografico che circonda il centro urbano, il cui torrente principale è rappresentato dal Rio Sa Sea.
- Il Rio Sa Entale, che si innesta nel Temo in destra idrografica, e il Rio Ponte Enas, in sinistra, costituiscono gli affluenti principali per estensione del rispettivo bacino.
- Fiume Coghinas, il cui bacino occupa una superficie di 2.453 Km² ed è regolato da due invasi, riceve contributi dai seguenti affluenti: Rio Mannu d'Ozieri, Rio Tilchiddesu, Rio Butule, Rio Su Rizzolu, Rio Puddina, Rio Gazzini, Rio Giobaduras.

E' da annoverare, inoltre, una serie di rii minori che si sviluppano nella Nurra e nell'Anglona, e, segnatamente:

- Canale Urune, dalla località C. Funtaneddas fino alla foce in mare presso Fertilia, passando attraverso lo stagno di Calich per una lunghezza di circa 10,8 km;
- Riu Barca, dal tombino in località sa Tanchita alla confluenza nello stagno di Calich per una lunghezza del tratto studiato di circa 6,5 km;
- Riu Filibertu dalla località lu Baraccone alla confluenza nel Barca per una lunghezza di 8,5 km;
- Riu de Calvia, dal ponticello in località Croce Pietra Basa alla foce nello stagno di Calich, per una lunghezza di 9 km.
- Fiume Santo.
- Rio Frigiano.
- Mannu di Sorso.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File:TO0ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 11 di 79</p>
--	---

2.2.2.2 Geologia

Dal punto di vista geologico il Sub_Bacino Coghinas-Mannu-Temo può essere suddiviso in tre grandi sotto insiemi:

- il settore Orientale e Sud-Orientale è prevalentemente paleozoico; una sequenza vulcanosedimentaria permiana ricopre i terreni paleozoici e depositi detritici quaternari delimitano ad ovest il corpo intrusivo suddetto. La sequenza stratigrafica dell'area è chiusa dai depositi alluvionali del fiume Coghinas, da sabbie litorali e localizzati depositi eluvio-colluviali e di versante. Le alluvioni del Coghinas costa. Lungo la costa i depositi francamente alluvionali lasciano il posto ad eolianiti e sabbie litorali. I depositi eluvio-colluviali, prodotti dal disfacimento delle litologie presenti nell'area, localmente pedogenizzati, rivestono, con sottili spessori i versanti e localmente lasciano il posto a detrito di versante.
- il settore Centrale è prevalentemente terziario. Il potente complesso vulcanico oligo-miocenico, che occupa quasi interamente e senza soluzione di continuità il settore centrale, costituisce il substrato della regione e poggia in parte sulla piattaforma carbonatica mesozoica della Nurra, ribassata di circa 2000 m dal sistema di faglie che ha dato origine alla "fossa sarda", ed in parte sul basamento cristallino paleozoico. Il Complesso vulcanico oligo-miocenico è stato ricoperto dalla "Serie sedimentaria miocenica (un complesso lacustre di transizione ai depositi marini calcareo-arenacei e marnoso-arenacei). Infine i prodotti del vulcanismo plio-quaternario e i depositi detritici quaternari in corrispondenza delle incisioni vallive ed in prossimità dei corsi d'acqua
- il settore Nord-Occidentale è costituito dallo zoccolo cristallino dell'*horst* della Gallura paleozoico e dalle formazioni carbonatiche mesozoiche che culminano con i rilievi del Doglia e del sistema di Punta Cristallo e di Capo Caccia. Le intrusioni granitiche erciniche affiorano solo nella propaggine settentrionale, costituita dall'isola dell'Asinara

Dal punto di vista geomorfologico, le creste rocciose, le dorsali e i massicci rocciosi, separati da vaste zone di spianamento ed incisioni fluviali, seguono l'andamento delle principali linee tettoniche e sono il risultato dell'azione congiunta dei processi di alterazione chimica e meccanica ad opera degli agenti atmosferici, e di dilavamento ad opera delle acque superficiali. Nel settore Orientale, le forme tipiche che ne risultano sono i "Tor", rilievi rocciosi, emergenti da qualche metro ad alcune decine di metri dalla superficie circostante, suddivisi in blocchi dalle litoclasti allargate dai fenomeni di disfacimento, e le "cataste di blocchi sferoidali"; nel settore Centrale, vi è l'alternanza di rilievi vulcanici, dalla forma conica e smussata in cima, da colline tronco-coniche, vaste aree ondulate, modellate nei sedimenti miocenici, separati da numerose valli tortuose e strette e vaste conche di erosione pianeggianti.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File:TO0ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 12 di 79</p>
--	---

2.3 Pluviometria

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

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

Tabella 2 - Media e deviazione standard della piovosità annua [mm] in alcune stazioni pluviometriche nel periodo 1922-1992.

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 - Precipitazione registrata durante l'evento alluvionale del novembre '99 in alcune stazioni e confronto con i valori di precipitazione media annua

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 4**). 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.

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.

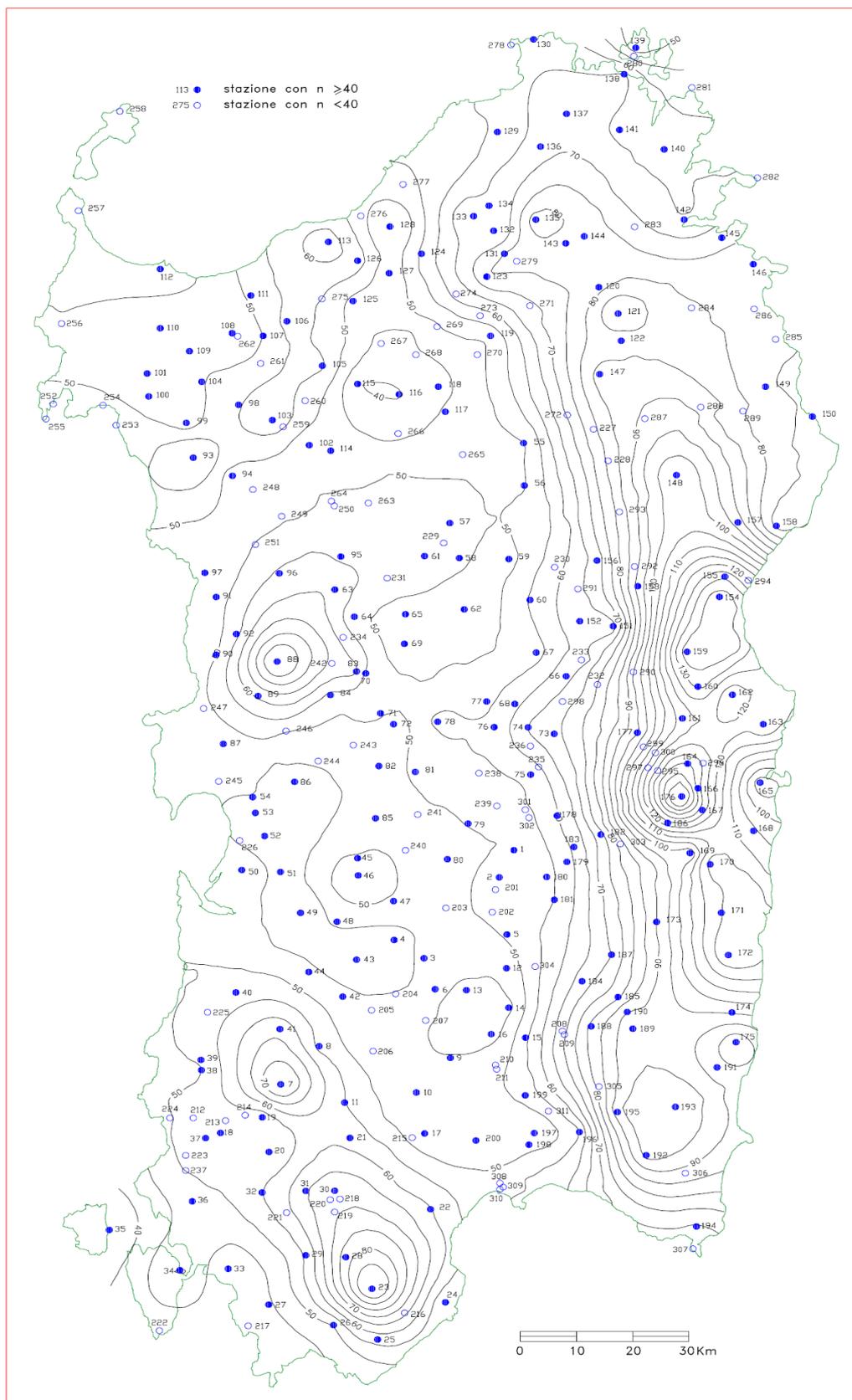


Figura 4 - Distribuzione spaziale della altezza di pioggia giornaliera in Sardegna.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File:TO0ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 14 di 79</p>
--	--

2.4 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", (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.

Con Delibera n. 2 del 17.12.2015, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna, ha approvato in via definitiva, per l'intero territorio regionale, ai sensi dell'art. 9 delle L.R. 19/2006 come da ultimo modificato con L.R. 28/2015, il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

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:

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File: T00ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 15 di 79</p>
--	--

- fascia A_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- fascia A_50 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- fascia B_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- fascia B_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata; La delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate;
- fascia C o area di inondazione per piena catastrofica, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'inviluppo esterno della fascia C geomorfologica (inviluppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena).

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.

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;

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File:TO0ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 16 di 79</p>
--	---

- 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.

2.5 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni

Il Piano di Gestione del Rischio di alluvioni, previsto dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010 è finalizzato alla riduzione delle conseguenze negative sulla salute umana, sull'ambiente e sulla società derivanti dalle alluvioni. A seguito della relativa approvazione (Delibera del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n.2 del 15.03.2016), il PGRA è costituito dai medesimi elaborati già oggetto di approvazione con Deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna n. 1 del 17 dicembre 2015, ad eccezione degli elaborati riportanti la dicitura "aggiornamento marzo 2016".

Il PGRA coinvolge tutti gli aspetti della gestione del rischio di alluvioni, con particolare riferimento a quelle misure non direttamente correlate ad aspetti prettamente strutturali finalizzate alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi degli eventi alluvionali; tali misure vengono predisposte in considerazione delle specifiche caratteristiche del sottobacino di riferimento.

Il PGRA individua strumenti operativi e di governance (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, al fine di ridurre quanto più possibile le conseguenze negative.

Esso contiene anche una sintesi dei contenuti dei Piani urgenti di emergenza predisposti ai sensi dell'art. 67, c. 5 del D.Lgs 152/2006 ed è pertanto redatto in collaborazione con la Protezione Civile per la parte relativa al sistema di allertamento per il rischio idraulico. Nel PGRA vengono individuate le metodologie di approccio interoperaivo con gli altri strumenti di pianificazione del territorio e di conservazione della natura e viene pianificato il coordinamento delle politiche relative agli usi idrici e territoriali, in quanto tali politiche possono avere importanti conseguenze sui rischi di alluvioni e sulla gestione dei medesimi.

In questo senso il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni rappresenta uno strumento trasversale di raccordo tra diversi piani e progetti, di carattere pratico e operativo ma anche informativo, conoscitivo e divulgativo, per la gestione dei diversi aspetti organizzativi e pianificatori correlati con la gestione degli eventi alluvionali in senso lato.

Il PGRA della Sardegna è predisposto, revisionato e aggiornato dall'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, istituita con la L.R. n. 19 del 6 Dicembre 2006 al fine di perseguire l'unitario governo dei sub-bacini idrografici e indirizzare, coordinare e controllare le attività conoscitive, di pianificazione, di programmazione e di attuazione che hanno come finalità, tra l'altro, la conservazione e la difesa del suolo da tutti i fattori negativi di natura fisica e antropica.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 17 di 79</p>
--	---

2.5.1 Misure strutturali di Piano

Per quanto riguarda le misure strutturali (ovvero gli interventi infrastrutturali), con un orizzonte temporale di riferimento di 6 anni, esse consisteranno nella realizzazione delle opere già programmate e nel completamento di quelle in corso. Si riassumono di seguito le principali tipologie di opere previste per questo genere di misure:

1. Interventi di consolidamento e sistemazione dei versanti, prevenzione e mitigazione dei fenomeni franosi;
2. Interventi di delocalizzazione di elementi a rischio in altre aree a minore probabilità di inondazione;
3. Opere di sistemazione idraulica di tipo passivo, quali arginature, opere di difesa longitudinali o trasversali in alveo;
4. Opere di inalveamento e risagomatura degli alvei;
5. Interventi su infrastrutture di attraversamento;
6. Interventi per ridurre le inondazioni da acque superficiali aumentando la capacità di drenaggio artificiale anche con sistemi di canalizzazione per la raccolta delle acque e con interventi sui canali tombati;
7. Ricostruzione post-evento e ripristino delle condizioni antecedenti.

2.6 Interferenze idrauliche

Il tracciato di progetto interferisce con il reticolo idrografico del bacino costituito dai corsi d'acqua minori tra il Mannu di Porto Torres e il Temo (classificati dall'Autorità di bacino della Regione Sardegna nel Sub-bacino N°3 Coghinas-Mannu-Temo) e più precisamente con il Riu Serra, affluente in sinistra idraulica del Rio Barca, il Riu Sassu, affluente di monte del Rio Barca ed in due punti con il Riu de Calvia. L'attraversamento di detti corpi idrici avviene in tutti i casi in viadotto:

- Riu Serra in prossimità della prog. 0+690,00 dell'asse principale;
- Riu de Calvia in prossimità della prog. 2+910,00 dell'asse principale;
- Riu de Calvia in prossimità della prog. 0+570,00 della viabilità urbana (Asse D);
- Riu Sassu in prossimità della prog. 2+260,00 della bretella di collegamento con Fertilia;

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.

2.7 Caratteristiche morfologiche dei corsi d'acqua interferenti.

L'intervento in argomento, trattandosi di una tipologia di opera a prevalente sviluppo lineare, presenta diversi punti di interferenza con il reticolo idrografico superficiale. Come già evidenziato in premessa, l'area oggetto dell'intervento di realizzazione del nuovo tracciato è interferente con l'alveo del Riu Serra (affluente del Rio Barca), del Riu Sassu (affluente di testa del Rio Barca, poco a monte

della successiva affluenza del Riu Filibertu) e del Riu de Calvia (in due punti distinti). I due corsi d'acqua interferiti, come detto, risultano compresi nel Sub Bacino 3 - Coghinas Mannu Temo.

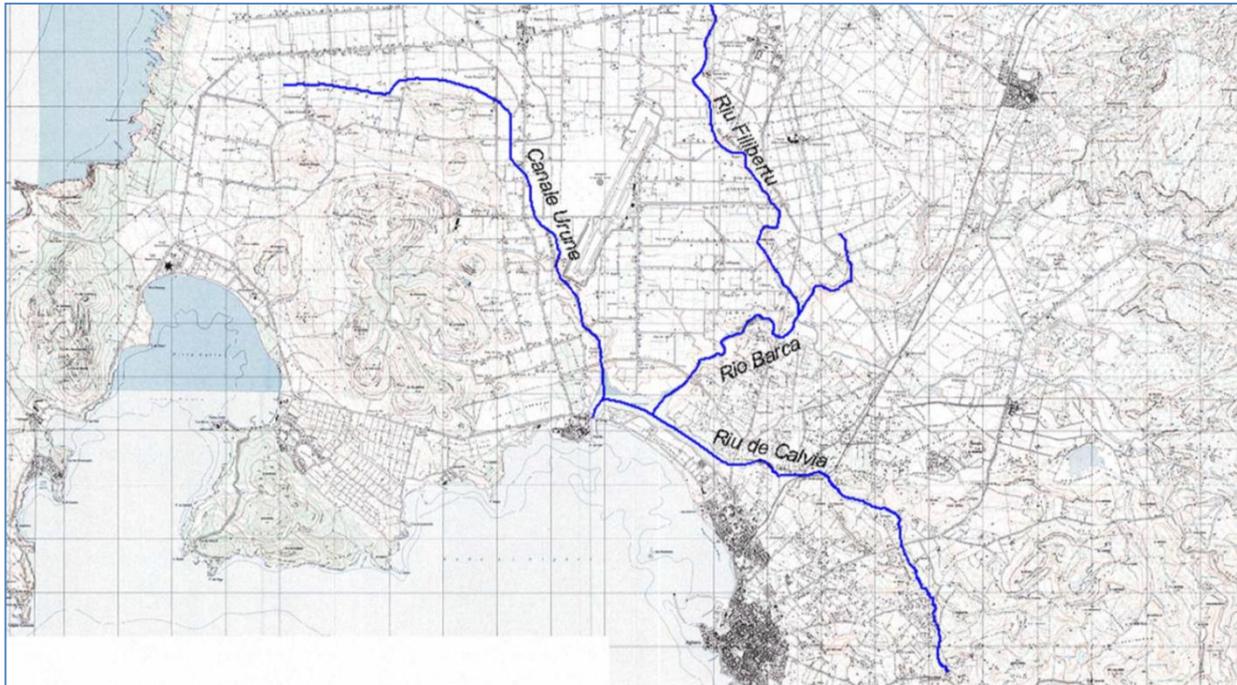


Figura 5 - Corsi d'acqua principali in studio nel bacino idrografico del Canale Urune.

Dal punto di vista metodologico, sono state dapprima analizzate le caratteristiche fisiografiche dei sottobacini sottesi alle sezioni di chiusura di interesse dei corsi d'acqua riferiti. In particolare, per quanto riguarda il Riu de Calvia, trattandosi di un elemento idrografico interferito in due tratti, al fine di modellare idraulicamente il relativo comportamento in presenza di eventi di piena critici in moto permanente, sono state considerate diverse sezioni di chiusura e di controllo nel tratto vallivo dell'asta principale, determinando i relativi contributi di portata di riferimento e valutandone la variazione nel suo percorso verso valle dove confluisce nello Stagno di Calich.



Figura 6 - Punto di confluenza del Riu De Clavia nello Stagno di Calich.

Di seguito si riporta la discretizzazione idrologica dei bacini dalla quale è stata successivamente determinata la caratterizzazione orografica e morfometrica dei corsi d'acqua riferiti.

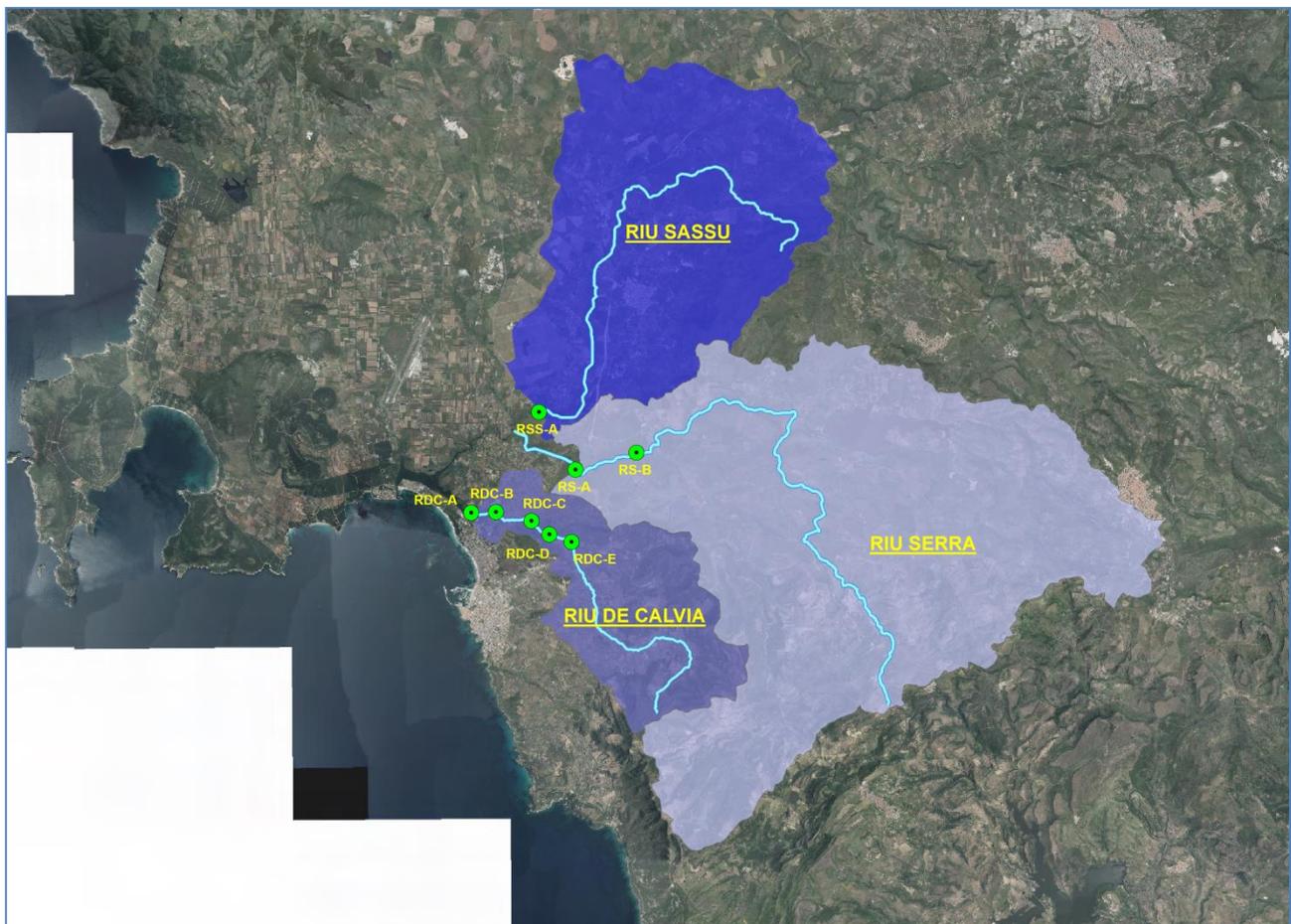


Figura 7 - Bacini idrografici Riu Sassu, Riu Serra e Riu de Calvia su ortofoto.

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.

Per i bacini indicati, in funzione delle relative sezioni di chiusura indicate, sono state calcolate le principali grandezze morfometriche, utili per le successive elaborazioni idrologiche per la stima delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno.

