Ing. Arianna Melis
Via Marco Polo 67 - Nuoro
ariannamelis@hotmail.com
arianna.melis@ingpec.eu
Cell. 3490657727

Ing. Carla Maria Antonia Attene
Via Malfidano 5 - Cagliari
carlattene@hotmail.com
carlamariaantonia.attene@ingpec.eu
Cell. 3404051463

COMUNE DI POSADA

Provincia di Nuoro

Studio idrologico e idraulico di dettaglio finalizzato all'individuazione di aree a pericolosità idrauliche non individuate nell'ambito dell'adeguamento del PUC al PAI

VARIANTE AL PAI

Relazione tecnico - illustrativa

ALLEGATO

A

Tecnici incaricati:

Dott. Ing. Arianna Melis

Dott. Ing. Carla Maria Antonia Attene

Committente: Comune di POSADA

Data: Luglio 2016

INDICE

Premessa **2**

1. Inquadramento geografico e descrizione dell'area **4**

2. Studio idrologico e Idraulico **6**

2.1 Analisi Idrologica **6**

2.1.1 **Determinazione** ***delle caratteristiche morfometriche dei bacini e dei tempi di corrivazione*** **7**

2.1.2 **Determinazione** ***delle altezze di precipitazione*** **11**

2.1.3 Determinazione del coefficiente di deflusso **15**

2.1.4 Determinazione delle portate **19**

3. Analisi Idraulica **20**

3.1 Analisi idraulica Rio San Simone **23**

3.2 Reticolo minore **23**

4. Conclusioni **26**

Premessa

A seguito di incarico conferito dall'Amministrazione Comunale di Posada alle scriventi ingg. Arianna Melis e Carla Maria Antonia Attene, si predispone la seguente Variante al PAI, nel dettaglio quello elaborato nell'ambito dell'adeguamento del PUC al PAI (ai sensi dell'art. 8 comma 2) approvato con Deliberazione n. 5 del 24.11.2010 del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino.

Ai comuni per il quale è già stato approvato, con deliberazione del Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino, lo studio dell'assetto idrogeologico dell'intero territorio comunale, ai sensi dell'art. 8 c. 2, è stato riconosciuto, con Deliberazione n. 44/11 del 7.11.2014, un contributo destinato al completamento di tale studio ai fini della redazione della variante al P.A.I., sia parte idraulica che geomorfologica. La parte geologica è in corso di approvazione presso gli uffici dell'Agenzia di Distretto Idrografico.

Per quanto concerne la Variante della parte idraulica si evidenzia che il Piano di Gestione Rischio Alluvioni, adottato con Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 1 del 30/07/2015, ha acquisito le aree già individuate dal PAI, dal Piano stralcio delle fasce fluviali, dagli studi a livello locale ex art. 8 NTA del PAI e le aree interessate dall'evento alluvionale "Cleopatra"; e le ha ricondotte alle tre classi di pericolosità previste dalla Direttiva alluvioni. Poiché l'Amministrazione di Posada non intende procedere a procedure di deperimetrazione rispetto agli strumenti vigenti, avendo il PGRA prodotto le classi del Danno e del Rischio e individuato gli interventi di mitigazione relativamente al reticolo principale (Scenari di intervento), la Variante di cui questa relazione rappresenta l'elaborato principale consisterà nelle seguenti procedure:

- Individuazione di nuove aree a pericolosità idraulica;
- Schede degli interventi di mitigazione del rischio idraulico.

Lo studio che segue viene predisposto sulla base dell'applicazione delle Norme di Attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico, redatte nel giugno 2003 - *aggiornate con Delibera G.R. n° 54/33 del 30 dicembre 2004 e approvate con Decreto del Presidente della Giunta n° 67 del 10 luglio 2006, aggiornate ulteriormente con DPR n. 148 del 21 marzo 2008 e ultimamente con DPR n. 148 del 26 ottobre 2012* - e in particolare in ottemperanza dell'articolo 37 comma 2 e 3. Quest'ultimo in particolare definisce che "*Sono tra gli altri motivi di eventuali varianti del PAI:*

(…)

b) studi a scala di maggior dettaglio eseguiti da enti territoriali ed enti locali;

c) nuovi eventi idrogeologici o emergenze ambientali;

(…)

e) istanze motivate e puntuali di amministrazioni pubbliche supportate da adeguata documentazione;

f) nuove informazioni derivanti da attività di monitoraggio e studi di settore."

La necessità di proporre una Variante al PAI proposto nell'ambito dell'adeguamento del PUC al PAI è nata a seguito del verificarsi di nuovi eventi idrogeologici (Evento Cleopatra) e dall'acquisizione di nuove informazioni derivanti da attività di monitoraggio, nuove progettazioni impostate su dati geometrici di maggior dettaglio. I particolare, alla data odierna, l'Amministrazione Comunale è in possesso del DTM con passo 1 m (LIDAR) fornito dal *Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare - Direzione Generale per la Tutela del territorio e delle risorse idriche* il cui utilizzo ha condotto a delle risultanze differenti rispetto a quelle ottenute nell'ambito dei precedenti studi. In particolare, in occasione di progettazioni e studi condotti in prossimità di alcune aste fluviali, sono emerse nuove criticità idrauliche che l'Amministrazione Comunale ha ritenuto di voler approfondire al fine di vincolare le aree interessate da potenziali pericolosità a tutela della pubblicità incolumità, per migliorare la conoscenza del territorio a supporto delle attività di prevenzione e pianificazione e gestione del rischio.

L'area interessata dalla Variante si inquadra in sinistra idraulica del Rio Posada e interessa in particolare tutto il tracciato del Rio San Simone interno al limite comunale di Posada, e alcune delle aste del reticolo minore, affluenti in destra e in sinistra idraulica dello stesso Rio San Simone (Fiume_100221 e Fiume_94989). In occasione degli ultimi eventi alluvionali, soprattutto nell'intorno dell'intersezione con la SS 131 DCN, si sono registrate esondazioni ed allagamenti con conseguenti danni alle infrastrutture viarie e ai manufatti e alle aziende agricole prossime ai corpi idrici oggetto di studio.

1. Inquadramento geografico e descrizione dell'area

L'area oggetto del presente studio, si inquadra nel Foglio 463 della Carta Tecnica della Sardegna (Sez. 090) in scala 1:10.000 (Fig.3) e nel Foglio 463 della carta dell'I.G.M. in scala 1:25.000.

