



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



COMUNE DI SASSARI

**Verifiche di sicurezza idraulica delle opere
interferenti con il reticolo idrografico
ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI**

DATA: Dicembre 2021	SCALA:	REV: 0	ALLEGATO:
ELABORATO: RELAZIONE GENERALE			A
TECNICO INCARICATO: Dott. Ing. Alessia Vargiu  ORDINE INGEGNERI PROVINCIA CAGLIARI N. 3934 Dott. Ing. ALESSIA VARGIU			COLLABORATORI: Dott. Ing. Michela Cardia Geom. Luisa Antonetti
DIRIGENTE SETTORE PIANIFICAZIONE TERRITORIALE, PAESAGGIO E SVILUPPO TURISTICO Dott. Ing. Giovanni Antonio Pisoni			

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

Sommario

1	INTRODUZIONE	2
2	ASPETTI METODOLOGICI GENERALI	3
3	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO	5
3.1	Inquadramento geografico.....	5
3.2	Rilievi geomorfologici e Cartografici	6
4	RILIEVI DI DETTAGLIO	7
4.1	Rilievi topografici.....	7
5	ANALISI DEI BACINI IDROGRAFICI E METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE PORTATE.....	9
5.1	Premessa	9
5.2	Calcolo Dell'altezza Di Pioggia	9
5.3	Calcolo delle portate di piena	11
5.4	METODOLOGIA DI ANALISI IDRAULICA	19
6	VERIFICA DEI FRANCHI DI SICUREZZA E CALCOLO DELLA PORTATA CRITICA	22
7	SINTESI DELLE CRITICITA' INDIVIDUATE	22

1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra la metodologia di lavoro e le elaborazioni svolte nell'ambito delle Verifiche di sicurezza idraulica degli attraversamenti interferenti con il reticolo idrografico comunale, in particolare le Strade comunali presenti nel territorio comunale di Sassari.

Il lavoro è stato sviluppato nel rispetto della specifica Direttiva emanata dall'Autorità di Bacino regionale nell'Ottobre 2017 dal titolo *“Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario e ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna nonché delle altre opere interferenti”*, con particolare riferimento agli articoli 3, 4 e 5 che indicano le modalità di verifica e i criteri di scelta della portata e del tempo di ritorno critici e le condizioni di esercizio transitorio.

Il lavoro ha comportato la realizzazione di uno studio idrologico e idraulico di dettaglio per ciascun attraversamento con superficie del bacino a monte superiore a 0.50 km^2 e portata superiore a $10 \text{ m}^3/\text{s}$, dal quale ricavare le portate per i tempi di ritorno previsti dal PAI pari a 50, 100, 200 e 500 anni e la portata cosiddetta “critica” ovvero quella a partire dalla quale non è più garantito il 50 % del franco di sicurezza calcolato come previsto dall'art. 21 delle N.A. del PAI. Ciascun corso d'acqua attraversato dall'infrastruttura in esame è stato studiato per uno sviluppo di circa 1 km, (circa 500 m a monte e 500 m a valle) e comunque in generale per una lunghezza sufficiente allo stabilirsi delle condizioni di deflusso indisturbate a monte e a valle del manufatto oggetto di verifica.

Il lavoro svolto ha consentito di individuare gli attraversamenti idraulicamente “sicuri”, ovvero quelli che sono in grado di esitare la portata con Tr 200 anni nel rispetto del franco idraulico calcolato ai sensi dell'art. 21 delle N.A. del PAI e quelli “non sicuri” rispetto a tali soglie per i quali tuttavia la Direttiva stabilisce di definire la portata critica e il tempo di ritorno ad essa associato accettando una riduzione del franco del 50%; tra essi, al fine di fornire all'Amministrazione comunale di Sassari una scala di priorità nella valutazione delle criticità e delle emergenze, si è scelto di definire 4 classi individuate come da tabella e figura seguente, indicate coerentemente nelle tavole grafiche.

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE



Figura 1–fasce di sicurezza/criticità a seguito di verifiche idrauliche

Nel lavoro inoltre è stata operata la distinzione tra i manufatti di attraversamento effettivamente dotati di geometria e caratteristiche costitutive tali da richiedere una verifica idraulica e semplici guadi, ovvero intersezioni con il reticolo idrografico della viabilità rurale o comunale secondaria, tuttavia prive di opere sopraelevate rispetto al corpo idrico.

2 ASPETTI METODOLOGICI GENERALI

Le analisi delle pericolosità idrauliche sono state predisposte analogamente a quanto stabilito dal D.P.C.M. 29/9/1998 (Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del D.L. 11/6/1998, n. 180) e dalle "Linee Guida per l'attività di individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e relative misure di salvaguardia" del PAI, anche per quanto attiene l'aggiornamento e/o l'adeguamento delle perimetrazioni delle stesse aree a pericolosità idraulica.

Le criticità che sono state individuate nel presente studio suggeriscono *in primis* le seguenti constatazioni e i comportamenti da adottare, di cui in premessa si propone un accenno rimandando alle conclusioni per lo sviluppo completo:

- l'importanza **dell'acquisizione della conoscenza** effettiva delle condizioni di giacitura e funzionalità dei canali naturali e delle infrastrutture che con essi interferiscono, in particolare nelle porzioni di territorio edificato dotato di infrastrutture, creando nella maggior parte dei casi le condizioni di pericolo; in tal senso è importante la predisposizione del **catasto degli attraversamenti stradali in alveo e delle opere idrauliche** coinvolte nelle dinamiche evolutive delle acque superficiali in condizioni di piena, individuandone i limiti di esercizio e programmandone l'adeguamento; le **schede monografiche** predisposte nel presente lavoro vanno incontro a tale importante obiettivo;
- l'urgenza **di costituire una mappa delle aree di allagamento** conseguenti ad eventi

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

meteorici significativi, da tenere presente in sede di **aggiornamento e redazione** degli strumenti di pianificazione comunale e territoriale in genere; il presente lavoro costituisce in tal senso un passaggio importante, i cui risultati saranno recepiti formalmente nell'ambito dell'adeguamento degli strumenti urbanistici comunali al PAI e avranno ricadute positive anche nel medio e lungo termine;

- il costante **aggiornamento** della cartografia delle aree di allagamento a seguito dell'attuazione di interventi di mitigazione del rischio o di realizzazione di interventi di nuova costruzione o manutenzione che possano interferire con gli equilibri naturali della componente fluviale.