La metodologia che ha condotto alla definizione della base cartografica cui riferire le successive elaborazioni a carattere idrologico ed idraulico è consistita, sostanzialmente, nella "fusione" delle informazioni topografiche, altimetriche e geometriche contenute nelle basi informative a disposizione, ovvero:

1. Carta Tecnica Regionale ristrutturata (vedi **Figura 8**), a partire dal 2004 dalla Regione Sardegna, secondo il modello concettuale definito nell'ambito dell'intesa Stato-Regioni sui Sistemi informativi geografici (specifiche tecniche 1n1006 e 1n1007_1-2). A valle di detta

attività, mediante apposita metodologia di conversione delle entità geografiche presenti nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 (CTR 10k) nel Database geotopografico (DBT10K), è seguita l'integrazione del dato con le informazioni contenute in altre banche dati territoriali, quali la carta dell'uso del suolo (UdS) e gli strati prioritari relativi alla viabilità e all'idrografia (DBPrior 10k), aggiornando, infine, il dato geotopografico ottenuto con quanto rinvenibile dalle ortofoto del 2003, 2004 e 2006. Dal 2008 il modello di Database geotopografico (DBGT) è stato esteso al fine di potere ospitare, oltre che le informazioni alla scala 1:10.000 del DBT10k, anche quelle derivanti dalla cartografia a grande scala (1:2.000 o 1:1.000) relativa a 47 Comuni (solo centri urbani e località abitate). Tale evoluzione costituisce il "DataBase Multiprecisione" (DBMP). Nel 2014 a seguito del Servizio di "Adeguamento del Database Topografico in scala 1:10.000 della Regione Sardegna alle specifiche di contenuto per i DB Geotopografici definite nell'Allegato 1 del DM 10 novembre 2011", il contenuto del DBT10k regionale è migrato nel DBGT10k strutturato secondo il suddetto DM. Il DBGT10k e i DBGT di dettaglio sostituiscono il DBT10k e il DBMP, in cui i dati (strade, fiumi, edifici ecc.) sono organizzati secondo una struttura gerarchica in Strati, Temi Classi.

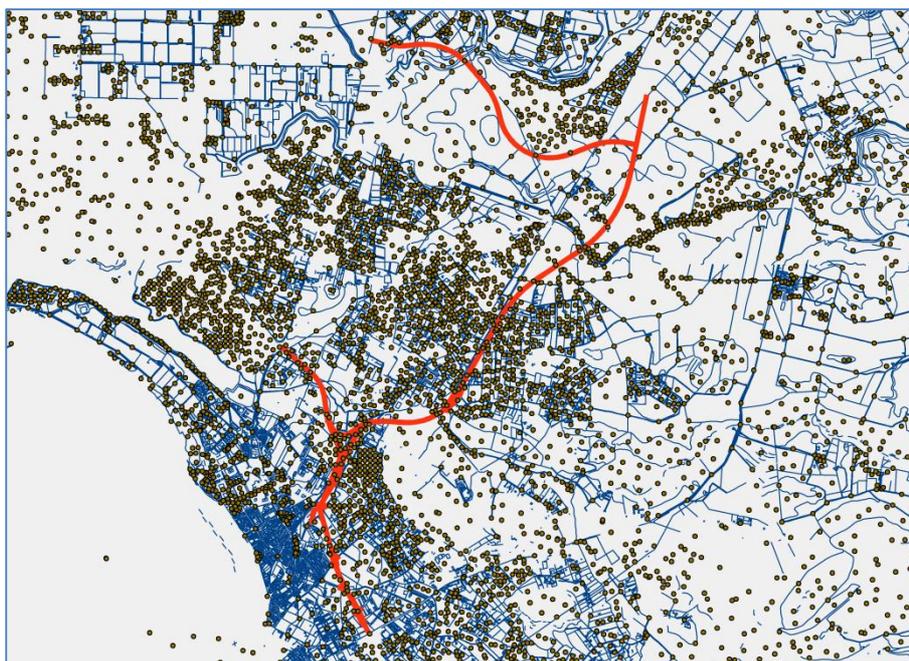


Figura 8 - Rappresentazione 2D della nuvola di punti e l'insieme di linee provenienti dal DBGT 10.000.

2. Modello Digitale del Terreno (DTM), con passo 5m, vedi **Figura 9**, ottenuto dall'eliminazione dalla nuvola di punti ricavata con rilievo Laser Scanning LIDAR (sistema di scansione che utilizza la tecnica laser per la modellazione del terreno), di tutto ciò che ad esso non appartiene (vegetazione e manufatti) ed utilizzato per la produzione di ortofoto.

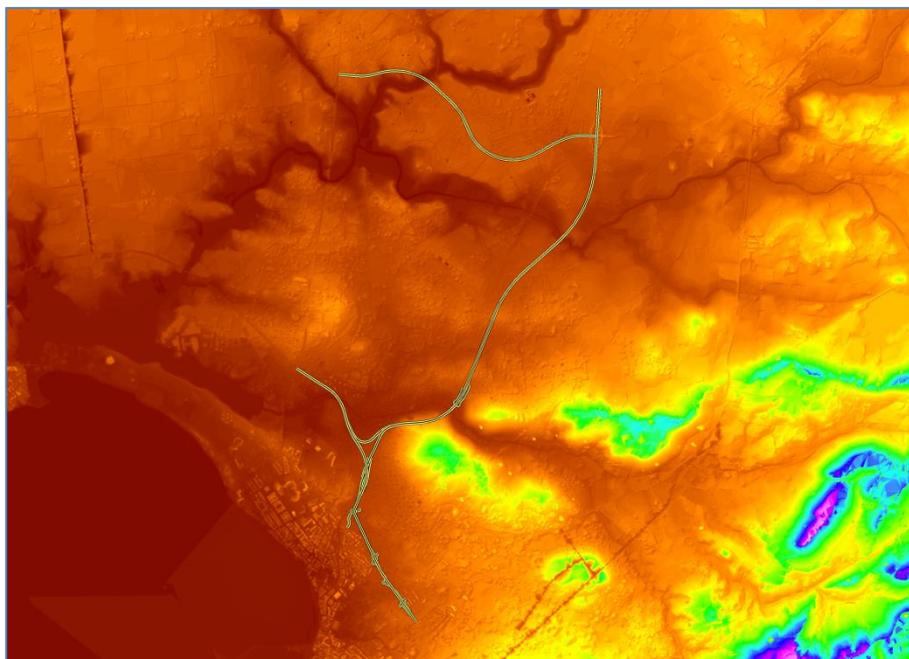


Figura 9 - Rappresentazione 2D del DTM di passo 5 m.

- 3.
4. rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:1000, celerimetrico 1:500 e sezioni idrauliche 1:200 sia per il Lotto 1 (Alghero-Olmedo) sia per il Lotto 4 (Bretella per aeroporto Fertilia), vedi **Figura 10**.



Figura 10 - Rappresentazione 2D della nuvola di punti e l'insieme di linee provenienti dal rilievo celerimetrico di scala sia relativamente al Lotto 1 sia al Lotto 4.

Tutti i dati cartografici precedentemente elencati e descritti sono confluiti in un unico sistema di elaborazione cartografica georeferenziata in ambiente GIS con cui è stato possibile integrare le diverse informazioni di base generando un'unica base cartografica attraverso l'interpolazione di superficie TIN (*Triangulated Irregular Network* - vedi) con fattore di elevazione adeguato. Successivamente, per gli scopi qui in argomento, si è proceduto alla conseguente rielaborazione del dato informativo ottenendo, in ultimo, il raster di riferimento con cella 5x5 m (vedi **Figura 11**)

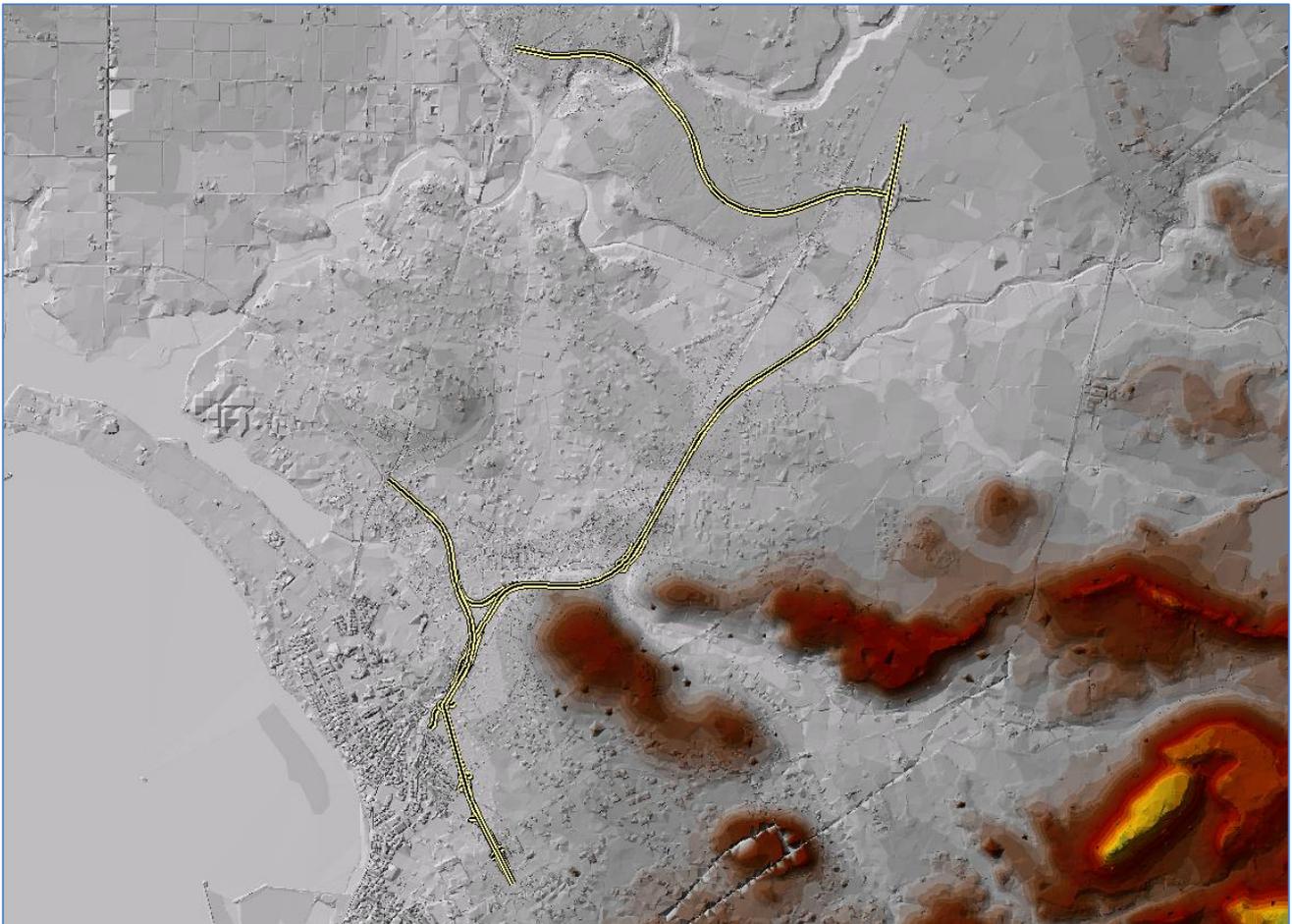


Figura 11 - TIN generato dalla sovrapposizione simultanea dei dati informativi DGTP10K, DTM5 e rilievo celerimetrico delle aree di interesse.

Sulla base, quindi, delle informazioni ricavabili dalla base cartografica numerica come precedentemente descritta, è stato possibile rilevare le caratteristiche morfometriche e dimensionali dei bacini idrografici principali e secondari del reticolo interferente con l'infrastruttura in argomento

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 24 di 79</p>
--	---

Si riportano le caratteristiche geografiche, fisiografiche e morfometriche calcolate:

SEZIONE	CORSO D'ACQUA	Area Bacino S	L	i _{media}	H _{max}	asta		bacino	
						i _{media}	H _o	H _{max}	H _{media}
		Km ²	km	m/m	m.s.l.m.	%	m.s.l.m.	m.s.l.m.	m.s.l.m.
RDC-E	RIU DE CALVIA	27.69	9.00	0.04	360.00	17.21	15.00	383.14	125.32
RDC-D	RIU DE CALVIA	28.58	9.80	0.04	360.00	17.07	10.02	383.14	122.65
RDC-C	RIU DE CALVIA	29.15	10.50	0.03	360.00	17.09	9.94	383.14	121.30
RDC-B	RIU DE CALVIA	33.96	11.85	0.03	360.00	15.30	5.00	383.14	106.72
RDC-A	RIU DE CALVIA	34.85	12.49	0.03	360.00	15.10	4.77	383.14	105.19
RS-B	RIU SERRA	149.86	19.86	0.02	360.00	25.00	10.00	500.00	227.00
RS-A	RIU SERRA	159.73	23.71	0.02	360.00	25.00	0.00	500.00	227.00
RSS-A	RIU SASSU	81.59	18.28	0.01	111.50	6.60	1.34	234.75	67.06

Tabella 4 - Caratteristiche morfologiche, fisiografiche e altimetriche dei sottobacini del Riu Serra e Riu de Calvia relative alle sezioni di calcolo individuate

Dove viene indicato con:

S l'area del bacino idrografico;

L asta la lunghezza dell' asta principale, considerata come quella a maggior sviluppo planimetrico del reticolo idrografico sotteso alla sezione di chiusura.

i_{media asta} pendenza media dell'asta principale

i_{media bacino} la pendenza media dei versanti del bacino afferente;

H_{o bacino} la quota minima del bacino, coincidente con la quota minima dell'asta fluviale principale alla sezione di chiusura;

H_{max bacino} la quota massima del bacino;

H_{med bacino} la quota media del bacino idrografico rispetto alla sezione di chiusura;

H_{max asta} la quota massima dell'asta fluviale principale.

3 STIMA DELLE MASSIME PRECIPITAZIONI

Per il calcolo delle portate di dimensionamento si è fatto riferimento alla metodologia di analisi indicata nel Progetto VAPI valida per qualsiasi sezione del reticolo idrografico dei corsi d'acqua della Sardegna ed all'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)".

3.1 *Analisi pluviometrica a scala regionale*

Per la stima delle intensità di pioggia è stata presa in considerazione la metodologia di analisi delle piogge regionalizzata descritta nello studio VAPI per la Sardegna.

A partire dall'analisi delle serie storiche di piogge brevi disponibili per le stazioni della regione, lo studio VAPI ha suddiviso il territorio della Sardegna in quattro zone climatiche omogenee. In questo modo, i dati relativi a ciascuna zona sono stati considerati globalmente come se fossero relativi ad un'unica stazione pluviografica. Il metodo utilizzato dal VAPI per la determinazione delle curve è basato sulla teoria della regressione di una variabile aleatoria in funzione di una variabile indipendente non aleatoria.

L'altezza di pioggia h (mm) viene determinata facendo ricorso alle curve di possibilità pluviometrica le cui espressioni sono state ricavate relativamente ai quattro gruppi pluviometrici omogenei dal Prof. Cao, rielaborate successivamente dal Prof. Puddu e recentemente aggiornate dal Prof. Piga e dal Dott. Liguori. L'espressione risultante della curva di possibilità pluviometrica è del tipo

$$h = h_1 t^{(c+du)} \quad (1)$$

$$\log(h_1) = a + bu \quad (2)$$

con:

- h = altezza di pioggia (mm)
- t = durata della precipitazione (h)
- h_1 = altezza di pioggia di durata unitaria
- u = frattile della distribuzione normale standardizzata
- a, b, c, d coefficienti delle due relazioni lineari dipendenti dall'andamento delle medie e degli scarti della variabile aleatoria in funzione della variabile indipendente e dipendono dal gruppo pluviometrico cui si riferiscono.

Risolvendo la seconda rispetto ad h_1 le espressioni delle curve di possibilità pluviometrica si possono riassumere nella forma:

$$h(t) = 10(a + bu)t(c + du) \quad (3)$$

I valori dei parametri a-b-c-d relativi alle varie aree sono riportati nella seguente **Tabella 5** che fa riferimento ai gruppi omogenei di stazioni pluviometriche ubicate come mostrato nella **Figura 12**:

	a	b	c	d
Gruppo I	1.273175	0.179731	0.305043	-0.01715
Gruppo II	1.296258	0.167487	0.359699	-0.01794
Gruppo III	1.379027	0.164598	0.418225	0.009093
Gruppo IV	1.460799	0.191831	0.497194	0.04125

Tabella 5 - Gruppi Omogenei delle stazioni pluviometriche della Sardegna.

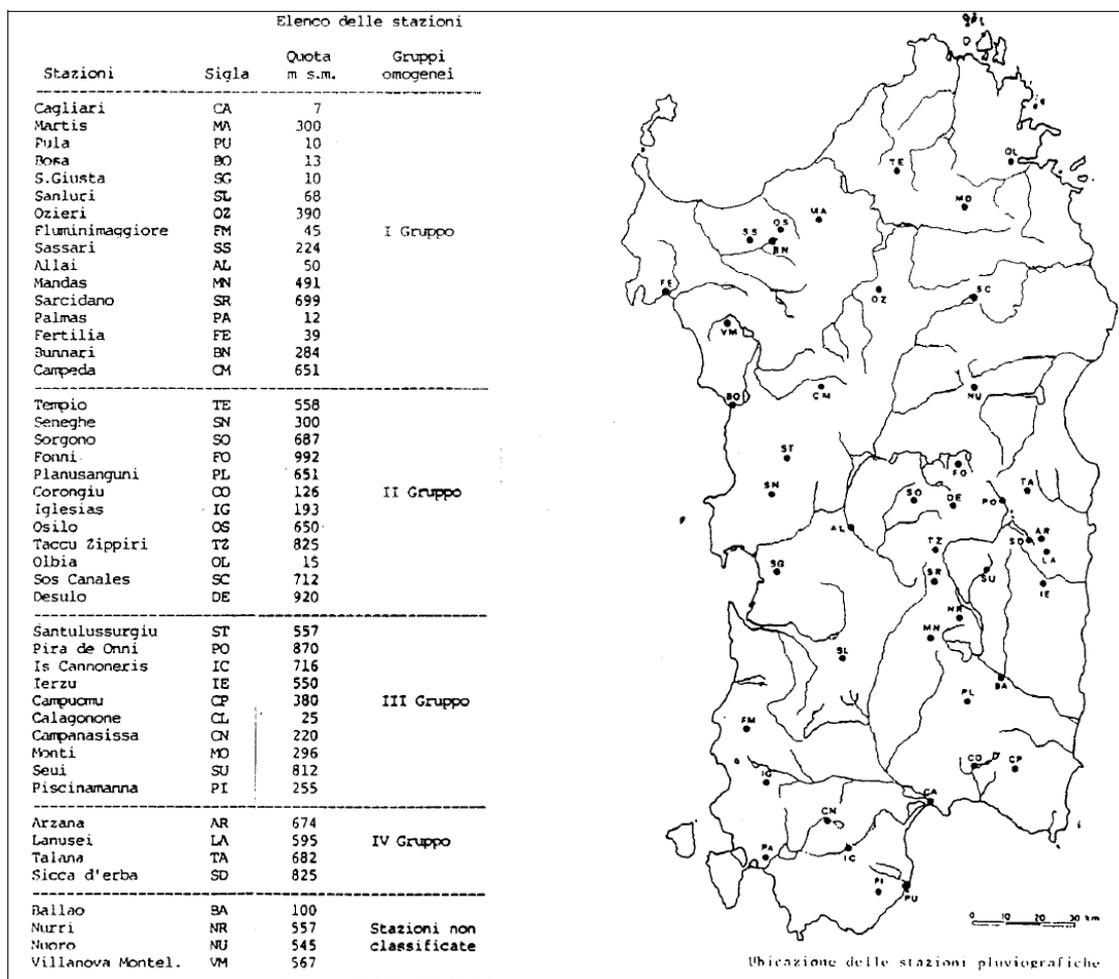


Figura 12 - Gruppi Omogenei delle stazioni pluviometriche della Sardegna.

Nel caso in esame il tracciato ricade nel I Gruppo Omogeneo (stazione di Fertilia), pertanto la curva di possibilità pluviometrica (1) sarà del tipo

$$h(t) = 10(1.273 + 0.1797u)t(0.305 - 0.0172u) \quad (3.1)$$

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File:TOO000IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 27 di 79

Il valore di u , ovvero il frattile della distribuzione normale standardizzata, è ricavabile dalla seguente tabella in corrispondenza della probabilità di non superamento, ricavabile dall'espressione: $P = 1 - 1/T_r$, in cui P è la probabilità di non superamento dell'evento e T_r è il tempo di ritorno di progetto.

u	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8840	0.8860	0.8880	0.8900	0.8920	0.8940	0.8960	0.8980	0.8999	0.9018
1.3	0.90320	0.90490	0.90658	0.90824	0.90988	0.91149	0.91308	0.91466	0.91621	0.91774
1.4	0.91924	0.92073	0.92220	0.92364	0.92507	0.92647	0.92785	0.92922	0.93056	0.93189
1.5	0.93319	0.93446	0.93574	0.93699	0.93822	0.93943	0.94062	0.94179	0.94295	0.94408
1.6	0.94520	0.94630	0.94738	0.94845	0.94950	0.95053	0.95154	0.95254	0.95352	0.95449
1.7	0.95543	0.95637	0.95728	0.95818	0.95907	0.95994	0.96080	0.96164	0.96246	0.96327
1.8	0.96407	0.96485	0.96562	0.96638	0.96712	0.96784	0.96856	0.96926	0.96995	0.97062
1.9	0.97128	0.97193	0.97257	0.97320	0.97381	0.97441	0.97500	0.97558	0.97615	0.97670
2.0	0.97725	0.97778	0.97831	0.97882	0.97932	0.97982	0.98030	0.98077	0.98124	0.98169
2.1	0.98214	0.98257	0.98300	0.98341	0.98382	0.98422	0.98461	0.98500	0.98537	0.98574
2.2	0.98610	0.98645	0.98679	0.98713	0.98745	0.98778	0.98809	0.98840	0.98870	0.98899
2.3	0.98928	0.98956	0.98983	0.99009	0.99035	0.99061	0.99086	0.99110	0.99134	0.99157
2.4	0.99180	0.99202	0.99224	0.99245	0.99265	0.99285	0.99303	0.99324	0.99343	0.99361
2.5	0.99379	0.99393	0.99413	0.99427	0.99445	0.99461	0.99476	0.99491	0.99506	0.99520
2.6	0.99533	0.99547	0.99560	0.99573	0.99585	0.99597	0.99609	0.99620	0.99631	0.99642
2.7	0.99653	0.99663	0.99673	0.99683	0.99692	0.99702	0.99711	0.99719	0.99728	0.99736
2.8	0.99744	0.99752	0.99759	0.99767	0.99774	0.99781	0.99788	0.99794	0.99801	0.99807
2.9	0.99813	0.99819	0.99825	0.99830	0.99835	0.99841	0.99846	0.99851	0.99855	0.99860
3.0	0.99865	0.99869	0.99873	0.99877	0.99881	0.99885	0.99889	0.99893	0.99896	0.99899
3.1	0.99903	0.99906	0.99909	0.99912	0.99915	0.99918	0.99921	0.99923	0.99926	0.99928
3.2	0.99931	0.99933	0.99934	0.99936	0.99937	0.99938	0.99939	0.99940	0.99941	0.99942
3.3	0.99943	0.99944	0.99945	0.99946	0.99947	0.99948	0.99949	0.99950	0.99951	0.99952
3.4	0.99953	0.99954	0.99955	0.99956	0.99957	0.99958	0.99959	0.99960	0.99961	0.99962
3.5	0.99963	0.99964	0.99965	0.99966	0.99967	0.99968	0.99969	0.99970	0.99971	0.99972
3.6	0.99973	0.99974	0.99975	0.99976	0.99977	0.99978	0.99979	0.99980	0.99981	0.99982
3.7	0.99983	0.99984	0.99985	0.99986	0.99987	0.99988	0.99989	0.99990	0.99991	0.99992
3.8	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
3.9	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.0	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.1	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.2	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.3	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.4	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.5	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.6	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.7	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.8	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000
4.9	0.99993	0.99994	0.99995	0.99996	0.99997	0.99998	0.99999	1.00000	1.00000	1.00000

Tabella 6 - Valori dei frattili della distribuzione normale standardizzata.