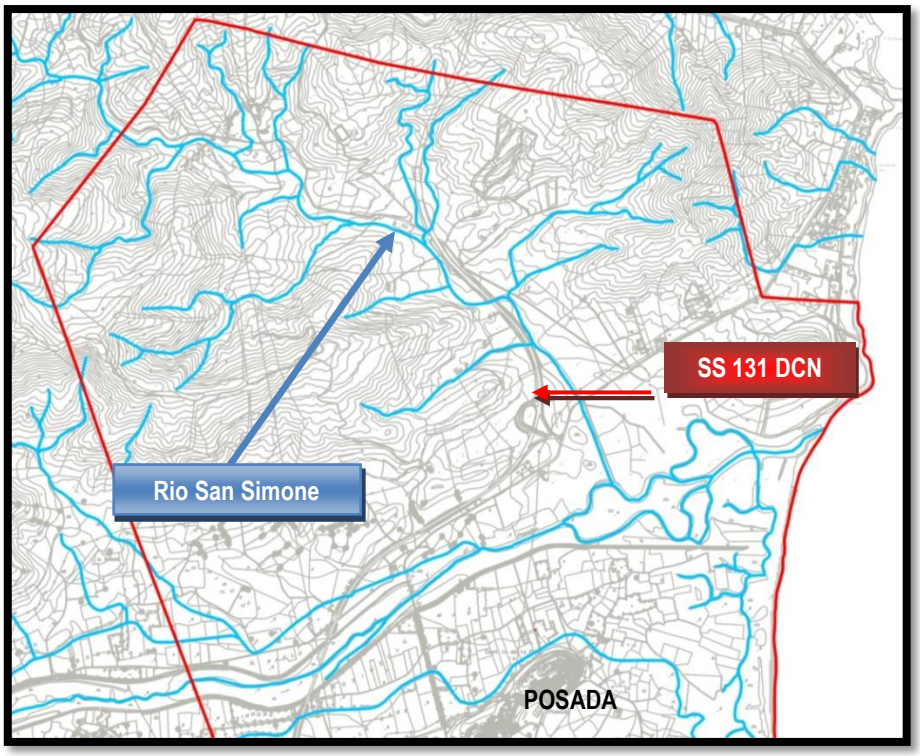

Figura 1 - Inquadramento nella Carta Tecnica Regionale Foglio 463 Sez 090

Figura 2 – Inquadramento foto aerea

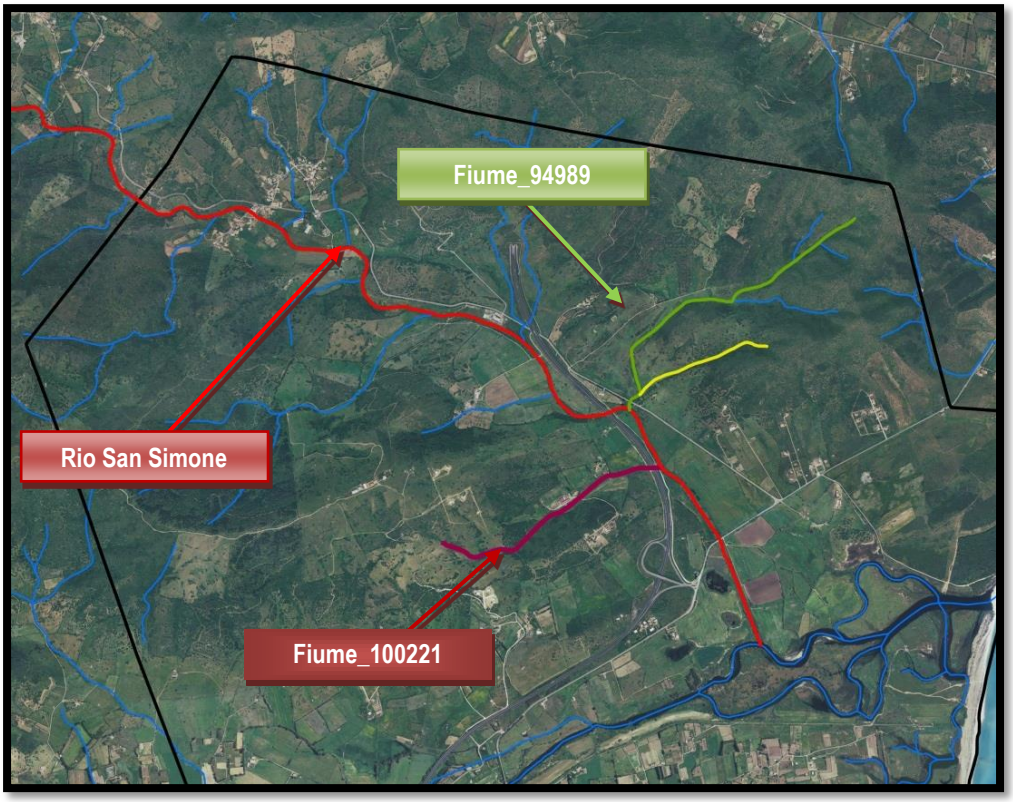

Figura 3 – Indicazione aste oggetto di studio

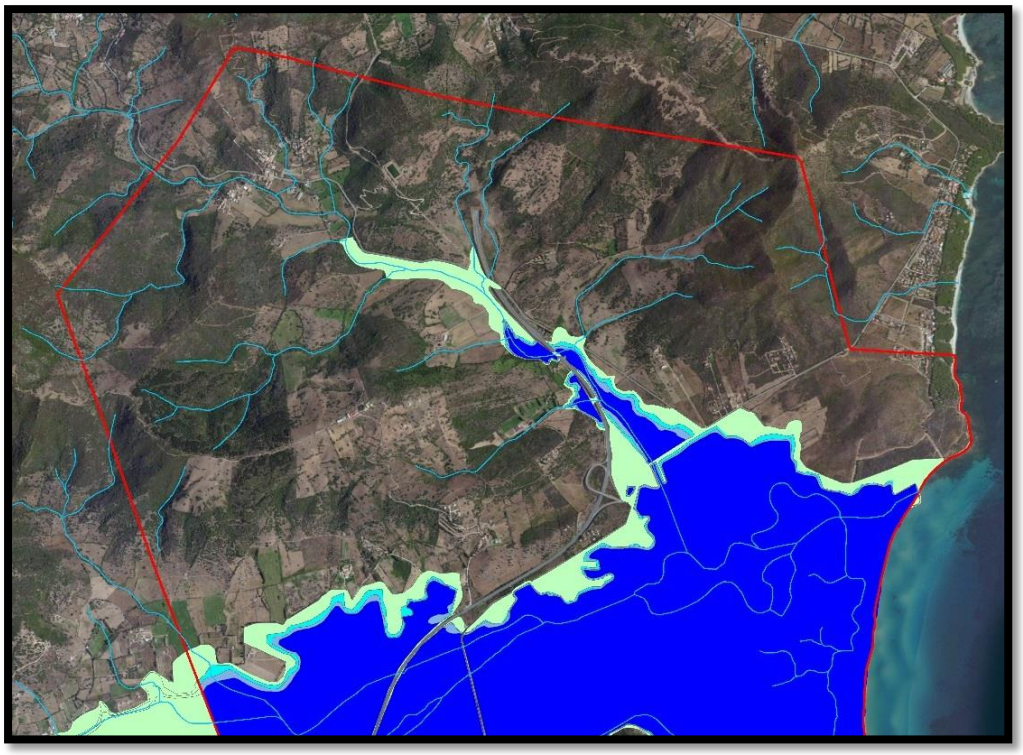

Figura 4 – Mappa della pericolosità vigente PGRA

2. Studio idrologico e Idraulico

2.1 Analisi Idrologica

La definizione di un modello idrologico si basa sull'applicazione di una specifica metodologia di calcolo e si propone di esaminare la risposta del bacino ad eventi di pioggia ad elevata intensità e breve durata al fine di poter valutare le portate di piena nelle sezioni di interesse e per i previsti Tempi di Ritorno indicati dal Piano per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (P.A.I.) di 50, 100, 200 e 500 anni.

I metodi di stima della portata ad assegnata frequenza dipendono da vari fattori, primi fra tutti la disponibilità di dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica. In relazione ai dati disponibili, la letteratura evidenzia diverse metodologie che possono essere raccolti in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di Metodi Diretti; la seconda come Metodi Indiretti, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente da valori di portate osservate ovvero indirettamente dalla precipitazione meteorica tramite trasformazione afflussi–deflussi.

In accordo con quanto riportato nelle Linee Guida del PAI per la stima della portata al colmo si procede tramite metodologia indiretta. Tale stima verrà effettuata attraverso l'applicazione della "Formula Razionale":

$$Q = r(A,d) * \frac{\Psi \cdot h_{T_c} \cdot A}{3.6 \cdot T_c}$$

dove:

T_c = Tempo di Corrivazione del bacino in esame;

h_{tc} = altezza di pioggia critica, relativa ad un evento di precipitazione intensa della durata pari al Tempo di Corrivazione;

A = area del bacino nella sezione di chiusura;

Ψ = coefficiente di deflusso; il coefficiente tiene conto di tutte le cause che intervengono nel processo di trasformazione afflussi – deflussi e si comporta come riduttore del deflusso in dipendenza dallo stato di umidità del suolo, dall'infiltrazione, dalla pendenza del bacino, dalla relativa forma e dimensione, dalla presenza di invasi superficiali, ecc.

r(d,A)= coefficiente di ragguaglio funzione della superficie che :

$r(A,d) = 1 - (0{,}0394 * A^{0{,}354}) * d^{(-0{,}40+0{,}0208*\ln(4{,}6-\ln(A)))}$ se A<20 kmq;

$r(A,d) = 1 - (0{,}0394 * A^{0{,}354}) * d^{(-0{,}40+0{,}003832*(4{,}6-\ln(A)))}$ se A>20 kmq.

2.1.1 Determinazione *delle caratteristiche morfometriche dei bacini e dei tempi di corrivazione*

Lo studio ha richiesto una dettagliata analisi territoriale che date le caratteristiche dei bacini e della rete di drenaggio ha permesso di desumere la distribuzione spaziale dei parametri morfometrici e ottenere i risultati idrologici. I dati spaziali relativi al territorio in esame a disposizione dello studio vengono riportati di seguito:

- DTM con mesh di 1 metro (rilievo LIDAR) fornito dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM);
- Carte Tecniche Regionali in scala 1:10.000 in formato vettoriale;
- Reticolo idrografico 04_ELEMENTO_IDRICO.shp del DBGT_10k_Versione 0.1 fornita dalla Regione Sardegna,
- Ortofoto della Regione Sardegna (2008);
- Uso del Suolo della Regione Sardegna (Corine Land Cover - anno 2008);
- Aerofotogrammetrico 1:1000 e 1:4000 messo a disposizione dal Comune di Posada;
- Rilievi di dettaglio effettuati in sito.

L'assemblaggio, l'analisi e l'elaborazione dei dati che hanno portato alla definizione delle caratteristiche del bacino sono stati effettuati mediante l'utilizzo di un software GIS specifico che permettesse la gestione dei vari dati spaziali in formati differenti e quindi l'estrazione dei parametri su menzionati e elencati di seguito:

S [km^2]	superficie del bacino
L [m]	lunghezza dell'asta
h_M [m]	altitudine media
h_{Max} [m]	altitudine massima
h_{Min} [m]	altitudine minima
h_0 [m]	altitudine alla sez di chiusura
J_m [%]	pendenza media del bacino
i_m	pendenza media asta

Tab 1 – Parametri morfometrici

Nel dettaglio, l'analisi idrologica è stata eseguita relativamente al bacino idrografico dei seguenti corsi d'acqua:

- Riu San Simone
- Fiume_100221 e Fiumi 94989.

Sono state poi individuate ulteriori sezioni di chiusura in corrispondenza degli attraversamenti e delle confluenze.