Le attività svolte nel presente studio per la porzione di territorio esaminata, sono riassunte nel seguente elenco:

- analisi geografica e geomorfologica;
- rilievi topografici;
- rilievo dell'uso del suolo e della vegetazione;
- analisi idrologica;
- analisi idraulica;
- delimitazione delle aree di esondazione a pericolosità idraulica.

Il lavoro è costituito, oltre che dalla presente Relazione Generale, dalle tabelle riepilogative dei calcoli idrologici, dalle Simulazioni Idrauliche in Moto Permanente, contenenti i profili longitudinali, le sezioni trasversali dei corpi idrici in presenza delle correnti studiate e i relativi tabulati numerici, dalle schede di verifica di sicurezza. In una fase di lavoro successiva potranno essere aggiornate le **Carte della Pericolosità idraulica**, le **Carte del Danno Potenziale**, le **Carte del Rischio Idraulico** e le **Schede di Mitigazione del rischio**, rispetto a quelle contenute nella Variante del PAI recentemente approvata.

Sono stati studiati **71 corpi idrici** raggruppati in **63 modelli matematici**; sono state valutate le portate **di 140 bacini idrografici**.

Sono stati considerati tutti gli attraversamenti derivanti dall'intersezione della viabilità comunale con il reticolo idrografico ufficiale e con quello riportato nella Cartografia IGM; a seguito dei rilievi in campo e delle verifiche sulle dimensioni dei bacini idrografici sottesi, in ottemperanza all'Art. 3 delle Direttive, sono stati sottoposti a Verifica di sicurezza idraulica soltanto quelli che rientrassero nelle seguenti condizioni:

- avessero bacino contribuente a monte superiore a 0.5 km² o portata superiore a 10 m³/s;

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

- non fossero semplici guadi (assenza di manufatto da verificare)
- non fossero all'interno di proprietà private
- non fossero semplici cavalcavasi (cunette stradali).

Inoltre non sono state effettuate le verifiche idrologiche e idrauliche per i semplici guadi (intersezioni prive di manufatto sopraelevato) e quelle relative a intersezioni ricadenti in aree private.

3 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO E CARTOGRAFICO

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

La zona in studio è rappresentata dall'intero territorio comunale di Sassari, che occupa la porzione nord-occidentale della Sardegna, per un'estensione di circa 546,1 km²; il territorio confina con vari comuni della Provincia di Sassari: Stintino, porto Torres, Sorso, Sennori, Osilo, Muros, Cargeghe, Tissi, Usini, Uri, Olmedo, Alghero.

Dal punto di vista della suddivisione in bacini idrografici del territorio regionale, l'area in esame ricade all'interno del sub-bacino idrografico n. 03Coghinas-Mannu-Temo.

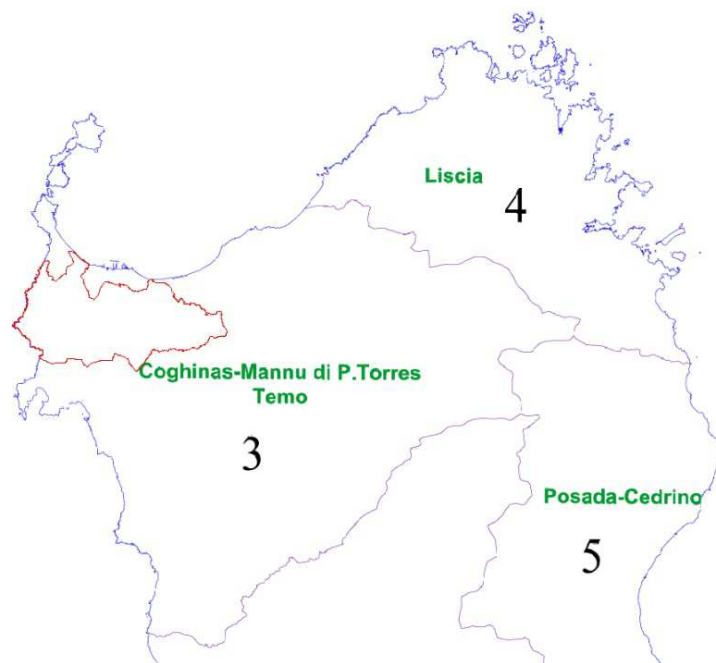


Figura 2–stralcio carta dei Sub-bacini idrografici definiti dal PAI – in evidenza il territorio di Sassari

I corsi d'acqua studiati sono individuati nella Cartografia dell'I.G.M. in scala 1:25.000 nelle tavolette nn. 458-459-440-441, mentre nella Cartografia Tecnica Regionale (C.T.R.) con rilievo

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

aerofotogrammetrico in scala 1:10.000 ricadono in numerose tavole, come individuabile nella figura seguente.

