



COMUNE DI SANTADI

PROVINCIA DEL SUD SARDEGNA

PROGETTO DEFINITIVO

**COMPLETAMENTO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA
DEL RIO CRESIA**

Studio Tecnico Associato

Ing.ri Orgiana A. & Orrù G.

Via C. Battisti 21/A - 09061 ORROLI (SU) - Tel. 0782-847472 - MAIL: staorgianaorru@gmail.com

Studio di compatibilità idraulica:
RELAZIONE DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Allegato

C.01

DATA

Apr 2020

Il Sindaco:

Dott. Elio Sundas

Progettazione:

Studio Tecnico Associato
Ing.ri Orgiana A. & Orrù G.

Dott. Geol. Marco Pisano

Il Responsabile
del Servizio Tecnico
Geom. Carlo Acca

Il Coordinatore del Progetto
Dr. Ing. Giancarlo Orrù

PROGETTO DEFINITIVO

“COMPLETAMENTO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA DEL RIO CRESIA”

STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

Relazione

Aprile 2020



Sommario

PROGETTO DEFINITIVO	1
“COMPLETAMENTO DELLA SISTEMAZIONE IDRAULICA	1
DEL RIO CRESIA”	1
STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA.....	1
Relazione	1
Aprile 2020.....	1
1 PREMESSE.....	1
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	2
3 STATO ATTUALE E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO	4
4 PIANIFICAZIONE DI SETTORE	7
4.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).....	7
4.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)	8
4.3 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)	9
4.4 Varianti ed aggiornamenti del PAI in base all'art. 37 delle Norme di Attuazione del PAI	10
5 STUDIO IDROLOGICO – STIMA DELLE PORTATE DI PIENA	11
5.1 Metodi diretti	11
5.2 Metodi empirici.....	12
5.3 Metodi indiretti	13
5.4 Stima del tempo di corrivazione del bacino.....	14
5.5 Valutazione del coefficiente di ragguaglio	15
5.6 Valutazione dell'altezza di precipitazione h_{tc}	16
5.6.1 Curva di possibilità pluviometrica di Piga-Liguori	16
5.6.2 Curva di possibilità pluviometrica di Deidda-Piga-Sechi.....	17
5.7 Valutazione del coefficiente di deflusso	21
5.8 Valutazione della durata di pioggia critica t^*	21
5.9 Scelta del tempo di ritorno T	22
5.10 Valutazione del parametro di assorbimento CN	22
6 SCELTA DELLA PORTATA DI PIENA PER L'ANALISI IDRAULICA	27
6.1 Confronto tra i risultati ottenuti con i vari metodi	27
7 ANALISI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE.....	32
7.1 Modellazione prima dell'intervento.....	33
7.2 Modellazione post intervento.....	33
7.3 Verifica dei franchi idraulici	34
8 VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO	35
8.1 Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico	36
8.2 Aree a rischio idraulico prima e dopo l'intervento	37
9 CONCLUSIONI.....	43



RELAZIONE DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

1 PREMESSE

Il presente studio di compatibilità idraulica è parte integrante del progetto di fattibilità tecnica ed economica delle opere di **“Completamento della sistemazione idraulica del Rio Cresia”** nel Comune di Santadi (SU).

L'opera, finanziata dalla Regione Sardegna con la somma di €. 200.000, rientra nell'elenco degli interventi di mitigazione del rischio idrogeologico così come previsto con Delibera della Giunta Regionale n. 5/8 del 24/01/2017 che ha rimodulato il Piano Regionale delle Infrastrutture – Legge RAS n. 5/2015, art. 4 e art. 5, comma 13 (Tabella E) –

In particolare lo studio riguarda il tratto di valle del Rio Cresia che attraversa la frazione di Santadi denominata “Terresoli”, prima della confluenza col Rio Mannu.

Le aree attraversate dal corso d'acqua ricadono fra quelle perimetrate dal PAI come aree con pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), e come tali soggette all'applicazione delle NTA del PAI che ne prevedono lo studio di compatibilità idraulica.

In base all'art. 23 comma 6 lett.b delle suddette NTA, gli interventi, le opere e le attività ammissibili nelle aree di pericolosità idrogeologica molto elevata, elevata e media sono effettivamente realizzabili soltanto quando conformi agli strumenti urbanistici vigenti e forniti di tutti i provvedimenti di assenso richiesti e all'approvazione dello studio di compatibilità idraulica previsto dall'art. 24 delle NTA. Detto studio viene predisposto in base ai criteri dell'Allegato E ed è presentato a cura del soggetto proponente, unitamente al progetto preliminare. In particolare lo studio deve dimostrare, oltre che la coerenza con le finalità indicate nell'art. 23 e 24, che l'intervento sottoposto all'approvazione è stato progettato rispettando il vincolo di non aumentare il livello di pericolosità e di rischio esistente e di non precludere la possibilità di eliminare o ridurre le condizioni di pericolosità e di rischio.



2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Come accennato in premessa, l'area di intervento riguarda un tratto di valle del Rio Cresia che attraversa la frazione di Santadi denominata “Terresoli”, a circa 300 metri dalla confluenza col Rio Mannu. Il bacino di interesse è compreso nella cartografia IGM in scala 1:25.000 nel Foglio n. 565 Sezione III^A, nella CTR della Sardegna Scala 1.10.000 nel Foglio 565 090. Catastralmente le particelle interessate in parte dall'intervento sono le seguenti: Foglio 505 particelle 485, 591, 784, 1285, 1289, 2358 e 3202.



Figura 1 - Inquadramento generale

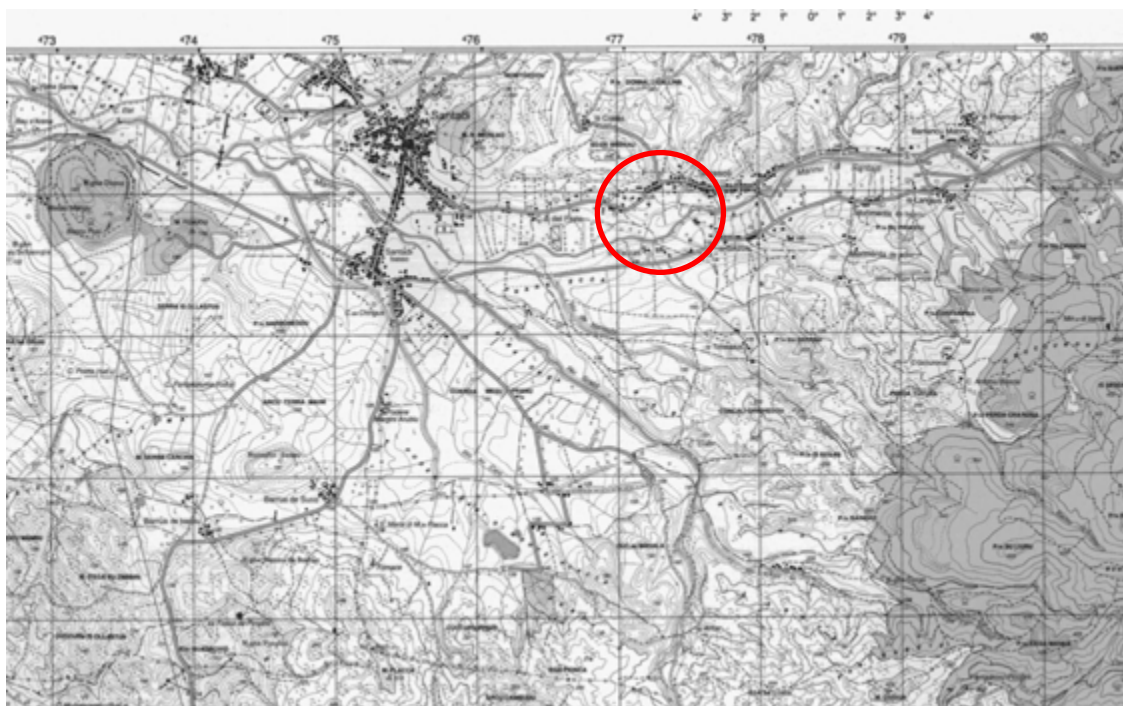


Figura 2 - Stralcio carta IGM

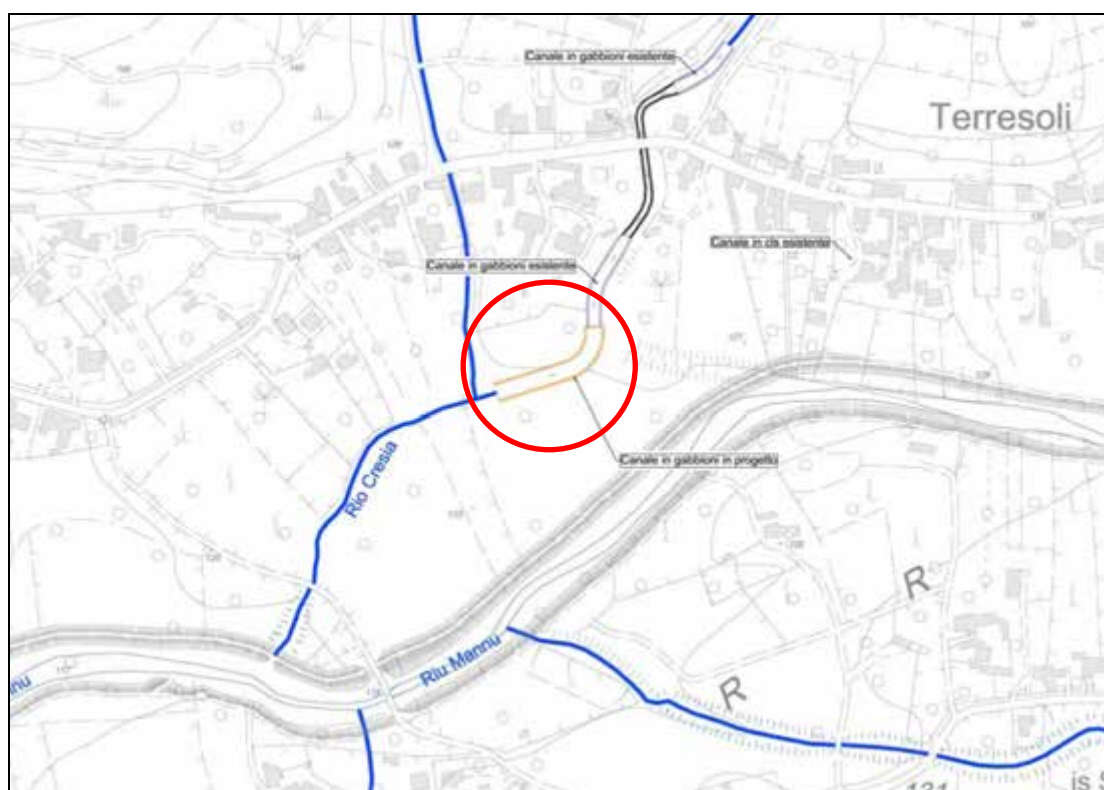


Figura 3 – Ubicazione dell'intervento su Stralcio C.T.R.



Figura 4 – Ubicazione dell'area di intervento su immagine satellitare

**Figura 5 - Planimetria catastale**

3 STATO ATTUALE E DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Nel tratto urbano, già assoggettato in passato ad altri interventi di sistemazione idraulica, il Rio Cresia attraversa la SP1 dove è presente un ponte di dimensioni idraulicamente insufficienti. A monte e a valle dell'opera d'arte il corso d'acqua risulta in parte canalizzato con pareti e fondo in calcestruzzo e in parte con gabbioni metallici e mantellate riempiti di pietrame.

Nel tratto a valle della canalizzazione in gabbioni, per circa 400 metri, il corso d'acqua scorre sul terreno naturale fino alla confluenza col Rio Mannu. In questo tratto il Rio Cresia ha subito un intervento di rettifica e pseudo arginatura realizzata con i materiali provenienti dagli scavi. In questo tratto, anche in occasione di normali eventi di piena, si determinano fenomeni di erosione che, non di rado, sono accompagnati da franamenti delle sponde e delle arginature con conseguenti esondazioni verso le aree circostanti.

Con questo progetto si intende procedere, in continuità con l'intervento precedente, alla sistemazione idraulica di un'ulteriore tratto del corso d'acqua, finalizzato alla mitigazione del rischio idraulico che incombe sulle aree limitrofe.



L'intervento prevede la riconfigurazione dell'alveo esistente, la realizzazione di due gabbionate in pietrame a protezione delle sponde e il rivestimento del fondo di un breve tratto di canale mediante una mantellata in pietrame tipo “Materasso Reno”, da posizionare subito a valle di un salto di fondo presente in corrispondenza dell'ultima sezione del tratto già canalizzato.

Nelle figure che seguono si evidenzia la situazione attuale e le opere previste con questo intervento. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati grafici allegati al progetto.



