



## REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

DIREZIONE GENERALE

AGENZIA REGIONALE DI DISTRETTO IDROGRAFICO DELLA SARDEGNA

*Servizio difesa del suolo, assetto idrogeologico e gestione del rischio alluvioni*

**Analisi dell'assetto fisico del Riu San Girolamo-Masone Ollastru a seguito dell'evento di piena del 22 Ottobre 2008. Rivisitazione e integrazione dello studio denominato Piano Stralcio delle Fasce Fluviali, per la verifica delle delimitazioni delle fasce fluviali e per l'individuazione delle prime necessarie azioni (opere, vincoli e direttive), per il conseguimento di un assetto del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica del territorio e la salvaguardia delle componenti naturali e ambientali.**

(Ordinanza n. 9 del 30.12.2008 del Commissario Delegato per l'emergenza alluvione in Sardegna del 22 Ottobre 2008)

### Fase 3.1 - Assetto definitivo degli interventi

ELABORATO:	TAVOLA:
<b>Relazione di sintesi</b>	<b>01R</b>
	SCALA:
	-

#### DIREZIONE SCIENTIFICA DI PROGETTO

Prof. Ing. Marco Mancini

Dott. Geol. Giovanni Tilocca

CODIFICA ELABORATO

0 2 0 2 - 0 3 - 0 1 - 0 1 R

		Ing. Roberto Malcotti			
0	Emissione	Ing. Ivo Fresia	Ing. Ivo Fresia	Ing. Ivo Fresia	Aprile 2010
Rev.	Descrizione	Elaborato	Verificato	Approvato	Data

RAGGRUPPAMENTO TEMPORANEO DI IMPRESE



## INDICE

<b>1</b>	<b>PREMESSA</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>ANALISI IDROLOGICA</b> .....	<b>3</b>
2.1	LA SIMULAZIONE DELL'EVENTO DI PIENA .....	3
2.2	LA CARATTERIZZAZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO .....	4
2.3	LA STIMA DELLA PORTATA DI PROGETTO.....	4
<b>3</b>	<b>TEMPI DI RITORNO DELL'EVENTO E CONFRONTO CON LE RISULTANZE DEL PIANO STRALCIO FASCE FLUVIALI</b> .....	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>TRASPORTO SOLIDO</b> .....	<b>7</b>
<b>5</b>	<b>ANALISI IDRAULICA</b> .....	<b>10</b>
5.1	ANALISI MONODIMENSIONALE .....	10
5.2	ANALISI BIDIMENSIONALE.....	10
<b>6</b>	<b>FASCE FLUVIALI</b> .....	<b>14</b>
6.1	FASCIA A_2 O FASCIA DI DEFLUSSO DELLA PIENA CON TEMPO DI RITORNO 2 ANNI .....	15
6.2	FASCIA A_50 E B_100 O FASCIA DI DEFLUSSO DELLA PIENA CON TEMPO DI RITORNO 50 ANNI E 100 ANNI 16	
6.3	FASCIA B_200 O FASCIA DI DEFLUSSO DELLA PIENA CON TEMPO DI RITORNO 200 ANNI .....	16
6.4	FASCIA C O AREA DI INONDAZIONE PER PIENA CATASTROFICA .....	17
<b>7</b>	<b>INDIVIDUAZIONE E PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO IDRAULICO</b> .....	<b>18</b>
7.1	PREMESSA .....	18
7.2	DEFINIZIONE DEL RISCHIO IDRAULICO .....	18
7.3	INDIVIDUAZIONE E PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO IDRAULICO.....	20
<b>8</b>	<b>INTERVENTI STRUTTURALI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA NEL TRATTO A MONTE DELLA DIGA</b> .....	<b>22</b>
8.1	EFFETTI DI UNA POSSIBILE DIGA O TRAVERSA DI LAMINAZIONE ALLA SEZIONE HYDROCONTROL.....	27
<b>9</b>	<b>OPZIONI DI INTERVENTO DEL TRATTO URBANIZZATO DI VALLE</b> .....	<b>29</b>
9.1	SOLUZIONE 1 (PROPOSTA NELLA FASE PRELIMINARE): DIFESA PASSIVA DEI CENTRI ABITATI MEDIANTE ARGINATURA CONTINUA – OPERE DI CONTENIMENTO DELL'ALVEO NELLA ATTUALE MORFOLOGIA (MODESTE RICALIBRATURE NEI TRATTI CRITICI) .....	29
9.2	SOLUZIONE 2: CANALIZZAZIONE DELL'ALVEO (INALVEAZIONE DELLA SEZIONE DI PIENA) .....	32
9.3	SOLUZIONE 3: ALVEO COMPOSITO CON CANALIZZAZIONE CENTRALE, AREE GOLENALI E ARGINATURE CONTINUE (INALVEAZIONE MISTA).....	34
9.4	SOLUZIONE 4: ALVEO COMPOSITO CON CANALIZZAZIONE CENTRALE DI AMPIEZZA 50 M, AREE GOLENALI E ARGINATURE CONTINUE (INALVEAZIONE MISTA).....	37
9.5	CONCLUSIONI: SCELTA DELLA SOLUZIONE OTTIMALE .....	39
<b>10</b>	<b>QUADRO ECONOMICO COMPLESSIVO</b> .....	<b>40</b>
<b>11</b>	<b>INTERVENTI NON STRUTTURALI</b> .....	<b>42</b>
<b>12</b>	<b>PRIORITA' DI ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI</b> .....	<b>42</b>
<b>13</b>	<b>ISTITUZIONE DI BACINO SPERIMENTALE</b> .....	<b>43</b>

## 1 PREMESSA

L'evento alluvionale che ha interessato il bacino idrografico del Riu San Girolamo ed il suo corso d'acqua principale è di seguito descritto brevemente insieme con le attività svolte per la definizione della soluzione ottimale per la sistemazione del corso d'acqua stesso. Questa è stata condotta attraverso una dettagliata analisi delle variabili di progetto e dell'impatto di diverse possibili soluzioni di sistemazioni idraulica all'interno del processo di partecipazione attivato dal Distretto Idrografico secondo le indicazioni della Direttiva Europea 2000/60.

Il lavoro di seguito descritto è stato frutto della attività dell'A.T.I. Hydrodata, DHI-Italia, ART strettamente controllato e analizzato nelle sue diverse parti dalla Direzione di progetto e consulenza scientifica e ed è organizzato nelle seguenti fasi principali:

- l'analisi idrologica ai fini della ricostruzione idrologica ed idraulica dell'evento alluvionale e della definizione delle nuove portate di piena caratteristiche del corso d'acqua;
- l'individuazione delle soluzioni tecniche di sistemazioni idraulica, attraverso una prima versione preliminare di base; il successivo sviluppo della prima fase è stato concertato con i tavoli tecnici istituiti dal Distretto Idrografico sino alla presentazione delle presenti proposte;
- la nuova delimitazione delle fasce fluviali, in funzione delle nuove portate di riferimento e dell'assetto del corso d'acqua a seguito dell'evento alluvionale.

In merito al processo di definizione dei criteri di intervento, sono state seguite modalità operative organizzate secondo le seguenti fasi:

- la definizione di una proposta di assetto infrastrutturale di base (Fase 1.1.), in tempi brevi e sulla base dei risultati di analisi conoscitive di prima approssimazione;
- la definizione delle proposte per l'assetto definitivo degli interventi (Fase 3.1.), a seguito di una approfondita discussione della proposta iniziale e delle possibili varianti integrative o sostanziali.

## 2 ANALISI IDROLOGICA

L'analisi idrologica ha avuto per obiettivo sia la ricostruzione dell'evento alluvionale sia la stima delle portate di progetto ai fini del dimensionamento dell'assetto idraulico dell'alveo e delle opere di difesa.

La forte variabilità spazio-temporale della precipitazione del 22 ottobre 2008 unitamente alla morfologia del bacino in esame ha suggerito l'uso di una modellistica idrologica di tipo distribuito in grado cioè di riprodurre la variabilità spaziale con cui si presentano i fenomeni idrologici in natura e tenerne conto ai fini della formazione dell'onda di piena in diversi punti del reticolo di drenaggio (figura 1).

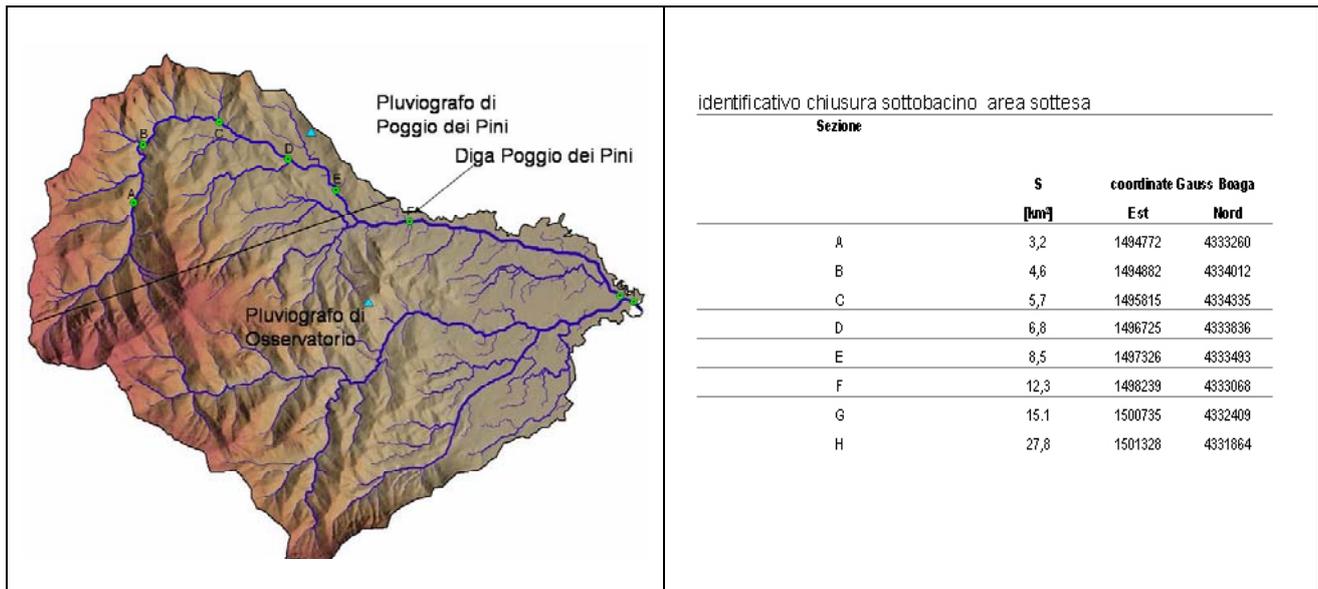


Figura 1. Bacino del San Girolamo con i pluviografi di *Poggio dei Pini* e di *Osservatorio* (triangoli azzurri), e le sezioni (cerchi verdi) di stima delle portate, con le relative aree drenate (dx).

### 2.1 La simulazione dell'evento di piena

L'evento pluviometrico, come generalmente succede per questi fenomeni di natura convettiva, presenta una forte variabilità spaziale con circa 350 mm di pioggia in cinque ore al pluviografo di *Poggio dei Pini* e 200 mm al pluviografo dell'*Osservatorio Astronomico*. La registrazione della precipitazione è stata quindi inserita nel modello idrologico del bacino del San Girolamo, calibrato per la sola geometria della rete, che ha riprodotto gli idrogrammi alle diverse sezioni di interesse (Figura 2). Tra queste sezioni la *Sezione F* è quella della traversa in muratura immediatamente a valle della diga di Poggio dei Pini, dove il Settore Idrografico del Distretto Idrografico ha stimato immediatamente dopo l'evento in 409 m<sup>3</sup>/sec la portata al colmo. Successive analisi idrauliche di dettaglio sull'opera hanno permesso di affinare la stima a circa 370 m<sup>3</sup>/s. Tale valore è quello riprodotto dal modello idrologico che stima la portata al colmo in Q=372 m<sup>3</sup>/s, verificatasi alle ore 7:54 in accordo con le osservazione registrate (Figura 2).

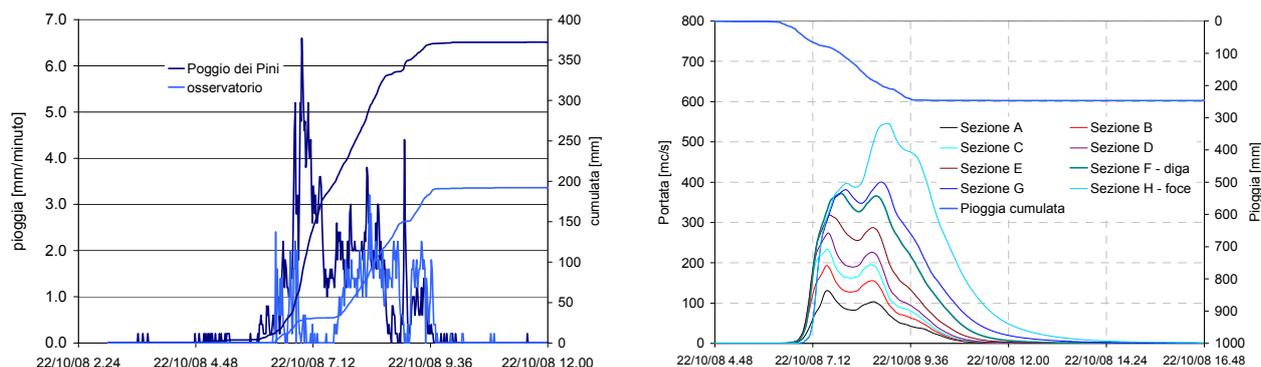


Figura 2. Registrazione pluviografica ai pluviometri di Poggio dei Pini ed Osservatorio (sin) ed idrogrammi simulati alle diverse sezioni,  $Q_c=372 \text{ m}^3/\text{s}$  alle ore 7:54.

## 2.2 La caratterizzazione della pioggia di progetto

La stima della precipitazione di progetto è stata eseguita attraverso un aggiornamento delle Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica (LSP) in base all'aggiunta dei dati di pioggia massima annuale per le diverse durate relative al periodo 1988-2008 per quattro stazioni (Capoterra, Pixinamanna, Is Cannoneris, Pula) individuate dal Settore Idrografico in base a disponibilità ed affidabilità dei loro dati.

L'analisi statistica è stata condotta con il modello TCEV in analogia a quanto fatto dal VAPI Sardegna e ripreso dal PAI. Rispetto all'informazione storica (VAPI Sardegna), essa mostra per questa particolare area della Sardegna meridionale un sensibile incremento della precipitazione per assegnata durata e tempo di ritorno. Il confronto con la precipitazione osservata mostra comunque, soprattutto per le durate di interesse del bacino idrografico del San Girolamo, tempi di ritorno ben al di sopra di quelli duecentennali assunti come riferimento nella progettazione delle opere idrauliche.