Di seguito si riporta la delimitazione di tutti i bacini idrografici relativi ai corsi d'acqua in studio:

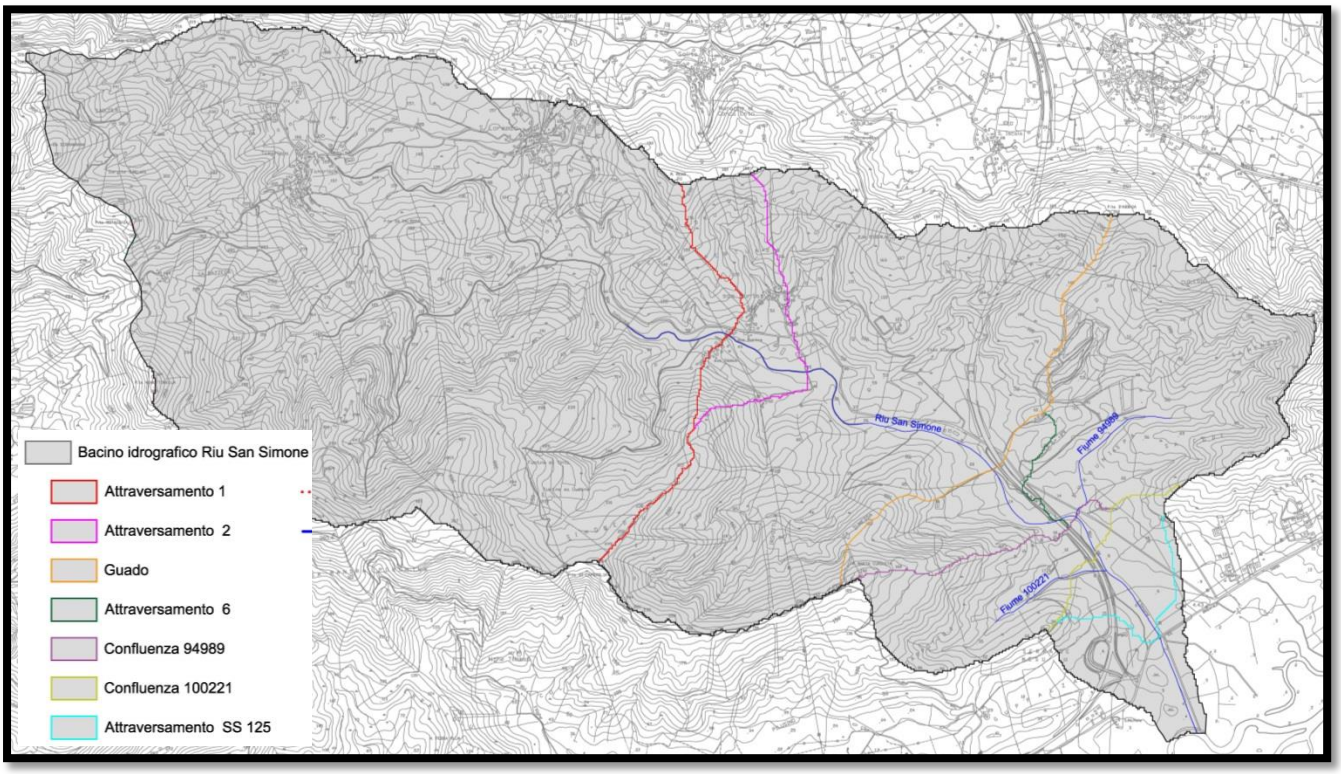

Figura 5 – Stralcio Tavola dei bacini idrografici con l'indicazione delle sezioni di chiusura – Rio San Simone

I dati morfometrici relativi ai suddetti bacini sono stati estrapolati in ambiente GIS. Di seguito si riportano le tabelle riassuntive contenenti i parametri ottenuti per i bacini afferenti alle varie sezioni di controllo individuate nei vari corsi d'acqua:

<u>Riu San Simone</u>

Bacino San Simone	Attr 1	Attr 2	Guado	Attr 6	Confl 94989	Confl 100221	Attr SS 125	Totale
S [km^2]	8.91	9.52	13.57	14.14	16.08	16.83	17.20	17.61
L [m]	5320	5875	7333	7936	8035	8278	8911	9537
h_M [m]	201.30	194.37	176.78	162.61	154.13	150.23	147.33	144.15
h_{Max} [m]	511.60	511.60	511.60	511.60	511.60	511.60	511.60	511.60
h_{Min} [m]	45.01	34.93	47.01	10	10	10	5.37	3.03
h_0 [m]	45.68	35.43	47.01	10.37	10	10	6.70	3.03
J_m [%]	25.11	25.12	25.20	25.90	25.00	25.31	25.42	25.00
i_m	0.0035	0.0035	0.0035	0.0033	0.0033	0.0030	0.0030	0.0030
CN III	93.08	93.08	93.09	93.09	93.04	93.06	93.10	93.12

Tab 2 – Parametri morfometrici dei bacini afferenti al rio San Simone

Reticolo minore

Il reticolo minore è rappresentato dagli affluenti in destra e in sinistra idraulica dello stesso Rio San Simone (Fiume_100221 e Fiume_94989). Di seguito si riporta la tavola dei bacini idrografici con l'indicazione delle ulteriori sezioni di chiusura:

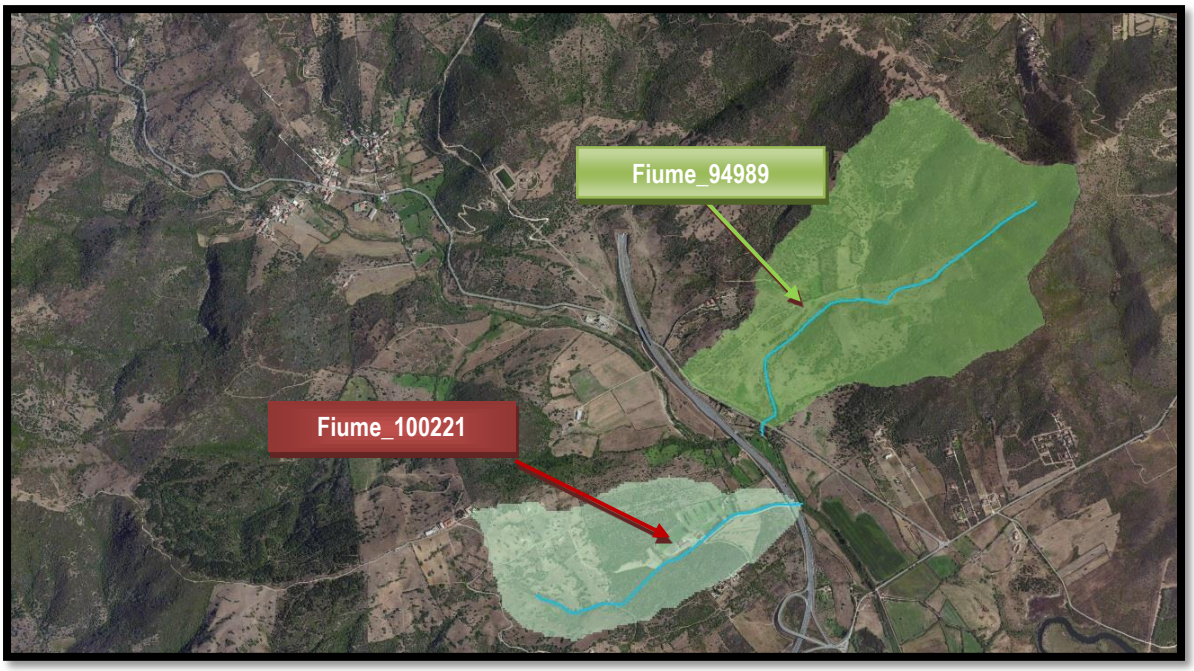

Figura 6 - Stralcio Tavola dei bacini idrografici con l'indicazione delle sezioni di chiusura – reticolo minore

	Fiume 100221	Fiume 94989
S [km^2]	0.70	1.44
L [m]	1383.7	1849.69
h_M [m]	71.60	71.60
h_{Max} [m]	191.07	230.69
h_{Min} [m]	8.25	7.47
h_0 [m]	10	7.72
J_m [%]	19.64	28.62
i_m	0.041	0.032
CN III	92.08	93.04

Tab 3 – Parametri morfometrici dei bacini relativi alle aste del reticolo minore oggetto di studio

Calcolati i parametri morfometrici specifici per tutti i bacini si procede all'applicazione delle formule sottostanti indicate nelle linee Guida del PAI per ottenere i valori corrispondenti dei tempi di corrivazione.

SCS

$$t_c = 1.67 \frac{100\, L^{0.8} \cdot [(100/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot i_{versante}^{0.5}} \quad \textit{[minuti]}$$

L= lunghezza asta principale in piedi

i = pendenza media del bacino

Formula di Giandotti $$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_{m-h}}} \quad [ore]$$

A in km², L in km, h quota sezione chiusura, H_m quota media del bacino

Formula di Pasini $$T_c = 0.108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{J_m}} \quad [ore]$$

A in km², L in km, J_m pendenza media del reticolo idrografico

Formula VAPI - Sardegna $$T_c = 0.212 \cdot A^{0.231} \left(\frac{H_m}{J_m}\right)^{0.289} \quad [ore]$$

A in km², L in km, h quota sezione chiusura, J_m quota media del bacino

Formula Ventura $$t_c = 0.1272 \frac{\sqrt{A}}{\sqrt{i_m}} \quad [ore]$$

Per la determinazione del valore del Tempo di corrivazione la scelta è propesa per il valore più cautelativo, che è risultato essere quello calcolato con l'SCS. Data la limitata estensione di superficie di ogni bacino esaminato è stata valutata la più corretta in quanto ben si adatta a bacini di piccola dimensione.