Figura 6 - Situazione attuale del Rio Cresia nel tratto da sistemare



Figura 7 - Planimetria opere in progetto

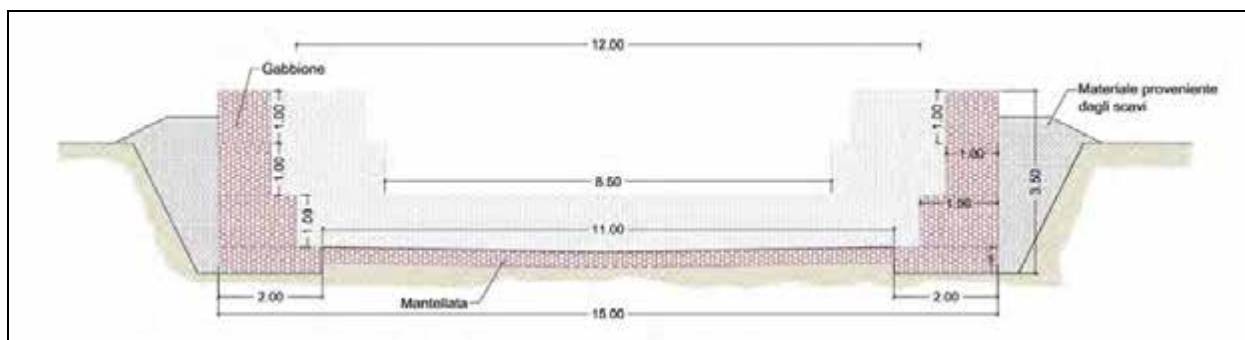


Figura 8 - Sezione tipo (da sez. 5.4 a sez. 5.3)

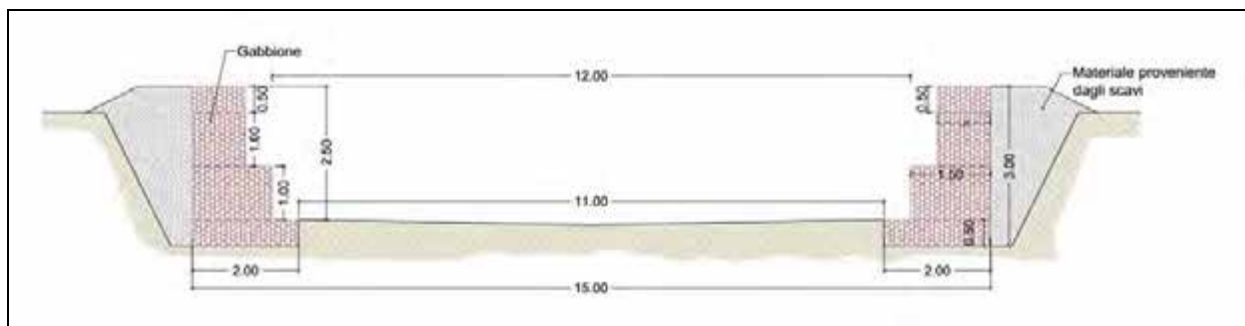


Figura 9 - Sezione tipo (da sez. 5.29 a sez. 5.02)



4 PIANIFICAZIONE DI SETTORE

Di seguito si analizzano i contenuti della pianificazione di settore esistenti per l'area di interesse:

4.1 Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale PAI, è redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione.

Il PAI è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Il PAI ha valore di piano territoriale di settore e prevale sui piani e programmi di settore di livello regionale.

Il P.A.I. è stato approvato con Decreto del Presidente della Regione Sardegna n.67 del 10.07.2006 con tutti i suoi elaborati descrittivi e cartografici.

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 pubblicato sul sito dell'Autorità di Bacino il Testo Coordinato delle N.A. del PAI.

Il testo coordinato delle Norme di Attuazione del PAI (Aggiornamento ottobre 2019) è consultabile sul sito dell'Autorità di Bacino.

Indicazioni del PAI per la zona di intervento: Dall'esame della documentazione PAI approvato in data 10.07.2006 risulta che Il comune di Santadi, e quindi il Rio Cresia, ricade all'interno del Sottobacino n. 1 Sulcis. Dalla cartografia risulta che nel bacino del Rio Cresia sono presenti aree soggette a fenomeni di allagamento di pericolosità idraulica molto elevata (*Hi4*), elevata (*Hi3*), media (*Hi2*) e moderata (*Hi1*) .

Di seguito si riporta uno stralcio delle aree di pericolosità idraulica individuate nell'ambito del predetto studio.

L'area oggetto di intervento ricade nella perimetrazione di pericolo idraulico e rischio idraulico tronco B1TC005 e individuato nella tav. 5 degli elaborati del P.A.I..

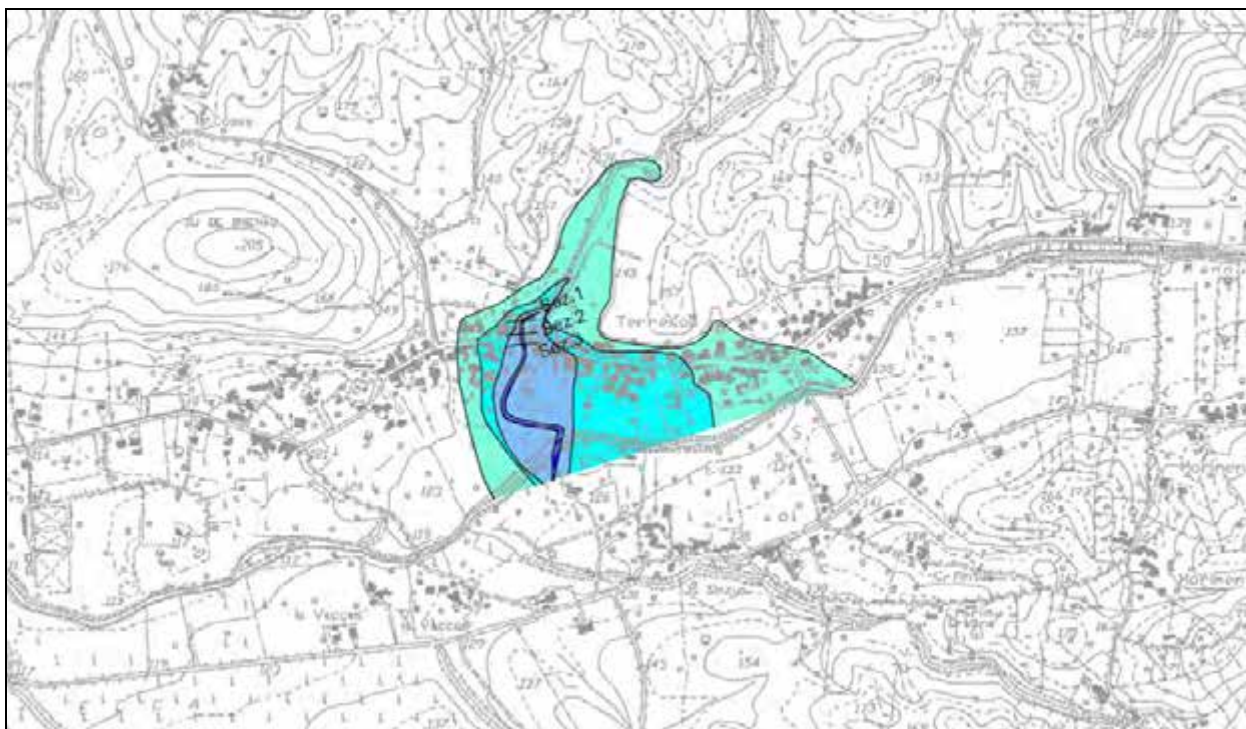


Figura 10 - Estratto della Tav. Hi05/29 del PAI Vigente - Carta delle aree inondabili

Si fa osservare che la perimetrazione delle aree inondabili, nel PAI vigente, sono state determinate lungo il corso del Rio Cresia riportato nella cartografia IGM 1:25.000. Attualmente il corso d'acqua segue un tracciato differente realizzato, probabilmente, in occasione dei lavori di arginatura del Rio Mannu e con successivi interventi di risagomatura.

4.2 Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183. Il PSFF 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 PSFF 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.

Anche nel PSFF sono individuate le aree soggette a fenomeni di inondazione, gli elementi a rischio e il conseguente rischio di inondazione.

Indicazioni del PSFF per la zona di intervento: Dall'esame della documentazione allegata al PSFF, approvato con Delibera n. 2 del 17.12.2015 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino della Regione Sardegna, non risulta individuato alcun livello di pericolosità idraulica del Rio Cresia.

4.3 Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)

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. Esso individua interventi strutturali e misure non strutturali che devono essere realizzate nell'arco temporale di 6 anni, al termine del quale il Piano è soggetto a revisione ed aggiornamento.

Nell'area oggetto di intervento sono previste aree di pericolosità e rischio idraulico e sono individuate nelle Tavv. Hi-0067 e Hi-0079 per la pericolosità idraulica, Tavv. Ri-0067 e Ri-0079 per il rischio idraulico e Tavv. DP-0067 e DP-0079 che indicano la mappa del danno potenziale. Di seguito uno stralcio della pericolosità idraulica estratto dalla Tav. Hi-0067

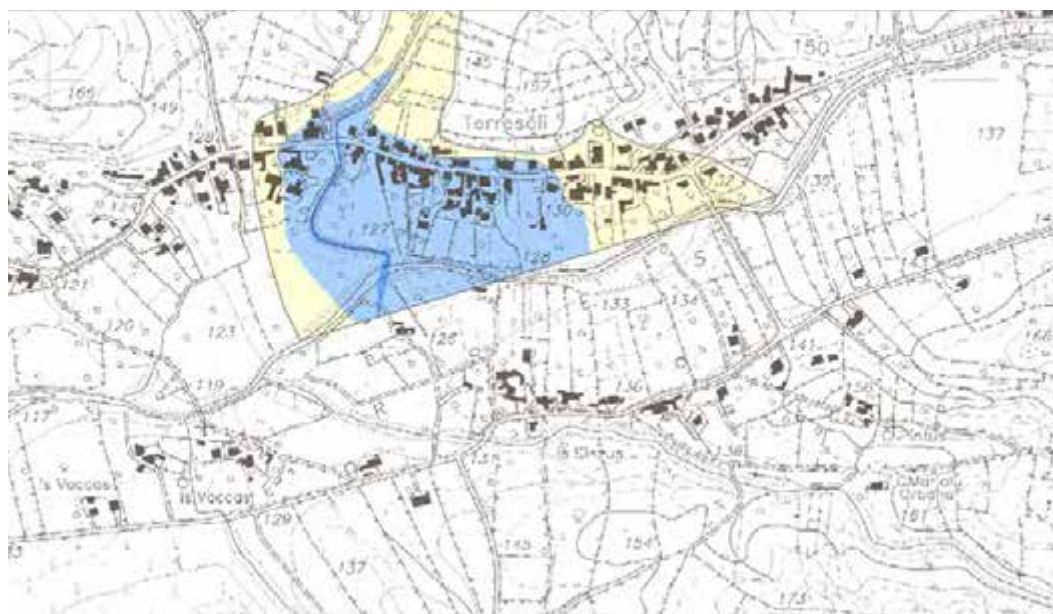


Figura 11 - Stralcio PGRA pericolosità idraulica - zona di intervento

Anche in questo caso la perimetrazione delle aree inondabili del Rio Cresia è riportata nella cartografia IGM 1:25.000. Attualmente il corso d'acqua segue un tracciato differente.

4.4 Varianti ed aggiornamenti del PAI in base all'art. 37 delle Norme di Attuazione del PAI

In data 20/07/2015 il comune di Santadi, ai sensi dell'Art. 37 delle NTA, ha approvato una variante al PAI del Rio Mannu. L'esigenza di procedere con detta variante è scaturita dal fatto che il Rio Mannu di Santadi è interessato, oltre che dal reticolo principale su cui sono stati eseguiti negli ultimi decenni diversi interventi di sistemazione idraulica, anche da un reticolo idrografico secondario, i cui compluvi naturali sono stati fortemente modificati dall'urbanizzazione. Tale variante ha interessato, tra gli altri, anche il Rio Cresia che nel frattempo era stato assoggettato ad altri interventi di sistemazione idraulica e di modifica del tracciato con conseguente modifica delle aree di esondazione individuate precedentemente dal PAI. La nuova perimetrazione delle aree a pericolosità idraulica ed a rischio idraulico è stata condotta per tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni come prescritto dalle NTA del PAI Sardegna. Allo stato attuale risulta che tale variante è in corso di istruttoria presso l'Autorità di Bacino della Sardegna per la successiva approvazione ai sensi dell'art. 37, comma 2 delle N.A. del PAI.



In attesa dell'approvazione da parte dell'Autorità di Bacino, il presente studio di compatibilità allegato al progetto dei lavori di sistemazione del Rio Cresia, pur tenendo conto delle risultanze della variante in corso di istruttoria, è basato su un nuovo studio idrologico per la determinazione delle portate di piena e di modellazione idraulica nelle due situazioni prima e dopo la realizzazione dell'intervento.

5 STUDIO IDROLOGICO – STIMA DELLE PORTATE DI PIENA

Prima di procedere con la verifica di compatibilità idraulica degli interventi previsti in progetto è necessario definire il contesto idrologico-idraulico in cui si opera e le portate di piena da utilizzare nelle diverse verifiche richieste.

