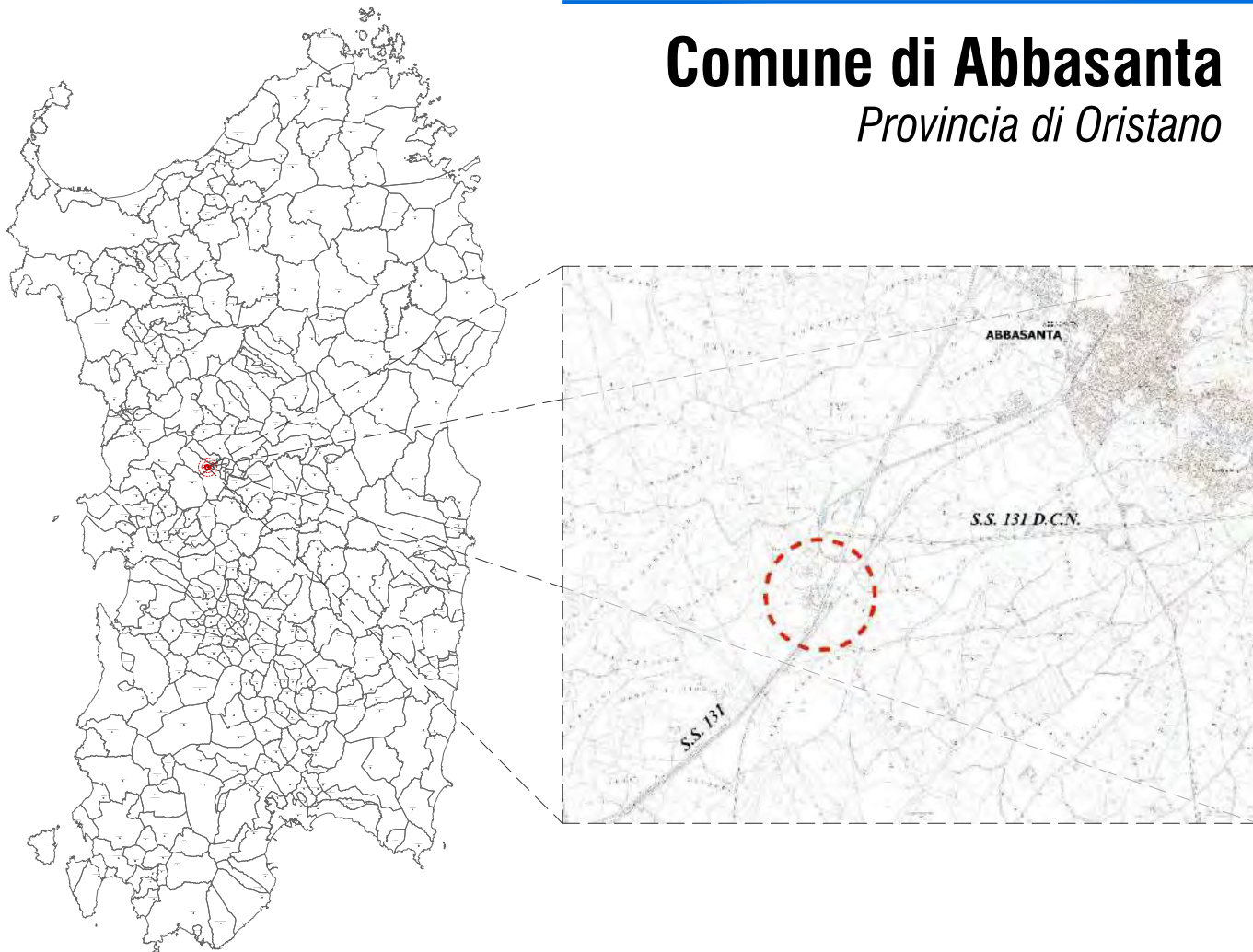


# Comune di Abbasanta

Provincia di Oristano



**Comune di Abbasanta - Variante puntuale al PAI,  
ai sensi degli artt. 8 e 37 delle Norme di Attuazione concernente la  
pericolosità idraulica associata all'elemento idrico denominato  
"FIUME 72751" nei pressi della stazione di servizio "Losa" lato Est**

## Relazione illustrativa idrologica e idraulica **Allegato A**

### I PROFESSIONISTI

### Data

Marzo 2025  
revisione 00

(ingegnere capogruppo)  
Ing. Giorgio PILIA

(ingegnere esperto nel settore idraulico)  
Ing. Gian Lorenzo CUGUSI



(geologa)  
Dr.ssa Geol. Maria TEGAS

### COMMITTENTE E PROPONENTE

RETE TURISMO E SPETTACOLO S.p.A.

Partita IVA 01179910920

Codice Fiscale 92004440928

## Indice

Indice .....	2
Indice delle figure .....	4
Indice delle tabelle .....	5
Premessa .....	6
Inquadramento territoriale .....	7
Studi pregressi di pianificazione .....	9
Piano Stralcio per le Fasce Fluviali (PSFF) .....	9
Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) .....	9
Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni del distretto idrografico della Regione Autonoma della Sardegna (PGRA).....	11
Studio PAI ex art. 8, comma 2 delle N.A. del PAI.....	11
Caratteristiche delle aree e descrizione delle opere esistenti .....	13
Descrizione delle aree a ridosso delle stazioni di servizio .....	19
Rilievo strumentale.....	21
Studio idrologico.....	23
Idrografia e bacini di riferimento .....	23
Stima della portata al colmo.....	25
Premessa .....	25
Tempo di corrivazione .....	26
Stima dei parametri della distribuzione TCEV .....	27
Coefficiente di ragguaglio areale.....	28
Coefficiente di afflusso .....	28
Coefficiente di laminazione .....	30
Portate di Progetto.....	31
Studio idrologico e stima delle portate al colmo studio PAI Comune di Abbasanta.....	31
Portate simulate nel modello idraulico .....	32
Studio idraulico.....	33

Il modello .....	33
Equazioni per il calcolo del profilo idraulico.....	34
Calcolo della profondità di stato critico .....	36
Sezioni con singolarità .....	36
Coefficienti adottati.....	36
Condizioni al contorno.....	37
Confluenza dei flussi - richiami teorici.....	37
Analisi dei risultati .....	39
Perimetrazioni aree a rischio idraulico .....	43
Premessa .....	43
Calcolo aree a rischio idraulico.....	43
Conclusioni .....	46

## Indice delle figure

Figura 1. Inquadramenti cartografici del Comune di Abbasanta .....	7
Figura 2. Immagine satellitare con indicata nel cerchio rosso l'area oggetto di studio.....	8
Figura 3. Aree inondabili individuate dal PAI in seguito all'approvazione dello studio di assetto idrogeologico del Comune di Abbasanta.....	10
Figura 4. Aree inondabili individuate nello studio "Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, Territorio comunale di Abbasanta", TAV 6.1 - PERICOLOSITÀ DA STUDIO .....	12
Figura 5. Immagine di Google Street View dell'attraversamento sulla S.P. 15 in direzione Abbasanta .....	13
Figura 6. Aree pianeggianti nei pressi del Nuraghe Losa.....	13
Figura 7. Percorso del Fiume 72751 e codici delle opere interferenti .....	14
Figura 8. Attraversamento sulla rampa della S.S. indicata con codice ATTRAV_01.....	15
Figura 9. Attraversamento su una muratura in pietrame indicato con codice ATTRAV_02 .....	15
Figura 10. Attraversamento identificato in questo studio con il codice ATTRAV_03 .....	16
Figura 11. Attraversamento con codice A007_SS_0012 .....	16
Figura 12. Immagine satellitare degli attraversamenti nei pressi delle stazioni di servizio .....	17
Figura 13. Attraversamento sulla S.S. 131, codici A007_SS_0015 e A007_SS_0016.....	17
Figura 14. Attraversamento ferroviario, codice A007_SF_0008 .....	18
Figura 15. Percorso del Fiume 72751 a ridosso delle stazioni di servizio. In rosso è indicata la muratura perimetrale del parcheggio della stazione est .....	19
Figura 16. Immagine scattata dal fondo alveo della scarpata sopra la quale è realizzato parcheggio della stazione est.....	20
Figura 17. Muratura lungo il parcheggio della stazione est .....	20
Figura 18. Punti rilevati con strumenti GPS nell'area di studio.....	21
Figura 19. Modello digitale del terreno (DTM) ottenuto dall'interpolazione delle curve di livello .....	22
Figura 20. Stralcio IGM del bacino idrografico (indicato in rosso) del Fiume 72751 tracciato nel corso di questo studio .....	24
Figura 21. Sottozone Omogenee per piogge breve e intense in Sardegna .....	27
Figura 22. Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna .....	28
Figura 23. Carta del CN per il bacino idrografico del Fiume 72751 .....	30
Figura 24. Caratteristiche morfometriche e valori di portata del Fiume 72751 ottenuti nello "Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta" .....	31
Figura 25. Sezioni a monte dell'attraversamento ferroviario ricavate dalle simulazioni idrauliche dello "Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta" .....	39
Figura 26. Sezioni a monte dell'attraversamento ferroviario ricavate dalle simulazioni idrauliche del presente studio utilizzando il DTM ricavato dal rilievo GPS .....	40

Figura 27. Perimetrazione vigente .....	41
Figura 28. Perimetrazione del Fiume 72751 ottenuta in questo studio .....	42
Figura 29. Descrizione delle classi di rischio idraulico secondo il PAI e quantificazione .....	43
Figura 30. Classificazione degli elementi a rischio e attribuzione del relativo peso (PAI) .....	44

## Indice delle tabelle

Tabella 1. Tabella riassuntiva dei principali parametri morfologici del bacino idrografico analizzato .....	25
Tabella 2. Tempi di corrivazione relativi al bacino idrografico studiato .....	26
Tabella 3. Valori mediati di CN(II) e CN(III) per il bacino idrografico oggetto di studio .....	30
Tabella 4. Portate al colmo determinate nel presente studio relative ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni .....	31
Tabella 5. Portate inserite nel modello idraulico per ciascun tempo di ritorno analizzato .....	32
Tabella 6. Matrice di valutazione del rischio idraulico .....	44

## Premessa

Il presente documento costituisce la relazione tecnica e illustrativa relativa alla proposta di variante del piano per l'assetto idrogeologico di una porzione di asta idrografica denominata Fiume 72751 che scorre all'interno del territorio del Comune di Abbasanta.

Lo studio propone una modifica della perimetrazione secondo quanto prescritto dalla Direttive applicative della L. n. 120/2020 relativa ai procedimenti di variante dei piani per l'assetto idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Sardegna (delibera del Comitato Istituzionale n. 1 del 04/12/2020).

Con la realizzazione di questo lavoro si intende integrare e completare le analisi effettuate nel corso della variante al PAI, art. 37 comma 3, del Comune di Abbasanta lungo la Strada Statale 131 nei pressi delle aree su cui ricadono le stazioni di servizio Eni. La precedente perimetrazione tracciata nel corso dello studio del territorio comunale di Abbasanta è stata infatti determinata utilizzando il modello digitale del terreno avente maglia a 10 m, l'unico disponibile per questa area. In seguito ad una analisi di dettaglio delle quote del terreno si sono tracciate con maggiore precisione le aree soggette ad esondazione, stato fondamentale per ottenere maggiore precisione nelle simulazioni.

Lo studio determinerà la risposta del bacino ad eventi di pioggia intensi al fine di valutare le portate di piena per i diversi tempi di ritorno. Nella presente relazione vengono esposte e commentate le metodologie utilizzate per la determinazione delle portate dell'asta oggetto di analisi in accordo con quanto stabilito dalle Linee Guida predisposte dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) dalla Regione Sardegna.

Successivamente alla determinazione delle portate di piena, con tempi di ritorno pari a 50, 100, 200 e 500 anni, verrà simulata la propagazione dei deflussi con un'analisi monodimensionale in moto permanente utilizzando il software HEC-RAS, ottenendo così le mappe delle aree inondabili e classificandole secondo i criteri stabiliti dal PAI stesso.