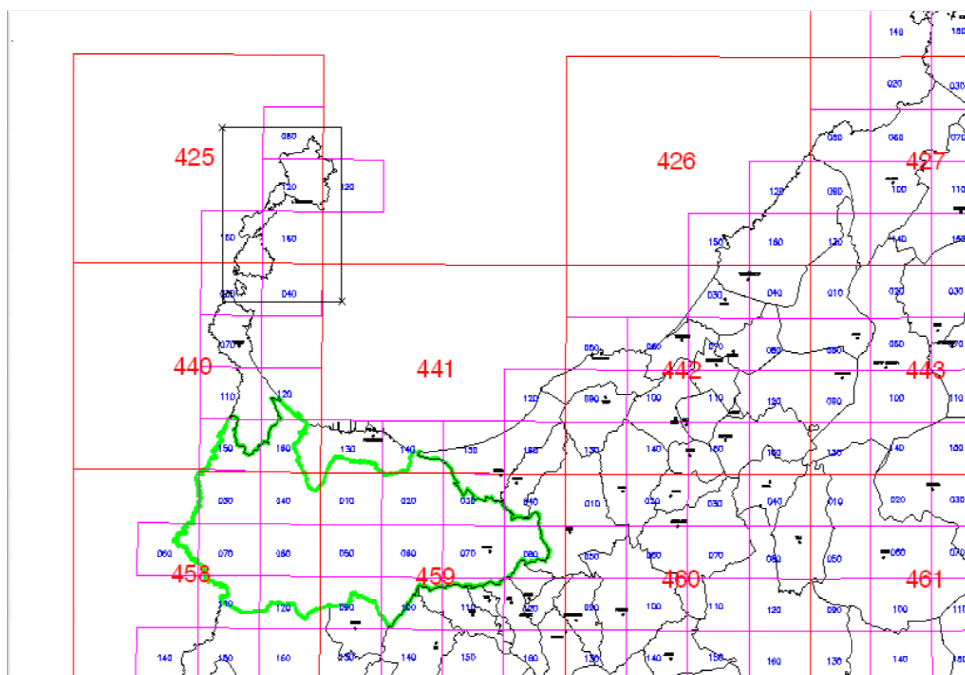


Figura 3—stralcio Quadro di Unione della Carta Tecnica Regionale (in verde il confine comunale di Sassari)

3.2 RILIEVI GEOMORFOLOGICI E CARTOGRAFICI

Gli elementi cartografici utilizzati sono costituiti da:

- Carta Tecnica Regionale in formato vettoriale 3D in scala 1:10.000;
- Cartografia aerofotogrammetrica in formato vettoriale 3D in scala 1:2.000 fornita dall'Amministrazione comunale, ove disponibile;
- Modello digitale del terreno (DTM) presente nel portale cartografico della Regione Sardegna con precisione di 1.00 m, ove disponibile;
- Ortofoto aggiornate all'anno 2019;
- Carta di uso del suolo della Regione Sardegna aggiornata all'anno 2019 disponibile nel sito ufficiale.

Per l'individuazione delle aste fluviali è stato utilizzato il layer del database multiprecisione della Regione Sardegna (DBG10K - elemento idrico), confrontato con i riscontri in campo e con le altre cartografie disponibili. Tra tali elementi sono inclusi prevalentemente i corsi d'acqua naturali ma anche canali artificiali a cielo aperto o non, rilevanti per le potenzialità di trasporto in caso di piena.

Validi riferimenti cartografici sono stati inoltre forniti dallo strumento di consultazione via web dai portali di Google Earth e Bing Maps che, pur non essendo estraibili georeferenziati, sono stati

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

integrati negli strumenti GIS di supporto alle attività di rilievo, fornendo la rappresentazione a colori dell'area di studio in momenti successivi e contribuendo a risolvere alcuni dubbi interpretativi.

La base di dati necessaria per la costruzione del modello matematico del terreno è stata integrata con rilievi topografici in campo, descritti al paragrafo seguente.

Dal complesso della base dati predisposta, sono state acquisite le geometrie planimetriche riferibili ai seguenti elementi che caratterizzano l'alveo:

- **alveo attivo**, inteso come porzione di territorio sede del transito della portata di magra;
- **sponde dell'alveo attivo** intese come tracce lineari indicanti il limite esterno dell'alveo attivo;
- **alveo a piene rive** inteso come porzione di territorio sede del transito della piena ordinaria;
- opere idrauliche di difesa sia longitudinali che trasversali;
- opere idrauliche di contenimento dei livelli (argini, muri);
- opere di attraversamento e relativi rilevato di accesso;
- infrastrutture o elementi in rilevato paralleli o interferenti con il corso d'acqua;
- aree di sistemazione fluviale.

Gli elementi territoriali quali curve di livello e punti di quota, nonché le principali linee infrastrutturali, sono stati utilizzati per la costituzione del Modello Digitale del Terreno (DTM) con celle di base di forma quadrata di lato 10 metri in funzione del livello di dettaglio necessario, utile per la delimitazione dei bacini idrografici e la descrizione delle diverse componenti territoriali che influiscono nel processo di trasformazione afflussi-deflussi.

Per la costruzione dei modelli matematici dei corsi d'acqua utilizzati nelle simulazioni, sono stati costruiti DTM con celle quadrate di lato 2 - 3 m.

4 RILIEVI DI DETTAGLIO

4.1 RILIEVI TOPOGRAFICI

I livelli informativi conseguiti con le elaborazioni digitali sono stati integrati con le attività di rilevamento in campo, sviluppate prevalentemente in corrispondenza di singolarità quali:

- attraversamenti stradali o pedonali;
- luci di passaggio e tombinature di vario genere;
- arginature e opere di difesa longitudinali;
- rilevati trasversali alla corrente;
- manufatti o fabbricati in alveo o in prossimità di esso;

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

- tratti del corso d'acqua particolarmente incogniti o poco definiti dalla cartografia digitale disponibile;
- elementi materiali non segnalati nella cartografia disponibile ma presenti e influenti nella dinamica evolutiva del corso d'acqua.

Le attività di rilevamento in campo sono state effettuate prevalentemente mediante l'utilizzo di ricevitore mobile GPS, in grado di connettersi tramite linea GSM alla Rete di Stazioni Permanenti GNSS (Global Navigation Satellite System) della società TopCon, distribuite sul territorio della Sardegna; in alcuni casi, ove non è stato possibile disporre di una ricezione satellitare adeguata, è stata impiegata una stazione totale TopCon GTS-226.

Le misure locali dei manufatti sono state effettuate con l'ausilio di distanziometri laser Leica e con strumenti tradizionali.

Il rilievo in campo è stato indispensabile nella costruzione dei modelli matematici delle aste fluviali per compensare le accennate lacune insite nella cartografia aerofotogrammetrica in particolare per quanto attiene i seguenti elementi:

- parti di alveo maggiormente incise e scarsamente definite;
- parti di alveo pianeggianti ed estese le cui variazioni altimetriche non sono individuate;
- manufatti di attraversamento stradale e acquedottistici;
- tombinature di vario genere.

I sopralluoghi in campo hanno consentito di risolvere i dubbi interpretativi soprattutto laddove interventi artificiali sul corso d'acqua e l'influenza delle infrastrutture hanno agito in maniera determinante nel condizionamento dei deflussi in piena.

