

REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE

## SISTEMAZIONE RIO MULINO DE JOSSO - MILIS

CUP: 484H17000990002 - CAT: P1017

### PROGETTO DEFINITIVO

il Committente  
CONSORZIO DI BONIFICA DELL'ORISTANESE

il Responsabile del Unico del Procedimento  
ing. Giorgio BRAVIN

Elab.

# A.7.1

## Studio di compatibilità idraulica - Relazione -

R.T.P. CUCCU-FRAU - v. Alfieri n. 21, 09170 - ORISTANO

il capogruppo  
ing. Simone CUCCU

geol. Antonello FRAU

## **GENERALITÀ**

Il presente documento riguarda gli interventi volti alla sistemazione di alcuni tratti dell'asta valliva del Riu Mulino de Josso (più generalmente noto come Riu Mannu) nei termini di protezione e sicurezza dei manufatti stradali di attraversamento del rio e dei fondi limitrofi, a causa di evidenti azioni di erosione attualmente in atto, le quali vanno a compromettere la stabilità delle sponde. In virtù di tali aspetti, il presente progetto si inquadra nell'ambito delle sistemazioni idrauliche di cui alla "Direttiva per la manutenzione degli alvei e gestione dei sedimenti" in attuazione degli articoli 13 e 15 delle N.A. del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (PAI).

Nella presente relazione sono riportati i risultati dell'indagine conoscitiva, di rilievo e di carattere idraulico che si concretizza nel presente studio di compatibilità idraulica e finalizzata al conseguimento dell'autorizzazione alla realizzazione delle opere oggetto dell'intervento, in ottemperanza al vigente Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sardegna. L'analisi seguente, estesa all'asta del Riu Mannu fino al territorio del Comune di Milis, è stata predisposta secondo l'allegato E delle Norme di attuazione (NA) del PAI, con l'obiettivo di dimostrare le finalità indicate nell'art. 23 comma 6, e nell'art. 24 della stessa normativa.

## IL TERRITORIO DI RIFERIMENTO

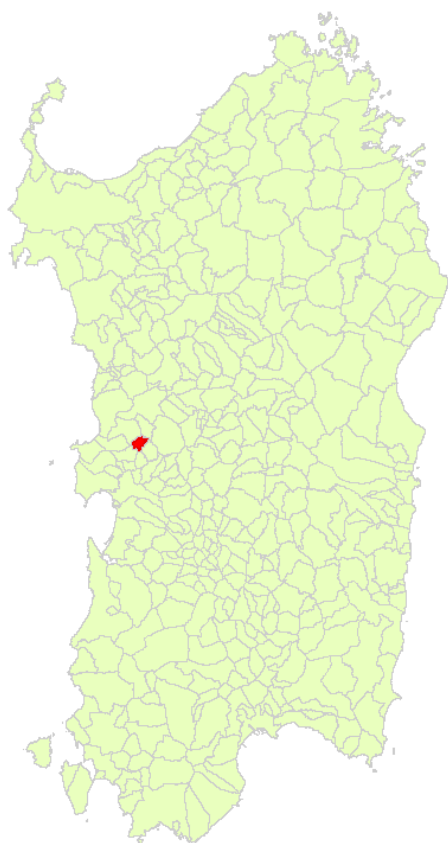
### Inquadramento geografico e cartografico

L'intervento nel suo complesso ricade nell'ambito del Comune di Milis, facente parte della Provincia di Oristano, è situato nella Sardegna centro-occidentale, ad una distanza di circa 16 km a nord dal capoluogo. Il suo territorio si estende per 18,7 km<sup>2</sup>, unendo pianura a ovest e parte collinare a nord, da cui proviene il corso d'acqua studiato nel presente progetto.

L'intervento riguarda la manutenzione straordinaria del Riu Mannu, corso d'acqua che assume diverse denominazioni tra cui Riu Mulinu de Josso nel suo percorso in prossimità dell'abitato di Milis, a sud e a ovest di esso.

Per lo studio sono state considerate le seguenti carte di base:

- Stralcio Tavoleta I.G.M.I. in scala 1:25.000, F. 514 Sez. II (serie 25, edizione 1 IGMI);
- la Carta Tecnica dell'Italia Meridionale, commissionata dalla Cassa per il Mezzogiorno, in scala 1:5.000 F. 514-D 4-I "Milis";
- Stralcio Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, F. 514 120 "Seneghe" e F. 514 160 "San Vero Milis";
- Foglio n. 11 della carta catastale del Comune di Milis.



Figg. n. 1 e n. 2 - Inquadramento generale e Comune di Milis su ortofoto

### Inquadramento geologico

Relativamente alla geologia del territorio e al suo inquadramento si veda nell'apposito capitolo quanto riportato nell'*Elab. A.2 – Relazione geologica* allegata al progetto di cui al presente studio.

## PIANIFICAZIONE DI SETTORE

### Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), redatto dalla Regione Autonoma della Sardegna ai sensi del D.L. n. 180 del 11/06/1998, convertito con L. n. 267 del 03/08/1998, è stato emanato con D.P.R. Sardegna n. 67 del 10/07/2006. Nel 2008, nel 2010 e nel 2013 sono state approvate modificazioni e varianti, l'ultima delle quali legata all'approvazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni in data 30/07/2015.

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 individua le aree soggette a inondazioni e a fenomeni franosi. Ne consegue una determinazione di tre entità, *pericolosità*, *elementi a rischio* e *rischio*, delle quali pericolosità e rischio classificati in funzione di quattro differenti tempi di ritorno (50, 100, 200, 500 anni).

**Indicazioni relative alla zona di intervento.** Il Riu Mannu, nel tratto in questione, è stato associato ad un'area di pericolosità Hi1.

### Piano Stralcio per le Fasce Fluviali (PSFF)

Il Piano Stralcio per le Fasce Fluviali (PSFF), redatto dalla Regione Autonoma della Sardegna ai sensi dell'art. 17, comma 6 della L. n. 183 del 19/05/1989 quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della legge precedentemente riportata, è stato approvato mediante nuova procedura e in via preliminare dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Sardegna con D.C.I. n. 1 del 20/06/2011. Successivamente, nel 2012 e nel 2013 sono intervenuti una nuova adozione preliminare e la adozione definitiva, con D.C.I. n. 1 del 20.06.2013 con un iter che si è concluso con la definitiva adozione mediante D.C.I. n. 1 del 07/07/2015.

Il PSFF, come il PAI, 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. Costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico 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.

Analogamente al PAI, anche il PSFF individua le aree soggette a fenomeni di allagamento ragionando in termini di *pericolosità*, *elementi a rischio* e *rischio*. Tuttavia, pericolosità e rischio sono stati classificati in funzione di cinque differenti tempi di ritorno 2 (non presente nel PAI), 50, 100, 200, 500 anni.

**Indicazioni relative alla zona di intervento.** Il Riu Mannu, nel tratto in questione, è stato associato ad un'area di pericolosità Hi1 in quanto attribuitagli nel presente studio una fascia C – Geomorfologica, peraltro più estesa di quella indicata nello studio PAI.



## Studio comunale di assetto idrogeologico - parte idraulica - redatto ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del PAI

Nel settembre del 2020 è stato approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino lo <Studio comunale di assetto idrogeologico - parte idraulica - redatto ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del PAI previgenti al decreto Presidente Regione n. 35/2018> redatto dall'ing. Italo Frau e dal geol. Giorgio Schintu e in fase di istruttoria presso gli uffici dell'Agenzia Regionale del Distretto Idrografico della Sardegna (ADIS).

A tale studio si fa riferimento per la parte che riguarda il Riu Mannu, corso d'acqua interessato dall'intervento di manutenzione straordinaria di cui al presente progetto.

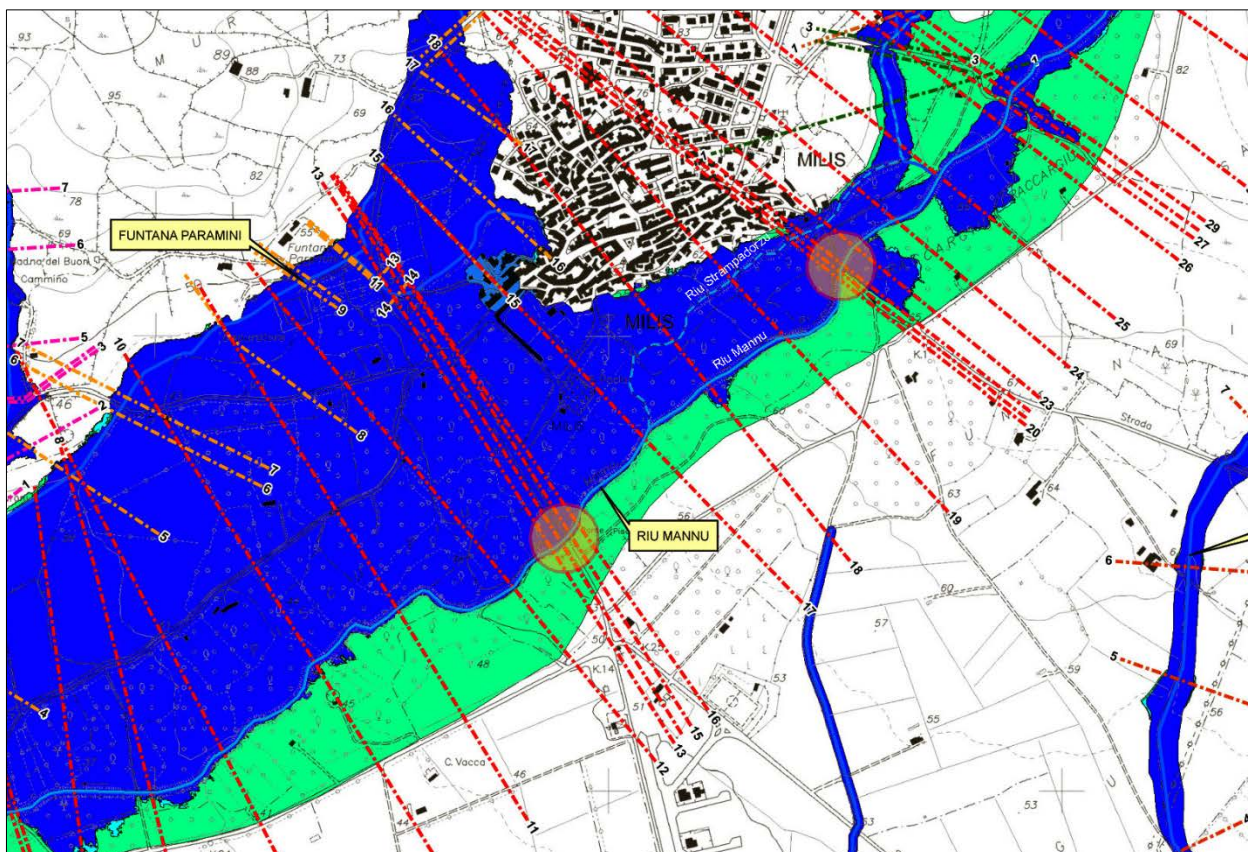


Fig. n. 3 – Quadro delle aree inondabili individuate nel Studio comunale dell'assetto idrogeologico compatibilità idraulica del comune di Milis approvato dall'AdiS nel 2020 (in arancione le aree di intervento)

**Indicazioni relative alla zona di intervento.** La perimetrazione finale è la sintesi operata tra le precedenti pianificazioni e quella di dettaglio nell'ambito dell'adeguamento di cui sopra. Il risultato prevede che in sinistra idraulica il territorio mantenga la pericolosità Hi1 definita precedentemente da PAI e PSFF; mentre in destra idraulica, lo studio di dettaglio comporta una larga fascia in Hi4, compresi i punti di intervento di cui al presente progetto.

## Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna (PGRA)

La Proposta del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni è stata adottata con D.C.I. n. 1 del 30/07/2015 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Sardegna in attuazione di quanto

previsto dal D.Lgs. n. 152/2006, art. 13, e dal D.Lgs. n. 49/2010, art. 7 oltre che della Direttiva 2007/60/CE. La sua entrata in vigore è prevista per dicembre 2015.

Con esso si intende coordinare e coinvolgere tutti gli aspetti della gestione del rischio alluvioni con particolare riferimento alle misure non strutturali e di interventi strutturali finalizzati alla prevenzione, protezione e preparazione rispetto al verificarsi di detti eventi alluvionali e alle conseguenze negative che ne derivano per la salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali.

Dal punto di vista operativo il PRGA si integra e si coordina con il PAI e con il PSFF, in particolare come evidenziato dall'introduzione del Titolo V delle Norme di Attuazione del PAI cui si devono uniformare gli studi di natura idrogeologica sin dal 30/07/2015.

Per quanto concerne poi il quadro conoscitivo che il PRGA ha il compito di ricomporre, nell'ambito della pericolosità sono stati considerate le aree interessate dall'evento alluvionale "Cleopatra" del 18/11/2013, oltre alle aree già individuate da PAI, PSFF e dai vari studi a livello locale ex art. 8 delle N.A. del PAI.

Sempre nel PRGA, dal punto di vista metodologico, vengono apportate due significative novità rispetto a quanto definito dal PAI. Infatti le classi di pericolosità sono definite in funzione di quanto stabilito dalla Direttiva alluvioni e suddivise pertanto in tre classi, in luogo delle quattro previste dal PAI. In particolare si hanno: P3 aree a pericolosità elevata (corrispondente alla Hi4 del PAI); P2 aree a pericolosità media (Hi2 e Hi3); P1 aree a pericolosità bassa (Hi1). Il secondo aspetto riguarda l'introduzione del *danno potenziale* che tende ad integrare e estendere il concetto di *elemento a rischio* dal quale peraltro deriva mediante la moltiplicazione di questi con il fattore di vulnerabilità. Anche il danno potenziale è distinto in quattro classi che vanno dal *moderato o nullo* al *molto elevato*.

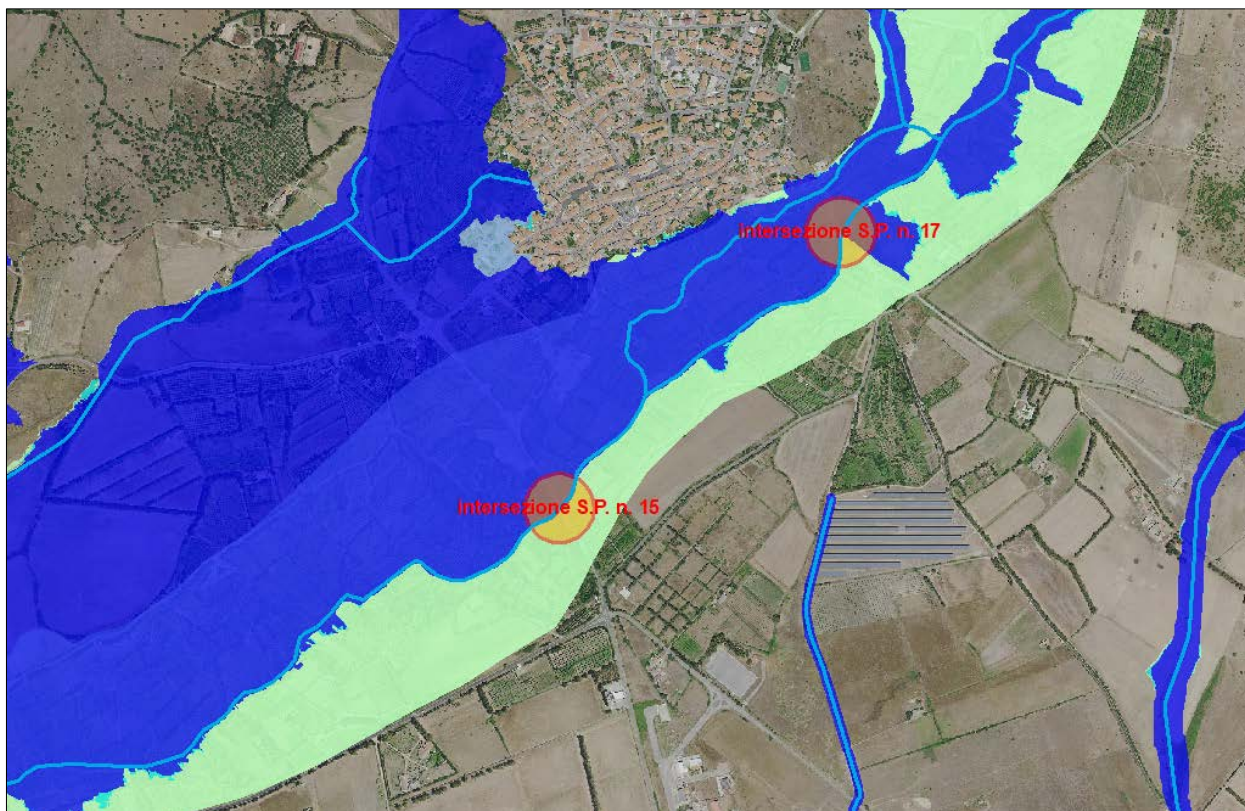


Fig. n. 4 – Aree inondabili individuate nel PGRA aggiornato al 2021 (in arancione le aree di intervento)

Inoltre, il PGRA è stato recentemente revisionato. Infatti, In adempimento delle previsioni dell'art. 14 della Direttiva 2007/60/CE e dell'art. 12 del D. Lgs. 49/2010, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21/12/2021 è stato approvato il Piano di gestione del rischio di alluvioni per il secondo ciclo di pianificazione del PGRA.

Si evidenzia che le perimetrazioni di tale piano non sono al momento aggiornate con quelle previste dalla recente approvazione della variante idraulica ex art. 37 delle NA del P.A.I.

**Indicazioni relative alla zona di intervento.** Nell'aggiornamento del 2021 sopra richiamato sono stati recepiti anche gli studi locali ulteriormente approvati, quale il citato <Studio comunale di assetto idrogeologico - parte idraulica - redatto ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle Norme di Attuazione del PAI>, che infatti ha modificato la vecchia perimetrazione che si basava sostanzialmente sulle indagini del PSFF.



## LO STUDIO DEL BACINO

### Il corso d'acqua e il bacino di riferimento

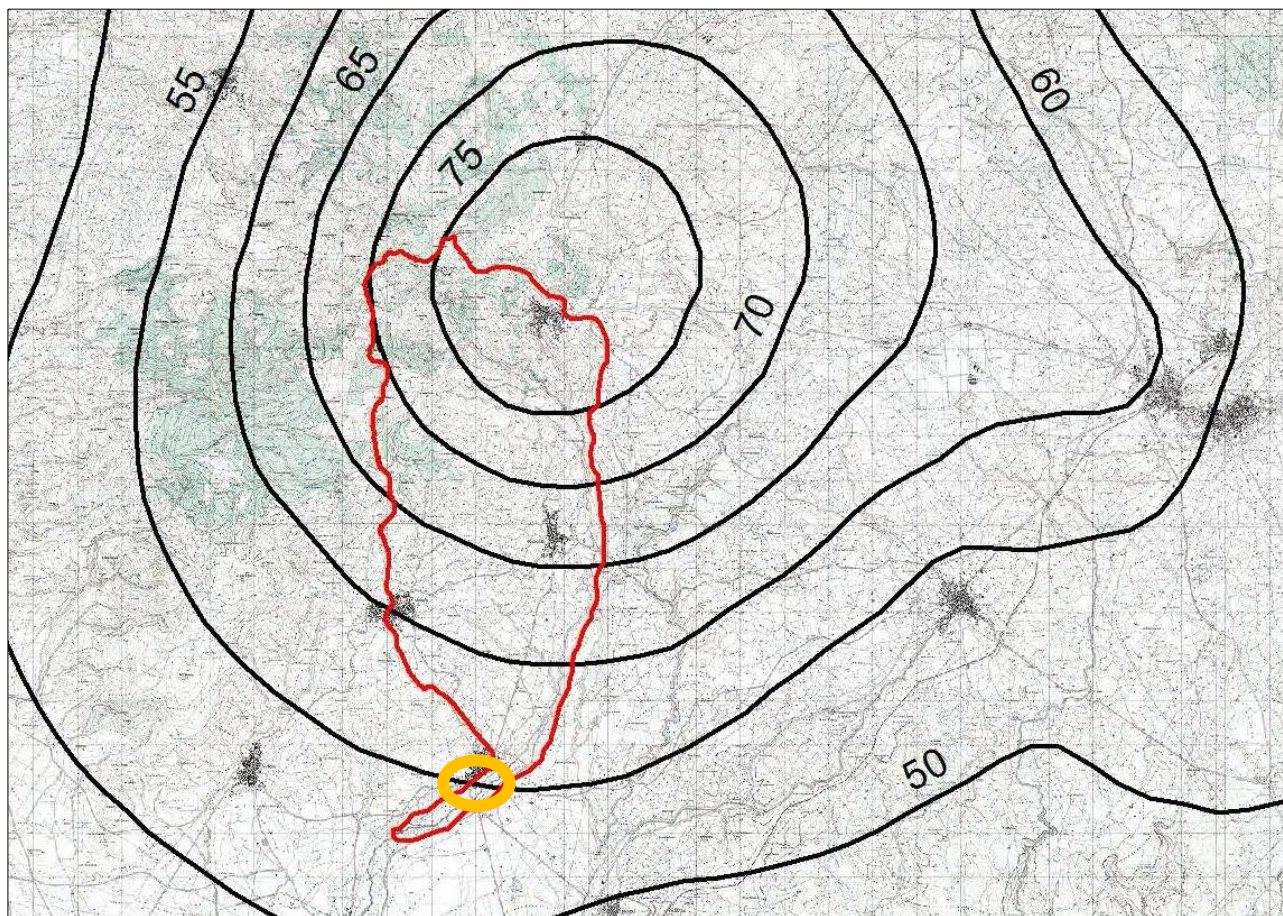


Fig. n. 5 – Sub-bacino del Riu Mannu come individuato nello “Studio di compatibilità geologica, geotecnica ed idraulica del territorio comunale, redatto nell'ambito dell'adeguamento e revisione del Piano urbanistico comunale” (in giallo la zona di intervento)

