



Comune di Seui

Provincia dell'Ogliastra



----- Relazione -----

STUDIO RELATIVO ALLA GESTIONE DEL "PIANO ASSETTO
IDROGEOLOGICO ESTESO A TUTTO IL TERRITORIO COMUNALE"

Sub-Bacino - 7 Flumendosa Campidano Cixerri

Il responsabile del procedimento

I tecnici incaricati
Dr. Geol. Basilio Massimo Carta

Consulente per aspetti idraulici Ing. Alessandro Salis

Giugno 2020

INDICE

INDICE	1
1. Premessa.....	2
2. Collocazione geografica degli elementi di studio.....	3
2.1. Collocazione cartografica.....	3
2.2. Individuazione dei bacini e sottobacini e caratteristiche morfologiche.....	3
2.2.1 Caratteristiche fiume Flumendosa.....	4
2.2.2 Caratteristiche Rio Betilli.....	6
2.3. Bacini minori.....	7
2.3.1 Caratteristiche Fiume36589.....	8
3. Criteri utilizzati per la valutazione della portata di piena Rio Betilli.....	9
3.1. Determinazione della portata di piena: metodo razionale.....	13
3.3.1 Valutazione del tempo di corrivazione.....	14
3.3.2 Valutazione del coefficiente ARF.....	16
3.3.3 Valutazione dell'altezza di pioggia.....	17
3.3.3.1 Curva di possibilità pluviometrica di Deidda-Piga-Sechi.....	17
3.3.4 Valutazione del coefficiente di deflusso Φ	21
3.2. Risultati.....	24
4. MODELLAZIONE IDRAULICA Errore. Il segnalibro non è definito.	
4.1. Il modello matematico.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.2. Implementazione e costruzione del modello.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
4.3. Risultati ottenuti.....	Errore. Il segnalibro non è definito.

1. **PREMESSA**

Il presente Studio di compatibilità Idraulica del territorio del Comune di Seui è redatto con lo scopo di perimetrare le aree e definire le classi di pericolosità idraulica, al fine di conseguire la procedura per la redazione, adozione e approvazione della proposta di variante al PUC al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI).

Le suddette perimetrazioni, individuate secondo le procedure metodologiche, indicate nelle *“linee guida alle attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia dl. 180 e legge 267 del 3-08-1998”*, saranno pertanto assoggettate alle prescrizioni definite per le aree di pericolosità idrogeologica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) di cui agli articoli relativi al capo II delle NTA, con effetto sugli strumenti urbanistici.

Per le analisi idrologiche volte alla valutazione della portata di piena sono stati considerati i tempi di ritorno pari a 50, 100, 200, 500 anni come precisato dal PAI Sardegna.

Per la simulazione idraulica, in particolare per la propagazione delle portate di piena e l'identificazione delle aree di esondazione, è stata utilizzato il modello monodimensionale idraulico Hec-Ras, largamente diffuso in campo internazionale e adatto ai fini del presente studio.

Studio Idrologico

2. COLLOCAZIONE GEOGRAFICA DEGLI ELEMENTI DI STUDIO.

2.1. *Collocazione cartografica*

Per lo studio idrologico dell'area oggetto di studio, localizzabile nella Sardegna centro-orientale alle pendici del massiccio del Gennargentu, è stata utilizzata la seguente cartografia:

- Carta Tecnica Regionale numero: 530_080, 530_120, 531_160, 531_050, 531_090, 531_100, 531_130, 540_040, 541_010, 541_050, 541_090, in scala 1:10'000, editi dall'Istituto Geografico Militare Italiano nel 1992 su rilevamento aerofotogrammetrico del 1987;
- D.T.M. ricavati dal volo aereofotogrammetrico con scala 1:10.000 dal database R.A.S.

2.2. *Individuazione dei bacini e sottobacini e caratteristiche morfologiche.*

La perimetrazione delle aree a significativa pericolosità passa attraverso la definizione dei criteri discriminanti dai quali scaturisce la necessità che un tronco sia ritenuto critico e quindi da assoggettare ad uno studio idraulico.

I criteri suddetti, sono quelli nell'art. 26, NTA PAI. In particolare vengono definite aree idrografiche a significativa pericolosità idraulica: il reticolo minore gravante sui centri edificati, le foci fluviali, le aree lagunari e gli stagni. Anche per tali zone si provvederà alla determinazione delle aree di esondazione relative ai quattro livelli di pericolosità H_i corrispondenti alle portate con tempo di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni. Inoltre, non essendo state condotte precedentemente indagini durante la redazione del PAI, le analisi verranno condotte attraverso nuove modellazioni idrologiche e idrauliche secondo le indicazioni delle *"linee guida alle attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia dl. 180 e legge*

267 del 3-08-1998". Nel caso in esame non essendoci foci fluviali, aree lagunari e stagni si è ritenuto opportuno analizzare i tratti del reticolo idrografico gravanti su zone a rischio ed infrastrutture. In particolare sono stati presi in considerazione i corsi d'acqua Flumendosa (esclusivamente il tratto che segna il confine con il comune di Sadali) e il Rio Betilli.

Una volta stabiliti i tratti degli elementi idrici da analizzare, è stato individuato il bacino scolante, per ognuno di essi e per ognuno state determinate le caratteristiche geomorfiche, che possono essere distinte in planimetriche e orografiche: le prime esprimono le dimensioni geometriche orizzontali (per es. l'estensione ed il perimetro), la forma, l'organizzazione e lo sviluppo del reticolo fluviale, mentre le seconde esprimono il rilievo (per es. l'altezza media) e le pendenze (sia dei versanti che delle aste fluviali). Le principali grandezze geomorfiche per ciascun bacino sono illustrate nei paragrafi che seguono.

2.2.1 Caratteristiche fiume Flumendosa.

Il fiume Flumendosa nasce nel massiccio del Gennargentu, alle pendici della punta Perdida de Aria (1270 m.s.l.m.), dopo uno sviluppo di circa 127 km attraverso gole montane, scavate dai scisti e basalti, raggiunge la zona alluvionale di San Vito. Il bacino idrografico complessivo è di circa 1775 kmq.

E' stato oggetto di studio nel Piano Fasce Fluviali in cui è stato studiato il tratto finale di circa 65 Km, suddiviso in 9 sottobacini.

Il sottobacino A , individuato dalla sezione di chiusura 07_FL_084, come indicato nella relazione Monografica 7_05_1_1_2 del suddetto Piano, comprende il tratto che interessa il territorio comunale di Seui.

Si è perciò individuata la porzione di tale sottobacino a monte della sezione che segna il confine amministrativo del comune seuese e che alimenta il tratto oggetto di studio, (figura 2.1). Attraverso la similitudine idrologica è stata determinata la portata relativa ai quattro tempi di ritorno (tab. 2.1).

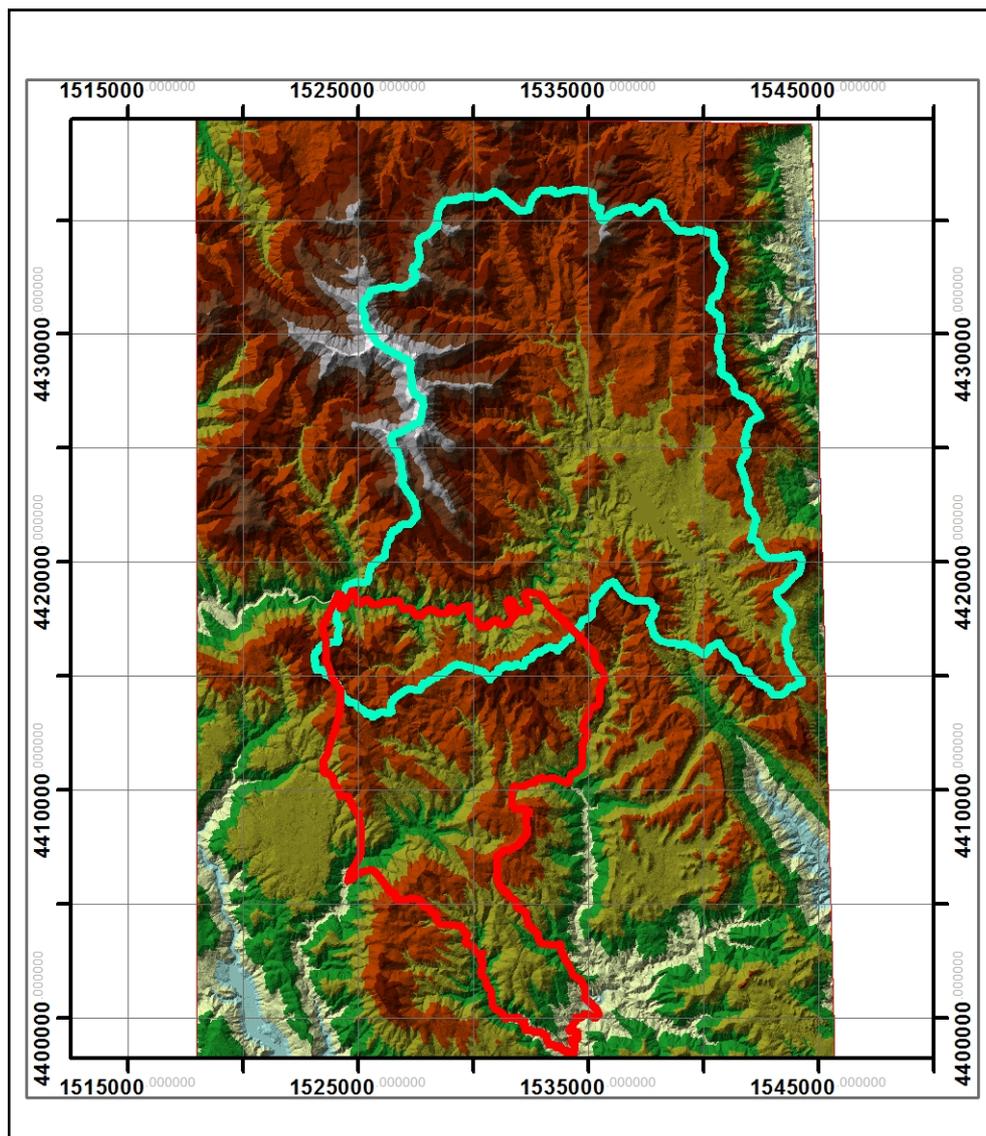


Fig. 2.1 : Individuazione del sottobacino oggetto di studio (in rosso i limiti amministrativi di Seui)