Per la stima delle portate di piena di assegnato periodo di ritorno si è fatto costante riferimento ai criteri riportati nelle LINEE GUIDA DEL PAI che prevedono che le portate al colmo da utilizzare negli studi di compatibilità idraulica e per l'individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico, siano quelle caratterizzate da tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

In Sardegna, data la limitata consistenza dei dati disponibili e la necessità di stimarne i valori in sezioni non osservate, la stima della portata di piena è basata sul confronto critico dei risultati ottenuti con diverse metodologie di calcolo (metodi diretti, formule empiriche e metodi indiretti) e dal confronto con i dati osservati, qualora disponibili.

5.1 Metodi diretti

In Sardegna la valutazione delle piene col metodo diretto viene condotta con due diverse formulazioni, basate sulla distribuzioni probabilistiche log-normale e Two Components Extreme Values applicati a dati massimi annuali di portata al colmo.

La prima formulazione introdotta da Lazzari nel 1967, esprime la portata al colmo come:

$$\text{Log } Q(T) = 0.3583 \cdot z(T) + 0.956 \cdot \text{Log}(A \cdot z_m) - 8.731 \quad \text{per i bacini della parte occidentale dell'isola}$$

$$\text{Log } Q(T) = 0.4413 \cdot z(T) + 0.746 \cdot \text{Log}(A \cdot z_m) - 6.257 \quad \text{per i bacini della parte orientale.}$$

La seconda, in base a studi più recenti, interpreta i fenomeni di piena con la distribuzione TCEV (Two Components Extreme Values), nella quale la probabilità di non superamento è data dalla miscela di due distribuzioni esponenziali del tipo:



$$p = e^{-\lambda_1 \cdot e^{-Q/g_1} - \lambda_2 \cdot e^{-Q/g_2}}$$

dove P è la probabilità di non superamento della portata di piena e $\lambda_1, \lambda_2, g_1, g_2$ sono quattro parametri essenzialmente positivi che caratterizzano la distribuzione.

Nel caso in studio viene scartata l'applicazione di questa metodologia in quanto questa deriva dall'analisi di serie storiche relative a stazioni che sottendono bacini di estensione superiore a 60 Km².

5.2 Metodi empirici

I metodi empirici si basano generalmente sull'osservazione dei soli dati di portata al colmo in siti diversi e cercano di individuare correlazioni con le caratteristiche geomorfologiche dei bacini permettendo di ottenere modelli regressivi che in funzione delle caratteristiche geomorfologiche forniscono la portata al colmo o il contributo unitario per Km².

Per la Sardegna è stata ricavata la curva inviluppo dei massimi di piena che permette di ricavare il valore del contributo unitario di piena, q, secondo le espressioni aggiornate al 1969.

Il metodo consiste, semplicemente, nel tracciare la curva o la superficie inviluppo dei punti rappresentanti i massimi valori dei contributi di piena in funzione di uno o più parametri morfologici del bacino.

La prima formulazione per i bacini sardi fu data dal Sirchia (1931). L'Autore era dell'avviso che i valori di portata così calcolati fossero utilizzabili per la determinazione delle massime portate prevedibili per i bacini più impervi e rocciosi mentre, per gli altri, si dovesse far ricorso all'applicazione di un opportuno coefficiente di riduzione.

La curva inviluppo dei massimi valori fu in seguito aggiornata dal Fassò (1969) tenendo conto dei valori di portata durante la piena catastrofica dell'ottobre 1951.

Di seguito si riporta l'espressione per la valutazione della portata di piena in funzione del massimo contributo unitario:

$$Q = P_s \cdot q \cdot A \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

dove:



A = superficie del bacino considerato in (km^2) ;
 q = massimo contributo unitario in $(\text{m}^3/\text{s} \cdot \text{km}^2)$;

Per la valutazione dei massimi contributi il Fassò suggerisce le seguenti espressioni analitiche:

$$q = 207/A^{0.60} \quad \text{per } 21 \text{ km}^2 \leq A \leq 1000 \text{ km}^2$$

$$q = 45,8/A^{0.106} \quad \text{per } A < 21 \text{ km}^2$$

P_S = coefficiente correttivo, funzione delle caratteristiche pluviometriche dell'evento meteorico, dell'esposizione, della copertura vegetale della superficie e della geomorfologia del bacino imbrifero.

Per la valutazione del coefficiente P_S la Sardegna è stata suddivisa in 18 zone idrografiche omogenee. Per ciascuna zona sono state preliminarmente determinate la superficie totale, l'altitudine media, la pendenza media dei versanti, l'altezza d'acqua ritenibile nello strato utile del terreno e l'influenza di ciascuno dei quattro gruppi pluviometrici individuati da Cao, Puddu e Pazzaglia.

Il coefficiente correttivo viene stimato mediante l'espressione seguente:

$$P'_S = P_S \cdot P_a$$

dove P_S è relativo alla zona idrografica in cui il bacino ricade, ed è ricavabile da tabella in funzione del periodo di ritorno dell'evento di piena che si deve calcolare, e P_a è ricavabile da diagramma per ogni zona idrografica in funzione della superficie del bacino. (La tabella e i diagrammi sono riportati nel Rapporto Regionale Sardegna valutazione delle piene 1991).

Il metodo empirico illustrato ha il difetto di non tenere conto di nessuna analisi probabilistica o statistica, e, in genere, fornisce valori di portata spesso sovrastimati soprattutto nel caso di piccoli bacini.

5.3 Metodi indiretti

Metodo Razionale



Tale metodologia stima la portata al colmo a partire dalla precipitazione nell'ipotesi che la frequenza di accadimento di quest'ultima caratterizzi quella della portata al colmo. La portata di piena è espressa dalla ben nota Formula Razionale:

$$Q = \frac{\psi \cdot r \cdot h_{tc} \cdot A}{3,6 \cdot t_c} \text{ [m}^3\text{/s]} \quad \text{dove:}$$

ψ è il coefficiente di deflusso: tiene conto della trasformazione pioggia lorda – pioggia netta ed è funzione delle caratteristiche geo-morfologiche e del tipo di vegetazione presente sul bacino idrologico;

r è il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino 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;

h_{tc} è l'altezza di precipitazione critica di durata pari al tempo di corrivazione del bacino; si calcola mediante l'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica e si esprime in [mm].

A è la superficie del bacino espressa in [km²].

t_c è il tempo di corrivazione del bacino in [ore].

La stima della portata di piena risulterà accurata o meno a seconda del numero dei dati pluviometrici disponibili e della precisione nella valutazione dei parametri della formula.

5.4 Stima del tempo di corrivazione del bacino

La valutazione del tempo di corrivazione viene fatta attraverso un confronto critico delle seguenti formule:

- Formula di Giandotti: $t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 1,5 \cdot L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$
- Formula di Ventura: $t_c = 0,127 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_m}}$
- Formula di Viparelli: $t_c = \frac{L}{3,6 \cdot V} \quad (V = 1 \div 1,5 \text{ m/sec})$



- Formula di Pasini:
$$t_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i_m}}$$
- Formula di SCS:
$$t_c = 0,00227 \cdot \frac{(1000 \cdot L)^{0,8} \cdot [(1000 / CN) - 9]^{0,7}}{i_v^{0,5}}$$

dove:

A = superficie del bacino espressa in [km²];

L = lunghezza dell'asta principale espressa in [km];

H_m = l'altitudine media del bacino espressa in [m];

H₀ = l'altitudine della sezione finale del bacino espressa in [m];

i_m = pendenza media dell'asta principale del corso d'acqua [m/m];

i_v = pendenza media dei versanti

V = velocità minima della corrente lungo l'asta principale espressa in [m/s].

Di fatto, tuttavia, le espressioni empiriche precedenti forniscono, per il medesimo bacino, risultati spesso discordanti e, comunque, caratterizzati da ampi margini di incertezza. Ognuna di queste formule, determinate attraverso l'osservazione sperimentale in bacini reali, risulta maggiormente adatta a particolari condizioni geo-morfologiche e topografiche. In particolare la formula del Giandotti viene in genere utilizzata nel caso di bacini imbriferi abbastanza estesi (170 Km² e oltre), mentre per bacini meno estesi risultano più adatte le formule di Ventura, di Pasini o di Viparelli. Comunque data la elevata empiricità delle formule e l'eterogeneità delle stime, risulta generalmente cautelativo assumere il valore minore tra quelli calcolati.

5.5 Valutazione del coefficiente di ragguaglio

Il coefficiente di ragguaglio delle piogge all'area **r** viene calcolato con le formule utilizzate nel VAPI Sardegna, che fa riferimento al Flood Studies Report :

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

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

dove:



t è la durata della precipitazione (assunta pari al tempo di corrivazione) ed A è la superficie del bacino (espressa in km^2).

h_{tc} è l'altezza di precipitazione critica di durata pari al tempo di corrivazione del bacino; si calcola mediante l'utilizzo delle curve di possibilità pluviometrica e si esprime in [mm].

5.6 Valutazione dell'altezza di precipitazione h_{tc}

Per determinare h_{tc} si fa usualmente ricorso alle curve di possibilità pluviometrica che caratterizzano il regime pluviometrico della Sardegna.

5.6.1 Curva di possibilità pluviometrica di Piga-Liguori

Secondo gli studi di Cao, Puddu e Pazzaglia (1969), e successivamente aggiornati da Piga e Liguori (1985), le stazioni pluviografiche e pluviometriche della Sardegna sono state suddivise in 4 gruppi, in funzione del regime delle precipitazioni intense e di breve durata. Ciascun gruppo di stazioni, per distribuzione geografica, rappresenta un distinto regime pluviometrico per le piogge intense.

Le curve di possibilità pluviometrica sono state determinate per ciascun gruppo nella forma:

$$h = 10^{(c+du) \cdot t^{(a+bu)}} [\text{mm}]$$

dove h rappresenta l'altezza di precipitazione per una durata t , mentre a , b , c e d sono i coefficienti caratteristici di ogni gruppo omogeneo ed u rappresenta il frattile della distribuzione normale standardizzata che consente di collegare l'evento meteorico al periodo di ritorno T_r .

Tabella 1 - Coefficienti delle curve di possibilità pluviometrica per la Sardegna (Piga-Liguori)

Gruppo	a	b	c	d
I°	1,273178	0,179732	0,305041	-0,017147
II°	1,296212	0,167488	0,359696	-0,017941
III°	1,379048	0,164598	0,418212	0,009093
IV°	1,460774	0,191832	0,497207	0,041251

Pertanto, fissato il periodo di ritorno dell'evento di cui si vuole calcolare la portata di piena e individuato il gruppo di appartenenza del bacino in esame, si calcola il tempo di corrivazione con



la più adatta delle formule disponibili e, infine, l'altezza di pioggia relativa ad un evento meteorico di durata t_c e tempo di ritorno T_r .

La determinazione del gruppo di appartenenza di un generico bacino studiato, in assenza di stazione pluviometrica, viene fatta attribuendogli lo stesso gruppo delle più vicine stazioni.

Nel caso specifico nelle vicinanze del bacino studiato è presente la stazione del primo gruppo (Santadi).

5.6.2 Curva di possibilità pluviometrica di Deidda-Piga-Sechi

Studi più recenti per la Sardegna (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.

L'equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata in tal caso assume l'espressione:

$$h(t) = a \cdot t^n [\text{mm}]$$

dove:

$$a = a_1 \cdot a_2$$

$$n = n_1 + n_2$$

quindi

$$h(t) = a_1 \cdot a_2 \cdot t^{n_1+n_2} [\text{mm}]$$

indicando con

$$\mu(t) = a_1 \cdot t^{n_1} \text{ detta pioggia indice (media dei massimi annui di durata } t)$$

$$k(t) = a_2 \cdot t^{n_2} \text{ detto coefficiente di crescita (media dei massimi annui di durata } t)$$

dove i coefficienti a_1 ed n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g con le seguenti espressioni:

$$a_1 = \mu_g / (0.886 \cdot 24^{n_1})$$

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

La pioggia indice giornaliera μ_g (media dei massimi annui di precipitazione giornaliera) calcolata per diverse zone della Sardegna si ricava dalla carta delle Isoiete (figura 1)



Effettuando le opportune sostituzioni la pioggia media per diverse durate, detta anche pioggia indice, è funzione dalla pioggia media giornaliera μ_g , secondo l'espressione:

$$\mu(t) = \frac{\mu_g}{0,886 \cdot 24^{(-0,493+0,476 \text{Log}(\mu_g))}} \cdot t^{(-0,493+0,476 \text{Log}(\mu_g))}$$

e quindi l'equazione di possibilità pluviometrica:

$$h(t) = \mu(t) \cdot a_2 \cdot t^{n_2}$$

Per quanto riguarda i coefficienti a_2 ed n_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti tempi di ritorno T_r e durate di pioggia t e a seconda delle 3 sottozone omogenee (SZO) in cui è stata suddivisa la Sardegna (figura 2).