Il Riu Mannu è un importante corso d'acqua che nasce nel Montiferru in territorio di Santu Lussurgiu. Si sviluppa in direzione nord-sud fino al paese di Milis, rispetto al quale si articola a sud di esso in direzione ovest-est per poi proseguire verso il suo ricettore (il Riu Mare Foghe) in agro di Zeddiani. Il Riu Mannu, che come sopra riportato nel suo sviluppo prende diverse ulteriori denominazioni in funzione dei toponimi dei posti attraversati, è a sua volta ricettore di diversi altri fiumi di diversa entità, anch'essi provenienti prevalentemente dal Montiferru, dai versanti di Bonarcado e Seneghe. Relativamente al rio, il recente studio di compatibilità idraulica, redatto in fase di aggiornamento dello strumento urbanistico, mette in evidenza che il bacino di riferimento riguarda quasi 50 km<sup>2</sup> di territorio con una pendenza media dello 17%, aspetti dai quali se ne deduce la capacità in termini di portata (190 e 307 m<sup>3</sup>/s rispettivamente le portate quinquantenaria e cinquecentenaria) e di forza della corrente correlata ad una significativa pendenza motrice.

Dei circa 19 km di asta principale, quelli interessati dal presente intervento riguardano i circa 1.500 m compresi tra la intersezione del rio con la S.P. n. 17 e la fine dell'intervento di protezione spondale in località *Piscu Piu*, passando per l'altra intersezione, quella con la S.P. n. 15. Questa porzione di



fiume si snoda all'interno della parte più pregiata dell'agro milese, in quanto associato alla produzione di agrumi, con importanti colture presenti su entrambe le sponde del corso d'acqua.

### Parametri morfometrici, CN e portate di piena

Per lo sviluppo della modellazione del Riu Mannu nelle due fasi *pre* e *post intervento* si è deciso di partire dai dati riportati nel citato “Studio di compatibilità geologica, geotecnica ed idraulica del territorio comunale, redatto nell'ambito dell'adeguamento e revisione del Piano urbanistico comunale” di Frau e Schintu, al quale si rimanda, e sono di seguito riportati.

| sub-bacino - RIU MANNU          |           |       |                    |
|---------------------------------|-----------|-------|--------------------|
| Superficie del bacino           | $S$       | 49,6  | [km <sup>2</sup> ] |
| Pendenza media del bacino       | $p_m$     | 17,0  | [%]                |
| Lunghezza dell'asta principale  | $L$       | 19,39 | [km]               |
| Pendenza dell'asta principale   | $i$       | 2,5   | [%]                |
| Quota della sezione di chiusura | $H_{min}$ | 29,4  | [m slm]            |
| Altitudine media                | $H_{med}$ | 416,4 | [m slm]            |
| Curve Number                    | $CN$      | 91,9  | [adim]             |

Tab. n. 1- Caratteristiche morfometriche del sub-bacino

| sub-bacino – RIU MANNU |                         |             |            |
|------------------------|-------------------------|-------------|------------|
| Ventura                | $t_c$                   | 5,65        | [h]        |
| <b>Giandotti</b>       | <b><math>t_c</math></b> | <b>3,64</b> | <b>[h]</b> |
| Pasini                 | $t_c$                   | 6,74        | [h]        |
| Viparelli              | $t_c$                   | 4,49        | [h]        |

In neretto la formulazione adottata per il sub-acino

Tab. n. 2 - Tempi di corrivazione

| sub-bacino – RIU MANNU |             |              |              |              |                     |
|------------------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------------|
| Metodo                 | T = 50 anni | T = 100 anni | T = 200 anni | T = 500 anni |                     |
| TCEV                   | 190,68      | 255,55       | 260,59       | 307,00       | [m <sup>3</sup> /s] |

Tab. n. 3 - Valori di portata al colmo suddivisi per tempo di ritorno

### Criteri di calcolo per la delimitazione delle aree allagabili

I metodi pratici per lo studio e la delimitazione delle aree di esondazione, in alternativa ai modelli teorici la cui complessità operativa spesso ne rende poco proficua l'utilizzazione, sono basati sull'utilizzo di schemi concettuali approssimati, semplici nella applicazione e fisicamente basati su oggettive considerazioni di carattere idraulico.

**Metodo dei volumi statici.** Il metodo dei volumi statici consiste nel valutare il volume d'acqua che fuoriesce dall'alveo nel tratto di esondazione e nel determinare il volume delle zone prossime al suddetto tratto dove l'acqua esondata si dispone staticamente. Per la stima del volume di esondazione si procede valutando l'idrogramma di piena che, per un prefissato periodo di ritorno  $T$ , transita nel tronco di alveo, determinando poi la scala di deflusso in moto uniforme delle sezioni di crisi del tratto di alveo da analizzare, calcolando quindi il valore della portata  $Q_{\max}$  corrispondente al massimo convogliamento della sezione stessa. Si valuta l'eccedenza alla portata  $Q_{\max}$  dall'idrogramma di piena stimando così il volume di piena  $W_e$  corrispondente a  $Q(T) > Q_{\max}$ , attraverso la conoscenza delle caratteristiche topografiche del terreno intorno al tratto analizzato si determina la curva superfici - volumi sottesi (nell'ipotesi dei volumi statici appunto). Indi, a partire da tale curva si calcola la superficie corrispondente al volume esondato  $W_e$ .

Il vantaggio di questo metodo consiste nella semplicità della procedura e nella chiarezza del significato fisico dello schema adottato. Il limite maggiore è rappresentato dall'aver trascurato completamente gli aspetti dinamici del fenomeno.

**Metodo energetico.** Il metodo energetico presuppone che in una fase iniziale dello studio le quote delle sponde dell'alveo siano state fittiziamente innalzate in modo da confinare l'alveo ed evitare fenomeni di esondazione. Una volta tracciato il profilo di corrente in alveo nelle condizioni descritte è possibile individuare quali siano le sezioni critiche, cioè quelle in cui il livello idrico è più alto dei corpi arginali reali o del piano campagna, dove quindi si verifica l'esondazione.

In corrispondenza del primo tratto si determinano le aree allagabili con il seguente criterio: noto il tirante idrico  $h_1$  e la portata  $Q$  nella sezione idrica corrispondente alla geometria fittizia dell'alveo confinato si calcola il carico idraulico  $H_1$  di detta sezione (ad es. sez. 1); si determina la curva  $h - H$  corrispondente alla sezione geometrica dell'alveo reale (sez. 2); imponendo l'uguaglianza dei carichi ( $H_1 = H_2$ ), si ricava il valore del tirante idrico  $h_2$  nella sezione reale. Una volta definito il nuovo tirante idrico,  $h_2$ , l'intersezione del piano corrispondente a tale livello con il terreno circostante l'alveo permette di individuare l'estensione  $l_d$  e  $l_s$  delle aree allagabili rispettivamente a destra e a sinistra della sezione di calcolo. Ripetendo il procedimento per  $n$  sezioni ricadenti nel tratto di alveo in cui il profilo nella sezione fittizia supera il livello reale dell'arginatura o del piano campagna, si ottengono  $n$  coppie di punti a distanza  $l_d$  e  $l_s$  dalle sponde, che uniti con una spezzata consentono di ricavare l'estensione dell'area allagabile.

**Metodo della sezione mista (PAI).** Quando il livello idrico supera le sponde dell'alveo, la sezione trasversale risulterà dall'unione della sezione arginata e della piana alluvionale compresa tra il corso d'acqua e la linea isoipsa corrispondente al livello idrico calcolato per la portata di verifica.

L'approccio a sezione mista se da un lato risulta più gravoso nella definizione della geometria delle sezioni idrauliche, anche a causa degli edifici che costituiscono ostruzione al moto della corrente e che su tale sezione allargata sono presenti, permette allo stesso tempo una più reale definizione dei livelli idrici e delle caratteristiche idrauliche della corrente lungo tutta la sezione idraulica.

In base ai profili così determinati verranno quindi definite come allagabili tutte le porzioni di territorio limitrofe al corso d'acqua le cui quote del piano di campagna risultino minori di quelle del pelo libero

della corrente nelle sezioni considerate. Tale metodologia tende a sovrastimare le aree inondabili perché non viene considerata la propagazione di un idrogramma di assegnata forma e quindi l'effettivo volume liquido esondato. Per tale ragione, soprattutto per i tratti di pianura, è consigliabile verificare che le aree definite esondabili siano congruenti con il volume dell'idrogramma di piena.

Dei tre metodi pratici finora descritti è stato adottato il terzo, considerato maggiormente attendibile per esondazioni in aree antropizzate nelle quali sia l'approssimazione della staticità dei volumi, sia la definizione del modello energetico non risultano appropriati. Inoltre, la particolare configurazione dell'area soggetta ad esondazione sconsiglia la valutazione del volume liquido esondato, pertanto ciascuna sezione sarà verificata con l'intera portata affluente senza considerare l'eventuale effetto di laminazione dovuto alle esondazioni avvenute a monte del tronco considerato, determinando così, a vantaggio della sicurezza la massima area esondata.

## La modellazione idraulica

### Criteri

Ognuno dei tratti oggetto di esame è stato oggetto di apposita analisi morfologica del corso d'acqua e delle condizioni al contorno, mediante rilievi in situ e ragionando su tempi di ritorno  $T$  di 50, 100, 200 e 500 anni, secondo quanto previsto dalle Linee guida del PAI.

Nei tratti in esame, applicando le metodologie per la simulazione degli eventi di piena ad ogni singolo tratto fluviale, sono state ricavate le portate al colmo di piena corrispondenti ai tempi di ritorno indicati. Le aree interessate da eventi con  $T = 50$  anni rappresentano, in maniera più estesa e quindi più cautelativa rispetto a quanto riportato nella letteratura scientifica, la cosiddetta "fascia di pertinenza fluviale", ovvero la zona limitrofa a quella di un corso d'acqua in cui le varie forme planimetriche, relitte o temporaneamente abbandonate, possono essere attivate o riattivate nel corso di eventi di piena, consentendo la libera divagazione dell'alveo all'interno di una definita porzione di territorio. I tempi di ritorno compresi tra i 100 e 200 anni caratterizzano eventi di piena assunti di norma come riferimento nella pratica comune della progettazione di opere di ingegneria civile destinate alla difesa idraulica di centri abitati, residenziali o produttivi, o di infrastrutture di una certa importanza quali ponti, autostrade, strade. L'esperienza indica poi il raggiungimento di un giusto equilibrio tra grado di sicurezza e costo dell'opera per i tempi di ritorno per l'appunto secolari con  $T = 100 - 200$  anni. Ai tempi di ritorno  $T = 500$  anni corrispondono eventi eccezionali, di notevole rarità e quindi di intensità assai elevata. L'individuazione e perimetrazione delle aree che possono risultare soggette a tale tipo di rischio, assume importanza ai fini della predisposizione di piani di allertamento e protezione civile.