Riu San Simone

[ore]	Attr 1	Attr 2	Guado	Attr 6	Confl 94989	Confl 100221	Attr SS 125	Totale
Viparelli (v=1 m/s)	1.478	1.632	2.037	2.204	2.232	2.299	2.475	2.649
Ventura	6.418	6.634	7.920	8.403	8.879	9.084	9.631	9.746
Giandotti	1.966	2.097	2.824	2.744	2.925	3.043	3.158	3.272
Pasini	6.607	6.981	8.459	9.123	9.504	9.746	10.552	10.879
SCS	1.068	1.156	1.358	1.477	1.491	1.516	1.602	1.671
VAPI	8.343	8.386	8.856	8.914	9.004	9.032	9.279	9.721
Tc adottato	1.068	1.156	1.358	1.477	1.491	1.516	1.602	1.671

Tab 4 – Valori dei tempi di corrivazione ottenuti con le diverse formulazioni

Reticolo Minore

	Fiume 100221	Fiume 94989
Viparelli (v=1 m/s)	0.384	0.514
Ventura	0.526	0.853
Giandotti	0.863	1.184
Pasini	0.528	0.837
SCS	0.430	0.430
VAPI	1.689	2.143
Tc adottato	0.430	0.430

Tab 5 – Valori dei tempi di corrivazione ottenuti con le diverse formulazioni

2.1.2 Determinazione *delle altezze di precipitazione*

Per poter determinare i valori di portata è necessario determinare i valori di altezza di precipitazione. La previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato punto è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che esprime la relazione che lega l'altezza di precipitazione alla sua durata t, per un assegnato tempo di ritorno secondo la formula:

$$h(t)= a\ tn$$

dove:

h = altezza di pioggia (in mm) per precipitazioni di durata t

t = durata della precipitazione (in ore)

a, n = parametri dimensionali che dipendono dallo specifico tempo di ritorno considerato.

Tali curve si possono esprimere secondo distribuzioni probabilistiche che si basano sull'analisi di serie estese di dati e consistono nell'individuare le caratteristiche staticamente significative dei dati e la distribuzione di probabilità delle suddette caratteristiche. Tale metodologia adottata non è in alcun modo influenzata dalle caratteristiche morfologiche del bacino né dalla struttura degli eventi meteorici.

Poiché non è possibile attuare un'applicazione puntuale di questo metodo, in quanto sarebbe necessaria una fitta rete di stazioni di misura, si procede attraverso tecniche di regionalizzazione. Avendo come base le registrazioni di portata massima annua disponibili in diverse sezioni di interesse viene determinata una legge di distribuzione probabilistica che interpreti tutte le informazioni disponibili. Si determina quindi una legge di probabilità nella quale i parametri della distribuzione non sono costanti, ma dipendono dal bacino idrografico considerato. Recenti studi per la Sardegna mostrano che il modello probabilistico TCEV(Two Components Extreme Values) ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche motivo per il quale è stato adottato nella procedura per la VAlutazione delle PIene (VAPI) in Sardegna per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica.

Partendo dalla formula della curva di possibilità pluviometrica:

$$h(T) = a\ t^{n}$$

si fa riferimento alla DISTRIBUZIONE TCEV: PRECIPITAZIONI INTENSE IN SARDEGNA[1] suddetta dove i parametri a e n, vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO) per durate minori e maggiori di 1ora e per tempi di ritorno maggiori di 10 anni.

[1] Deidda, R. e E. Piga, Curve di possibilità pluviometrica basate sul modello TCEV, *Informazione*, **81**, pagine 9-14, Cagliari, 1998.

Viene individuata la sottozona omogenea (SZO) nella carta delle SZO (Fig. 7) che per la il bacino in esame risulta:

- ***SZO 2***

e il valore della pioggia indice giornaliera μ_γ (espressa in mm) nella carta delle isoiete (Fig. 8) che risulta pari a :

- **μ_g= 75 mm**

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:

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

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

- $a_1 = \mu_g /(0.886.24\ n_1)$;
- $n_1 = -0.493 + 0.476\ Log_{10}\ \mu_g$

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

$$h_T(\tau\ ) = \mu(\tau)\ K_T(\tau) = (a_1 a_2)\ \tau^{(n1+n2)}$$

dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti T e τ:

per la **SZO 2** per tempi di ritorno **T maggiori di 10 ANNI:**

a_2=0,44182+1,0817 $Log_{10}T$

n_2 =-0,18676+0,24310 $Log_{10}T$-3,5453 $10^{-2}(Log_{10}T)^2$ (per τ <= 1 ora)

n_2 =-5,6593 10^{-3}-4,0872 10-3 $Log_{10}T$ (per τ >= 1 ora)

Figura 7 - Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna (da Deidda ed. al., 1993)

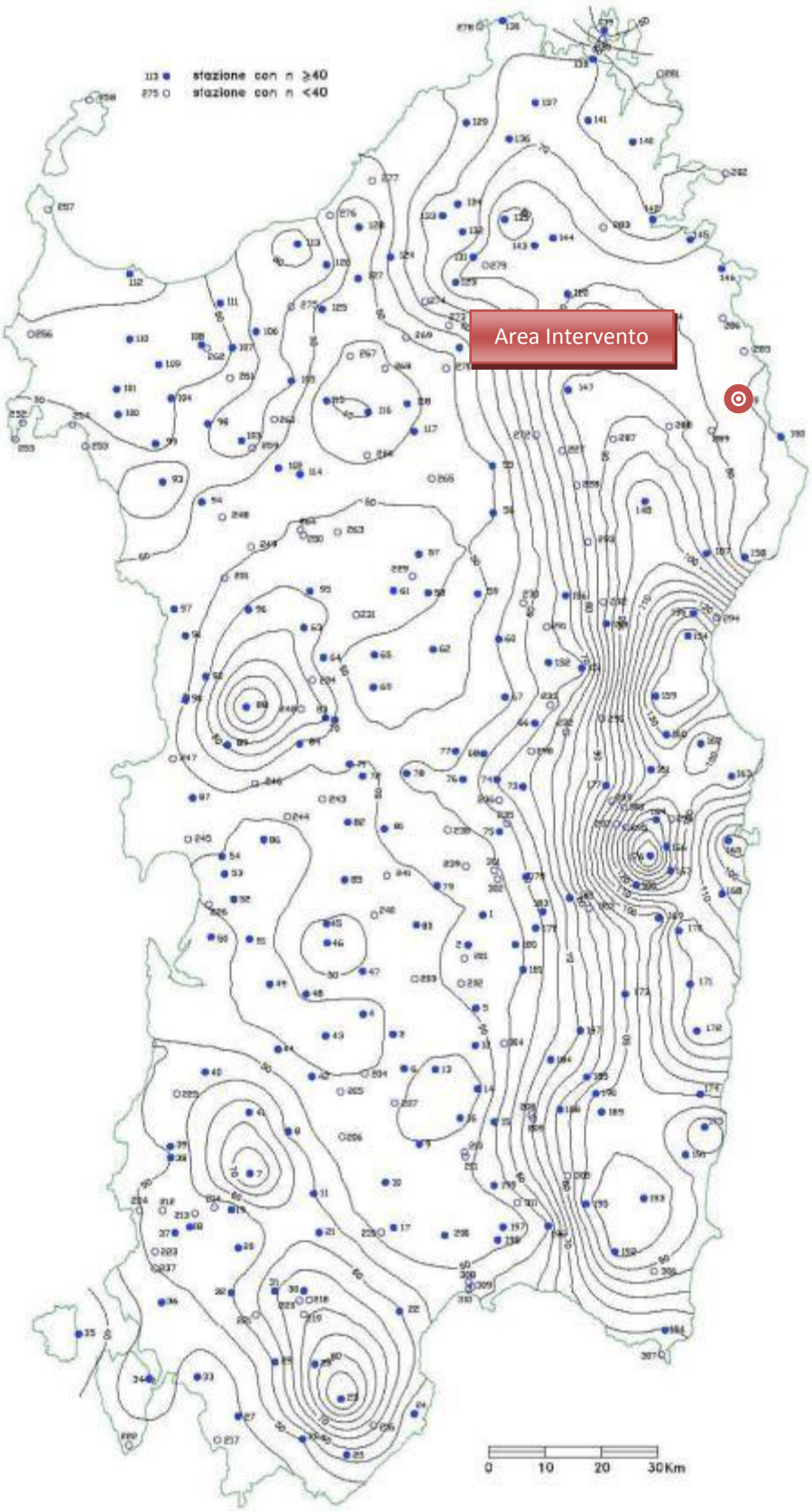

Figura 8 - Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (da Deidda ed Al., Quad. Ricerca n°9 dell'UNICA 1997).