## Inquadramento territoriale

Il Comune di Abbasanta, ubicato nella parte centro occidentale dell'isola, fa parte della Provincia di Oristano. L'asta interessata dal presente studio è denominata Fiume 72751, che scorre nel territorio amministrativo del Comune di Abbasanta. Questo corso d'acqua nasce nella porzione di territorio ad ovest del centro abitato nei pressi della Strada Provinciale n. 15, che collega il comune di Abbasanta con quello di Santu Lussurgiu, per poi scorrere in direzione sud attraversando la S.P. n. 15 e successivamente la Strada Statale 131 per poi immettersi sul Riu Mannu, nel territorio del Comune di Ghilarza.

Il Fiume 72751 attraversa un'area caratterizzata da basse pendenze e il territorio del bacino idrografico è prevalentemente caratterizzato da superfici destinate ad uso agricolo e, nei pressi della S.S. 131, dell'insediamento nuragico del Nuraghe Losa. Lungo la statale sono presenti due stazioni di servizio Eni, una per ciascuna direzione di marcia.

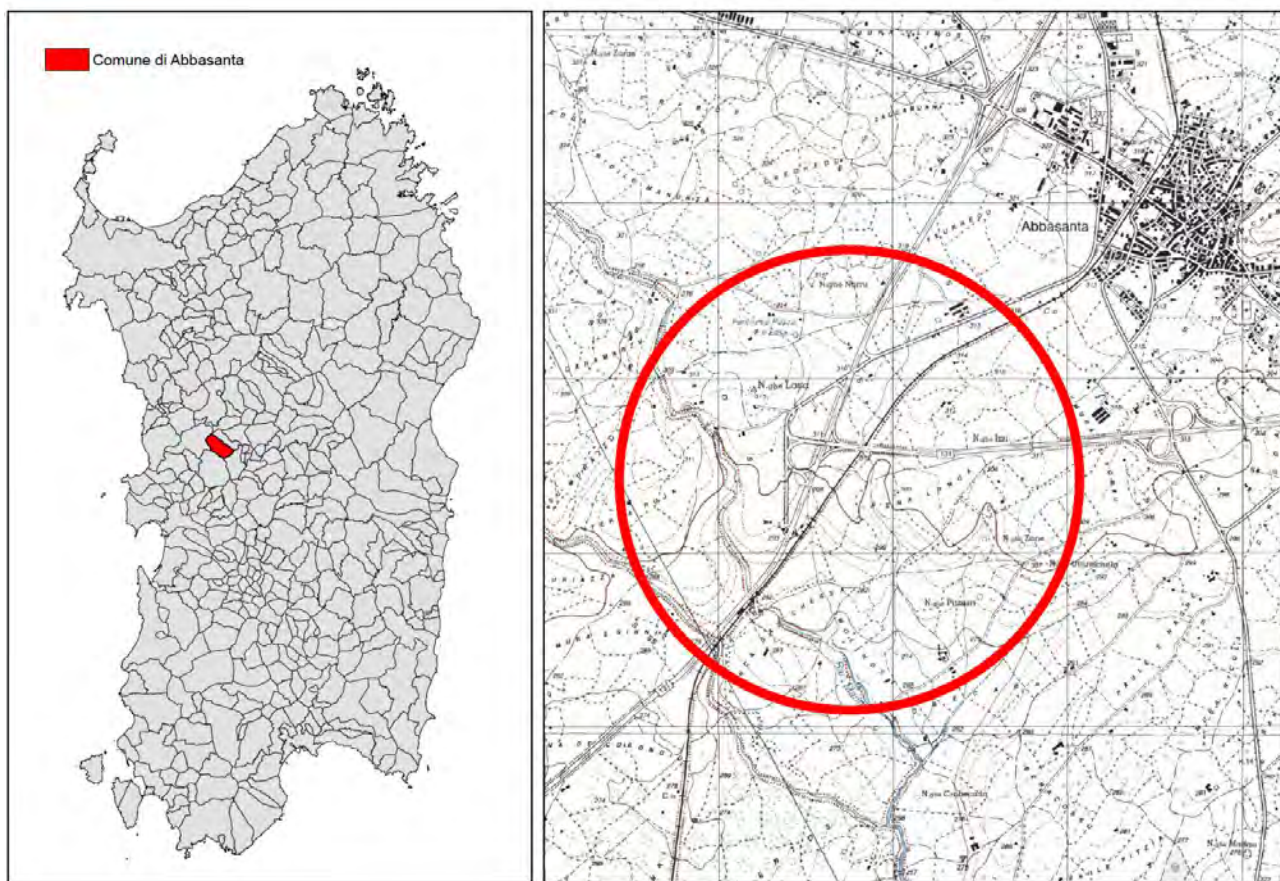


Figura 1. Inquadramenti cartografici del Comune di Abbasanta





Figura 2. Immagine satellitare con indicata nel cerchio rosso l'area oggetto di studio



## **Studi pregressi di pianificazione**

### **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.

L'ambito di riferimento in cui ricade il territorio di Abbasanta è il Sub-bacino n. 2 – Tirso.

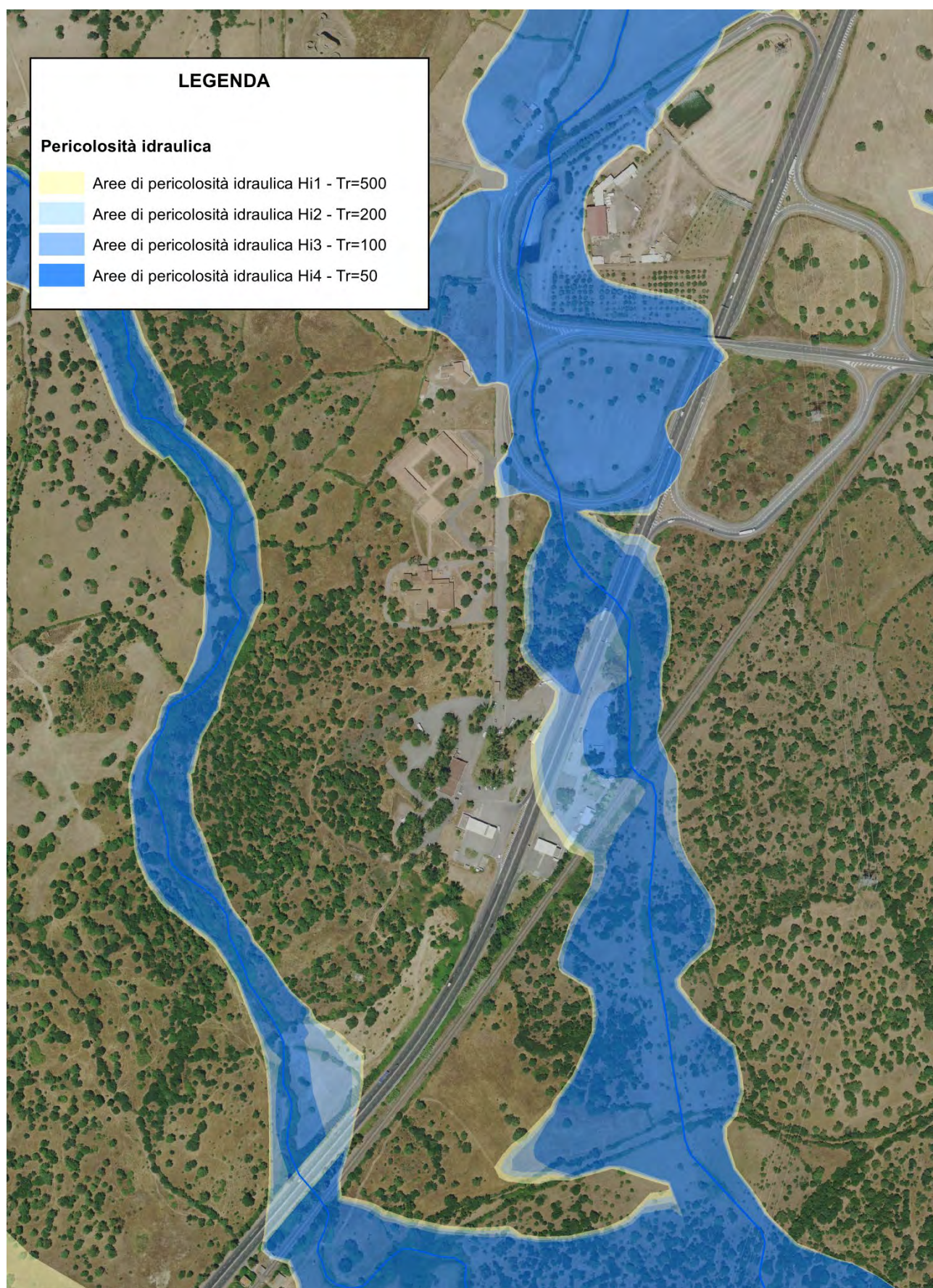
Non risultano mappate aree di pericolosità idraulica dal PSFF nella zona oggetto dell'intervento.

### **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.

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.

Risultano mappate aree di pericolosità idraulica in seguito all'approvazione dello studio di assetto idrogeologico del Comune di Abbasanta.



*Figura 3. Aree inondabili individuate dal PAI in seguito all'approvazione dello studio di assetto idrogeologico del Comune di Abbasanta*

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

La versione finale e approvazione definitiva del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni è stata adottata con D.C.I. n. 2 del 15/03/2016 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.

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 PGRA 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 PGRA 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 NA del PAI.

Sempre nel PGRA, 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.

Indicazioni relative alla zona oggetto dello studio. Come precedentemente riportato, il PGRA ha assemblato le informazioni già acquisite nella pianificazione vigente e le ha integrate con ulteriori segnalazioni e perimetrazioni verificatesi nelle alluvioni del 2008, 2013 e 2014.

Non risultano mappate aree di pericolosità idraulica nella zona oggetto dell'intervento.

### **Studio PAI ex art. 8, comma 2 delle N.A. del PAI**

Il Comune di Abbasanta ha proceduto alla definizione delle aree a pericolosità e rischio idraulico dei piani stralcio relativi all'assetto idrogeologico. Successivamente alla richiesta di integrazioni da parte dell'Agenzia del Distretto Idrografico della Sardegna ha proceduto ad aggiornare lo studio, denominato "Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta", con protocollo n. 6264 del 15/11/2021. Lo studio è stato successivamente approvato con determinazione del Segretario Generale dell'Autorità di Bacino n. 17 del 08/02/2022 e pubblicato sul Bollettino Ufficiale della Regione Autonoma