Parametri della curva di possibilità climatica

SZO	Durata ≤ 1	Durata >1 ora
Sottozona 1	$a_2=0.46378+1.0386*\text{Log } T_r$	$a_2=0.46378+1.0386*\text{Log } T_r$
	$n_2=-0.18449+0.23032*\text{Log } T_r - 3.3330*10^{-2}*(\text{Log } T_r)^2$	$n_2=-1.0563*10^{-2}-7.9034*10^{-3}*\text{Log } T_r$
Sottozona 2	$a_2=0.44182+1.0817*\text{Log } T_r$	$a_2=0.44182+1.0817*\text{Log } T_r$
	$n_2=-0.18676+0.24310*\text{Log } T_r - 3.5453*10^{-2}*(\text{Log } T_r)^2$	$n_2=-5.6593*10^{-3}-4.0872*10^{-3}*\text{Log } T_r$
Sottozona 3	$a_2=0.41273+1.1370*\text{Log } T_r$	$a_2=0.40926+1.1441*\text{Log } T_r$
	$n_2=-0.19055+0.25937*\text{Log } T_r - 3.8160*10^{-2}*(\text{Log } T_r)^2$	$n_2=1.5878*10^{-2}+7.6250*10^{-3}*\text{Log } T_r$

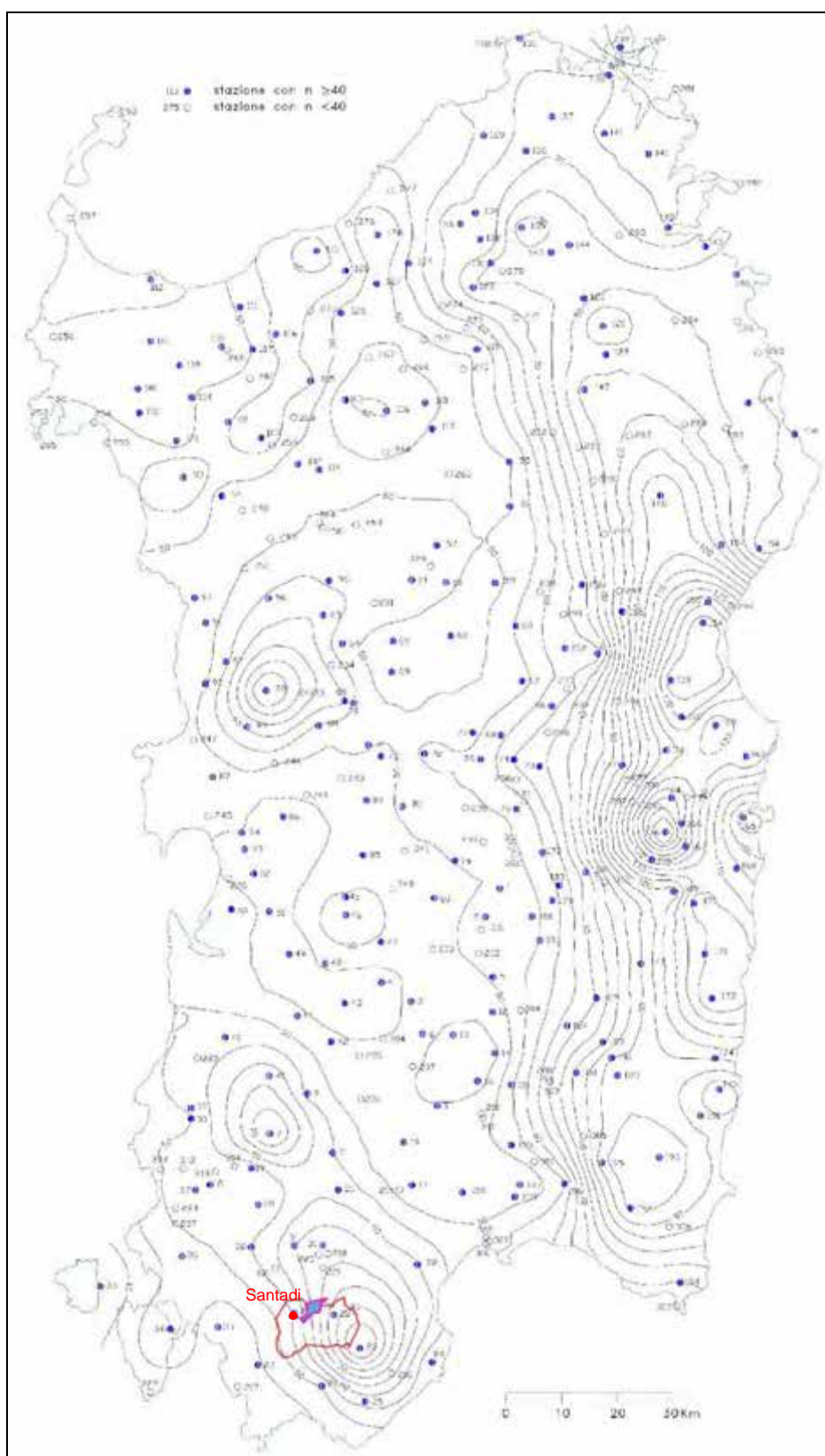


Figura 12 - Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera μg in Sardegna

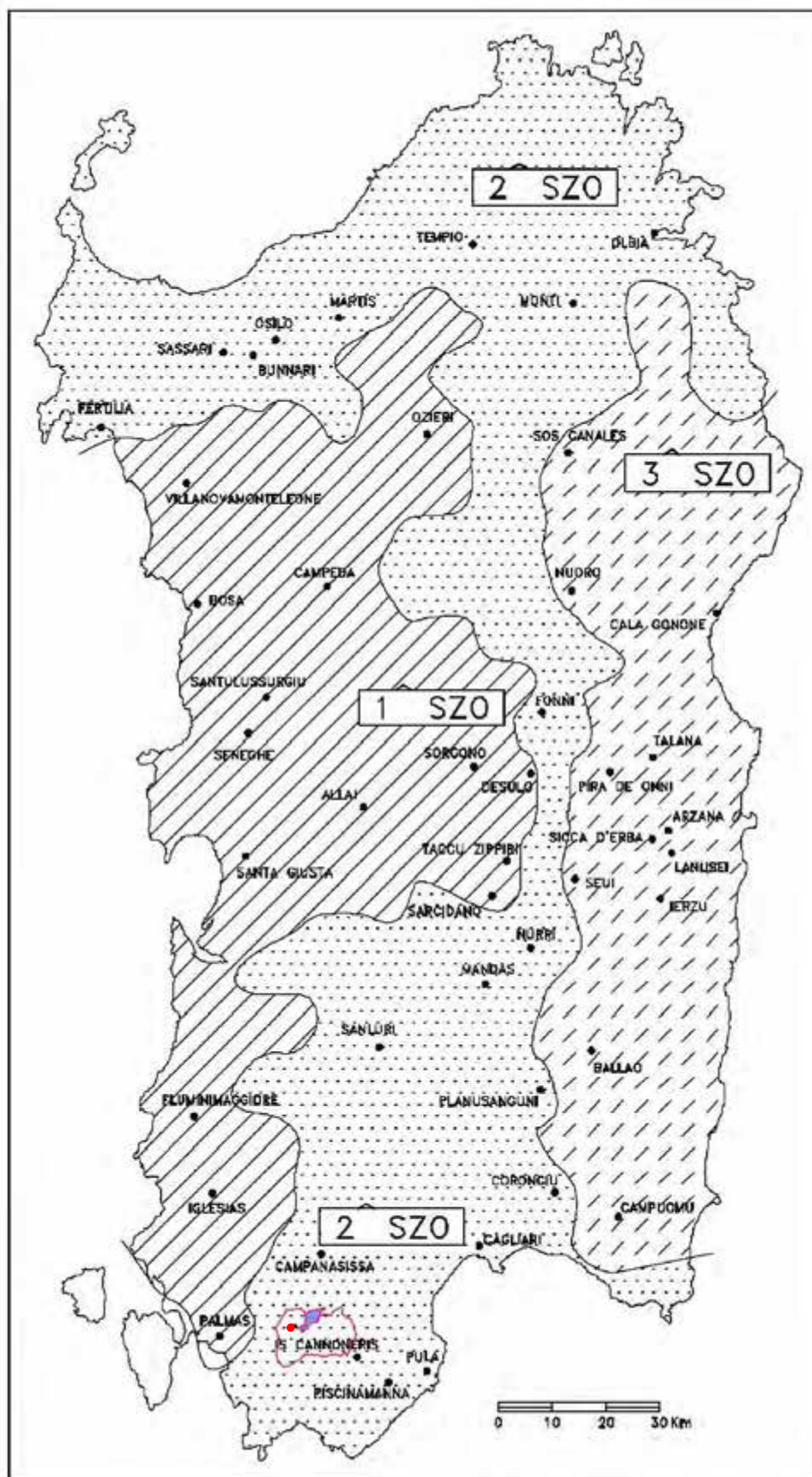


Figura 13 - Zone Omogenee per le piogge brevi e intense in Sardegna.



I bacini oggetto del presente studio ricadono nella sottozona Omogenea SZO 2

5.7 Valutazione del coefficiente di deflusso

Il valore del coefficiente di deflusso può essere calcolato con il metodo del SCS-Curve Number, che permette di ricavare la pioggia netta in base all'espressione:

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

e quindi il coefficiente di deflusso:

$$\psi = \frac{h_{netta}}{h_{lorda}} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{h_{lorda} \cdot (h_{lorda} + S_a - I_a)} \quad \text{dove:}$$

- ψ = Coefficiente di deflusso
- h_{lorda} = pioggia stimata per assegnata distribuzione di probabilità
- $I_a = 0,2 \cdot S$ = assorbimento iniziale del bacino

combinando le due espressioni si ricava:

$$\psi = \frac{(h_{lorda} - 0,2 \cdot S)^2}{h_{lorda} \cdot (h_{lorda} + 0,8 \cdot S)} \quad \text{dove:}$$

- S = capacità massima di assorbimento del bacino espresso dalla relazione:

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

- CN = parametro di assorbimento. Il valore di CN (variabile teoricamente tra 0 a 100) esprime percentualmente la quantità d'acqua che caduta al suolo contribuisce al deflusso superficiale.

Infine si determina la portata mediante la formula:

$$Q = \frac{\psi \cdot r \cdot h_{lorda} \cdot A}{3,6 \cdot t} \quad [\text{m}^3/\text{s}]$$

5.8 Valutazione della durata di pioggia critica t :

Per la valutazione della durata della pioggia critica si è assunto il modello utilizzato nella procedura VAPI Sardegna; si è quindi ammesso che la durata della pioggia corrisponda alla



somma del tempo necessario per la formazione del deflusso superficiale e del tempo di corrivazione del bacino:

$$t = t_c + t_f,$$

dove:

t_c = tempo di corrivazione del bacino

t_f = tempo di formazione del deflusso superficiale

Per quanto riguarda il tempo di formazione del ruscellamento superficiale, si utilizza la seguente formulazione:

$$t_f = \frac{I_a}{i(t, r)}$$

dove I_a rappresenta l'assorbimento iniziale e $i(t, r)$ l'intensità di pioggia corrispondente alla durata critica. La stima di questo valore deve essere evidentemente effettuata in maniera iterativa.

5.9 Scelta del tempo di ritorno T

I tempi di ritorno adottati sono conformi alle indicazioni del PAI, in particolare sono stati adottati 50, 100, 200, 500 anni.

5.10 Valutazione del parametro di assorbimento CN

I valori del parametro di assorbimento CN e quindi della capacità massima di assorbimento S sono stati determinati per le sezioni idrologiche d'interesse facendo riferimento alla ben nota metodologia SCS-CN utilizzando la Carta Litologica e quella di Uso del Suolo disponibile presso la Regione Sardegna nell'ambito del Sistema IFRAS.

Per ciascun bacino è stato determinato un valore medio del CN (Curve Number) relativo alle condizioni più critiche di umidità antecedente del suolo, ovvero corrispondente alla condizione AMC (Antecedent Moisture Condition) di tipo III.

Nel caso in esame, ogni bacino scolante è stato suddiviso, in base al tipo e all'uso del suolo, in zone omogenee caratterizzate dal medesimo valore del parametro CN. L'uso del suolo è stato ricavato dalla “Carta dell'Uso del Suolo” in scala 1:25.000 elaborata dalla Regione Sardegna. Si sono così ottenute varie sub-aree isoparametriche la cui somma fornisce la superficie complessiva del bacino. Per ogni bacino è stato ricavato poi un valore medio ponderato del parametro CN. Al valore così ottenuto è stato poi assegnato un valore correttivo ΔCN variabile

nell'intervallo (-5,+15) che tiene conto delle caratteristiche geologiche del bacino, passando da -5 per i terreni incoerenti ad elevata capacità di infiltrazione a +15 per le rocce con strutture cristalline compatte e poco permeabili. Nel caso specifico è stato assunto un coefficiente correttivo $\Delta CN=12$ e quindi un $CN(II)=CN+12$. Infine è stato calcolato per ciascun bacino il valore medio $CN(III)$ mediante l'espressione:

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 \cdot CN(II)}$$

Di seguito si riporta il bacino studiato con la suddivisione della superficie in base all'uso del suolo e il relativo CN attribuito.