	AREA [Kmq]	Qt50 mc/s	Qt100 mc/s	Qt200 mc/s	Qt500 mc/s
Sottobacino A (P.S.F.F.)	755	2414	2940	3461	4147
Area interessante il comune di Seui	309	987.98	1203.26	1416.49	1697.25

Tabella 2.1. Portate stimate per il sottobacino in esame

2.2.2 Caratteristiche Riu Betilli.

Il rio Betilli ha origine sui versanti del Gennargentu a quota 1.194 m.s.l.m. attraversa il territorio comunale di Seui con uno sviluppo di circa 15 km. Il bacino imbrifero, relativo al tratto in esame, pari a circa 51 Km², rappresenta un terzo del territorio comunale (148 Km²).

Tale corso d'acqua interferisce con arterie di comunicazioni importanti come la SP 198, la linea ferroviaria e con importanti strade comunali di accesso a zone interessate da attività produttive

In figura 2.2 è stata riportata l'ubicazione del bacino e in tab. 2.2 le caratteristiche morfologiche.

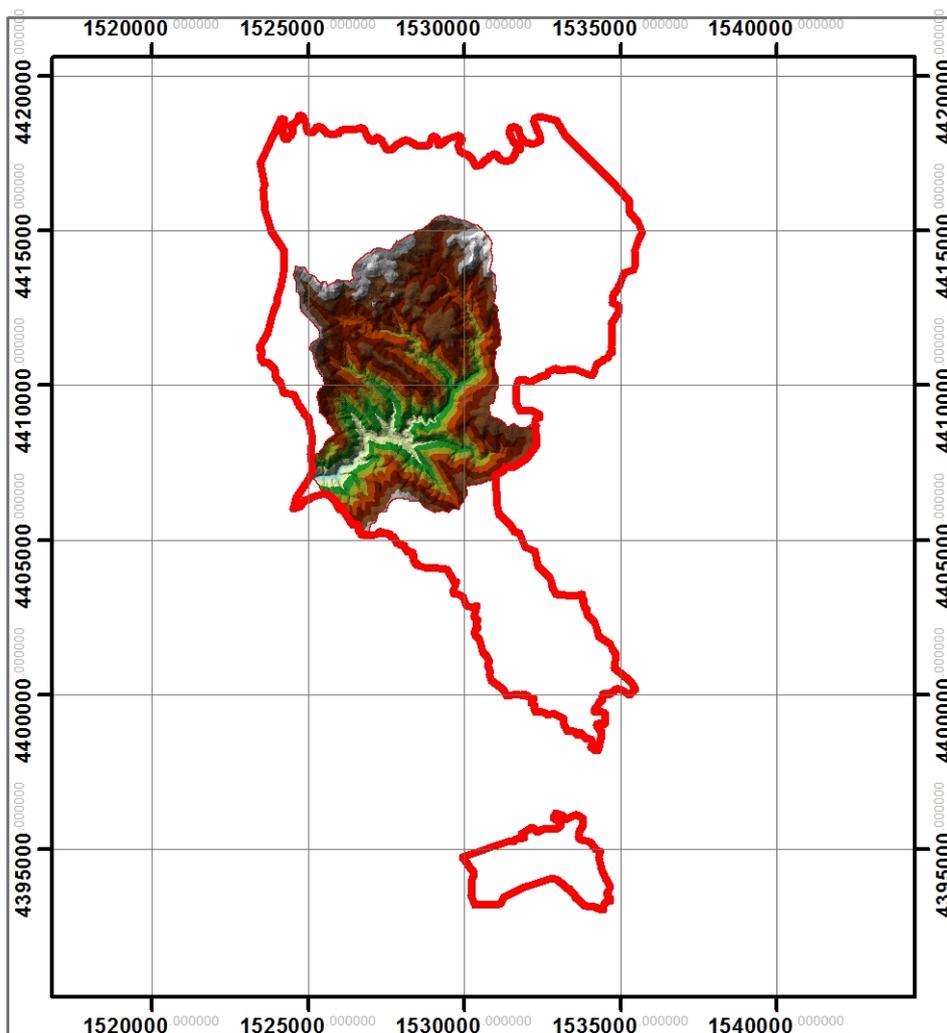


Fig. 2.2 : Individuazione bacino Riu Betilli (in rosso i limiti amministrativi comunali)

Riassunto parametri Rio Betilli			
Superficie bacino	S=	50.84	Kmq
Quota media bacino	Zm=	886.07	m.s.l.m
Pendenza versante	lv=	33.95	[%]
Hmax bacino	Hmax=	1194	m.s.l.m
Hmin (sezione chiusura)	Hmin=	510	m.s.l.m
Lunghezza asta	L=	15.49	Km
Pendenza media asta	im=	0.16	[-]

Tabella 2.2.

2.3. Bacini minori

Nel territorio comunale di Seui, oltre al Fiume Flumendosa ed al Rio Betilli, scorrono dei corsi d'acqua minori tra i quali si annoverano: il Fiume36589, il Fiume36928 ed il Fiume35038.

Nella successiva figura viene presentato il sistema drenante minore dell'area in cui si riconoscono:

- Il sub-bacino del Fiume36589, che lambisce il bordo centro-orientale del limite comunale (colore **Celeste**);
- Il sub-bacino del Fiume36928, la cui asta principale scorre nella parte centro-occidentale del territorio comunale (colore **Verde**);
- Il sub-bacino del Fiume35038, che scorre a nord del centro (colore **Porpora**).