Le opere di attraversamento e le opere idrauliche rilevate sono descritte nelle schede monografiche, che contengono per ciascun attraversamento rilevato l'ubicazione geografica tramite foto satellitare, l'individuazione nell'asta principale, la descrizione della geometria e delle caratteristiche costitutive e le immagini fotografiche. Le schede sono redatte nel formato indicato dalla Direttiva regionale e includono le informazioni geomorfologiche dell'alveo in corrispondenza dell'attraversamento, i parametri e dati idrologici, i dati idraulici conseguenti alle simulazioni in moto permanente.

5 ANALISI DEI BACINI IDROGRAFICI E METODOLOGIA DI CALCOLO DELLE PORTATE

5.1 PREMESSA

Per ciascun bacino o sottobacino studiato, è stato elaborato lo studio idrologico finalizzato alla valutazione delle portate di piena per i tempi di ritorno previsti dal PAI, ovvero: 50-100-200-500 anni.

Il lavoro è stato sviluppato in conformità alle prescrizioni delle Linee Guida del PAI e con l'utilizzo di elaborazioni numeriche in ambiente GIS per la descrizione ed interazione delle diverse componenti territoriali coinvolte nel processo di trasformazione afflussi-deflussi.

Per ciascun elemento studiato, sono state elaborate le seguenti fasi di lavoro:

- Predisposizione della cartografica numerica e redazione del Modello Digitale delle quote (DEM);
- Individuazione dei bacini idrografici e del reticolo superficiale;
- Implementazione delle componenti geolitologiche, pedologiche e di uso del suolo; redazione della carte tematiche;
- Attribuzione dei coefficienti CN (Curve Number) necessari per determinare il grado di permeabilità delle superfici contribuenti;
- Calcolo dell'altezza di pioggia che dà origine alle portate superficiali;
- Valutazione del tempo di corrivazione e calcolo delle portate di piena.

5.2 CALCOLO DELL'ALTEZZA DI PIOGGIA

L'intensità di precipitazione $i(t, T)$, che determina la massima portata di piena (intensità critica) è stata valutata in funzione della curva di possibilità pluviometrica che esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione t , per un assegnato tempo di ritorno T .

Tale curva ha come espressione matematica:

$$h = i \cdot t = a \cdot t^n$$

Per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica è stato adottato il modello probabilistico TCEV, che ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche per la Sardegna¹.

La procedura richiede di individuare:

¹Deidda R., Piga E., Sechi G., *Confronto tra alcuni modelli regionali per la valutazione della pioggia indice*. D.I.T., Quaderni di ricerca, n. 13, Cagliari, 1997.

COMUNE DI SASSARI

Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI RELAZIONE GENERALE

- le sottozone omogenee, per i bacini in esame risultano essere le seguenti:
 - o SZO 2 per tutti i bacini
- la pioggia indice giornaliera μ_g per l'area in esame risulta essere:
 - o ≥ 50 mm
- i tempi di ritorno sono minori di un ora per i bacini più piccoli ($\tau < 1$)
- per tutti gli altri bacini i tempi di ritorno sono maggiori di un ora ($\tau > 1$)

L'altezza di pioggia h di durata t con assegnato tempo di ritorno T in anni si ottiene dalla formula:

$$h(t) = (a_1 a_2) t^{(n_1 + n_2)}$$

dove i coefficienti a_1 , a_2 , n_1 e n_2 si determinano con le relazioni differenti, indicate nella metodologia ufficiale del P.A.I. della Regione Sardegna, con differenti parametri dipendenti dalla sottozona in cui ricadono i singoli sub-bacini idrografici analizzati (SZO 1 e SZO 2).

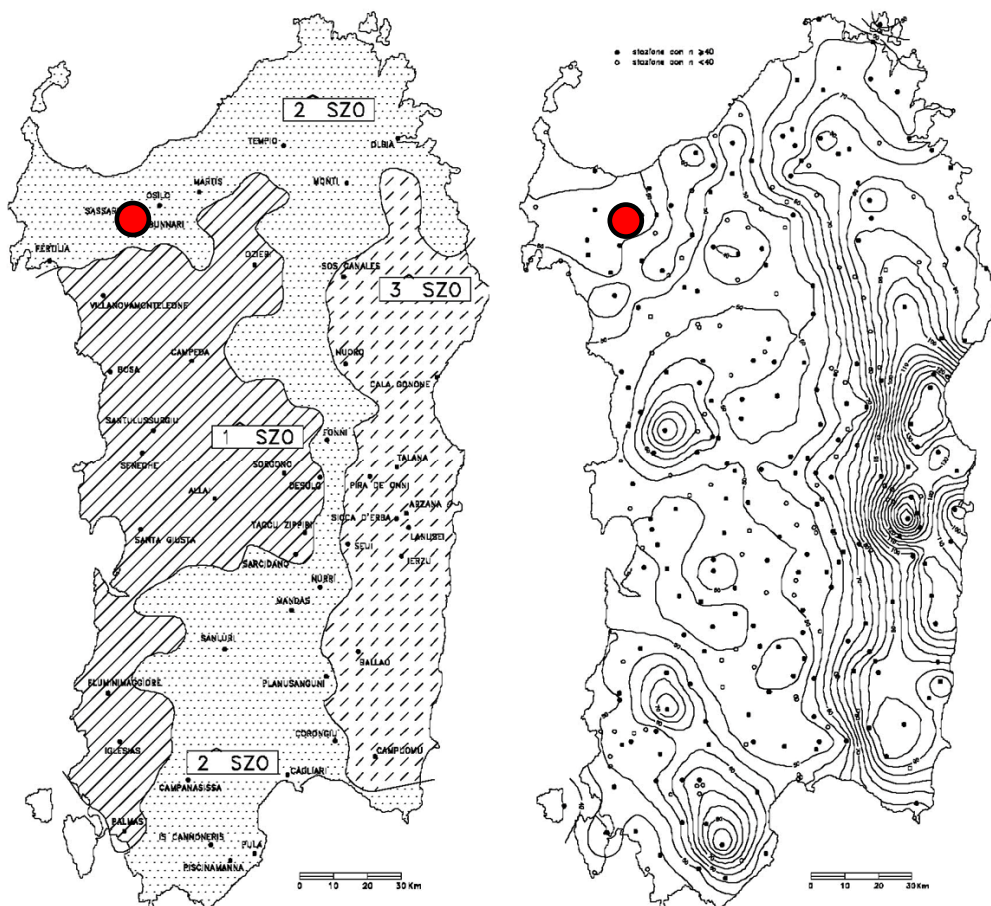


Figura 4 - carta delle sottozone (a sinistra) e delle isoiete (a destra); in rosso le zone di interesse