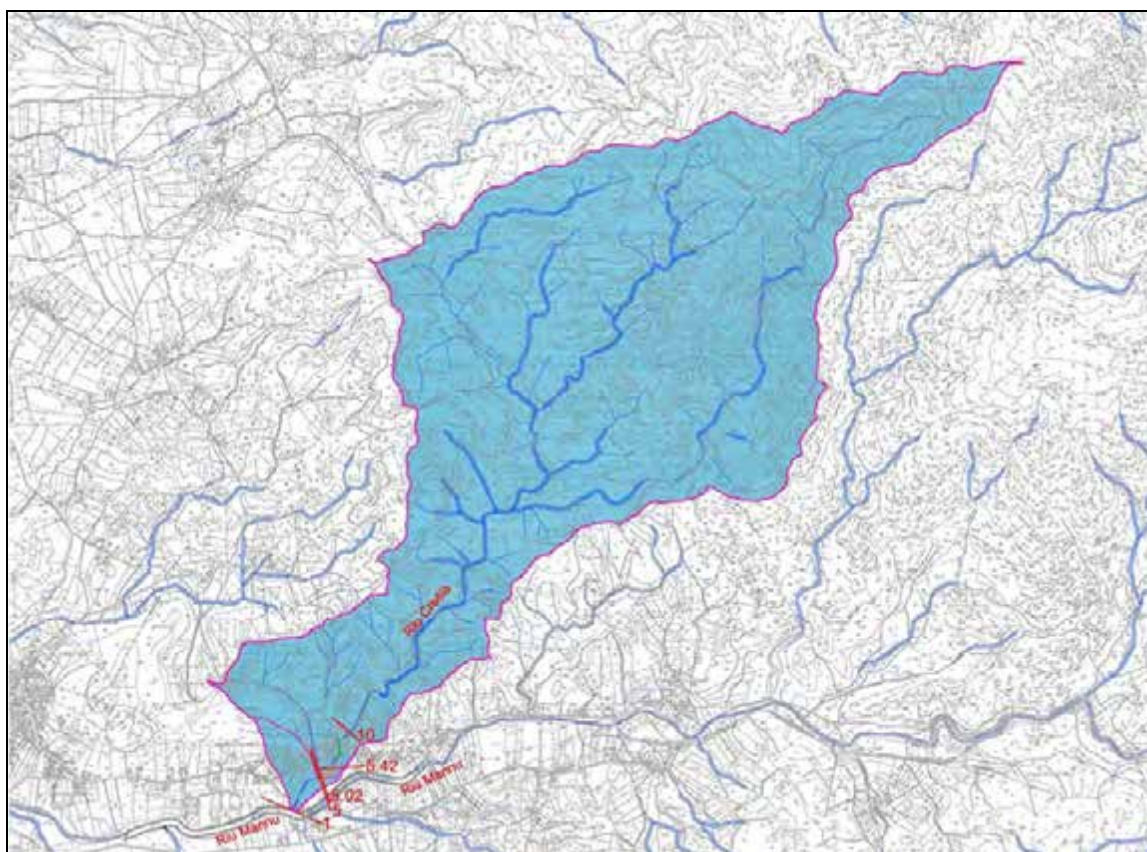


Figura 14 - Bacino idrografico Rio Cresia

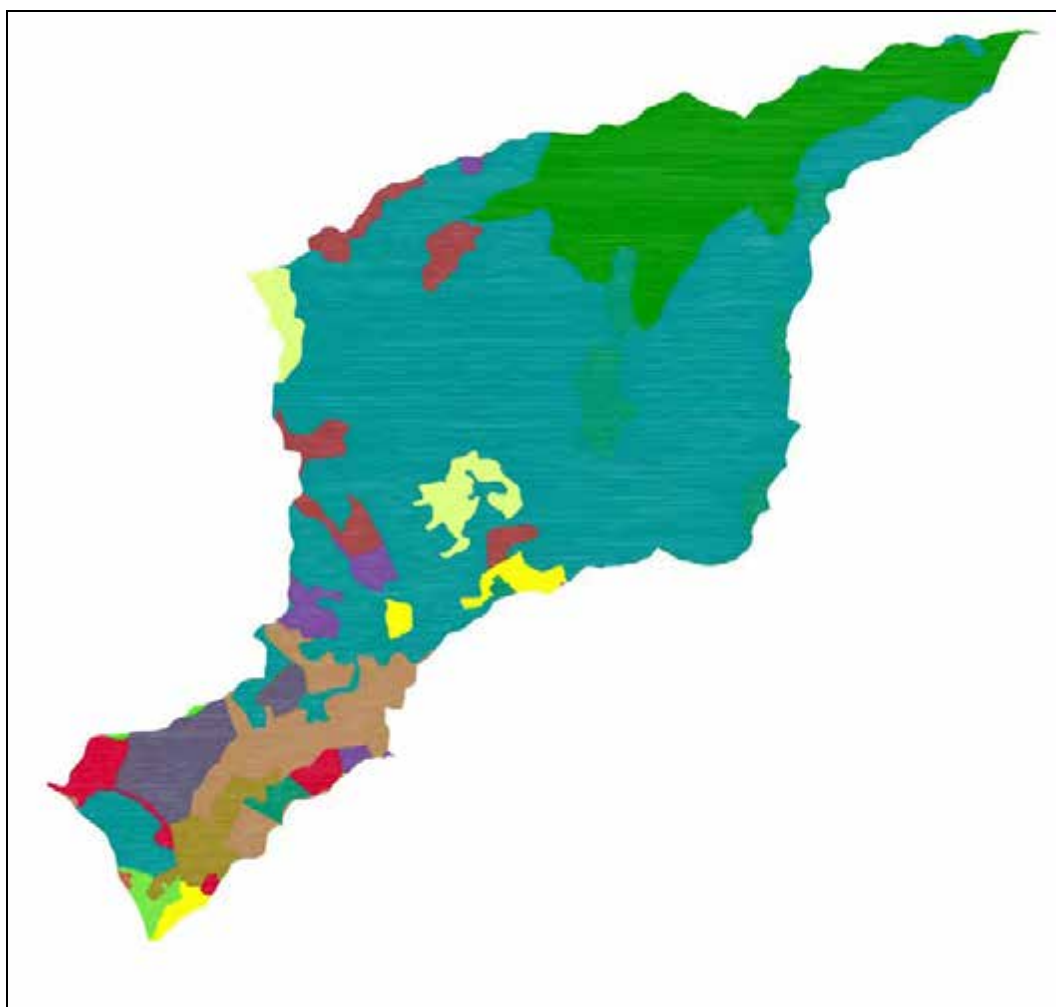


Figura 15 - Carta dell'uso del suolo - Bacino Rio Cresia



Bacino del Rio Cresia

USO DEL SUOLO	Superficie Km ² (S)	CN	CN * S
Aree a pascolo naturale	0.175600 Km ²	75	13.17
Aree a ricolonizzazione artificiale	0.000000 Km ²	70	0.00
Aree a ricolonizzazione naturale	0.116232 Km ²	70	8.14
Aree agroforestali	0.226513 Km ²	70	15.86
Aree con vegetazione rada >5% e <40%	0.000000 Km ²	70	0.00
Aree estrattive	0.000000 Km ²	75	0.00
Aree prevalentemente occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.000000 Km ²	70	0.00
Aree ricreative e sportive	0.000000 Km ²	95	0.00
Bacini artificiali	0.000000 Km ²	99	0.00
Boschi misti di conifere e latifoglie	0.000000 Km ²	60	0.00
Bosco di conifere	0.000000 Km ²	70	0.00
Bosco di latifoglie	1.243130 Km ²	50	62.16
Cantieri	0.000000 Km ²	95	0.00
Cimiteri	0.000000 Km ²	95	0.00
Colture temporanee associate ad altre colture permanenti	0.000000 Km ²	60	0.00
Colture temporanee associate all'olivo	0.000000 Km ²	60	0.00
Colture temporanee associate al vigneto	0.043454 Km ²	99	4.30
Fabbricati rurali	0.022948 Km ²	95	2.18
Gariga	0.295270 Km ²	65	19.19
Impianti a servizio delle reti di distribuzione	0.000000 Km ²	95	0.00
Insedamenti industriali/artigianali e commerciali e spazi accessori	0.000000 Km ²	95	0.00
Macchia mediterranea	4.076346 Km ²	75	305.73
Oliveti	0.000000 Km ²	60	0.00
Paludi interne	0.000000 Km ²	99	0.00
Pioppeti, saliceti, eucalitteti	0.044643 Km ²	50	2.23
Pioppeti, saliceti, eucalitteti, ecc anche in formazioni miste	0.141502 Km ²	50	7.08
Prati artificiali	0.103055 Km ²	75	7.73
Reti stradali e spazi accessori	0.000000 Km ²	95	0.00
Seminativi in aree non irrigue	0.414020 Km ²	60	24.84
Sistemi colturali e particellari complessi	0.122669 Km ²	60	7.36
Sugherete	0.000000 Km ²	65	0.00
Tessuto residenziale compatto e denso	0.000000 Km ²	95	0.00
Tessuto residenziale rado	0.000000 Km ²	95	0.00
Tessuto residenziale rado e nucleiforme	0.387059 Km ²	95	36.77
Vigneti	0.000000 Km ²	60	0.00
Vivai	0.000000 Km ²	70	0.00
Sommario	7.412440 Km²	$\sum(CN_i \cdot S_i) =$	516.73
		$CN_{medio} = \sum(CN_i \cdot S_i) / S_{bacino} =$	69.71
		$Maggiorazione \Delta CN =$	12.00
		$CNII = CN_{medio} + \Delta CN =$	81.71
		$CNIII = 23 + \frac{CNII}{10 + 0.13 \cdot CNII} =$	91.13
		CNIII UTILIZZATO	92.00

Figura 16 - Legenda uso del suolo e CN attribuito

Il bacino idrografico oggetto di studio è quello del Rio Cresia, affluente di destra de Rio Mannu. Il corso d'acqua ha origine sul versante Nord-Est del Monte Nieddu, a circa 1000 metri di altitudine. Scorre in direzione Sud-Est per circa 7,8 Km per confluire poi nel Rio Mannu a circa 118 metri di altitudine (sez.1) dopo aver attraversato la Frazione di Terresoli. Prima della



confluenza riceve da destra un affluente in cui è stata individuata una sezione di interesse (sez. 5). Le portate di piena utilizzate nella modellazione sono state calcolate nelle due sezioni sopra indicate.

Di seguito si riportano le caratteristiche morfometriche dei bacini sottesi dalle due sezioni di interesse e i vari parametri utilizzati per la determinazione delle portate calcolate con i metodi sopra descritti.

BACINO Riu Cresia Sez. 1 (Confluenza con Rio Mannu)

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE DEL BACINO

BACINO				ASTA FLUVIALE		PARAMETRI							
AREA A	QUOTA MEDIA Hm	QUOTA SEZIONE FINALE Ho	PENDENZA MEDIA	LUNGHEZZA L	PENDENZA	CNII	CNIII	Capacità massima di assorbim. S	TCEV Pioggia indice µg	Zona idrografica Zi	TCEV Sottozona	LOG NORM gruppo	Coeff. Sirchia-Fasso Ps
Kmq	m s.l.m.	m s.l.m.		Km									
7.41	374.20	118.11	0.159	7.81	0.118	82	92	22.09	70	18	2	1	0.7

TEMPI DI CORRIVAZIONE E ALTEZZE DI PIOGGIA

	tc (ore)	Tr	tf	tc + tf	horda mm	horda mm	horda mm
	ore	anni	ore	ore	mm	mm	mm
Ventura	1.01	50	0.09	1.1	44.13	55.02	35.23
Grandotti	1.77	100	0.08	1.09	49.29	62.65	42.22
Pasini	2.17	200	0.07	1.08	54.53	70.28	49.32
Viparelli	1.15	500	0.06	1.07	61.64	80.36	58.63
SCS							
VALORE UTILIZZATO	1.01				VAPI	VAPI	LOG NOR
					tf		

COEFF. DI RIDUZIONE AREALE E COEFF. DI DEFLUSSO

f	horda/horda
0.9227	0.64
0.9224	0.67
0.9222	0.70
0.9219	0.73

coeff. di rid. Areale

coeff. di deflusso

PORTATE DI PIENA (mc/sec)

PERIODI DI RITORNO (Anni)	50	100	200	500

METODI DIRETTI

LOG NORMALE (Lazzari)	10.77	13.49	16.57	21.27
TCEV	20.22	24.52	28.81	34.46

METODI INDIRETTI

TCEV (Deidda-Piga-Sechi)	60.92	73.77	86.87	103.6
LOG NORMALE (Piga-Liguori)	57.56	67.70	78.02	91.97

METODI EMPIRICI

SIRCHIA - FASSO	192.14	192.14	192.14	192.14
SIRCHIA MODIFICATO	65.88	79.05	92.23	111.99

PORTATE DI PROGETTO UTILIZZATE

Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀
mc/sec	mc/sec	mc/sec	mc/sec
61	74	87	104

TCEV (Deidda-Piga-Sechi)

CONTRIBUTO UNITARIO

q ₅₀	q ₁₀₀	q ₂₀₀	q ₅₀₀
mc/sec/kmq	mc/sec/kmq	mc/sec/kmq	mc/sec/kmq
8.23	9.99	11.74	14.03



Nel caso in esame, per la scelta della portata da utilizzare nella modellazione idraulica, si è tenuto conto, per un utile confronto, anche dello studio idrologico in corso di rielaborazione da parte dei tecnici della Tellus Engineering s.r.l. che ha redatto la variante PAI ai sensi dell'Art. 37 delle NTA. Detto studio, nella stesura attuale riporta, per il bacino del Rio Cresia, valori di portata che non si discostano sostanzialmente con quelli calcolati nel presente studio di compatibilità.