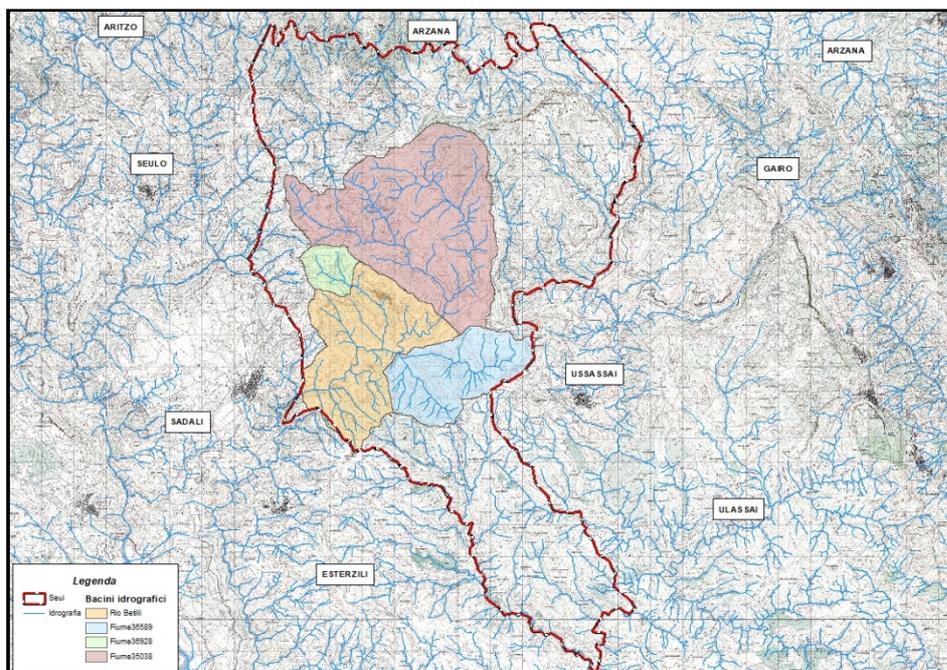
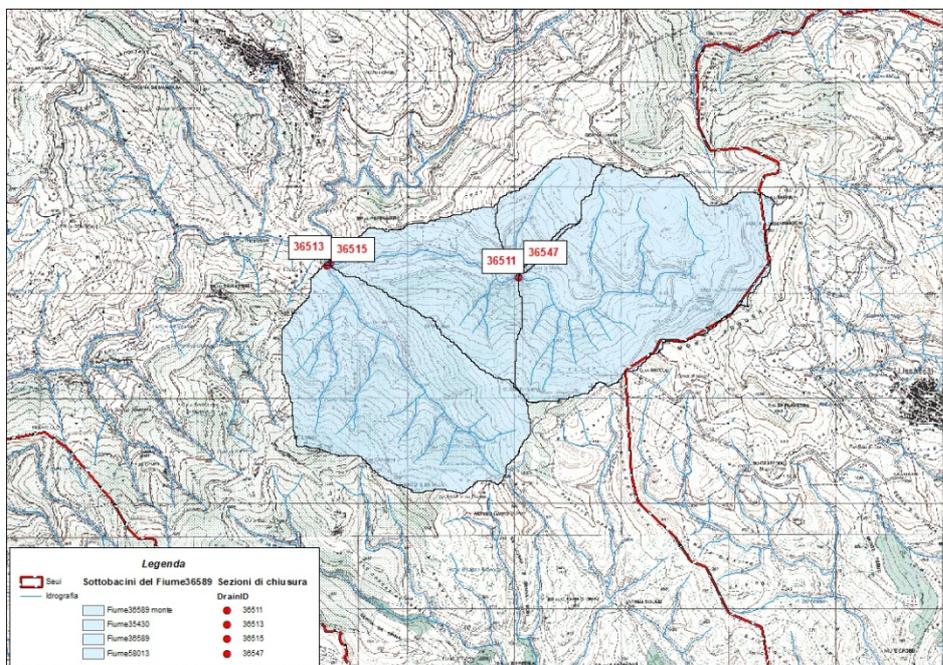
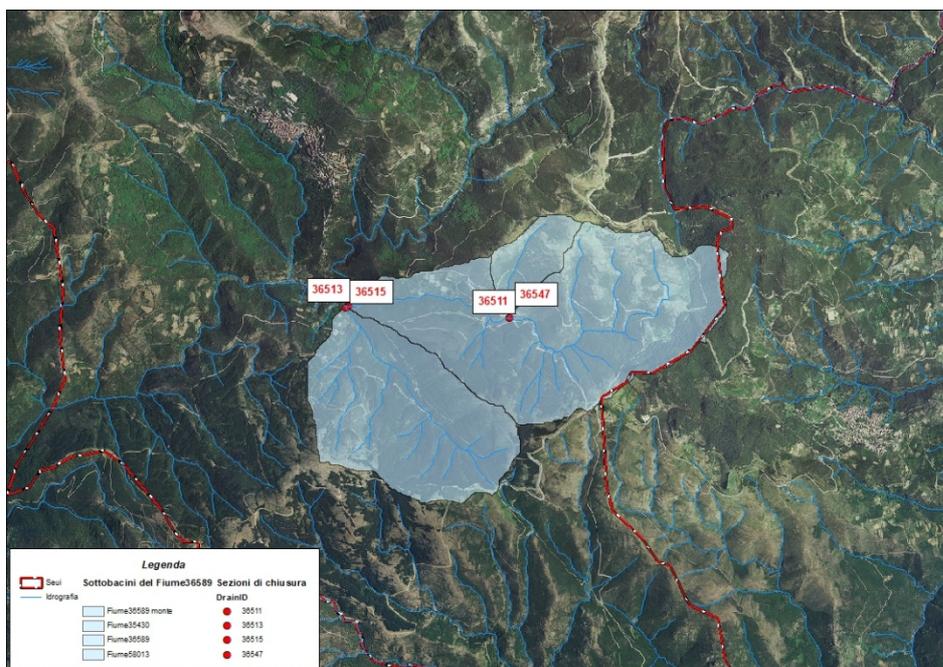


Fig. 2.2 : Sistema drenante minore

2.3.1 Caratteristiche del Fiume36589.

Questo bacino ha una forma approssimativamente ellissoidale, ha origine nella porzione sud-occidentale del territorio comunale, in località Monte Serafinu ad una quota di 1113 m s.l.m.. Occupa una superficie di 9,07 kmq, con una pendenza media del 0,37%. Ha uno sviluppo E-W che segue la direzione di flusso del corso d'acqua principale. L'asta principale è rappresentata dal Fiume36589, che ha una lunghezza di 5,8 km ed una pendenza media dello 0,07%.

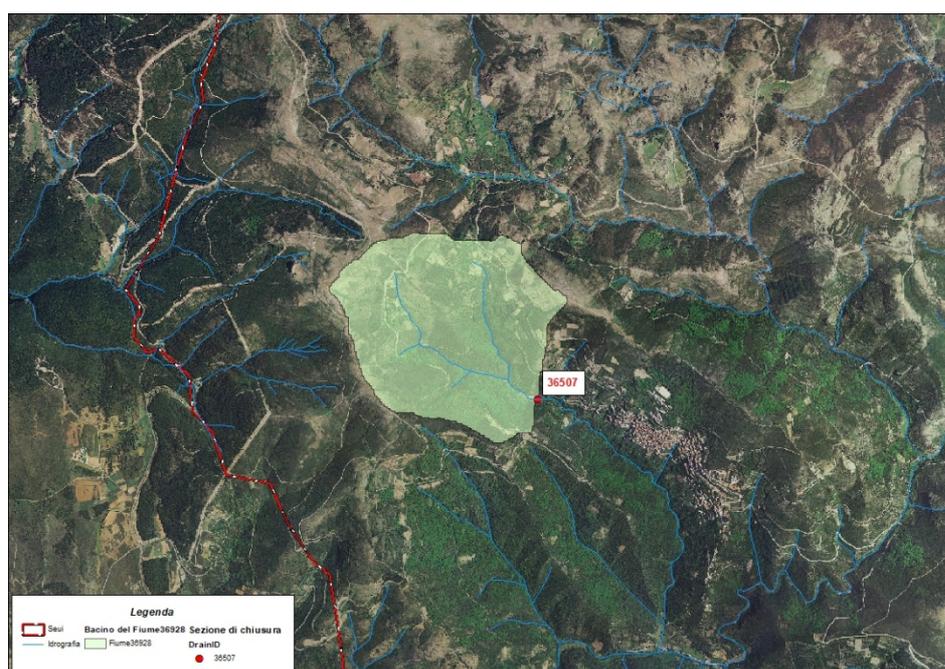


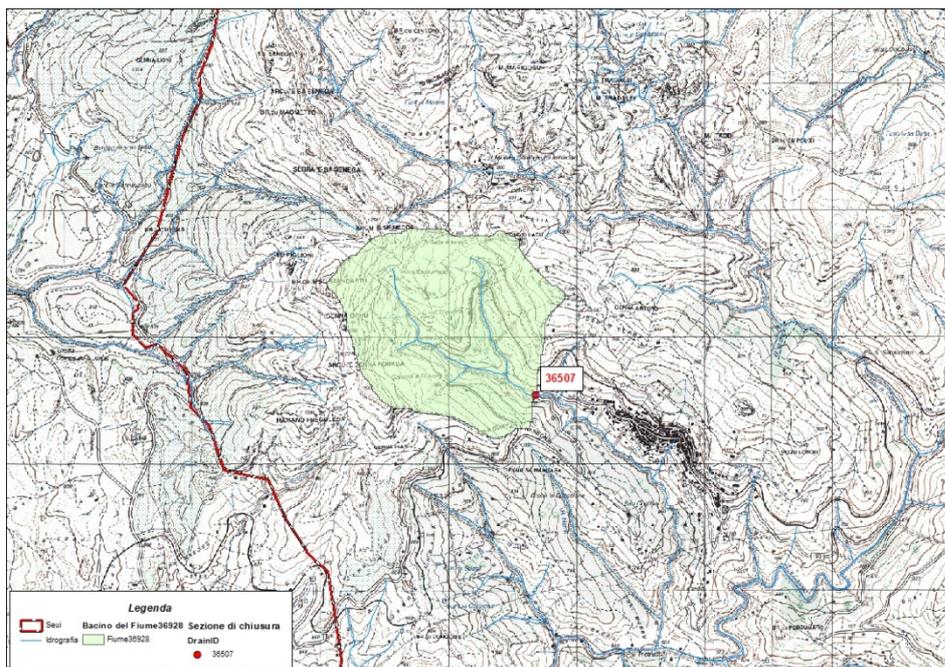
La seguente tabella consegna le caratteristiche principali del sistema.

<u>Codice sezione (D)</u>	<u>Nome rio</u>	<u>Superficie kmq</u>	<u>Quota minima m</u>	<u>Quota massima m</u>
36517	<i>Fiume_36589</i>	9,07	610,00	1113,37
36511	<i>Fiume_36589monte</i>	3,48	710,00	1111,00
36513	<i>Fiume_36589</i>	5,67	619,95	1111,00
36515	<i>Fiume35430</i>	3,22	619,51	1113,37
36547	<i>Fiume58013</i>	0,58	723,00	1028,00

2.3.2 Caratteristiche del Fiume36928.

Questo bacino ha una forma approssimativamente ellissoidale, ha origine nella porzione sud-occidentale del territorio comunale, in località Monte Serafinu ad una quota di 1113 m s.l.m.. Occupa una superficie di 9,07 kmq, con una pendenza media del 0,37%. Ha uno sviluppo E-W che segue la direzione di flusso del corso d'acqua principale. L'asta principale è rappresentata dal Fiume36589, che ha una lunghezza di 5,8 km ed una pendenza media dello 0,07%.