Per le finalità illustrate, la delimitazione delle aree interessate dalle inondazioni, devono innanzitutto rispondere al criterio di individuare, per ciascun tempo di ritorno, zone di uguale pericolosità, ovvero di uguale probabilità di inondazione. Pertanto, al termine delle operazioni di modellazione idraulica, si è ottenuto per ciascuna sezione di calcolo il livello idrico raggiunto dalla propagazione dei diversi valori del colmo di piena. Si è quindi ricostruito, per ciascun tempo di ritorno, il limite delle aree



soggette ad inondazione attraverso delle curve continue a cavallo del corso d'acqua caratterizzante il sub-bacino oggetto dello studio.

#### Il modello

Le verifiche idrauliche sono state condotte, nell'ipotesi di moto permanente, mediante l'ausilio del software River Analysis System realizzato dell'Hydrologic Engineering Center degli Stati Uniti (HEC-RAS v. 4.1).

Il codice di calcolo HEC-RAS utilizzato per la definizione dei profili idraulici in moto permanente gradualmente variato in alvei naturali (o artificiali), necessita in primo luogo delle informazioni relative alla geometria del corso d'acqua in un'apposita sezione (geometric data), all'interno della quale si devono definire il corso del fiume (reach), la geometria delle sezioni (cross section geometry), la distanza fra le sezioni (reach length) e il coefficiente di scabrezza secondo la formulazione di Manning, rappresentativo delle perdite di carico. In questa sezione sono disponibili altre opzioni, fra le quali la procedura di interpolazione fra una sezione e l'altra (XS Interpolation), particolarmente utile quando occorre infittire il numero di sezioni, qualora i rilievi originali siano troppo distanti fra loro. Inoltre, è possibile definire la quota delle sponde (left and right elevations) e degli argini (levees) e inserirle nella sezione delle aree dove l'acqua arriva ma non contribuisce al deflusso (ineffective flow areas) e delle coperture (lids).

È altresì possibile fornire la geometria dei ponti in una sezione (bridge and culvert data) nella quale si definiscono per ogni ponte l'impalcato (deck/roadway), le pile (piers), le spalle (sloping abutments) e le condizioni di calcolo (bridge modelling approach).

Successivamente occorre impostare la sezione relativa alle condizioni di moto (steady flow data), definendo la portata di riferimento per le diverse sezioni fluviali e le condizioni al contorno (boundary conditions). A questo punto il codice di calcolo è pronto per eseguire le varie elaborazioni nella sezione denominata steady flow analysis. I risultati delle computazioni idrauliche sono proposti attraverso tabelle riepilogative (cross-section table e profile table) e grafici delle sezioni geometriche (plot cross-section), del profilo longitudinale (plot profile) - vedi *Elab. A.7.2 – Report analisi idraulica* - e, infine, tramite una visione prospettica tridimensionale del sistema fluviale (x, y, z perspective plot) comunque non allegata al presente studio.

#### Equazioni per il calcolo del profilo idraulico

L'ipotesi alla base delle formulazioni per la determinazione del profilo idraulico è che il moto dell'acqua nel canale si considera uniforme. Questo significa che tutte le grandezze caratterizzanti la corrente (altezza idrica, velocità media nella sezione, portata, ecc.) risultano costanti nel tempo e nello spazio. Sotto questa ipotesi, la pendenza media disponibile  $i_m$ , definita come il rapporto fra la differenza di quota e la distanza fra la sezione di monte e quella di valle, è esattamente pari alla pendenza piezometrica  $J$ , che rappresenta le dissipazioni energetiche per unità di lunghezza. La relazione  $i_m = J$  costituisce l'equazione fondamentale del moto uniforme.

La determinazione del profilo teorico in moto permanente è ottenuta tramite l'applicazione del cosiddetto Standard Step Method, basato appunto sull'equazione monodimensionale del contenuto energetico della corrente, dato da

$$H_1 - H_2 = h_f + h_e$$

dove  $H_1$  e  $H_2$  [m] sono i carichi totali della corrente nelle sezioni di monte e di valle del tronco d'alveo considerato,  $h_f$  [m] definisce le perdite di carico dovute all'attrito del fondo e delle sponde mentre  $h_e$  [m] è un termine che tiene conto degli effetti dovuti alla non cilindricità della corrente. In particolare,  $h_f$  dipende principalmente dalla scabrezza del tratto di alveo considerato ed è esprimibile come

$$h_f = J \cdot L$$

con

$J$  = pendenza motrice nel tratto di lunghezza  $L$ .

Il calcolo di  $J$  è effettuabile con diverse formulazioni in funzione della pendenza motrice in corrispondenza delle sezioni di inizio e fine di ciascun tratto. Nella singola sezione  $J$  è ottenuto mediante la

$$J = \left[ \frac{Q}{K} \right]^2$$

secondo cui

$Q$  = la portata di calcolo [ $\text{m}^3/\text{s}$ ];

$K$  = è un parametro di conducibilità (denominato *conveyance*), ricavabile attraverso la seguente espressione:

$$K = \frac{1}{n} A \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

con

$A$  = area della sezione liquida [ $\text{m}^2$ ];

$R$  = raggio idraulico [m];

$n$  = parametro rappresentativo della scabrezza [ $\text{m}^{-1/3}$  s], espresso in termini di coefficiente di resistenza di Manning.

Il modello consente di suddividere la sezione in più zone in cui assegnare un valore diverso del parametro  $n$  di scabrezza. 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 il calcolo della scabrezza equivalente  $n_c$  il codice di calcolo utilizza la formula

$$n_c = \left[ \frac{\sum_i (P \cdot n_i^{\frac{3}{2}})}{P} \right]^{\frac{2}{3}}$$

con

$P$  = perimetro bagnato dell'intera sezione [m].

Per rappresentare la macro-scabrezza, in particolare nei tratti urbani dove si possono trovare edifici in prossimità del corso d'acqua, il codice di calcolo permette di inserire dei blocchi (denominati

*blocked obstruction*), che sono aree della sezione permanentemente bloccate, le quali diminuiscono la superficie della sezione e aggiungono perimetro bagnato quando l'acqua giunge a contatto con esse.

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

$$h_c = \beta \left| \alpha_1 \cdot \frac{V_1^2}{2g} - \alpha_2 \cdot \frac{V_2^2}{2g} \right|$$

in cui

$\beta$  = coefficiente di contrazione o espansione dipendente dalle condizioni geometriche del tratto considerato [adim];

$V_1$  e  $V_2$  = valori delle velocità medie agli estremi del tronco [m/s];

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  = coefficienti correttivi dell'energia cinetica [adim].

Calcolo della profondità di stato critico

Al tirante idrico in condizioni di stato critico corrisponde la massima portata teoricamente smaltibile dalla sezione, indipendentemente dalla natura del fondo e delle pareti, nonché dall'inserimento della sezione stessa in un tronco fluviale. In termini di portata e per le sezioni in esame, si scrive

$$Fr = \frac{V \cdot A}{\sqrt{A^2 \cdot g \cdot h_m}}$$

dove

$g$  = accelerazione di gravità [m/s<sup>2</sup>];

$h_m$  = tirante idrico [m];

$A$  = area bagnata della sezione [m<sup>2</sup>];

$V$  = velocità media della sezione [m/s].

L'equazione permette la determinazione dell'altezza di stato critico tramite il valore  $h$  che soddisfa la relazione in esame tra l'altezza di piena e il fondo.

Sezioni con singolarità

Il codice di calcolo consente la simulazione del deflusso attraverso ponti (*bridge*), tombinature (*culvert*), briglie e traverse (*weir*), mediante la loro schematizzazione geometrica (impalcato, pile, setti, ecc.). La procedura di calcolo utilizzata consente di simulare il deflusso a pelo libero al di sotto dell'impalcato dei ponti, il deflusso in pressione al di sotto dell'impalcato e la combinazione del deflusso in pressione e del deflusso con scavalco dell'impalcato stesso (funzionamento a stramazzo). In quest'ultimo caso vengono utilizzate le stesse formulazioni impiegate per la simulazione del comportamento delle traverse e delle briglie.

### Coefficienti adottati

I valori del parametro di scabrezza  $n$  di Manning adottati nel corso della simulazione idraulica fanno stretto riferimento a quelli riportati nella letteratura tecnica e in particolare alle indicazioni fornite dal HEC-RAS, ovviamente tenendo conto delle varie condizioni verificate *in situ*.

La sezione tipo dei corsi d'acqua oggetto di studio è stata suddivisa in tre tratti omogenei, che si possono identificare come:

- 1 - sponda sinistra dell'alveo inciso;
- 2 - alveo centrale;
- 3 - sponda destra dell'alveo inciso.

Adottando la schematizzazione indicata sopra, si riesce a rappresentare più in dettaglio le caratteristiche di scabrezza del corso d'acqua.

Dal che, le condizioni attuali del canale e dei manufatti hanno portato alla scelta dei valori del coefficiente di resistenza di Manning come di seguito definiti.

- Prima dell'intervento:

- $n = 0,025$ : Natural streams – Main Channels – Clean, winding, some pools;
- $n = 0,09$ : Natural stream – Flood plains – Trees - Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches;
- $n = 0,045$  Natural stream – Flood plains – Trees – Cleared land with tree stumps, no sprouts.

- A seguito dell'intervento:

- $n = 0,025$ : Natural streams – Main Channels – Clean, winding, some pools;
- $n = 0,09$ : Natural stream – Flood plains – Trees - Heavy stand of timber, few down trees, little undergrowth, flow below branches;
- $n = 0,03$  Lined or Built-Up Channels – Gravel bottom with sides of – Dry rubble or riprap
- $n = 0,045$  Natural stream – Flood plains – Trees – Cleared land with tree stumps, no sprouts.

### Velocità nell'alveo di magra

Le analisi di velocità nell'alveo di magra sono state effettuate in relazione a tutti i tempi di ritorno analizzati e riportati nelle tabelle dell'*Elab. A.7.2 – Report analisi idraulica*.

### Risultati

Le verifiche, eseguite tramite il software HEC-RAS, sono state eseguite in condizioni di moto permanente.

Nell'*Elab. A.7.2 – Studio di compatibilità idraulica – Report idraulico* - sono presenti i dati delle elaborazioni e i tiranti idrici conseguenti.