Per quanto esposto i valori di portata utilizzati per la modellazione idraulica del Rio Cresia nella situazione prima e dopo la realizzazione delle opere previste in progetto sono i seguenti:

PORTATE DI PROGETTO RIO CRESIA SEZ. 1				PORTATE DI PROGETTO RIO CRESIA SEZ. 5			
Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀	Q ₅₀	Q ₁₀₀	Q ₂₀₀	Q ₅₀₀
mc/sec	mc/sec	mc/sec	mc/sec	mc/sec	mc/sec	mc/sec	mc/sec
61	74	87	104	57	69	81	97
TCEV (Deidda-Piga-Sechi)				TCEV (Deidda-Piga-Sechi)			

ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica ha lo scopo di determinare i livelli idrici nei singoli tratti del corso d'acqua indagato e verificare quindi se questi livelli risultano contenuti o meno all'interno delle sezioni. Nel caso specifico le caratteristiche del deflusso vengono determinate per valori di portata con periodo di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni.

Le diverse simulazioni idrauliche vengono condotte per i due seguenti scenari:

- a) quello attuale (detto ante-operam), relativo allo stato attuale dei luoghi;
- b) quello futuro (post-operam), grazie al quale è possibile verificare l'impatto che la realizzazione delle opere in progetto avrà sul naturale deflusso fluviale e sulla sicurezza idraulica dei luoghi circostanti.

L'analisi idraulica viene condotta utilizzando il modello numerico *HEC-RAS* che consente il calcolo dell'andamento dei profili di corrente in moto permanente o gradualmente variato in alvei naturali o canali artificiali includendo anche la valutazione degli effetti sulla corrente dovuti all'interazione con ponti, tombinature, briglie, stramazzi, aree golenali ecc.



La determinazione del profilo teorico è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto **Standard step method** che si basa sulla semplice equazione monodimensionale del contenuto energetico della corrente:

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

dove:

$Y_1 [m]$ ed $Y_2 [m]$ = profondità dell'acqua nelle sezioni trasversali 1 e 2;

$Z_1 [m]$ e $Z_2 [m]$ = quote del fondo dell'alveo nelle due sezioni;

V_1 e V_2 = velocità medie della corrente nelle due sezioni;

α_1 e α_2 = coefficienti di ragguaglio delle potenze cinetiche;

h_e = perdita di carico totale tra le due sezioni considerate.

Il termine h_e dipende invece dalla variazione del carico cinetico della corrente tra le sezioni 1 e 2 dovuta al cambio di geometria delle sezioni stesse ed è a sua volta esprimibile come:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right|_e$$

dove:

L = distanza tra le due sezioni;

\bar{S}_f = pendenza di attrito media tra le due sezioni;

C = coefficiente di perdita di carico per espansione o contrazione;

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro n di scabrezza di Manning; in particolare è possibile individuare tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata main channel) e due zone laterali golenali (denominate right and left overbanks). Per ciascuna di tali zone, oltre che per l'intera sezione di deflusso, il programma calcola il valore delle grandezze idrauliche (portata, velocità, numero di Froude, ecc.) che caratterizzano il moto; esso consente pertanto di individuare la quota parte di portata che defluisce all'interno dell'alveo inciso e quella che compete invece alle aree golenali.



Il programma è in grado di simulare il deflusso attraverso i ponti mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.). La procedura di calcolo utilizzata consente la simulazione del deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato, del deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalamento dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo).

Per il calcolo del profilo di corrente in corrispondenza delle strutture, tra le diverse opzioni offerte dal codice di calcolo, sono state selezionate le equazioni di bilancio dell'energia ed il metodo dei momenti, tra le quali il programma seleziona in automatico la formulazione caratterizzata dalla maggiore dissipazione energetica, per il deflusso al di sotto dell'impalcato (low flow); viene invece assunta la schematizzazione con deflusso in pressione e stramazzo al di sopra dell'impalcato (pressure and weir) per le situazioni con livello della corrente tale da interessare l'intradosso del ponte (high flow).

Gli input di portata sono quelli definiti sulla base delle risultanze dell'analisi idrologica. In particolare, ogni tratto viene suddiviso in tronchi per i quali sono assunti valori al colmo costanti, limitati da sezioni a cui è associata una variazione di portata. Cautelativamente, per ogni tronco, viene assunto il valore di portata costante definito in una sezione di interesse situata a valle dello stesso.

Tempo di ritorno dell'evento: Complessivamente vengono condotte 4 simulazioni relative ai tempi di ritorno 50, 100, 200 e 500 anni.

Valori di scabrezza di Manning: sono stati assegnati per analogia con valori stimati in corsi d'acqua con caratteristiche simili.

I valori introdotti nel modello idraulico intendono rappresentare la situazione così detta a regime, nel senso che i valori di scabrezza assunti tengono conto sia del degrado strutturale dei materiali utilizzati per la realizzazione di opere (canalizzazioni, ponti ecc.) che della presenza di depositi (vegetazione, limo o ciottoli) comunque presenti in un alveo anche se ben sistemato mediante opere adeguate.

Sulla scorta dei sopralluoghi effettuati e con riferimento ai valori riportati in letteratura sono stati adottati i seguenti valori della scabrezza di Manning:

- $n = 0,017 \text{ s/m}^{1/3}$ - corsi d'acqua canalizzati in calcestruzzo grezzo
- $n = 0,024 \text{ s/m}^{1/3}$ - corsi d'acqua con arginatura e fondo in gabbioni



- $n = 0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ - corsi d'acqua con fondo in ciottoli, aree golenali regolari poco vegetate.

Condizioni al contorno: per effettuare la simulazione occorre inserire le condizioni al contorno in funzione del tipo di corrente che si instaura nel corso d'acqua. Se si tratta di una corrente lenta allora è sufficiente imporre la condizione di monte, al contrario se si tratta di una corrente veloce allora è necessario imporre la condizione di valle. Se infine si tratta di una corrente mista è necessario inserire sia la condizione di monte che di valle.

Nello caso di studio, per tutte le portate di assegnato periodo di ritorno, come condizione al contorno di monte è stata imposta l'altezza di moto uniforme (Normal Depth) calcolata in automatico dal programma HEC-RAS inserendo unicamente la pendenza dell'energia o se sconosciuta quella del fondo del canale.

Nelle tabelle riassuntive dei risultati ottenuti mediante il programma HEC-RAS vengono riportati, per ogni sezione, i seguenti dati caratteristici:

- River Sta = identificativo della sezione di calcolo con eventuale descrizione associata;
- Profile = identificativo del profilo di portata (Tempo di ritorno);
- Q Total = portata (m³/s);
- Min Ch El = quota di fondo minimo della sezione (m s.m.);
- W.S. Elev = quota di pelo libero (m s.m.);
- Crit W.S. = quota di altezza critica (m s.m.);
- E.G. Elev = quota di carico totale (m s.m.);
- E.G. Slope = pendenza del carico totale (m/m);
- Vel Chnl = velocità media della corrente nell'alveo inciso (m/s);
- Flow area = area del flusso d'acqua nella sezione (m²);
- Top Width = larghezza del pelo libero (m);
- Hydr Radius C = raggio idraulico nell'alveo inciso.
- Diff = differenza tra pelo libero e quota di altezza critica (m) (inserito per meglio valutare la tipologia di moto);
- Froude # Chl = numero di Froude della corrente nell'alveo inciso (-);

7 ANALISI DELLE SIMULAZIONI IDRAULICHE

Il tratto del Rio Cresia interessato dall'intervento di sistemazione idraulica è individuato nella seguente planimetria che riporta anche le sezioni fluviali utilizzate nel programma HEC-RAS.

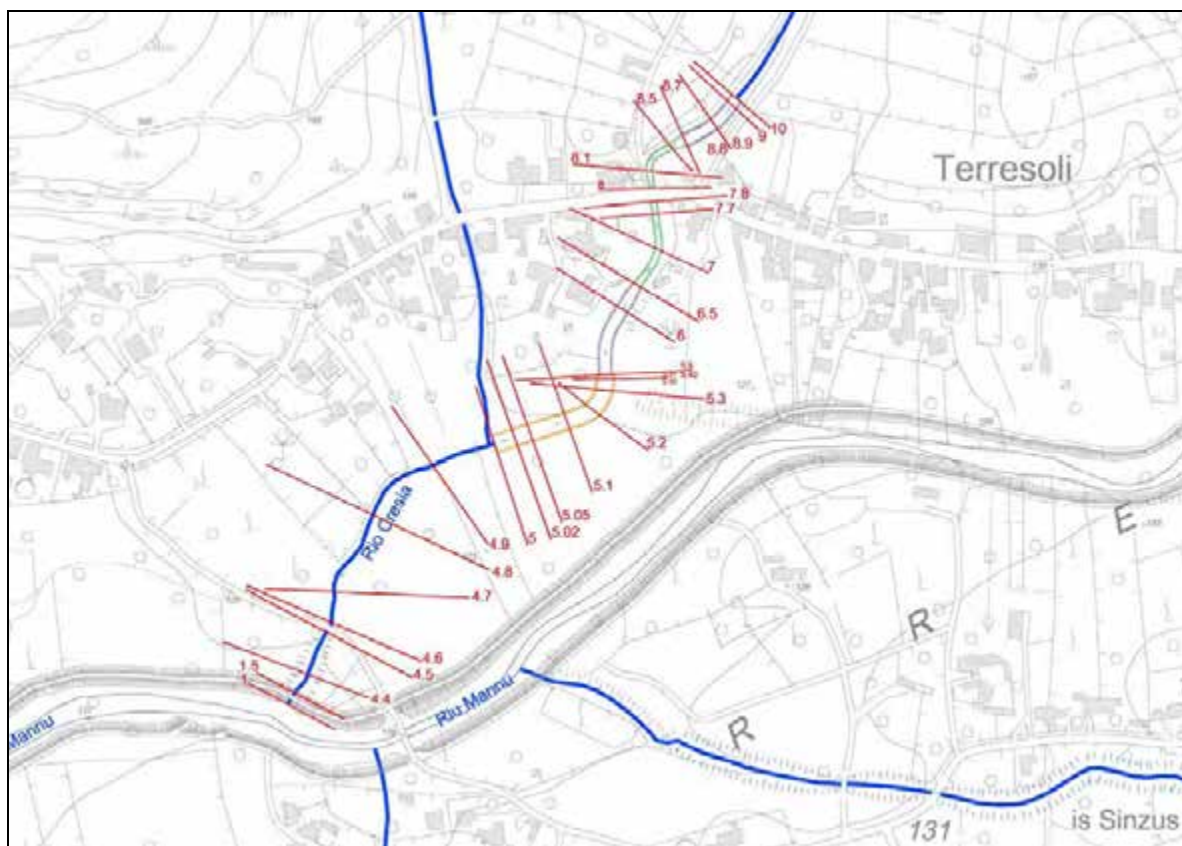


Figura 17 - Planimetria con indicazione sezioni per simulazione HEC RAS

SEZIONE N.	LOCALIZZAZIONE E TIPOLOGIA ALVEO (Situazione prima dell'intervento)
	Alveo naturale
10 - 8.7	Alveo con fondo e pareti in gabbioni
8.5 - 6.5	Canale in cls
6 - 5.5	Alveo con fondo e pareti in gabbioni
5.4 - 1	Alveo naturale

SEZIONE N.	LOCALIZZAZIONE E TIPOLOGIA ALVEO (Situazione dopo l'intervento)
	Alveo naturale
10 - 8.7	Alveo con fondo e pareti in gabbioni
8.5 - 6.5	Canale in cls
6 - 5.5	Alveo con fondo e pareti in gabbioni
5.42 - 5.29	Alveo con fondo e pareti in gabbioni
5.29 - 5.02	Alveo con pareti in gabbioni



5 – 1	Alveo naturale
-------	----------------

7.1 Modellazione prima dell'intervento

L'analisi è stata condotta lungo un tratto del Rio Cresia di lunghezza pari a circa 0,7 Km dalla sez.10 posizionata a monte dell'abitato di Terresoli fino alla confluenza con il Rio Mannu (sez.1).

Le condizioni al contorno utilizzate sono rispettivamente:

- Monte: Altezza di moto uniforme "Normal Depth" (calcolata inserendo la pendenza del fondo del canale nei diversi tratti);
- Valle: “Junction C” ovvero la giunzione di collegamento tra il Rio Cresia e il Rio Mannu (valore coincidente con i livelli di piena del Rio Mannu);

Gli elaborati grafici (profilo e sezioni) e i risultati delle elaborazioni sono riportati negli elaborati C.05 e C.11 allegati al presente studio.

Dall'analisi della simulazione risulta insufficiente a contenere tutte le portate sia il ponte sulla SP1 che la canalizzazione in calcestruzzo a monte e a valle della strada. Più a valle, sempre nel tratto canalizzato la sezione in gabbioni riesce a contenere solo la Q50 con un franco pari a circa 20 cm. Tutte le altre portate esondano verso le aree circostanti. Nel tratto non canalizzato è presente un modesto arginello in terra, realizzato con i materiali provenienti dagli scavi di risagomatura e rettifica che il corso d'acqua ha subito nel tempo. Sul lato sinistro di questo tratto, dalla sezione 5.2 in poi fino alla sez.1, il Rio Cresia esonda anche con la Q50.