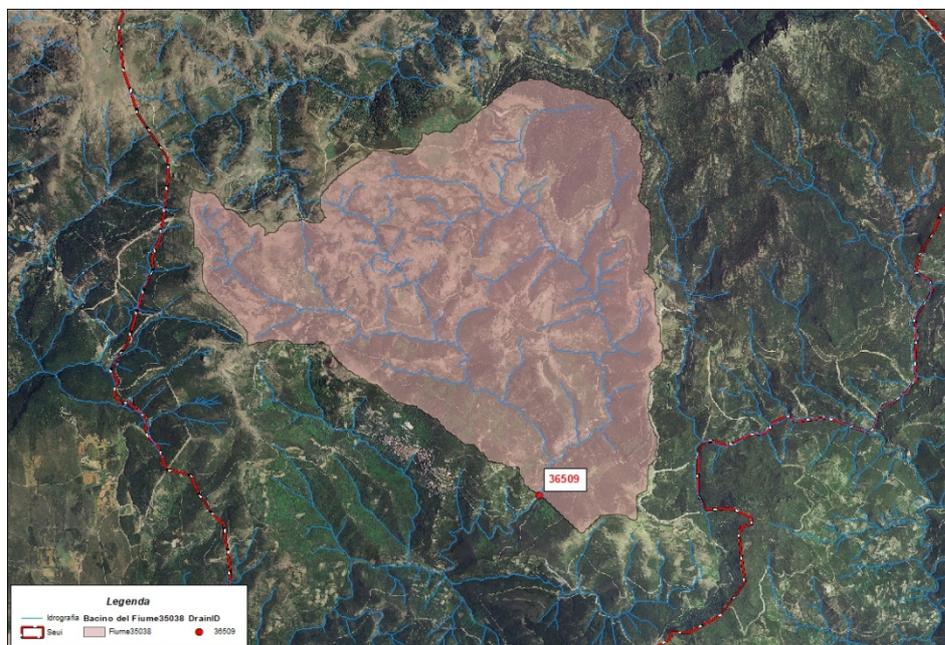
Bacino del Fiume 36928

<u>Codice sezione</u>	<u>Nome rio</u>	<u>Superficie kmq</u>	<u>Qminima [m slm]</u>	<u>Qmassima [m slm]</u>
36507	<i>Fiume 36928</i>	2,13	760,00	926,55

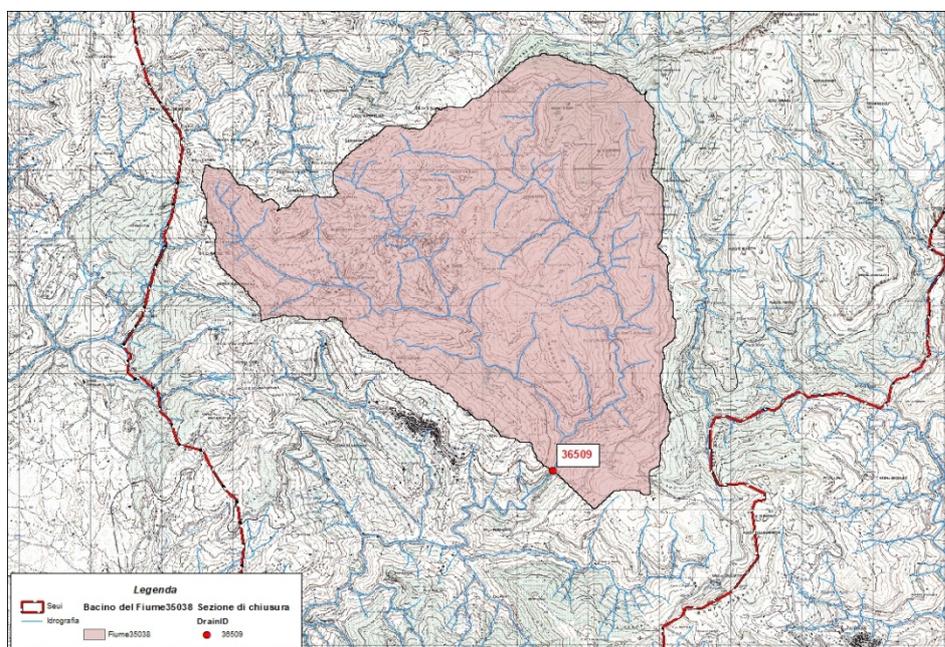
Elementi dimensionali del comparto drenante del Fiume 36928.

2.3.3 Caratteristiche del Fiume35038

Il bacino del Fiume35038 ha origine nell'area settentrionale del centro abitato, in località Funtana Su Meigu a 1194 m s.l.m., ed occupa la porzione centro-settentrionale del territorio comunale con una superficie di 25,29 Km², interessando unicamente aree montuose o boschive. L'asta principale è rappresentata dal Fiume35038.



Vista aerea del Bacino del Fiume35038



Bacino del Fiume35038

<u>Codice sezione</u>	<u>Nome rio</u>	<u>Superficie kmq</u>	<u>Qminima [m slm]</u>	<u>Qmassima [m slm]</u>
36509	<i>Fiume_35038</i>	25,29	679,44	1194,35

La valutazione della portata di massima piena, per un dato periodo di ritorno, in una data sezione di un corso d'acqua che drena una assegnata superficie di bacino, viene effettuata con metodologie diverse in relazione alla disponibilità dei dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica. In linea di massima si possono utilizzare:

- Metodi Diretti: elaborando, anche statisticamente, dati di portata disponibili per il corso d'acqua in esame;
- Metodi Indiretti: ricorrendo, per supplire all'insufficienza di dati di portata, a dati osservati su altri corsi d'acqua (idrologicamente simili) o sfruttando le informazioni pluviometriche e l'utilizzo di metodi di trasformazione afflussi-deflussi. Tra questi il più utilizzato è il metodo razionale;
- Formule empiriche: ricavate da vari Autori in funzione di informazioni idrologiche di bacini simili.

I primi prescindono dall'esame dell'influenza che i diversi fattori morfologici e climatici hanno sulla formazione dei deflussi di piena e si fondano sull'analisi probabilistica di una o più serie storiche di misura di portate di piena.

I secondi invece consentono la valutazione della portata di massima piena sulla base di parametri morfometrici del bacino imbrifero o sull'impostazione di un bilancio idrologico relativo all'evento di piena, in cui figura la precipitazione a cui è imputabile l'evento stesso. Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione nell'ipotesi che la frequenza di accadimento di questa ultima caratterizza quella della portata al colmo.

Nel considerare le metodologie usualmente adottate per la valutazione delle portate di piena per la Sardegna ci si può limitare a considerare tre tipi di approccio suggeriti dalle *“Linee guida per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”*:

- quello empirico basato sulla curva di inviluppo dei massimi eventi osservati, proposto da Sirchia ed aggiornato a fine anni '60 da Fassò;

- quello razionale, basato in genere su una schematizzazione in genere semplificata del processo di trasformazione afflussi-deflussi che nella sua usuale formulazione per la Sardegna utilizza le curve di possibilità pluviometrica date da Cao e da altri recentemente aggiornate;
- due metodi diretti applicati ai dati massimi annuali di portata al colmo. Il primo, introdotto dal Lazzari nel 1967, basato sulla distribuzione probabilistica Log-Normale, e il secondo, Two Components Extreme Values (TCEV), in base a studi più recenti, interpreta i fenomeni di piena con la distribuzione TCEV nella quale la probabilità di non superamento è data dalla combinazione di due distribuzioni esponenziali .

Considerando la poca disponibilità di osservazioni storiche di portata, e la necessità di stime in svariate sezioni idrologiche lungo i corrispondenti tronchi critici, si è scelto nel presente studio, l'utilizzo del metodo razionale per il calcolo della portata al colmo.

2.4. Determinazione della portata di piena: metodo razionale.

Il metodo razionale è l'espressione di un modello deterministico elementare a fondamento cinematico. Nell'applicazione del metodo si attribuisce implicitamente all'evento di piena la stessa probabilità dell'evento di pioggia e quindi il medesimo tempo di ritorno. La valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno, sulla base di uno schematico bilancio idrologico in regime di piena, è data dalla seguente relazione:

$$Q = i * ARF * \Phi * S$$

nella quale:

- Φ è il coefficiente di deflusso e rappresenta l'aliquota di precipitazione che, in occasione della piena, scorre in superficie;

- ARF (Areal Reduction Factor) è il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area ed esprime il rapporto tra l'altezza di pioggia media su tutto il bacino e l'altezza di pioggia in un punto al suo interno, valutati a parità di durata e di tempo di ritorno;
- S è la superficie del bacino;
- Tc è il tempo di corrivazione;
- i è l'intensità di pioggia, in funzione dell'altezza di precipitazione h(Tc) (espressa in mm), di un evento di durata pari a Tc per un assegnato tempo di ritorno.

3.3.1 Valutazione del tempo di corrivazione.

Il tempo di corrivazione di un punto del bacino è il tempo necessario perché la goccia d'acqua caduta in quel punto possa raggiungere la sezione di chiusura del bacino considerato.

Il tempo di corrivazione del bacino Tc è invece il tempo necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino.

Nell'individuazione del punto idraulicamente più lontano del bacino si è considerato ovviamente non solo la distanza planimetrica ma anche la quota del punto stesso.

Per la valutazione del tempo di corrivazione sono state proposte moltissime espressioni empiriche fra le quali sembrano particolarmente adatte alla Sardegna le seguenti:

Formula di Viparelli

$$T_c = \frac{L}{3.6 \cdot v}$$

dove:

- L è la lunghezza dell'asta principale;
- 3.6 è un fattore di conversione delle unità di misura;

- v è una velocità media di scorrimento.