E' stata tuttavia successivamente presa in considerazione una seconda 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.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 28 di 79</p>
--	---

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:

$$h(T) = ad^n \quad (4)$$

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

$$h'(T) = \frac{h(d)}{h_m(d)} \quad (5)$$

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:

$$h'(T) = ad^n \quad (6)$$

dove i parametri della curva, a(T) ed n(T), vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO) (**Figura 13**), per durate minori e maggiori di 1ora e per tempi di ritorno maggiori di 10 anni, come mostrato nella tabella seguente:

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata > 1 ora
Sottozona 1	a=0.46420+1.0376*Log (T)	a=0.46420+1.0376*Log (T)
	n=-0.18488+0.22960*Log(T)- 3.3216*10 ⁻² *Log ² (T)	n=-1.0469*10 ⁻² -7.8505*10 ⁻³ Log (T)
Sottozona 2	a=0.43797+1.0890*Log (T)	a=0.43797+1.0890*Log (T)
	n=-0.18722+0.24862*Log(T)- 3.36305 *10 ⁻² *Log ² (T)	n=-6.3887*10 ⁻³ -4.5420*10 ⁻³ * Log (T)
Sottozona 3	a=0.40926+1.1441*Log (T)	a=0.40926+1.1441*Log (T)
	n=-0.19060+0.264438*Log(T)- 3.8969 *10 ⁻² *Log ² (T)	n=1.4929*10 ⁻² +7.1973*10 ⁻³ * Log (T)

Tabella 7 - Parametri della curva di possibilità climatica.

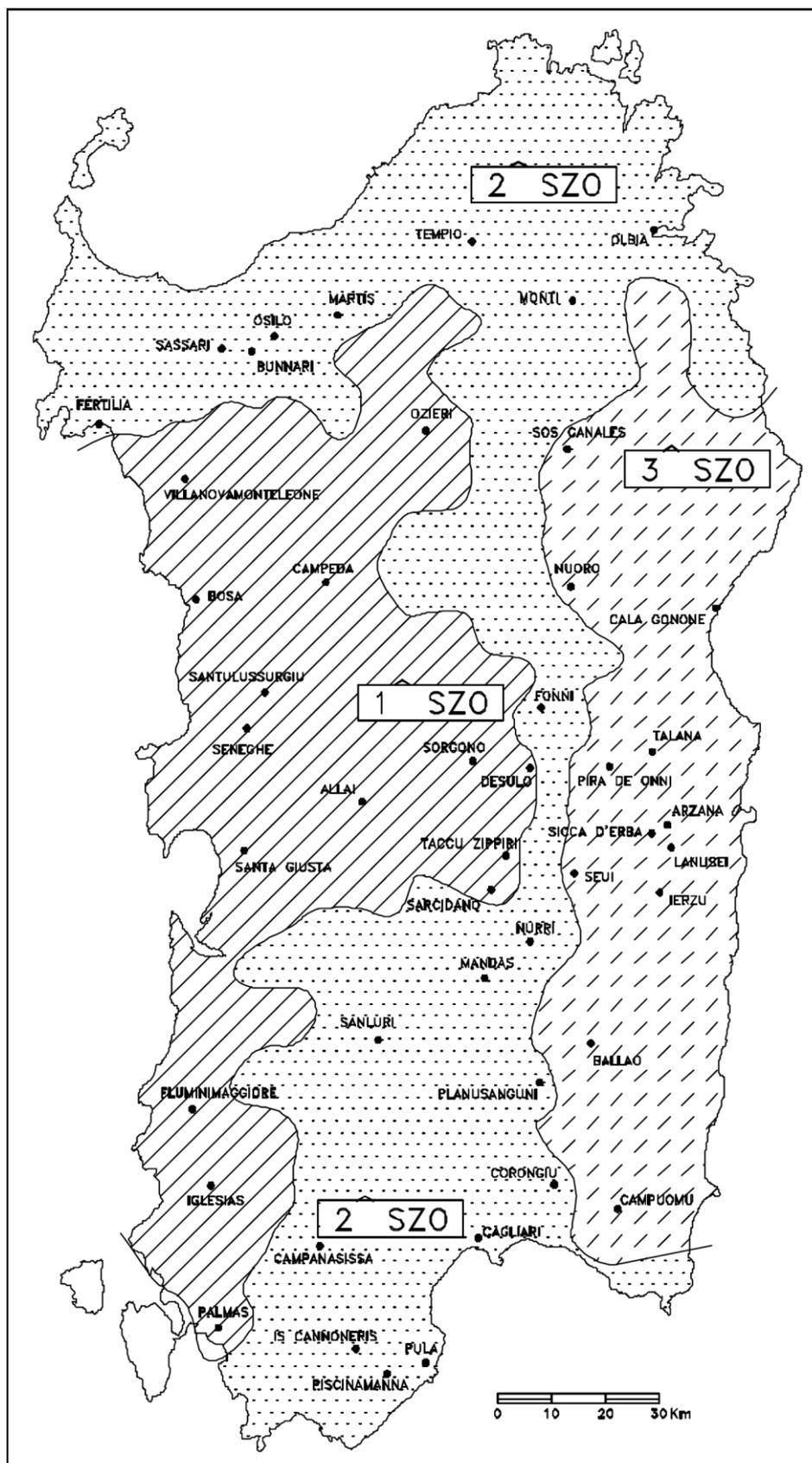


Figura 13 - Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File:TO0ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 30 di 79</p>
--	---

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

$$h_m(d) = \frac{h_g}{0.886 \cdot 24^{(-0.493+0.476 \text{Log}(h_g))}} d^{(-0.493+0.476 \text{Log}(h_g))} \quad (7)$$

dove h_g si ricava dalla distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera sull'intera Sardegna (**Figura 4**).

3.1.1 Altezza di pioggia ragguagliata (h_r)

Seguendo le indicazioni delle su citate Linee Guida del PAI, è stato valutato un coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area, per tener conto della disuniformità delle precipitazioni sulle superfici interessate.

Il coefficiente di ragguaglio $r(d, A)$, legato alla durata della precipitazione d , e alla superficie del bacino A , è espresso da diverse formulazioni tra cui quella, utilizzata nel VAPI Sardegna, che fa riferimento al Flood Studies Report (Wallingford Institute UK, 1997).

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

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

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

3.2 Valutazione delle perdite

Nella modellazione matematica del processo di trasformazione afflussi-deflussi, per la valutazione della pioggia netta si adottano spesso metodologie più complesse della semplice adozione di un coefficiente di deflusso. Le principali perdite idrologiche che si determinano su un bacino idrografico sono:

- l'intercettazione, l'evaporazione e l'evapotraspirazione determinate dalla vegetazione;
- la ritenzione nelle depressioni superficiali;
- l'infiltrazione nelle superfici permeabili.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i>	File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 31 di 79
---	---

L'infiltrazione sulle aree permeabili o semipermeabili dei bacini è senz'altro il fenomeno quantitativamente più ragguardevole, mentre meno significativo, ma non sempre trascurabile, potendo raggiungere in alcuni casi l'entità di alcuni millimetri di pioggia, è la perdita che avviene sul bacino per l'immagazzinamento delle depressioni superficiali del terreno, dalle quali l'acqua viene successivamente sottratta per evaporazione o infiltrazione.

Le perdite dovute all'intercettazione, all'evaporazione e alla evapotraspirazione risultano modeste nell'ambito dei singoli eventi di piena. Esse assumono invece maggiore importanza quando vengano presi in conto periodi di notevole durata comprendenti anche numerosi eventi di pioggia poco rilevanti. Ne consegue che tali perdite vengono normalmente nono considerate nell'ambito dei modelli di piena, mentre devono essere tenute in conto quando si faccia riferimento a modelli completi.

3.2.1 Intercettazione, evaporazione ed evapotraspirazione

La perdita per intercettazione ed evaporazione è l'aliquota di precipitazione che è trattenuta dalla vegetazione e, assorbita da questa o restituita all'atmosfera attraverso l'evaporazione, non raggiunge il suolo. L'altezza totale di pioggia intercettata è, quindi, sommo di una quantità molto piccola (0.2 - 1.2 mm) trattenuta sul fogliame e da una quantità che, evaporando, continuamente si rinnova. Quest'ultima è proporzionale, oltre che alla superficie bagnata e alla durata della pioggia, anche a un fattore di evaporazione strettamente dipendente dalla temperatura e dall'umidità dell'aria. Così la perdita per intercettazione ed evaporazione è essenzialmente concentrata all'inizio dell'evento piovoso ed è percentualmente tanto più alta quanto più piccolo è l'ammontare della precipitazione.

Ne consegue che, anche per aree boschive, o con densa copertura a verde, la perdita per intercettazione ed evaporazione, nel caso di singolo evento meteorico con elevata intensità e concentrato nel tempo, assume valori percentuali molto piccoli.

La perdita per evapotraspirazione dipende invece da un processo simile a quello dell'evaporazione, solo che in questo caso l'acqua viene sottratta dai primi strati del terreno, nei quali è pervenuta per infiltrazione, dalle piante, e reimpressa nell'atmosfera tramite la traspirazione. Questo fenomeno, mentre influenza il bilancio annuo rendendo, nel tempo, il terreno di nuovo idoneo ad assorbire maggiori quantità d'acqua per infiltrazione, è praticamente da non considerare nel caso del singolo evento con elevata intensità e concentrato nel tempo, in quanto in questo caso la sua azione sulla variazione di capacità d'infiltrazione nel terreno è trascurabile.

Nel caso di modelli di piena applicati a bacini idrografici per la stima della massima portata al colmo di piena da assumere a base del dimensionamento di interventi di sistemazione idraulica, date anche le caratteristiche delle precipitazioni massime in tale caso utilizzate, ed in favore di sicurezza, queste due prime cause di perdita sono, quindi, normalmente trascurate.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 32 di 79</p>
--	---

3.2.2 Ritenzione nelle depressioni superficiali

Prima che le precipitazioni su un bacino diano luogo a scorrimento superficiale si verifica ulteriore sottrazione di un volume che può essere considerato composto da due termini: la quantità d'acqua necessaria a "bagnare" la superficie scolante (rappresentata dal velo d'acqua sul suolo soggetto alla tensione superficiale) e la quantità d'acqua che va ad immagazzinarsi nelle vere e proprie depressioni del suolo. Questi volumi, infatti, non sono più disponibili al deflusso e vengono riportati nel ciclo ideologico solo per effetto della evaporazione e dell'infiltrazione alla fine della pioggia. E' evidente che l'entità di tali perdite dipende strettamente dal tipo e dallo stato di copertura del bacino.

In letteratura sono ormai disponibili diversi metodi per la valutazione quantitativa del fenomeno della ritenzione, alcuni basati sulla stima globale della parte di precipitazione iniziale del pluviogramma di progetto che viene intercettata, altri basati sulla determinazione dell'andamento temporale del fenomeno di riempimento e saturazione delle depressioni; tutti ovviamente fortemente dipendenti dalla natura e dalle caratteristiche del terreno.

Tuttavia, quello che qui si deve notare è che dette perdite, oltre che essere iniziali, possono normalmente avere, specie su bacini antropizzati e di modeste estensioni, modesta entità, talché, appena si considera un evento meteorico non isolato, ma inserito in un più ampio contesto di un periodo piovoso, la probabilità che dette capacità siano ormai riempite è molto alta. Ne consegue la considerazione che nei modelli indirizzati alle portate di progetto non solo è irrilevante considerare queste perdite, ma anzi è opportuno trascurarle, tenuto conto che l'ipotesi di evento di pioggia critico all'interno di un più ampio periodo piovoso è certamente molto più realistica di quella di evento isolato non preceduto da alcuna precipitazione, anche di piccola altezza.

3.2.3 Infiltrazione nei suoli impermeabili

L'infiltrazione costituisce il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso in alveo.

Si definiscono:

- *infiltrazione*: la velocità con cui l'acqua viene sottratta dalla superficie del suolo;
- *capacità d'infiltrazione*: la massima velocità con cui un suolo, in qualsiasi condizione, è capace di assorbire acqua.

Se l'entità di pioggia è inferiore alla capacità di infiltrazione, l'infiltrazione coinciderà con la pioggia stessa; nel caso contrario l'infiltrazione coinciderà con la capacità di infiltrazione e l'eccesso di pioggia rispetto a questa darà luogo al deflusso superficiale.

Risulta quindi fondamentale conoscere il valore della capacità di infiltrazione dei diversi suoli, nelle varie condizioni.

Il fenomeno dell'infiltrazione può essere considerato come una successione di tre fasi: l'entrata della pioggia nella superficie del suolo, la propagazione attraverso la tessitura di questo e la conseguente saturazione dei vuoti presenti. Ognuna di queste fasi influenza la capacità di infiltrazione: infatti l'acqua sottratta dal suolo non potrà essere maggiore di quanto possa entrare nella sua superficie né più di quanto consenta la trasmissione verso il basso attraverso la tessitura dei vari strati di terreno attraversati e, d'altra parte, a parità di infiltrazione in superficie, il fronte di umidità nel terreno avanzerà tanto più velocemente quanto minore è la porosità di questo.

La capacità di infiltrazione dipende quindi non solo dalla tessitura del terreno, ma anche dallo stato dello strato superficiale di questo e, istante per istante, dallo spessore del suolo saturo d'acqua. Una compattazione superficiale dovuta al transito di mezzi o al calpestio tende infatti a ridurre la capacità di infiltrazione, mentre la coltivazione del suolo, i prati e i boschi tendono ad aumentarla; l'aumento nel tempo, durante un evento, dello strato saturo di suolo tende, inoltre, a ridurre la capacità di infiltrazione, a causa del corrispondente aumento della lunghezza dello strato attraverso cui l'acqua deve filtrare.

Vi sono in generale due differenti approcci per determinare l'andamento nel tempo della capacità di infiltrazione: uno è basato sull'interpretazione teorica del fenomeno della infiltrazione, mentre l'altro tende a rappresentare tale fenomeno attraverso metodi di tipo empirico.

Per le applicazioni pratiche i metodi empirici o idrologici sono molto diffusi, in quanto di più semplice implementazione e di uso più consolidato. Nel caso in esame, la procedura utilizzata per il calcolo delle perdite, è quella del "Curve Number" (CN) del Soil Conservation Service. Questa procedura, sviluppata nel 1972, viene ormai largamente utilizzata per l'interpretazione della dinamica temporale delle perdite, anche se originariamente non fu proposta a tale scopo.

La procedura si basa sull'utilizzo della seguente equazione:

$$h_{netta}(t) = \frac{[H(t) - I]^2}{H(t) - I + S} \quad (8)$$

dove:

$h_{netta}(t)$ è l'altezza di pioggia netta di durata t ;

$H(t)$ è l'altezza di pioggia lorda di stessa durata t ;

S è l'altezza d'acqua massima immagazzinabile nel terreno a saturazione;

I è l'assorbimento iniziale, che viene assunto usualmente pari a $0.2 \cdot S$

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File: T00ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 34 di 79</p>
--	--

Il valore di S dipende dal valore del parametro CN, caratteristico del terreno, attraverso la relazione:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (9)$$

I valori del CN vengono normalmente determinati in funzione delle caratteristiche di permeabilità del terreno e dell'uso del suolo dello stesso. Relativamente alla permeabilità, il Soil Conservation Service distingue quattro diversi tipi di suolo le cui caratteristiche vengono riportate nella tabella seguente.

Tabella 8 - Caratteristiche suoli secondo il Soil Conservation Service.

TIPO DI SUOLO	DESCRIZIONE
A	<p><i>Scarsa potenzialità di deflusso</i></p> <p>Compende forti spessori di sabbie con scarsissimo limo e argilla; anche forti spessori di ghiaie profonde e molto permeabili.</p>
B	<p><i>Potenzialità di deflusso moderatamente bassa</i></p> <p>Comprende la maggior parte degli strati sabbiosi meno spessi che nel gruppo A, ma il gruppo nel suo insieme mantiene alte capacità d'infiltrazione anche a saturazione.</p>
C	<p><i>Potenzialità di deflusso moderatamente alta</i></p> <p>Comprende suoli sottili e suoli contenenti considerevoli quantità d'argilla e colloidali, anche se meno che nel gruppo D. Il gruppo ha scarsa capacità d'infiltrazione a saturazione.</p>
D	<p><i>Potenzialità di deflusso molto alta</i></p> <p>Comprende la maggior parte delle argille con alta capacità di rigonfiamento, ma anche suoli sottili con orizzonti pressoché impermeabili in vicinanza della superficie.</p>

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 35 di 79

Con riferimento a condizioni standard di umidità del terreno agli inizi dell'evento di pioggia ("AMC", Antecedent Moisture Condition, di classe II) vengono riportati in letteratura i valori del CN per i diversi usi del suolo possibili sul territorio di un bacino idrografico, come mostrato nella seguente **Tabella 9**.

Tipo di copertura (uso del suolo):	Tipo di suolo			
	A	B	C	D
Terreno coltivato:				
senza trattamenti di conservazione	72	81	88	91
con interventi di conservazione	62	71	78	81
Terreno da pascolo:				
cattive condizioni	68	79	86	89
buone condizioni	39	61	74	80
Praterie:				
buone condizioni	30	58	71	78
Terreni boscosi o forestati:				
terreno sottile, sottobosco povero, senza foglie	45	66	77	83
sottobosco e copertura buoni	25	55	70	77
Spazi aperti, prati rasati, parchi:				
buone condizioni con almeno il 75% dell'area con	39	61	74	80
condizioni normali, con copertura erbosa intorno al 50%	49	69	79	84
Aree commerciali (impermeabilità 85%)	89	92	94	95
Distretti industriali (impermeabilità 72%)	81	88	91	93
Aree residenziali (impermeabilità media %):				
65%	77	85	90	92
38%	61	75	83	87
30%	57	75	83	87
25%	54	70	80	85
20%	51	68	79	84
Parcheggi impermeabili, tetti	98	98	98	98
Strade:				
Pavimentate con cordoli - fognature	98	98	98	98
inghiaiate o selciate e con buche	76	85	89	91
in terra battuta (non asfaltate)	72	82	87	89

Tabella 9 - Valori del CN per i differenti tipi di suolo in funzione del relativo uso.

Per condizioni antecedenti l'evento di precipitazione molto umide (AMC di classe III) o molto asciutte (AMC di classe I) i valori del parametro CN vanno modificati in relazione alle curve e tabelle sperimentali determinate dal Soil Conservation Service.

Per tali curve è stata determinata anche una funzione di interpolazione, per renderne più agevole l'utilizzo.

$$CN_{AMC I} = \frac{4.2CN}{10 - 0.058CN}$$

$$CN_{AMC III} = \frac{23CN}{10 + 0.13CN} \quad (10)$$

Le condizioni di umidità antecedenti l'evento, secondo il Soil Conservation Service, possono essere ricavate sulla base della precipitazione complessivamente caduta nei 5 giorni precedenti l'evento considerato, secondo quanto riportato nella tabella seguente.

Classe di AMC	Precipitazione totale nei 5 giorni precedenti l'evento(mm)	
	Stagione di riposo	Stagione di crescita
I	< 12.7	< 35.5
II	12.7 - 28.0	35.5 - 53.3
III	> 28.0	> 53.3

Tabella 10 - Definizione delle condizioni di umidità iniziale sulla base dei valori di precipitazione cumulata nei 5 giorni antecedenti l'evento critico.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 37 di 79</p>
--	---

4 STIMA DELLE PORTATE AL COLMO

La valutazione della portata di massima piena, per un assegnato periodo di ritorno, in una data sezione di un corso d'acqua che drena un'assegnata superficie di bacino, viene effettuata con metodologie diverse in relazione alla qualità e alla quantità dell'informazione idrologica disponibile.

A grandi linee può essere condotta:

- con metodi diretti, elaborando i dati di portata disponibili per il corso d'acqua che si esamina (indagine di tipo prevalentemente statistico);
- con metodi indiretti, ricorrendo, per supplire all'insufficienza di dati di portata, a dati osservati su altri corsi d'acqua della medesima regione idrologica anche attraverso l'uso di modelli di trasformazione afflussi-deflussi;
- con l'applicazione di metodi empirici nei quali trovano applicazione formulazioni deterministiche ricavate dai vari Autori in base alle informazioni idrologiche note dei bacini.

Per l'esecuzione dello studio in oggetto si è fatto riferimento alle metodologie riportate nel Rapporto Regionale Sardegna "Valutazione delle piene in Sardegna"¹ e, in particolare, a quelle utilizzate su scala regionale per eseguire le attività di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e individuazione delle relative misure di salvaguardia ai sensi del D.L. 11 giugno 1998 n.180. Sono state valutate le portate al colmo per i tempi di ritorno di 2, 50, 100, 200 e 500 anni utilizzate per il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali integrate con le ulteriori portate al colmo per i tempi di ritorno di 5, 10 anni per ulteriori approfondimenti in ambito progettuale; il calcolo è stato svolto sulla base di quanto indicato nelle "Metodologie di Analisi relative agli "Studi, Indagini, Elaborazioni attinenti all'Ingegneria Integrata, necessari alla redazione dello Studio denominato – Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)" ed alle "Linee guida per l'attività di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia".

Viene fatto riferimento, per i bacini con superficie superiore ai 60 kmq, al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV, riportato nelle sopraccitate Linee guida e descritto in dettaglio nella "Valutazione delle piene in Sardegna" (Cao C., Piga E., Salis M., Sechi G.M. Rapporto Regionale Sardegna, CNR-GNDICI, LINEA 1, Istituto di Idraulica, Università di Cagliari, 1991).

Per i bacini con superficie inferiore ai 60 kmq, si procede con metodo indiretto mediante applicazione del metodo razionale secondo le indicazioni contenute nelle Linee guida sopra citate. Il modello afflussi – deflussi che si è ritenuto di utilizzare nell'ambito del presente studio idrologico, è, come già esposto, un modello di tipo globale, ossia applicato unitariamente all'intero bacino idrografico di interesse, che combina i risultati dell'analisi statistica delle precipitazioni, mediante le metodologie più sopra esposte, con il metodo del Curve Number del SCS per la valutazione del volume netto di pioggia disponibile per la formazione della piena. La procedura si articola nei seguenti passi:

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File: T00ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 38 di 79</p>
--	--

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

Alla base della procedura vi sono le seguenti assunzioni:

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

In definitiva il calcolo della portata al colmo viene eseguito uguagliando il volume di pioggia netta, o efficace, al volume della piena descritta a mezzo di un idrogramma di assegnata forma.