Nel tratto prima della confluenza, la sezione insufficiente del corso d'acqua e la presenza di un attraversamento in corrispondenza dell'argine, non consentono il passaggio di nessuna delle portate utilizzate nella simulazione.

7.2 Modellazione post intervento

Le condizioni al contorno utilizzate sono rispettivamente:

- Monte: Altezza di moto uniforme "Normal Depth" (calcolata inserendo la pendenza del fondo del canale nei diversi tratti);
- Valle: “Junction C” ovvero la giunzione di collegamento tra il Rio Cresia e il Rio Mannu (valore coincidente con i livelli di piena del Rio Mannu);



Gli elaborati grafici (profilo e sezioni) e i risultati delle elaborazioni sono riportati negli elaborati C.07 e C.11 allegati al presente studio.

La modellazione post intervento è stata effettuata nello stesso tratto del Rio Cresia inserendo le caratteristiche geometriche e di scabrezza delle opere previste (gabbioni e mantellate).

Per effettuare la modellazione post intervento si è reso necessario l'inserimento di alcune sezioni aggiuntive rispetto alla situazione prima dell'intervento.

Dall'analisi delle sezioni e del profilo idraulico nei diversi tratti risulta che a monte e a valle dell'intervento i livelli idrici non subiscono variazioni sostanziali rispetto alla situazione prima dell'intervento. Nel tratto dalla sezione 5.42 alla sezione 5 i livelli idrici per tutte le portate sono contenuti all'interno del corso d'acqua e la Q200 transita in questo tratto con un franco superiore a quello minimo di norma.

7.3 Verifica dei franchi idraulici

Normativa di riferimento: Norme di Attuazione del PAI, Art. 21 comma 2bis:

Per le opere di difesa longitudinale è richiesto un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, corrispondente al massimo tra:

- 1) **$0,5 v^2/2g$** , dove v indica la velocità media della corrente;
- 2) **un metro**, per profondità media della corrente superiore a 1 m oppure pari alla profondità media, per profondità media della corrente inferiore o uguale a 1 m;
- 3) **$0,87\sqrt{y} + \alpha y'$** , dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata ed α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2. Il valore y della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell'area bagnata attiva si considerano le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0,1 m/s.

Fermo restando il valore minimo del franco di un metro, nel caso di profondità media della corrente inferiore a un metro, potrà essere assunto un franco pari al doppio della profondità media della corrente y .



Per velocità medie della corrente superiori a 8 m/s il franco sarà almeno pari all'intera altezza cinetica $v^2/2g$. (Nel caso in esame i valori medi delle velocità della corrente è sempre inferiore a 8 m/s.)

Le verifiche eseguite nelle diverse sezioni del corso d'acqua sono conformi con quanto previsto dall'Art. 21 comma 2bis delle NA del PAI.

I risultati di verifica dei franchi idraulici sono riportati nell'elaborato C.11

8 VALUTAZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO

Secondo la notazione usuale, il Rischio Idraulico, R_i , è definito come il prodotto di tre fattori secondo l'espressione:

$$R_i = H_i E V \quad \text{dove:}$$

R_i = rischio idraulico totale, quantificato secondo 4 livelli riportati nella tabella seguente, dove sono evidenziati gli estremi superiore delle classi.

Tabella 3. Descrizione delle classi di rischio idraulico e loro quantificazione.

Rischio idraulico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R_{i1}	Moderato	$\leq 0,002$	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R_{i2}	Medio	$\leq 0,005$	sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità del personale, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche
R_{i3}	Elevato	$\leq 0,01$	sono possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale
R_{i4}	Molto elevato	$\leq 0,02$	sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio-economiche

H_i = pericolosità - ossia la probabilità di superamento della portata al colmo di piena; in accordo al DPCM 29/09/98 è ripartita in 4 livelli, pari a 0.02, 0.01, 0.005, 0.002, che corrispondono ai periodi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

E = elementi a rischio; ai sensi del citato DPCM sono costituiti da persone e cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi. Ai fini del presente lavoro si classificano secondo la Tabella seguente, nella quale ad ogni classe è stato attribuito un peso secondo una scala tra [0, 1].

**Classificazione degli elementi a rischio e attribuzione del relativo peso.**

Classi	Elementi	Peso
E1	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile	0.25
E2	Aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane, poco abitate; edifici sparsi Zona agricola generica (con possibilità di edificazione); zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato; Parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie	0.5
E3	Nuclei urbani non densamente popolati; infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie, lifelines, oleodotti, elettrodotti, acquedotti); aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); zone per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti, zone a cava.	0.75
E4	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); zona discarica speciali o tossico nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici e artistici	1

V = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alla sollecitazione indotte dall'evento e quindi dal grado di perdita degli elementi a rischio E in caso del manifestarsi del fenomeno. Ogni qualvolta si ritenga a rischio la vita umana, ovvero per gli elementi di tipo E4, E3 e parte di E2, la vulnerabilità, secondo quanto si evince dal DPCM, sarà assunta pari all'unità.

8.1 Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico

Una volta definita la mappatura delle aree di pericolosità distinte in funzione dei tempi di ritorno, si è proceduto alla perimetrazione delle aree a rischio idraulico secondo le direttive contenute nelle norme di attuazione del PAI e conformemente al D.L. del 11/06/1998 n. 180 (convertito con L. n. 267 del 03/08/1998) e al D.P.C.M. del 29/09/1998, identificando cartograficamente le aree a rischio Ri come intersezione tra le aree inondabili e gli elementi a rischio. Tale procedura determina le aree a rischio Ri riportato nella seguente tabella.



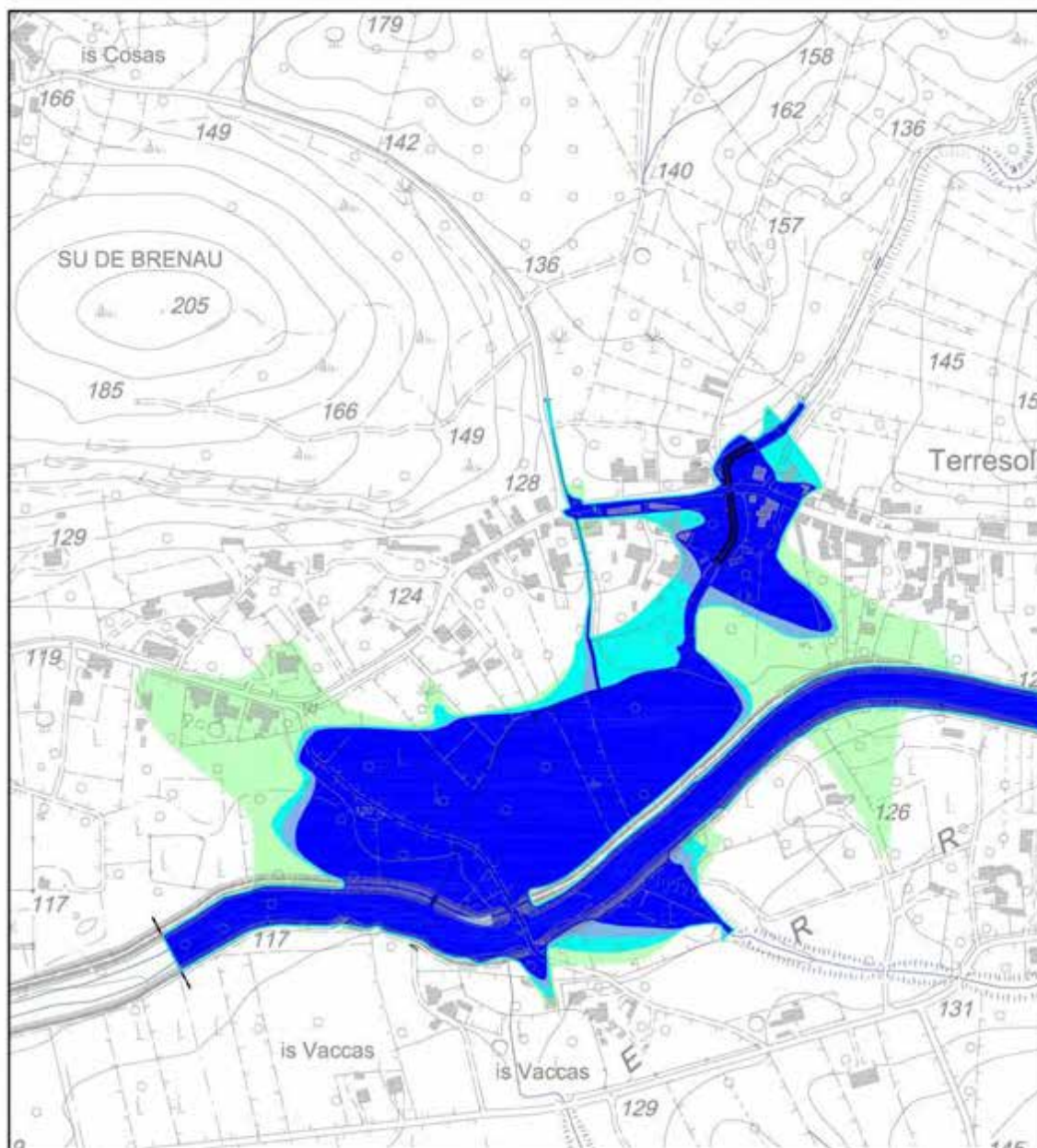
ELEMENTI A RISCHIO	PERICOLOSITÀ			
	H _{i1}	H _{i2}	H _{i3}	H _{i4}
	Tr 500	Tr 200	Tr 100	Tr 50
E ₁	R _{i1}	R _{i1}	R _{i2}	R _{i2}
E ₂	R _{i1}	R _{i2}	R _{i2}	R _{i3}
E ₃	R _{i1}	R _{i2}	R _{i3}	R _{i4}
E ₄	R _{i1}	R _{i2}	R _{i3}	R _{i4}

Quanto esposto è riportato cartograficamente nelle tavole allegate allo Studio di Compatibilità Idraulica.





8.2 Aree a rischio idraulico prima e dopo l'intervento

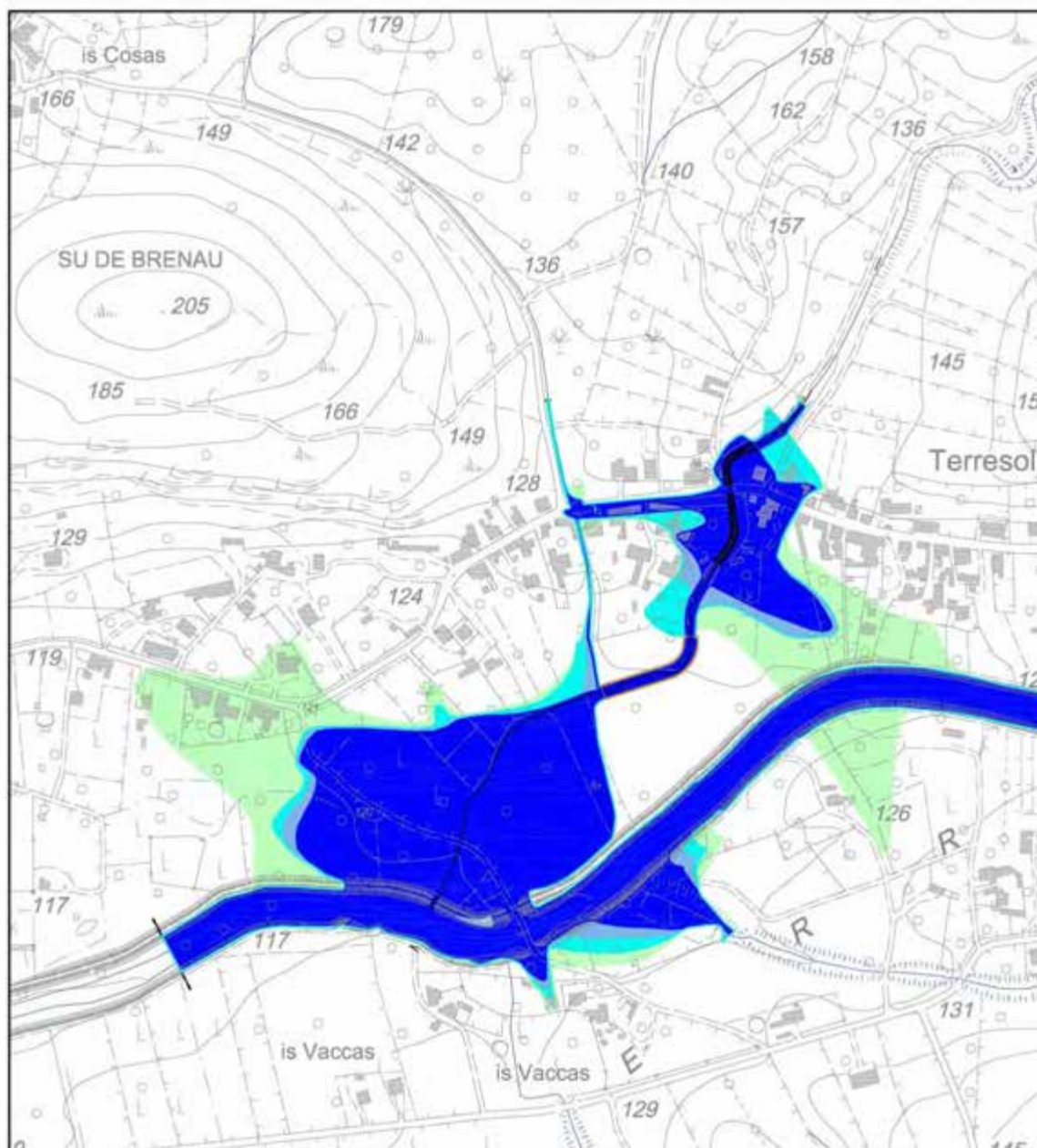
Mediante l'applicazione della metodologia sopra indicata sono state individuate le aree a rischio idraulico per il bacino del Rio Cresia e riportate nelle tavole allegate. La Tav. C09 riporta le aree a rischio prima dell'intervento e la Tav. C.10 il rischio post intervento. Dall'esame comparato tra le due carte emerge che nel bacino del Rio Cresia sono presenti aree a rischio R4 nel tratto in cui il corso d'acqua attraversa l'abitato di Terresoli. Più a valle sono presenti aree a rischio R1, R2 ed R3. Dalla comparazione risulta che con la realizzazione delle opere previste in progetto viene eliminato il rischio di alcune aree attraversate dal corso d'acqua senza aumentare il rischio delle altre.