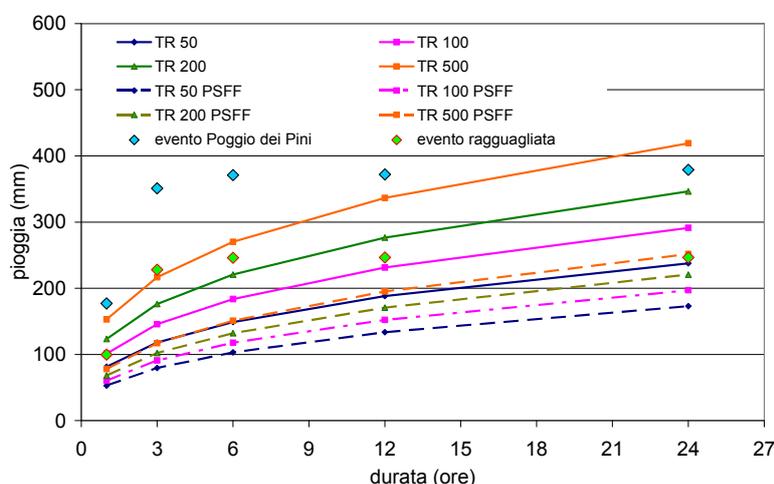


Figura 3. Linee segnalatrici di possibilità pluviometrica aggiornate per diversi tempi di ritorno (TR) a confronto con le stesse linee non aggiornate, TR PSFF, e pioggia registrata al pluviografo di Poggio dei Pini, ragguagliata sul bacino anche con l'informazione del pluviografo di Osservatorio.

## 2.3 La stima della portata di progetto

La stima della portata di progetto è stata eseguita secondo le indicazioni del PAI con la metodologia indiretta attraverso il modello idrologico distribuito (FEST) prima calibrato sull'evento alluvionale. Per ciascuna delle sezioni in esame è stato quindi calcolato "l'evento critico" ossia quello che presenta la massima portata al colmo tra le diverse durate di precipitazione, quest'ultima individuata dalla LSP con tempo di ritorno duecentennale.

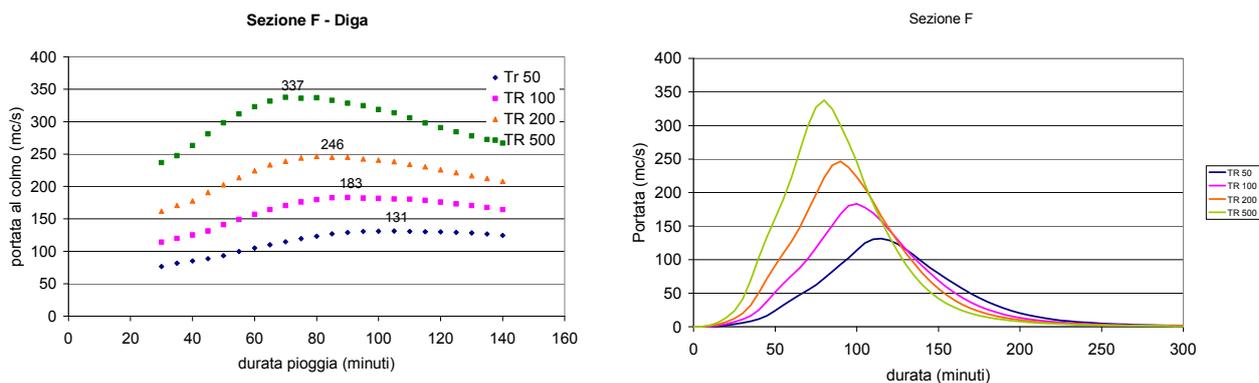


Figura 4. Portata di progetto (sin) e relativi idrogrammi di piena (dx) per assegnato tempo di ritorno, calcolati con le LSPP aggiornate per la sezione a valle della Diga di Poggio dei Pini ( F).

Tale metodologia è stata sviluppata per ciascuna delle sezioni di interesse al fine del dimensionamento delle soluzioni di progetto. Di seguito si riportano le portate di progetto a confronto con quelle precedenti all'aggiornamento delle linee di possibilità pluviometrica.

Tabella I. Portate al colmo per diversi tempi di ritorno calcolate con le nuove LSPP a confronto con quelle del PSFF ottenute con l'attuale VAPI

Sezione	Area (km <sup>2</sup> )	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500	INCREMENTO % TR200
		Stime PSFF (VAPI)				Stime Aggiornate				
A	3.2	14	18	22	28	35	51	70	99	318%
B	4.6	21	28	34	42	53	75	103	143	303%
C	5.7	27	34	42	53	65	93	126	175	300%
D	6.8	31	39	48	61	76	107	146	201	304%
E	8.5	38	48	58	73	90	128	173	239	298%
F	12.3	57	71	86	106	131	183	246	337	286%
G	15.1	65	81	98	122	150	208	278	381	284%
H	27.8	104	130	157	194	240	334	449	614	286%

### 3 TEMPI DI RITORNO DELL'EVENTO E CONFRONTO CON LE RISULTANZE DEL PIANO STRALCIO FASCE FLUVIALI

Il confronto tra le portate dell'evento alluvionale dell'ottobre 2008, ricostruite con la simulazione idraulica, e le stime delle massime portate al colmo per diversi periodi di ritorno, evidenzia come la portata al colmo della piena abbia un tempo di ritorno molto superiore ai 500 anni per la parte montana del bacino, che permane comunque superiore ai 500 anni anche per la parte di valle dell'asta con l'unica eccezione del tratto terminale in cui il valore è prossimo ai 300 anni. Ciò rispecchia anche la distribuzione spaziale dell'evento di pioggia ed evidenzia che l'evento ha frequenze di accadimento di molto inferiori a quelle adottate di norma per la progettazione delle opere di difesa ( $Tr = 200$  anni).

Tabella II. Tempi di ritorno dell'evento alluvionale lungo l'asta del Riu San Girolamo.

Sezione	Area (km <sup>2</sup> )	Tr 50	Tr 100	Tr 200	Tr 500	Qmax evento (m <sup>3</sup> /s)	Tr evento (anni)
A	3.2	35	51	70	99	131	>> 500
B	4.6	53	75	103	143	193	>> 500
C	5.7	65	93	126	175	234	>> 500
D	6.8	76	107	146	201	274	>> 500
E	8.5	90	128	173	239	319	>> 500
F	12.3	131	183	246	337	372 <sup>1</sup>	> 500
G	15.1	150	208	278	381	400	> 500
H	27.8	240	334	449	614	546	~300

Il confronto con le attività del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF), condotte sulla situazione ante alluvione, evidenzia la correttezza e la robustezza delle impostazioni metodologiche alla base della redazione del PSFF stesso:

- uso della **fascia geomorfologica** come indicatore delle aree inondabili (pericolose) per l'evento catastrofico;
- individuazione delle principali criticità idrauliche già per eventi con tempo di ritorno cinquantennali, ossia decisamente inferiori a quello verificatosi nell'ottobre 2008, criticità spesso dovute ad una disattenta definizione delle opere infrastrutturali rispetto a corsi d'acqua a carattere fortemente torrentizio<sup>2</sup>.

<sup>1</sup> Valore ricostruito in base ai livelli a valle della diga di Poggio dei Pini

<sup>2</sup> D. Dovera, M. Mancini, M. Salis, PAI Sardegna, *Relazione Generale*, Regione Sardegna, 2005.

M. Mancini, F. Valsecchi, *Un sistema informativo ai fini di protezione civile per l'analisi del rischio di esondazione indotto dai ponti stradali: il caso di studio della Provincia di Lecco*; Ambiente e Territorio, 2007

#### 4 TRASPORTO SOLIDO

Sulla valutazione del trasporto medio annuo del corso d'acqua è stata presa in considerazione l'analisi effettuata per la redazione del PSFF che ha valutato la portata solida media annua mobilizzata sull'intero bacino attraverso il metodo di Gavrilovic (1959) in circa 1200 m<sup>3</sup>/anno; di questi circa 300 m<sup>3</sup>/anno dovrebbero fermarsi all'interno dell'invaso di Poggio dei Pini, mentre i restanti 900 m<sup>3</sup>/anno potrebbero pervenire direttamente in mare.

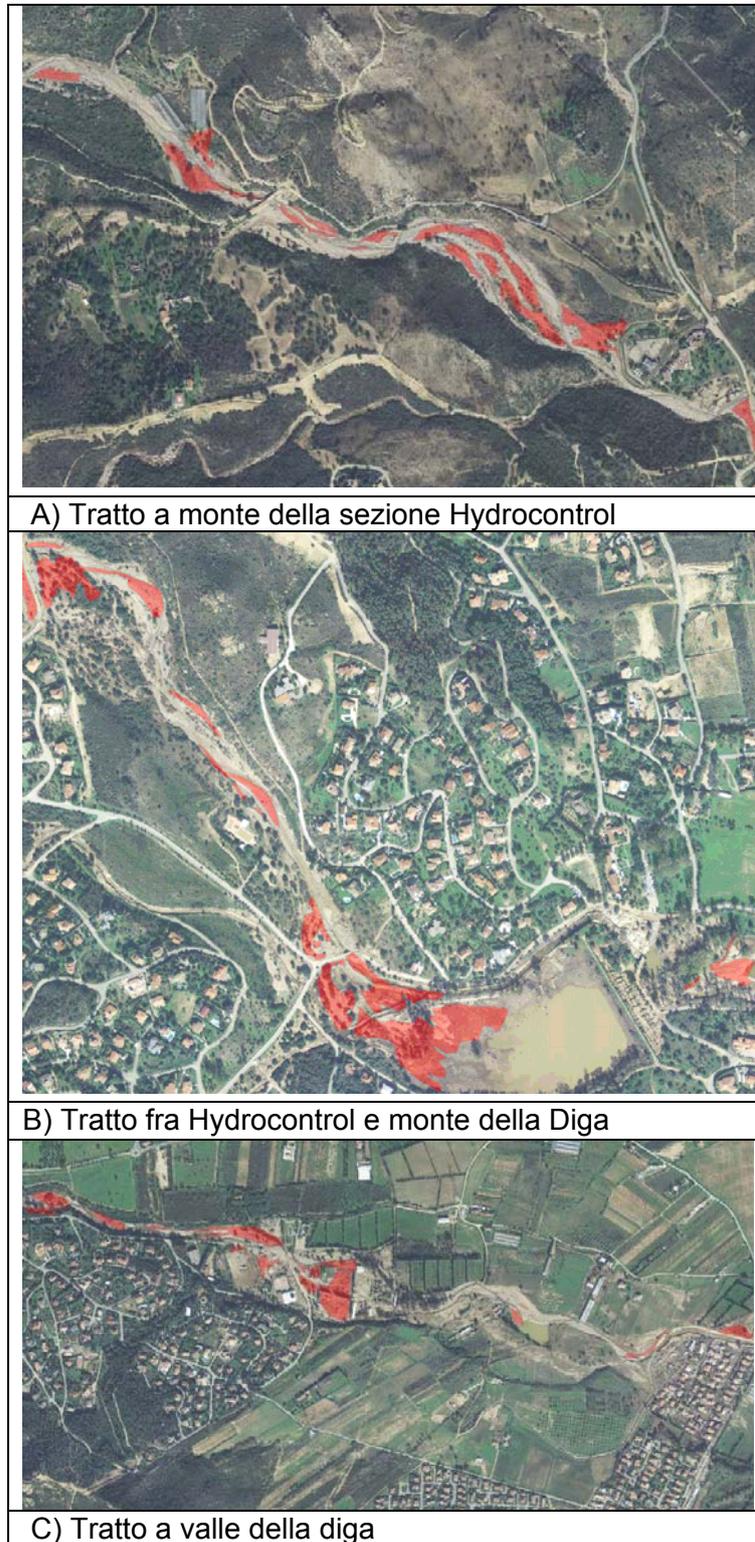


Figura 5. Localizzazione delle principali zone di sedimentazione

L'analisi quali-quantitativa di dettaglio è stata invece svolta sulla base dei sopralluoghi effettuati dopo l'evento alluvionale e utilizzando, per il dimensionamento volumetrico del materiale deposto, il confronto tra i rilievi digitali del terreno eseguiti in ambiente GIS realizzati in fase di pre e post-evento.

In particolare sono stati utilizzati i DTM prodotti dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) per il Piano Straordinario di Telerilevamento Ambientale, tramite rilievi LIDAR (il Light Detection and Ranging è una tecnica di telerilevamento laserscan per l'esecuzione di rilievi topografici di alta risoluzione) effettuati nel luglio del 2008 e il 23-24 ottobre 2008 nel comune di Capoterra. Dopo un controllo di qualità sugli eventuali scostamenti spaziali fra i due rilievi, è stato prodotto, tramite opportune elaborazioni dei dati di base, un nuovo grid del terreno che esprime le differenze in metri tra il rilievo post-alluvione e quello pre-alluvione: i dati del grid con valore positivo definiscono gli accumuli di materiale. Il calcolo dei volumi relativi è stato possibile grazie all'utilizzo di specifici applicativi software in ambiente GIS. La stima del volume di materiale sedimentato è di circa **201.000 m<sup>3</sup>**, di cui **146.000 m<sup>3</sup>** fino all'invaso di Poggio dei Pini e circa **55.000 m<sup>3</sup>** a valle della traversa in cemento a valle della diga. A tutte queste stime, andrebbero in ogni caso sommati i volumi non determinati dei sedimenti a granulometria più fine (ghiaie sabbiose, sabbie, silt, limi e argille) trasportati in sospensione anche oltre la foce.

Poiché la tipologia prevalente del trasporto solido verificatasi durante l'evento di piena ha assunto connotati di trasporto di massa e considerato che gli affluenti di I e II ordine del settore montano (ad esempio in destra il *Riu Sa Scabitzada* con innesto all'altezza della sezione *Hydrocontrol*) hanno contribuito in modo assai rilevante alla movimentazione attraverso il contributo di fenomenologie ascrivibili alle colate detritiche con alta concentrazione volumetrica solida (massi di dimensioni anche metriche), sono state applicate anche formulazioni per la stima quantitativa ( $M_s$ ) del trasporto solido per eventi estremi, i cui risultati sono seguito riassunti:

APPLICAZIONE FORMULE EMPIRICHE		
Formula	Autore	Volume stimato
$M_s = 13600A^{0,61}$	Takei (1986)	71.238 m <sup>3</sup>
$M_s = K_c A_i$	Kronfellner – Kraus (1984)	69.061 m <sup>3</sup>
$M_s = 29100A^{0,67}$	D'Agostino (1996)	179.394 m <sup>3</sup>
$M_s = 39A_i^{1,5} (IG)(IT)^{-0,3}$	D'Agostino (1996)	63.601 m <sup>3</sup>
$M_s = 211A_i^{1,3}$	D'Agostino (1996)	55.434 m <sup>3</sup>
$M_s = (667e^{-0,005A})A_i$	D'Agostino Cereato, Coali (1996)	84.054 m <sup>3</sup>
$M_s = 70A_i^{1,26}(IG)$	D'Agostino et Alii (2001)	70.399 m <sup>3</sup>

Dal confronto si evince che l'applicazione della formula di D'Agostino del 1996 ( $M_s = 29100A^{0,67}$ ) è quella che più si avvicina al valore calcolato dal confronto dei rilievi digitali in ambiente GIS.

L'analisi ha dunque messo in evidenza il parossismo del fenomeno del trasporto solido lungo tutta l'asta fluviale e nei suoi affluenti, nonché la sua notevole importanza in termini dinamici, sebbene con effetti di gran lunga più rilevanti su tutta la porzione a monte della diga in terra. Particolare significato da tale punto di vista assume la sezione in corrispondenza della sede di *Hydrocontrol*, nella quale la tendenza all'aggradazione dei sedimenti fluviali appare piuttosto sollecitata dall'esistenza della struttura e delle opere a suo presidio. A valle della diga e della traversa, l'area di principale accumulo è stata quella degli impianti sportivi, tuttavia l'azione erosiva si è spinta con chiare evidenze fino a oltre il quartiere San Girolamo e pertanto non deve meravigliare la vistosa attività di recapito manifestatasi alla foce anche col contributo solido del Masone Ollastu.