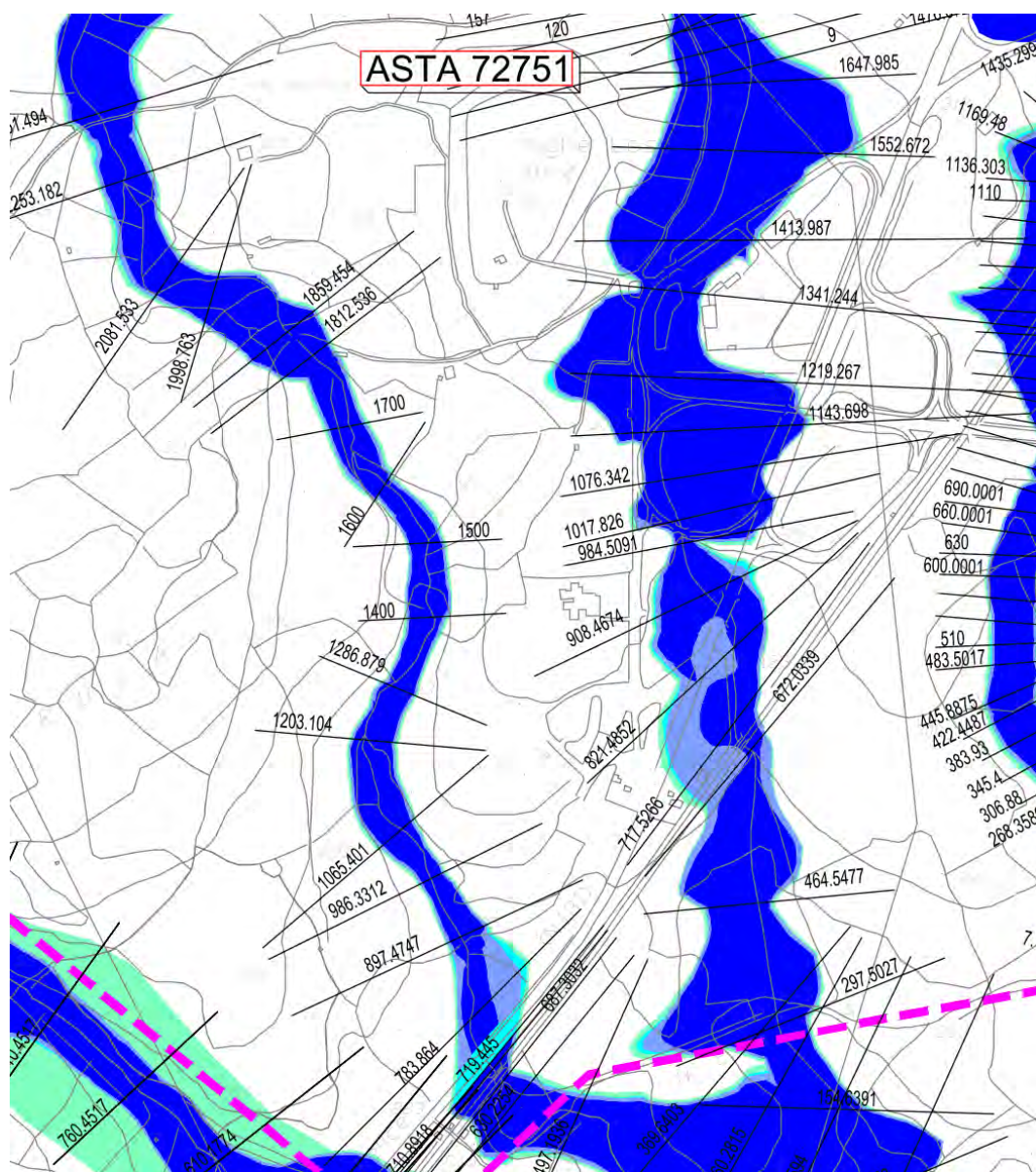


Figura 4. Aree inondabili individuate nello studio "Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, Territorio comunale di Abbasanta", TAV 6.1 - PERICOLOSITÀ DA STUDIO

Le perimetrazioni riportate nella figura precedente sono individuate nella tavola 6.1, Carta della pericolosità idraulica quadro di insieme, facente parte dello "Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, Territorio comunale di Abbasanta" redatto dall'Ing. Fabio Cambula e dal Dott. Geol. Mario Nonne.



## Caratteristiche delle aree e descrizione delle opere esistenti

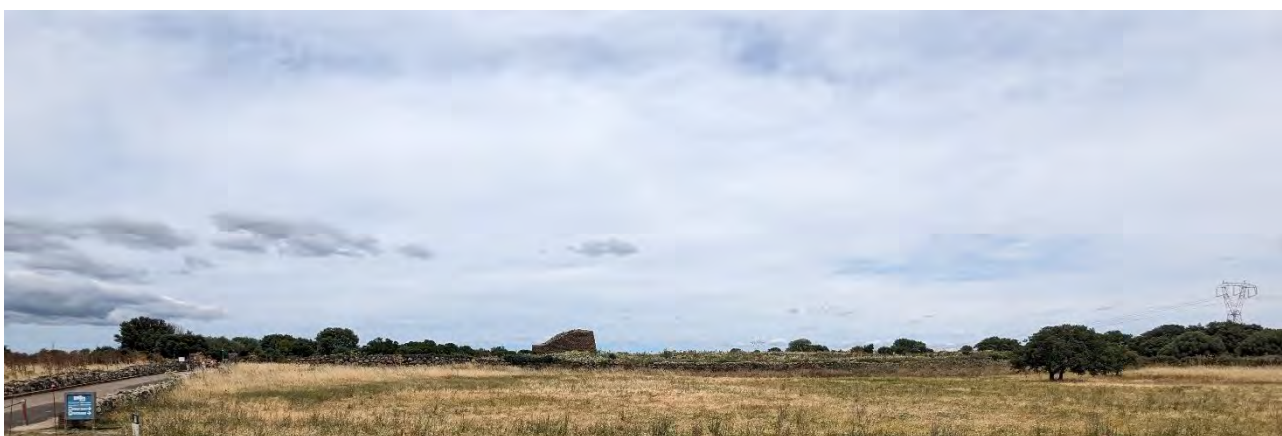
L'attività di rilevamento in campo è stata preceduta dalla ricerca preliminare delle principali opere idrauliche presenti nell'area interessata dal progetto, i sopralluoghi in campo hanno permesso di verificare ed integrare le informazioni relative alle opere identificate preliminarmente (tipologia, caratteristiche dimensionali e funzionali).

Il Fiume 72751 nasce nella porzione di territorio ad ovest del Comune di Abbasanta, nei pressi della Strada Provinciale n. 15 che collega il comune di Abbasanta con quello di Santu Lussurgiu, per poi scorrere in direzione sud nel territorio del Comune di Ghilarza. Nei pressi dell'attraversamento sulla S.P. n. 15, avente codice A007\_SP\_0010, il corso d'acqua non presenta una sezione di scorrimento definita.



*Figura 5. Immagine di Google Street View dell'attraversamento sulla S.P. 15 in direzione Abbasanta*

Dopo aver attraversato l'infrastruttura provinciale il fiume attraversa una strada di penetrazione agraria, codice attraversamento A007\_SC\_0008, per poi proseguire in direzione sud attraverso aree pianeggianti destinate ad uso agricolo. In prossimità della Strada Statale 131, sulla destra idraulica, è presente la biglietteria del Parco archeologico del sito nuragico del Nuraghe Losa.



*Figura 6. Aree pianeggianti nei pressi del Nuraghe Losa*

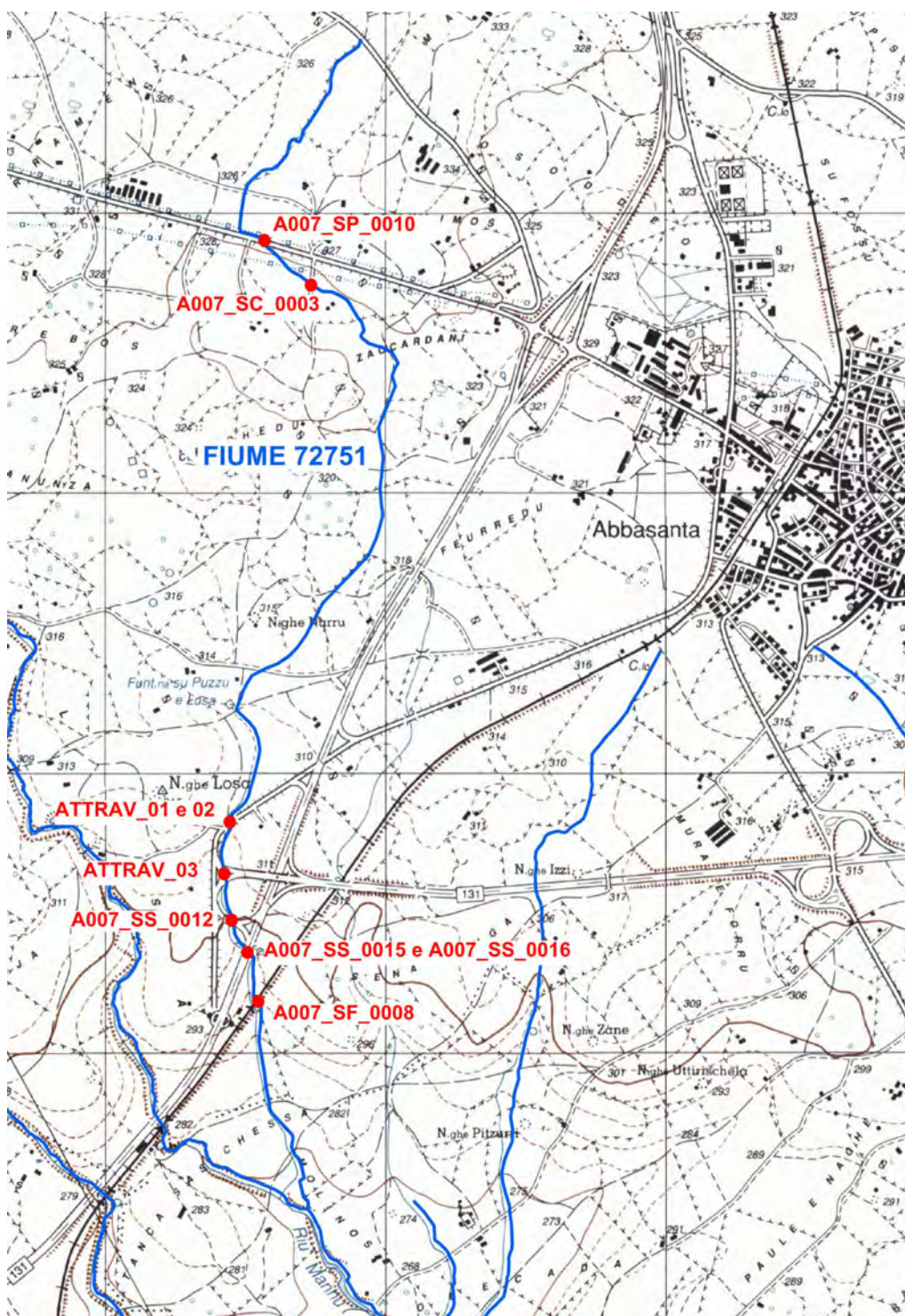


Figura 7. Percorso del Fiume 72751 e codici delle opere interferenti

Prima dell'attraversamento sulla S.S. 131 il corso d'acqua attraversa diverse rampe di accesso e di uscita della Statale, i cui codici sono riportati in Figura 7. Due attraversamenti sulle rampe della Statale non sono riportati nello shapefile fornito dalla Regione Sardegna che individua le opere interferenti della Provincia di Oristano, indicati in questo studio con i codici ATTRAV\_01 e ATTRAV\_03. Tra i due attraversamenti è presente un tubolare che attraversa un muro di recinzione, anch'esso non codificato dalla regione, identificato in questo studio con il codice ATTRAV\_02.



La prima rampa sulla statale, caratterizzata da due sensi di marcia, è attraversata da un piccolo attraversamento rettangolare avente altezza inferiore al metro e mezzo e larghezza di 1,8 metri e identificato in questo studio con il codice ATTRAV\_01.



*Figura 8. Attraversamento sulla rampa della S.S. indicata con codice ATTRAV\_01*

Immediatamente a valle dell'attraversamento è presente un tubolare in calcestruzzo, avente diametro pari a 1,5 metri, collocato perpendicolarmente ad una muratura perimetrale in pietrame che delimita una proprietà agricola, identificato in questo studio con il codice ATTRAV\_02. Nei terreni agricoli a valle di questo tubolare lungo il corso d'acqua è presente un piccolo laghetto agricolo.



*Figura 9. Attraversamento su una muratura in pietrame indicato con codice ATTRAV\_02*

Successivamente vengono oltrepassate le rampe che portano alla S.S. 131 DCN con un unico attraversamento, avente lunghezza di circa 50 m, con sezione ad arco in calcestruzzo avente larghezza di 2 m e altezza di poco superiore ai 2 m, identificato con il codice ATTRAV\_03 (Figura 7 e Figura 10).





*Figura 10. Attraversamento identificato in questo studio con il codice ATTRAV\_03*

Dopo aver attraversato un terreno agricolo all'interno degli accessi alla statale il Fiume 72751 oltrepassa la rampa di immissione in direzione sud della S.S. 131 DCN. Questo attraversamento, avente lunghezza di circa 20 m, è identificato dalla Regione Sardegna con codice A007\_SS\_0012, anch'esso realizzato con sezione ad arco in calcestruzzo avente larghezza di 2 m e altezza di poco superiore ai 2 m (Figura 11 e Figura 12).



*Figura 11. Attraversamento con codice A007\_SS\_0012*

In seguito l'asta idrografica attraversa la S.S. 131 e costeggia le aree delle due stazioni di servizio Eni, identificate come *stazione est* e *stazione ovest* in relazione alla posizione rispetto alla direzione di marcia della Statale (Figura 7, Figura 12 e Figura 15).