4.1 Stima delle portate al colmo dei bacini di dimensioni superiori a 60 kmq.

Per la stima delle portate al colmo dei bacini di dimensioni superiori a 60 kmq, si fa riferimento, come indicato in precedenza, al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV.

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 Λ^* e θ^* 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 Λ_1 per ciascuna stazione. Le stime dei valori di massima verosimiglianza del parametro per i due versanti risultano:

Bacini occidentali $\Lambda_1 = 6,286$

Bacini orientali $\Lambda_1 = 4,571$



Figura 14 - *Suddivisione della Regione Sardegna nei due versanti: occidentale e orientale (Fonte VAPI).*

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

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

Bacini occidentali	$\Lambda_1 = 6,286$	$\eta = 4,377$
Bacini orientali	$\Lambda_1 = 4,571$	$\eta = 4,058$

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	2.2	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 11 - *Valori del parametro K_T per diversi tempi di ritorno per i bacini occidentali ed orientali della sardegna.*

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 ϵI della distribuzione TCEV. Il legame teorico tra questo parametro e la piena media annua μx è:

$$\mu_x = \frac{\varepsilon_1}{Ln(\Lambda_1)} \eta \quad (11)$$

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 $\ln \varepsilon_1 = 0,9882 + 0,6452 \ln S$

4.1.1 Calcolo delle portate al colmo Riu Serra e Riu Sassu.

Considerata la posizione dei bacini del Riu Serra e del Riu Sassu in esame, sul versante occidentale, i parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle portate risultano:

$$\theta^* = 5,8866 \quad \Lambda^* = 0,3938 \quad \Lambda_1 = 4,571 \quad \eta = 4,058$$

mentre i valori di K_T , coefficiente probabilistico di crescita, per i tempi di ritorno di interesse allo studio in corso, sono riportati nella **Tabella 11**.

Valutati il parametri modali

CORSO D'ACQUA	SEZIONE DI CONTROLLO	ε_1	μ_x
RIU SERRA	RS-B	30.91	73.60
RIU SERRA	RS-A	32.78	78.06

CORSO D'ACQUA	SEZIONE DI CONTROLLO	ε_1	μ_x
RIU SASSU	RSS-A	17.63	41.98

si ottengono i seguenti valori di riferimento delle portate da utilizzare per le verifiche idrauliche integrati dal presente studio per valori di tempi di ritorno intermedi. Tutti i risultati si riferiscono ai dati relativi al sottobacino del Riu Serra e del Riu Sassu (entrambi affluenti del riu Barca) in cui ricade, parzialmente, l'intervento.

DENOMINAZIONE CORSO D'ACQUA	AREA BACINO	Q-Tr(2)	Q-Tr(5)	Q-Tr(10)	Q-Tr(50)	Q-Tr(100)	Q-Tr(200)	Q-Tr(500)	Q-Tr(1000)
	[km ²]	[m ³ /s]							
RIU SERRA RS-B	149.86	47.84	96.41	161.91	324.56	393.74	462.92	553.44	622.62
RIU SERRA RS-A	160.52	50.74	102.26	172.52	344.24	417.62	490.99	587.01	660.38

Tabella 12 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative al sottobacino Riu Serra.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p><i>File:TO0ID00IDRRE01_A.</i> DOCX <i>Data: Settembre 2017</i> Pag. 41 di 79</p>
--	---

DENOMINAZIONE CORSO D'ACQUA	AREA BACINO	Q-Tr(2)	Q-Tr(5)	Q-Tr(10)	Q-Tr(50)	Q-Tr(100)	Q-Tr(200)	Q-Tr(500)	Q-Tr(1000)
	[km ²]	[m ³ /s]							
RIU SASSU RSS-A	149.86	27.28	56.25	161.91	196.45	239.27	281.67	337.49	379.47

Tabella 13 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative al sottobacino Riu Sassu.

4.2 Stima delle portate al colmo dei bacini di superficie inferiore a 60 Km²

Per la stima delle portate al colmo dei bacini di superficie inferiore a 60 km², si fa riferimento alla Formula Razionale, secondo le indicazioni contenute nelle Linee guida sopra citate, che si richiama nel seguito.

La portata di piena è espressa come prodotto tra l'intensità di precipitazione (i), di assegnata durata e periodo di ritorno (T_r), il coefficiente di assorbimento (Φ), la superficie del bacino (A), il coefficiente di laminazione ε(t):

$$Q = i[\Theta, T_r, r(\Theta, A)] \cdot \Phi \cdot A \cdot \varepsilon(\Theta) \quad (12)$$

dove con Θ si è indicato il valore di durata critica, mentre r(Θ, A), rappresenta il fattore di ragguglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata Θ e della superficie del bacino A. Vengono nel seguito descritte le ipotesi e le metodologie di stima dei suddetti parametri.

4.2.1 Calcolo del tempo di corrivazione e di formazione Riu de Calvia

La durata di pioggia critica (Θ) è assunta pari alla somma del tempo di formazione del deflusso superficiale (t_f) e del tempo di corrivazione (t_c)

Il calcolo del tempo di corrivazione, t_c, si rende necessario in quanto con esso si individua la durata dell'evento di precipitazione critico per il bacino. La sua stima può essere effettuata utilizzando una delle diverse formulazioni empiriche o semi-empiriche che ne correlano il valore a caratteri morfologici del bacino idrografico o dell'asta fluviale.

La scelta della formula per il calcolo del tempo di corrivazione è uno dei momenti critici della procedura qui descritta. Infatti, questo parametro è di tipo soggettivo e quindi la sua definizione è legata all'esperienza del progettista, che potrà avvalersi anche di quanto presente in letteratura o raccomandato dall'Autorità di Bacino, tenendo presente che una sottostima del tempo di corrivazione tenderà a fornire delle portate di maggior valore e viceversa.

Nell'ambito del presente studio, si è fatto riferimento a cinque diverse formulazioni, ciascuna riconosciuta affidabile per la stima del tempo di corrivazione di bacini idrografici di determinate estensioni.

Tutte le formulazioni risultano ampiamente documentate in letteratura e di consolidato uso nella pratica progettuale. Le formulazioni di Ventura, Pasini, Viparelli, SCS e Giandotti sono indicate nello studio VAPI come adatte ai bacini alla Sardegna.

Per bacini di superficie compresa tra 0.1 e 1 km² si può adottare la formula di Kirpich:

$$t_c = 0.945 \left(\frac{L^3}{DH} \right)^{0.385} \quad (13)$$

dove:

t_c è il tempo di corrivazione in ore;

L , è la lunghezza dell'asta fluviale in km;

DH , è il dislivello altimetrico tra gli estremi dell'asta, in metri.

Per bacini di superficie compresa tra 1 e 10 km² si può adottare la formula di Ventura:

$$t_c = 0.1272 \sqrt{\frac{A}{i}} \quad (14)$$

dove:

t_c è il tempo di corrivazione in ore;

A , l'area del bacino in km²;

i , è la pendenza media dell'asta fluviale in m/m.

Le Linee Guida del PAI ed il VAPI indicano come valida e particolarmente adatta per i piccoli bacini della Sardegna la formula di Pasini:

$$t_c = 0.108 \frac{\sqrt[3]{AL}}{\sqrt{i}} \quad (15)$$

dove:

t_c è il tempo di corrivazione in ore;

A , l'area del bacino in km²;

L , la lunghezza dell'asta fluviale in km;

i , è la pendenza media del reticolo idrografico in m/m.

Secondo la formulazione del Viparelli il t_c è dato dalla seguente espressione:

$$t_c = \frac{L}{3.6V} \quad (16)$$

dove:

L , è la lunghezza dell'asta fluviale in km;

V = è la velocità media di scorrimento che si può porre pari a circa 1.5 m/s,

Per bacini con superfici superiori alla decina di km² si può adottare la formula di Giandotti:

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.5\sqrt{H_m - H_0}} \quad (17)$$

dove:

t_c è il tempo di corrivazione in ore;

A , l'area del bacino in km²;

L , la lunghezza dell'asta fluviale in km;

H_m l'altezza media del bacino in metri.

H_0 l'altezza del bacino alla sezione di chiusura in metri

Secondo la formulazione adottata dal Soil Conservation Service Il tempo di corrivazione (t_c), espresso in ore, è definito da:

$$t_c = 1.67 \cdot 2.587 \frac{L^{0.8}}{1900\sqrt{S}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \quad (18)$$

dove

s = pendenza media del bacino (di versante, non dell'asta fluviale) [%];

L = lunghezza dell'asta [m]

Una volta identificato il bacino idrografico di interesse sulla cartografia disponibile, si è proceduto al calcolo della quota media (H_{med}) e del Curve Number (CN) medio tramite un software GIS in grado di effettuare elaborazioni di analisi spaziale.

La procedura adottata per il calcolo della quota media è stata la seguente:

- Delimitazione dei bacini idrografici sulla base della cartografia CTR 1:5.000;

- Intersezione di tali poligoni con il Modello Digitale del Terreno (DEM: Digital Elevation Model) costituito da maglie quadrate di 75 metri di lato ad ognuna delle quali è associato un valore della quota altimetrica.

Il risultato dell'intersezione tra il DEM dell'intera area di studio e il poligono corrispondente al bacino ha generato una tabella nella quale sono riportate le quote di ciascuna cella e il numero di celle del bacino che hanno quella determinata quota. Tramite specifiche funzioni di analisi del GIS è stata ricavata la quota media pesata di ciascun bacino con la formula:

$$H_m = \frac{\sum_i H_i A_i}{A_{tot}} \quad (19)$$

I valori del parametro di assorbimento CN sono stati ricavati secondo la metodologia elaborata dal CIMA (Centro di Ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale, Savona) per conto e in coordinamento della Protezione Civile Nazionale; tale attività è peraltro estesa su tutto il territorio nazionale.

La carta CN è costruita sulla base delle informazioni sull'uso suolo, la litologia e la permeabilità a disposizione. La procedura prevede inizialmente l'associazione ad ogni tipologia di copertura del territorio di un valore di CN secondo la classificazione riportata nella **Tabella 14** e **Tabella 15**.

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 45 di 79

Descrizione	CN
1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO	95
1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO	95
1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME	95
1122 - FABBRICATI RURALI	95
1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI	95
1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI	95
1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI	95
1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI	95
1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI	99
1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE	95
123 - AREE PORTUALI	95
124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI	95
131 - AREE ESTRATTIVE	75
1321 - DISCARICHE	75
1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI	75
133 - CANTIERI	95
141 - AREE VERDI URBANE	70
1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE	95
1422 - AREE ARCHEOLOGICHE	75
143 - CIMITERI	95
2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE	60
2112 - PRATI ARTIFICIALI	75
2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO	60
2122 - RISAIE	99
2123 - VIVAI	70
2124 - COLTURE IN SERRA	75
221 - VIGNETI	60
222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI	60
223 - OLIVETI	60
231 - PRATI STABILI	75
2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO	60
2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO	99
2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI	60
242 - SISTEMI COLTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI	60
243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI	70
244 - AREE AGROFORESTALI	70
3111 - BOSCHI DI LATIFOGLIE	50
31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI	50
31122 - SUGHERETE	65
31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO	50
31124 - ALTRO	50
3121 - BOSCHI DI CONIFERE	70
3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO	70
313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGLIE	60
321 - AREE A PASCOLO NATURALE	75
3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI	65
3222 - FORMAZIONI DI RIPANON ARBOREE	65
3231 - MACCHIA MEDITERRANEA	65
3232 - GARIGA	65

Tabella 14 - Assegnazione dei valori di Curve Number alle diverse tipologie di uso del suolo.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 46 di 79</p>
--	---

Descrizione	CN
3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE	70
3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE	70
3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	40
3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M	99
332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE	75
333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% E< 40%	75
411 - PALUDI INTERNE	99
421 - PALUDI SALMASTRE	99
422 - SALINE	75
423 - ZONE INTERTIDALI	99
5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI	99
5112 - CANALI E IDROVIE	99
5121 - BACINI NATURALI	99
5122 - BACINI ARTIFICIALI	99
5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE	99
5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI	99
522 - ESTUARI E DELTA	99
5231 - AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE	99
5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO	99

Tabella 15 - Assegnazione dei valori di Curve Number alle diverse tipologie di uso del suolo (segue).

La carta tematica costruita utilizzando questo tipo di informazione restituisce una visione d'insieme delle diverse risposte del suolo.

Successivamente, così come indicato dalla metodologia CIMA-Protezione Civile Nazionale, si è proceduto all'analisi delle informazioni presenti nella Carta geologica resa disponibile dalla Regione Sardegna, al fine di ottenere fattori correttivi per il calcolo definitivo dei valori di CN a scala regionale. Lo strato cartografico presenta più di sessanta diverse classi geologiche:

Ogni classe è stata indagata e, in considerazione degli aspetti geologici preminenti e delle caratteristiche di permeabilità proprie, sono stati stimati i coefficienti di variazione del CN da attribuir e ad ogni tipo litologico.

I coefficienti di variazione del Curve Number vengono assunti nell'intervallo di valori (- 5, +15); un coefficiente di variazione pari a -5 è tipico dei terreni incoerenti ad elevata capacità di infiltrazione: ne sono un esempio i depositi detritici, come il tipo "Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di origine alluvionale, eolica e litorale"; al contrario un valore del coefficiente di variazione pari a +15 è proprio delle rocce con strutture cristalline compatte e poco permeabili, come il tipo "Metarioliti e Metariodaciti con fenocristalli da millimetrici a decimetrici di kfs; quarziti, metarenarie, meta conglomerati poligenici con elementi di metavulcaniti, metaepiclastiti, metagrovacche. (Ordoviciano medio)".

La tavola dei fattori correttivi al Curve Number che si è infine desunta secondo la metodologia CIMA - Protezione Civile Nazionale, è riportata in forma completa nelle Tabelle seguenti:

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File:TO0ID00DRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 47 di 79

DESCRIZIONE	ΔCN
Alternanza di metarenarie, quarziti e filladi (47b). Metarenarie e filladi a bt (47a). Successioni terrigene prevalentemente attribuite al Cambriano-Ordoviciano inf. e subordinatamente all'Ordoviciano sup. e al Devoniano-Carbonifero inf.)	5
Alternanza di quarziti, metarenarie, metapeliti e metasiltiti, metaconglomerati e breccie; olistoliti e olistostromi della successione siluro-devoniana. (Carbonifero inf.)	10
Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità tholeiitica e calcalcalina, talora brecciati in colate, cupole di ristagno; lave andesitiche e dacitiche in cupole e filoni; andesiti, basalti andesitici e latiti ad affinità da calcalcalina a	10
Anfiboliti con relitti di paragenesi eclogitiche. (Precambriano)	15
Anfiboliti e anfiboliti ultramafiche con relitti di paragenesi granulitiche. (Precambriano)	15
Arenarie di San Vito e Formazione di Solanas: metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati, con piste ed impronte di Meduse e Acritarchi; nella parte alta metapeliti viola, nere e verdastre, quarziti e metaconglomerati	10
Arenarie eoliche wurmiane (2c); Conglomerati, arenarie e biocalcareni di spiaggia (2b); Conglomerati, sabbie, argille più o meno cementate (2a).	0
Arenarie marnose, siltiti, calcareniti sublitorali (9d). (Serravalliano med.- sup.) Marne e marne arenacee epibatiali	10
Argille rosso violacee, arenarie quarzoso-micacee e conglomerati di piana alluvionale, con intercalazioni di calcari silicizzati. (Permiano sup.- Trias medio p.p) Conglomerati, arenarie, breccie vulcaniche, calcari con selci lacustri e lenti di antra	10
Basalti alcalini e transizionali, trachibasalti, andesiti basaltiche e basalti subalcalini, intercalati, alla base, da depositi di tipo fluvio lacustri (5b). (Pliocene-Pleistocene) Trachiti, trachiti fonolitiche, fonoliti, fonoliti tefritiche e tefriti	10
Conglomerati a matrice argillosa e arenarie di derivazione alluvionale (8d). Calcarivacuolari e brecciati sopratidali e intertidali;	0
Conglomerati e arenarie continentali con banchi di selce, tuffi, tufi pomicei (10f). (Burdigaliano) Arenarie, conglomerati, tuffi più o meno arenacee, calcari sublitorali (10e) Calcari selciosi, siltiti, arenarie e conglomerati fluviali con interca	0
Conglomerati, arenarie ed argille derivanti dallo smantellamento di sedimenti miocenici (Formazione di Samassi) (3b); Sabbie carbonatiche e siltiti argillose (3a).	0
Conglomerati, arenarie marnose, marne e calcareniti sublitorali (Plioc. inf.)	0
Dolomie, dolomie marnose e marne con gessi e argille. (Trias sup) Depositi carbonatici di piattaforma: calcari dolomitici e dolomie arenacee, calcari e calcari marnosi con rare intercalazioni gessose, circlitorali e transizionali. (Trias medio)	10
Filoni a composizione prevalentemente basaltica e comenditica. (Oligocene sup.- Miocene inf. medio)	10
Filoni a composizione trachibasaltica, alcalibasaltica e hawaitica. (Pliocene-Pleistocene)	10
Filoni principali di porfidi granitici e ammassi di micrograniti, principali filoni aplitici e pegmatitiche. (Carbonifero sup.- Permiano)	10
Filoni principali di quarzo. (Carbonifero sup. Permiano)	10
Formazione di Cabitza: argilloscisti, metarenarie, metacalcari nodulari, metasiltiti con rare lenti calcaree. (Cambriano inf.- Ordoviciano)	10
Formazione di Dorgali: dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circa litorali; conglomerati, arenarie quarzose, siltiti ed argille fluvio-deltizi con livelli lignitiferi (Dogger-Malm)	5
Formazione di Gonnese (Metallifero Auct.): metacalcari e metadolomie; metadolomie e metacalcari stromatolitici. (Cambriano inf.)	5
Formazione di Nebida (Formazione delle Arenarie Auct.): metarenarie a cemento carbonatico, metadolomie, metacalcari oolitici e micritici; arenarie siltose con rare intercalazioni di calcari (63c). (Cambriano inf.) Filladi e metarenarie, talvolta con i	10
Formazione di Serra Tonnai: metavulcaniti intermedie o raramente basiche, metagrovacche vulcaniche; Formazione di Manixeddu: metaepiclastiti, metaconglomerati a prevalenti elementi di vulcaniti acide. Formazione di M.te Corte Cerbos: metarioliti, metac	5
Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di origine alluvionale, eolica e litorale.	-5
Granitoidi a crd. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granitoidi foliati, principalmente granodioriti tonalitiche fino a tonaliti. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti tonalitiche. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti, monzogranitiche equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Granodioriti, monzogranitiche inequigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Leucograniti a grt. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Leucograniti equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano)	10

Tabella 16 - Fattori correttivi al Curve Number che si è infine desunta secondo la metodologia CIMA - Protezione Civile Nazionale.

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 48 di 79

DESCRIZIONE	ΔCN
Marmi grigi, raramente dolomitici, con alternanze filladiche, localmente fossiliferi. (Devoniano)	5
Metacalcari nodulari. (Devoniano) Metacalcari a graptoliti. (Siluriano-Devoniano inf.)	10
Metacalcari nodulari; sottili alternanze di metacalcari e metasiltiti (49b). (Devoniano inf. medio-Tournaisiano inf.) Marmi talvolta dolomitici e calcescisti (49a). (Devoniano- Carbonifero inf.)	10
Metaconglomerati, metarcosi, metesiltiti, metagrovacche, con intercalazioni di metabasiti alcaline; metacalcareniti e metacalcari fossiliferi spesso silicizzati. (Caradoc-Ashgill)	10
Metagabbri alcalini (45b). (Carbonifero inf.) Filladi scure carboniose, metasiltiti, quarziti nere con rare e sottili intercalazioni di marmi (45a). (Devoniano)	10
Metapeliti scure carboniose, nella parte inferiore livelli di quarziti nere a graptoliti; nelle partesuperiore metacalcari nodulari. (Siluriano inf.- Devoniano inf.)	5
Metapeliti scure carboniose; nella parte inferiore quarziti nere a graptoliti. (Siluriano inf.)	15
Metarenarie, quarziti, filladi, metaconglomerati ad elementi di liditi, olistoliti e olistostromi della successione siluro-devoniana e ordoviciana, e metavulcaniti basiche alcaline, talora a pillow. (Carbonifero inf.)	10
Metarioliti e metariodaciti con fenocristalli da millimetrici a decimetrici di kfs; alla base sono presentiquarziti, metarenarie, metaconglomerati poligenici con elementi di metavulcaniti, metaepiclastiti, metagrovacche. (Ordoviciano medio)	15
Metasiltiti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufi; metaconglomerati con olistoliti di calcari e dolomie cambriani, metasiltiti e metarenarie rosso-violacee di piana da alluvionale a costiera. (Caradoc-Ashgill)	10
Metavulcaniti acide, intermedie e basiche e metaepiclastiti. (Ordoviciano medio)	10
Miscascisti e paragneiss a grt+/-oligoclasio. (Paleozoico)	10
Migmatiti leucocratiche, nebuliti, magmatiti, gneiss, talora con lenti a silicati di calcio. (Precambriano)	10
Monzograniti equigranulari (28b). Monzograniti inequigranulari (28a). (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Ortogneiss granodioritici e granitici. (Ordoviciano medio)	10
Ortogneiss granodioritici e monzogranitici. (Precambriano)	10
Ortogneiss granodioritici. (Ordoviciano medio)	15
Paragneiss, miscascisti a grt+/-st+/-ky e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia, miloniti di variabile grado metamorfico tra la facies anfibolitica e quella degli scisti verdi. (Paleozoico)	10
Paragneiss, miscascisti e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia con sovrainprontadi alta temperatura. (Paleozoico)	10
Porfidi grigi: metariodaciti e metadaciti massive, spesso porfiriche, metatufi e metatuffiti; metavulcanitiriolitiche metatuffiti e metaepiclastiti; metaconglomerati poligenici grossolani, con clasti di metarioliti. (Ordoviciano medio)	15
Principali corpi filoniani a composizione prevalentemente basaltica ad affinità calcalcalina e subordinatamente shoshonitica. (Carbonifero sup.- Permiano)	10
Rioliti e riolaciti in espandimenti ignimbritici e colate, porfidi in ammassi subvulcanici, lave, breccie andesitiche, subordinati espandimenti dacitici; rioliti alcaline in espandimenti ignimbritici. (Carbonifero sup.-Permiano sup.- Trias inf.)	10
Rioliti e riolaciti, daciti porfiriche vetrose e bollose. (Pliocene)	15
Rioliti, riolaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbritici, cupole diristagno e rare colate a cui si associano prodotti freatomagmatici; talora livelli epiclastici intercalati. (Oligocene sup.-Miocene inf. medio)	10
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, calcari dolomitici, calcari oolitici e calcari bioclastici, sublitorali;	5
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, marne e calcareniti glauconitiche sublitorali e localmente calcari lacustri (16b). (Cenomaniano-Campaniano) Sardegna orientale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari marnosi e	10
Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: dolomie e calcari dolomitici, calcari oolitici, calcari ad oncoidi, calcari selciferi, calcari micritici, calcari marnosi e marne; alla sommità dolomie e calcari dolomitici scuri lacustri (18b)	5
Sardegna orientale: calcari, calcari marnosi e marne argillose sublitorali (14b). Arenarie e conglomerati poligenici più o meno quarzosi fluvio-deltizi (14a). (Ypresiano-Luteziano inf.)	10
Sieniti sodiche. (Carbonifero sup.-Permiano)	10
Sulcis e Trexenta: calcari litorali e transizionali, calcari marnosi, marne e argille continentali e paralic-transizionali con depositi di carbone; alla base sono presenti, arenarie e conglomerati di piana alluvionale. (Paleocene sup.-Eocene inf. m)	0
Tonaliti (33b). Gabbri e masse gabbro-tonalitiche (33a). (Carbonifero sup.-Permiano)	10

Tabella 17 - Fattori correttivi al Curve Number che si è infine desunta secondo la metodologia CIMA - Protezione Civile Nazionale. (segue).