5.3 CALCOLO DELLE PORTATE DI PIENA

Le portate al colmo nelle sezioni di chiusura dei differenti sottobacini sono state valutate sulla base di quanto indicato nelle "Linee guida per l'attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia" del PAI. Data la mancanza di valori di portata osservati, la stima della portata di piena è stata determinata attraverso la metodologia indiretta (Formula Razionale) per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Col metodo indiretto noto come Formula Razionale la portata di piena è espressa dal prodotto tra l'intensità di precipitazione, i , di assegnata durata t e periodo di ritorno T , il coefficiente di assorbimento Φ , la superficie del bacino A e il coefficiente di laminazione ε :

$$Q = \varepsilon \Phi i A$$

In accordo con le suddette linee guida è stato calcolato il coefficiente di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino secondo le formule:

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

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

Tuttavia nella scelta delle portate da utilizzare per le simulazioni, considerata la modesta superficie dei bacini idrografici in esame, si è preferito non adottare la riduzione dovuta al ragguaglio all'area.

Il metodo prevede il calcolo dell'intensità di precipitazione i per una durata pari al tempo di corrivazione t_c .

Il tempo di corrivazione è stato valutato attraverso un confronto critico tra i risultati delle formulazioni riportate nella Tabella 2 seguente.

La formula SCS richiede la valutazione del parametro di assorbimento CN (curve number). I valori di questo parametro sono stati determinati per le sezioni idrologiche d'interesse facendo riferimento alla metodologia SCS-CN in funzione della tipologia pedologica e di uso del suolo del bacino in esame. Operando a favore di sicurezza, si è scelta la classe di uso del suolo "D" con il più alto potenziale di scorrimento e una bassissima capacità di infiltrazione.

Al fine di ricavare il Curve Number medio di ciascun sottobacino si è effettuata l'analisi della carta dell'uso del suolo della regione Sardegna pubblicata nell'anno 2008 e reperita presso il sito comprendete la cartografia ufficiale della regione Sardegna <http://sardegna.territorio.it>.

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

La vegetazione, o l'uso del suolo in senso lato, esercita una grande influenza sui processi idrologici analizzati alla scala di bacino: da essa dipendono i volumi di precipitazione intercettati e quelli evapotraspirati, ed essa stessa è un fattore primario nella determinazione del comportamento idrologico e idraulico degli strati di suolo più superficiali, soprattutto in relazione alla conducibilità idrica o permeabilità. La disponibilità di una carta dell'uso del suolo che sia la più accurata possibile si rivela, quindi, fondamentale ai fini di fornire adeguati input ai modelli di previsione idrologica.

La stesura della carta d'uso del suolo è avvenuta principalmente attraverso due fasi: l'individuazione delle classi di vegetazione secondo la classificazione CORINE (*COoRdination of INformation on Environment*) e la verifica della perimetrazione delle stesse su cartografia digitale. All'interno delle classi d'uso del suolo sono state incluse le tipologie di vegetazione che potessero avere caratteristiche il più possibile omogenee: occorre comunque considerare che, nella definizione di classe, si è tenuto conto solo parzialmente dei criteri botanici, mentre si è data maggior enfasi alle influenze della vegetazione sul ciclo idrologico, sia in termini di volume di pioggia intercettati, sia in termini di indici di scabrezza.

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

Tabella 1 - Formule per il calcolo dei tempi di corrivazione

SCS	$t_c = 1.67 \cdot \frac{100L^{0.8} \cdot [(1000/CN) - 9]^{0.7}}{1900 \cdot \sqrt{i_b}}$ <i>L = lunghezza asta principale in piedi. i_b = pendenza media del bacino in %. CN = curve number</i>	[minuti]
GIANDOTTI	$t_c = \frac{4 \cdot \sqrt{A} + 15 \cdot L}{0.8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}}$ <i>H₀ = quota sez. chiusura in m. H_m = quota media del bacino in m A = area del bacino in Km². L = lunghezza asta principale in Km</i>	[Ore]
PASINI	$t_c = 0.108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{J_m}}$ <i>A = area del bacino in Km². L = lunghezza asta principale in Km. J_m = pendenza media del reticolo idrografico</i>	[Ore]
VAPI	$t_c = 0.212 \cdot A^{0.231} \cdot \left(\frac{H_m - H_0}{J_m} \right)^{0.289}$ <i>A = area del bac in Km². J_m = pend. media del reticolo idrografico H₀ = quota sezione chiusura. H_m = quota media del bacino</i>	[Ore]
KIRPICH	$t_c = 0.000325 \cdot L^{0.77} \cdot i_b^{-0.385}$ <i>L = lunghezza asta principale in piedi. i_b = pendenza media del bacino in %.</i>	[Ore]
VIPARELLI	$t_c = \frac{L}{3600 \cdot v_m}$ <i>L = lunghezza asta principale in piedi. v_m = velocità media della corrente (imposta 1.5 m/s)</i>	[Ore]

Nell'ambito del progetto CORINE Land Cover, è stata realizzata una cartografia della copertura del suolo, con una legenda di 44 voci su 3 livelli gerarchici, riferita ad unità spaziali omogenee o composte da zone elementari appartenenti ad una stessa classe, di superficie significativa rispetto alla scala, nettamente distinte dalle unità che le circondano e sufficientemente stabili per essere destinate al rilevamento di informazioni più dettagliate. Il primo dei livelli gerarchici comprende 5 voci generali che abbracciano le maggiori categorie di copertura sul pianeta, ovvero territori modellati artificialmente, territori agricoli, territori boscati e ambienti semi-naturali, zone umide e corpi idrici. Il secondo livello contiene 15 voci ed il terzo 44 voci. Questi ultimi sono rappresentabili

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

in scala di dettaglio. La conoscenza dettagliata degli utilizzi del suolo è impiegata nel presente studio per diversi scopi. La discriminazione in zone con diverso utilizzo del suolo è utile nella stima degli indici di scabrezza e nella determinazione delle caratteristiche idrologiche di infiltrazione superficiale.