Di seguito si riportano le carte delle aree inondabili, degli elementi a rischio e del rischio idraulico prima e dopo l'intervento.







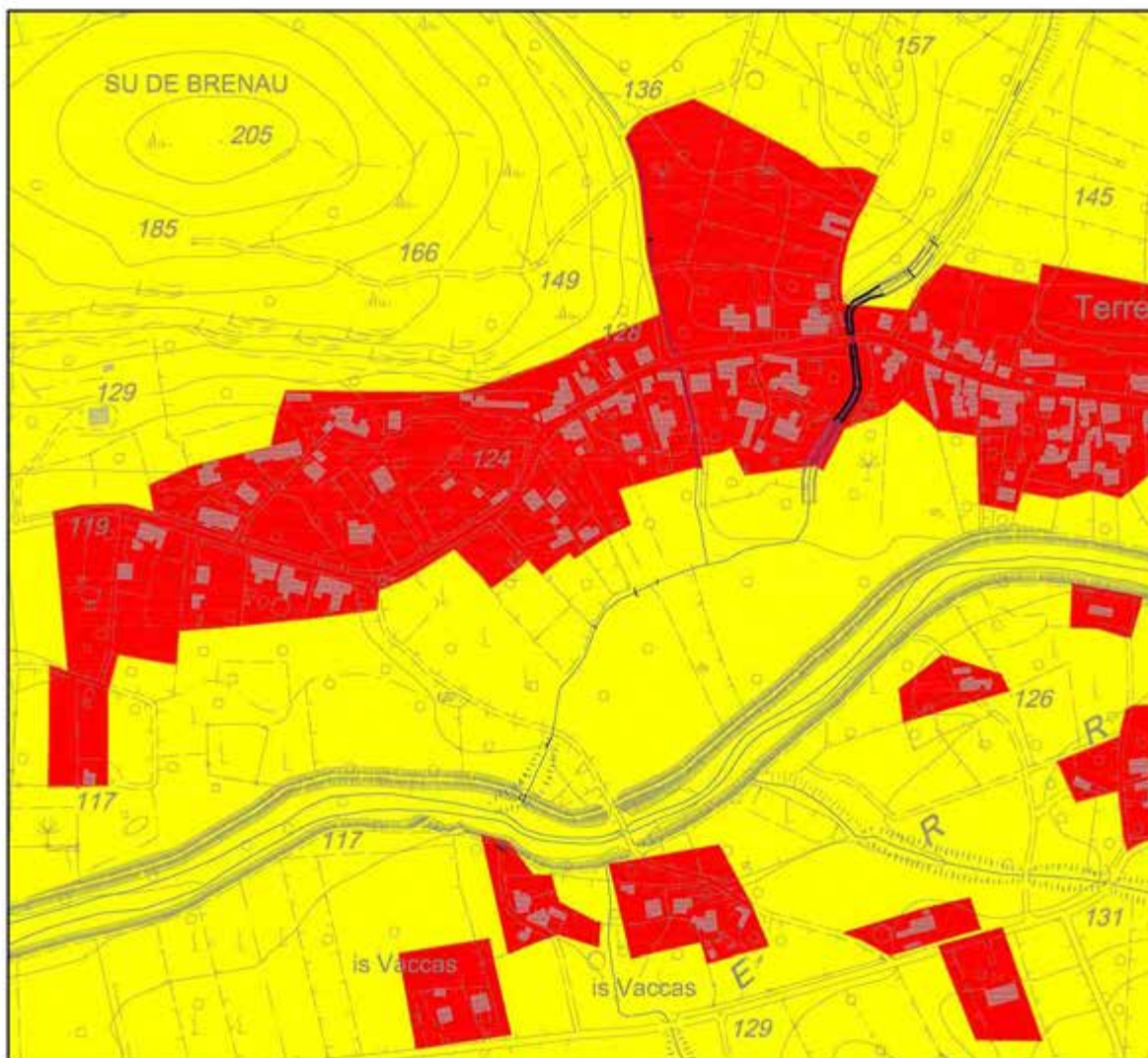
Carta delle aree inondabili - Situazione prima dell'intervento

	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







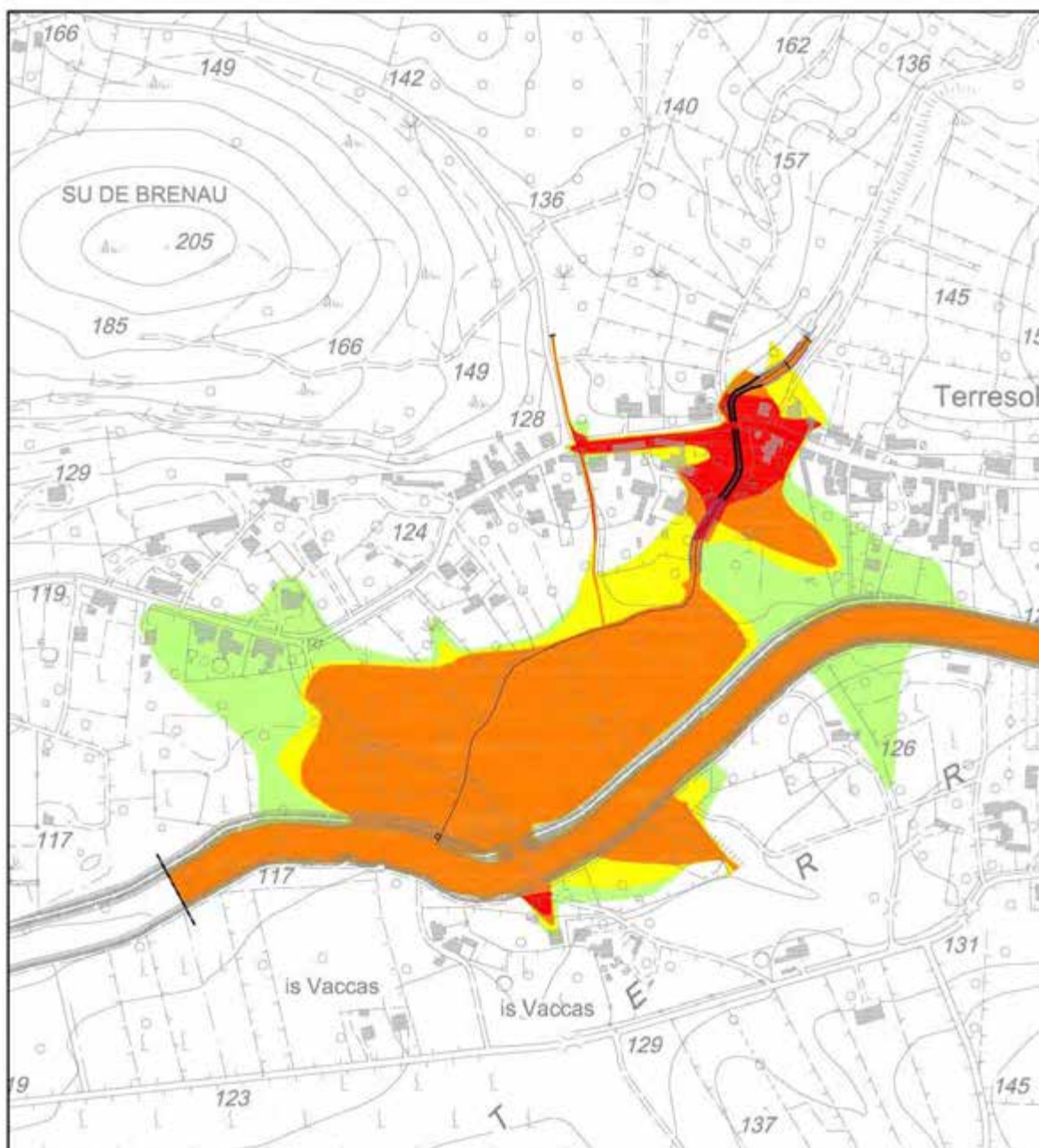
Carta delle aree inondabili - Situazione dopo l'intervento

	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







Carta degli elementi a rischio

- | | | |
|---|-----------|---|
|  | E4 | Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20 % della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); discariche speciali o tossico-nocive; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici e artistici. |
|  | E3 | Possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale. |
|  | E2 | Danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche. |
|  | E1 | Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali. |







Carta del Rischio idraulico - Situazione prima dell'intervento

- | | |
|---|---|
|  R4 | Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio economiche |
|  R3 | Possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale |
|  R2 | Danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche |
|  R1 | Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali |



Carta del Rischio idraulico - Situazione dopo l'intervento

- | | | |
|---|-----------|---|
|  | R4 | Sono possibili la perdita di vite umane e lesioni gravi alle persone, danni gravi agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale, la distruzione delle attività socio economiche |
|  | R3 | Possibili problemi per l'incolumità delle persone, danni funzionali agli edifici e alle infrastrutture con conseguente inagibilità degli stessi, la interruzione di funzionalità delle attività socio-economiche e danni rilevanti al patrimonio ambientale |
|  | R2 | Danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche |
|  | R1 | Danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali |



9 CONCLUSIONI

Premesso che le opere di sistemazione idraulica sul Rio Cresia, così come previste con l'intervento proposto, vista l'esiguità del finanziamento, non risolvono definitivamente le problematiche di rischio idraulico dovuto all'esondazione potenziale del corso d'acqua, si ritiene che le stesse costituiscano un ulteriore tassello che riduce significativamente la pericolosità e il rischio idraulico presente nelle aree attraversate.

Le opere progettate infatti, tipologicamente simili con gli interventi già realizzati in precedenza, ma con caratteristiche dimensionali adeguate alle nuove portate, determinano un miglioramento delle condizioni generali di deflusso senza precludere o condizionare altri interventi finalizzati alla riduzione o all'eliminazione delle cause di pericolosità.

Sulla scorta delle considerazioni riportate nei punti precedenti, considerato che:

- Dall'analisi idraulica effettuata sul Rio Cresia prima dell'intervento risulta che, nel tratto che attraversa l'abitato di Terresoli, sono presenti aree soggette a pericolosità idraulica H1, H2, H3 e H4 e a rischio idraulico Ri, R2, R3 ed R4;
- Dall'analisi idraulica effettuata sul Rio Cresia dopo l'intervento risulta che l'esecuzione delle opere previste determina una riduzione del livello di pericolosità e di rischio di alcune parti del territorio attraversato dal corso d'acqua;
- Con riferimento alle simulazioni idrauliche effettuate si è pervenuti ad una valutazione dei livelli idrici e delle velocità della corrente compatibili con i franchi idraulici previsti dall'Art. 21 delle NTA del PAI vigente;
- Con riferimento all'Art. 23 comma 9 delle NTA del PAI la realizzazione dell'opera è tale da:
 - migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario, non aumentando il rischio di inondazione a valle;
 - migliorare in modo significativo o comunque non peggiorare le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;
 - non compromettere la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale né la sistemazione idrogeologica a regime;
 - non aumentare il pericolo idraulico con nuovi ostacoli al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invaso delle aree interessate;



- non interferire con gli interventi previsti dagli strumenti di programmazione e pianificazione di protezione civile;
- garantire condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere, assicurando che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente;
- l'attuazione dell'intervento, non incrementa il rischio idraulico a valle, ne determina situazioni di rigurgiti o ostruzioni a monte, che in qualche misura ostacolino le condizioni di deflusso;
- la realizzazione dell'opera non necessita di misure di mitigazione di compensazione dal momento che non sono stati riscontrati incrementi sostanziali del rischio idraulico;

Di conseguenza, sulla base delle precedenti valutazioni, si può concludere in senso positivo la compatibilità idraulica della presente proposta progettuale che prevede la realizzazione dell'intervento denominato **“Completamento della sistemazione idraulica del Rio Cresia”**.