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

In ultima istanza i valori di Curve Number associati attraverso le caratteristiche dell'uso del suolo (CORINE) sono stati corretti considerando i fattori di variazione derivanti dall'analisi delle informazioni geologiche.

Nel procedimento di calcolo GIS è stata imposta la somma algebrica tra i codici di CN elaborati per il solo uso suolo e i termini correttivi ΔCN .

Il prodotto finale è la "Carta del Curve Number per la Regione Sardegna" in formato raster con maglia 10 x 10 metri visibile nella successiva **Figura 15**.

Dalle analisi svolte, l'informazione fornita dalla carta di permeabilità risulta essere coerente con l'interpretazione delle classi geologiche.

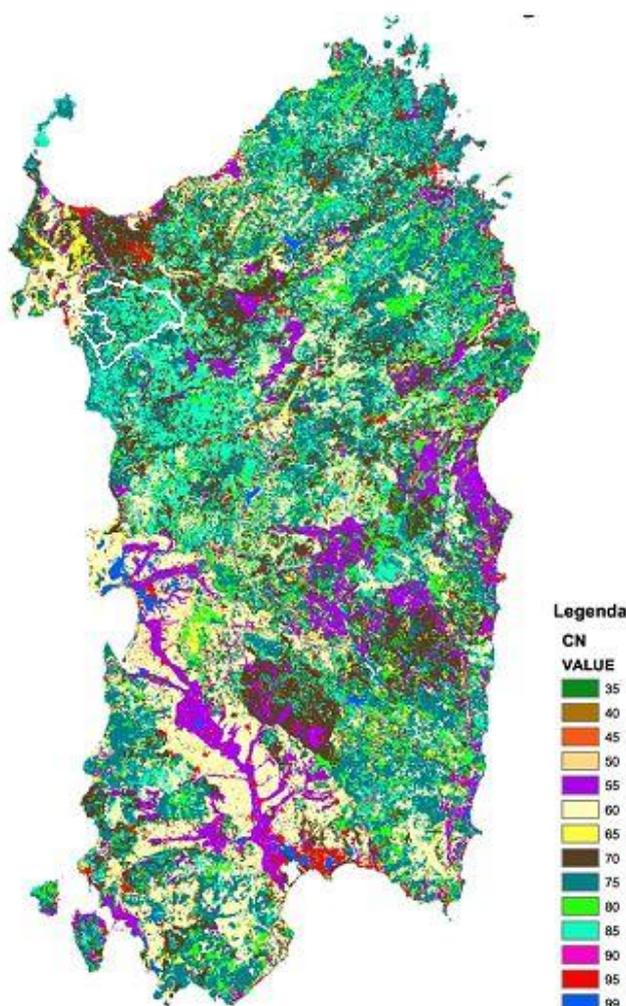


Figura 15 - Carta del parametro CN.

Ulteriore incremento del CN (che così definito nella procedura rappresenta condizioni medie di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento, AMCII) avviene per ogni sottobacino nel valutare elevate le condizioni di umidità antecedenti l'evento (condizione AMCIII).

Come per il calcolo della quota media di bacino, analogo è stato il procedimento usato per il calcolo del Curve Number medio di ciascun bacino.

Quindi è stata fatta l'intersezione tra la precedente carta del parametro CN precedentemente descritto e tutti i poligoni relativi ai bacini analizzati.

Anche in questo caso, mediante analoghe elaborazioni di analisi spaziale si ottengono i valori di CN relativi a ciascuna cella ricadente nel bacino stesso.

Applicando la (9) si determinano i relativi valori del parametro S distribuito nella zona in esame dal quale. Dai valori così ricavati si è proceduto con il calcolo del valor medio dell'altezza d'acqua massima immagazzinabile nel terreno a saturazione effettuando la media pesata dei coefficienti S mediante la medesima formulazione adottata per la quota media di bacino:

$$S_m = \frac{\sum S_i A_i}{A_{tot}} \quad (20)$$

Noto il valor medio S_m si è risaliti al coefficiente CN_m di bacino applicando sempre la (9) in maniera inversa.

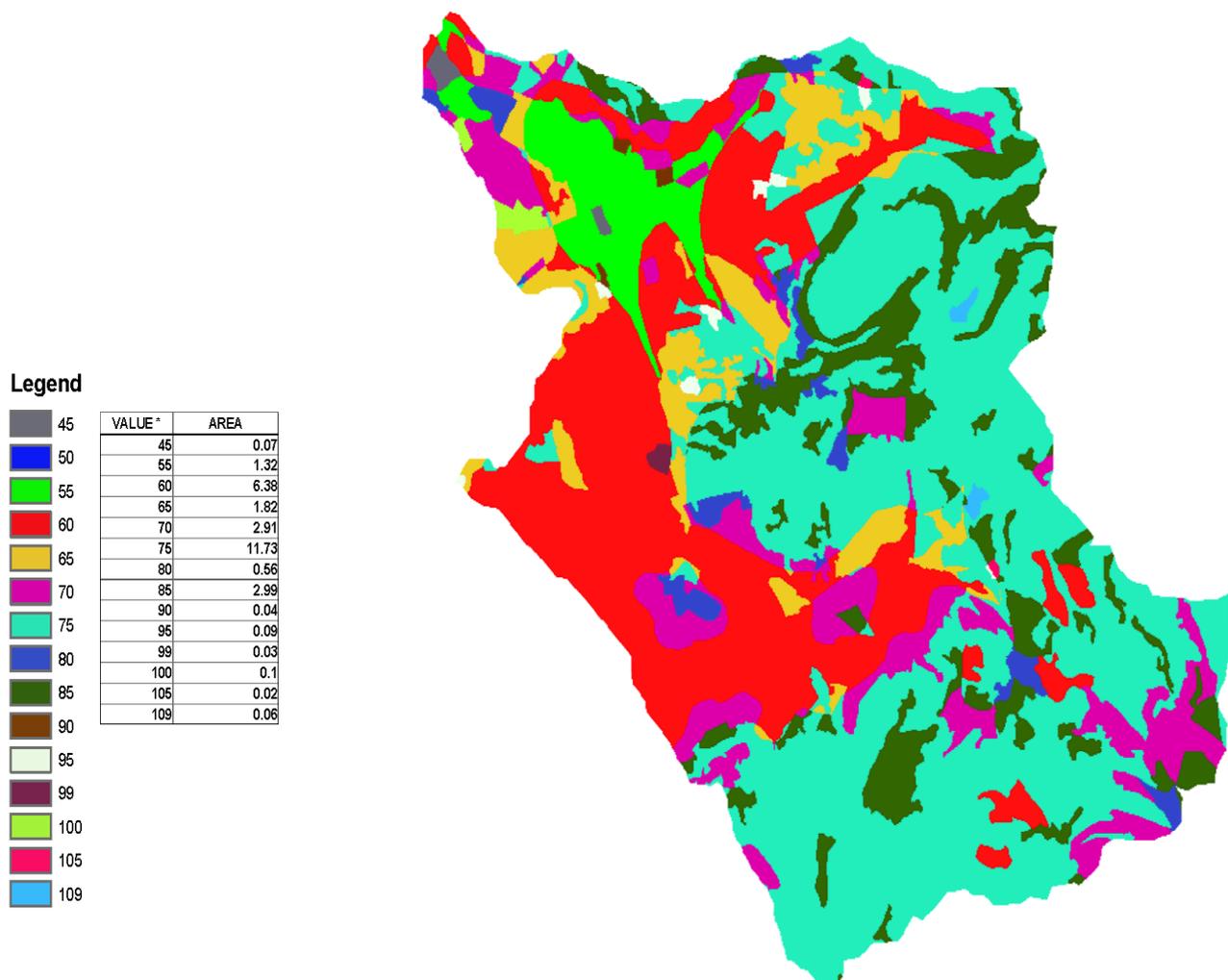


Figura 16 - Distribuzione del CN per il bacino del Riu de Calvia alla sezione 13.2.

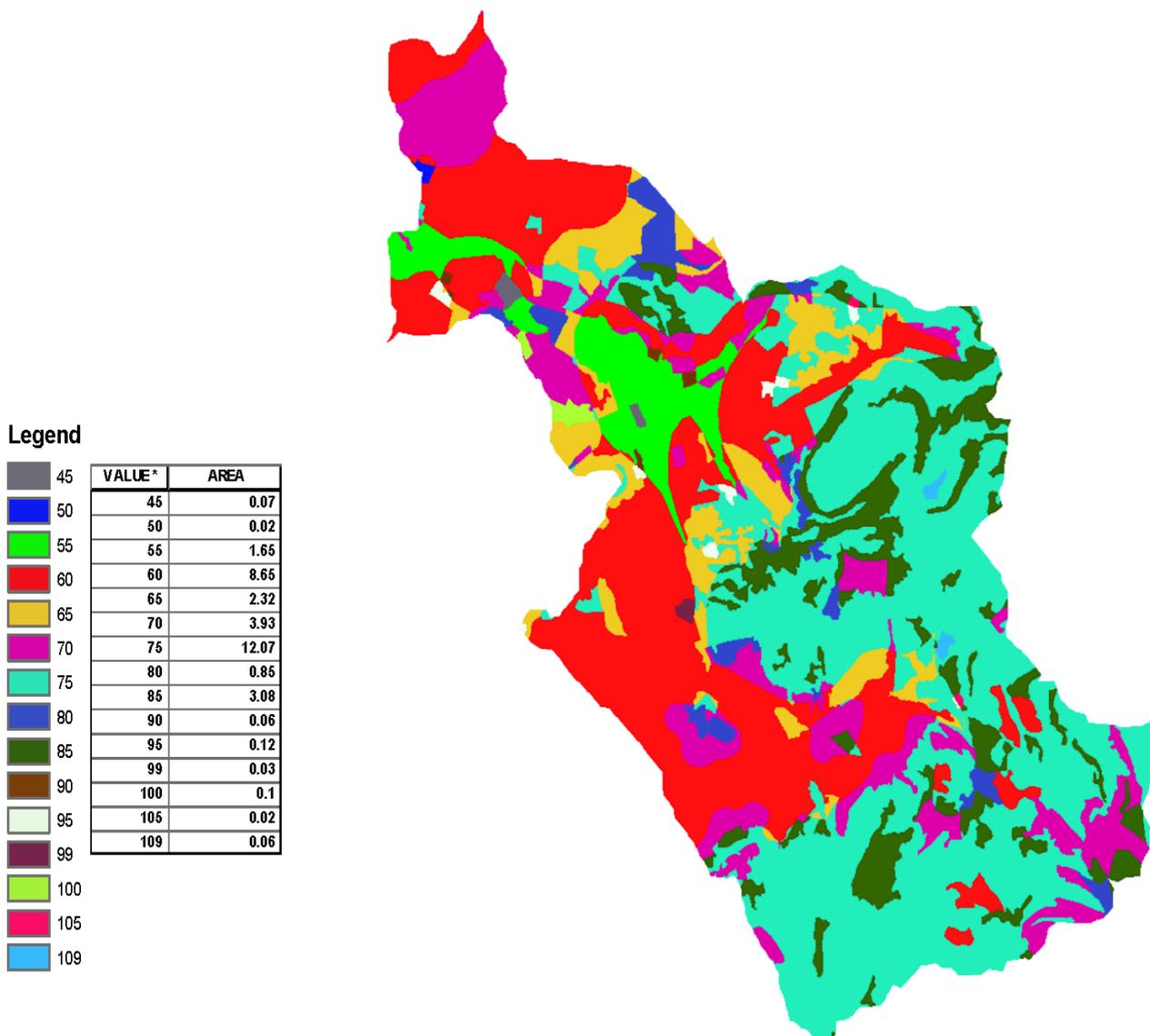


Figura 17 - Distribuzione del CN per il bacino del Rio de Calvia alla sezione 7.

Infine, il tempo di formazione del deflusso (t_r) esprime il tempo in cui si forma il deflusso superficiale prima che inizi a scorrere sul bacino e dipende dalla capacità di assorbimento del suolo e dall'intensità e durata della pioggia lorda. La sua determinazione avviene in modo iterativo. Per i bacini di piccole dimensioni esaminati si è verificato che tale tempo non sia mai superiore al 40% del tempo di corrivazione, valore che è stato assunto per la sua stima sistematica.

I calcoli idrologici del tempo di corrivazione e delle portate al colmo sono ovviamente riferiti alla sezione di chiusura relativa agli attraversamenti del tracciato di progetto.

L'ubicazione delle sezioni di chiusura, così come la perimetrazione dei relativi bacini idrografici, è riportata nella Corografia dei bacini allegata al progetto e sinteticamente indicati in **Figura 7**.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 53 di 79</p>
--	---

Tra i vari metodi esposti si ritiene di adottare, ai fini delle verifiche di progetto, i valori riscontrati con l'applicazione della formula del Soil Conservation Service per tutti i bacini in quanto risponde alle indicazioni della Metodologia di Analisi del PSFF.

Nella **Tabella 4** sono riportati i principali parametri idrologici dei bacini necessari al calcolo dei tempi di corrivazione. Di seguito è riportata la tabella di sintesi dei risultati ottenuti dall'applicazione delle formule sopra descritte:

SEZIONE	CORSO D'ACQUA	Ventura	Pasini	Viparelli	Kirpich	Giandotti	SCS	Adottato	
		h	h	h	h	h	h	h	min
RDC-E	RIU DE CALVIA	3.41	3.47	1.92	1.23	4.11	1.63	1.63	97.90
RDC-D	RIU DE CALVIA	3.59	3.74	2.09	1.35	4.15	1.72	1.72	102.97
RDC-C	RIU DE CALVIA	3.76	3.99	2.24	1.46	4.18	1.85	1.85	111.14
RDC-B	RIU DE CALVIA	4.28	4.61	2.53	1.67	4.38	2.20	2.20	132.26
RDC-A	RIU DE CALVIA	4.44	4.85	2.67	1.78	4.42	2.31	2.31	138.79

Tabella 18 - *Calcolo ed adozione del tempo di corrivazione.*

4.2.2 *Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale lorda Riu de Calvia*

La stima degli afflussi meteorici sui bacini e conseguentemente il calcolo dell'altezza di pioggia puntuale di assegnato tempo di ritorno viene effettuato adottando la metodologia regionale studiata nell'ambito del VAPI Sardegna.

Tale scelta deriva dal fatto che le stazioni pluviometriche più prossime ai bacini in oggetto non risultano provviste di serie storiche di dati di estensione significativa per l'analisi probabilistica, mentre l'analisi regionalizzata può contare su campioni di dati molto più numerosi.

Data la scelta metodologica effettuata, per ovvie ragioni, i parametri a ed n delle curve di possibilità pluviometrica adottate sono stati assunti costanti sui bacini ipotizzandone una distribuzione geografica uniforme sul territorio.

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

$$\mu(\tau) = a_1 \tau^{n_1} \quad (21)$$

dove i coefficienti a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g ,

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

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \cdot \text{Log}(\mu_g)$$

La pioggia indice giornaliera μ_g viene stimata sulla base della carta delle isoiete riportate in **Figura 4**. Nello studio in esame si è deciso, in accordo con quanto stabilito nel documento del PSFF relativo alle simulazioni condotte proprio per il Riu de Calvia, di adottare per la pioggia indice giornaliera il valore di 55.

L'altezza di pioggia $h_T(\tau)$ di durata generica τ con assegnato tempo di ritorno T in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice $\mu(\tau)$ per un coefficiente di crescita $K_T(\tau) = a_2 \tau^{n_2}$

$$h_T(\tau) = \mu(\tau) \cdot K_T(\tau) = (a_1 a_2) \tau^{(n_1 n_2)} \quad (22)$$

dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le seguenti relazioni, distinte per sottozona, per differenti T e τ (con riferimento all'aggiornamento delle curve di possibilità pluviometrica riportate nel documento "Soglie di allerta pluviometriche nella regione Sardegna" redatto dalla DIREZIONE GENERALE AGENZIA REGIONALE DEL DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SARDEGNA - Ottobre 2014):

a) per tempi di ritorno $T < 10$ ANNI

SZO 1

$$a_2 = 0.66129 + 0.85935 \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

$$n_2 = -1.8438 \cdot 10^{-4} - 1.3539 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

SZO 2

$$a_2 = 0.645987 + 0.89777 \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

$$n_2 = -5.6073 \cdot 10^{-3} + 7.0047 \cdot 10^{-4} \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 55 di 79</p>
--	---

SZO 3

$$a_2 = 0.62235 + 0.95656 \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

$$n_2 = -2.4882 \cdot 10^{-2} + 4.5884 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

b) per tempi di ritorno T > 10 ANNI

SZO 1

$$a_2 = 0.46420 + 1.0376 \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

$$n_2 = -0.18448 + 0.22960 \cdot \text{Log}_{10}(T) - 3.3216 \cdot 10^{-2} \cdot [\text{Log}_{10}(T)]^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora});$$

$$n_2 = -1.0469 \cdot 10^{-2} - 7.8505 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}_{10}(T) \quad (\text{per } \tau > 1 \text{ ora});$$

SZO 2

$$a_2 = 0.43797 + 1.089 \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

$$n_2 = -0.18722 + 0.24862 \cdot \text{Log}_{10}(T) - 3.6305 \cdot 10^{-2} \cdot [\text{Log}_{10}(T)]^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora});$$

$$n_2 = -6.3887 \cdot 10^{-3} - 4.542 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}_{10}(T) \quad (\text{per } \tau > 1 \text{ ora});$$

SZO 3

$$a_2 = 0.40926 + 1.1441 \cdot \text{Log}_{10}(T);$$

$$n_2 = -0.1906 + 0.26448 \cdot \text{Log}_{10}(T) - 3.8969 \cdot 10^{-2} \cdot [\text{Log}_{10}(T)]^2 \quad (\text{per } \tau \leq 1 \text{ ora});$$

$$n_2 = 1.4929 \cdot 10^{-2} + 7.1973 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}_{10}(T) \quad (\text{per } \tau > 1 \text{ ora});$$

Nota la durata critica, le formule permettono di calcolare l'altezza di pioggia lorda. Per la definizione della durata critica, vale quanto riportato al paragrafo precedente, ovvero che la stima del tempo di formazione si effettua in modo iterativo nella relazione che lo lega alla definizione della pioggia netta. Nelle presenti elaborazioni si è assunto, data la modesta estensione dei bacini considerati, che il parametro di riferimento non superi mai il 40% del tempo di corrivazione di cui alla **Tabella 18**.

Si riportano di seguito i valori desunti della durata critica secondo quanto definito sopra:

SEZIONE	CORSO D'ACQUA	t_c	t_f	Θ
		h	h	h
RDC-E	RIU DE CALVIA	1.63	0.65	2.28
RDC-D	RIU DE CALVIA	1.72	0.69	2.40
RDC-C	RIU DE CALVIA	1.85	0.74	2.59
RDC-B	RIU DE CALVIA	2.20	0.88	3.09
RDC-A	RIU DE CALVIA	2.31	0.92	3.24

Tabella 19 - Stima della durata critica per ogni sottobacino considerato.

Dalla precedente tabella si ricava, in definitiva, il valore delle altezze di pioggia lorda per ogni sottobacino del Riu de Calvia considerato nella presente trattazione.

SEZION	SZO	A	μg	$a1(\mu g)$	$n1(\mu g)$	$hT(\tau)$ altezza di pioggia lorda							
						Θ	$h2(\tau)$	$h5(\tau)$	$h10(\tau)$	$h50(\tau)$	$h100(\tau)$	$h200(\tau)$	$h500(\tau)$
						Tc+Tf	2	5	10	50	100	200	500
		kmq	mm	-	-	h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
RDC-E	II	27.69	55.0	21.38	0.34	2.28	25.73	35.77	43.37	63.79	72.85	81.88	93.80
RDC-D	II	28.58	55.0	21.38	0.34	2.40	26.16	36.37	44.09	64.83	74.03	83.21	95.31
RDC-C	II	29.15	55.0	21.38	0.34	2.59	26.83	37.30	45.22	66.44	75.86	85.26	97.64
RDC-B	II	33.96	55.0	21.38	0.34	3.09	28.41	39.50	47.90	70.26	80.20	90.12	103.17
RDC-A	II	34.85	55.0	21.38	0.34	3.24	28.87	40.14	48.67	71.36	81.45	91.51	104.76

Tabella 20 - Altezze di pioggia lorda calcolate con il metodo indiretto.

4.2.3 Calcolo dell'altezza di pioggia ragguagliata lorda Riu de Calvia

Applicando la formulazione riportata al capitolo precedente per i bacini sotto i 20 km², si ottengono le relative altezze di pioggia ragguagliata alle aree dei bacini scolanti:

SEZIONE	A	$h_r(\tau)$ altezza di pioggia lorda ragguagliata								
		Θ	r	$h_r 2$	$h_r 5$	$h_r 10$	$h_r 50$	$h_r 100$	$h_r 200$	$h_r 500$
	kmq	h	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
RDC-E	27.6	2.28	0.91	23.3	32.4	39.3	57.91	66.14	74.34	85.16
RDC-D	28.5	2.40	0.91	23.7	33.0	40.0	58.91	67.27	75.61	86.60
RDC-C	29.1	2.59	0.91	24.4	33.9	41.1	60.52	69.10	77.65	88.93
RDC-B	33.9	3.09	0.91	25.9	36.0	43.6	64.09	73.16	82.20	94.11
RDC-A	34.8	3.24	0.91	26.3	36.6	44.4	65.15	74.37	83.55	95.65

Tabella 21 - Altezze di pioggia ragguagliata lorda calcolate con il metodo indiretto.

4.2.4 Calcolo dell'altezza di pioggia netta Riu de Calvia

Il calcolo della pioggia netta, ovvero del volume della piena, viene effettuato in base al metodo del Curve Number, formulato dal Soil Conservation Service nel 1972, già sopra brevemente descritto.