Figura 6. La formazione del piccolo delta alla foce evidenzia il recapito sedimentario sabbioso quindi la capacità di periodico ripascimento naturale della spiaggia da parte del San Girolamo e del Masone Ollastu. Tale recapito può essere assicurato anche in forma artificiale mediante by pass ad ogni manutenzione. Attualmente sono ben disponibili ingenti quantità di sedimenti. Occorre valutare l'interferenza del previsto progetto di ripascimento artificiale con tale dinamica poiché il vettore *long shore* risultante dal moto ondoso è diretto verso Nord.

Ugualmente interessati da fenomenologie erosive e di trasporto solido sono risultati tutti i compluvi scolanti all'interno dell'abitato di Poggio dei Pini per le cui innumerevoli criticità sono state proposte tipologie d'intervento ma restano da definirsi specifiche soluzioni puntuali.

Il contributo del trasporto solido durante l'evento alluvionale è stato tenuto in considerazione nell'analisi idraulica applicando nei modelli di calcolo i valori di scabrezza tarati sull'evento registrato del 2008 (tracce di piena, altezze d'acqua puntuali, ortofoto etc): il valore di scabrezza delle aree alluvionate è stato pertanto puntualmente tarato con l'obiettivo di recuperare l'esatto valore di profilo idraulico registrato lungo l'asta.

## 5 ANALISI IDRAULICA

L'analisi idraulica è stata condotta con i seguenti obiettivi:

- simulazione dell'evento alluvionale del 22 ottobre 2008, con l'intento di rappresentarne al meglio limiti di allagamento, altezze d'acqua e velocità;
- definizione di un profilo idraulico di riferimento per la definizione degli interventi, sia con riferimento all'evento sia alla portata di progetto con tempo di ritorno di 200 anni.

L'analisi è stata sviluppata sia con modellazione monodimensionale in moto permanente (modello numerico HEC-RAS), sia con modellazione bidimensionale in moto vario (modello numerico DHI – Mike21).

Lasciando alla relazione di competenza la descrizione dell'implementazione dei modelli, si intende qui fornire una breve panoramica dei risultati più significativi.

### 5.1 Analisi monodimensionale

L'analisi è stata condotta aggiornando il modello numerico (peraltro già implementato in fase preliminare) con le portate di riferimento così come definite dall'analisi idrologica.

L'attività ha permesso di attuare la progettazione degli interventi di messa in sicurezza lungo l'intera asta; in particolare per il tratto focivo urbanizzato sono stati implementati tre distinti modelli a descrivere le differenti proposte progettuali (descritte nel capitolo a seguire).

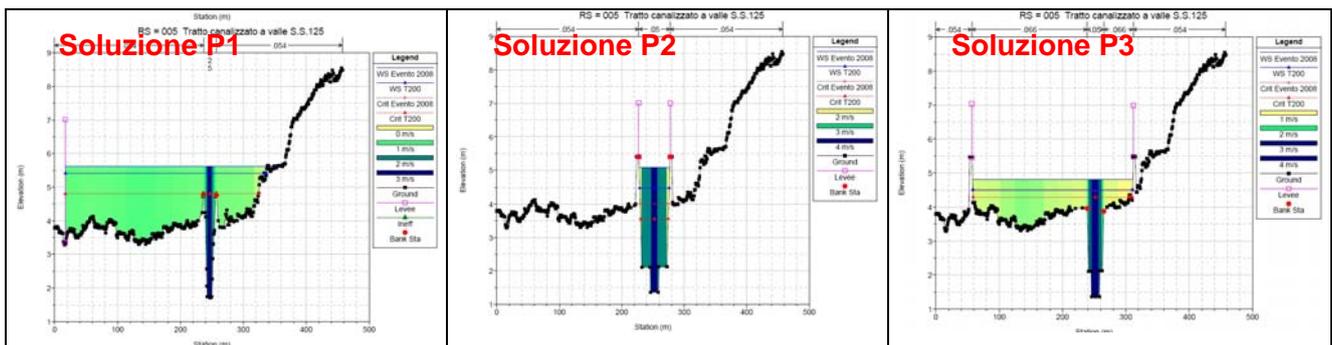


Figura 7. Modello monodimensionale – sez. 5: confronto tra le tre differenti configurazioni progettuali proposte a rappresentare il tratto focivo.

### 5.2 Analisi bidimensionale

L'analisi bidimensionale è stata condotta principalmente per rappresentare nel dettaglio l'evento 2008 nel tratto maggiormente critico, quello vallivo antropizzato.

La batimetria di elevato dettaglio, l'analisi di taratura della scabrezza condotta sui rilievi misurati e gli idrogrammi di portata del rio San Girolamo e del rio Ollastu sono le principali condizioni al contorno adottate per l'implementazione del modello.

L'analisi ha condotto ad una eccellente rappresentazione del fenomeno alluvionale, confermata dai confronti dei limiti perimetrali di esondazione rilevati in campagna e dai puntuali rilievi delle altezze d'acqua raggiunte.

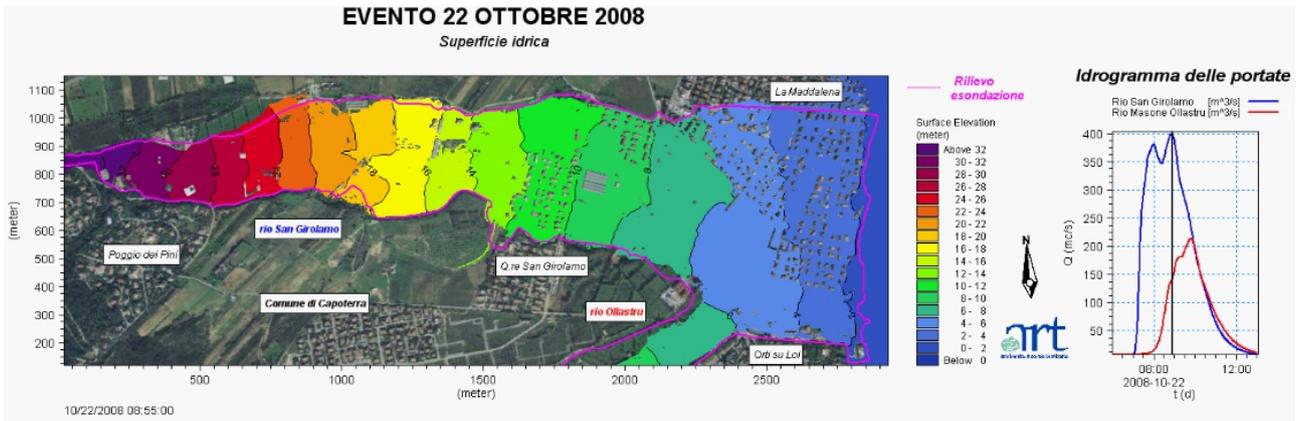


Figura 8. Analisi 2D dell'evento 22 ottobre 2008: quote idriche nel tratto a valle della diga in prossimità del colmo

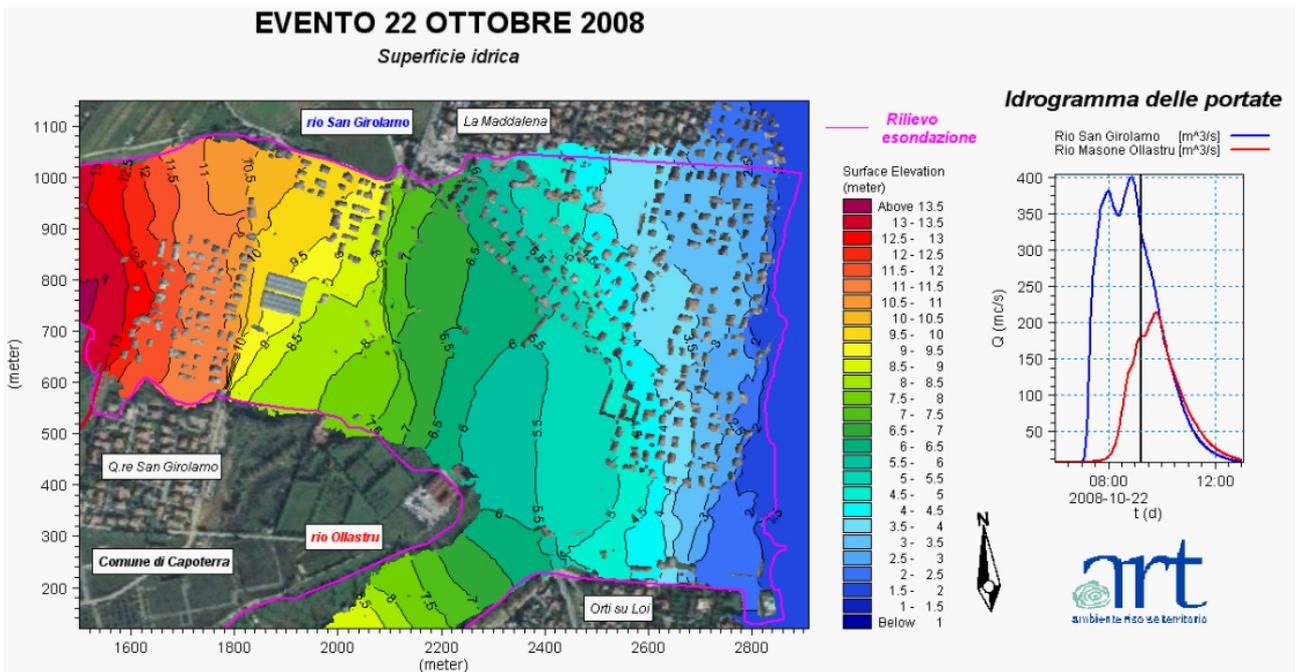


Figura 9. Analisi 2D dell'evento 22 ottobre 2008: quote idriche nel tratto focivo in prossimità del colmo

## EVENTO 22 OTTOBRE 2008

Velocità

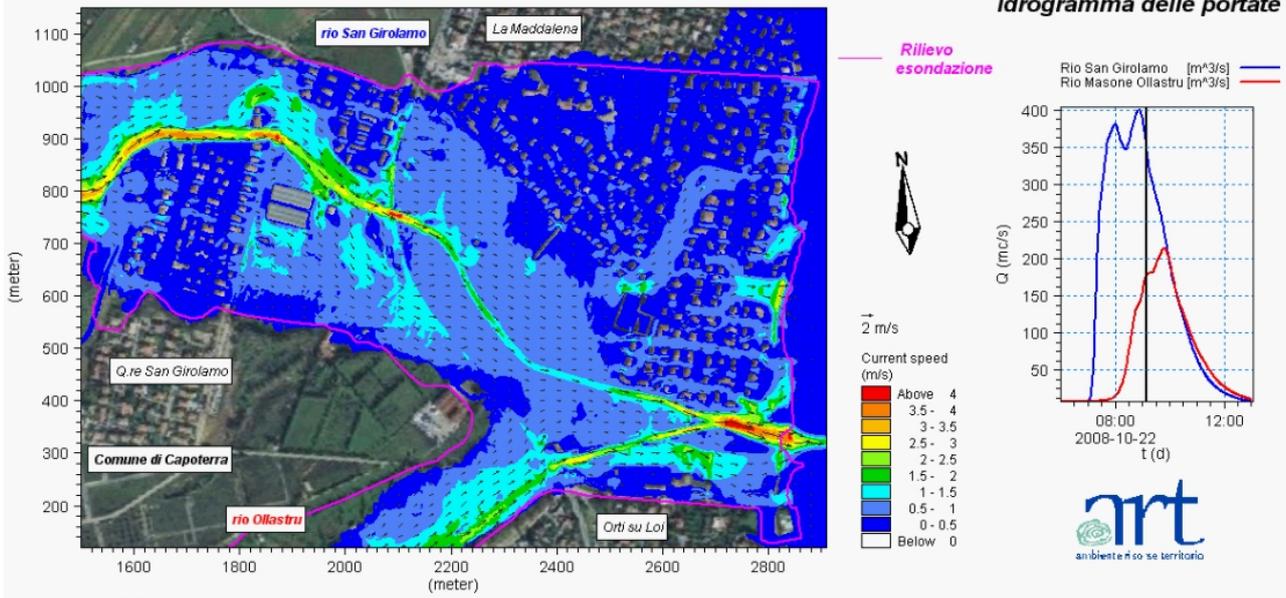


Figura 10. Analisi 2D dell'evento 22 ottobre 2008: velocità nel tratto focivo in prossimità del colmo

## EVENTO 22 OTTOBRE 2008

Altezze d'acqua

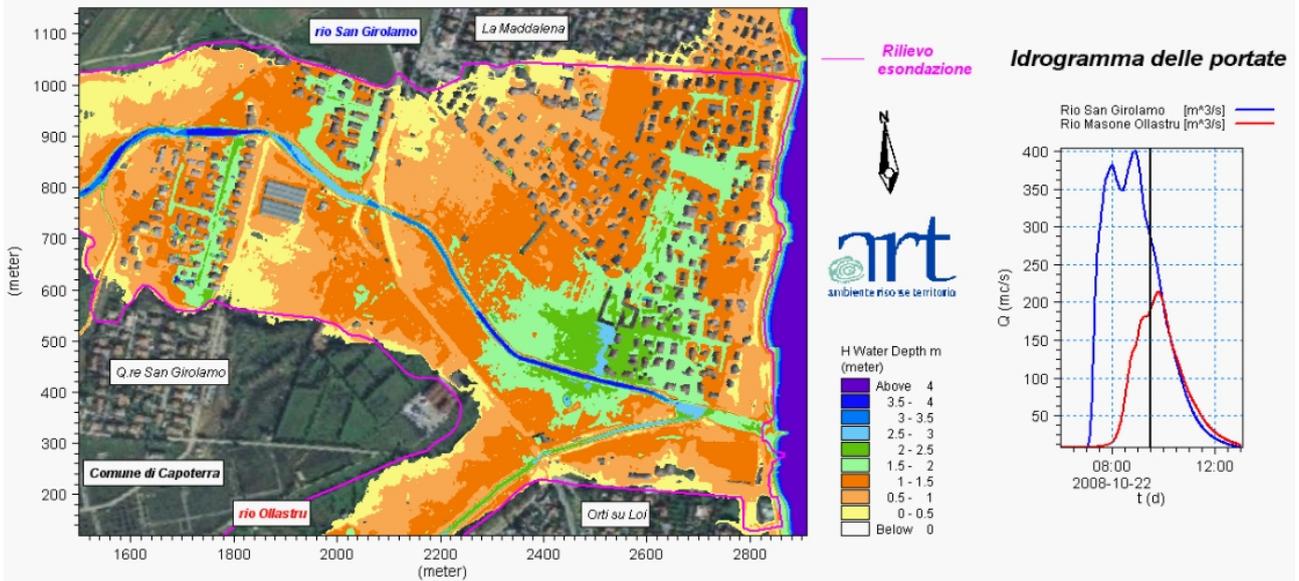


Figura 11. Analisi 2D dell'evento 22 ottobre 2008: altezze d'acqua nel tratto focivo in prossimità del colmo