Formula di Giandotti

$$T_C = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_o}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino;
- L è la lunghezza dell'asta principale;
- H_m è la quota media del bacino;
- H_o è la quota della sezione di chiusura.

Per piccoli bacini è più appropriata la seguente :

$$T_C = \frac{(1/Md)\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m}}$$

Dove M e d sono tabellati in funzione del tipo di copertura e della permeabilità.

Formula di Ventura

$$T_C = \frac{0.127\sqrt{S}}{\sqrt{i_m}}$$

dove:

- S è la superficie del bacino;
- i_m è la pendenza media dell'asta principale.

Di fatto, tuttavia, le espressioni empiriche precedenti forniscono, per il medesimo bacino, risultati spesso discordanti e, comunque, caratterizzati da ampi margini di incertezza. Recenti analisi sono state dedicate al tentativo di dedurre un metodo di stima del tempo di corrivazione dei bacini dell'Isola in base alle caratteristiche detti tracciati

idrometrografici. Sulla base dell'analisi di correlazione multipla per i valori relativi a 18 stazioni per quali si disponeva di base di dati sufficiente, si è ricavata la relazione:

Formula VAPI-Sardegna

$$T_c = 0.212 \cdot S^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m}{J_m} \right)^{0.289}$$

dove:

- S è la superficie del bacino;
- H_m è la quota media del bacino.;
- j_m è la pendenza dell'asta principale.

Per il bacino del Rio Betilli, l'applicazione delle formule sopra elencate ha condotto ai seguenti valori dei tempi di corrivazione:

Tempi di corrivazione bacino rio Betilli		
Viparelli	2.15	ore
Giandotti	3.34	ore
Ventura	2.26	ore
VAPI-Sardegna	6.34	ore
SCS	5.84	ore
Tc Utilizzato	2.26	ore

Tabella 3.1: tempi corrivazione [ore]

Per il calcolo della portata di piena relativa ad ogni bacino, è stato adottato il tempo di corrivazione riportato nell'ultima riga.

3.3.2 Valutazione del coefficiente ARF.

La stima di ARF, coefficiente di ragguglio delle piogge all'area, legata alla durata della precipitazione e alla superficie del bacino, è espressa da diverse formulazioni tra cui quella usata nel VAPI Sardegna che fa riferimento al Flood Studies Report - Wallingford Institute, UK 1977:

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

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

dove:

- T_C è il tempo di corrivazione.
- S è la superficie del bacino.

3.3.3 Valutazione dell'altezza di pioggia.

Per determinare l'altezza di pioggia è necessario conoscere la curva di possibilità pluviometrica. Per la Sardegna le più note sono quelle di: Deidda-Piga-Sechi; Piga-Liguori; Cao-Puddu. Di seguito viene illustrata la metodologia utilizzata nel presente studio e suggerita dalle "linee guida alle attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia dl. 180 e legge 267 del 3-08-1998".

3.3.3.1 Curva di possibilità pluviometrica di Deidda-Piga-Sechi.

Tale relazione è quella suggerita nelle "metodologie di analisi studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF)" che non è altro una versione più aggiornata di quella consigliata nelle "linee guida alle attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia dl. 180 e legge 267 del 3-08-1998".

L'altezza di pioggia $H(\tau)$ è data dalla curva di possibilità pluviometrica:

$$H(T_C) = (a_1 \cdot a_2) \cdot \tau^{(n_1 + n_2)}$$

dove i coefficienti a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g , con μ_g dipendente dalla posizione geografica del bacino. Il territorio di Seui è caratterizzato da un valore di μ_g variabile tra gli 80, 90 100 mm, con isoiete molto vicine tra loro che hanno portato alla scelta di un indice pari a **100 mm**.

$$a_1 = \mu_g / (0.886.24 n_1)$$

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

I coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti tempi di ritorno Tr , durata dell'evento meteorico τ e sottozona (SZO1, SZO2, SZO3) di appartenenza. Il Comune di Seui appartiene alla **SZO3** :

- per tempi di ritorno $Tr > 10$ anni

per la sottozona 3:

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

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

$$n_2 = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \log Tr \quad (\text{per } \tau \geq 1 \text{ ora})$$