Come esposto, tale metodo mette in relazione l'altezza H di pioggia affluita con l'altezza di pioggia h_n defluita in rete attraverso la formula (8), dove S rappresenta la massima ritenzione del bacino ed è funzione del tipo di terreno, del suo grado di saturazione e dell'uso del suolo, e viene calcolato applicando la formulazione (9).

Per il calcolo della pioggia netta si è quindi proceduto alla stima del valore medio del Curve Number per i vari bacini di progetto, effettuando una media pesata sull'area dei diversi valori assunti dal parametro sul bacino in funzione delle caratteristiche di uso del suolo e di permeabilità del terreno.

La carta del CN è stata realizzata sulla base delle informazioni fornite dalla carta litologica e dalla carta dell'uso del suolo del Progetto CORINE Land Cover.

La stima è stata condotta prima per il CN riferito a condizioni di umidità medie (AMC II).

Successivamente, il valore ottenuto è stato trasformato, tramite le relazioni esposte al paragrafo precedente, in quello corrispondente a condizioni iniziali di umidità del terreno relativi a saturazione completa. Tale assunzione risulta infatti più cautelativa e raccomandata dalle procedure di stima idrologiche di molte Autorità di Bacino.

Ne è risultato per i bacini in studio:

SEZIONE	SZO	A	Θ	r	S	Ia	CNII	CNIII
		kmq	h	-	mm	mm	AMCII	AMCIII
RDC-E	II	27.69	2.28	0.90788	45.11	9.02	71	85
RDC-D	II	28.58	2.40	0.90948	45.11	9.02	71	85
RDC-C	II	29.15	2.59	0.91156	47.33	9.47	70	84
RDC-B	II	33.96	3.09	0.91216	47.33	9.47	70	84
RDC-A	II	34.85	3.24	0.91304	47.33	9.47	70	84

Tabella 22 - Parametri CN relativi ai bacini sottesi alle sezioni di chiusura individuate per il Riu de Calvia.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 58 di 79</p>
--	---

Utilizzando il valore di CN riferito a condizioni di terreno saturo, sicuramente cautelativo, si sono ottenute le seguenti altezze di pioggia netta (riferite alla durata critica):

SEZIONE	SZO	A	h _r (τ) altezza di pioggia netta							
			Θ	h _n 2(mm)	h _n 5(mm)	h _n 10 (mm)	h _n 50 (mm)	h _n 100 (mm)	h _n 200 (mm)	h _n 500 (mm)
		kmq	h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
RDC-E	II	27.69	2.28	3.46	8.02	12.21	25.43	31.91	38.64	47.81
RDC-D	II	28.58	2.40	3.72	8.50	12.87	26.56	33.26	40.19	49.64
RDC-C	II	29.15	2.59	3.68	8.51	12.94	26.86	33.68	40.75	50.40
RDC-B	II	33.96	3.09	4.24	9.55	14.36	29.27	36.54	44.06	54.29
RDC-A	II	34.85	3.24	4.44	9.92	14.86	30.10	37.53	45.21	55.63

Tabella 23 - Altezze di pioggia netta calcolate con il metodo indiretto.

4.2.5 Calcolo delle portate al colmo Riu de Calvia

Il calcolo della portata al colmo deve essere determinato sulla base di una forma predefinita di idrogramma e quindi uguagliando l'apporto meteorico efficace al volume di deflusso.

La forma dell'idrogramma qui proposta è quella del Ghirardelli, ossia il classico idrogramma triangolare, avente tempo di risalita e tempo di discesa pari al tempo di corrivazione.

Pertanto il valore della portata al colmo risulta:

$$Q_T(\Theta) = \frac{i_{n,T}(\Theta) \cdot A \cdot \varepsilon}{3.6} \quad (23)$$

dove:

Q_T è la portata al colmo

i_n è l'intensità di pioggia netta

ε il coefficiente di laminazione o di invaso

A è la superficie del bacino

Θ è la durata critica

In via cautelativa, in considerazione della modesta estensione dei bacini, è stato posto $\varepsilon=1$.

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 59 di 79</p>
--	---

Ne è risultato per i bacini in studio:

SEZIONE	SZO	A	Ø	r	ε	Q _T						
						Q ₂ (t)	Q ₅ (t)	Q ₁₀ (t)	Q ₅₀ (t)	Q ₁₀₀ (t)	Q ₂₀₀ (t)	Q ₅₀₀ (t)
		kmq	h	-	-	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s
RDC-E	II	27.69	2.28	0.91	1.0	11.64	27.01	41.11	85.64	107.46	130.11	161.00
RDC-D	II	28.58	2.40	0.91	1.0	12.02	27.50	41.61	85.88	107.53	129.96	160.52
RDC-C	II	29.15	2.59	0.91	1.0	11.24	26.01	39.54	82.05	102.89	124.51	153.97
RDC-B	II	33.96	3.09	0.91	1.0	12.97	29.20	43.90	89.46	111.69	134.69	165.94
RDC-A	II	34.85	3.24	0.91	1.0	13.28	29.64	44.41	89.98	112.18	135.13	166.29

Tabella 24 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative ai sottobacini del Riu de Calvia.

4.3 Validazione dei risultati ottenuti e confronti

Come già riferito, relativamente alla procedura che ha condotto alla stima delle portate dei corsi d'acqua maggiori con cui il nuovo tracciato stradale interferisce, appare in questa sede utile operare un confronto dei dati ottenuti con altre metodologie di stima adottate nella prassi procedurale, soprattutto per quanto riguarda l'area geografica ed idrografica della Sardegna. Le portate calcolate in ogni bacino vengono confrontate con la curva di inviluppo rispetto alla superficie della macroarea di appartenenza.

va evidenziato in primis che non è stato possibile effettuare la stima delle massime portate al colmo per i bacini maggiori attraverso l'utilizzo di metodi diretti, tra i quali la distribuzione TCEV (*Two Components Extreme Values*) nella quale la probabilità di non superamento viene espressa in funzioni di parametri caratteristici elaborati sulla base dei dati di portata registrati in stazioni strumentate con idrometri. Infatti, nel caso in esame, non è stato possibile ricavare tali dati, in quanto, dalle ricerche effettuate presso gli Enti preposti, è risultata evidente l'assenza di postazioni di controllo e misura per i bacini interessati dalla presente trattazione.

In aggiunta, anche per la definizione della Curva di Possibilità Pluviometrica, ed in particolare per la determinazione dei parametri di forma caratteristici, non si è potuto procedere con le analisi probabilistiche, anche semplici, in quanto il dato storico degli eventi critici, sia intensi che di breve durata, per la stazione più prossima alla area di studio (pluviografo di Fertilia) è risultato di difficile reperimento.

In ultimo, si riporta che, proprio in merito alla metodologia VAPI qui adottata per la stima delle massime precipitazioni, allo stato attuale è in corso di approvazione lo *studio affidato all'Università di Cagliari dall'Agenzia del Distretto Idrografico della Regione Sardegna (anche a seguito agli eventi alluvionali che hanno interessato la Regione Sardegna nell'autunno del 2008) per l'aggiornamento dei parametri caratteristici* della metodologia in argomento. In particolare, la Direzione Generale del Distretto idrografico (ADIS) si è attivata al fine di predisporre un progetto finalizzato ad incrementare la numerosità delle serie di precipitazioni brevi ed intense da utilizzare negli studi per la definizione delle nuove stime delle curve di possibilità pluviometrica: per tale scopo, infatti, per le precipitazioni giornaliere è stato stabilito di utilizzare tutti i dati disponibili fino al 2008, passando così da 11700 (dal 1922 al 1980) a circa 18500 massimi giornalieri, selezionando, in

collaborazione con il Dipartimento di ingegneria civile, ambientale e architettura - DICAAR, le stazioni da cui ricavare le nuove serie di dati di brevi e intense (in tutto 77 per un totale di serie che sono passate da 1422 a 3420).

Tenuto conto che i risultati dello studio, e, quindi, anche le informazioni in esso contenute, sono stati ultimati nel 2016 e consegnati all'ADIS, lo stesso risulta essere ancora in fase di approvazione da parte dell'Ente committente. non si è potuto ottenere le più aggiornate informazioni riguardo la ridefinizione dei parametri delle curve pluviometriche segnalatrici critiche.

Tuttavia nel presente paragrafo si riporta un confronto dei parametri di portata ricavati con la metodologia adottata ed i risultati ottenuti applicando il *metodo empirico delle Curve di Inviluppo di Sirchia-Fassò* ((inizialmente determinata da Sirchia, nel 1931, in seguito aggiornata da Fassò, nel 1969).

Il metodo proposto dal Sirchia e aggiornato alla fine degli anni sessanta dal Fassò, basato sulla curva inviluppo dei massimi eventi osservati, consiste nel tracciare la curva rappresentativa dei massimi contributi in funzione di uno o più parametri morfologici dei bacini.

La prima formulazione della curva per la Sardegna fu data dal Sirchia il quale ne propose l'utilizzazione diretta per i bacini più "impervi e rocciosi", mentre per gli altri suggerì l'adozione di un coefficiente correttivo.

Come più dettagliatamente riportato sul Rapporto regionale Sardegna del VAPI, al quale si rimanda per ulteriori approfondimenti, detta curva ha la seguente espressione:

$$Q = P_s \cdot q \cdot S \quad (24)$$

dove:

P_s è un coefficiente di riduzione

q è il contributo unitario [$m^3/s \text{ km}^2$]

S è la superficie del bacino [km^2]

La curva inviluppo dei massimi valori fu aggiornata dal Fassò tenendo conto dei valori di portata registrati durante le alluvioni del '51; e per la valutazione dei massimi contributi sono state suggerite le seguenti espressioni analitiche:

$$q = \Psi \cdot 207S^{-0.60} \quad \text{per } S > 21km^2 \quad (25')$$

$$q = \Psi \cdot 45,8S^{-0.106} \quad \text{per } S < 21km^2 \quad (25'')$$

ovvero

$$Q = \Psi \cdot 207S^{0.4} \quad \text{per } S > 21km^2 \quad (26')$$

$$Q = \Psi \cdot 45,8S^{0,894} \quad \text{per } S < 21\text{km}^2 \quad (26'')$$

in cui Ψ (sempre con effetto riduttivo) è un coefficiente che dipende dalla posizione geografica del bacino, desumibile dalla figura seguente:

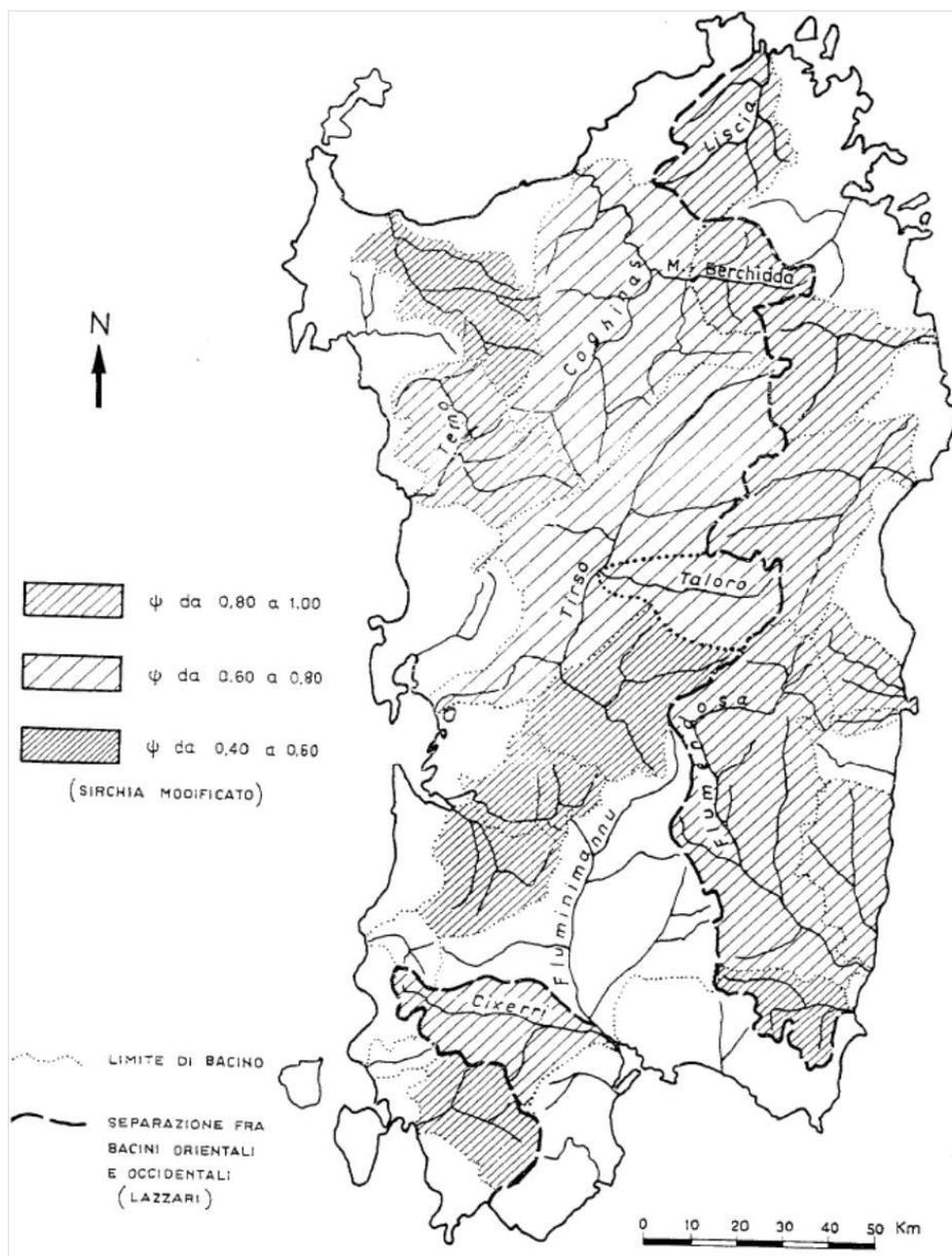


Figura 18 - Classificazione dei bacini in base alle piene e determinazione del relativo coefficiente Ψ .

Si precisa che nella formula di Sirchia-Fassò e assente qualunque riferimento probabilistico, per cui alla portata di piena stimata non è possibile associare alcun tempo di ritorno.

In occasione della redazione dello studio VAPI citato (Valutazione delle piene in Sardegna) è stata

proposta una variante al metodo della curva inviluppo esposta sinteticamente in precedenza veniva espresso mediante la relazione (*Metodo delle Curve di Inviluppo modificato*):

$$\Psi = P'_S \cdot P_a \quad (27)$$

in cui **P's** e **Pa** sono dei coefficienti che variano a seconda della zona idrografica esaminata e che tengono conto il primo del tempo di ritorno della piena considerata, il secondo di un effetto di dimensione del bacino variabile con la localizzazione idrografica.

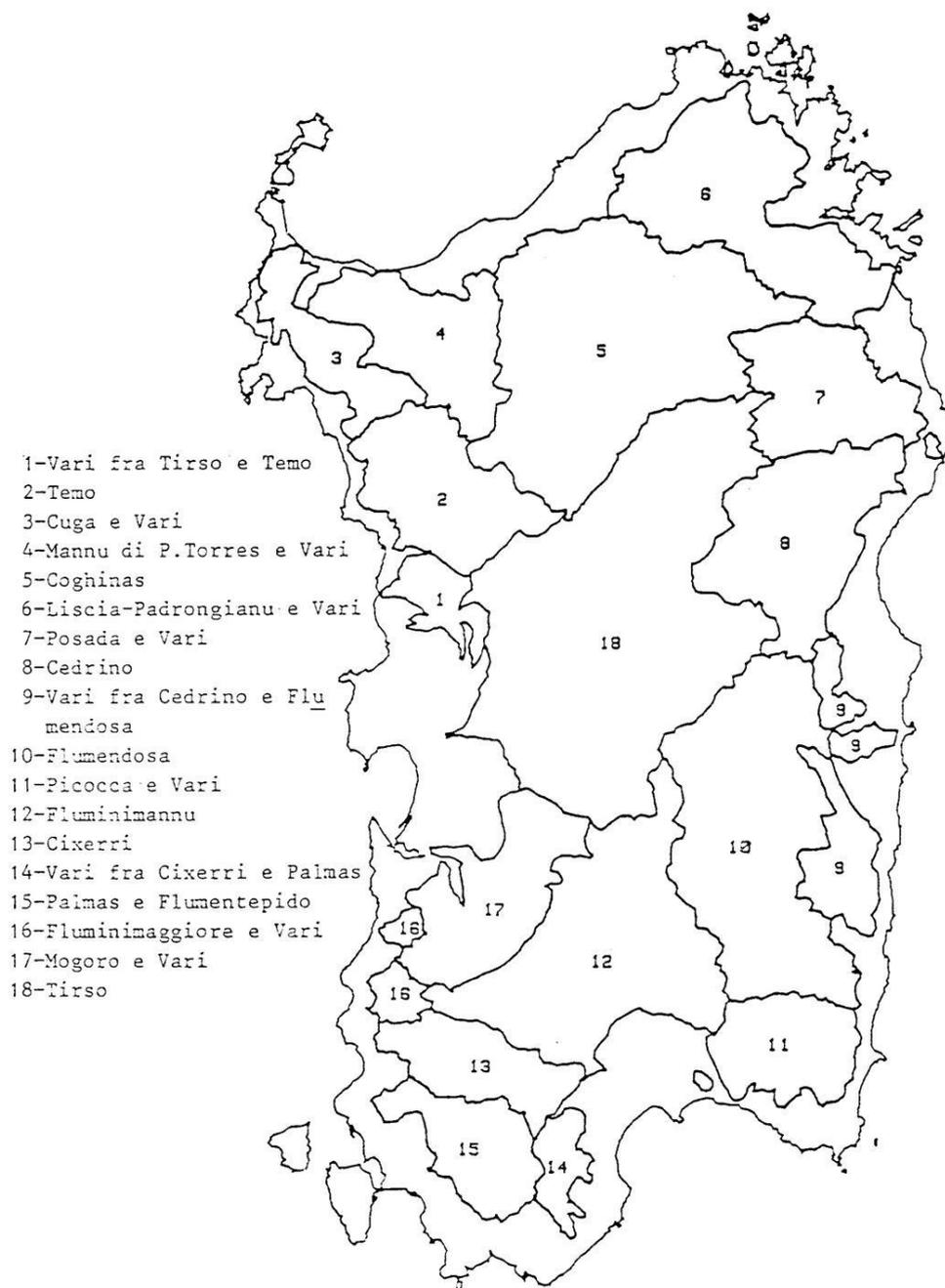


Figura 19 - Localizzazione e classificazione delle zone idrografiche della Regione Sardegna.

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 63 di 79

I coefficienti **P's** e **Pa** per le diverse zone idrografiche sono quindi riportati nella figura e tabella seguenti.

zona idrogr.	tempo di ritorno (anni)								
	10	50	100	200	300	500	1000	2500	5000
zona 1	0.39	0.64	0.73	0.83	0.89	0.96	1.07	1.22	1.34
zona 2	0.27	0.37	0.52	0.66	0.69	0.75	0.80	0.86	0.94
zona 3	0.09	0.18	0.22	0.27	0.30	0.34	0.40	0.48	0.56
zona 4	0.14	0.25	0.30	0.35	0.38	0.42	0.48	0.56	0.62
zona 5	0.21	0.37	0.45	0.54	0.59	0.66	0.75	0.86	0.91
zona 6	0.50	0.77	0.89	1.01	1.08	1.17	1.31	1.49	1.64
zona 7	0.49	0.86	0.99	1.13	1.22	1.33	1.48	1.70	1.88
zona 8	0.56	0.89	1.03	1.18	1.27	1.38	1.55	1.78	1.96
zona 9	0.81	1.25	1.45	1.67	1.80	1.98	2.22	2.57	2.86
zona 10	0.31	0.61	0.76	0.86	0.93	1.01	1.11	1.27	1.39
zona 11	0.53	0.92	1.07	1.22	1.31	1.43	1.60	1.84	2.03
zona 12	0.06	0.14	0.19	0.24	0.27	0.32	0.38	0.48	0.56
zona 13	0.13	0.28	0.40	0.45	0.51	0.58	0.69	0.86	1.00
zona 14	0.51	0.83	0.95	1.08	1.16	1.26	1.41	1.61	1.77
zona 15	0.14	0.28	0.35	0.43	0.47	0.54	0.63	0.77	0.88
zona 16	0.13	0.26	0.32	0.39	0.43	0.49	0.57	0.69	0.79
zona 17	0.06	0.13	0.17	0.21	0.23	0.27	0.32	0.39	0.45
zona 18	0.17	0.30	0.36	0.42	0.46	0.51	0.59	0.69	0.77

Tabella 25 - *Coefficiente P's al variare della sottozona idrografica e del tempo di ritorno considerato.*

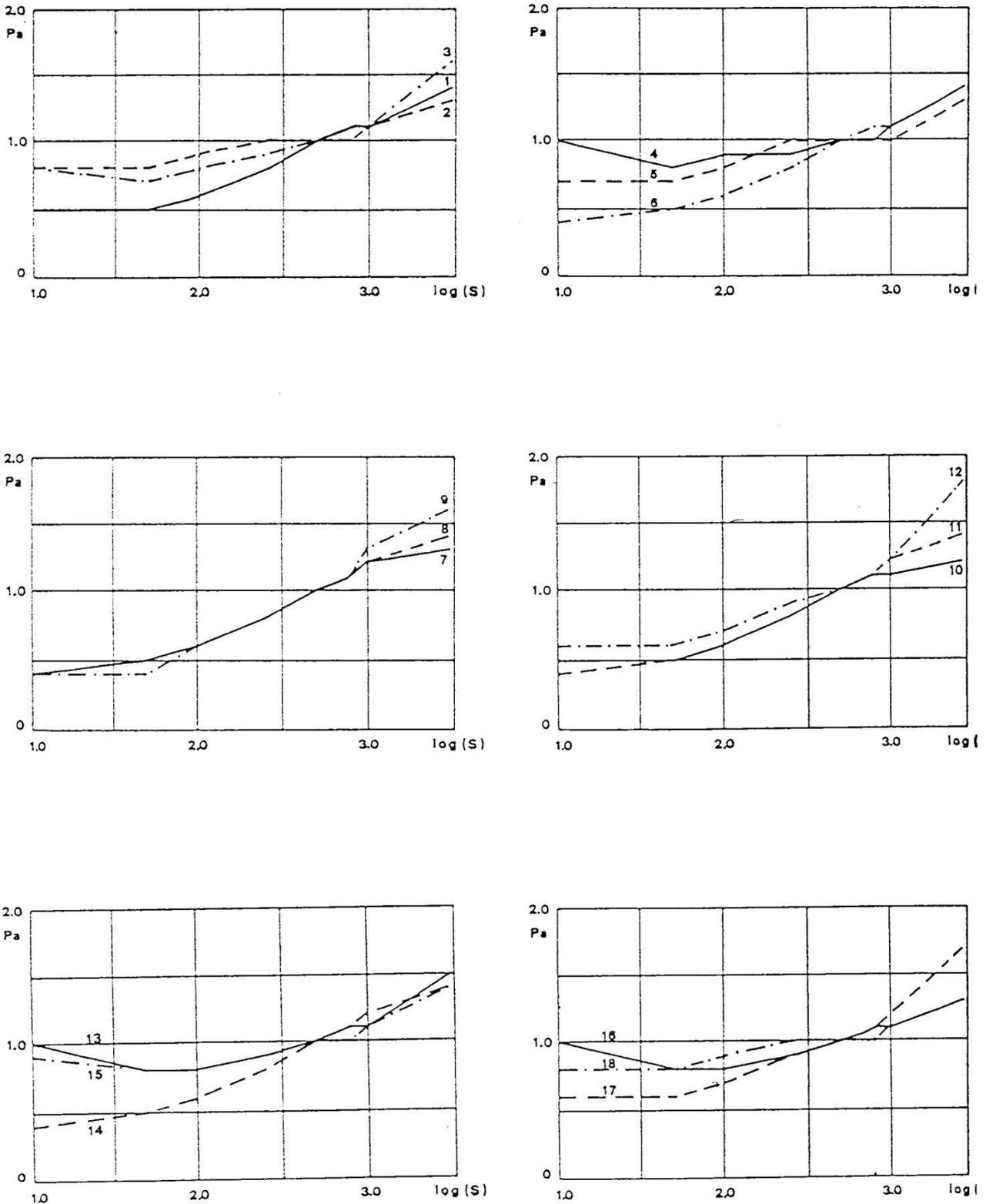


Figura 20 - Coefficiente P_a al variare della sottozona idrografica e della superficie complessiva del bacino considerato.