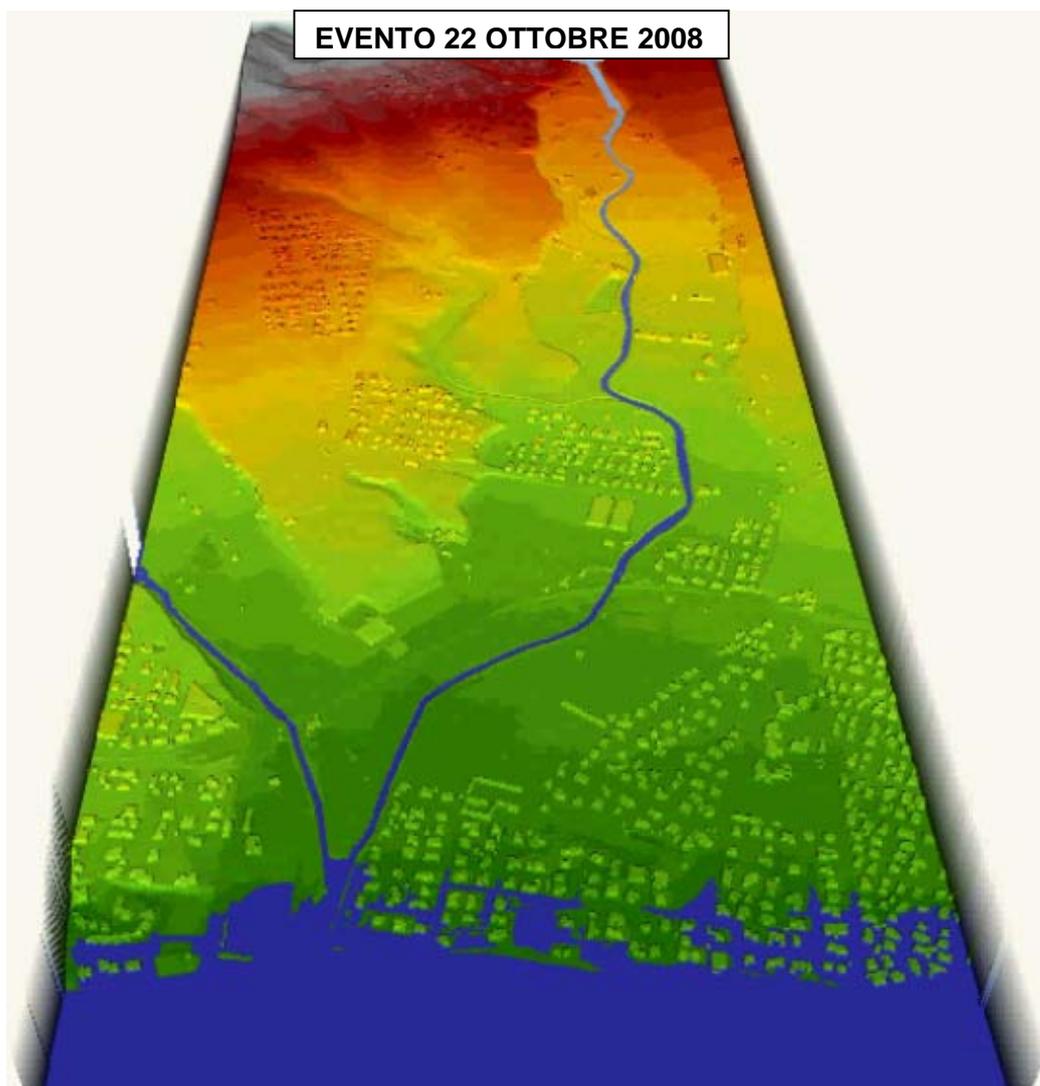
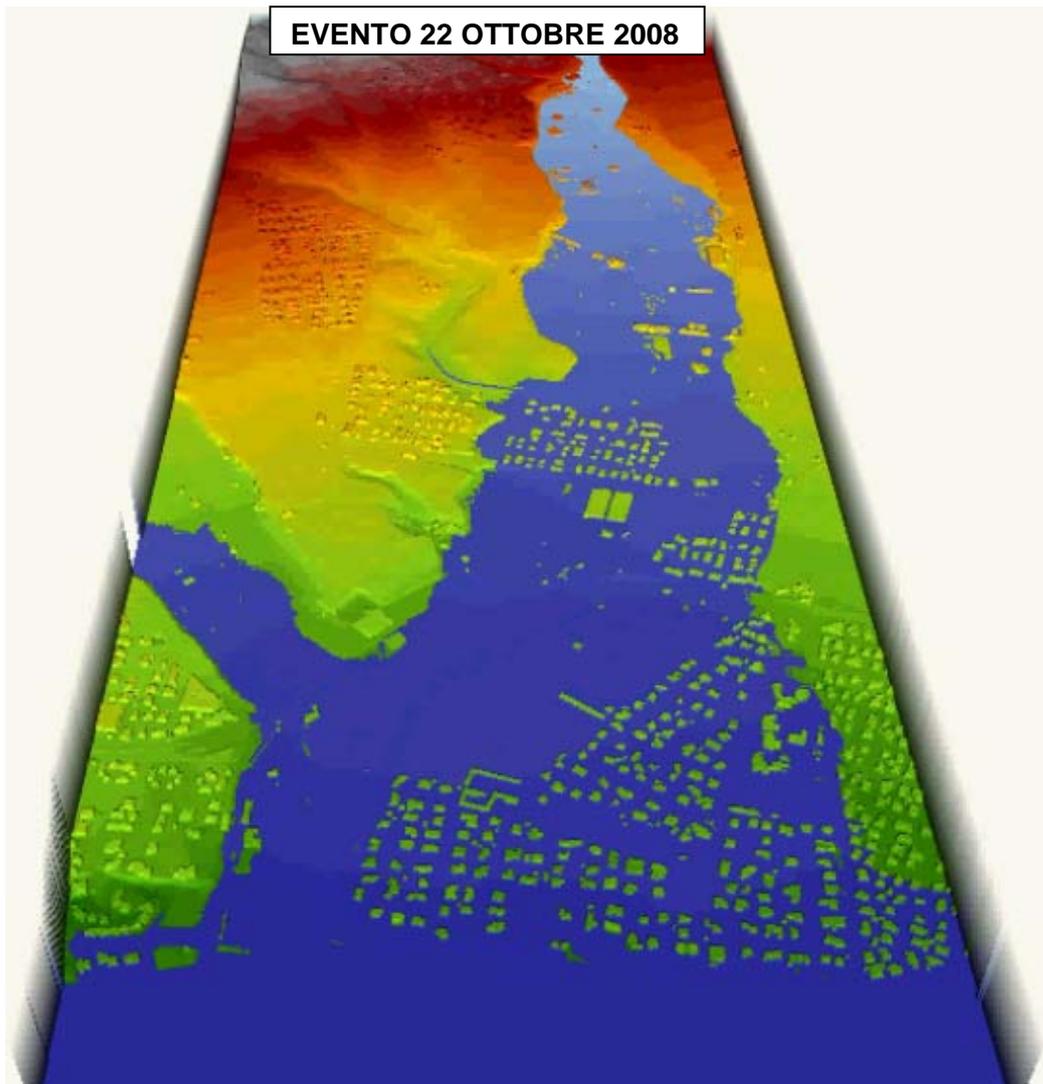


Figura 12. Visualizzazione 3D del tratto di asta modellato con analisi bidimensionale: portate di magra



EVENTO 22 OTTOBRE 2008

Figura 13. Visualizzazione 3D del tratto di asta modellato con analisi bidimensionale: portate al colmo evento alluvionale del 22 ottobre 2008

## 6 FASCE FLUVIALI

Il quadro conoscitivo di dettaglio sviluppato nell'ambito del presente studio (aggiornamento delle portate di piena, ridefinizione dei profili idrici per eventi a differente frequenza probabile, approfondimenti geomorfologici in seguito agli effetti dell'evento 2008) ha guidato l'analisi critica delle fasce fluviali individuate nel Piano Stralcio Fasce Fluviali (PSFF) e ha permesso di proporre alcune varianti al tracciamento definito nel Piano.

L'approccio all'attività ha seguito le metodologie del PSFF; in particolare sono state individuate cinque fasce:

- **fascia A\_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni**, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- **fascia A\_50 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni**, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- **fascia B\_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni**, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi

dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;

- **fascia B\_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni**, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata; La delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate;
- **fascia C o area di inondazione per piena catastrofica**, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'inviluppo esterno della fascia C geomorfologica (inviluppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena).

Nel seguito viene proposta una descrizione per tratti omogenei delle fasce fluviali individuate; si è fatto riferimento ai seguenti tratti definiti in funzione delle evidenze dell'analisi geomorfologica ed idraulica:

- il tratto montano: si sviluppa dalla confluenza del rio S'Arriu de sa Figu (sez. 62 – PSFF 07\_SG\_023) al ponte della strada 52 per Capoterra (sez. 43 – PSFF 07\_SG\_016);
- il tratto intermedio: si sviluppa in corrispondenza dell'abitato di Poggio dei Pini tra la sez. 43 e la sez. 20 (circa 130 m a valle della sezione PSFF 07\_SG\_010), posta al termine della stretta forra rocciosa che per circa 500 m definisce l'ambito fluviale a valle della traversa del lago minore;
- il tratto di pianura: si sviluppa dalla sez.20 fino alla foce, in località Frutti d'oro.

### **6.1 Fascia A\_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni**

Nel tratto montano la fascia è limitata da ripidi versanti e solo in corrispondenza di confluenze di tributari laterali si amplia localmente; in generale la fascia corrisponde all'alveo attivo e mantiene una larghezza dell'ordine di 20-30 m. La perimetrazione proposta riprende sostanzialmente il tracciamento del PSFF; solo in corrispondenza di alcuni punti (in località C.Musiu e a monte della sede Hydrocontrol), in cui durante l'evento 2008 sono stati pienamente riattivati canali laterali, sono stati compresi gli ambiti oggi direttamente parte dell'alveo attivo.

Nel tratto intermedio del corpo idrico, a monte dell'invaso di Poggio dei Pini, fenomeni di divagazione del corpo idrico, connessi al transito dell'evento alluvionale, hanno determinato erosioni laterali lungo entrambe le sponde, ampliando l'ambito fluviale, attivo anche per eventi statisticamente frequenti; la fascia proposta evidenzia quest'aspetto come confermato dalle analisi idrauliche eseguite.

In corrispondenza della diga di Poggio e della traversa immediatamente a valle, la fascia si amplia localmente ad interessare gli invasi, a monte delle opere citate. A valle delle due opere trasversali (diga in terra e traversa) il corpo idrico è ben limitato dai terrazzi principali e la fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni corrisponde all'alveo attivo. Il tracciamento del PSFF è in questo tratto pienamente confermato.

Procedendo verso valle il corpo idrico percorre la piana alluvionale che termina con lo sbocco a mare in località Frutti d'oro, immediatamente a valle della confluenza del rio Masone Ollastru. Nel tratto interventi antropici di regimazione dell'alveo definiscono la fascia A\_2 che sostanzialmente conferma il tracciamento del PSFF.

## **6.2 Fascia A\_50 e B\_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni e 100 anni**

Le fasce A\_50 e B\_100, nel tratto montano del corpo idrico, sono in genere limitate dai versanti rocciosi e solo localmente coinvolgono alcuni terrazzi secondari; di fatto la pressione antropica nel tratto è modesta, le criticità sono concentrate in corrispondenza dei due attraversamenti esistenti (strada comunale per San Girolamo, sez.54, e strada 52 per Capoterra, sez. 43) che, in particolare con i rilevati di accesso, interferiscono con la fascia di deflusso di piena, favorendo l'innalzamento dei livelli a monte ed esponendosi a fenomeni erosivi potenzialmente molto intensi. E' strategico rilevare come il centro ricerche Hydrocontrol, posto immediatamente a monte del ponte della strada 52 in sponda sinistra, sia prospiciente l'alveo attivo e possa essere coinvolto da fenomeni di dinamica fluviale connessi ai deflussi di piena già per eventi con tempo di ritorno 50 anni. La revisione del tracciamento delle fasce A\_50 e B\_100 evidenzia, nel tratto, come la fascia d'esondazione per gli eventi citati sia oggi più ampia laddove il corpo idrico ha pienamente coinvolto nell'evento 2008 le fasce golenali, con incisione di canali secondari di deflusso significativi; in particolare nel tratto compreso tra i due attraversamenti citati le fasce tendono a svilupparsi al piede dei versanti coinvolgendo l'intero ambito fluviale.

In corrispondenza della località Poggio dei Pini il transito degli eventi di piena citati evidenzia l'interferenza con i deflussi del ponte di strada vicinale Santa Barbara (sez.33), sormontato e capace di favorire l'inondazione delle aree a monte; l'ambito fluviale è tuttavia limitato morfologicamente lungo entrambe le sponde: possono essere coinvolti alcuni tratti di viabilità a monte dell'invaso di Poggio mentre a valle la stretta forra rocciosa garantisce il contenimento dei livelli idrici. Il tracciamento proposto sottolinea le evidenze chiare già nel PSFF.

Precedendo verso valle le fasce tendono a ricomprendere l'intero ambito fluviale delimitato dai terrazzi principali, specie in sponda destra; le aree occupate dagli impianti sportivi del centro abitato ed alcuni insediamenti agricoli isolati sono inondate per eventi con tempo di ritorno 50 e 100 anni. Nel tratto focivo la capacità di portata del corpo idrico è inadeguata al transito degli eventi in esame; ampie esondazioni coinvolgono sia la località Frutti d'oro, in sinistra, che il quartiere di San Girolamo, in destra. Le esondazioni sono in genere favorite dalla forte interferenza con i deflussi di piena delle opere di attraversamento esistenti.

Il tracciamento delle fasce fluviali nel PSFF, definito in funzione di portate notevolmente inferiori, evidenziava, nel tratto focivo, esondazioni significativamente meno estese, tanto in destra quanto in sinistra.

## **6.3 Fascia B\_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni**

Nel tratto montano e in corrispondenza di Poggio dei Pini l'evento duecentennale acuisce i fenomeni già evidenti per eventi statisticamente più frequenti. Le opere di attraversamento esistenti, inadeguate al transito delle portate di piena, possono riportare gravi danni oltre a favorire fenomeni d'esondazione e di instabilità planimetrica. In diversi punti la viabilità può essere interessata da fenomeni connessi al transito dell'evento; più limitati numericamente gli insediamenti interessati: si evidenziano il centro ricerche Hydrocontrol, la piscina di Poggio dei Pini, alcuni insediamenti residenziali prospicienti il corso d'acqua. Nel tratto la perimetrazione del PSFF è sostanzialmente confermata: le analisi idrauliche di maggior dettaglio e gli effetti sulla morfologia fluviale, connessi al transito dell'evento 2008, hanno permesso un tracciamento aderente all'assetto attuale del corpo idrico.

Dopo aver superato la naturale forra in roccia, a valle dei due sbarramenti di Poggio, tratto nel quale il corpo idrico è rigidamente vincolato per tutti gli eventi considerati, il corpo idrico si sviluppa

in ambito pianeggiante e la fascia B\_200 coinvolge i piani golenali tanto in destra quanto in sinistra fino al limite naturale di contenimento dei livelli idrici, prossimo all'orlo dei terrazzi principali (in questo tratto la perimetrazione PSFF pare cautelativa, anche in funzione degli effetti dell'evento 2008). Insediamenti sparsi, prevalentemente agricoli, sono coinvolti dalla fascia d'inondazione. Ormai prossimo allo sbocco a mare il rio attraversa l'abitato di La Maddalena; la sezione di deflusso del corpo idrico è inadeguata, diverse opere di attraversamento ostacolano i deflussi, la fascia d'esondazione coinvolge in destra gran parte del quartiere San Girolamo e in sinistra l'abitato di Frutti d'oro.

#### **6.4 Fascia C o area di inondazione per piena catastrofica**

La fascia C, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'inviluppo esterno della fascia C geomorfologica (inviluppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena).