I valori di CN(II) per la categoria di suolo D adottati per ogni classe presente all'interno della carta dell'uso del suolo sono elencati nella seguente tabella:

Tabella 2 - Valori del CNII associati alle diverse categorie di uso del suolo

TIPOLOGIA DI TERRENO	CNII
Arboricoltura con essenze forestali di latifoglie	83
Aree a pascolo naturale	89
Aree a ricolonizzazione artificiale	89
Aree a ricolonizzazione naturale	89
Aree aeroportuali ed eliporti	98
Aree agroforestali	83
Aree archeologiche	93
Aree con vegetazione rada	89
Aree estrattive	85
Aree portuali	98
Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali importanti	89
Aree verdi urbane	84
Bacini artificiali	100
Boschi di conifere	83
Boschi di latifoglie	83
Boschi misti di conifere e latifoglie	83
Campeggi, aree sportive e parchi di divertimento	84
Cantieri	93
Cimiteri	84
Colture in serra	86
Colture temporanee associate ad altre colture permanenti (pascoli e seminativi arborati con copertura d	89
Colture temporanee associate al vigneto	89
Colture temporanee associate all'olivo	89
Discariche	93
Fiumi, torrenti e fossi	100
Formazioni di ripa non arboree	86
Formazioni vegetali basse e chiuse, stabili, composte principalmente di cespugli, arbusti e piante erba	86
Frutteti e frutti minori	89
Gariga	89

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

TIPOLOGIA DI TERRENO	CNII
Impianti a servizio delle reti di distribuzione (telecomunicazioni/energia/idriche)	98
Insediamenti industriali/artigianali e commerciali, con spazi annessi	98
Insediamento di grandi impianti di servizi	98
Lagune, laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale	100
Letti di torrenti di ampiezza superiore a 25 m	100
Macchia mediterranea	83
Oliveti	89
Paludi interne	100
Paludi salmastre	100
Pareti rocciose e falesie	98
Pioppeti, saliceti, eucalitteti ecc anche in formazioni miste	83
Prati artificiali	78
Prati stabili	78
Reti ferroviarie comprese le superfici annesse (stazioni, smistamenti, depositi ecc)	98
Reti stradali e spazi accessori (svincoli, stazioni di servizio, aree di parcheggio ecc)	98
Seminativi in aree non irrigue	89
Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	91
Sistemi colturali e particellari complessi	89
Spiagge di ampiezza superiore a 25 m	98
Sugherete (popolamenti puri di querce da sughera con copertura >25% con evidenti cure colturali)	83
Tessuto agro-residenziale sparso e fabbricati rurali a carattere tipicamente agricolo o rurale	85
Tessuto discontinuo (extraurbano)	85
Tessuto residenziale compatto e denso	92
Tessuto residenziale rado	85
Vigneti	89
Vivai	86

Estrapolate le diverse tipologie di aree all'interno di ogni sottobacino, è stata effettuata una media pesata (con peso il valore in mq dell'area di uso del suolo omogeneo) al fine di definire il CN(II) medio con la seguente formula:

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

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

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

Tali valori sono stati poi cautelativamente incrementati relazionandoli allo stato di imbibizione del terreno prima dell'evento di piena. Si è considerata infatti la presenza di una pioggia superiore a 50 mm nei 5 giorni antecedenti l'evento di piena (classe A.M.C. III – pioggia totale nei cinque giorni precedenti l'evento). Il nuovo valore di CN , che tiene conto di tale considerazioni, è denominato $CN(III)$. La formula che lega il $CN(II)$ al $CN(III)$ è la seguente (formulazione di Chow - Applied Hydrology):

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

Si sono così ottenuti i valori del CN effettivamente utilizzati per il calcolo dei tempi di corrivazione per i diversi bacini analizzati, ovvero quelli che prevedono il terreno in condizioni di massima saturazione². Le altre grandezze geometriche necessarie a definire il tempo di corrivazione per le quattro formulazioni utilizzate, sono state ricavate attraverso l'elaborazione cartografica con GIS open source del modello digitale del terreno (*D.E.M. Digital Elevation Model*) con celle di passo 10 m realizzato a partire dalle curve di livello e i punti quotati della Carta Tecnica Regionale.

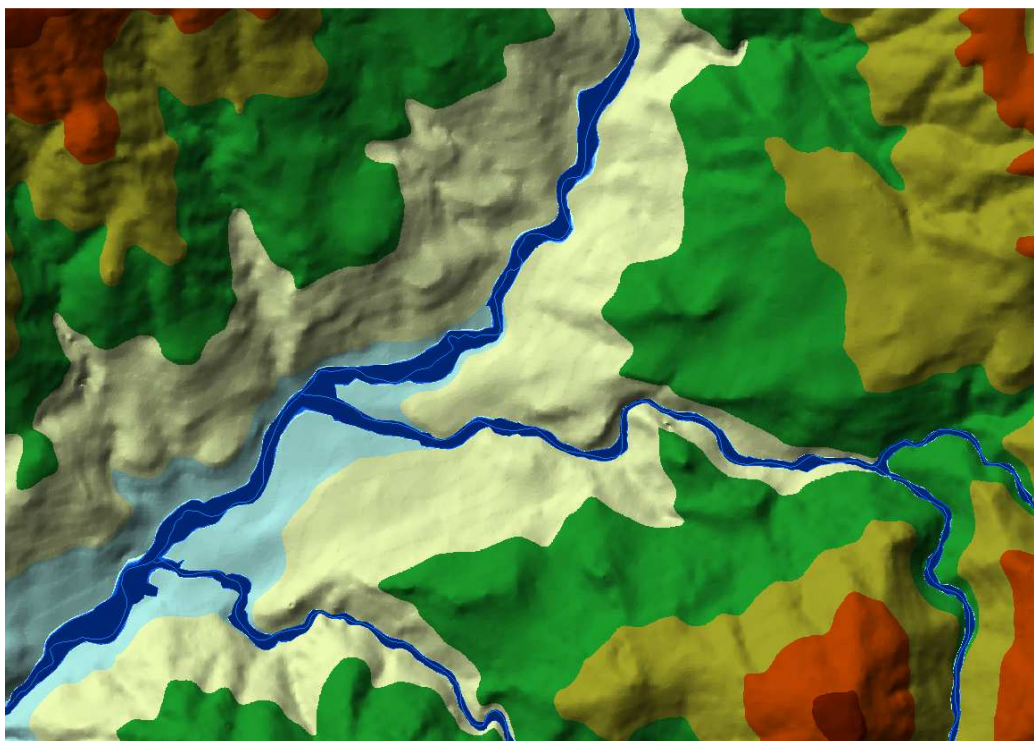


Figura 5 – esempio di Modello Digitale del Terreno con i campi di quota

²Il valore del CN III è stato altresì calcolato anche con le Formulazioni di Arnold, Hawkins e Sobhani, riscontrando valori molto simili.