4.3.1 Risultati

Si procede, quindi, alla valutazione delle portate al colmo con il metodo delle curve di inviluppo modificato, applicando la metodologia e le formulazioni riportate in precedenza.

Dall'esame della **Figura 18** si evince che i bacini dei corsi d'acqua interferenti ricadono nella zona idrografica 3; utilizzando la **Tabella 25**, si ricavano i valori del coefficiente **P's**, al variare del tempo di ritorno:

ZONA IDROGRAFICA	TEMPO DI RITORNO					
	10	50	100	200	500	1000
3	0,09	0,18	0,22	0,27	0,34	0,4

Tabella 26 - Valori del coefficiente *P's* per la zona idrografica 3.

Mentre dalla seguente si ricava il parametro **Pa**.

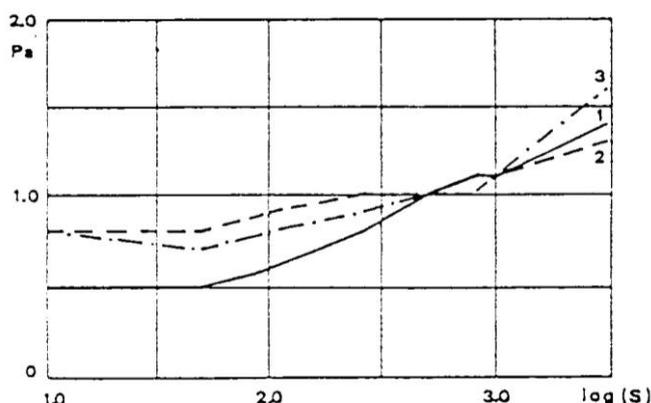


Figura 21 – Grafico per la determinazione del coefficiente *Pa* per le zone idrografiche 1, 2 e 3.

SEZIONE	Area Bacino S (km ²)	ψ	log(S)	Zona Idrografica	P's Tr ₅₀	P's Tr ₁₀₀	P's Tr ₂₀₀	P's Tr ₅₀₀	Pa
RDC-E	27,69	0,8	1,4	3	0,18	0,22	0,27	0,34	0,7
RDC-D	28,58	0,8	1,5	3	0,18	0,22	0,27	0,34	0,7
RDC-C	29,15	0,8	1,5	3	0,18	0,22	0,27	0,34	0,7
RDC-B	33,96	0,8	1,5	3	0,18	0,22	0,27	0,34	0,7
RDC-A	34,85	0,8	1,5	3	0,18	0,22	0,27	0,34	0,7
RS-A	149,86	0,8	2,2	3	0,18	0,22	0,27	0,34	0,75
RS-B	159,73	0,8	2,2	3	0,18	0,22	0,27	0,34	0,75
RSS-A	81,59	0,8	1,9	3	0,18	0,22	0,27	0,34	1,1

Tabella 27 - Parametri della curva di inviluppo [METODO MODIFICATO] per i bacini interessati.

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 66 di 79

SEZIONE	Area Bacino	Zona Idrografica	Q (Tr50)	Q (Tr100)	Q (Tr200)	Q (Tr500)	q (Tr200) contributo unitario	q (Tr500) contributo unitario
	(km ²)	-	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s km ²)	(m ³ /s km ²)
RDC-E	27,69	3	98,5	120,4	147,7	186,0	5,3	6,7
RDC-D	28,58	3	99,7	121,9	149,6	188,4	5,2	6,6
RDC-C	29,15	3	100,5	122,8	150,8	189,8	5,2	6,5
RDC-B	33,96	3	106,8	130,6	160,3	201,8	4,7	5,9
RDC-A	34,85	3	107,9	131,9	161,9	203,9	4,6	5,9
RS-A	149,86	3	207,3	253,4	310,9	391,6	2,1	2,6
RS-B	159,73	3	212,6	259,9	319,0	401,7	2,0	2,5
RSS-A	81,59	3	238,4	291,4	357,6	450,3	4,4	5,5

Tabella 28 - Portate al colmo per le diverse sezioni di controllo dei bacini idrografici considerati secondo il metodo delle curve di inviluppo modificato.

SEZIONE	METODO VAPI				METODO INVILUPPO MODIFICATO			
	Q (Tr50)	Q (Tr100)	Q (Tr200)	Q (Tr500)	Q (Tr50)	Q (Tr100)	Q (Tr200)	Q (Tr500)
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)				
RDC-E	85,64	107,46	130,11	161,00	98,47	120,35	147,70	186,00
RDC-D	85,88	107,53	129,96	160,52	99,72	121,88	149,58	188,36
RDC-C	82,05	102,89	124,51	153,97	100,51	122,84	150,76	189,84
RDC-B	89,46	111,69	134,69	165,94	106,84	130,58	160,26	201,80
RDC-A	89,98	112,18	135,13	166,29	107,95	131,93	161,92	203,90
RS-B	324,56	393,74	462,92	553,44	207,29	253,36	310,94	391,55
RS-A	344,24	417,62	490,99	587,01	212,65	259,90	318,97	401,67
RSS-A	196,45	239,27	281,67	337,49	238,39	291,37	357,59	450,30

Tabella 29 - Confronto dei valori portate al colmo ricavate con la metodologia VAPI (qui adottata) ed il metodo dell'inviluppo modificato.

SEZIONE	CONTRIBUTO UNITARIO							
	METODO VAPI				METODO INVILUPPO MODIFICATO			
	q (Tr50)	q (Tr100)	q (Tr200)	q (Tr500)	q (Tr50)	q (Tr100)	q (Tr200)	q (Tr500)
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)				
RDC-E	3,09	3,88	4,70	5,81	3,56	4,35	5,33	6,72
RDC-D	3,00	3,76	4,55	5,62	3,49	4,26	5,23	6,59
RDC-C	2,81	3,53	4,27	5,28	3,45	4,21	5,17	6,51
RDC-B	2,63	3,29	3,97	4,89	3,15	3,85	4,72	5,94
RDC-A	2,58	3,22	3,88	4,77	3,10	3,79	4,65	5,85
RS-B	2,17	2,63	3,09	3,69	1,38	1,69	2,07	2,61
RS-A	2,16	2,61	3,07	3,68	1,33	1,63	2,00	2,51
RSS-A	2,41	2,93	3,45	4,14	2,92	3,57	4,38	5,52

Tabella 30 - Confronto dei valori di contributo di portata al colmo unitario ricavati con la metodologia VAPI (qui adottata) ed il metodo dell'inviluppo modificato

Da quanto riportato, risulta che i risultati ottenuti con il metodo empirico delle Curve di Inviluppo modificato conduce a valori di portata superiori per quanto riguarda il Riu de Clavia dell'ordine mediamente del 18%, mentre l'incremento sale fino a circa il 27% nel caso del Riu Sassu. Tale incremento, tuttavia, non si apprezza per il Riu Sarra, anzi si presenta una sostanziale diminuzione dei valori di portata calcolati con la metodologia VAPI dell'ordine del 30-35%.

Secondo quanto ricavato, quindi, in alcuni casi i risultati rinvenuti con la metodologia empirica qui descritta possono essere comparati con quanto invece ottenuto con l'applicazione della metodologia VAPI (Riu de Calvia), in altri casi, invece si hanno delle forti oscillazioni sia in incremento sia in decremento: ciò induce a considerare che seppure più cautelative, in taluni casi, le portate ricavate con il metodo delle Curve di Inviluppo modificato, in altri non lo sono.

In base quindi alle precedenti assunzioni, ed in considerazione a quanto riportato nelle Linee Guida del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali e del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Sardegna, si ritiene opportuno fare riferimento per le successive implicazioni progettuali e di calcolo ai dati di portata ricavati con il metodo VAPI.

Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO <i>Relazione idrologica</i>	File: T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 68 di 79
---	---

4.4 Attraversamenti minori del tracciato stradale

Come indicato graficamente nell'elaborato T00ID00IDRRE02_A (vedi stralcio **Figura 22**), recante l'indicazione dei bacini afferenti gli attraversamenti minori del tracciato stradale, l'asse viario interferisce con il naturale deflusso superficiale in sette distinte sezioni individuate sulla base dell'andamento orografico dell'area di studio e soggette a valutazione delle portate al colmo per analogo tempo di ritorno utilizzato per gli attraversamenti maggiori (così come prescritto dalla normativa vigente), ovvero $Tr=200$ anni.

Va tuttavia evidenziato che seppure non risulta ben evidente la presenza di un regolare impluvio della superficie orografica del territorio, la disposizione di presidi di continuità idraulica (tombini) in opportune localizzazioni permette di garantire un sufficiente grado di permeabilità dell'area in presenza del nuovo rilevato stradale interferente.

Laddove, dal punto di vista tecnico, non sia stato possibile intervenire, per il mantenimento della continuità idraulica tra monte e valle il punto di interferenza con la viabilità in progetto, mediante la realizzazione di apposito manufatto di attraversamento (tombini idraulici), a garanzia della protezione del rilevato stradale sono state introdotte fossi in terra con trincee disperdenti di opportune dimensioni e caratteristiche di invaso, accumulo e rilascio per infiltrazione, oltrechè la predisposizione di due ulteriori punti di accumulo in prossimità della rotatoria 2 dove sono stati previsti altrettanti bacini di infiltrazioni di adeguate dimensioni e sviluppo (al riguardo si veda Capitolo 7 dell'elaborato T00ID00IDRRE02 A, paragrafi 7.4.7 e 7.4.8)

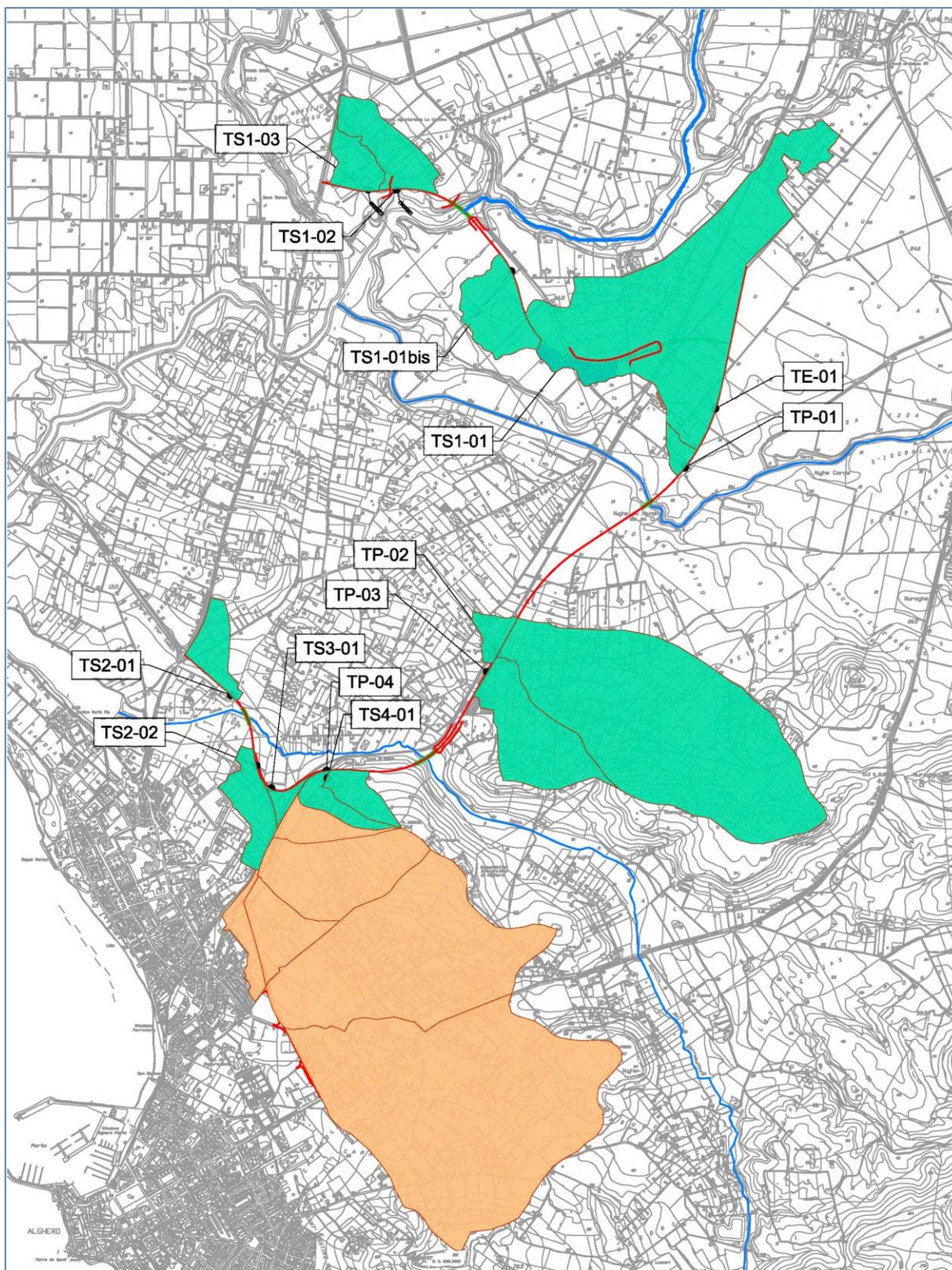


Figura 22 - Corografia dei bacini afferenti gli attraversamenti minori individuati lungo il tracciato in progetto.

Anche per i sottobacini minori 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.

Per i sottobacini indicati, in funzione delle relative sezioni di chiusura indicate, sono state calcolate le principali grandezze morfometriche, utili per le successive elaborazioni idrologiche per la stima delle portate di piena per assegnati tempi di ritorno.

Per la metodologia di acquisizione ed elaborazione del dato cartografico di base, si veda quanto illustrato al precedente paragrafo 2.7: a seguito della citata procedura di elaborazione del dato informativo territoriale disponibile, per ogni sottobacino interferente individuato sono state ricavate le caratteristiche morfologiche e fisiografiche peculiari, di seguito riportate:

ASSE	PROGRESSIVA	ID	Area Bacino S	L asta	i_{media} asta	i_{media} bacino	H_0	H_{max} bacino	H_{media}	H_{max} asta
			Km ²	km	m/m	%	m.s.l.m.	m.s.l.m.	m.s.l.m.	m.s.l.m.
COLLEGAMENTO FERTILIA	2 + 895.000	TS1-03	0,10	0,60	0,01	4,69	14,10	27,66	18,64	21,00
COLLEGAMENTO FERTILIA	2 + 712.500	TS1-02	0,19	0,56	0,01	5,04	14,00	30,80	18,85	21,00
COLLEGAMENTO FERTILIA	1 + 750.000	TS1-01bis	0,20	0,57	0,00	1,20	14,90	17,50	15,60	16,50
COLLEGAMENTO FERTILIA	1 + 060.000	TS1-01	0,06	0,14	0,01	1,60	15,50	16,93	16,70	16,50
ASSE PRINCIPALE ESISTENTE	0 - 020.000	TE-01	1,33	2,38	0,00	3,20	11,50	16,93	14,38	23,00
ASSE PRINCIPALE	0 + 369.000	TP-01	0,03	0,20	0,02	4,35	10,40	21,70	13,80	15,00
ASSE PRINCIPALE	2 + 092.500	TP-02	1,66	2,73	0,02	10,15	13,00	111,50	38,55	60,00
ASSE PRINCIPALE	2 + 228.000	TP-03	0,34	0,88	0,02	8,81	12,50	82,00	28,61	30,00
ASSE PRINCIPALE	3 + 568.500	TP-04	0,16	0,60	0,10	13,93	8,00	89,00	35,00	70,00
STRADA LOCALE UNGIAS	0.085.000	TS4-01	0,09	0,48	0,11	13,00	16,00	89,00	38,00	70,00
SVINCOLO - RAMPANA NORD ALGHERO	0 + 385.000	TS3-01	0,03	0,19	0,03	2,00	6,00	11,70	11,00	11,00
ASSE D	0 + 405.00	TS2-01	0,11	0,60	0,03	11,90	6,00	25,00	15,40	21,00
ASSE D	0 + 904.500	TS2-02	0,14	0,53	0,01	7,30	5,00	14,90	7,80	10,00

Tabella 31 - *Caratteristiche morfologiche, fisiografiche e altimetriche dei sottobacini del Riu Serra, Riu Sassu e Riu de Calvia relative alle sezioni di calcolo individuate*

Analogamente a quanto effettuato per i corsi d'acqua principali (in particolare per il Riu De Calvia), trattandosi di bacini idrografici di estensione inferiore ai 60 km², per la valutazione delle portate al colmo è stata utilizzato il metodo indiretto, ottenendo i risultati enunciati nel prosieguo.

4.4.1 *Calcolo del tempo di corrivazione e di formazione attraversamenti minori*

Considerando che gli attraversamenti individuati con i codici TS-01 e TP-01 ricadono all'interno del bacino idrografico del Riu Serra, quelli con codice TS-01bis, TS-02, TS-03 in quello del Riu Sassu, mentre gli altri in quello del Riu de Calvia, o nelle immediate adiacenze, in via approssimativa si è

deciso di adottare per la valutazione delle perdite idrologiche e del tempo di corrivazione globale i valori del CN uguale e pari a 71.

Di seguito è riportata la tabella di sintesi dei risultati ottenuti dall'applicazione delle formule sopra descritte:

ID	Ventura	Pasini	Viparelli	Kirpich	Giandotti	SCS_new	Adottato	
	h	h	h	h	h	h	h	min
TS1-03	0,37	0,39	0,13	0,19	1,25	0,36	0,36	21,37
TS1-02	0,50	0,46	0,12	0,16	1,55	0,33	0,33	19,67
TS1-01bis	1,08	0,99	0,12	0,34	1,59	0,67	0,67	40,49
TS1-01	0,36	0,26	0,03	0,09	1,08	0,20	0,20	11,75
TE-01	2,11	2,28	0,51	1,34	3,23	1,31	1,31	78,38
TP-01	0,15	0,13	0,04	0,06	0,96	0,15	0,15	9,08
TP-02	1,25	1,36	0,58	0,52	3,55	0,82	0,82	49,13
TP-03	0,53	0,51	0,19	0,16	1,90	0,35	0,35	21,24
TP-04	0,16	0,15	0,13	0,10	1,46	0,21	0,21	12,47
TS4-01	0,11	0,11	0,10	0,08	1,21	0,18	0,18	10,82
TS3-01	0,13	0,12	0,04	0,07	0,91	0,22	0,22	13,28
TS2-01	0,26	0,27	0,13	0,17	1,30	0,22	0,22	13,45
TS2-02	0,49	0,47	0,11	0,19	1,40	0,26	0,26	15,67

Tabella 32 - *Calcolo ed adozione del tempo di corrivazione per i sottobacini minori.*

4.4.2 *Calcolo dell'altezza di pioggia puntuale lorda attraversamenti minori*

Anche per i bacini minori, per la definizione della durata critica la stima del tempo di formazione si effettua in modo iterativo nella relazione che lo lega alla definizione della pioggia netta. Nelle presenti elaborazioni si è assunto, data la modesta estensione dei bacini considerati, che il parametro di riferimento non superi mai il 40% del tempo di corrivazione di cui alla **Tabella 32**.

Si riportano di seguito i valori desunti della durata critica secondo quanto definito sopra:

ID	t _c	t _r	Θ
	h	h	h
TS1-03	0,36	0,14	0,50
TS1-02	0,33	0,13	0,46
TS1-01bis	0,67	0,27	0,94
TS1-01	0,20	0,08	0,27
TE-01	1,31	0,52	1,83
TP-01	0,15	0,06	0,21
TP-02	0,82	0,33	1,15
TP-03	0,35	0,14	0,50
TP-04	0,21	0,08	0,29
TS4-01	0,18	0,07	0,25
TS3-01	0,22	0,09	0,31
TS2-01	0,22	0,09	0,31
TS2-02	0,26	0,10	0,37

Tabella 33 - *Stima della durata critica per ogni sottobacino considerato.*

Dalla precedente tabella si ricava, in definitiva, il valore delle altezze di pioggia lorda per ogni sottobacino considerato nella presente trattazione.

ID	SZO	A	μg	$a1(\mu)$	$n1(\mu)$	$hT(\tau)$ altezza di pioggia lorda							
						Θ	$h2(\tau)$	$h5(\tau)$	$h10(\tau)$	$h50(\tau)$	$h100(\tau)$	$h200(\tau)$	$h500(\tau)$
						Tc+Tf	2	5	10	50	100	200	500
		kmq	mm	-	-	h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
TS1-03	II	0,10	50,0	20,69	0,32	0,50	15,28	21,23	25,73	34,71	38,75	42,77	48,16
TS1-02	II	0,19	50,0	20,69	0,32	0,46	14,89	20,69	25,08	33,45	37,23	41,00	46,07
TS1-01bis	II	0,20	50,0	20,69	0,32	0,94	18,63	25,89	31,38	46,16	52,67	59,18	67,78
TS1-01	II	0,06	55,0	21,38	0,34	0,27	12,78	17,76	21,52	26,77	29,27	31,77	35,21
TE-01	II	1,33	55,0	21,38	0,34	1,83	23,91	33,23	40,29	64,80	75,64	86,57	100,92
TP-01	II	0,03	55,0	21,38	0,34	0,21	11,74	16,31	19,76	23,74	25,73	27,73	30,53
TP-02	II	1,66	55,0	21,38	0,34	1,15	20,49	28,48	34,53	52,13	59,88	67,64	77,89
TP-03	II	0,34	55,0	21,38	0,34	0,50	15,54	21,59	26,17	35,28	39,37	43,44	48,91
TP-04	II	0,16	55,0	21,38	0,34	0,29	13,03	18,11	21,95	27,52	30,16	32,79	36,40
TS4-01	II	0,09	55,0	21,38	0,34	0,25	12,44	17,28	20,94	25,76	28,09	30,42	33,64
TS3-01	II	0,03	55,0	21,38	0,34	0,31	13,31	18,49	22,41	28,34	31,13	33,90	37,69
TS2-01	II	0,11	55,0	21,38	0,34	0,31	13,36	18,57	22,50	28,52	31,33	34,14	37,97
TS2-02	II	0,14	55,0	21,38	0,34	0,37	14,05	19,53	23,67	30,61	33,81	36,99	41,31

Tabella 34 - Altezze di pioggia lorda calcolate con il metodo indiretto per i sottobacini minori.