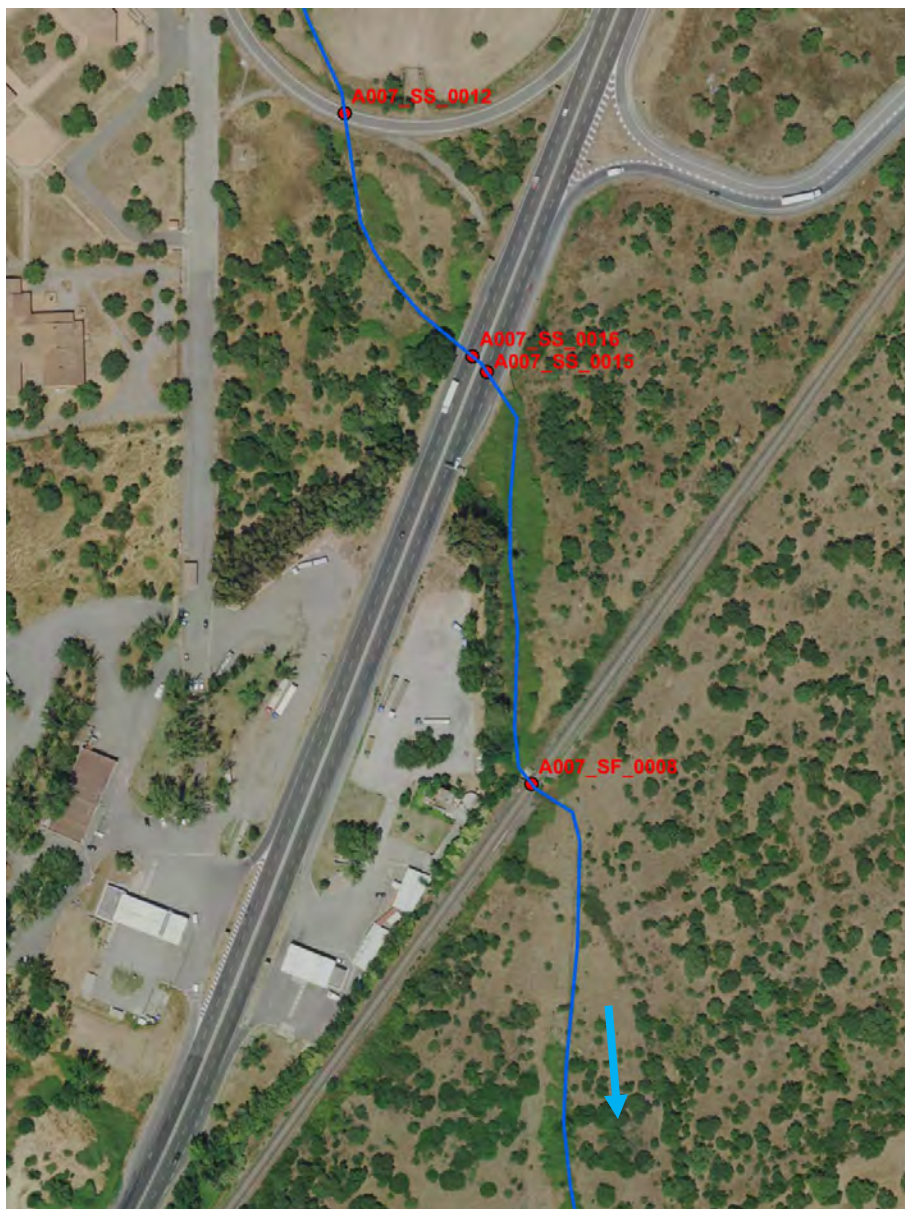


Figura 12. Immagine satellitare degli attraversamenti nei pressi delle stazioni di servizio



Figura 13. Attraversamento sulla S.S. 131, codici A007\_SS\_0015 e A007\_SS\_0016



Gli attraversamenti sulla statale, codici A007\_SS\_0015 e A007\_SS\_0016, rappresentano in realtà una unica struttura di attraversamento a sezione rettangolare, realizzata in cemento armato (Figura 13), avente una larghezza di 4,5 m e altezza di circa 3 m; lo spessore della soletta è di circa un metro.

Il fiume scorre a valle del parcheggio della *stazione di servizio est* della Statale per poi attraversare la sede ferroviaria con un attraversamento rettangolare (codice A007\_SF\_0008), avente larghezza di 4 m e altezza di circa 2,4 m e realizzato in cemento armato (Figura 14). A valle della ferrovia che collega Oristano e Macomer il Fiume 72751 si immette sul Riu Mannu, nel territorio del Comune di Ghilarza.



Figura 14. Attraversamento ferroviario, codice A007\_SF\_0008

Le caratteristiche degli attraversamenti inseriti nelle simulazioni idrauliche sono riportate in dettaglio nell'elaborato *Allegato C Report delle infrastrutture esistenti di attraversamento*.

### Descrizione delle aree a ridosso delle stazioni di servizio

Come indicato nei precedenti capitoli la realizzazione di questo lavoro si propone di integrare e completare le analisi effettuate nel corso della variante al PAI, art. 37 comma 3, del Comune di Abbasanta lungo la Strada Statale 131 nei pressi delle aree su cui ricadono le stazioni di servizio. La precedente perimetrazione, tracciata nel corso dello studio del territorio comunale di Abbasanta, è stata determinata utilizzando il modello digitale del terreno a con maglia a 10 m, l'unico disponibile per questa area. In seguito ad una analisi di dettaglio delle quote del terreno si sono tracciate con maggiore precisione le sezioni di calcolo del software HEC-RAS, stato fondamentale per ottenere precisione nelle simulazioni.

Il Fiume 72751 dopo aver attraversato le diverse rampe di accesso e di uscita della S.S. 131 e della S.S. 131 DCN attraversa la statale per poi percorrere un breve tratto, di circa 150 m, lungo il parcheggio della *stazione est* prima di attraversare la linea ferroviaria che collega Oristano e Macomer.



Figura 15. Percorso del Fiume 72751 a ridosso delle stazioni di servizio. In rosso è indicata la muratura perimetrale del parcheggio della stazione est

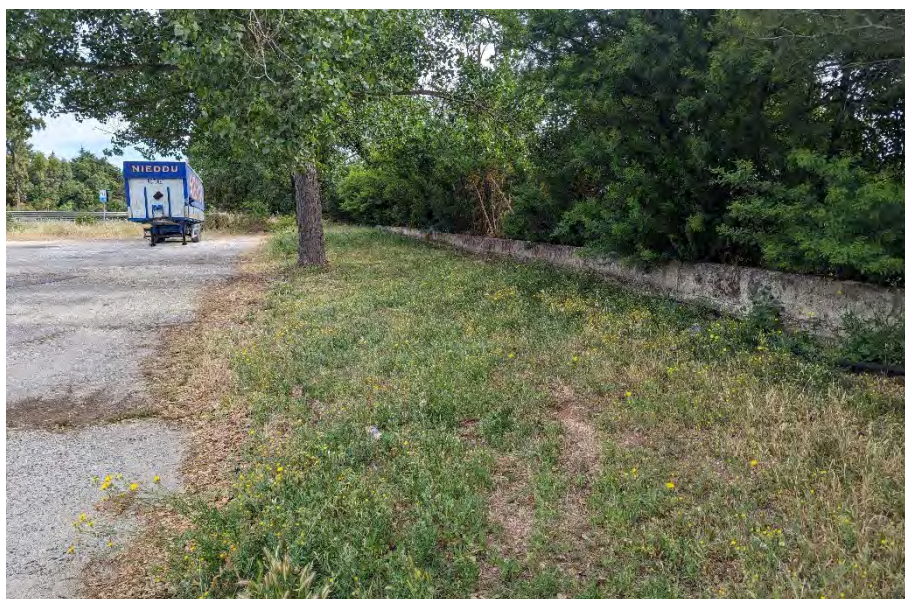


Il parcheggio della *stazione est* risulta avere una quota mediamente superiore di 3 m rispetto al fondo alveo, esso è infatti realizzato in un'area pianeggiante delimitata lungo il corso d'acqua da una scarpata, alla base della quale scorre il Fiume 72751.

Lo stesso parcheggio, collocato a nord della *stazione est*, risulta perimetrato da una muratura in cemento armato di altezza pari a circa 50 cm, indicata in planimetria nella Figura 15 e nell'immagine in Figura 17. La muratura non è stata inserita nelle simulazioni idrauliche a fini cautelativi ma garantisce comunque un'ulteriore protezione contro le esondazioni.



*Figura 16. Immagine scattata dal fondo alveo della scarpata sopra la quale è realizzato parcheggio della stazione est*



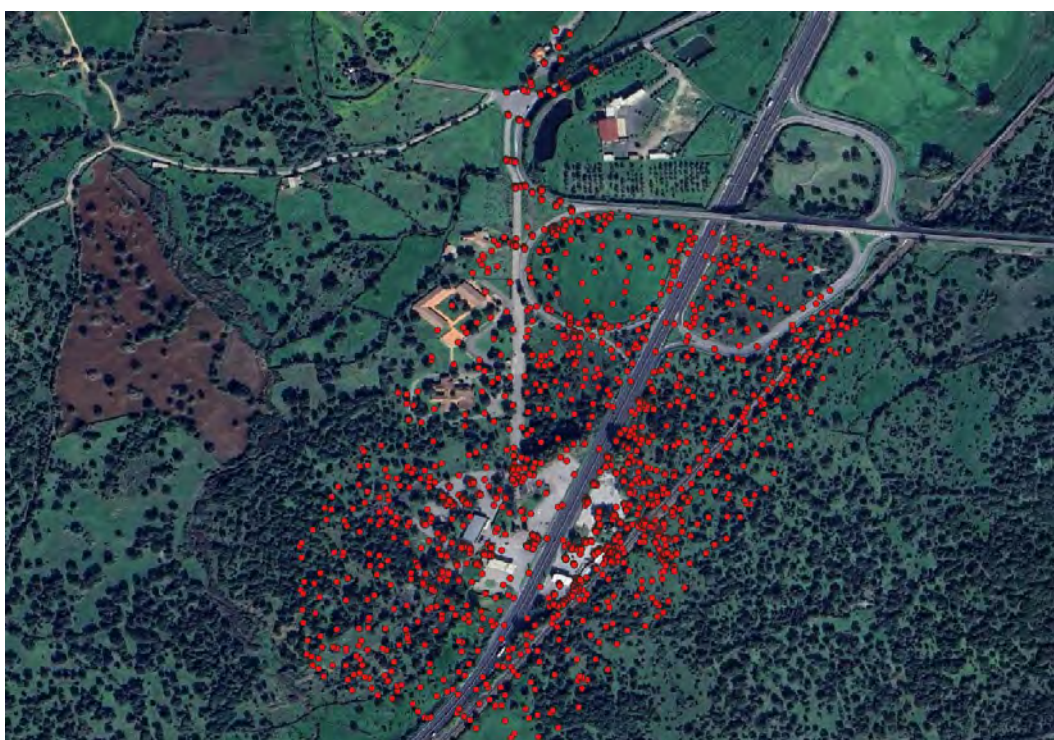
*Figura 17. Muratura lungo il parcheggio della stazione est*