2.1.3 Determinazione del coefficiente di deflusso

La stima del coefficiente di deflusso è estremamente difficoltosa e costituisce il maggior elemento di incertezza nella valutazione della portata. Il parametro, infatti, tiene conto in forma implicita di tutti i fattori che intervengono a determinare la relazione tra la portata al colmo e l'intensità media della pioggia (tipo di terreno, grado di saturazione dello stesso, tipo di copertura vegetale e pendenza); si utilizzano normalmente valori di riferimento, tratti dalla letteratura scientifica che indicano univocamente che il valore del coefficiente di deflusso in un dato bacino varia in modo consistente da evento ad evento, in funzione delle differenti condizioni di imbibizione del suolo antecedenti l'evento stesso. Uno dei metodi più utilizzati ed attualmente considerato tra i più appropriati e scientificamente testati riportati in letteratura è il "Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method" proposto dal S.C.S. del Dipartimento dell'Agricoltura statunitense nel 1972.

Secondo tale metodo il valore del coefficiente di deflusso Ψ (nella precedente Formula Razionale), può essere calcolato con la formula che permette di ricavare la pioggia netta in base all'espressione:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} + S - I_a)}$$

dove h_{lorda} è la pioggia stimata per assegnata distribuzione di probabilità, S (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione:

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

e I_a è l'assorbimento iniziale, legato empiricamente al parametro S dalla relazione:

$$I_a = 0.2S$$

I valori del parametro di assorbimento CN e della relativa capacità massima di assorbimento S vanno determinati per le sezioni idrologiche d'interesse facendo riferimento alla ben nota metodologia SCS-CN utilizzando la Carta dell'Uso del Suolo relativa al progetto Corine Land Cover (aggiornata al 2008) scaricabile in formato shape dal Geoportale della Regione Sardegna.

Il CN è un numero adimensionale e varia da 100 (per corpi Idrici e suoli

completamente impermeabili) a circa 30 per suoli permeabili con elevati tassi di infiltrazione. CN è quindi essenzialmente legato alla natura del suolo, al tipo di copertura vegetale ed alle condizioni di umidità del suolo antecedenti la precipitazione.

La valutazione del parametro CN è stata effettuata attraverso la determinazione di differenti fattori. I più importanti sono la determinazione della tipologia di suolo in riferimento al "*hydrologic soil group (HSG)"* che suddivide il terreno in quattro categorie A, B, C e D, il tipo di copertura di suolo, l'uso del suolo, le condizioni idrologiche, il susseguirsi dell'evento meteorico ad eventi precedenti, la pendenza del suolo interessati, il sistema di drenaggio eventualmente presente.

Si stima il valore CN(II), ossia il valore relativo ad un terreno con umidità del suolo in II categoria AMC (Antecedent Moisture Condition), in base ai seguenti elementi:

- Classe di appartenenza del suolo (A, B, C o D);
- Tipo di copertura (uso del suolo, pratica agricola, drenaggio).

Innanzitutto è stato valutato il tipo di suolo interessato in relazione alla caratteristiche dello stesso, secondo i parametri della tabella sotto riportata.

TIPO	DESCRIZIONE
A	Scarsa potenzialità di deflusso superficiale-banchi spessi di sabbia, anche con piccole percentuali di limo e argilla; banchi spessi di ghiaie, materiali incoerenti in genere
B	Bassa potenzialità di deflusso superficiale-banchi di medio spessore di sabbie o ghiaie, con maggior propensione alla saturazione
C	Potenzialità di deflusso superficiale medie-banchi di sabbia o ghiaie sottili, con sottostante substrato argilloso impermeabile, sabbie con argilla e limi
D	Potenzialità di deflusso superficiale molto alta-argille con alta capacità di rigonfiamento, in genere materiali impermeabili in superficie

Tab 6 – Classificazione dei Suoli

Per i bacini in esame è stata considerata la classe D e associato il valore di CN(II) corrispondente a ciascuna categoria di uso del suolo presente nei bacini in esame. I dati relativi all'uso del suolo, come su riportato, sono stati estratti dal database associato alla carta dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna (Corine Land Cover - anno 2008) organizzato secondo una legenda articolata in tre livelli a loro volta suddivisi in 44 classi di uso del territorio.

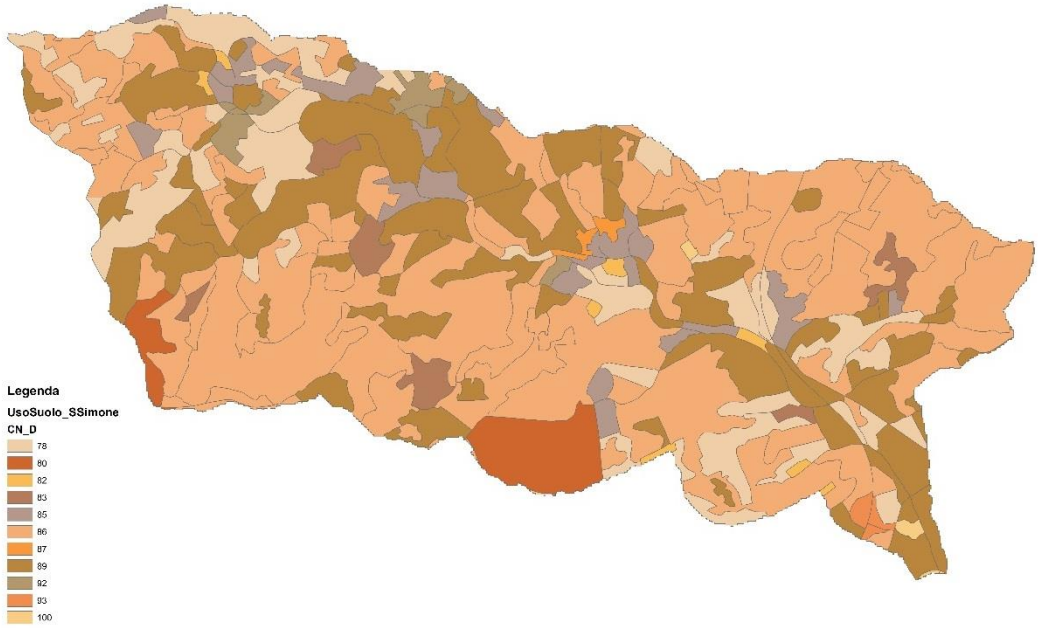

Figura 9 - Delimitazione bacino totale Riu San Simone con indicazione dei valori del CN

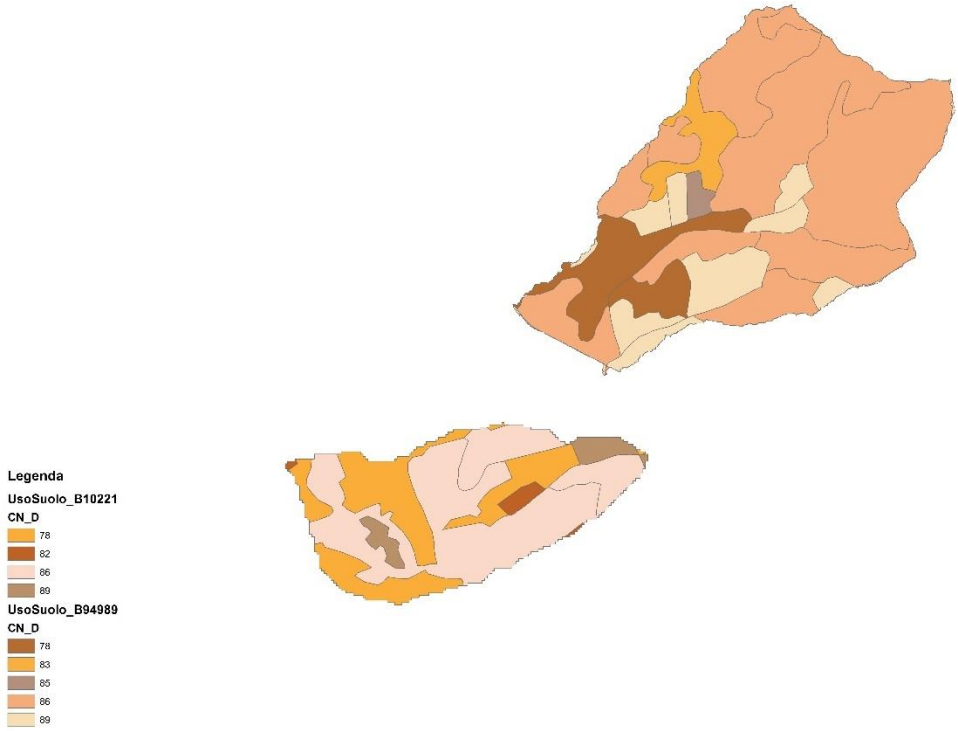

Figura 10 – Delimitazione bacini Fiume_100221 e Fiume_94989 con indicazione dei valori del CN

Per ottenere il valore del CN medio associato a ciascun bacino è stata impostata la media pesata rispetto alla superficie di uso del suolo omogeneo secondo la formula sottostante:

$$CN(II)_{medio} = \frac{\Sigma CN(II)_i \cdot A_i}{\Sigma A_i}$$

dove:

- $CN(II)_i$ è il valore del CN(II) riguardante l'iesima area a cui è associato uno specifico uso del suolo;
- A_i è il valore dell'area stessa in mq.