La perimetrazione definita nel PSFF è sostanzialmente confermata dagli approfondimenti eseguiti. Nel tratto montano ed intermedio del corpo idrico la fascia C non coinvolge centri urbani e di fatto si sviluppa pressoché in corrispondenza dei ripidi versanti rocciosi che segnano la fascia di mobilità storica del corpo idrico. Procedendo verso valle l'ambito di pertinenza fluviale si amplia, la fascia C abbraccia i terrazzi principali, coinvolgendo insediamenti agricoli isolati e alcune aree di cava. Di fatto il solo tratto focivo presenta una pressione antropica elevata ed è qui, in corrispondenza della confluenza con il rio Masone Ollastru, che la fascia geomorfologica coinvolge gran parte degli insediamenti costruiti a partire dagli anni '50 a ridosso del litorale.

## 7 INDIVIDUAZIONE E PERIMETRAZIONE DELLE AREE A RISCHIO IDRAULICO

### 7.1 Premessa

Per la valutazione del rischio idraulico del riu San Girolamo si è fatto specifico riferimento alla metodologia utilizzata nella redazione del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Regione Sardegna (Linee Guida PAI, 2000), che individua le aree a rischio per fenomeni di piena utilizzando i parametri di pericolosità idraulica e di elementi a rischio previsti dalla normativa di riferimento (DPCM 29/08/1998).

La finalità principale della valutazione del rischio idraulico, applicata nel PAI, è quella di quantificare numericamente, in modo uniforme per il territorio della Regione Sardegna, sia il rischio totale che gli elementi a rischio interessati sulla base della classificazione qualitativa definita dal DPCM 29/08/1998.

### 7.2 Definizione del Rischio Idraulico

Il rischio idraulico  $R_i$  viene definito come il prodotto dei seguenti fattori:

$$R_i = H_i \times E \times V$$

dove:

$R_i$  = rischio idraulico totale valutato e quantificato numericamente secondo la descrizione degli effetti, come riportato nella Tabella III.

Tabella III. 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 idraulica definita, in accordo con il DPCM 29/08/1998, dalla probabilità di superamento della portata al colmo di piena secondo i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Tabella IV. Relazione tra pericolosità, frequenza e periodo di ritorno nei fenomeni di piena.

	Pericolosità	Frequenza (1/T)	Periodo di ritorno (T anni)
$H_{i1}$	bassa	0.002	500
$H_{i2}$	moderata	0.005	200
$H_{i3}$	alta	0.010	100
$H_{i4}$	molto alta	0.020	50

La pericolosità idraulica per il riu San Girolamo è stata definita a seguito della perimetrazione delle fasce fluviali A50, B100, B200 e C che delimitano le aree inondabili per i colmi di piena con i tempi di ritorno indicati.

**E** = elementi interessati dal rischio idraulico. Vengono definiti nel DPCM 29/08/1998 sulla base delle persone o cose suscettibili di essere colpiti da eventi calamitosi.

Tabella V. Classificazione degli elementi a rischio e attribuzione del relativo peso.

Classi	Elementi	Peso
<b>E<sub>1</sub></b>	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile	0.25
<b>E<sub>2</sub></b>	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	0.50
<b>E<sub>3</sub></b>	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
<b>E<sub>4</sub></b>	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	1.00

Il decreto classifica gli elementi sulla base del danno relativo a:

- incolumità delle persone;
- agglomerati urbani, comprese le zone di espansione urbanistica;
- aree in cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo, in particolare quelli definiti a rischio rilevante ai sensi di legge;
- infrastrutture a rete e vie di comunicazione di rilevanza strategica anche a livello locale;
- patrimonio ambientale e beni culturali, storici, architettonici d'interesse rilevante;
- aree sedi di servizi pubblici e privati, di impianti sportivi e ricreativi, strutture ricettive e infrastrutture primarie.

Ad ogni elemento è stato attribuito un peso numerico, secondo una scala compresa tra 0 e 1 ad andamento lineare, sulla base della caratterizzazione dell'uso attuale del suolo e di urbanizzazione. In particolare, sulla base della legge 267/98, nella categoria E4 sono stati inclusi tutti gli elementi nei quali è ipotizzabile la presenza di persone.

**V** = vulnerabilità intesa come capacità a resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento e di conseguenza del grado di perdita degli elementi a rischio. Ogni qualvolta si ritenga a rischio la vita la vulnerabilità, secondo quanto si evince dal DPCM, è stata assunta pari all'unità. Per la definizione della vulnerabilità degli altri elementi occorrerebbe provvedere ad effettuare analisi di dettaglio sui singoli cespiti, ma esse esulano dalle attività previste dal dispositivo di legge, e anche a tali elementi è stato attribuito un valore di vulnerabilità ancora unitario. In fasi successive si ritiene opportuno provvedere ad una ricalibratura del parametro sulla base di studi specifici di settore ad accurate analisi di natura socio-economica per stimare i valori dei beni a rischio e di conseguenza la scala di attribuzione dei pesi.

### 7.3 Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico

La perimetrazione delle aree a rischio idraulico e della relativa classificazione viene definita attraverso le seguenti fasi:

- individuazione delle aree a pericolosità idraulica sulla base della probabilità d'inondazione per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni;
- individuazione e classificazione degli elementi a rischio;
- intersezione della pericolosità idraulica con gli elementi a rischio per la perimetrazione delle aree a rischio idraulico.

L'analisi condotta sull'assetto fisico del riu San Girolamo, a seguito dell'evento alluvionale dell'ottobre 2008, ha portato ad un'analisi critica delle fasce fluviali individuate nel Piano Stralcio Fasce Fluviali (PSFF) e ha permesso di proporre alcune varianti al tracciamento definito nel Piano sulla base dell'aggiornamento delle portate di piena, della ridefinizione dei profili idrici per eventi a differente frequenza probabile e approfondimenti geomorfologici di dettaglio.

L'approccio all'attività ha seguito le metodologie del PSFF; in particolare sono state individuate cinque fasce:

- **fascia A\_2 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 2 anni**, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, individua l'alveo a sponde piene, definito solitamente da nette scarpate che limitano l'ambito fluviale;
- **fascia A\_50 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 50 anni**, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- **fascia B\_100 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 100 anni**, individuata in base all'analisi idraulica eseguita, rappresenta le aree interessate da inondazione al verificarsi dell'evento citato; il limite della fascia si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici;
- **fascia B\_200 o fascia di deflusso della piena con tempo di ritorno 200 anni**, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, si estende fino al punto in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici corrispondenti alla piena indicata; La delimitazione sulla base dei livelli idrici è stata integrata con le aree sede di potenziale riattivazione di forme fluviali relitte non fossili, cioè ancora correlate alla dinamica fluviale che le ha generate;
- **fascia C o area di inondazione per piena catastrofica**, tracciata in base a criteri geomorfologici ed idraulici, rappresenta l'inviluppo esterno della fascia C geomorfologica (inviluppo delle forme fluviali legate alla propagazione delle piene sulla piana alluvionale integrate con la rappresentazione altimetrica del territorio e gli effetti delle opere idrauliche e delle infrastrutture interferenti) e dell'area inondabile per l'evento con tempo di ritorno 500 anni (limite delle aree in cui le quote naturali del terreno sono superiori ai livelli idrici di piena).

Le fasce utilizzate per la perimetrazione della pericolosità idraulica sono quelle relative ai tempi di ritorno previste dalla normativa di riferimento (A50, B100, B200 e C).

L'individuazione e classificazione degli elementi a rischio idraulico è stata effettuata tramite la fotointerpretazione degli ultimi rilievi disponibili (ortofotocarta post alluvione del volo del 2/11/2008), la documentazione fotografica e video raccolta ed i sopralluoghi effettuati durante le attività di analisi dello studio dell'assetto del riu San Girolamo a seguito dell'alluvione del 2008.

La delimitazione delle aree a rischio idraulico è stata effettuata in ambiente Gis tramite la sovrapposizione dei layer della pericolosità idraulica e degli elementi a rischio, sulla base dei parametri numerici definiti dalla metodologia applicata nel PAI della Regione Sardegna, secondo la seguente tabella.

Tabella VI. Matrice di classificazione delle aree a rischio idraulico.

Classe	Intensità	valore	Elementi a rischio	Pericolosità / Tr (anni)			
				$H_{i1}$	$H_{i2}$	$H_{i3}$	$H_{i4}$
				TR 500	TR 200	TR 100	TR 50
$R_{i1}$	Moderato	$\leq 0.002$	$E_1$	$R_{i1}$	$R_{i1}$	$R_{i2}$	$R_{i2}$
$R_{i2}$	Medio	$\leq 0.005$	$E_2$	$R_{i1}$	$R_{i2}$	$R_{i2}$	$R_{i3}$
$R_{i3}$	Elevato	$\leq 0.01$	$E_3$	$R_{i1}$	$R_{i2}$	$R_{i3}$	$R_{i4}$
$R_{i4}$	Molto elevato	$\leq 0.02$	$E_4$	$R_{i1}$	$R_{i2}$	$R_{i3}$	$R_{i4}$

## 8 INTERVENTI STRUTTURALI DI SISTEMAZIONE IDRAULICA NEL TRATTO A MONTE DELLA DIGA

Le linee di intervento per la sistemazione del tratto montano sono impostati sostanzialmente sui seguenti criteri:

- il mantenimento delle dinamiche naturali dell'alveo, dando spazio ai fenomeni correlati alla divagazione e ai meccanismi di erosione-trasporto-deposito del materiale solido;
- la rimozione dei fattori di interferenza costituiti soprattutto dalle infrastrutture viarie.

Sono previsti i seguenti principali interventi strutturali:

- ampliamento dell'attraversamento comunale per la loc. San Girolamo mediante realizzazione di nuove campate in sostituzione del rilevato destro di accesso (arretramento della spalla destra);
- presso la struttura del centro ricerche Hydrocontrol, realizzazione di una difesa in massi di cava intasati sviluppata lungo il perimetro e finalizzata a proteggere da fenomeni erosivi l'insediamento che, tuttavia, permane in area inondabile per la portata di progetto (deve pertanto, nel caso venga ripreso un utilizzo dello stesso, essere soggetto a procedure di allertamento in corso di piena);
- realizzazione di due nuovi attraversamenti, in sostituzione degli esistenti, lungo la strada comunale che da Poggio dei Pini conduce a Capoterra, il primo subito a valle della struttura Hydrocontrol e il secondo a monte del lago;
- realizzazione di interventi di difesa in prossimità della diga in terra di Poggio dei Pini;
- interventi di sistemazione e regimazione dell'alveo dei corsi d'acqua secondari nell'area urbanizzata di Poggio dei Pini.

In riferimento ai punti sopra indicati si forniscono nel seguito alcuni maggiori dettagli.

### Ampliamento dell'attraversamento comunale per la loc. San Girolamo



Figura 14. Interventi di messa in sicurezza dell'attraversamento comunale per loc. San Girolamo: planimetria di inquadramento

L'intervento prevede l'ampliamento della struttura esistente lato sponda destra mediante la sostituzione del rilevato stradale esistente con due nuove campate: l'obiettivo è di limitare l'interferenza dell'attraversamento con la sezione di deflusso di piena del rio.

**LAVORI IN APPALTO: circa 1,2 milioni di Euro**  
**SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE: circa 0,5 milioni di Euro**

**IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO: circa 5,4 milioni di Euro**

### **Nuovo attraversamento presso Hydrocontrol a quattro campate**

Il nuovo attraversamento è dimensionato in modo da essere compatibile con l'accentuata tendenza alla divagazione morfologica dell'alveo inciso che caratterizza il tratto di corso d'acqua, con dinamiche correlate al trasporto solido coinvolto.

Il ponte ha luce complessiva di 80 m, con campata centrale di 40 m.

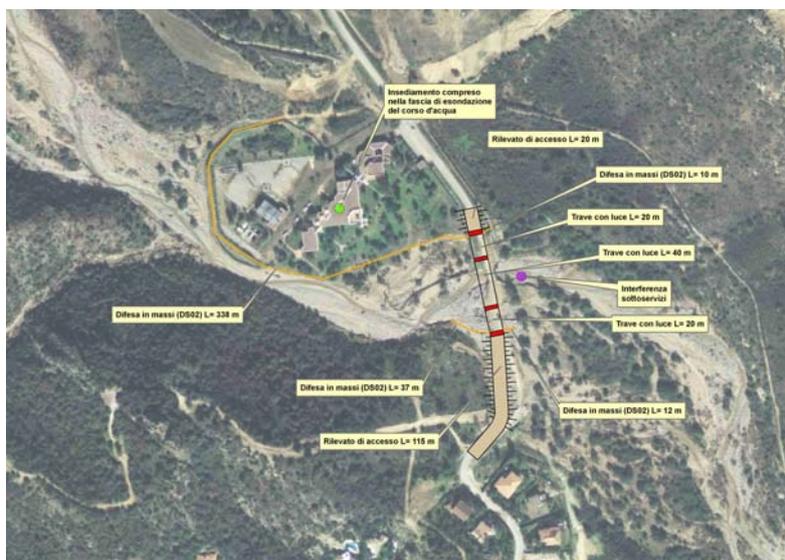


Figura 15. Interventi di messa in sicurezza dell'attraversamento presso Hydrocontrol: planimetria di inquadramento

**LAVORI IN APPALTO: circa 3,8 milioni di Euro**  
**SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE: circa 1,6 milioni di Euro**

**IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO: circa 5,4 milioni di Euro**

## Nuovo attraversamento presso il lago Poggio dei Pini

Il tracciato planimetrico è stato posizionato lungo il sedime esistente; il ponte è costituito da tre campate di 40 m, in modo da avere la compatibilità con la dinamica morfologica dell'alveo, che nel tratto tende sensibilmente a depositare i sedimenti trasportati da monte e a divagare all'interno di essi. l'opera è raccordata con difese di sponda a monte e a valle impostate con sensibili arretramenti in modo da consentire una vasta area di intercettazione e sedimentazione del trasporto solido.



Figura 16. Interventi di messa in sicurezza del tratto d'asta a monte del lago di Poggio dei Pini: planimetria di inquadramento

**LAVORI IN APPALTO: circa 6,8 milioni di Euro**

**SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE: circa 3,3 milioni di Euro**

**IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO: circa 10,1 milioni di Euro**

## Canalizzazione delle acque del riu San Girolamo nello scolmatore della diga di Poggio dei Pini

Lo studio non comprende le valutazioni relative al manufatto in terra che costituisce il lago di Poggio dei Pini e pertanto la proposta di seguito presentata deve essere considerata come contributo parziale, prescindendo da valutazioni relative alla diga e agli organi di scarico della stessa. L'ipotesi di seguito esposta deve essere pertanto strettamente coordinata e confrontata con le linee di intervento che saranno definite per la diga stessa.

La soluzione ipotizzata disconnette il lago, e pertanto il corpo diga, dal deflusso in piena lungo il rio, mediante la realizzazione di un by-pass in sinistra adeguato a smaltire gli afflussi; viene mantenuto tuttavia il collegamento idraulico in condizioni ordinarie con il lago mediante un'opera di derivazione. La soluzione è perseguibile ipotizzando la riprofilatura e il rizezionamento dello scolmatore esistente. **Il dimensionamento di tale intervento è stato condotto rispetto all'evento dell'ottobre 2008.** La soluzione proposta trasforma l'attuale funzionamento della diga (il cui invaso è ininfluente alla laminazione di piena) da sistema in linea a sistema in derivazione, soluzione, che se approvata, permetterebbe una migliore gestione dell'opera, soprattutto rispetto ai problemi di sicurezza e di interazione con il trasporto solido del corso d'acqua che oggi è totalmente intercettato dal bacino artificiale.

## Traversa in muratura a Poggio dei Pini

Il manufatto, danneggiato a seguito della piena, non risulta avere alcuna particolare utilizzazione; per altro l'innalzamento del livello idrico in caso di piena provocato dallo stesso rappresenta un effetto negativo.