## Rilievo strumentale

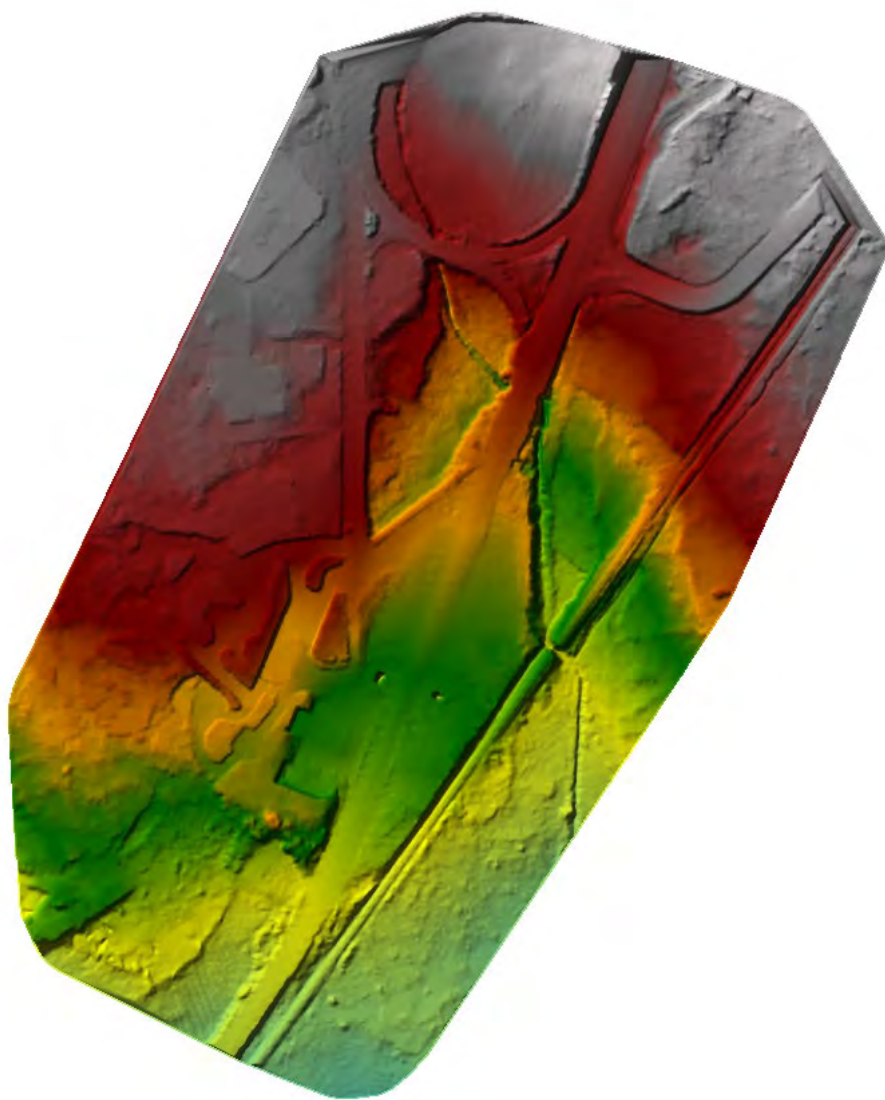
Per meglio definire il modello idraulico è necessario effettuare rilievi sul campo e sopralluoghi per simulare con maggiore precisione reale stato di fatto delle opere interferenti e delle condizioni dei corsi d'acqua. Nell'area su cui scorre il Fiume 72751 è disponibile esclusivamente il DTM con maglia a 10 m. È stata fatta una analisi di dettaglio delle quote del terreno per stabilire con maggiore precisione le aree soggette ad esondazione, stato fondamentale per ottenere precisione nelle simulazioni.

Sono stati rilevati i punti fiduciali presenti nella zona ai fini della determinazione esatta delle quote (Figura 18). Dal rilievo con lo strumento GPS sono state successivamente generate le curve di livello.



*Figura 18. Punti rilevati con strumenti GPS nell'area di studio*

Per migliorare l'implementazione del codice di calcolo, le sezioni geometriche del modello idraulico sono state ricavate dalla rielaborazione del modello digitale del terreno (DTM) ottenuto dall'interpolazione delle curve di livello.



*Figura 19. Modello digitale del terreno (DTM) ottenuto dall'interpolazione delle curve di livello*

## Studio idrologico

### Idrografia e bacini di riferimento

Lo studio idrologico ha l'obiettivo di determinare la risposta del bacino a intensi eventi di pioggia al fine di valutare le portate di piena per i diversi tempi di ritorno indicati dal Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) della Sardegna.

Il Fiume 72751 attraversa un'area caratterizzata da basse pendenze, il territorio del bacino idrografico è prevalentemente caratterizzato da superfici destinate ad uso agricolo e, nei pressi della S.S. 131, dell'insediamento nuragico del Nuraghe Losa.

**Nello shapefile fornito dalla Regione Sardegna il corso d'acqua ha una lunghezza inferiore a 1.5 km. Ai fini cautelativi l'asta idrografica del Fiume 72751 è stata tracciata, seguendo quanto fatto nello studio precedente, fino alla S.P. 15 integrandola con due corsi d'acqua, identificati con i codici FIUME\_189906 e FIUME\_189948 (riportati nella *Tavola 2 Carta del reticolo regionale e del bacino idrografico*), presenti a ridosso della Strada Provinciale e raggiungendo così una lunghezza di circa 5.3 km.**

La sezione di chiusura del bacino idrografico del Fiume 72751 è stata inserita in corrispondenza della confluenza sul Rio Mannu.

Per l'individuazione dei bacini alle sezioni di interesse si è utilizzato un modello digitale del terreno realizzato in ambiente GIS.

I dati spaziali relativi al territorio in esame utilizzati sono:

- Carta Tecnica Regionale (CTR) della Sardegna in scala 1:10'000;
- Carta IGM in scala 1:25'000;
- DEM (Digital Elevation Model) con maglie di dimensione 10x10 m;
- Ortofoto e immagini satellitari presente sul geoportale della Regione Sardegna;
- Rilievo di dettaglio effettuato con strumenti GPS e DTM da esso interpolato;
- Rilievi in situ.

Per i bacini idrografici studiati sono state valutate le seguenti grandezze:

- Superficie del bacino [km<sup>2</sup>], determinata calcolando l'area del poligono che individua ciascun bacino idrografico.
- Quota massima, minima e media del bacino [m s.l.m.], calcolate attraverso l'analisi a delle quote altimetriche delle celle del DEM interne a ciascun poligono rappresentante il bacino idrografico.
- Pendenza media del bacino, ottenuta con l'analisi in ambiente GIS delle pendenze medie delle celle del DEM interne al poligono rappresentante il bacino idrografico.
- Lunghezza dell'asta principale, somma dei segmenti rappresentanti il corso d'acqua.
- Pendenza media dell'asta principale, pendenza media ricavata come media pesata delle pendenze dei segmenti che compongono l'asse fluviale.



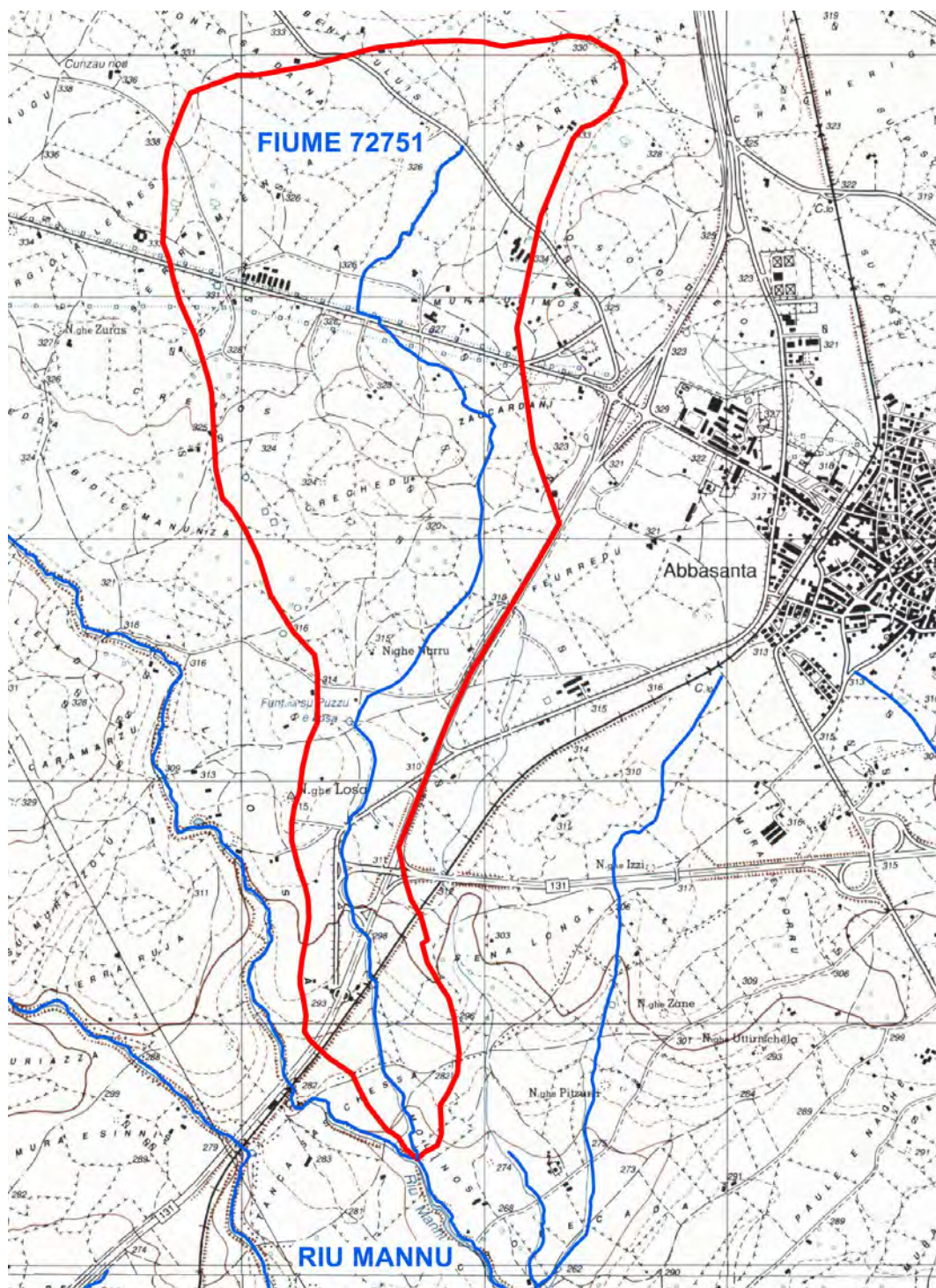


Figura 20. Stralcio IGM del bacino idrografico (indicato in rosso) del Fiume 72751 tracciato nel corso di questo studio

Il riferimento cartografico principale è dato dalla Cartografia Tecnica Regionale (CTR) in scala 1:10.000, associata a rilievi puntuali e soprattutto dal DTM derivante dalla modellazione dei punti quotati e dalle curve di livello della del rilievo strumentale effettuato.

Le grandezze calcolate per il bacino del Fiume 72751 sono riportate nella tabella seguente.



Tabella 1. Tabella riassuntiva dei principali parametri morfologici del bacino idrografico analizzato

Area del bacino	4.42	Km <sup>2</sup>
Quota sezione di chiusura	278	m
Quota media bacino	322.26	m
Quota massima bacino	340.03	m
Pendenza media bacino	1.48	%
Lunghezza asta principale	5.326	Km
Pendenza asta principale	0.012	m/m

## Stima della portata al colmo

### Premessa

In assenza di deflussi osservati per le sezioni di interesse è necessario procedere al calcolo della portata di piena mediante un approccio che può essere di tipo empirico o probabilistico.

I metodi di tipo empirico prevedono l'utilizzo delle curve di inviluppo dei massimi storici di portata.

I metodi per la stima della portata di piena con approccio di tipo probabilistico si distinguono in due categorie, metodi diretti e metodi indiretti:

- I metodi diretti stimano la portata a partire da distribuzioni di probabilità costruite sulla base dei deflussi osservati (in Sardegna sono stati realizzati studi basati sulla distribuzione TCEV e la lognormale).
- I metodi indiretti stimano la portata a partire dai dati di pioggia (disponibili in numero molto più elevato rispetto alle misure di portata) che vengono analizzati attraverso delle distribuzioni di probabilità. Il deflusso viene stimato successivamente mediante un modello di trasformazione afflussi-deflussi. La metodologia indiretta assume quindi che la portata abbia la stessa frequenza di accadimento della pioggia che l'ha generata.

Per la determinazione delle portate, in accordo con le Linee Guida linee del Piano di Assetto Idrogeologico, si è optato per una metodologia indiretta, basata sulle curve di possibilità pluviometrica stimate con la distribuzione TCEV, avente una base dati più estesa rispetto a quelle stimate con la distribuzione log-normale.