## INTERVENTI DI PROGETTO

L'intervento generale, come sopra esposto, riguarda la manutenzione straordinaria del Riu Mannu in corrispondenza dei attraversamenti sulle strade provinciali S.P. n. 15 e S.P. n. 17 nell'agro immediatamente a sud dell'abitato di Milis. La sistemazione idraulica in questione è prevista coerentemente con quanto indicato nella "Direttiva per la manutenzione degli alvei e gestione dei sedimenti" in attuazione degli articoli 13 e 15 delle N.A. del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (PAI).

La tipologia dell'intervento è quella che ricade nel contesto della manutenzione straordinaria e, in particolare, consta nella messa in pristino e nell'ampliamento delle protezioni spondali in corrispondenza di due strade provinciali che intersecano il fiume e nel rifacimento della gabbionata, anch'essa di protezione spondale, in un tratto più a valle all'interno di aree destinate a colture di pregio.

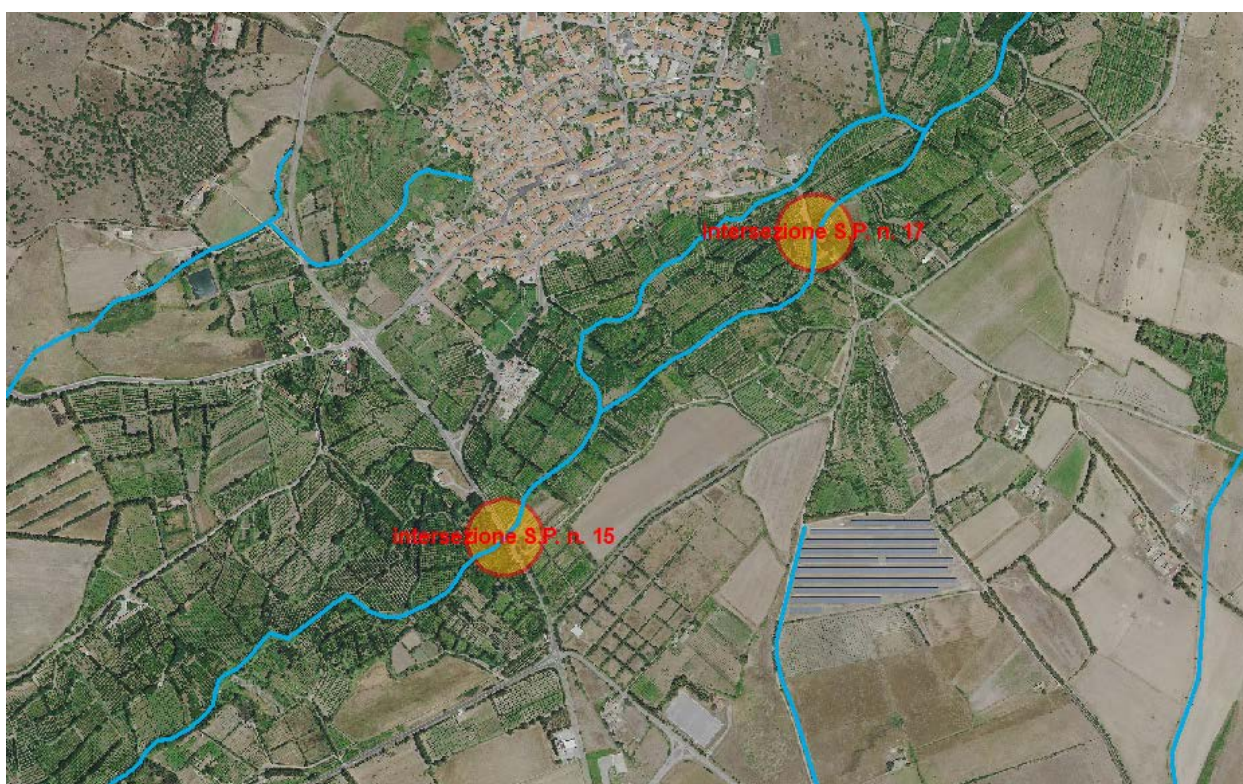


Fig. n. 6 – Localizzazione degli interventi su ortofoto dell'anno 2016

A motivo della limitata entità delle risorse in relazione ai lavori da eseguire, anche a seguito dell'aggiornamento dei prezziari di riferimento, si è optato per procedere innanzitutto alla sistemazione dei due attraversamenti stradali, in quanto interessati da intenso traffico veicolare e posti in prossimità del centro abitato, soprattutto quello sulla S.P. n. 17. Pertanto, la presenza di un maggior numero di persone, a parità di condizione di pericolosità, comporta un maggiore rischio. Nello specifico gli interventi progettuali di manutenzione fluviale saranno realizzati sui tratti che allo stato attuale manifestano le maggiori criticità in funzione del rischio effettivo di perdita di vite umane e danni alle infrastrutture e alle produzioni agricole di rilievo. In particolare, nel presente progetto definitivo, sono stati programmati i seguenti interventi:

**1 - Riu Mannu - intersezione S.P. n. 17.** In corrispondenza della intersezione tra il Riu Mannu e la S.P. n. 17 sono previste una serie di lavorazioni volte alla generale pulizia del corso d'acqua sia a monte che a valle del ponte e della rimozione dei rivestimenti del rio, oltre che l'apposizione di nuove gabbionate in luogo delle precedenti rimosse dall'azione erosiva del fiume. È altresì previsto il rifacimento e l'ampliamento della soglia di fondo posta al di sotto del ponte, anch'essa interessata da una azione di scalzamento da parte della corrente e non connessa alla struttura fondazionale del ponte.



Fig. n. 7 – Localizzazione dell'intervento S.P. n. 17 (elaborazione da GoogleEarth)

Il dettaglio delle attività da eseguire è il seguente:

- pulizia dell'alveo dalla vegetazione per 70 m a monte e 80 m a valle del ponte per una larghezza media di 8 m;
- abbattimento piante di medio e alto fusto (in numero di 48);
- demolizione dei paramenti di rivestimento del corso d'acqua a monte e a valle del ponte;
- rifacimento e ampliamento della soglia di fondo;
- scavo e messa in opera di gabbioni (18 m a monte del ponte e 5 m a valle) su entrambe le sponde con apposizione di geotessile e messa in pristino del piano di campagna dietro il gabbione con parziale reimpiego del materiale oggetto di scavo, anche al fine di limitare i conferimenti a discarica.

**2 - Riu Mannu - intersezione S.P. n. 15.** In corrispondenza della intersezione tra il Riu Mannu e la S.P. n. 15 sono previste una serie di lavorazioni volte anche in questo caso alla generale pulizia del corso d'acqua sia a monte che a valle del ponte e della rimozione dei rivestimenti del rio, oltre che l'apposizione, di nuove gabbionate in luogo delle precedenti rimosse dall'azione erosiva del fiume e, anche in questo caso, la messa in pristino e la l'ampliamento della soglia di fondo posta al di sotto del ponte, e non connessa alla struttura fondazionale del ponte.





Fig. n. 8 – Localizzazione dell'intervento S.P. n. 15 (elaborazione da GoogleEarth)

Il dettaglio delle attività da eseguire è il seguente:

- pulizia dell'alveo dalla vegetazione per 70 m a monte e 80 m a valle del ponte per una larghezza media di 8 m;
- abbattimento piante di medio e alto fusto (in numero di 48);
- demolizione dei paramenti di rivestimento del corso d'acqua a monte e a valle del ponte;
- rifacimento e ampliamento della soglia di fondo;
- scavo e messa in opera di gabbioni (18 m a monte del ponte e 5 m a valle) su entrambe le sponde con apposizione di geotessile e messa in pristino del piano di campagna dietro il gabbione con parziale reimpiego del materiale oggetto di scavo, anche al fine di limitare i conferimenti a discarica.

In proposito si vedano gli *Elab. A - relazione generale* e gli *Elab. 3 - Profilo e sezioni del corso d'acqua – stato attuale e stato di progetto* - e *Elab. 4 - Particolari costruttivi dell'intervento*.

Per quanto concerne il periodo di effettuazione dei lavori, compatibilmente con la tempistica legata alla disciplina sui contratti pubblici, se ne prevede la loro esecuzione nel periodo di idrologicamente più favorevole (Maggio - Ottobre). L'esecuzione degli interventi è previsto che privilegi le intersezioni con le strade provinciali, mentre il tratto di protezione spondale nell'agro avverrà da valle verso monte onde evitare situazioni di pericolo di esondazione e trasporto a valle del materiale in caso di piene del corso d'acqua.

## VERIFICHE DI SICUREZZA

### Attraversamenti viari

Con D.C.I. dell'Autorità di Bacino Regionale n. 1 del 20/05/2015 aggiornata con D.C.I. n. 2 del 27/10/2015, è stata approvata la *Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna nonché delle altre opere interferenti* in virtù di quanto riportato all'art. 22 delle Norme di attuazione del PAI. La Direttiva in questione prevede che i proprietari o i gestori pongano in essere una serie di adempimenti atti a verificare che le opere non determinino condizioni di rischio idraulico e comunque siano legati alla redazione di progetti di interventi manutentivi e di adeguamento oltre che a definire le misure non strutturali atte alla mitigazione del rischio presente.

Come precedentemente riportato, per le due opere d'arte interessanti le S.P. n. 17 e S.P. n. 15 si è proceduto alla verifica idraulica, sulla quale si articola l'*Elab. A.7.3 - Relazioni di verifica di sicurezza dell'attraversamento viario ex art. 22 delle N.A. del PAI*, in cui, tra le altre specifiche, sono presenti le indicazioni per l'esercizio transitorio da porre in essere da parte degli enti competenti.

Per quanto riguarda le condizioni di sicurezza delle due opere d'arte, non si sono riscontrati scalzamenti della struttura nel suo complesso, urti o abrasioni provocati dalla corrente di particolare significanza; tuttavia appaiono evidenti le azioni erosive delle opere idrauliche ad essi collegati quali la soglia di fondo e i paramenti che, nelle opere di bonifica sono una costante, regolarizzano il rio in prossimità dell'attraversamento, su entrambe le sponde e a monte a valle del manufatto ponte.

Tuttavia si specifica che le due opere di attraversamento stradale non appaiono, almeno apparentemente, in condizioni tali da pregiudicare la stabilità nel suo complesso.



## CONCLUSIONI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

Sulla base di quanto precedentemente riportato, le diverse lavorazioni rientrano tra le attività previste dalla *Direttiva per la manutenzione degli alvei e gestione dei sedimenti* in attuazione degli articoli 13 e 15 delle N.A del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (PAI) e dalle medesime Norme di Attuazione del PAI per interventi in zone classificate Hi4, secondo la distinzione delle varie attività lavorative di seguito riportate.

**Pulizia e taglio selettivo degli alberi dalle sponde del corso d'acqua.** La pulizia a monte e a valle delle due intersezioni fanno parte della manutenzione ordinaria che in questo caso è altresì volta a predisporre le aree alla realizzazione delle opere previste in progetto. La eliminazione degli alberi presenti sulle sponde del corso d'acqua è poi strettamente connessa alla necessità di rimuovere la vegetazione altofusto (peraltro in quota parte pericolante) dall'area di intervento in cui è prevista la nuova protezione spondale. Occorre specificare che la poca vegetazione oggetto di espianto non ha incidenza alcuna sull'habitat naturale sia per via della limitata entità dell'intervento, sia per il fatto che per il contesto non risulta minimamente alterato dal taglio in questione.