A fronte della prima soluzione prospettata, che prevedeva la demolizione della traversa, appare anche accettabile l'ipotesi intermedia di eliminare il rialzo in calcestruzzo realizzato successivamente alla prima costruzione dell'opera e ripristinare la quota di stramazzo al valore originario della struttura in pietrame (abbassamento di circa 1.0 m). In tal modo si garantiscono livelli idrici accettabili anche in concomitanza con gli afflussi dell'ordine di quelli dell'evento dell'ottobre 2008, salvaguardando nel contempo le valenze paesaggistiche sottolineate nelle osservazioni alla prima versione dello studio.



Figura 17. Interventi di messa in sicurezza del tratto d'asta presso il lago di Poggio dei Pini: planimetria di inquadramento

**LAVORI IN APPALTO (canalizzazione e traversa): circa 4,2 milioni di Euro**  
**SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE: circa 1,7 milioni di Euro**

**IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO: circa 5,9 milioni di Euro**

## Messa in sicurezza dei corsi d'acqua secondari nell'area urbanizzata di Poggio dei Pini

E' opportuno evidenziare che in generale tutti i corsi d'acqua tributari del bacino montano, a causa della forte pendenza dei versanti, hanno generato una ingente movimentazione di inerti affluiti nel corso d'acqua principale.

E' evidente come l'interferenza delle infrastrutture sottodimensionate del ponte per la chiesa di San Girolamo, del centro Hydrocontrol e dei due ponti della strada comunale per Capoterra abbia condizionato fortemente l'azione erosiva e deposizionale del rio durante l'evento di piena; i danni a tali strutture sono pertanto significativamente correlati a tali fenomeni di trasporto.

In corrispondenza dell'area di Poggio dei Pini alcuni corsi d'acqua secondari, drenanti i versanti sud-occidentali, si caratterizzano per elevate pendenze, significativo trasporto solido ed elevata pressione antropica.

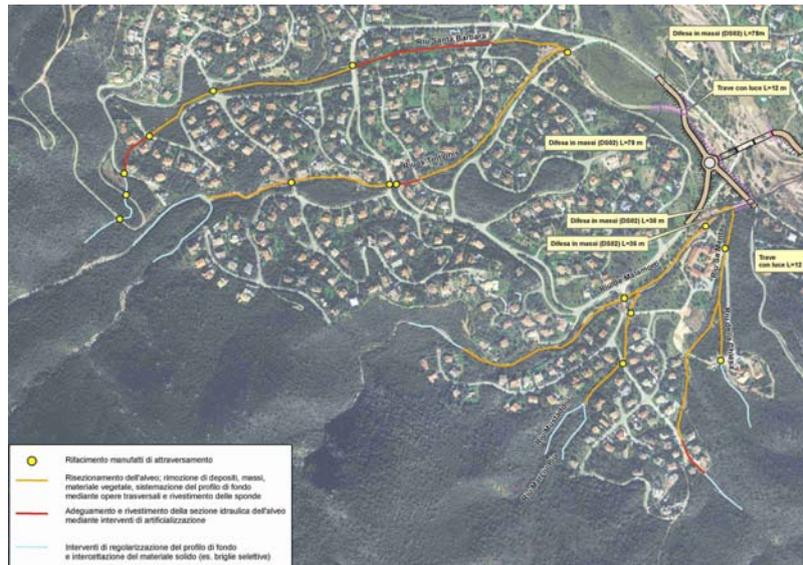


Figura 18. Interventi di messa in sicurezza del reticolo idrografico minore presso Poggio dei Pini: planimetria di inquadramento

Le criticità che si evidenziano in questi tratti possono essere così sinteticamente riassunte:

- l'apporto di materiale solido da monte, anche di notevoli dimensioni, riduce la sezione di deflusso in ambito urbano favorendo esondazioni in tutto il tratto;
- le opere di attraversamento esistenti sono inadeguate sia in termini funzionali sia in termini di dimensionamento rispetto alle portate attese;
- l'alveo attuale dei corsi d'acqua è stato oggetto in diversi tratti di interventi che ne hanno limitato l'efficienza idraulica, esponendo inoltre infrastrutture e insediamenti ad allagamenti e a fenomeni erosivi anche molto intensi.

Le linee di intervento che vengono proposte per la sistemazione idraulica di questi corpi idrici sono:

- tratti a monte delle aree urbanizzate: interventi di regolarizzazione del profilo di fondo e intercettazione del materiale solido (es. briglie selettive);
- tratti in corrispondenza delle aree urbanizzate:
  - rifacimento manufatti di attraversamento inadeguati;
  - risezionamento dell'alveo: rimozione di depositi, materiale vegetale, sistemazione del profilo di fondo mediante opere trasversali e rivestimento delle sponde;
  - adeguamento e rivestimento della sezione dell'alveo nei tratti in prossimità degli insediamenti.

**LAVORI IN APPALTO: circa 6,3 milioni di Euro**

**SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE: circa 3,3 milioni di Euro**

**IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO: circa 9,6 milioni di Euro**

### 8.1 Effetti di una possibile diga o traversa di laminazione alla sezione Hydrocontrol

La possibilità di inserire una diga o traversa di laminazione a monte della sezione idrografica in corrispondenza del centro *Hydrocontrol*, proposta nelle osservazioni del Comune di Capoterra, è stata verificata attraverso valutazioni idrologiche e idrauliche.

La soluzione si è dimostrata essere non utile sia per la sua mancanza di influenza significativa sul processo di laminazione ai fini della difesa idraulica di valle sia per i vincoli che tale opera comporterebbe. Ulteriori controindicazioni si hanno anche dal quadro che emerge dall'analisi del trasporto solido che fa ipotizzare ai fini dell'efficienza, la necessità di reiterate azioni manutentive di sghiaimento anche presupponendo una radicale bonifica iniziale del fondo dell'invaso.

L'ipotesi verificata, che tende a realizzare il massimo invaso possibile compatibilmente con la morfologia del fondovalle, prevede la realizzazione di un'opera di sbarramento di non oltre 10 m di altezza, a causa della particolare conformazione morfologica, che permette di ottenere un volume massimo di invaso di circa 130.000 m<sup>3</sup>.

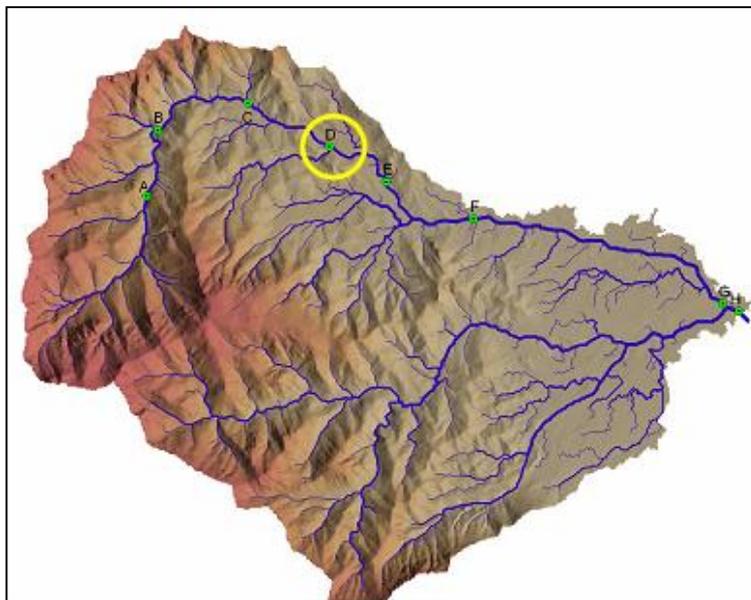


Figura 19. Sezione della ipotetica diga di laminazione ( $S = 6.8 \text{ km}^2$ )

Di seguito si mostra come tale volume non è sufficiente per ottenere una portata laminata ammissibile con l'attuale capacità di smaltimento della sezione di valle. Infatti già una prima valutazione alla sez. G di valle, con il metodo di Marone, evidenzia come il volume disponibile ( $W_{diga} = 130.000 \text{ m}^3$ ) sia insufficiente rispetto a quelli richiesti per i diversi idrogrammi di progetto.

Tabella VII. Volumi necessari alla laminazione per idrogrammi a diversi tempi di ritorno assunta una portata ammissibile a valle  $Q_{valle} = 95 \text{ m}^3/\text{s}$  (**portate al colmo alla sezione G nella configurazione attuale**)

TR 50	$Q_c = 150 \text{ mc/s}$	$W_p = 922'134 \text{ mc}$	→	$W_{max} = 338'116 \text{ mc}$
TR 100	$Q_c = 208 \text{ mc/s}$	$W_p = 1'145'070 \text{ mc}$	→	$W_{max} = 622'081 \text{ mc}$
TR 200	$Q_c = 278 \text{ mc/s}$	$W_p = 1'480'335 \text{ mc}$	→	$W_{max} = 974'465 \text{ mc}$
TR 500	$Q_c = 380 \text{ mc/s}$	$W_p = 1'846'482 \text{ mc}$	→	$W_{max} = 1'384'861 \text{ mc}$

dove  $W_p$  e  $W_{max}$  sono rispettivamente i Volumi dell'idrogramma di progetto e quello di invaso per assicurare un valore della portata laminata a valle (sezione G)  $Q_{valle} = 95 \text{ m}^3/\text{sec}$  compatibile con l'attuale geometria dell'alveo.

Tale analisi e' stata quindi anche suffragata dall'applicazione del modello idrologico FEST anche al fine di valutare come tale volume si sarebbe comportato nell'evento di piena dell'ottobre 2008 (Figura seguente) e quindi come influenzi la stima delle portate di progetto.

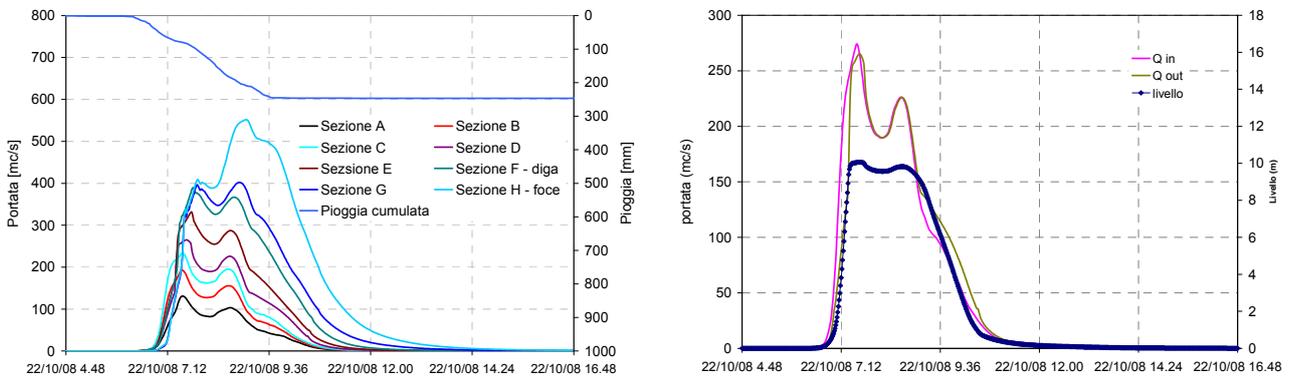


Figura 20. Evento alluvionale: effetto dell'ipotetico invaso di laminazione alla sezione Hydrocontrol (sez D) ed a quelle di valle (sin). Confronto tra portate in ingresso all'invaso ed in uscita e rispettivi livelli nel serbatoio (dx)

Di seguito è riportato il minimo effetto di laminazione alla Sezione E, immediatamente a valle della ipotetica diga sull'idrogramma di progetto.

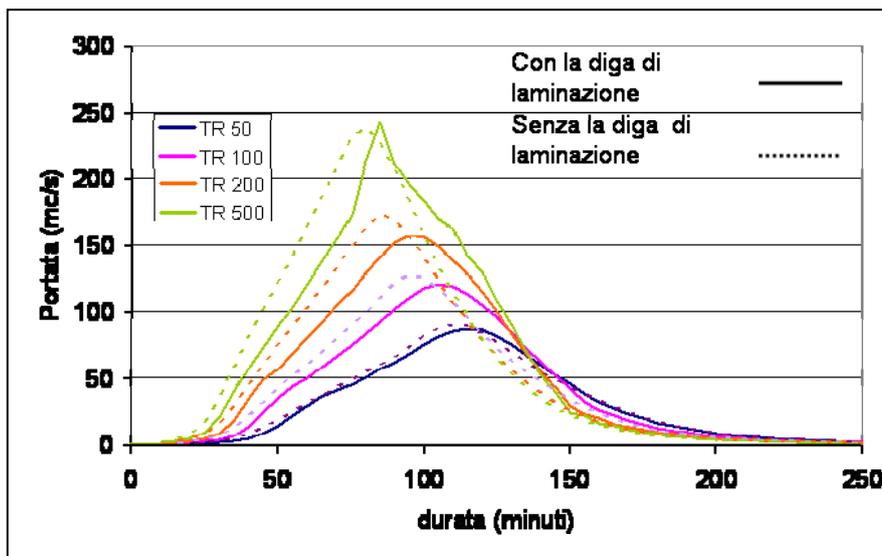


Figura 21. Effetto del serbatoio di laminazione alla sezione immediatamente a valle del centro Hydrocontrol (Sez. E area 8.5 km<sup>2</sup>)

## 9 OPZIONI DI INTERVENTO DEL TRATTO URBANIZZATO DI VALLE

Sono state individuate tre soluzioni di intervento per la sistemazione del corso d'acqua che differiscono sostanzialmente per i criteri di impostazione di base:

- la prima, definita in sede di fase preliminare, è caratterizzata dai seguenti parametri progettuali:
  - alveo inciso prossimo alle dimensioni di mantenimento “naturali”, con modeste rettifiche e ricalibrature e mantenimento del tratto terminale rivestito in calcestruzzo;
  - alveo di piena delimitato con continuità da arginature di contenimento, poste tendenzialmente al limite dell'area inondabile o a ridosso degli insediamenti, per massimizzare la sezione di deflusso;
- la seconda, con caratteristiche sostanzialmente diverse dalla precedente, è caratterizzata da un alveo inciso radicalmente riprofilato in dimensioni e tracciato, con lo scopo di contenere all'interno delle sponde la piena di progetto; il profilo idrico di piena permane pertanto ovunque al di sotto del piano campagna, con l'eccezione di modesti tratti in cui sono necessari modesti arginelli di compensazione delle irregolarità morfologiche del terreno;
- la terza è stata ricercata seguendo il criterio di trovare una ottimizzazione complessiva tra le esigenze di funzionalità idraulica e quelle di inserimento territoriale, con specifica attenzione agli elementi urbanistici e infrastrutturali. La soluzione funzionale è quindi affidata ad un alveo inciso artificiale in grado di fare defluire una quota considerevole della portata di progetto e con alveo di piena comunque più ampio, seppur con argini di altezza ridotta.

La ricerca di ottimizzazione ha tenuto conto delle osservazioni e degli indirizzi formulati dagli Enti competenti nelle diverse sedi, con riferimento particolare all'impatto delle varie opzioni sul quartiere “San Girolamo”, la cui localizzazione è molto prossima all'alveo.

Tutte e tre le soluzioni progettuali sviluppate sono dimensionate rispetto alla piena con tempo di ritorno di 200 anni (nuova portata di progetto, Tabella II), con il franco di sicurezza (fissato in 1 m) per il profilo delle opere di difesa e delle infrastrutture e verificando tuttavia che all'interno del franco sia contenuto anche l'evento catastrofico dell'ottobre 2008.

Il contributo del trasporto solido è stato tenuto in considerazione applicando nei modelli di calcolo i valori di scabrezza tarati sull'evento registrato (tracce di piena, altezze d'acqua puntuali, ortofoto etc); nel caso di nuova canalizzazione, la scabrezza associata all'opera è stata cautelativamente aumentata per simulare tale effetto.