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

In particolare sono state ricavate le seguenti grandezze geometriche:

- superficie del bacino: espressa in Km² valutata come area del poligono chiuso che definisce ciascun bacino idrografico;
- altitudine massima, media e minima: espresse in metri sono state valutate sulla base dell'analisi del DEM
- lunghezza dell'asta: espressa in m, è stata valutata con l'ausilio dello strato rappresentante l'idrografia della regione Sardegna presente sul database multi precisione consultabile nel sito www.sardegna.territorio.it

Da una successiva elaborazione del D.E.M. si è ottenuta la carta delle pendenze.

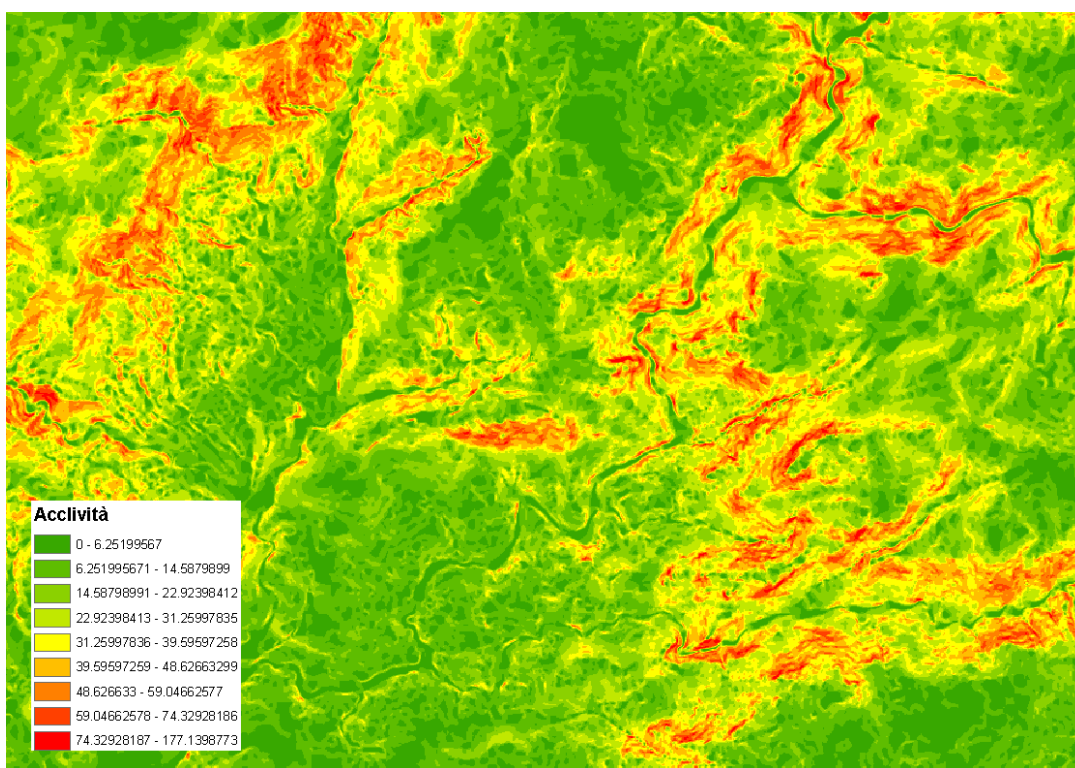


Figura 6 – Esempio di Carta delle pendenze

Con l'ausilio di tale carta digitale è stato possibile ricavare le seguenti grandezze geometriche:

- pendenza media del bacino: espressa in % è stata ottenuta come media matematica delle pendenze delle differenti celle contenute all'interno dei poligoni rappresentanti ciascun bacino;
- pendenza media dell'asta: espressa in m/m ottenuta dall'intersezione tra lo *shape* contenente le aste fluviali e la carta delle pendenze.

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

Dall'analisi dei risultati ottenuti per il calcolo del **tempo di corrivazione** con le formule utilizzate e illustrate nella tabella, si è adottato nella maggior parte dei casi il valore ottenuto con il **metodo SCS**, che in quasi tutti i casi è risultato il più basso e in tal senso maggiormente cautelativo.

In tutti i casi è stato scelto il valore maggiormente cautelativo tra quelli ottenuti, nel rispetto dei campi di validità delle singole formule (tipologia ed estensione del bacino, pendenza ecc.). La Formula scelta in ciascun caso è evidenziata nelle singole tabelle di calcolo idrologico allegate in apposito elaborato

Il valore del coefficiente di assorbimento o di deflusso Φ è stato calcolato con il metodo del SCS-Curve Number³ che permette di ricavare la pioggia netta in base all'espressione:

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

dove h_{lorda} è la pioggia stimata dalle curve di possibilità pluviometrica, S (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione:

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

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

$$I_a = 0.2 S.$$

I valori delle portate adottate sono coerenti con quelli impiegati nelle analisi idrologiche e idrauliche svolte nell'ambito della Variante del PAI ai sensi dell'art. 37 delle N.A. in corso di definitiva approvazione.

³U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, pp. 10.1÷24, Washington, D.C., U.S.A., 1972.

5.4 METODOLOGIA DI ANALISI IDRAULICA

I calcoli idraulici necessari per individuare le aree di allagamento associate alle portate di progetto, sono stati sviluppati con l'ausilio del codice di calcolo HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center-River Analysis System del U.S. Army) che consente di costruire il modello matematico delle aste fluviali in esame, rappresentandone anche gli elementi singolari, quali manufatti di attraversamento (ponti e tombinature), pile ed altre ostruzioni presenti in alveo, arginature, soglie, sfioratori e ricavare i profili della corrente in moto permanente determinati dalle portate di progetto. Tra gli output ricavati, i livelli della superficie libera nelle sezioni trasversali consentono di individuare le aree occupate dalla corrente idraulica durante l'evento di piena.