Per la valutazione della portata al colmo è stata utilizzata la formula razionale:

$$Q(T) = \frac{Ab \cdot ARF \cdot \varphi \cdot h(T, T_p)}{T_p}$$

Dove:

Q(T) = portata al colmo relativa al tempo di ritorno T

Ab = superficie del bacino

ARF = coefficiente di riduzione areale

Φ = coefficiente di afflusso

h(T, T<sub>p</sub>) = altezza di pioggia

Tp = durata della pioggia

La durata di pioggia è stata posta pari al tempo di corrivazione, tale scelta rappresenta infatti la condizione più gravosa nell'ipotesi comunemente utilizzata di curva area – tempi lineare, mentre le perdite del bacino sono state stimate mediante il metodo del Curve Number proposto dal Soil Conservation Service.

### Tempo di corrivazione

Il calcolo del tempo di corrivazione è stato effettuato utilizzando i principali metodi applicabili ai bacini sardi di superficie limitata, ossia:

$$t_c = 1,67 \cdot \frac{1.000 \cdot L^{0,8} \cdot \left(\frac{100}{CN} - 9\right)^{0,7}}{1.900 \cdot p_m^{0,5}} \quad [\text{min}] \quad \text{Soil Conesevation Service;}$$

$$t_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{p_m}} \quad [\text{h}] \quad \text{seconda formula di Ventura;}$$

$$t_c = \frac{1,5 \cdot L + 4 \cdot \sqrt{S}}{0,8 \cdot \sqrt{H_{med} - H_{min}}} \quad [\text{h}] \quad \text{formula di Giandotti;}$$

$$t_c = \frac{0,108 \cdot \sqrt[3]{S-L}}{\sqrt{I}} \quad [\text{h}] \quad \text{formula di Pasini;}$$

$$t_c = \frac{L}{3.600 \cdot V_m} \quad [\text{h}] \quad \text{formula di Viparelli;}$$

$$t_c = 0,212 \cdot S^{0,231} \cdot \left(\frac{H_{med}}{i}\right)^{0,289} \quad [\text{h}] \quad \text{formula VAPI-Sardegna;}$$

in cui:

$V_m$  = velocità media di scorrimento [m/s], normalmente compresa tra 1 e 1,5 [m/s] è stata assunta pari a 1 per i bacini con pendenza dell'asta principale  $\leq 5\%$  pari a 1,5 [m/s] per tutti gli altri.

Il tempo di corrivazione per ciascun bacino tributario è stato scelto tenendo in considerazione le caratteristiche morfologiche di ciascuno di essi.

Tabella 2. Tempi di corrivazione relativi al bacino idrografico studiato

<b>Tc ScS</b>	3.51
<b>Tc Ventura</b>	2.44
<b>Tc Giandotti</b>	2.84
<b>Tc Pasini</b>	2.83
<b>Tc Vapi</b>	5.70
<b>Tc Viparelli</b>	0.99

Il tempo di corrivazione utilizzato per determinare le portate al colmo è stato quello determinato con il metodo di Viparelli pari a **0.99 ore**.

### **Stima dei parametri della distribuzione TCEV**

Come già detto, per il calcolo dell'altezza di pioggia ci si è riferiti alla curva di possibilità pluviometrica ottenuta sulla base della distribuzione TCEV.

L'altezza di pioggia indice viene espressa secondo la formula:

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

Dove i coefficienti  $a_1$  e  $n_1$  vengono determinati in funzione della pioggia indice giornaliera  $\mu_g$  secondo le relazioni:

$$a_1 = \frac{\mu_g}{0.886 \cdot 24^{n_1}}$$

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

L'altezza di pioggia  $h_T(\tau)$ , ossia di durata  $\tau$  e tempo di ritorno  $T$  si ottiene moltiplicando la pioggia indice  $\mu(\tau)$  per il coefficiente di crescita  $K_T(\tau)$ , ottenendo la relazione:

$$h_T(\tau) = \mu(\tau) \cdot K_T(\tau) = (a_1 \cdot a_2) \cdot \tau^{(n_1+n_2)}$$

Dove i coefficienti  $a_2$  e  $n_2$  variano in funzione del tempo di ritorno e della durata della pioggia secondo le relazioni determinate per ciascuna delle 3 sottozone (SZO) in cui è stato suddiviso il territorio della Sardegna (Figura 4).

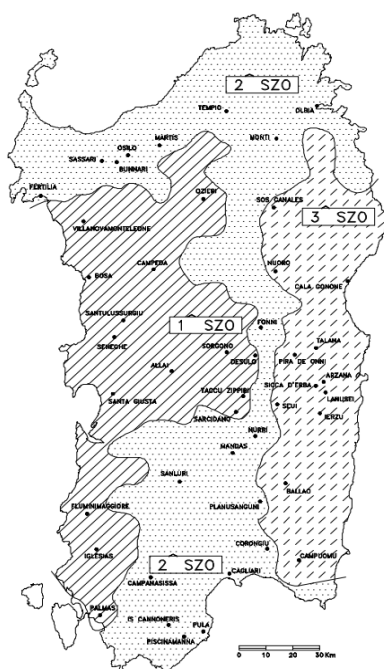


Figura 21. Sottozone Omogenee per piogge breve e intense in Sardegna



Il bacino idrografico analizzato ricade nella **Sottozona Omogenea n. 1**.

Il valore della pioggia indice giornaliera ( $\mu_g$ ) adottato in questo studio, determinato sulla carta delle isoiete (Figura 17), è di **60 mm**.

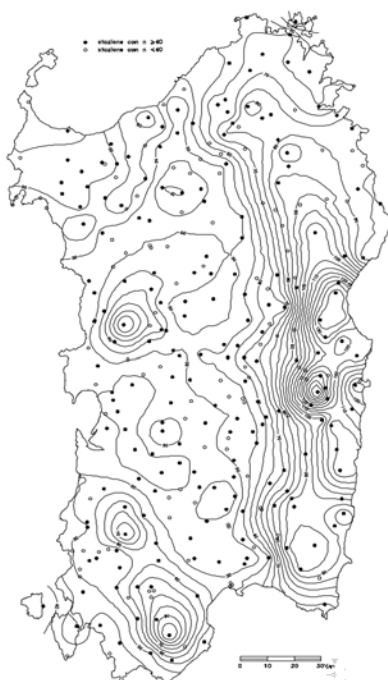


Figura 22. Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna

### **Coefficiente di ragguaglio areale**

Il coefficiente di ragguaglio  $r$  è funzione dell'area del sub-bacino e della durata della pioggia critica. Nel caso in questione si fa riferimento al metodo usato nel VAPI Sardegna, che fa riferimento al Flood Studies Report del Wallingford Institute, secondo cui:

$$r = 1 - (0,0394 \cdot S^{0.354}) \cdot d^{-0,40+0,0208 \cdot \ln(4,6-\ln S)} \quad \text{per } S < 20 \text{ km}^2;$$

$$r = 1 - (0,0394 \cdot S^{0.354}) \cdot d^{-0,40+0,000382 \cdot \ln(4,6-\ln S)} \quad \text{per } S > 20 \text{ km}^2;$$

In via cautelativa per bacini con superficie  $\leq 5 \text{ Km}^2$  si è assunto  $r = 1$ .

### **Coefficiente di afflusso**

Per il calcolo del coefficiente di afflusso  $\Phi$  è stato utilizzato il metodo del Curve Number (CN) sviluppato dal Soil Conservation Service (SCS) basato su una semplificazione concettuale dei processi di infiltrazione e formazione del deflusso. Il deflusso superficiale, rappresentato dalla cumulata di pioggia netta, viene ottenuto decurtando la cumulata di pioggia lorda dalle perdite, costituite dall'infiltrazione e da tutti gli altri termini che non contribuiscono alla formazione della pioggia netta.

Il metodo del CN risulta particolarmente adatto per lo studio delle piene nei piccoli bacini rurali per i quali non esistono osservazioni di deflusso (SCS 1985).

Il metodo viene rappresentato dalla seguente formula:

$$P_n = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a + S)}$$

Dove  $P_n$  rappresenta la pioggia cumulata netta,  $P$  rappresenta l'afflusso cumulato lordo,  $I_a$  le perdite iniziali ed  $S$  il volume specifico in condizioni di saturazione, ossia la quantità d'acqua immagazzinabile nel terreno in condizioni di saturazione, funzione della natura e uso del suolo, della possibilità d'infiltrazione e delle condizioni di umidità antecedenti l'evento meteorico attraverso il parametro del CN.

$S$  e  $I_a$  sono definiti in funzione del parametro CN dalle relazioni:

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

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

L'indice  $CN$ , adimensionale, è un valore compreso tra 0 e 100 (suolo impermeabile) ed è espresso in funzione di questi aspetti:

- Natura del suolo.
- Tipo di copertura vegetale.
- Condizioni di umidità al suolo antecedenti la precipitazione (AMC).
- Stagione di riposo o crescita della vegetazione.

Le informazioni riguardanti l'uso del suolo sono state ricavate dalla "Mappa dell'Uso del Suolo" redatta nel 2003 e aggiornata nel 2008, la quale rappresenta l'uso reale del suolo individuato attraverso la foto-interpretazione.

A parità di precipitazione la risposta del bacino è influenzata dall'umidità del suolo. Il metodo esprime lo stato di saturazione del suolo mediante il parametro AMC (Antecedent Moisture Condition). Si individuano tre classi, AMC I (suolo asciutto), AMC II (condizione media di umidità) e AMC III (suolo umido), in relazione al valore assunto dall'altezza di pioggia caduta nei 5 giorni precedenti l'evento meteorico.

I valori di  $CN$  corrispondenti alle categorie AMC I e AMC III sono stati ricavati dal valore del  $CN$  II corrispondente alla categoria AMC II per mezzo delle relazioni (Chow et al. 1988):

$$CN(I) = \frac{4.2 \cdot CN(II)}{10 - 0.058 \cdot CN(II)}$$
$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0.13 \cdot CN(II)}$$

Nella tabella sotto si riportano i valori del  $CN$  II e del  $CN$  III calcolati per il bacino tributario.

Il calcolo della pioggia netta è stato fatto utilizzando il  $CN$  III, ossia considerando una condizione di umidità

del suolo del tipo AMC III.

Tabella 3. Valori mediati di CN(II) e CN(III) per il bacino idrografico oggetto di studio

CN II	CN III
72.71	85.97

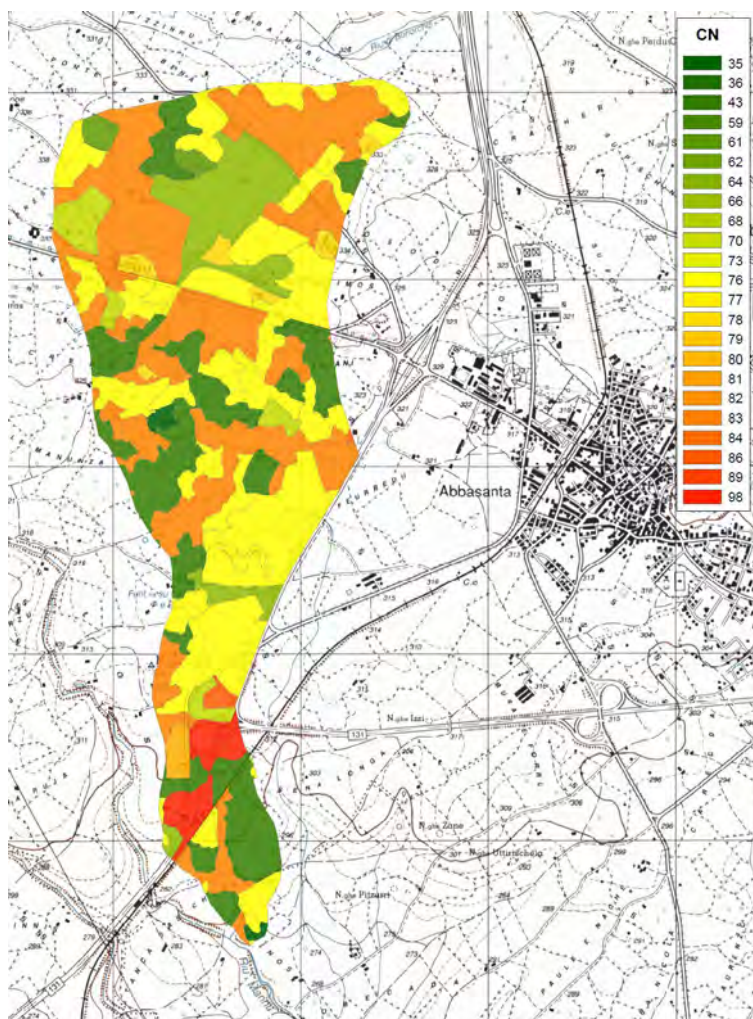


Figura 23. Carta del CN per il bacino idrografico del Fiume 72751

### Coefficiente di laminazione

Il coefficiente di laminazione nel caso dei sub-bacini in questione è stato preso cautelativamente pari alla unità, anche in considerazione del fatto che l'esigua estensione degli stessi comporta fenomeni di laminazione molto limitati.