Detto intervento manutentivo è disciplinato dalla *Direttiva per la manutenzione degli alvei e gestione dei sedimenti* in attuazione degli articoli 13 e 15 delle N.D.A del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (PAI), e comporterà la riduzione al minimo degli elementi vegetativi che possano essere trasportati a valle dalla corrente di piena, almeno per il tratto di competenza.

In tali termini l'intervento è compatibile con i dettati delle norme di attuazione del PAI per quanto riportato all'art. 27 – Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata (Hi4) al comma 1, lettera c).

**Protezione spondale.** La sistemazione idraulica in termini di protezione spondale volta a limitare i fenomeni erosivi in atto, seppure per uno sviluppo limitato, rientra tra gli *interventi straordinari* previsti dall'art. 8 della *Direttiva per la manutenzione degli alvei e gestione dei sedimenti* in attuazione degli articoli 13 e 15 delle N.A del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (PAI). In aggiunta, la medesima direttiva all'ALLEGATO I Piano d'indirizzo metodologico per la redazione dei progetti di manutenzione aggiornato a Luglio 2015 al punto 6.3 – Sistemazione e protezione spondale prevede le tecnologie impiegate nel presente progetto quali quelle impiegabili nell'ambito della manutenzione fluviale.

Le opere sono poi compatibili ai sensi dettati delle norme di attuazione del PAI per quanto riportato all'art. 27 – Disciplina delle aree di pericolosità molto elevata (Hi4) al comma 1, lettera c) anche in riferimento a quanto indicato nel D.P.R. del 14/04/1993 "Atto di indirizzo e coordinamento alle regioni recante criteri e modalità per la redazione dei programmi di manutenzione idraulica e forestale" che indica tra le tipologie manutentorie da effettuarsi nei corsi d'acqua il *ripristino di protezioni spondali deteriorate o franate in alveo (gabbioni e scogliere), inteso come risagomatura e sistemazione di materiale litoide collocato a protezione di erosioni spondali; sostituzione di elementi di gabbionata metallica deteriorata o instabile od altra difesa artificiale deteriorata od in frana, utilizzando, ove possibile, tecnologie di ingegneria ambientale* come richiamato nelle N.A. del PAI.

Le risultanze della modellazione nello scenario *post operam* sono riportate nella figura seguente. Il risultato, prevedibile in origine, è quello di una pericolosità che rimane immutata nella sua estensione e nella sua classificazione, in quanto gli interventi sopra richiamati sono pressoché puntuali e come tali poco influenti nella dinamica fluviale di un percorso che coinvolge circa 1,5 km di sviluppo del rio. Viceversa, essendo il progetto volto ad una manutenzione straordinaria e non già alla mitigazione del rischio (in termini pianificatori), dal presente studio si evince che la pericolosità idraulica non aumenta, e con essa il rischio idraulico.

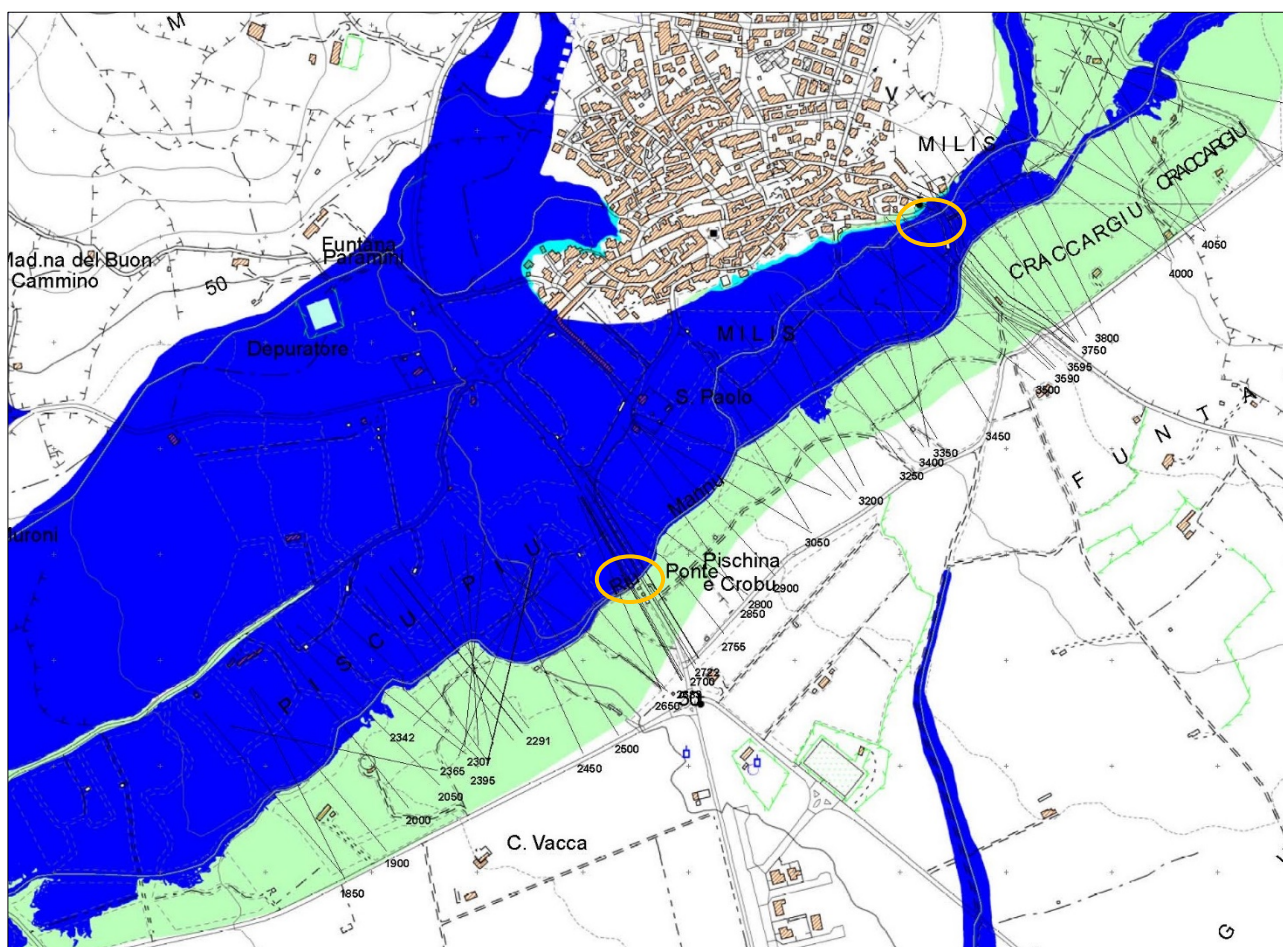


Fig. n. 9 – Stralcio della carta della pericolosità idraulica *post intervento* a confronto

Inoltre, il progetto in esame non evidenzia allo stato attuale controindicazioni specifiche in merito agli aspetti geologici in generale ed altrettanto in rapporto alla stratigrafia, all'assetto strutturale, alla geomorfologia e all'idrogeologia.

Geologicamente il sito in studio si presenta sicuro e privo di alcun fenomeno di instabilità in atto, o potenzialmente derivabile dalla realizzazione dell'intervento in progetto.

Non esiste una copertura pedologica che possa essere compromessa dall'insediamento delle opere previste.

Non sono presenti affioramenti di interesse geologico tale da poter essere inquadrati nella categoria "monumenti geologici" e come tali da sottoporre a salvaguardia.

Dal punto di vista idrogeologico non si rilevano interferenze degne di nota ed il tipo di intervento previsto non interessa falde acquifere profonde.

I terreni presenti entro l'area di interesse, sono dotati di una caratterizzazione geotecnica discreta, che tuttavia può essere considerata più che sufficiente, sia per quanto attiene alla capacità portante, sia per quanto riguarda i cedimenti.

Sulla base di quanto sopra specificato, si ritiene che le opere previste dal progetto sono fattibili sotto il profilo geologico, geotecnico e idrogeologico.

Alla luce di tutto quanto sopra esposto non si ravvisa alcuna incompatibilità idraulica dell'opera in esame con il reticolo idrografico superficiale e secondario.

Una ulteriore specificazione si intende effettuarla per quanto riguarda la messa in pristino del rivestimento costituente la soglia di fondo del tratto sottostante le campate che, nel novero delle opere di nuova regimazione idraulica nel suo complesso, ne prevede altresì l'ampliamento a monte e a valle. L'intento è quello di contrastare più efficacemente l'azione erosiva cui è stata sottoposta sinora, con conseguenti benefici in termini di velocità dell'acqua, nel pur breve tratto di attraversamento del ponte.

Dalla analisi dei vari elementi che caratterizzano l'intervento progettuale si evince che tutte le opere sopra descritte rientrano tra quelle comunque consentite dalla disciplina delle aree a pericolosità idraulica molto elevata, quindi nelle aree classificate Hi4.

**In conseguenza di quanto sopra riportato, le opere in questione risultano pertanto tra quelle ammissibili ai sensi di quanto previsto dalle Norme di Attuazione del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico.**

## PIANO DI MANUTENZIONE

La presente parte mira ad individuare le azioni tecniche ed amministrative, incluse le azioni di supervisione, volte a mantenere o a riportare le opere allo stato in cui esse possano eseguire la propria funzione. A tale proposito occorre definire il cosiddetto "sistema di manutenzione" ossia quella struttura organizzativa necessaria per l'attuazione dei processi e delle procedure individuate della strategia manutentiva specificata nel programma di manutenzione in riferimento alla manutenibilità delle opere, ossia alla loro attitudine ad essere mantenute o riportate in uno stato di efficienza.

Al riguardo, tanto la prassi quanto la normativa tecnica forniscono una classificazione delle attività di manutenzione distinguendo in "manutenzione ordinaria" e "manutenzione straordinaria" in relazione alle cause, all'entità ed alla frequenza dello stato di malfunzionamento all'origine dell'intervento. Tuttavia nella stesura di un programma di manutenzione risulta maggiormente appropriato riferirsi ad una classificazione trasversale, se pur meno nota, certamente più appropriata, che distingue la manutenzione preventiva programmata dalla manutenzione correttiva, tipicamente ordinaria, e da quella migliorativa, tipicamente straordinaria.

L'adozione di un sistema manutentivo programmato è tipica dei processi e delle opere il cui malfunzionamento possa causare danni ingenti o addirittura irreparabili: è proprio in quest'ottica si configura la manutenzione di aste fluviali e canali che, anche nel recente passato, ha mostrato la loro potenziale pericolosità.