Per quanto riguarda l'influenza dello stato di umidità del suolo all'inizio dell'evento meteorico, l'SCS individua tre classi caratterizzate da differenti condizioni iniziali (AMC=Antecedent Moisture Condition) a seconda del valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico. Nella tabella sottostante si individuano le classi AMC in funzione della precipitazione antecedente di 5 giorni:

CLASSE A.M.C.	PIOGGIA TOTALE NEI 5 GIORNI PRECEDENTI L'EVENTO	
	STAGIONE DI RIPOSO VEGETATIVO (AUTUNNO-INVERNO)	STAGIONE DI CRESCITA (PRIMAVERA-ESTATE)
I	<13mm	<36mm
II	Tra 13mm e 28mm	Tra 36mm e 53mm
III	>28mm	>53mm

Tab 7 – Classificazione dei condizioni iniziali imbibizione terreno

Ponendoci nelle condizioni peggiori, ossia che il terreno sia stato interessato da una precipitazione superiore ai 53 mm, i valori calcolati sono stati incrementati attraverso la formula che relaziona il CN(II) ottenuto precedentemente con il CN(III):

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

I coefficienti di deflusso ottenuti attraverso l'applicazione della metodologia suddetta nel caso in cui risultino inferiori a 0.8 sono stati maggiorati cautelativamente per i Tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni e posti pari a **0.80** nel caso di bacini più estesi relativi al rio San Simone e pari a **1** nel caso dei corsi d'acqua minori che interessano bacini più piccoli.

2.1.4 Determinazione delle portate

Di seguito si riportano i risultati delle elaborazioni relative al calcolo delle portate per i bacini in esame:

Riu San Simone

Tr	Attr 1	Attr 2	Guado	Attr 6	Confl 94989	Confl 100221	Attr SS 125	Totale
50	94.52	96.26	123.55	126.16	137.96	142.78	142.78	142.94
100	108.01	109.99	141.14	144.12	157.59	163.10	163.10	163.27
200	121.50	123.72	158.72	162.06	177.20	183.39	183.39	183.58
500	139.33	141.86	181.94	185.75	203.09	210.18	210.18	210.40

Reticolo minore

Tr	Fiume 100221	Fiume 94989
50	15.01	30.43
100	16.68	33.80
200	18.34	37.16
500	20.57	41.68

3. Analisi Idraulica

Per poter effettuare l'analisi idraulica sui vari corsi d'acqua in esame si è proceduto ad estrarre in prima fase la geometria dell'alveo utilizzando la base cartografica DTM con risoluzione spaziale di 1 m, volo LIDAR fornito dal Ministero dell'Ambiente. Tale base cartografica, che riproduce le variazioni orografiche del terreno (compresi i movimenti terra artificiali quali rilevati stradali, argini ecc.), è stata caricata in ambiente GIS con l'idrografia superficiale definita dalle aste oggetto di studio. Tramite l'applicazione HEC-GeoRAS, che opera sempre in ambiente GIS, è stato possibile estrarre il modello geometrico che definisce la base per effettuare i calcoli idraulici tramite il software HEC – River Analysis System della US Army Corps of Engineering Center – HecRas.

La procedura suddetta tramite l'applicazione Hec GeoRAS si configura nel tracciamento delle aste fluviali e nella successiva definizione delle sezioni trasversali di lunghezza e equidistanza adeguate tali da garantire un grado di dettaglio il più accurato possibile. Il modello creato viene importato direttamente in HecRas e le sezioni tracciate vengono nominate in automatico con progressiva numerica da valle verso monte. Di seguito si riporta un'immagine planimetrica estratta dal software GIS di un tratto oggetto di studio e delle sezioni trasversali che definiscono il modello geometrico:

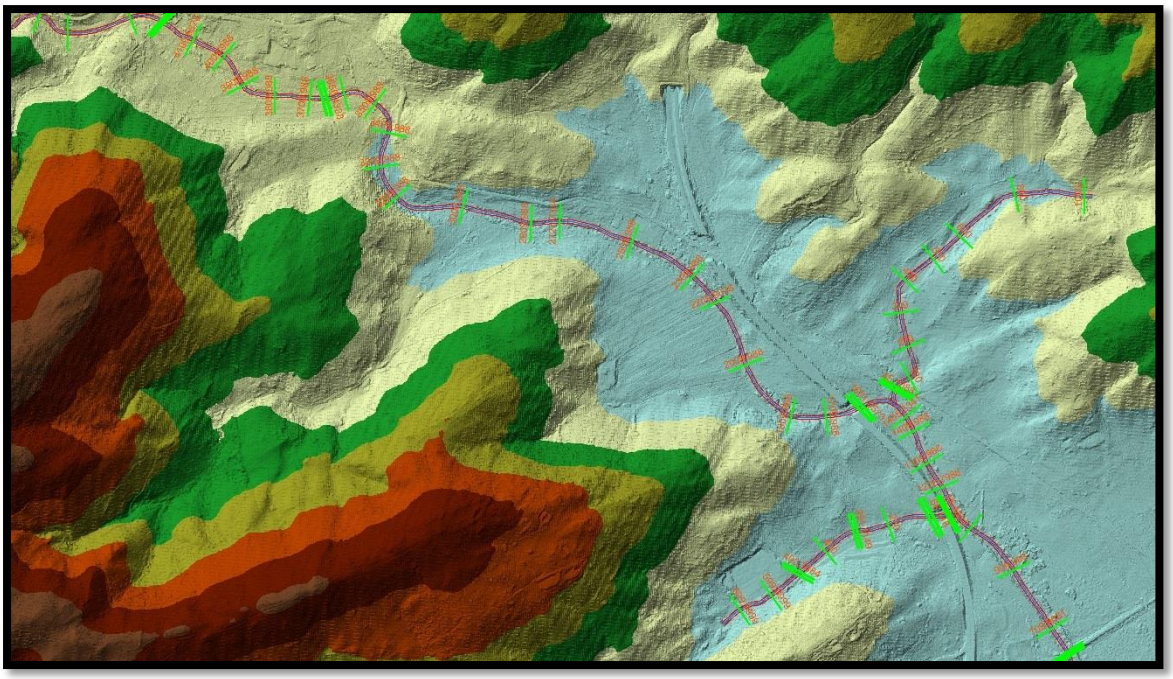

Figura 11 – Immagine planimetrica modello geometrico dei corsi d'acqua in studio

In seconda fase, dopo aver importato il modello in HecRas, si è provveduto a integrare le sezioni con i dati dei rilievi effettuati in sito, verificando in modo particolare la

corrispondenza delle quote di fondo alveo, che nel modello lidar potrebbero risultare poco attendibili, soprattutto negli alvei con presenza di vegetazione molto fitta, e caricando ponti e attraversamenti in genere dislocati lungo i tracciati in studio.

Definita la geometria del modello le verifiche idrauliche sono state eseguite come già accennato con l'ausilio del software HecRas che effettua calcoli idraulici monodimensionali di reti di canali sfruttando le equazioni classiche dell'idraulica del moto permanente e del moto vario. Più precisamente, la definizione del profilo idraulico avviene attraverso l'integrazione delle equazioni di conservazione dell'energia della corrente tra due sezioni di calcolo consecutive. Le perdite di energie considerate tra le due sezioni sono quelle dovute alla resistenza dell'alveo e alle variazioni di sezione.

La sezione viene suddivisa in porzioni a differente scabrezza e per ognuna viene calcolato il valore della portata. La portata in ogni sezione è ottenuta come somma di questi contributi. In ogni sezione l'altezza cinetica media della corrente è valutata come media pesata dell'altezza cinetica di ogni porzione in cui si è divisa la singola sezione trasversale assumendo come peso la portata che transita in ognuna delle suddette porzioni.

Le perdite di energia continue dovute alla resistenza dell'alveo sono valutate secondo la formula di Manning. Le perdite di carico dovute alle variazioni di sezioni sono invece valutate secondo l'usuale formula della perdita di carico concentrata, funzione del quadrato delle velocità a monte e a valle della variazione di sezione. Lo studio è limitato all'elaborazione dei profili in moto permanente con i dati di portata relativi ai Tempi di Ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni scaturiti dallo studio idrologico.

I valori di scabrezza sono stati calcolati in modo da differenziare le caratteristiche delle singole porzioni di ogni sezione trasversale.