4.4.3 Calcolo dell'altezza di pioggia ragguagliata lorda attraversamenti minori

Applicando la formulazione riportata al capitolo precedente per i bacini sotto i 20 km², si ottengono le relative altezze di pioggia ragguagliata alle aree dei bacini scolanti:

SEZIONE	A	$h_r(\tau)$ altezza di pioggia lorda ragguagliata								
		Θ	r	$h_r 2$	$h_r 5$	$h_r 10$	$h_r 50$	$h_r 100$	$h_r 200$	$h_r 500$
	kmq	h	-	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
TS1-03	0,10	0,50	0,98	14,94	20,76	25,16	33,95	37,89	41,82	47,10
TS1-02	0,19	0,46	0,97	14,46	20,09	24,35	32,48	36,15	39,81	44,73
TS1-01bis	0,20	0,94	0,98	18,20	25,30	30,66	45,10	51,46	57,82	66,23
TS1-01	0,06	0,27	0,98	12,49	17,35	21,03	26,16	28,61	31,05	34,42
TE-01	1,33	1,83	0,97	23,07	32,08	38,89	62,55	73,01	83,55	97,41
TP-01	0,03	0,21	0,98	11,50	15,97	19,35	23,25	25,20	27,16	29,90
TP-02	1,66	1,15	0,96	19,57	27,21	32,98	49,80	57,20	64,61	74,40
TP-03	0,34	0,50	0,97	15,00	20,84	25,26	34,05	37,99	41,93	47,21
TP-04	0,16	0,29	0,97	12,61	17,53	21,24	26,64	29,19	31,74	35,23
TS4-01	0,09	0,25	0,97	12,10	16,81	20,37	25,06	27,33	29,59	32,73
TS3-01	0,03	0,31	0,98	13,09	18,18	22,04	27,87	30,61	33,34	37,07
TS2-01	0,11	0,31	0,97	13,00	18,06	21,89	27,74	30,47	33,21	36,93
TS2-02	0,14	0,37	0,97	13,66	18,98	23,00	29,75	32,86	35,95	40,15

Tabella 35 - Altezze di pioggia ragguagliata lorda calcolate con il metodo indiretto per i sottobacini minori.

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 73 di 79

4.4.4 Calcolo dell'altezze di pioggia netta attraversamenti minori

Come già anticipato, per l'applicazione del metodo del Curve Number, è stato adottato in via cautelativa per tutti i sottobacini un valore omogeneo del CN medio ricavato in precedenza per gli altri corsi d'acqua principali corrispondente alla situazione più gravosa, ovvero 71, ottenendo i seguenti risultati:

SEZIONE	A	Ø	r	S	Ia	CNII	CNIII
	kmq	h	-	mm	mm	AMCII	AMCIII
TS1-03	0,10	0,50	0,98	45,11	9,02	71	85
TS1-02	0,19	0,46	0,97	45,11	9,02	71	85
TS1-01bis	0,20	0,94	0,98	45,11	9,02	71	85
TS1-01	0,06	0,27	0,98	45,11	9,02	71	85
TE-01	1,33	1,83	0,97	45,11	9,02	71	85
TP-01	0,03	0,21	0,98	45,11	9,02	71	85
TP-02	1,66	1,15	0,96	45,11	9,02	71	85
TP-03	0,34	0,50	0,97	45,11	9,02	71	85
TP-04	0,16	0,29	0,97	45,11	9,02	71	85
TS4-01	0,09	0,25	0,97	45,11	9,02	71	85
TS3-01	0,03	0,31	0,98	45,11	9,02	71	85
TS2-01	0,11	0,31	0,97	45,11	9,02	71	85
TS2-02	0,14	0,37	0,97	45,11	9,02	71	85

Tabella 36 - Parametri CN relativi ai bacini sottesi alle sezioni di chiusura utilizzate per i sottobacini minori.

Utilizzando il valore di CN riferito a condizioni di terreno saturo, sicuramente cautelativo, si sono ottenute le seguenti altezze di pioggia netta (riferite alla durata critica):

SEZIONE	SZO	A	$h_r(\tau)$ altezza di pioggia netta							
			Ø	h_n	h_n	h_n10	h_n50	h_n100	h_n200	h_n500
		kmq	h	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
TS1-03	II	0,10	0,50	0,69	2,42	4,25	8,87	11,27	13,81	17,43
TS1-02	II	0,19	0,46	0,58	2,18	3,89	8,03	10,19	12,49	15,78
TS1-01bis	II	0,20	0,94	1,55	4,31	7,02	16,03	20,57	25,36	31,99
TS1-01	II	0,06	0,27	0,25	1,30	2,52	4,72	5,93	7,23	9,15
TE-01	II	1,33	1,83	3,34	7,80	11,90	29,05	37,53	46,43	58,52
TP-01	II	0,03	0,21	0,13	0,93	1,93	3,41	4,27	5,20	6,60
TP-02	II	1,66	1,15	2,00	5,23	8,31	19,36	24,88	30,69	38,68
TP-03	II	0,34	0,50	0,70	2,45	4,30	8,93	11,33	13,88	17,51
TP-04	II	0,16	0,29	0,27	1,35	2,60	4,95	6,23	7,61	9,63
TS4-01	II	0,09	0,25	0,20	1,15	2,28	4,21	5,28	6,44	8,17
TS3-01	II	0,03	0,31	0,34	1,55	2,91	5,56	6,99	8,52	10,75
TS2-01	II	0,11	0,31	0,32	1,51	2,86	5,49	6,91	8,44	10,67
TS2-02	II	0,14	0,37	0,43	1,80	3,31	6,53	8,24	10,07	12,71

Tabella 37 - Altezze di pioggia netta calcolate con il metodo indiretto per i sottobacini minori.

4.4.5 Calcolo delle portate al colmo attraversamenti minori

Il calcolo della portata al colmo deve essere determinato sulla base di una forma predefinita di idrogramma e quindi uguagliando l'apporto meteorico efficace al volume di deflusso. La forma dell'idrogramma qui proposta è quella del Ghirardelli, ossia il classico idrogramma triangolare, avente tempo di risalita e tempo di discesa pari al tempo di corrivazione.

Pertanto il valore della portata al colmo risulta, anche nel caso degli attraversamenti minori, dato dalla (23).

Ne è risultato per i bacini in studio:

SEZIONE	SZO	A	Θ	r	ε	Q _T						
						Q ₂ (t)	Q ₅ (t)	Q ₁₀ (t)	Q ₅₀ (t)	Q ₁₀₀ (t)	Q ₂₀₀ (t)	Q ₅₀₀ (t)
		kmq	h	-	-	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s	mc/s
TS1-03	II	0,10	0,50	0,98	1,0	0,04	0,13	0,23	0,47	0,60	0,74	0,93
TS1-02	II	0,19	0,46	0,97	1,0	0,07	0,25	0,45	0,92	1,17	1,43	1,81
TS1-01bis	II	0,20	0,94	0,98	1,0	0,09	0,26	0,42	0,97	1,24	1,53	1,93
TS1-01	II	0,06	0,27	0,98	1,0	0,01	0,07	0,15	0,27	0,34	0,42	0,53
TE-01	II	1,33	1,83	0,97	1,0	0,67	1,57	2,40	5,86	7,57	9,36	11,80
TP-01	II	0,03	0,21	0,98	1,0	0,01	0,04	0,09	0,15	0,19	0,23	0,29
TP-02	II	1,66	1,15	0,96	1,0	0,80	2,10	3,34	7,79	10,01	12,35	15,56
TP-03	II	0,34	0,50	0,97	1,0	0,14	0,47	0,83	1,73	2,19	2,68	3,38
TP-04	II	0,16	0,29	0,97	1,0	0,04	0,20	0,40	0,75	0,95	1,15	1,46
TS4-01	II	0,09	0,25	0,97	1,0	0,02	0,11	0,22	0,40	0,50	0,61	0,77
TS3-01	II	0,03	0,31	0,98	1,0	0,01	0,04	0,07	0,13	0,17	0,20	0,26
TS2-01	II	0,11	0,31	0,97	1,0	0,03	0,15	0,27	0,53	0,67	0,81	1,03
TS2-02	II	0,14	0,37	0,97	1,0	0,05	0,19	0,35	0,69	0,87	1,07	1,34

Tabella 38 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative ai sottobacini minori.

4.5 Validazione dei risultati ottenuti e confronti

Anche per i bacini idrografici minori è stato effettuato un confronto con i valori di portata ricavati con il metodo empirico già ampiamente descritti in questo capitolo, si riportati, in particolare nelle tabelle seguenti i risultati ottenuti, tenendo conto che i parametri del metodo sono del tutto identici a quelli già determinati per i bacini maggiori, ad eccezione del coefficiente **Pa** che dipende direttamente dall'estensione del bacino considerato.

Nuova S.S.291
Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto
Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto
di collegamento con l'aeroporto di Fertilia
PROGETTO DEFINITIVO

Relazione idrologica

File: T00ID00IDRRE01_A.

DOCX

Data: Settembre 2017

Pag. 75 di 79

SEZIONE	Area Bacino	Zona Idrografica	Q (Tr50)	Q (Tr100)	Q (Tr200)	Q (Tr500)	q (Tr200) contributo unitario	q (Tr500) contributo unitario
	(km ²)	-	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s km ²)	(m ³ /s km ²)
TS1-03	0,10	3	0,8	0,9	1,1	1,4	11,9	15,0
TS1-02	0,19	3	1,4	1,7	2,1	2,6	11,1	13,9
TS1-01bis	0,20	3	1,5	1,8	2,2	2,8	11,0	13,8
TS1-01	0,06	3	0,5	0,6	0,7	0,9	12,6	15,8
TE-01	1,33	3	8,0	9,7	11,9	15,0	9,0	11,3
TP-01	0,03	3	0,3	0,4	0,4	0,6	13,3	16,7
TP-02	1,66	3	9,7	11,9	14,6	18,4	8,8	11,1
TP-03	0,34	3	2,4	2,9	3,6	4,5	10,4	13,1
TP-04	0,16	3	1,2	1,5	1,8	2,3	11,3	14,2
TS4-01	0,09	3	0,7	0,8	1,0	1,3	12,0	15,2
TS3-01	0,03	3	0,2	0,3	0,4	0,5	13,6	17,1
TS2-01	0,11	3	0,9	1,0	1,3	1,6	11,7	14,8
TS2-02	0,14	3	1,1	1,3	1,6	2,0	11,4	14,4

Tabella 39 - Portate al colmo per le diverse sezioni di controllo dei sottobacini idrografici minori considerati secondo il metodo delle curve di inviluppo modificato.

SEZIONE	METODO VAPI				METODO INVILUPPO MODIFICATO			
	Q (Tr50)	Q (Tr100)	Q (Tr200)	Q (Tr500)	Q (Tr50)	Q (Tr100)	Q (Tr200)	Q (Tr500)
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)				
TS1-03	0,47	0,60	0,74	0,93	0,76	0,93	1,14	1,44
TS1-02	0,92	1,17	1,43	1,81	1,40	1,71	2,10	2,64
TS1-01bis	0,97	1,24	1,53	1,93	1,50	1,83	2,25	2,83
TS1-01	0,27	0,34	0,42	0,53	0,48	0,58	0,71	0,90
TE-01	5,86	7,57	9,36	11,80	7,96	9,73	11,95	15,04
TP-01	0,15	0,19	0,23	0,29	0,30	0,37	0,45	0,57
TP-02	7,79	10,01	12,35	15,56	9,73	11,89	14,59	18,38
TP-03	1,73	2,19	2,68	3,38	2,39	2,92	3,58	4,51
TP-04	0,75	0,95	1,15	1,46	1,19	1,46	1,79	2,26
TS4-01	0,40	0,50	0,61	0,77	0,69	0,84	1,03	1,30
TS3-01	0,13	0,17	0,20	0,26	0,24	0,30	0,36	0,46
TS2-01	0,53	0,67	0,81	1,03	0,85	1,04	1,28	1,61
TS2-02	0,69	0,87	1,07	1,34	1,06	1,30	1,59	2,00

Tabella 40 - Confronto dei valori portate al colmo ricavate con la metodologia VAPI ed il metodo dell'inviluppo modificato per i sottobacini minori considerati.

SEZIONE	CONTRIBUTO UNITARIO							
	METODO VAPI				METODO INVILUPPO MODIFICATO			
	q (Tr50)	q (Tr100)	q (Tr200)	q (Tr500)	q (Tr50)	q (Tr100)	q (Tr200)	q (Tr500)
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)				
TS1-03	4,94	6,28	7,69	9,71	7,9	9,7	11,9	15,0
TS1-02	4,86	6,17	7,56	9,55	7,4	9,0	11,1	13,9
TS1-01bis	4,71	6,05	7,46	9,40	7,3	8,9	11,0	13,8
TS1-01	4,78	6,01	7,33	9,27	8,4	10,2	12,6	15,8
TE-01	4,41	5,70	7,05	8,89	6,0	7,3	9,0	11,3
TP-01	4,48	5,60	6,82	8,66	8,9	10,8	13,3	16,7
TP-02	4,69	6,03	7,44	9,37	5,9	7,2	8,8	11,1
TP-03	5,00	6,35	7,78	9,81	6,9	8,5	10,4	13,1
TP-04	4,73	5,95	7,26	9,20	7,5	9,2	11,3	14,2
TS4-01	4,63	5,82	7,09	8,99	8,0	9,8	12,0	15,2
TS3-01	4,98	6,26	7,64	9,64	9,1	11,1	13,6	17,1
TS2-01	4,86	6,12	7,47	9,44	7,8	9,6	11,7	14,8
TS2-02	4,96	6,26	7,65	9,66	7,6	9,3	11,4	14,4

Tabella 41 - Confronto dei valori di contributo di portata al colmo unitario ricavati con la metodologia VAPI ed il metodo dell'inviluppo modificato per i sottobacini minori considerati.

Da quanto riportato, risulta che i risultati ottenuti con il metodo empirico delle Curve di Inviluppo modificato conduce a valori di portata superiori per tutti I bacini minori interferenti con l'infrastruttura in progetto dell'ordine mediamente del 50%.

In base quindi alle precedenti assunzioni, ad ampio vantaggio di sicurezza, si ritiene opportuno fare riferimento per le successive implicazioni progettuali e di calcolo ai dati di portata ricavati con il metodo modificato delle Curve di Inviluppo.

5 Indice delle Figure

Figura 1 - Perimetrazione P.A.I. - Pericolo Piena (aggiornamento 31.12.2016).....	6
Figura 2 - Perimetrazione P.A.I. - Rischio Piena (aggiornamento 31.12.2016).....	6
Figura 3 - Divisione territoriale in sub bacini.	8
Figura 4 - Distribuzione spaziale della altezza di pioggia giornaliera in Sardegna.....	13
Figura 5 - Corsi d'acqua principali in studio nel bacino idrografico del Canale Urune.....	18
Figura 6 - Punto di confluenza del Riu De Clavia nello Stagno di Calich.	19
Figura 7 - Bacini idrografici Riu Sassu, Riu Serra e Riu de Calvia su ortofoto.	20
Figura 8 - Rappresentazione 2D della nuvola di punti e l'insieme di linee provenienti dal DBGT 10.000.....	21
Figura 9 - Rappresentazione 2D del DTM di passo 5 m.	22
Figura 10 - Rappresentazione 2D della nuvola di punti e l'insieme di linee provenienti dal rilievo celerimetrico di scala sia relativamente al Lotto 1 sia al Lotto 4.	22
Figura 11 - TIN generato dalla sovrapposizione simultanea dei dati informativi DGTP10K, DTM5 e rilievo celerimetrico delle aree di interesse.	23
Figura 12 - Gruppi Omogenei delle stazioni pluviometriche della Sardegna.	26
Figura 13 - Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna.....	29
Figura 14 - Suddivisione della Regione Sardegna nei due versanti: occidentale e orientale (Fonte VAPI).	39
Figura 15 - Carta del parametro CN.....	49
Figura 16 - Distribuzione del CN per il bacino del Riu de Calvia alla sezione 13.2.....	51
Figura 17 - Distribuzione del CN per il bacino del Riu de Calvia alla sezione 7.....	52
Figura 18 - Classificazione dei bacini in base alle piene e determinazione del relativo coefficiente Ψ	61
Figura 19 - Localizzazione e classificazione delle zone idrografiche della Regione Sardegna.	62
Figura 20 - Coefficiente Pa al variare della sottozona idrografica e della superficie complessiva del bacino considerato.....	64
Figura 21 - Grafico per la determinazione del coefficiente Pa per le zone idrografiche 1,2 e 3.....	65
Figura 22 - Corografia dei bacini afferenti gli attraversamenti minori individuati lungo il tracciato in progetto.	69

6 Indice delle Tabelle

Tabella 1 - Divisione territoriale in sub bacini.....	7
Tabella 2 - Media e deviazione standard della piovosità annua [mm] in alcune stazioni pluviometriche nel periodo 1922-1992.	12
Tabella 3 - Precipitazione registrata durante l'evento alluvionale del novembre '99 in alcune stazioni e confronto con i valori di precipitazione media annua	12
Tabella 4 - Caratteristiche morfologiche, fisiografiche e altimetriche dei sottobacini del Riu Serra e Riu de Calvia relative alle sezioni di calcolo individuate	24
Tabella 5 - Gruppi Omogenei delle stazioni pluviometriche della Sardegna.....	26
Tabella 6 - Valori dei frattili della distribuzione normale standardizzata.	27
Tabella 7 - Parametri della curva di possibilità climatica.	28
Tabella 8 - Caratteristiche suoli secondo il Soil Conservation Service.....	34
Tabella 9 - Valori del CN per i differenti tipi di suolo in funzione del relativo uso.	35
Tabella 10 - Definizione delle condizioni di umidità iniziale sulla base dei valori di precepitazione cumulata nei 5 giorni antecedenti l'evento critico.....	36
Tabella 11 - Valori del parametro K_T per diversi tempi di ritorno per i bacini occidentali ed orientali della sardegna.....	39
Tabella 12 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative al sottobacino Riu Serra.....	40
Tabella 13 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative al sottobacino Riu Sassu.....	41
Tabella 14 - Assegnazione dei valori di Curve Number alle diverse tipologie di uso del suolo.	45
Tabella 15 - Assegnazione dei valori di Curve Number alle diverse tipologie di uso del suolo (segue).	46
Tabella 16 - Fattori correttivi al Curve Number che si è infine desunta secondo la metodologia CIMA - Protezione Civile Nazionale.	47
Tabella 17 - Fattori correttivi al Curve Number che si è infine desunta secondo la metodologia CIMA - Protezione Civile Nazionale. (segue).....	48
Tabella 18 - Calcolo ed adozione del tempo di corrivazione.	53
Tabella 19 - Stima della durata critica per ogni sottobacino considerato.....	56
Tabella 20 - Altezze di pioggia lorda calcolate con il metodo indiretto.....	56
Tabella 21 - Altezze di pioggia ragguagliata lorda calcolate con il metodo indiretto.	56
Tabella 22 - Parametri CN relativi ai bacini sottesi alle sezioni di chiusura individuate per il Riu de Calvia.	57
Tabella 23 - Altezze di pioggia netta calcolate con il metodo indiretto.	58
Tabella 24 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative ai sottobacini del Riu de Calvia.....	59
Tabella 25 - Coefficiente P's al variare della sottozona idrografica e del tempo di ritorno considerato.	63
Tabella 26 - Valori del coefficiente P's per la zona idrografica 3.	65
Tabella 27 - Parametri della curva di inviluppo [METODO MODIFICATO] per i bacini interessati.	65
Tabella 28 - Portate al colmo per le diverse sezioni di controllo dei bacini idrografici considerati secondo il metodo delle curve di inviluppo modificato.	66
Tabella 29 - Confronto dei valori portata al colmo ricavate con la metodologia VAPI (qui adottata) ed il metodo dell'inviluppo modificato.	66

<p>Nuova S.S.291 Collegamento Sassari - Alghero - Aeroporto Lavori di costruzione del 1° lotto Mamuntanas-Alghero e del 4° Lotto di collegamento con l'aeroporto di Fertilia PROGETTO DEFINITIVO</p> <p><i>Relazione idrologica</i></p>	<p>File:T00ID00IDRRE01_A. DOCX Data: Settembre 2017 Pag. 79 di 79</p>
--	--

Tabella 30 - Confronto dei valori di contributo di portata al colmo unitario ricavati con la metodologia VAPI (qui adottata) ed il metodo dell'inviluppo modificato	67
Tabella 31 - Caratteristiche morfologiche, fisiografiche e altimetriche dei sottobacini del Riu Serra, Riu Sassu e Riu de Calvia relative alle sezioni di calcolo individuate.....	70
Tabella 32 - Calcolo ed adozione del tempo di corrivazione per i sottobacini minori.	71
Tabella 33 - Stima della durata critica per ogni sottobacino considerato.....	71
Tabella 34 - Altezze di pioggia lorda calcolate con il metodo indiretto per i sottobacini minori.	72
Tabella 35 - Altezze di pioggia ragguagliata lorda calcolate con il metodo indiretto per i sottobacini minori.....	72
Tabella 36 - Parametri CN relativi ai bacini sottesi alle sezioni di chiusura utilizzate per i sottobacini minori.	73
Tabella 37 - Altezze di pioggia netta calcolate con il metodo indiretto per i sottobacini minori.....	73
Tabella 38 - Portate per assegnato tempo di ritorno relative ai sottobacini minori.	74
Tabella 39 - Portate al colmo per le diverse sezioni di controllo dei sottobacini idrografici minori considerati secondo il metodo delle curve di inviluppo modificato.	75
Tabella 40 - Confronto dei valori portata al colmo ricavate con la metodologia VAPI ed il metodo dell'inviluppo modificato per i sottobacini minori considerati.....	75
Tabella 41 - Confronto dei valori di contributo di portata al colmo unitario ricavati con la metodologia VAPI ed il metodo dell'inviluppo modificato per i sottobacini minori considerati.....	76