L'obiettivo primario della programmazione è quello di ridurre le condizioni di pericolosità occasionale rappresentata dai deficit funzionali delle opere e nel contempo quello di ridurre l'entità dei singoli interventi manutentivi mediante l'interruzione dei processi degenerativi quali ad esempio le meccaniche erosive, i fenomeni di accumulo dei detriti, ecc.

In quest'ottica uno degli ostacoli di maggior rilievo è rappresentato dalla consuetudine che vede la manutenzione come conseguenza di un malfunzionamento, come azione di riparazione più che come mezzo di garanzia dell'affidabilità. Questa consapevolezza comporta il fatto che per la corretta impostazione del sistema manutentivo sia indispensabile un nuovo approccio formativo destinato agli operatori, nell'ottica di identificare un nuovo ruolo di specialista polivalente in grado di definire tempestivamente i processi e gli elementi di potenziale ostacolo al corretto deflusso delle acque prima che questi interferiscano realmente sulla funzionalità delle opere, soprattutto per quanto concerne le opere d'arte realizzate per funzionare in condizioni idrauliche ben differenti.

Una buona pratica per l'applicazione delle attività manutentive è comunque garantita dal sistema programmatico che impone interventi tipo legati a determinate condizioni come ad esempio gli *interventi ciclici* (o a tempo), manutenzioni preventive periodiche legate ad esempio ai cicli stagionali o alla naturale evoluzione delle dinamiche d'alveo; gli *interventi predittivi* (o a consumo), effettuati a seguito dell'individuazione precoce dei sintomi di un eventuale problema imminente, ad esempio lesioni su strutture o murature, sfilacciamento di gabbionate, principi di scalzamento o di aggiramento dei manufatti, ecc.; gli *interventi a condizione* subordinati cioè all'accadimento di un determinato evento, una piena rilevante, un evento franoso o casi analoghi. Gli interventi descritti



rispondono alle diverse esigenze individuate dalla corretta filosofia manutentiva i cui principi impongono di mettere sempre la sicurezza al primo posto, di adattare le esigenze manutentive ai cicli vitali del corpo idrico, nonché a intendere gli interventi come parte integrante della prevenzione e della risoluzione dei problemi.

## Programma delle manutenzioni

La durabilità e la funzionalità idraulica degli elementi che costituiscono il progetto è strettamente legata al loro stato di manutenzione. A tal fine si propone un elenco degli interventi principali che l'ente gestore dovrà garantire per il corretto funzionamento delle opere.

Sia i controlli che gli interventi dovranno essere eseguiti da personale specializzato debitamente attrezzato sia dal punto di vista tecnico che dal punto di vista della sicurezza e sanità dei lavoratori, come previsto dalle normative vigenti.

### Interventi ciclici

Si tratta di interventi legati ai cicli stagionali, alla naturale evoluzione delle dinamiche d'alveo, ecc.

| LAVORAZIONE                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mantenimento della piena funzionalità delle opere idrauliche esistenti                   |
| Rimozione dei depositi che riducono la sezione idraulica                                 |
| Rimozione dei rifiuti solidi dalle sponde e fondo degli alvei                            |
| Pulizia degli alvei, tendente ad eliminare gli ostacoli al deflusso della piena in alveo |
| Lavori di sfalcio e semina delle arginature                                              |
| interventi di manutenzione mediante taglio selettivo della vegetazione                   |
| Lavori di manutenzione per taglio a raso della vegetazione infestante                    |
| Pulizia e manutenzione dell'alveo                                                        |
| Manutenzione di opere di difesa spondale                                                 |
| Pulizia dell'alveo in prossimità di infrastrutture viarie                                |
| Lavori di manutenzione alle apparecchiature di misura delle portate                      |
| Lavori di manutenzione alle pertinenze idrauliche dei canali                             |
| Lavori di ripristino della funzionalità delle rampe di servizio alla manutenzione        |
| Lavori di sistemazione delle sommità arginali                                            |
| Lavori di ripristino e riqualificazione aree golenali                                    |
| Lavori di sistemazione degli stanti biettometrici situati sulle arginature               |
| Lavori di ripresa dei fenomeni franosi spondali con ripresa degli scoscendimenti         |
| Lavori di pulizia e ripristino delle gabbionate                                          |

Tab. n. 4 - Elenco interventi ciclici

### Interventi predittivi

Gli interventi predittivi sono effettuati a seguito dell'individuazione precoce dei sintomi di un eventuale problema imminente, ad esempio lesioni su strutture o murature, sfilacciamento di gabbionate, principi di scalzamento o di aggiramento dei manufatti, ecc.

| LAVORAZIONE                       |
|-----------------------------------|
| Lavori di manutenzione arginature |

|                                                                     |
|---------------------------------------------------------------------|
| Lavori di ripristino e consolidamento dei manufatti                 |
| Manutenzione di opere di difesa spondale                            |
| Lavori di ripristino strutturale delle gabbionate                   |
| Manutenzione mediante ricarica di fondazione delle difese esistenti |
| Opere di difesa di infrastrutture viarie di attraversamento         |
| Lavori di manutenzione per riassetto sagoma di un tratto di argine  |
| Lavori di consolidamento difesa esistente                           |
| Lavori di ripristino e consolidamento delle opere spondali          |
| Ripristino sommità arginale in tratti saltuari                      |
| Opere di difesa da eventi di frana nei tratti di monte dell'alveo   |
| Lavori di difesa da eventi di frana nelle arginature                |
| Interventi di manutenzione straordinaria dei manufatti              |

Tab. n. 5 - Elenco interventi predittivi

### Interventi a condizione

Gli interventi a condizione sono quelli subordinati all'accadimento di un determinato evento, una piena rilevante, un evento franoso, ecc.

| LAVORAZIONE                                                         |
|---------------------------------------------------------------------|
| Lavori di manutenzione per riassetto sagoma di un tratto di argine  |
| Lavori di consolidamento difesa esistente                           |
| Lavori di manutenzione per ripristino dell'officiosità dell'alveo   |
| Lavori per la stabilizzazione alveo                                 |
| Lavori di ripristino e consolidamento delle opere spondali          |
| Lavori di realizzazione difese spondali e risagomatura alveo        |
| Ripristino sommità arginale in tratti saltuari                      |
| Lavori di ripresa da eventi di frana nei tratti di monte dell'alveo |
| Lavori di ripresa da eventi di frana nelle arginature               |
| Lavori di ripresa dei fenomeni franosi spondali                     |
| Interventi di manutenzione straordinaria dei manufatti              |

Tab. n. 6 - Elenco interventi a condizione

### Manutenzione delle opere di rinverdimento

La manutenzione delle opere di rinverdimento ha il fine di garantire l'attecchimento dell'impianto e del relativo mantenimento. Le pratiche descritte qui di seguito, assolvono il compito di condurre l'impianto alla condizione d'equilibrio necessaria a trasformare la nuova piantumazione in una struttura organica ed omogenea. A tal fine durante l'estate e l'inverno dell'anno dell'impianto sono necessari interventi atti a garantire l'attecchimento delle piantine e la copertura di eventuali fallanze con interventi di irrigazioni, diserbo localizzato e sostituzione delle eventuali fallanze insorte.

### Sorveglianza ordinaria e segnalazioni

In ogni caso dovrà essere assicurato un servizio di presidio territoriale continuo e permanente, finalizzato alla tempestiva e puntuale individuazione e rimozione delle situazioni locali e diffuse di

incremento del rischio idraulico, quali l'occlusione parziale o completa delle sezioni di naturale deflusso e di quelle in corrispondenza di attraversamenti d'alveo o di altri manufatti e punti critici.

| LAVORAZIONE                                             |
|---------------------------------------------------------|
| Segnalazione sponda in erosione                         |
| Segnalazione per il ripristino di difese spondali       |
| Segnalazione di crepe, fontanazzi ed eventi particolari |
| Segnalazione di pericolo in genere                      |

Tab. n. 7 - Elenco segnalazioni

Il personale manutentore dovrà redigere un diario delle osservazioni e degli interventi contenente la descrizione puntuale del lavoro svolto, la data e ogni altra annotazione utile per una corretta ed efficiente programmazione delle operazioni successive.

### Monitoraggio degli eventi di piena

In occasione di un evento meteorologico rilevante è fondamentale seguirne il corso delle fenomenologie atmosferiche e degli effetti al suolo e, in particolar modo, la quantità e la localizzazione delle piogge cadute oltre alla variazione del livello idrometrico di fiumi e canali, per poter descrivere i fenomeni e delinearne anche l'evoluzione futura sulla base dei dati acquisiti. Il monitoraggio dovrà consistere nell'osservazione dei livelli pluviometrici e idrometrici misurati dalle stazioni della rete di monitoraggio al fine di fornire informazioni integrate che confermino la situazione prevista o la aggiornino in funzione di un'evoluzione imprevista. Tale fase viene assicurata con l'ausilio dei dati a terra integrati da quelli rilevati dalle stazioni di misurazione meteorologica. Lo sviluppo delle tecniche di monitoraggio si basa inoltre sulla messa a punto di una serie di livelli di allerta pluviometrici ("soglie") da definire caso per caso, a seconda delle condizioni climatologiche, geologiche e geomorfologiche.

Il controllo degli argini durante la fase di piena del fiume risulta fondamentale ai fini di una corretta identificazione delle fonti di rischio. Dalla cura e dalla competenza con la quale viene svolto questo servizio consegue infatti la possibilità di evitare possibili disastrose esondazioni. **Informazione alla popolazione**

Un ulteriore mezzo di prevenzione è rappresentato dall'informazione. Conoscere le caratteristiche del rischio, l'ubicazione delle zone a maggiore pericolosità, essere a conoscenza delle procedure di emergenza possono infatti ridurre i danni causati da un evento calamitoso.