Di seguito si riporta un'immagine planimetrica di un tratto oggetto di studio e delle sezioni inserite nel modello geometrico:

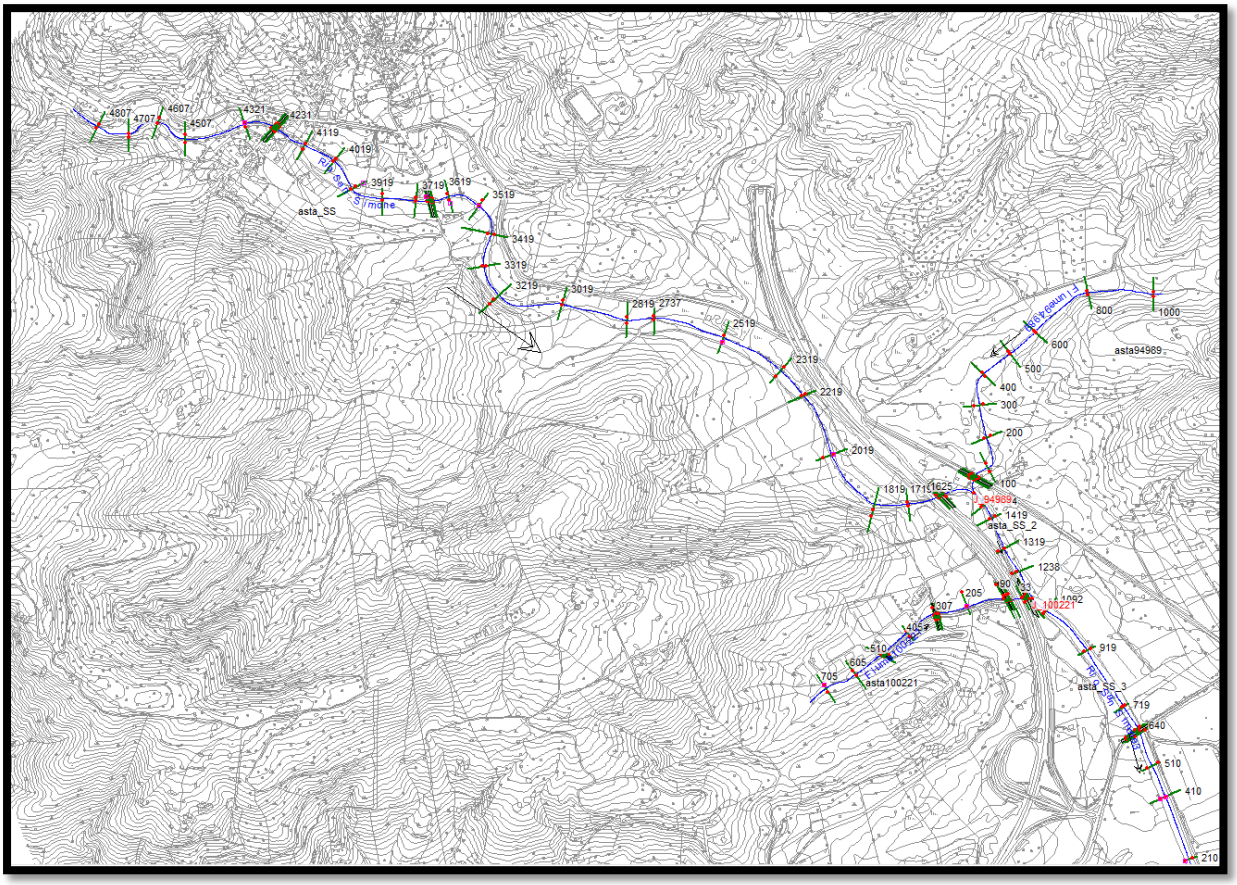

Figura 12 – Planimetria modello geometrico importato su HecRas

Le portate di riferimento inserite sono quelle scaturite dallo studio idrologico così come illustrato nel paragrafo precedente.

Per determinare le condizioni al contorno a monte e a valle si è proceduto in modo differente per ciascuna delle aste studiate. Per i vari tratti sono state impostati i valori come da tabella sottostante:

	Monte	Valle
Rio San Simone confl1	Critical Depth	Junction Fiume 94989
Rio San Simone confl2	Junction Fiume 94989	Junction Fiume 100221
Rio San Simone valle	Junction Fiume 100221	Know W.S. Rio Posada PSFF
Fiume 100221	Normal Depth	Junction Fiume 100221
Fiume 94989	Normal Depth	Junction Fiume 94989

Tab 8 – Tabella condizioni al contorno

Imponendo la condizione Normal Depth il programma assume per ciascuno dei profili l'altezza di moto uniforme, approssimando la pendenza della linea dei carichi totali mediante il valore della pendenza media del tratto di canale a monte. Imponendo invece Known WS, la condizione al contorno corrisponde ad un valore noto dell'altezza d'acqua inserito per ciascuno dei profili da calcolare che, nel caso in studio, corrisponde al livello idrico del Rio Posada in corrispondenza della confluenza col Riu San Simone calcolato

nell'ambito del PSFF.

3.1 Analisi idraulica Rio San Simone

Per quanto attiene allo studio del Riu San Simone si è proceduto alla verifica del comportamento idraulico del rio facendo defluire le portate ottenute alle differenti sezioni di chiusura individuate dall'analisi idrologica. La simulazione del rio suddetto tiene conto della presenza in sinistra idraulica dell'immissione del Fiume_94989, e in destra del Fiume_100221. Tali confluenze sono state definite tramite l'inserimento di due junction, come è visibile dalla planimetria sottostante estratta da HecRas:

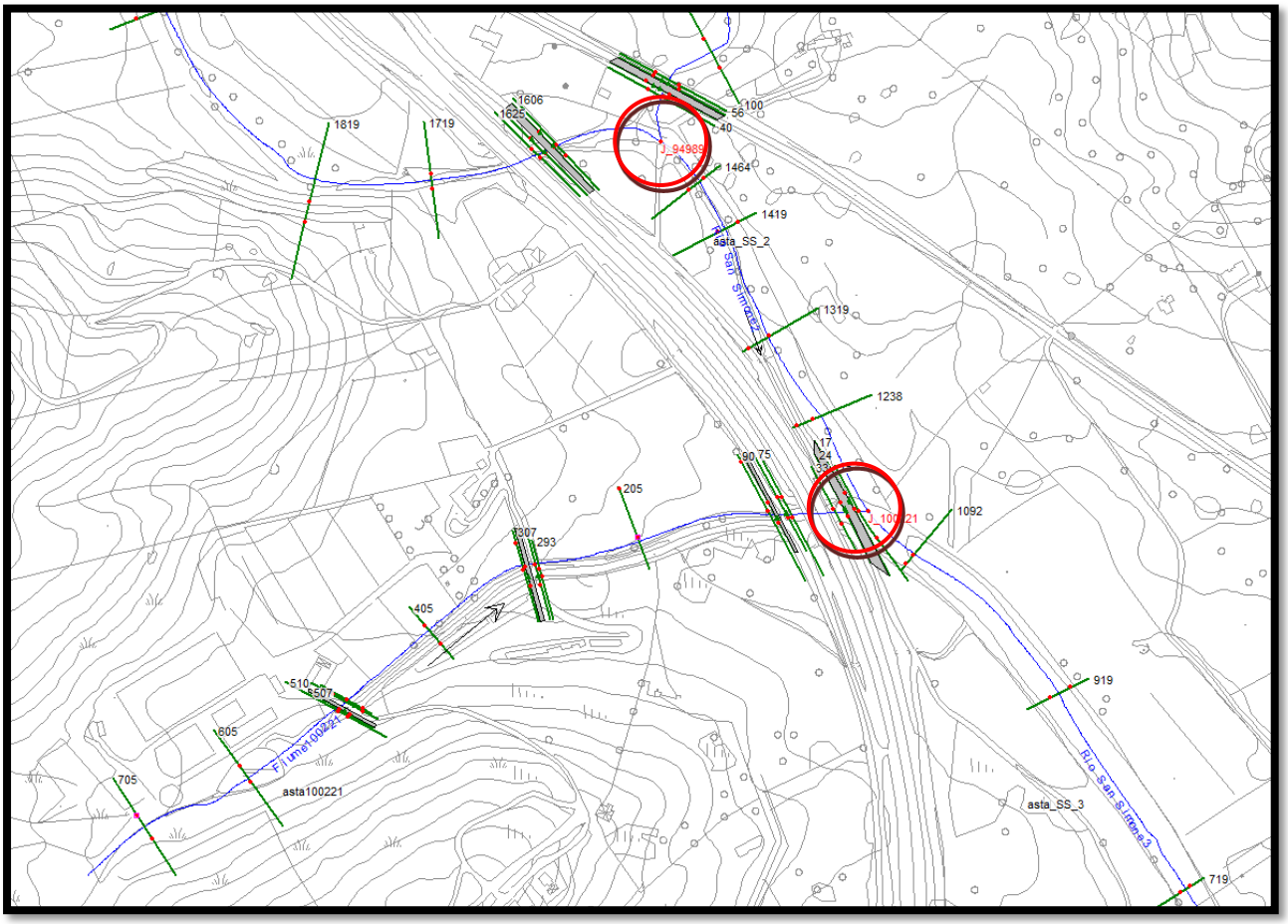

Figura 13 – Planimetria modello HecRas - Confluenze

La simulazione è caratterizzata dal caricamento dell'asta del rio San Simone con inserimento di 55 sezioni trasversali e di 4 attraversamenti stradali.

3.2 Reticolo minore

La simulazione del Fiume_100221 e del Fiume_94989 è caratterizzata dalle due junction sul Riu San Simone e rispettivamente da 24, 13 sezioni e 4 attraversamenti stradali.