## Portate di Progetto

Nelle tabelle successive vengono riportate le portate al colmo relative al bacino studiato, valutate con le grandezze idrologiche calcolate nei paragrafi precedenti.

Tabella 4. Portate al colmo determinate nel presente studio relative ai tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni

Q Tr 50	Q Tr 100	Q Tr 200	Q Tr 500
32.83	39.66	46.71	56.30

## Studio idrologico e stima delle portate al colmo studio PAI Comune di Abbasanta

Come precedentemente indicato il Fiume 72751 è stato analizzato nel corso dello “Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta”.

Nella tabella successiva si riassumono i valori dello studio idrologico e i conseguenti valori di portata ottenuti.

TABELLA

10

c

CARATTERISTICHE MORFOMETRICHE

BACINO				ASTA FLUVIALE	
AREA	ALTEZZA CHIUSURA	ALTEZZA MEDIA	PENDENZA MEDIA	LUNGHEZZA	PENDENZA
(Kmq)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)		(Km)	
4.500	279	324	0.0136	5.058	0.0116

PARAMETRI						
CN	AMC III	S	Pa' Sirchia	T C E V media hg	T C E V sotto zona	LOG NORM gruppo
(mm)						
92.7		20.120	0.8	60	1	2

TEMPI DI CORRIVAZIONE

(ore)	
Soil conserv	2.69
Giandotti	2.99
Pasini	2.84
Viparelli	0.94
Ventura	2.51
V A P I	5.78
Kirpich	1.29
VALORE STIMATO	0.94

T. RITORNO	Tf (*)	Tc+Tf (**)
(anni)	(ore)	(ore)
50	0.0893	1.0260
100	0.0778	1.0145
200	0.0689	1.0055
500	0.0598	0.9965

PORTATE DI PIENA

TEMPI DI RITORNO (anni):	50	100	200	500
--------------------------	----	-----	-----	-----

METODI DIRETTI ( analisi regionale)

LOG NORMALE	5.83	7.30	8.97	11.51	(mc/s)
T C E V	12.78	15.52	18.82	22.71	(mc/s)

METODI INDIRETTI

T C E V	34.80	42.19	49.75	59.86	(mc/s)
SIRCHIA	140.58	140.58	140.58	140.58	(mc/s)
SIRCHIA MODIFICATO	108.25	125.12	141.99	164.48	(mc/s)
LOG NORMALE	32.43	37.99	43.73	51.59	(mc/s)
PORTATA DI PROGETTO	34.80	42.19	49.75	59.86	(mc/s)

LIMITI DI VALIDITA'

S\*Hm= 1.5E+09

(deve essere > 5E+09)

S= 4.5

(deve essere > 60Kmq)

Figura 24. Caratteristiche morfometriche e valori di portata del Fiume 72751 ottenuti nello “Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta”

### Portate simulate nel modello idraulico

Le portate determinate nel presente studio risultano avere contributi unitari di portata inferiori a quelli determinati nello “Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta”. Queste risultano leggermente inferiori principalmente per la differenza di CN degli studi, quello dello studio comunale risulta avere infatti un CN(III) AMC pari a 92.7, maggiormente cautelativo, rispetto al valore di 85.97 di questo studio.

Nell’ambito delle elaborazioni nel modello idraulico, ai fini cautelativi, si è deciso di adottare i contributi unitari di portata maggiori, cioè quelli ottenuti nello “Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, Territorio comunale di Abbasanta”.

*Tabella 5. Portate inserite nel modello idraulico per ciascun tempo di ritorno analizzato*

<b>River</b>	<b>Reach</b>	<b>RS</b>	<b>Tr 50</b> <b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Tr 100</b> <b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Tr 200</b> <b>[m<sup>3</sup>/s]</b>	<b>Tr 500</b> <b>[m<sup>3</sup>/s]</b>
FIUME 72751	FIUME 72751	563	34.80	42.19	49.75	59.86

## Studio idraulico

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, 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 pieni corrispondenti ai tempi di ritorno indicati. Le aree interessate da eventi con  $T = 50$  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 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  $T = 100 - 200$ . Ai tempi di ritorno  $T = 500$  corrispondono eventi eccezionali, di notevole rarità e quindi di intensità assai elevata.

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.

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) e del profilo longitudinale (plot profile).

### **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 [ $\text{m}^{-1/3} \text{s}$ ], 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

$$n_c = \left[ \frac{\sum_{i=1}^N (P_i \cdot n_i^{\frac{3}{2}})}{P} \right]^{\frac{2}{3}}$$

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 [ $m/s^2$ ];

$h_m$  = tirante idrico [m];

$A$  = area bagnata della sezione [ $m^2$ ];

$V$  = 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.

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

corsi d'acqua naturali:

- $n = 0,045$ : alveo centrale;
- $n = 0,035$ : aree a ridosso delle sponde.



## Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno di monte sono date dalle portate in ingresso e dalla pendenza media dell'alveo mentre la condizione al contorno di valle assunta è quella coincidente con l'altezza critica.

## Confluenza dei flussi - richiami teorici

Per ogni stato di corrente (lenta, veloce, o regime misto) HEC-RAS può calcolare una soluzione sia nel caso di un tributario che si connette con il corso principale sia nel caso in cui viceversa l'emissario si separi dal corso principale.

**Equazione dell'energia.** Il programma risolve il problema tramite lo standard *step method*. Viene pertanto eseguito un classico calcolo per corrente lenta da valle fino alla sezione più a monte del corso. Da questo punto in poi esegue due calcoli separati per ognuno dei due corsi a monte.

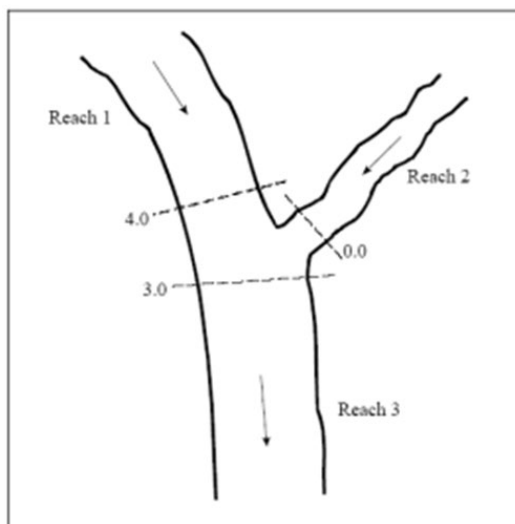


Figura 1. Rappresentazione schematica della confluenza di due flussi

Il profilo della superficie libera alla sezione a valle della confluenza viene calcolato tramite un bilancio di energia dalla sezione a monte. Le perdite per attrito sono basate sulla distanza fra queste due sezioni e sulla pendenza d'attrito media fra di esse. Vengono inoltre calcolate anche le perdite dovute a contrazione o dilatazione dell'alveo. Lo stesso viene fatto per la sezione del tributario.

L'equazione dell'energia è la seguente:

$$WS_4 + \frac{\alpha_4 \cdot V_4^2}{2 \cdot g} = WS_3 + \frac{\alpha_3 \cdot V_3^2}{2 \cdot g} + L_{4-3} \cdot \bar{S}_{f4-3} + C \cdot$$

in cui

$WS$  = quota del pelo libero.

**Equilibrio della quantità di moto.** L'equazione globale della dinamica permette di considerare l'angolo di incidenza dei corsi d'acqua.

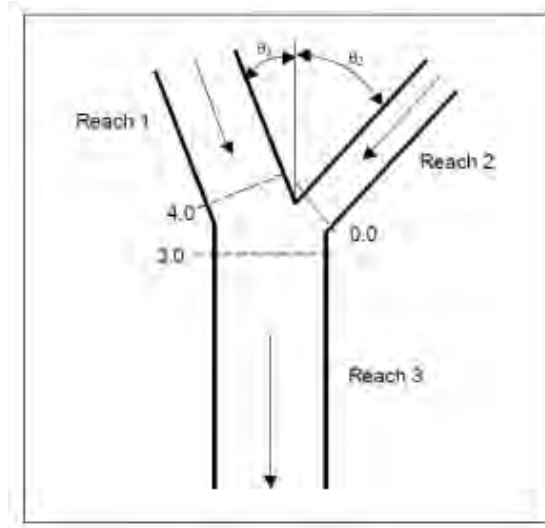


Figura 2. Rappresentazione geometrica della confluenza di due flussi

Nel caso di una combinazione di flussi, l'angolo di incidenza viene calcolato a partire da una linea perpendicolare alla prima sezione del corso d'acqua uscente. Per uno stato di moto in corrente lenta, il livello della superficie libera viene calcolato all'indietro, a partire dalla sezione di valle verso monte, effettuando un bilancio della quantità di moto che calcoli le forze nella direzione del flusso dalla sezione mediante la seguente formula:

$$SF_3 = SF_4 \cdot \cos\vartheta_1 - F_{f4-3} + W_{X4-3} + SF_0 \cdot \cos\vartheta_2 - F_{f0-3} + W_{X0-3}$$

in cui

$SF$  = forza specifica (momento) pari a:

$$SF = \frac{Q^2 \cdot \beta}{g \cdot A} + \overline{AY}.$$

Le forze di attrito e di peso sono calcolate in due parti. Per esempio, fra la sezione 4.0 e 3.0 ci si basa sull'ipotesi che il baricentro della *junction* sia posizionato a metà strada fra le due sezioni. La prima parte delle due forze viene calcolata dalla sezione 4.0 fino al baricentro, usando l'area della sezione 4.0; la seconda parte delle forze è invece calcolata dal baricentro alla sezione 3.0, usando l'area della sezione 3.0.

Per risolvere l'equazione globale della dinamica, si assume che la quota del pelo libero alle sezioni 4.0 e 0.0 sia uguale, ed è calcolata simultaneamente. È una approssimazione notevole, ma è necessaria per risolvere l'equazione precedente. A causa di questo, le sezioni attorno alla *junction* devono essere vicine per minimizzare gli errori dovuti a questa ipotesi. L'area usata alla sezione 3.0 per il calcolo delle forze d'attrito e di peso è distribuita sulle due sezioni a monte usando un peso basato sulla portata. Questo è necessario per evitare di tener conto due volte del volume di flusso e dell'area d'attrito. Quando si calcola un profilo in corrente veloce in questo tipo di *junction*, la quota del pelo libero alle sezioni 4.0 e 0.0 viene calcolata direttamente, e quindi la quota del pelo libero alla sezione 3.0 può essere risolta direttamente dall'equazione del bilancio della quantità di moto.

## Analisi dei risultati

La simulazione idraulica è stata eseguita su una porzione di asta di lunghezza di circa 600 m nel tratto compreso tra la parte terminale della S.S. 131 DCN e l'area a valle della ferrovia che collega Oristano e Macomer. Per la totalità dell'area è stato creato il DTM ottenuto dal rilievo GPS. Gli attraversamenti inseriti nel modello (riportati nell'Allegato C Report delle infrastrutture esistenti di attraversamento) sono:

- A007\_SS\_0012;
- A007\_SS\_0015 e A007\_SS\_0016 (unico attraversamento per entrambe le direzioni di marcia della S.S. 131);
- A007\_SF\_0008.

Nelle simulazioni dello “Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta” l'area del parcheggio della *stazione est* è perimetrata con pericolosità idraulica Hi4, Hi3, Hi2 e Hi1. La definizione del modello digitale del terreno utilizzato per le simulazioni precedenti, avente maglia 10 m, non rileva sulla destra idraulica la presenza della scarpata che delimita il parcheggio dalla sede del Fiume 72751.