Il profilo di fondo dell'intero tratto sistemato, per le tre soluzioni, ha pendenza costante per tutto il tracciato, in modo da non configurare punti di tendenziale deposito del trasporto solido, con il rischio che in corso di piena venga ridotta la capacità di deflusso dell'alveo; allo scopo è essenziale la funzione del tratto a monte dell'inizio della sistemazione, le cui caratteristiche morfologiche sono idonee a intercettare il trasporto solido proveniente da monte.

### **9.1 Soluzione 1 (proposta nella fase preliminare): difesa passiva dei centri abitati mediante arginatura continua – opere di contenimento dell'alveo nella attuale morfologia (modeste ricalibrature nei tratti critici)**

La soluzione proposta in fase preliminare, inizialmente analizzata sulla base di un idrogramma “provvisorio” e cautelativamente dimensionata su una proiezione delle portate in aggiornamento, è stata ora verificata con le nuove portate di riferimento progettuale con tempo di ritorno TR200: assetto progettuale e caratteristiche geometriche delle opere sono confermate.

Le linee generali dell'assetto di questa prima proposta di progetto sono:

1. contenimento dei livelli di piena che avviene attraverso un sistema arginale continuo lungo entrambe le sponde, posto in stretto affiancamento alle aree urbanizzate (l'altezza media degli argini sul piano campagna è di circa 2.0 m, con valori massimi di 2.5 m);



PRO	CONTRO
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Minimizzazione delle delocalizzazioni</li> <li>▪ Mantenimento dell'attuale assetto dell'alveo di magra (alveo prossimo alle condizioni di equilibrio; minima manutenzione)</li> <li>▪ Maggiore stabilità morfologica dell'alveo di magra (minore tendenza alla sedimentazione per le portate basse)</li> <li>▪ Consolidamento del tratto canalizzato, senza demolizione</li> <li>▪ Vincolo di ampie aree soggette ad esondazione (minori velocità di deflusso)</li> <li>▪ Modesta movimentazione inerti a fini manutentivi</li> <li>▪ Mantenimento dell'attuale rete stradale</li>   <li>▪ Salvaguardia delle componenti naturali e paesaggistiche</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevata altezza del corpo arginale (<math>h_{\text{medio}} &gt; 2\text{m}</math>)</li>   <li>▪ Attraversamento comunale presso la scuola declassato</li>   <li>▪ Interferenze dei sottoservizi</li> <li>▪ Il nuovo attraversamento SS195 impone un rialzo significativo della livelletta stradale (<math>h_{\text{rialzo}} = 3.3\text{ m}</math>)</li> <li>▪ Oneri manutentivi sugli argini</li> <li>▪ Elevata estensione delle aree golenali da assoggettare a vincolo e/o espropriare</li>   <li>▪ Frequente manutenzione delle difese</li> </ul>

A seguire si espone il quadro economico della soluzione proposta:

**QUADRO ECONOMICO INTERVENTI FOCE RIU SAN GIROLAMO - SOLUZIONE 1**

<b>A) LAVORI IN APPALTO:</b>			
A1	Interventi di adeguamento sul ponte di via Europa	€	500 000.00
A2	Realizzazione opere per stabilizzazione plano-altimetrica alveo (voce comprensiva di: opere, scavo, demolizione, movimentazione inerti, scarica etc)	€	906 500.00
A3	Difese di sponda	€	5 379 000.00
A4	Rifacimento attraversamento SS195 Masone Ollastu	€	900 000.00
A5	Rifacimento attraversamento SS195 rio San Girolamo	€	7 200 000.00
A6	Arginature e muri arginali in sponda sinistra	€	2 455 800.00
A7	Arginature e muri arginali in sponda destra	€	1 839 000.00
	<b>TOTALE LAVORI IN APPALTO:</b>	€	19 180 300.00
			<u>€ 19 180 300.00</u>
<b>B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE:</b>			
B1	Rilievi accertamenti e indagini (2% di A)	€	383 606.00
B2	Imprevisti (5% di A)	€	959 015.00
B3	Interferenze reti tecnologiche (in arrotondamento)	€	1 500 000.00
B4	Delocalizzazioni-Monitoraggio-Sistemi di allarme (5% di A)	€	959 015.00
B5	Acquisizione aree o immobili ed indennità varie (Espropri, in arrotondamento)	€	1 500 000.00
B6	Accantonamento (1% di A)	€	191 803.00
B7	Spese tecniche per progettazione, Coordinamento Sicurezza in fase di progettazione e in fase di Esecuzione, Direzione Lavori, Assistenza e contabilità Lavori, pratica VV.FF., ecc. (7% di A)	€	1 342 621.00
B8	IVA ed altre eventuali imposte (20% di A+B2+B7)	€	4 296 387.20
	<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE:</b>		<u>€ 11 132 447.20</u>
	<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO:</b>	€	<b>30 312 747.20</b>

## 9.2 Soluzione 2: canalizzazione dell'alveo (inalveazione della sezione di piena)

Le linee generali dell'assetto di progetto proposto sono:

1. contenimento dei livelli di piena all'interno di un'ampia sezione artificiale dell'alveo a forma composita: non sono previste area di allagamento golenale;
2. nuovo tracciato planimetrico: l'asse del canale è ridisegnato per limitare gli espropri e le delocalizzazioni;
3. alla delocalizzazione dell'edificio scolastico e del punto ristorazione si aggiunge quella di alcuni edifici privati;
4. risezionamento dell'intero tratto dell'alveo con forma trasversale trapezia, rialzata ai lati, dove necessario, con arginelli: la sezione incisa ha larghezza in sommità non inferiore ai 50 m e profondità media rispetto al piano campagna di circa 3 m;
5. gli arginelli in terra prolungano le sponde della sezione incisa, rialzando la quota sommitale sino al raggiungimento del franco idraulico rispetto al profilo della **piena di riferimento TR200 anni**: l'altezza media degli arginelli sul piano campagna è inferiore a 100 cm;
6. le sponde del canale sono rivestite con materassi in pietrame sino alla sommità degli arginelli;



Figura 23. Soluzione P2: planimetria di inquadramento

7. per favorire la manutenzione in alveo (sfalcio della vegetazione, rimozione depositi inerti) non si prevede il rivestimento del fondo canale, tuttavia il mantenimento e il vincolo della sezione trasversale è garantito da soglie in c.a. a passo costante;
8. nuovo attraversamento stradale della SS195 sul rio San Girolamo, di lunghezza pari a 100 m e rialzo della quota estradosso rispetto all'attuale di circa 2.2 m (ipotesi altezza impalcato pari a 1.5m), con conseguente adeguamento della livelletta stradale;
9. in corrispondenza del nuovo ponte le soglie in c.a. vincoleranno l'opera sia a monte che a valle;

10. in foce, a chiusura del tratto canalizzato si prevede la realizzazione di una soglia con taglione profondo antierosione e antisifonamento;
11. il profilo di fondo, definito dalla savanella centrale di larghezza 12 m e altezza 75 cm, è progettato senza salti di fondo per garantire una pendenza costante a tutto il tratto dello 0,7%;
12. adeguamento della rete dei sottoservizi, in particolare per garantire la riprofilatura del fondo alveo in corrispondenza delle soglie esistenti;
13. nuovo attraversamento stradale della SS195 sul rio Masone Ollastu con conseguente adeguamento della livelletta stradale;
14. adeguamento del tratto focivo del rio Masone.

In conclusione, la proposta esposta evidenzia i seguenti fattori di forza e di debolezza:

PRO	CONTRO
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moderato numero di edifici delocalizzati (&lt;5)</li> <li>▪ Modesta altezza ed estensione del corpo arginale (<math>h_{medio} &lt; 1</math> m)</li> <li>▪ Demolizione dell'attraversamento comunale</li> <li>▪ Il nuovo attraversamento SS195 impone un rialzo moderato della livelletta stradale (<math>h_{rialzo} = 2.2</math> m)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevata artificializzazione dell'alveo</li> <li>▪ Tendenza alla sedimentazione nell'alveo e alla crescita di vegetazione (maggiore esigenza di manutenzione periodica)</li> <li>▪ Nuova viabilità secondaria</li> <li>▪ Demolizione del tratto canalizzato esistente</li> <li>▪ La soluzione non vincola l'edificabilità di ampie aree prospicienti il canale</li> <li>▪ Interferenze dei sottoservizi di elevato impegno</li> <li>▪ Elevata movimentazione inerti</li> <li>▪ Condizioni di basse velocità di deflusso in condizioni ordinarie, tendenza alla sedimentazione, effetti sulla qualità dell'acqua</li> <li>▪ Frequente manutenzione di pulizia (sfalcio e movimentazione inerti)</li> </ul>

A seguire si espone il quadro economico della soluzione proposta:

<b>QUADRO ECONOMICO INTERVENTI FOCE RIU SAN GIROLAMO - SOLUZIONE 2</b>			
<b>A)</b>	<b>LAVORI IN APPALTO:</b>		
	A1	Risezionamento dell'alveo con rivestimento sponde in materassi "tipo" reno (voce comprensiva di: opere, scavo, demolizione, movimentazione inerti, scarica etc)	€ 8 800 000.00
	A2	Realizzazione soglie di fondo in c.a. per stabilizzazione plano-altimetrica alveo	€ 1 159 000.00
	A3	Difese di sponda in massi di cava intasati: inizio risezionamento e foce	€ 2 400 000.00
	A4	Rifacimento attraversamento SS195 Masone Ollastu	€ 1 200 000.00
	A5	Rifacimento attraversamento SS195 rio San Girolamo	€ 4 500 000.00
		<b>TOTALE LAVORI IN APPALTO:</b>	<b>€ 18 059 000.00</b>
<b>B)</b>	<b>SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE:</b>		
	B1	Rilievi accertamenti e indagini (2% di A)	€ 361 180.00
	B2	Imprevisti (5% di A)	€ 902 950.00
	B3	Interferenze reti tecnologiche (in arrotondamento)	€ 2 500 000.00
	B4	Delocalizzazioni-Monitoraggio-Sistemi di allarme (5% di A)	€ 902 950.00
	B5	Acquisizione aree o immobili ed indennità varie (Espropri, in arrotondamento)	€ 1 500 000.00
	B6	Accantonamento (1% di A)	€ 180 590.00
	B7	Spese tecniche per progettazione, Coordinamento Sicurezza in fase di progettazione e in fase di Esecuzione, Direzione Lavori, Assistenza e contabilità Lavori, pratica VV.FF., ecc. (7% di A)	€ 1 264 130.00
	B8	IVA ed altre eventuali imposte (20% di A+B2+B7)	€ 4 045 216.00
		<b>TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE:</b>	<b>€ 11 657 016.00</b>
		<b>IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO:</b>	<b>€ 29 716 016.00</b>

### 9.3 Soluzione 3: alveo composito con canalizzazione centrale, aree golenali e arginature continue (inalveazione mista)

La proposta è stata sviluppata secondo due distinte configurazioni di tracciato planimetrico: una prima configurazione (3-A) di tracciato prevalentemente rettificato e una seconda (3-B) con tracciato a maggiore grado di sinuosità.

Entrambe le soluzioni garantiscono le seguenti linee generali di assetto:

1. il contenimento dei livelli di piena avviene all'interno di una sezione composita: nuovo canale centrale e area golenale laterale delimitata da argini continui;
2. nuovo tracciato planimetrico: l'asse del canale è ridisegnato lungo l'intero tratto per garantire una ampia fascia golenale anche in prossimità dei tratti urbanizzati in sostituzione di argini alti;
3. il contenimento dei livelli di piena ordinaria è garantito all'interno di un nuovo canale di forma trasversale trapezia: la sezione incisa ha larghezza in sommità non inferiore ai 30 m e profondità media rispetto al piano campagna di circa 2.5-3 m;
4. il contenimento dei livelli della piena di riferimento progettuale sono ottenuti attraverso un **sistema arginale continuo** in affiancamento alle aree urbanizzate ma di limitata altezza (l'altezza media degli argini sul piano campagna è di circa 1.5 m);
5. le sponde del canale sono rivestite con materassi in pietrame sino al ciglio di sommità;
6. in ingresso al tratto urbano le sponde del canale sono realizzate in massi di cava a contrastare l'azione erosiva laterale della corrente e mitigare eventuali tendenze divagatorie;
7. per favorire la manutenzione in alveo (sfalcio della vegetazione, rimozione depositi inerti) non si prevede il rivestimento del fondo canale, tuttavia il mantenimento e il vincolo della sezione trasversale è garantito da soglie in c.a. a passo costante;
8. nuovo attraversamento stradale della SS195 sul rio San Girolamo, di lunghezza pari a 140 m e rialzo della quota estradosso rispetto all'attuale di circa 2.5 m (ipotesi altezza impalcato pari a 1.5m), con conseguente adeguamento della livelletta stradale;
9. in corrispondenza del nuovo ponte le soglie in c.a. vincoleranno l'opera sia a monte che a valle;
10. in foce, a chiusura del tratto canalizzato si prevede la realizzazione di una soglia con taglione profondo antierosione e antisifonamento;
11. nel tratto di confluenza si prevede il rivestimento delle sponde di entrambi i canali con massi di cava;
12. il profilo di fondo, definito dalla savanella centrale di larghezza 12 m e altezza 75 cm, è progettato senza salti di fondo per garantire una pendenza costante a tutto il tratto dello 0,7%;
13. adeguamento della rete dei sottoservizi, in particolare per garantire la riprofilatura del fondo alveo in corrispondenza delle soglie esistenti;
14. nuovo attraversamento stradale della SS195 sul rio Masone Ollastu con conseguente adeguamento della livelletta stradale;
15. adeguamento del tratto focivo del rio Masone.

A tergo della citate caratteristiche comuni, si evidenziano i seguenti elementi distintivi:

1. nella configurazione 3-B, in virtù del tracciato idraulicamente più sinuoso, in ingresso al tratto urbano si prevede un maggior impegno di opere di protezione idraulica (difese in massi) rispetto alla configurazione 3-A: l'intervento è volto a contrastare l'azione erosiva laterale della corrente in particolar modo sulle sponde in battuta;

2. mentre nella configurazione 3-A alla delocalizzazione dell'edificio scolastico e del punto ristorazione si aggiunge quella di n.°15 edifici privati, nella configurazione 3-B le delocalizzazioni degli edifici privati si riducono a n.°3, riducendo significativamente l'impatto socio-economico dell'intervento.