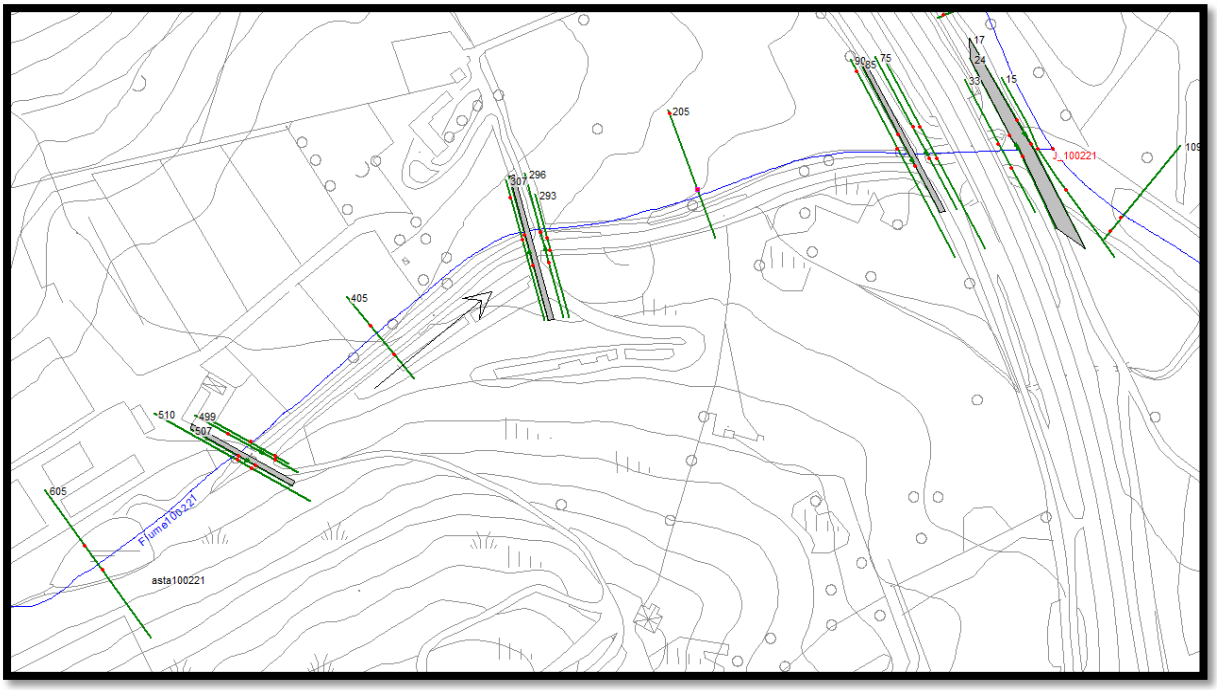

Figura 14 – Planimetria modello HecRas – Fiume 100221

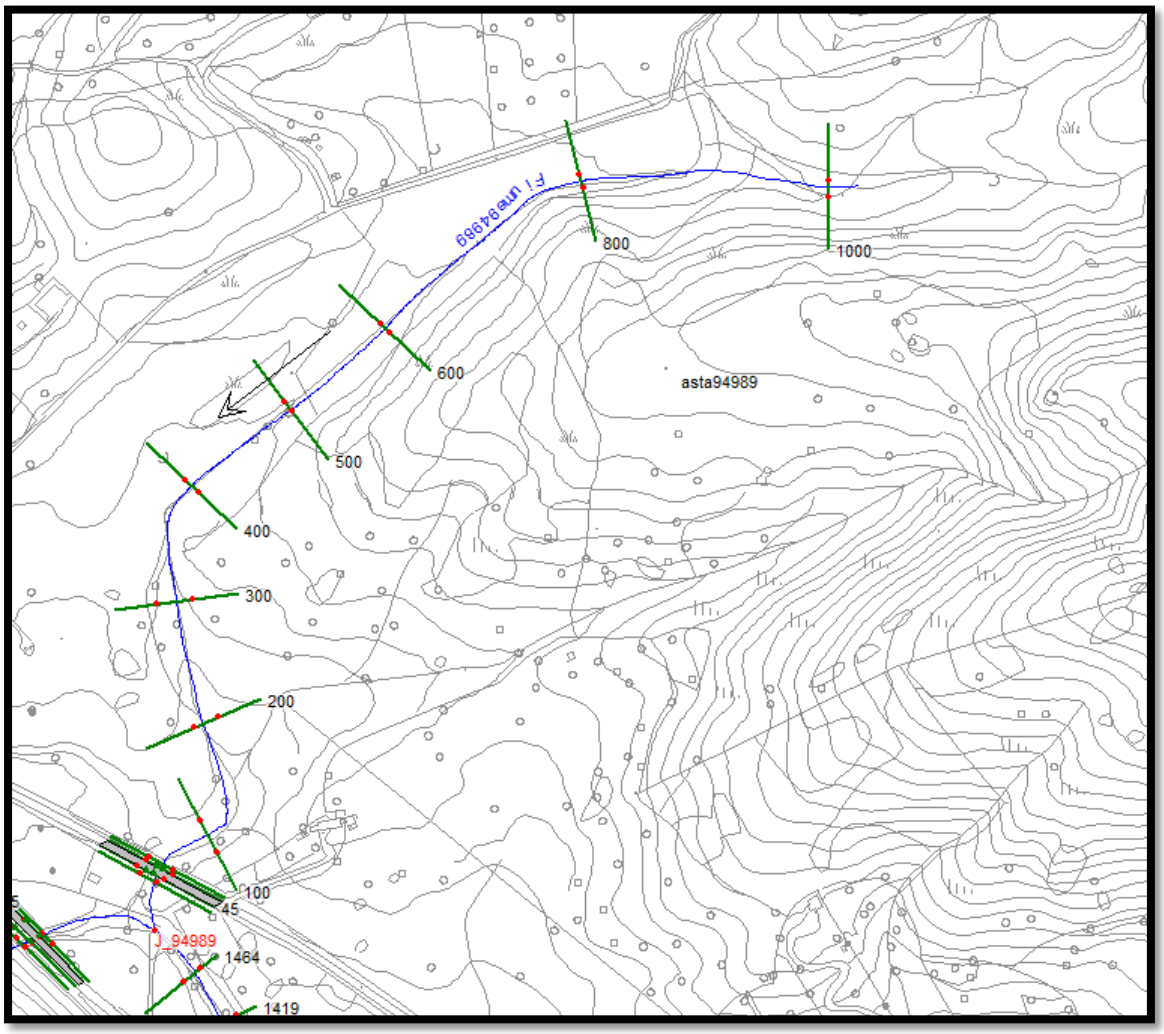

Figura 15 – Planimetria modello HecRas – Fiume 94989

5. Mappatura aree inondabili

Ai sensi della Normativa (DPCM 29/09/98) per ciascuna delle portate di piena viene associata l'area esondabile in funzione del Tempo di ritorno considerato. Sulla base dei risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche condotte in condizioni di moto permanente e per valori di portata corrispondenti ai Tempi di ritorno di 50, 100, 200, 500 anni è stato possibile definire la perimetrazione delle aree di esondazione nei tratti in studio, la procedura seguita permette di esportare i risultati ottenuti dalle elaborazioni di calcolo effettuate col software Hec Ras in ambiente GIS.

Le aree di inondazione così scaturite sono state poi verificate nel dettaglio e, ove necessario, rivalutate e ritracciate manualmente. La mappatura è stata eseguita determinando quattro aree di inondazione, ognuna relativa ai quattro Tempi di ritorno valutati:

Hi4	Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 50 anni
Hi3	Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 100 anni
Hi2	Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 200 anni
Hi1	Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 500 anni

I limiti delle aree di inondazione sono riportate nelle tavole allegate allo studio in scala 1:10000 sovrapposte all'aerofotogrammetrico fornito dall'Amministrazione Comunale 1:4000.

Si allegano alla relazione le planimetrie, le sezioni trasversali, i profili e le tabelle dei dati estratte dalle simulazioni con indicazione dei livelli idrici corrispondenti ai Tempi di ritorno dei 50, 100, 200 e 500 anni.

4. Conclusioni

L'analisi svolta ha permesso di individuare due importanti criticità idrauliche:

- nel Rio San Simone - Attraversamento stradale alla sezione 3670 costituito da due tubolari in cls. L'opera risulta sottodimensionata determinando l'allagamento della strada anche per i tempi di ritorno più bassi.

Figura 16 – Attraversamento sul Rio San Simone - sezione 3670

- Nel Rio San Simone - Attraversamento stradale alla sezione 1650 costituito da cinque campate di larghezza pari a 3 m ciscuna e altezza pari a 1,95. L'opera risulta sottodimensionata determinando l'allagamento della strada anche per i tempi di ritorno più bassi.

Figura 17 - Attraversamento sul Rio San Simone - sezione 1650

- Nel Fiume_100221 risultano sottodimensionati tutti gli attraversamenti presenti, due dei quali a sezione circolare (f 60 e f 80) e uno a sezione rettangolare in cls (1,5x1 m).

Figura 18 - Attraversamento sul Fiume 100221 - sezione 506

Si precisa comunque che gli attraversamenti suddetti sono ubicati in corrispondenza di stradelli poderali, di accesso ad aziende agricole e non interessate quindi da intenso traffico.