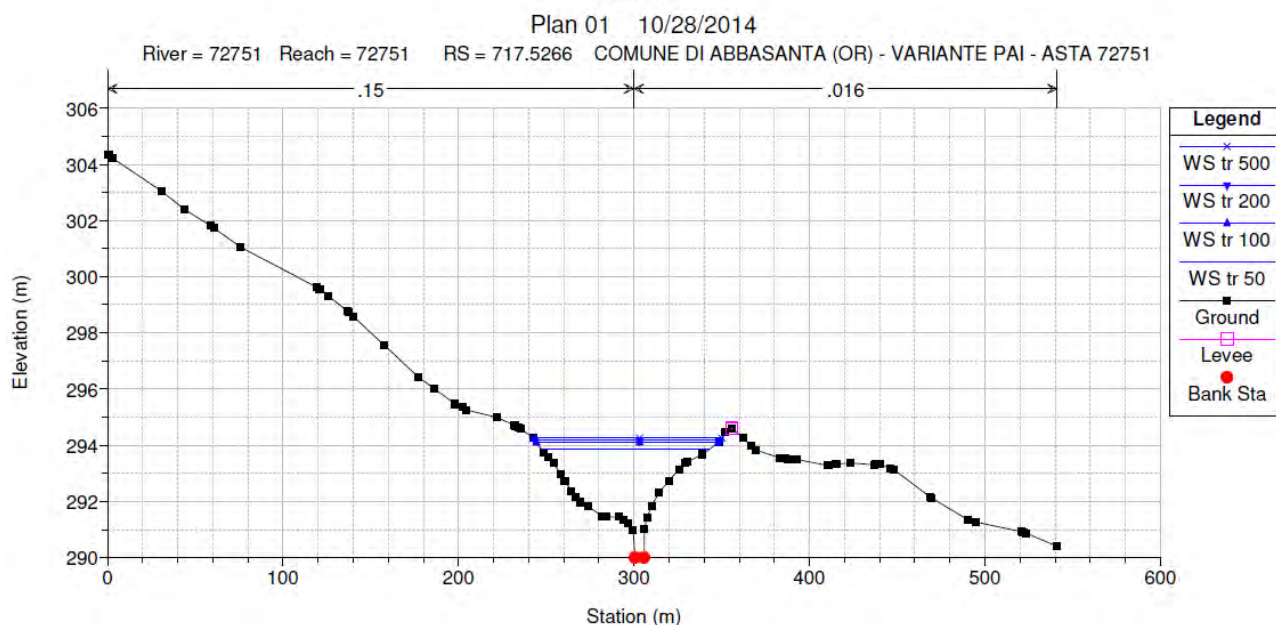


Figura 25. Sezioni a monte dell'attraversamento ferroviario ricavate dalle simulazioni idrauliche dello “Studio di maggiore dettaglio proposta di variante al PAI, territorio comunale di Abbasanta”



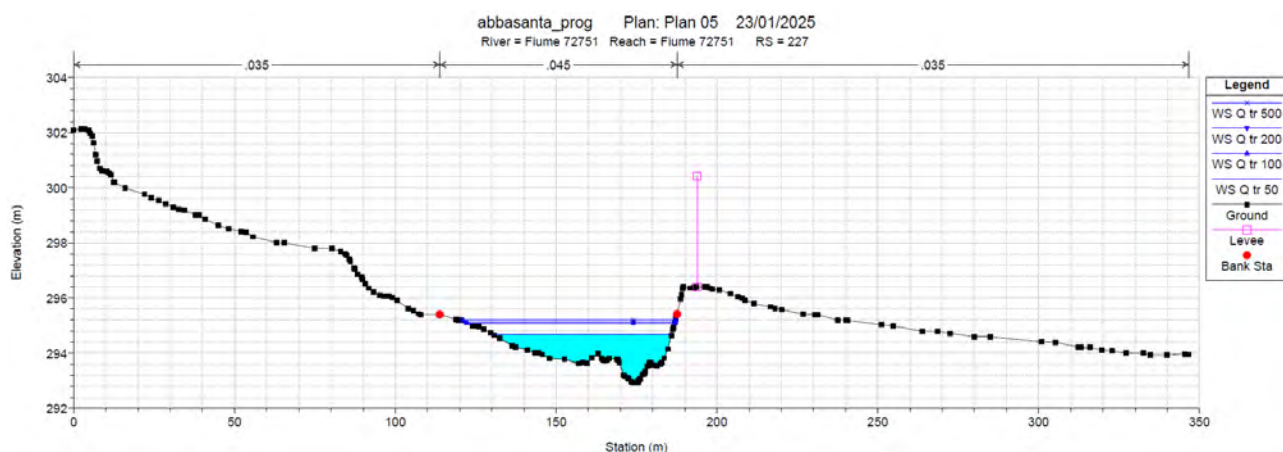


Figura 26. Sezioni a monte dell'attraversamento ferroviario ricavate dalle simulazioni idrauliche del presente studio utilizzando il DTM ricavato dal rilievo GPS

Nelle simulazioni di questo studio si sono analizzate con maggiore dettaglio le quote del terreno nei pressi delle stazioni di servizio. Le simulazioni generano aree di perimetrazione simili, eccetto per la porzione del Fiume 72751 che scorre nelle vicinanze del parcheggio della *stazione est*. In questa area il rilievo mostra che le portate scorrono alla base della scarpata che delimita il parcheggio della *stazione est*, sulla destra idraulica, e il volume di portata liquida che si accumula a causa del rigurgito sull'attraversamento ferroviario si espande lungo la sponda sinistra del corso d'acqua in aree a quota inferiore rispetto a quelle del parcheggio (Figura 26 e Figura 28).

Per consultare nel dettaglio i principali parametri definiti dal programma di simulazione si rimanda al report idraulico allegato allo studio. Le portate di input dei modelli sono quelle riportate nella relazione idrologica e negli allegati alla relazione idraulica, mentre come condizione al contorno è stata scelta l'altezza di moto uniforme, inserita in sezioni sufficientemente lontane dal tratto fluviale d'interesse, al fine di non influenzarne in maniera rilevante i risultati.



*Figura 27. Perimetrazione vigente*



*Figura 28. Perimetrazione del Fiume 72751 ottenuta in questo studio*



## Perimetrazioni aree a rischio idraulico

### Premessa

Dopo aver calcolato le portate di piena per i 4 tempi di ritorno previsti dal PAI si è definita la perimetrazione delle aree a rischio idraulico. Il rischio idraulico nasce dall'intersezione delle aree pericolose con gli elementi a rischio presenti, intersecando le mappe della pericolosità idraulica con quelle degli elementi a rischio presenti si ottengono le carte del rischio totale.

### Calcolo aree a rischio idraulico

Il rischio idraulico è dato dal prodotto dei tre fattori:

$$R_i = H_i \cdot E \cdot V$$

dove:

- $R_i$  = rischio idraulico;
- $H_i$  = pericolosità idraulica;
- $E$  = elementi a rischio;
- $V$  = vulnerabilità.

Rischio idraulico totale			Descrizione degli effetti
Classe	Intensità	Valore	
R <sub>i1</sub>	Moderato	≤ 0,002	danni sociali, economici e al patrimonio ambientale marginali
R <sub>i2</sub>	Medio	≤ 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 <sub>i3</sub>	Elevato	≤ 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 <sub>i4</sub>	Molto elevato	≤ 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

Figura 29. Descrizione delle classi di rischio idraulico secondo il PAI e quantificazione

La vulnerabilità è intesa come la capacità di resistere alle sollecitazioni indotte dall'evento e quindi il grado di perdita atteso per gli elementi a rischio E, in caso di manifestazione del fenomeno.

Nella presente variante a tutti gli elementi a rischio viene attribuito un valore unitario.

Classi	Peso	Elementi
<b>E4</b>	1.00	Centri urbani ed aree urbanizzate con continuità; 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 rifiuti speciali o tossici nocivi; zona alberghiera, zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici, artistici.
<b>E3</b>	0.75	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 di cava.
<b>E2</b>	0.50	Aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane poco abitate, edifici sparsi. Zona agricola generica (con possibilità di edificazione), zone di protezione ambientale rispetto, verde privato; Parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie.
<b>E1</b>	0.25	Aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificabile e/o edificabile.

Figura 30. Classificazione degli elementi a rischio e attribuzione del relativo peso (PAI)

La metodologia impiegata per la definizione del rischio idraulico può essere riassunta con la matrice che segue in cui, per la definizione del rischio idraulico si associa il grado di rischio (E) e il grado di pericolosità (H<sub>i</sub>).

Tabella 6. Matrice di valutazione del rischio idraulico

	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
E <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>1</sub>
E <sub>2</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>
E <sub>3</sub>	R <sub>1</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>
E <sub>4</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>

Gli elementi a rischio sono definiti con esattezza nelle Linee Guida del PAI.

Nella carta degli elementi a rischio della Regione Sardegna sono rappresentati tutti gli elementi nei quali è ipotizzabile una qualche forma di danno per:

- L'incolumità delle persone.
- Gli agglomerati urbani comprese le zone di espansione urbanistica.

- Le aree su cui insistono insediamenti produttivi, impianti tecnologici di rilievo (distributori di benzina, serbatoi di gas), in particolare quelli definiti a rischio rilevante ai sensi di legge.
- Le infrastrutture a rete (reti distribuzione idrica, energetica, telefonica; reti di fognatura; reti di trasporto urbano).
- Le vie di comunicazione di rilevanza strategica anche a livello locale.
- Il patrimonio ambientale e i beni culturali, storici, architettonici d'interesse rilevante; le aree sede di servizi pubblici (strutture di soccorso - ospedali, vigili del fuoco) e privati.
- Gli impianti sportivi e ricreativi; le strutture ricettive; le infrastrutture primarie.

**La carta degli elementi a rischio è stata aggiornata inserendo la struttura della stazione di servizio est.**



## Conclusioni

La presente proposta di variante è motivata dallo studio di dettaglio delle quote del terreno in corrispondenza delle stazioni di servizio e dalla diversa perimetrazione che ne consegue.

Le simulazioni, ottenute mediante l'impiego del software HEC-RAS in condizioni di moto permanente, hanno generato aree di perimetrazione simili a quelle tracciate negli studi precedenti. Le aree di pericolosità idraulica variano esclusivamente in corrispondenza della *stazione est* poiché la presenza della scarpata che delimita il parcheggio non permette l'esondazione con portate aventi tempo di ritorno pari a 50, 100 e 200 anni. Pertanto l'area di servizio della *stazione est* sarà caratterizzata esclusivamente dalla pericolosità idraulica Hi1.

Per quanto riguarda le condizioni di sicurezza dei corsi d'acqua e delle opere interferenti si riscontrano evidenti fenomeni di degrado del fondo cementato delle opere di attraversamento sulla S.S. 131 e in quello ferroviario (tratto che collega Oristano e Macomer) a valle. Le strutture dell'attraversamento sulla S.S. 131 risultano inoltre prive di copriferro in alcuni tratti della campata.

Nel corso dei sopralluoghi effettuati sono stati rilevati problemi di trasporto solido principalmente in corrispondenza degli attraversamenti poiché il materiale trasportato dalla corrente tende a depositarsi dove le velocità della corrente sono inferiori, quindi nei tratti pianeggianti o in prossimità di ostacoli al deflusso, quali restringimenti o sezioni a monte degli attraversamenti.

Si segnala la presenza di vegetazione e alberi ad alto fusto in tutta la sezione del fiume e anche in corrispondenza degli attraversamenti. La pulizia degli alvei è necessaria perché favorisce un corretto deflusso della portata liquida e la riduzione della possibilità di ostruzione in particolari sezioni critiche.

Il principale elemento potenzialmente a rischio nell'area rimangono le infrastrutture viarie e ferroviarie, in questo studio gli attraversamenti non sono stati verificati secondo la direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti (art. 22 delle N.A. del PAI).

Fondamentale risulta il monitoraggio di possibili erosioni del terreno o di accumuli di sedimenti. A causa dei sempre più frequenti eventi meteorici estremi è consigliabile inoltre una programmazione degli interventi di manutenzione finalizzati principalmente alla pulizia degli alvei e alla verifica, strutturale e idraulica, delle strutture di attraversamento.