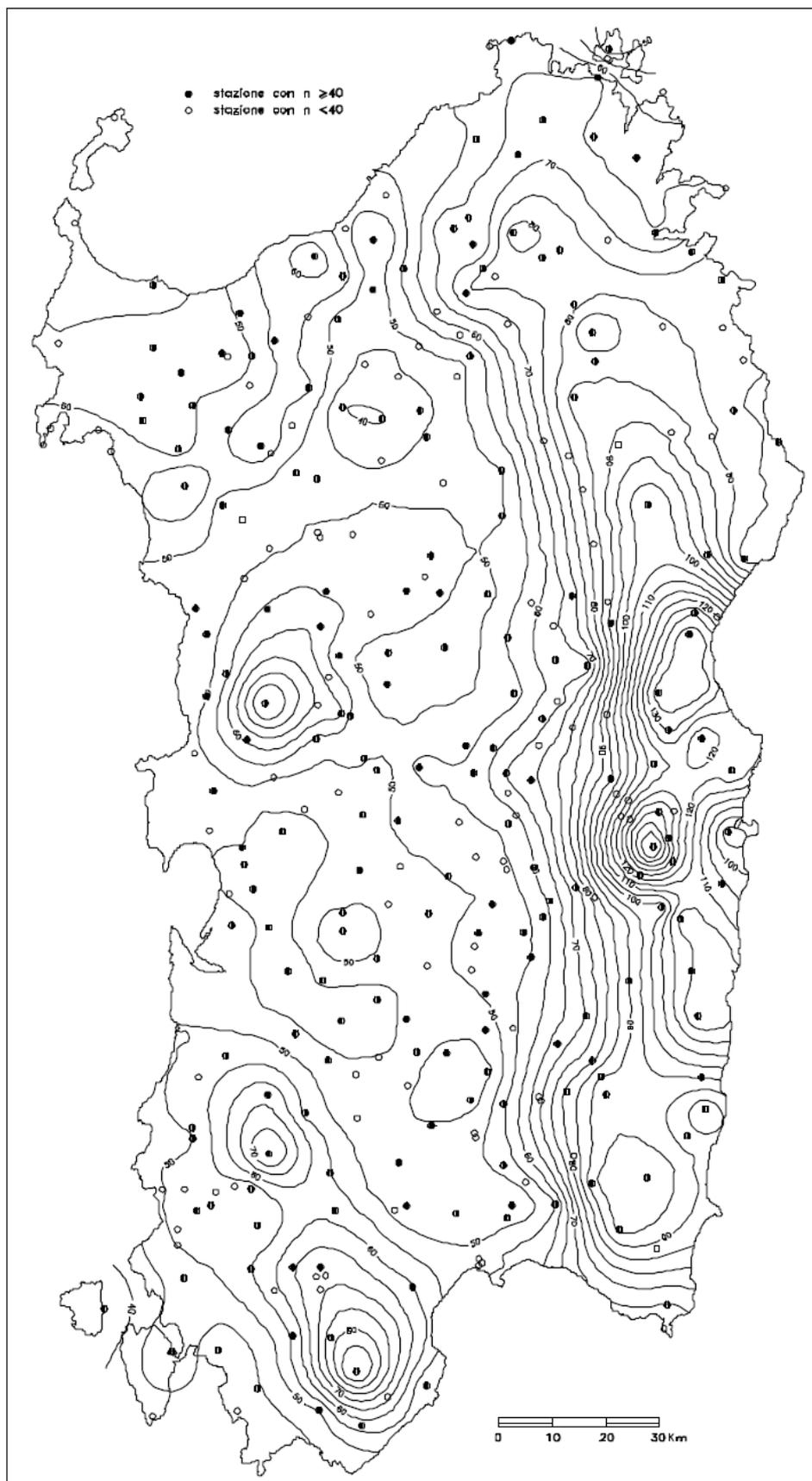


Figura 3.2. Carta delle piogge indice giornaliera

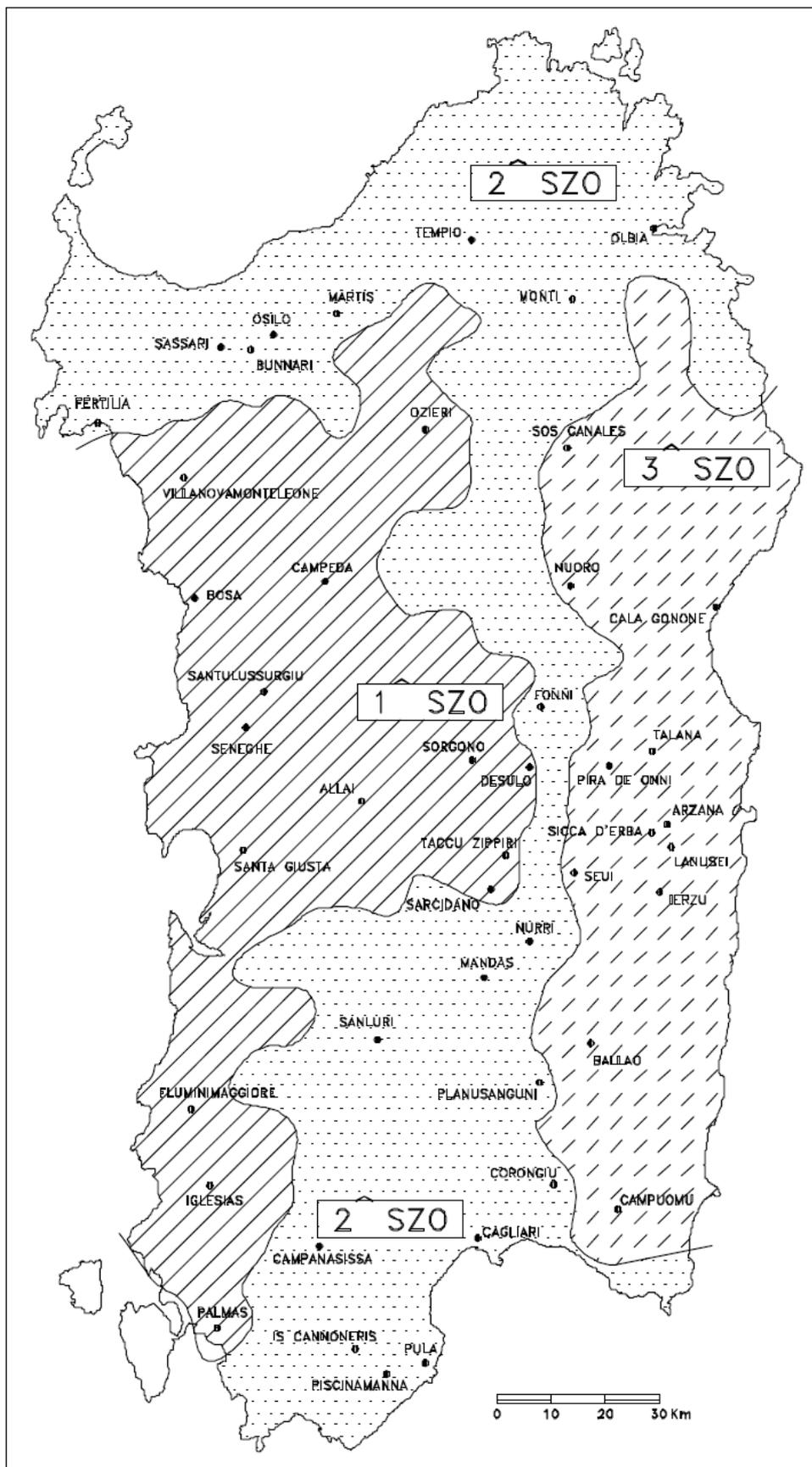


Figura 3.3. Carta delle sottozone

3.3.4 Valutazione del coefficiente di deflusso Φ .

Nell'applicazione della formula razionale merita particolare attenzione la valutazione del coefficiente di deflusso che viene definito come rapporto tra il volume d'acqua defluito attraverso la sezione terminale del bacino e il volume d'acqua caduto per precipitazione all'interno di tutto il bacino, ossia rappresenta il rapporto tra pioggia netta e pioggia totale. Esso dipende soprattutto dalla copertura vegetale, dalle caratteristiche del suolo e dalle relative condizioni iniziali di umidità diverse, in generale, da evento a evento.

In assenza di informazioni specifiche, si può valutare il coefficiente Φ nei svariati modi che la letteratura specializzata propone, di seguito è riportato quello suggerito dalle *"linee guida alle attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia dl. 180 e legge 267 del 3-08-1998"*.

Il metodo del Curve Number, elaborato dal Soil Conservation Service, prevede la determinazione del coefficiente Φ attraverso la relazione:

$$\Phi = \frac{(H - 0.2 \cdot S)^2}{H \cdot (H + 0.8 \cdot S)} \quad \text{con} \quad S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

Il valore di CN è legato alle caratteristiche del terreno e della copertura vegetale.

L'applicazione di questo metodo presuppone, oltre la conoscenza della precipitazione totale H, la stima del massimo invaso S del suolo che, teoricamente, può assumere tutti i valori positivi compresi tra 0 (superficie perfettamente impermeabile) a infinito (nessuna formazione di deflusso superficiale).

La valutazione di S, presuppone la stima del parametro CN, denominato curve number, che assume valori compresi tra 100 e 0. Il CN rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso e si stima, sulla base dei valori riportati nella Tabella 4.4.3, in relazione alle caratteristiche ideologiche dei suoli e di copertura vegetale presenti nel bacino. La stima del CN presuppone inizialmente la determinazione del gruppo ideologico di ciascun suolo ricadente nel bacino e, all'interno di ciascun gruppo, l'individuazione di aree omogenee per destinazione d'uso, sistemazione e condizione idrica. A ciascuna area

omogenea, di nota superficie, viene attribuito l'appropriato CN; il valore di CN dell'intero bacino si ottiene come media pesata, con peso la superficie, dei valori stimati per le singole aree omogenee.

Il metodo tiene anche conto delle condizioni di umidità del suolo antecedente all'inizio dell'evento AMC (Antecedent Moisture Condition). La definizione di AMC richiede la determinazione della precipitazione totale caduta dei cinque giorni precedenti l'evento in esame.

Nel caso si ricada nella condizione AMC I (secca) o in quella AMC III (umida) devono essere utilizzati i valori di CN corretti, utilizzando dei coefficienti correttivi.

USO DEL SUOLO	TIPO DI DRENAGGIO	CONDIZIONI IDROLOGICHE	TIPO DI TERRENO			
			A	B	C	D
<i>Terreno Residenziale</i>						
Zone urbane	85% impermeabile	qualsiasi	89	92	94	95
Zone industriali	72% impermeabile	“ “	81	88	91	93
Case a schiera	65% impermeabile	“ “	77	85	90	92
Ville isolate	25% impermeabile	“ “	54	70	80	85
Parcheggi	100% impermeabile	“ “	98	98	98	98
Parchi	75% a verde	“ “	39	71	74	80
Strade pavimentate	Con cunette e fognatura	“ “	98	98	98	98
Strade in macadam	---	“ “	76	85	89	91
Strade sterrate	---	“ “	72	82	87	89
<i>Terreno Agricolo</i>						
Prato stabile	---	qualsiasi	77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittocchino	Cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittocchino	Buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	Cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	Buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato	Cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato	Buone	59	70	78	81
Pascolo	---	Cattive	68	79	86	89
Pascolo	---	Discrete	49	69	79	84
Pascolo	---	Buone	39	71	64	80
Erbaio	---	qualsiasi	30	58	71	78
Terreno boschivo	---	Cattive	45	66	77	83
Terreno boschivo	---	Discrete	36	60	73	79
Terreno boschivo	---	Buone	25	55	70	77

Tabella 3.2a. Valori del CN in funzione delle caratteristiche idrologiche dei suoli e di copertura vegetale e per condizioni medie di umidità antecedenti l'evento (AMCII).

Classe	Valori di CN corrispondenti alle diverse classi AMC										
I	100	78	63	51	40	31	22	15	9	4	0
II	100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
III	100	96	91	85	78	70	60	50	37	22	0

Tabella 3.2b. Tabella di conversione per AMC I e III.

Gruppo	TIPO DI TERRENO
A	Suolo con alta capacità di infiltrazione, anche se già bagnato. Principalmente sabbia e ghiaia, con strati profondi e ben drenati.
B	Suolo con moderata capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Moderato drenaggio profondo. Tessitura da moderatamente fine a moderatamente grossolana
C	Suolo con piccola capacità di infiltrazione allorquando risultano bagnati. Solitamente presentano uno strato che impedisce il drenaggio verticale o possiedono una tessitura da moderatamente fina a fina.
D	Suolo con molto piccola capacità di infiltrazione. Principalmente argille con alto potenziale di rigonfiamento; suoli con livello di falda alto e permanente; suoli con strati argillosi in superficie; suoli poco profondi su strati impermeabili o semi-impermeabili.

Tabella 3.5. Caratteristiche dei gruppi di suolo.

Nel presente studio è stata ricavata la carta riportante il Curve Number per tutto il territorio comunale partendo dalle informazioni sull'uso del suolo, la litologia e la permeabilità come suggerito dalle *“metodologie di analisi studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di piano stralcio delle fasce fluviali (PSFF)”*. Di seguito la carta CN per il territorio in esame.