Altro risvolto importante dell'informazione è l'educazione ambientale vista come elemento di salvaguardia. Sarà infatti utile portare all'attenzione della popolazione le problematiche di maggior rilievo che possono essere causate da comportamenti non corretti purtroppo assai diffusi quali ad esempio:

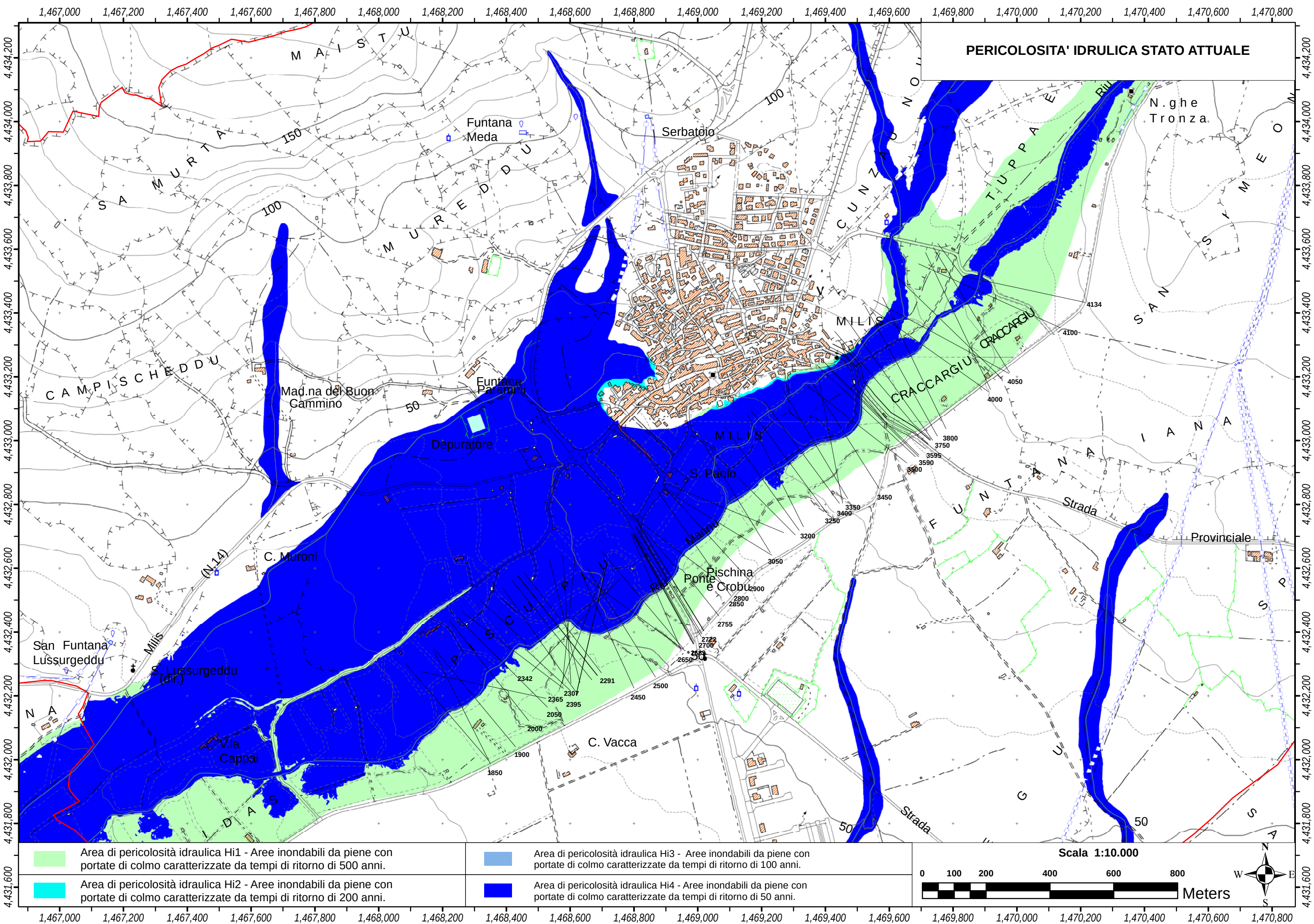
- la realizzazione di guadi improvvisati;
- la messa in opera di recinzioni in alveo trasversali rispetto al percorso della corrente;
- il restringimento delle sezioni idrauliche legate alla realizzazione di opere e manufatti abusivi o improvvisi;

- il restringimento delle sezioni idrauliche legate alla creazione di scariche abusive, soprattutto in prossimità di ponti e tombini stradali;
- l'attraversamento dell'argine con mezzi meccanici in tratti sprovvisti di adeguate rampe d'accesso;
- l'apertura di brecce per favorire il passaggio o garantire l'abbeveramento delle greggi;
- il mancato rispetto delle distanze dai corpi arginali in occasione dell'aratura dei terreni;
- la sottrazione di materiale di protezione.

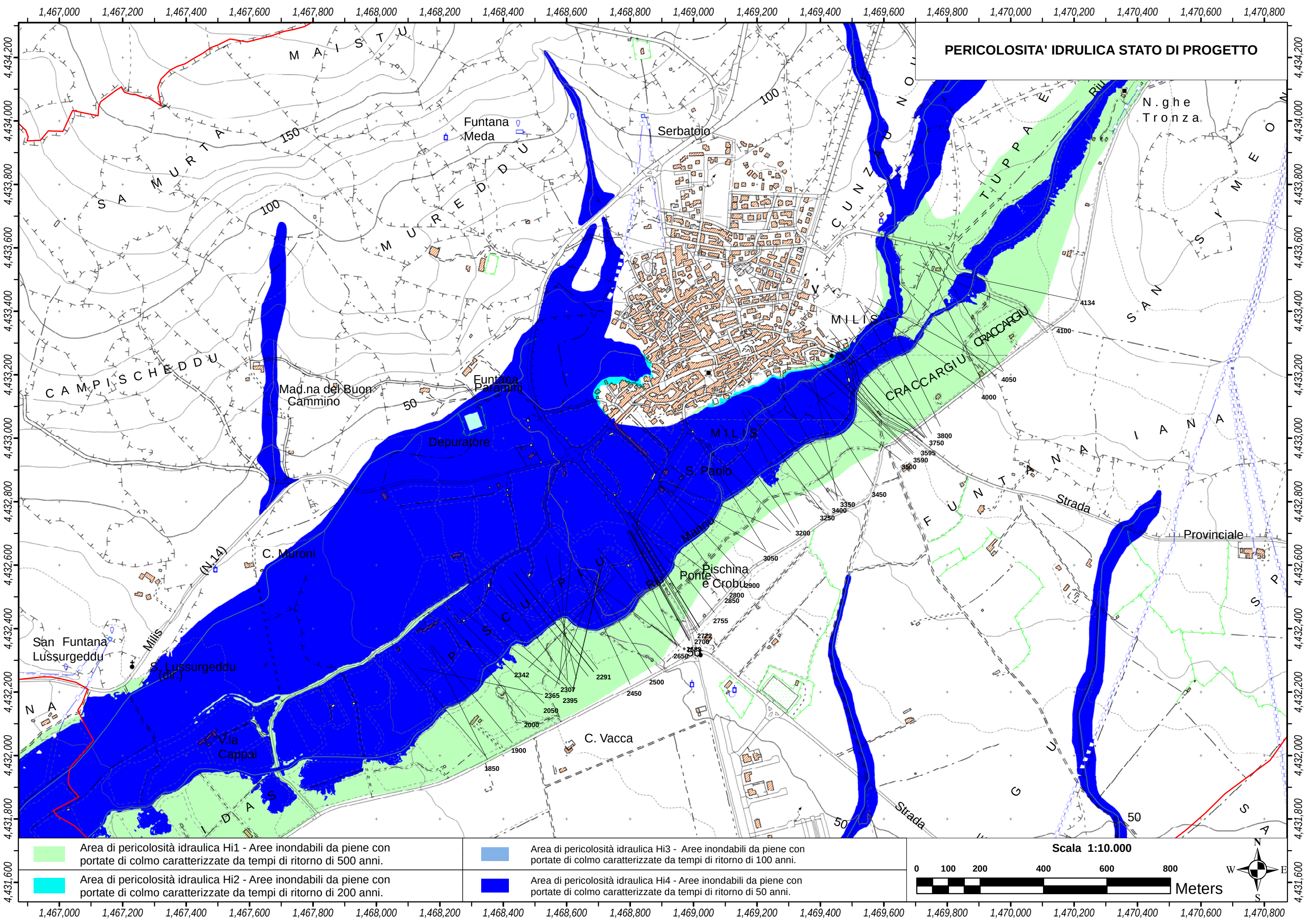
Attraverso l'educazione e l'informazione, supportate dalla vigilanza, si potrà giungere ad una maggiore coscienza ambientale ed alla consapevolezza dell'estrema rilevanza della prevenzione al fine della riduzione delle condizioni di rischio.



***ALLEGATI***







PERICOLOSITA' IDRULICA STATO DI PROGETTO

 Area di pericolosità idraulica Hi1 - Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 500 anni.

 Area di pericolosità idraulica Hi2 - Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 200 anni.

 Area di pericolosità idraulica Hi3 - Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 100 anni.

 Area di pericolosità idraulica Hi4 - Aree inondabili da piene con portate di colmo caratterizzate da tempi di ritorno di 50 anni.

**Scala 1:10.000**

0 100 200 400 600 800

 Meters



**SOMMARIO**

|                                                                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>GENERALITÀ</b> .....                                                                                                                      | 1  |
| <b>IL TERRITORIO DI RIFERIMENTO</b> .....                                                                                                    | 2  |
| Inquadramento geografico e cartografico .....                                                                                                | 2  |
| Inquadramento geologico .....                                                                                                                | 2  |
| Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI).....                                                                                        | 3  |
| Piano Stralcio per le Fasce Fluviali (PSFF) .....                                                                                            | 3  |
| Studio comunale di assetto idrogeologico - parte idraulica - redatto ai sensi dell'art. 8 comma 2<br>delle Norme di Attuazione del PAI ..... | 4  |
| Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della<br>Sardegna (PGRA).....                    | 4  |
| <b>LO STUDIO DEL BACINO</b> .....                                                                                                            | 7  |
| Il corso d'acqua e il bacino di riferimento.....                                                                                             | 7  |
| Parametri morfometrici, CN e portate di piena .....                                                                                          | 8  |
| Criteri di calcolo per la delimitazione delle aree allagabili .....                                                                          | 8  |
| La modellazione idraulica .....                                                                                                              | 10 |
| Criteri.....                                                                                                                                 | 10 |
| Il modello.....                                                                                                                              | 11 |
| Equazioni per il calcolo del profilo idraulico .....                                                                                         | 11 |
| Calcolo della profondità di stato critico.....                                                                                               | 13 |
| Sezioni con singolarità .....                                                                                                                | 13 |
| Coefficienti adottati.....                                                                                                                   | 14 |
| Velocità nell'alveo di magra.....                                                                                                            | 14 |
| Risultati .....                                                                                                                              | 14 |
| <b>INTERVENTI DI PROGETTO</b> .....                                                                                                          | 15 |
| <b>VERIFICHE DI SICUREZZA</b> .....                                                                                                          | 18 |
| Attraversamenti viari .....                                                                                                                  | 18 |
| <b>CONCLUSIONI COMPATIBILITÀ IDRAULICA</b> .....                                                                                             | 19 |
| <b>PIANO DI MANUTENZIONE</b> .....                                                                                                           | 22 |
| Programma delle manutenzioni .....                                                                                                           | 23 |
| Interventi ciclici.....                                                                                                                      | 23 |
| Interventi predittivi .....                                                                                                                  | 23 |
| Interventi a condizione .....                                                                                                                | 24 |
| Manutenzione delle opere di rinverdimento .....                                                                                              | 24 |
| Sorveglianza ordinaria e segnalazioni .....                                                                                                  | 24 |
| Monitoraggio degli eventi di piena.....                                                                                                      | 25 |
| Informazione alla popolazione .....                                                                                                          | 25 |
| <b>ALLEGATI</b> .....                                                                                                                        | 27 |