Figura 24. Soluzione P3-A: planimetria di inquadramento



Figura 25. Soluzione P3-B: planimetria di inquadramento

In conclusione, la proposta esposta evidenzia i seguenti fattori di forza e di debolezza comuni ad entrambi le configurazioni (nell'ultima riga, in corsivo, il confronto delle due configurazioni in termini di delocalizzazioni):

PRO	CONTRO
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Moderata artificializzazione del corso d'acqua</li> <li>▪ Moderata altezza del corpo arginale (<math>h_{\text{medio}} &lt; 1.5 \text{ m}</math>)</li> <li>▪ Demolizione dell'attraversamento comunale</li> <li>▪ Il nuovo attraversamento SS195 impone un rialzo moderato della livelletta stradale (<math>h_{\text{rialzo}} = 2.5 \text{ m}</math>)</li> <li>▪ Moderata manutenzione</li> <li>▪ <i>3-B: Moderato numero di edifici delocalizzati (&lt;5)</i></li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Nuova viabilità secondaria</li> <li>▪ Demolizione del tratto canalizzato esistente</li> <li>▪ La soluzione non vincola l'edificabilità di ampie aree prospicienti il sistema arginale</li> <li>▪ Interferenze dei sottoservizi</li> <li>▪ Elevata movimentazione inerti</li> <li>▪ <i>3-A: elevato numero di edifici delocalizzati (&gt;15)</i></li> </ul>

In virtù del peso socio-economico dell'intervento, si sceglie di esporre il quadro economico della soluzione proposta P3-B:

<b>QUADRO ECONOMICO INTERVENTI FOCE RIU SAN GIROLAMO - SOLUZIONE 3-B</b>
--

**A) LAVORI IN APPALTO:**

A1	Risezionamento dell'alveo con rivestimento sponde in materassi "tipo" reno (voce comprensiva di: opere, scavo, demolizione, movimentazione inerti, discarica etc)	€	6 600 000
A2	Realizzazione soglie di fondo in c.a. per stabilizzazione plano-altimetrica	€	887 000
A3	Difese di sponda in massi di cava intasati: inizio risezionamento e foce	€	4 300 000
A4	Rifacimento attraversamento SS195 Masone Ollastu	€	1 200 000
A5	Rifacimento attraversamento SS195 rio San Girolamo	€	4 500 000
A6	Arginatura a difesa insediamenti	€	1 804 000
TOTALE LAVORI IN APPALTO:			€ 19 291 000

**B) SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE:**

B1	Rilievi accertamenti e indagini (2% di A)	€	385 820
B2	Imprevisti (5% di A)	€	964 550
B3	Interferenze reti tecnologiche (in arrotondamento)	€	2 500 000
B4	Delocalizzazioni-Monitoraggio-Sistemi di allarme (5% di A)	€	964 550
B5	Acquisizione aree o immobili ed indennità varie (Espropri, in	€	1 700 000
B6	Accantonamento (1% di A)	€	192 910
B7	Spese tecniche per progettazione, Coordinamento Sicurezza in fase di progettazione e in fase di Esecuzione, Direzione Lavori, Assistenza e contabilità Lavori, pratica VV.FF., ecc. (7% di A)	€	1 350 370
B8	IVA ed altre eventuali imposte (20% di A+B2+B7)	€	4 321 184
TOTALE SOMME A DISPOSIZIONE:			€ 12 379 384

IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO:	€	31 670 384
-----------------------------------	---	------------

#### **9.4 Soluzione 4: alveo composito con canalizzazione centrale di ampiezza 50 m, aree golenali e arginature continue (inalveazione mista)**

Su richiesta degli uffici preposti è stata inserita un'ultima soluzione, di carattere cautelativo, che prevede una canalizzazione centrale di larghezza 50 m supportata da un sistema arginale golenale.

La soluzione trae spunto dall'unione della soluzione 2 con la soluzione 3-B: il tracciato planimetrico dell'alveo ripercorre la soluzione 3-B, così come la posizione delle arginature e delle difese spondali, mentre la geometria del canale inciso corrisponde a quanto indicato nella soluzione 2. Entrambe le soluzioni di riferimento per la definizione della presente sono verificate sia per l'evento TR200 che per l'evento 2008; la nuova soluzione è pertanto idraulicamente verificata.



Figura 26. Soluzione P4: planimetria di inquadramento

## 9.5 Conclusioni: scelta della soluzione ottimale

Le prime due soluzioni presentate (soluzione 1 e 2) rappresentano sotto un certo aspetto i due estremi delle possibili opzioni di sistemazione dell'alveo, tenuto conto delle caratteristiche geomorfologiche, idrologiche e idrauliche dello stesso:

- la 1 costituisce quella più vicina all'assetto naturale, con alveo inciso di dimensioni prossime a quelle di "equilibrio" idrodinamico, stabilizzato nei punti in cui è vincolato, con contenimento dei livelli nelle aree golenali demandato a strutture arginali;
- la 2 è di tipo completamente artificiale, secondo lo schema di un canale adeguato a contenere all'interno delle sponde le massime piene di progetto, completamente stabilizzato da opere di sponda.

Naturalmente entrambe le soluzioni sono funzionali dal punto di vista idraulico; va rimarcato che l'efficienza idraulica della soluzione 2 è molto più dipendente rispetto alla 1 dalla manutenzione ordinaria del canale soprattutto rispetto ai fenomeni di interrimento progressivo e di crescita della vegetazione (nelle condizioni ordinarie). Viene infatti a mancare quasi totalmente in questo caso la funzione di "mantenimento" dell'alveo inciso che si esercita, nei casi in cui l'alveo inciso ha dimensioni geometriche prossime a quelle naturali, in occasione dei deflussi ordinari e delle piene di modesta entità (tempo di ritorno da 1 a 10 anni). La funzionalità idraulica della soluzione 2 è dunque strettamente dipendente dalla regolarità (annuale) della manutenzione ordinaria sull'intero tratto.

Per contro la soluzione 2 ha il vantaggio di contenere a quote sensibilmente inferiori, coincidenti circa con il piano campagna, il profilo idrico per le piene di progetto, con vantaggi nella soluzione delle interferenze con la viabilità. Soprattutto, la soluzione offre una compatibilità maggiore con l'urbanizzazione del territorio, posta in aree naturalmente inondabili, che risulta oggettivamente penalizzata dalla presenza di argini di altezza significativa a ridosso delle abitazioni.

La ricerca di ottimizzazione è avvenuta pertanto con riguardo alla migliore compatibilità possibile con l'assetto territoriale esistente, ricercando nel contempo caratteristiche idrauliche meno artificiali e quindi con migliore affidabilità nel tempo e minore dipendenza dalla puntualità e dalla completezza della manutenzione periodica.

Con particolare riferimento alla manutenzione periodica, si evince che, tra attività di sfalcio (pulizia argini e sponde), disalveo del materiale sedimentato e ripristino delle opere localmente danneggiate (cls ammalorato, reti danneggiate, sostituzione materassi, ricarica massi e rimbottimento spondale etc.) le tre soluzioni presentano la seguente stima:

MANUTENZIONE ORDINARIA delle OPERE IDRAULICHE nel TRATTO URBANO DI VALLE				
TIPOLOGIA	P1	P2	P3	FREQUENZA INTERVENTO
	<i>costo (€)</i>	<i>costo (€)</i>	<i>costo (€)</i>	<i>(anni)</i>
Sfalcio	52000	145 000	97 000	1-2
Disalveo	52500	185 000	77 000	2-5
Ripristino Opere	69000	59 000	50 500	5
<i>Costo totale medio annuo</i>	<i>64 000</i>	<i>162 000</i>	<i>97 000</i>	<i>1</i>

Le caratteristiche della soluzione 3-B sono pertanto riassumibili nei seguenti punti:

- alveo inciso artificiale, ma di dimensioni sensibilmente inferiori alla soluzione 2 e quindi con migliori capacità di auto mantenimento;
- profilo idrico per le piene di progetto che supera di poco il piano campagna, con conseguenti modeste velocità di deflusso;

- argini di contenimento di altezza molto modesta, quindi compatibili con gli insediamenti e con le infrastrutture di attraversamento;
- esproprio di un numero limitato di abitazioni del quartiere S. Girolamo (soluzione 3-B);
- contenute spese di ordinaria manutenzione.

## **10 QUADRO ECONOMICO COMPLESSIVO**

Nella tabella a seguire è illustrato, per tronco di intervento strutturale, il quadro economico stimato, suddiviso in somme di appalto e somme a disposizione dell'amministrazione (rilevi, interferenze sottoservizi, oneri progettazione, espropri, imprevisti, accantonamento, delocalizzazioni e IVA).

**QUADRO ECONOMICO INTERVENTI RIU SAN GIROLAMO ED AFFLUENTI IN DESTRA IDROGRAFICA SUDDIVISO PER TRONCHI**

TRONCO	IMPORTO LAVORI (IN APPALTO /APP)	TRONCO	SOMME A DISPOSIZIONE DELL'AMMINISTRAZIONE (AMM)	TRONCO	IMPORTO COMPLESSIVO DEL PROGETTO (APP+AMM)
SG02	€ 1.180.000	SG02	€ 464.920	SG02	€ 1.644.920
SG03	€ 3.810.000	SG03	€ 1.601.140	SG03	€ 5.411.140
SG04	€ 6.800.000	SG04	€ 3.279.200	SG04	€ 10.079.200
SG04_2	€ 6.278.900	SG04_2	€ 3.273.887	SG04_2	€ 9.552.787
SG05	€ 4.250.000	SG05	€ 1.674.500	SG05	€ 5.924.500
SG07	€ 360.000	SG07	€ 591.840	SG07	€ 951.840
	€ 22.678.900 tot		€ 10.885.487 tot		€ 33.564.387
soluzione 1 SG9-SG10	€ 19.180.300 + € 22.678.900 = € 41.859.200 tot.1	soluzione 1 SG9-SG10	€ 11.132.447 + € 10.885.487 = € 22.017.934 tot.1	soluzione 1 SG9-SG10	€ 30.312.747 + € 33.564.387 = € 63.877.134 tot.1
soluzione 2 SG9-SG10	€ 18.059.000 + € 22.678.900 = € 40.737.900 tot.2	soluzione 2 SG9-SG10	€ 11.657.016 + € 10.885.487 = € 22.542.503 tot.2	soluzione 2 SG9-SG10	€ 29.716.016 + € 33.564.387 = € 63.280.403 tot.2
soluzione 3-A SG9-SG10	€ 18.591.000 + € 22.678.900 = € 41.269.900 tot.3-A	soluzione 3-A SG9-SG10	€ 14.382.584 + € 10.885.487 = € 25.268.071 tot.3-A	soluzione 3-A SG9-SG10	€ 32.973.584 + € 33.564.387 = € 66.537.971 tot.3-A
soluzione 3-B SG9-SG10	€ 19.291.000 + € 22.678.900 = € 41.969.900 tot.3-B	soluzione 3-B SG9-SG10	€ 12.379.384 + € 10.885.487 = € 23.264.871 tot.3-B	soluzione 3-B SG9-SG10	€ 31.670.384 + € 33.564.387 = € 65.234.771 tot.3-B

## 11 INTERVENTI NON STRUTTURALI

Tra gli interventi individuati in questa categoria si possono segnalare le seguenti tipologie:

- siti interessati da presenza di fabbricati che ricadono nella fascia di esondazione della piena di riferimento; si tratta di insediamenti, spesso isolati, per i quali specifici interventi strutturali di difesa sono stati ritenuti incompatibili con l'assetto di progetto del corso d'acqua. Al transito dell'evento di riferimento tali siti sono inondati con tiranti idrici variabili; la posizione di questi insediamenti non determina effetti negativi sui fenomeni connessi al transito dell'evento di piena e non sembrano poter essere interessati da fenomeni idrodinamici (erosioni, riattivazione di canali laterali etc) tali da poterne compromettere la stabilità pertanto si ritiene non sia imperativo prevederne una delocalizzazione. Una verifica puntuale, edificio per edificio, delle funzioni effettivamente insediate si ritiene sia opportuna da parte dell'Amministrazione Comunale per verificare la presenza di attività incompatibili con fenomeni di esondazione che consiglino la delocalizzazione degli insediamenti. Qualora venga confermata la localizzazione di tali insediamenti dovranno essere definite, a livello di Piano di Protezione Civile, specifiche procedure che individuino, in funzione di crescenti livelli di allerta (connessi a previsioni meteo, soglie pluviometriche, livelli idrometrici), le azioni per garantire la piena incolumità delle persone e per minimizzare i danni su mezzi, impianti e strutture;
- siti interessati da presenza di fabbricati che ricadono nella fascia di deflusso della piena di riferimento o che possano essere interessati in corso d'evento da fenomeni idrodinamici tali da compromettere la stabilità degli insediamenti stessi; per tali insediamenti si prevede la delocalizzazione;
- opere di attraversamento, opere idrauliche trasversali e/o longitudinali non compatibili con l'assetto di progetto del corpo idrico; si tratta di opere di cui è prevista la demolizione.

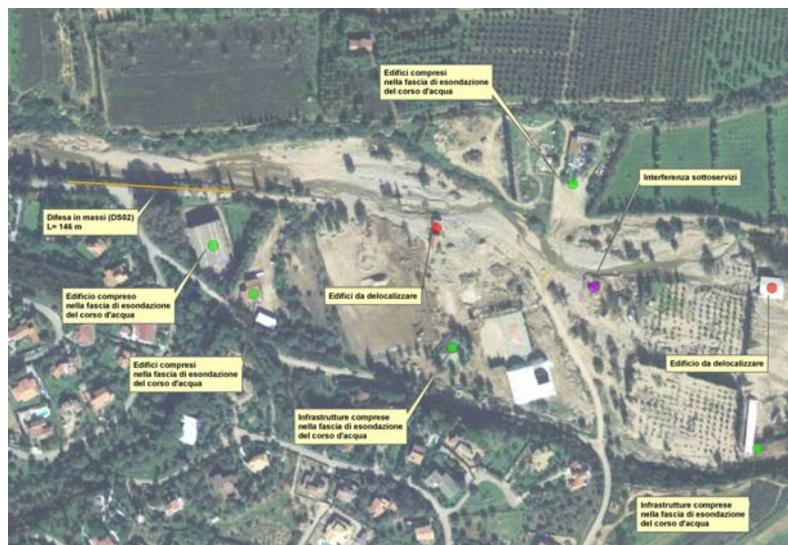


Figura 27. Esempio di interventi non strutturali: area sportiva di Poggio dei Pini

## 12 PRIORITA' DI ATTUAZIONE DEL PROGRAMMA DEGLI INTERVENTI

L'assetto di progetto del corpo idrico, definito nel presente studio, individua una serie di interventi, strutturali e non, che possono essere attuati secondo un Programma che definisca le priorità di intervento in relazione alle condizioni di rischio.

Al fine di fornire un indicazione di primo livello dei criteri con cui definire tale Programma si possono individuare:

- interventi funzionali alla riduzione del rischio idraulico di abitati e centri urbani;
- interventi funzionali alla riduzione della vulnerabilità idraulica di infrastrutture strategiche e viabilità principale;

- interventi funzionali alla riduzione della vulnerabilità idraulica di viabilità e infrastrutture secondarie.

In funzione di questa suddivisione gli interventi proposti lungo l'asta del San Girolamo possono essere suddivisi in tre classi di priorità:

- priorità 1: interventi nel tratto focivo a difesa degli abitati di quartiere San Girolamo e Frutti d'oro; canalizzazione delle acque del riu San Girolamo nello scolmatore della diga di Poggio dei Pini (si osservi che tale intervento andrà valutato e coordinato in funzione degli interventi sul corpo diga, non oggetto del presente studio);
- priorità 2: interventi di messa in sicurezza del reticolo idrografico minore presso Poggio dei Pini; nuovo attraversamento presso il lago Poggio dei Pini; nuovo attraversamento presso Hydrocontrol;
- priorità 3: ampliamento dell'attraversamento comunale per la loc. San Girolamo; difesa di sponda a tutela del centro sportivo di Poggio dei Pini.

### **13 ISTITUZIONE DI BACINO SPERIMENTALE**

L'analisi dell'evento in esame, i fenomeni che si sono verificati, la tipologia del bacino i prossimi interventi di messa in sicurezza, la presenza dell'invaso, suggeriscono di eleggere il bacino idrografico del Riu San Girolamo a bacino sperimentale ai fini del:

1. monitoraggio delle portate al colmo e dei fenomeni di trasporto solido;
2. messa a punto di un sistema di allerta idrometrica basato su soglie pluviometriche;
3. taratura dei metodi per il calcolo del trasporto solido.

A tal fine sono state predisposte nel quadro economico complessivo alcune voci dedicate e a disposizione dell'Amministrazione.