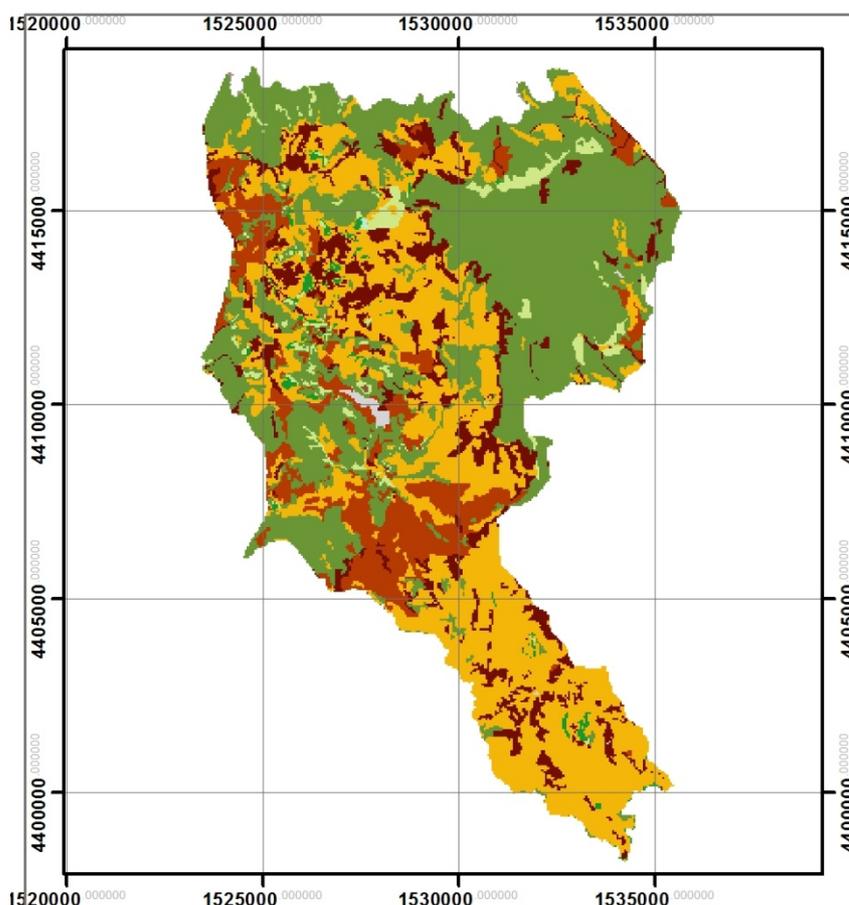


Figura 3.4. Carta del Curve Number per il territorio di Seui

Per il bacino è stato determinato il CN (classe AMC II) come media ponderale dei diversi CN che lo caratterizzano. Tale valore è stato poi utilizzato per la stima del CN in condizioni AMC III. Di seguito si riportano i valori stimati per i parametri descritti nei paragrafi precedenti:

CN (AMC II)	CN (AMC III)	ARF
74.24	86.89	0.8855

Tabella 3.6: parametri per la configurazione del sistema.

2.5. Risultati

Si è proceduto alla stima della portata, in mc/s, relativa al bacino per i quattro tempi di ritorno da utilizzare per implementare il modello idraulico del tratto di studio. Di seguito sono riportati i risultati ottenuti.

Tabella 3.8: portate in mc/s.

Tempi di ritorno [anni]	Portata [mc/s]
50	307.08
100	373.49
200	441.37
500	532.87

2.6. Determinazione della portata di piena dei bacini minori

Per i bacini secondari del territorio comunale di Seui, la portata al colmo è stata definita tramite il metodo del contributo unitario.

Comparto Drenante di riferimento	Codice Sezione (D)	bacino					asta		Hg _{media}	CN	
		Area [kmq]	H _{chiusura} [m]	H _{massima} [m]	H _{media} [m]	P. _{media} %	L [km]	P. _{media}	[mm]	II cat	III cat
Fiume36589	36511	3,48	710,00	1111,00	883,33	0,39	3,54	0,08	82,0	93,0	97,0
	36513	5,67	619,95	1111,00	835,24	0,46	5,60	0,07	80,0	93,0	97,0
	36515	3,22	619,51	1113,37	801,31	0,43	3,40	0,11	75,0	93,0	97,0

	36547	0,58	723,0	1028,0	885,0	0,45	1,03	0,15	80,0	93,0	97,0
<i>Fiume36928</i>	36507	2,13	760,0	1117,78	926,55	0,33	2,30	0,15	70,0	93,0	97,0
<i>Fiume35038</i>	36509	25,29	679,44	1194,35	984,74	0,17	9,73	0,05	85,0	93,0	97,0

Elementi morfologici di bacino e indicazioni idrologiche.

Comparto Drenante di riferimento	Codice Sezione (D)	Area	Pasini	Giardotti	Viparelli	Ventura	Pezzoli	Puglisi	Tournon	Salis Secchi	Valore adottato
<i>Fiume36589</i>	36511	3,48	0,88	1,21	0,76	0,84	0,69	1,89	1,12	2,64	0,69
	36513	5,67	1,29	1,53	1,20	1,15	1,16	2,40	1,24	2,76	1,15
	36515	3,22	0,72	1,14	0,73	0,69	0,56	1,72	0,99	2,45	0,56
	36547	0,58	0,23	0,45	0,22	0,25	0,15	0,91	0,46	1,67	0,15
<i>Fiume36928</i>	36507	2,13	0,47	0,90	0,49	0,48	0,33	1,47	0,92	2,50	0,33
<i>Fiume35038</i>	36509	25,29	3,03	2,48	2,08	2,86	2,39	3,41	4,27	5,45	2,08

Comparto Drenante di riferimento	Codice Sezione (D)	Area	Portata Tr 50	Portata Tr100	Portata Tr 200	Portata Tr 500
<i>Fiume36589</i>	36511	3,48	52,16	59,98	67,81	78,26
	36513	5,67	68,61	79,82	91,06	105,97
	36515	3,22	49,31	56,27	63,24	72,58
	36547	0,58	13,58	14,87	16,20	18,15
<i>Fiume36928</i>	36507	2,13	39,69	44,52	49,37	56,01
<i>Fiume35038</i>	36509	25,29	212,59	245,57	278,55	322,11

Quadro di sintesi dei tempi di corrivazione determinati per valori di Tr=50 anni

Indicazione delle valutazioni di piena determinate con il metodo indiretto.

ANALISI IDRAULICA

CONSIDERAZIONI GENERALI

L'analisi degli effetti dei deflussi sul territorio, legati ad eventi di particolare rilevanza sul reticolo idrografico interno al territorio comunale, è stata

effettuata rilevando il comportamento che le portate veicolate internamente al reticolo idrografico hanno con le aree di pertinenza fluviale.

CORSI D'ACQUA PRINCIPALI

Come per l'analisi idrologica, anche in quella idraulica sono state utilizzate opportune schematizzazioni e semplificazioni che mirano a produrre un approccio modellistico del fenomeno che possa tradursi in una procedura di calcolo.

La trasposizione dell'evento meteorico e conseguentemente di piena sul territorio è descritta attraverso la modellazione della propagazione della piena sul reticolo idrografico.

In questa fase sono svariate le semplificazioni che vengono assunte: in primo luogo di carattere modellistico, assumendo valide le ipotesi di base dell'equazione di de Saint Venant, e quindi ritenendo in prima stesura che l'alveo sia un cilindroide, che il moto sia gradualmente variato, che durante l'evento di piena la sezione si mantenga immutata come forma e come caratteristiche di scabrezza, e infine che il fluido trasportato si comporti come un fluido newtoniano. Il codice di calcolo utilizzato introduce dei parametri correttivi, che in qualche maniera danno ragione alle semplificazioni adottate in fase di calcolo dei livelli idrici durante lo sviluppo longitudinale dell'asta. Il modello idraulico è stato realizzato utilizzando le informazioni desunte dalla cartografia disponibile (dtm 10 m e dtm 1 m) supportata da ulteriori indagini in situ. La simulazione del deflusso idraulico sul modello generato dalle informazioni cartografiche ha definito un profilo di corrente per ogni portata di calcolo.

L'impronta dell'allagamento è definito dal luogo dei punti che in ogni sezione si trovano al di sotto dell'altezza idrica calcolata. In fase di modellazione si è operato valutando l'andamento dei profili idrici su più sezioni attigue effettuando sostanzialmente una media mobile ed eliminando i valori

decisamente anomali. Inoltre, si è osservato se le aree esondate potessero o meno rientrare in alveo: laddove non risultasse possibile il rientro in alveo si è confermata un'area di esondazione anche laddove la sezione risultasse idonea. In ultima analisi, si è cercato di dare una giustificazione globale alle aree coinvolte dagli allagamenti valutando sulla base delle informazioni locali il comportamento delle portate di piena in occasione di eventi di rilievo, consentendo indubbiamente di realizzare una calibrazione dei modelli idraulici prodotti.

METODOLOGIA UTILIZZATA

In ottemperanza a quanto disposto dalle Linee Guida del PAI, l'analisi verrà condotta in condizioni di moto permanente per le portate di piena con tempi di ritorno 50, 100, 200, 500 anni.

Nella valutazione delle aree di esondazione si è operato secondo la metodologia di seguito descritta.

Si è realizzato un modello idraulico del terreno nel quale fossero ben definite le sezioni trasversali (transetti), l'andamento planimetrico dell'alveo e la presenza di opere di attraversamento; le caratteristiche di cui sopra definiscono l'andamento planoaltimetrico del rio e conseguentemente le sue caratteristiche geometriche. In una seconda fase, sulla base della presenza di vegetazione, o sulla base delle caratteristiche del materiale presente in alveo, si è attribuito il coefficiente di scabrezza.

L'analisi in condizioni di moto permanente necessita della definizione della condizione a contorno di monte e della definizione a contorno di valle; premettendo che da un'analisi di sensitività si è osservato che generalmente questo parametro, se scelto con criterio, non produce particolari variazioni dei livelli idrici già dopo alcuni metri, si è ritenuto cautelativo assumere per le due condizioni l'ipotesi di altezza di moto uniforme.

IL MODELLO DI CALCOLO

Il modello idraulico utilizzato in questo studio, denominato HEC-RAS, nella sua versione 4.0, è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; il modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua in condizioni di moto stazionario e non stazionario.

Questa scelta è stata fatta per ragioni di coerenza con il PAI che ha individuato e perimetrato le aree a rischio idraulico utilizzando questo codice di calcolo. Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo quali ponti, briglie, paratoie che influenzano le caratteristiche della corrente ecc.

Moto permanente

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo l'equazione del bilancio energetico,

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_e \quad (1)$$

dove:

Y_1 e Y_2 sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;

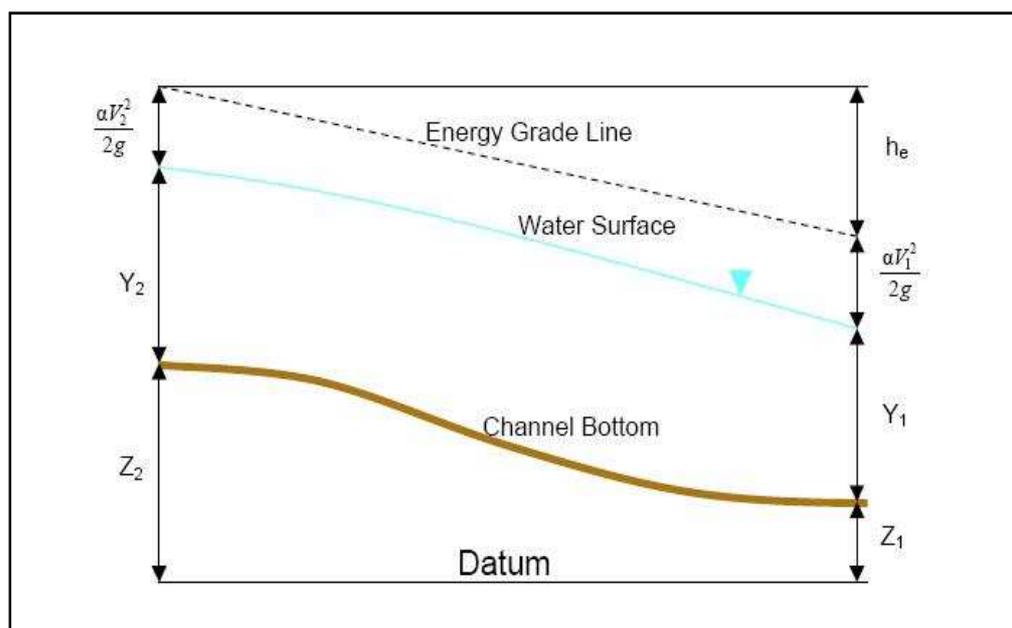
Z_1 e Z_2 sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;

V_1 e V_2 sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale

considerato;

α_1 e α_2 sono coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche;

h_e è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.



Il termine h_e dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Si può valutare mediante la seguente relazione:

$$h_e = L \cdot \overline{S_f} + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

L è la lunghezza del tronco considerato;

$\overline{S_f}$ è la cadente media tra le due sezioni;

C è il coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine rappresenta la perdita totale per attrito, prodotto tra la distanza tra le due sezioni e la cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante.

Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente C varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta e veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione.

Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni.

Il metodo del bilancio energetico (metodo standard step), tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

IN una prima fase di analisi sono state valutate le aree di pericolosità idraulica del Fiume Flumendosa e del Rio Betili.

Ne primo caso il Flumendosa ripercorre per una lunghezza di circa 14 Km il limite amministrativo con il comune di Arzana, Si tratta di aree prive di insediamenti , il fiume scorre all'interno di una valle contenuta e non si ravedono aree di esondazione di rilevante estensione. Il modello idraulico è stato implementato con 39 sezio0ni che ripercorrevano a geometria del sistema



Figura 1 Modello Fiume Flumendosa

Il Rio Berrile si estende in direzione NE- SO attraversando anc'èesso aree prive di insediamenti e privo di intersezioni con antropizzazioni d rilievo eccezion fatta con il ponte sulla SS 198; il tratto più mpontano della modellazione include anche i rii Bau Is Corruttus e Rio Marausala. Complessivamente il modello idraulico è stato definito attraverso

l'implementazione di 47 sezioni che hanno ricoperto uno sviluppo longitudinale del modello di oltre dodici chilometri. L'assenza di un modello digitale del terreno di dettaglio ha comportato l'utilizzo del solo DTM passo 10 m fornito dalla Regione Sardegna. L'acclività delle valli e del corso d'acqua rendono tuttavia trascurabile gli effetti dell'approssimazione del dato principale sugli effetti idrodinamici della corrente.

In sponda sinistra, a circa 7Km dall'origine del modello del rio Bettili è stato definito il modello idraulico del Rio Ollastu e del suo affluente Funtana e Cuccu. Gli elementi idrici indagati hanno uno sviluppo poco superiore ai 2.5 Km. Anche in questo caso si tratta di elementi idrici che attraversano valli decisamente acclivi e che determinano un contenimento delle aree di espansione. L'unica situazione che può evidenziare una possibile allargamento delle aree di esondazione riguarda evidentemente le aree di confluenza tra gli elementi idrici. La successiva immagine colta su ortofoto 2006 individua i tratti idrici analizzati

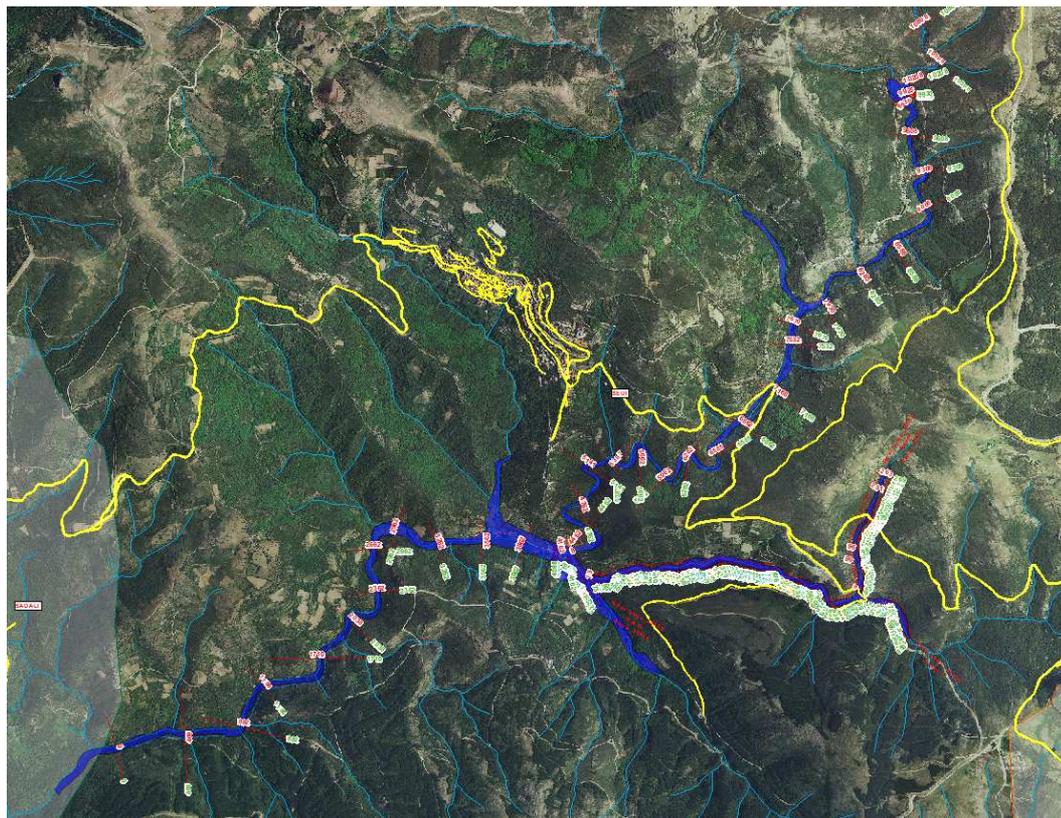


Figura 2 Modello idraulico del Rio Butili e suoi affluenti

Un ulteriore livello vincolistico è stato introdotto con Secondo quanto indicato all'Art. 30 Ter per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

La cartografia allegata consegna l'involuppo tra la pericolosità idraulica studiata e il livello di vincolo determinato dall'art. 30 ter.

La successiva tabella consegna il livello profondità dell'are di vincolo in funzione della gerarchizzazione del reticolo idrografico

ordine gerarchico (numero di Horton- Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400

Conclusioni

L'analisi del territorio non ha evidenziato particolari condizioni di criticità legate essenzialmente a scenari di trasporto liquido. I corsi d'acqua sono spesso contenuti all'interno delle valli confinate e non evidenziano condizioni di allagamento di rilevante entità. Tuttavia si pone l'accento sulla sensibilità del territorio determinata da condizioni di forte acclività che possono indurre una concomitanza di effetti legati al trasporto liquido e solido.

Si pone inoltre l'accento sul livello di attenzione da porre in corrispondenza degli attraversamenti, dove azioni idrodinamiche possono indurre fenomeni di localizzata criticità che in taluni casi non sono concomitanti ad eccezionali livelli idrici.

L'intero reticolo idrografico interno al territorio comunale, indipendentemente dalla presenza di aree di pericolosità e di quanto indicato all'art. 30 ter delle NTA del PAI è soggetto anche alle norme richiamate in materia di difesa idraulica ed in particolare dal Testo Unico sulle Acque(R.D.1904).