La modellazione avviene attraverso l'inserimento di sezioni trasversali alla direzione di scorrimento dell'asta fluviale, rappresentanti la morfologia del terreno ed estese lungo le sponde in misura sufficiente da contenere i tiranti idrici; le sezioni contengono le informazioni geometriche e quelle inerenti il parametro "n" di scabrezza associato a ciascun tratto ritenuto omogeneo.

Per ogni sezione trasversale sono precisamente individuate tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata *main channel*) e le due zone laterali golenali (denominate *right and left overbanks*).

La geometria dei corsi d'acqua definita dal profilo planimetrico dell'alveo, dalle sezioni trasversali e dai manufatti di attraversamento è stata definita sulla base della cartografia numerica a disposizione integrata da rilievi di dettaglio effettuati appositamente in prossimità delle singolarità del tracciato.

Lungo ciascuna sezione trasversale sono individuati i tratti con scabrezza omogenea, in funzione dei differenti tipi di copertura del suolo; i valori di scabrezza relativi sono stati assegnati sulla base della cartografia dell'uso del suolo disponibile nel sito della regione Sardegna <http://www.sardegna.territorio.it>. In particolare a ciascuna categoria di uso del suolo presente nella cartografia utilizzata sono stati attribuiti, con riferimento a dati presenti in letteratura tecnica⁴, specifici valori di scabrezza variabili da 0.01 a 0.35.

In tabella 3 sono stati elencati nello specifico i valori di scabrezza utilizzati ai fini del calcolo idraulico.

Tabella 3 - Valori di scabrezza per le differenti classi di uso del suolo

CLASSI DELL'USO DEL SUOLO	SCABREZZA
Arboricoltura con essenze forestali di latifoglie	0.1

⁴Ven Te Chow, Applied Hydrology, Mc-Graw Hill, 1988 .

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

CLASSI DELL'USO DEL SUOLO	SCABREZZA
Aree a pascolo naturale	0.035
Aree a ricolonizzazione artificiale	0.035
Aree a ricolonizzazione naturale	0.035
Aree aeroportuali ed eliporti	0.016
Aree agroforestali	0.1
Aree archeologiche	0.025
Aree con vegetazione rada	0.07
Aree estrattive	0.025
Aree portuali	0.016
Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali importanti	0.035
Aree verdi urbane	0.035
Bacini artificiali	0.03
Bacini naturali	0.03
Boschi di conifere	0.15
Boschi di latifoglie	0.15
Boschi misti di conifere e latifoglie	0.15
Campeggi, aree sportive e parchi di divertimento	0.035
Cantieri	0.025
Cimiteri	0.035
Colture in serra	0.035
Colture temporanee associate a colture permanenti	0.035
Colture temporanee associate ad altre colture permanenti	0.035
Colture temporanee associate al vigneto	0.35
Colture temporanee associate all'olivo	0.035
Discariche	0.025
Fiumi, torrenti e fossi	0.03
Formazioni di ripa non arboree	0.05
Formazioni vegetali basse e chiuse, stabili, composte principalmente di cespugli, arbusti e piante erba	0.05
Frutteti e frutti minori	0.035
Gariga	0.05
Impianti a servizio delle reti di distribuzione (telecomunicazioni/energia/idriche)	0.016
Insedamenti industriali/artigianali e commerciali, con spazi annessi	0.016
Insedamento di grandi impianti di servizi	0.016
Lagune, laghi e stagni costieri a produzione ittica naturale	0.03

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

CLASSI DELL'USO DEL SUOLO	SCABREZZA
Letti di torrenti di ampiezza superiore a 25 m	0.03
Macchia mediterranea	0.1
Oliveti	0.035
Paludi interne	0.03
Paludi salmastre	0.03
Pareti rocciose e falesie	0.015
Pioppeti, saliceti, eucalitteti ecc anche in formazioni miste	0.15
Prati artificiali	0.035
Prati stabili	0.035
Reti ferroviarie comprese le superfici annesse (stazioni, smistamenti, depositi ecc)	0.04
Reti stradali e spazi accessori (svincoli, stazioni di servizio, aree di parcheggio ecc)	0.016
Seminativi in aree non irrigue	0.04
Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	0.04
Sistemi colturali e particellari complessi	0.035
Spiagge di ampiezza superiore a 25 m	0.03
Sugherete (popolamenti puri di querce da sughera con copertura >25% con evidenti cure colturali)	0.15
Tessuto agro-residenziale sparso e fabbricati rurali a carattere tipicamente agricolo o rurale	0.016
Tessuto discontinuo (extraurbano)	0.016
Tessuto residenziale compatto e denso	0.016
Tessuto residenziale rado	0.016
Vigneti	0.035
Vivai	0.04

Il profilo di moto permanente è stato determinato numericamente per differenze finite risolvendo le equazioni dell'idraulica con condizioni al contorno specifiche per i tratti di alveo studiati.

Per la definizione delle singolarità sono state utilizzate le **funzioni specifiche** denominate "Bridge" e "Culvert" per rappresentare i ponti e viadotti stradali nonché i sottopassi stradali o ferroviari trasversali alla corrente, la funzione "Levee" per rappresentare le arginature, la funzione "Ineffective flow area" per rappresentare le zone laterali al canale principale occupate dall'acqua con velocità molto basse, sostanzialmente non contribuenti alla corrente monodimensionale e situate a ridosso dei manufatti o terrapieni. In corrispondenza delle confluenze tra aste differenti è

stata utilizzata la funzione "Junction", che funge da condizione al contorno "interna" ai gruppi di aste appartenenti ad un unico modello di calcolo.

Le simulazioni sono state sviluppate in corrente mista o lenta, assegnando di volta in volta le condizioni al contorno pertinenti ai tratti studiati; in corrispondenza di confluenze tra aste differenti, la condizione al contorno è "interna" al gruppo di aste appartenenti allo stesso modello e rappresentata dalla stessa funzione "junction".

6 VERIFICA DEI FRANCHI DI SICUREZZA E CALCOLO DELLA PORTATA CRITICA

Per ciascun attraversamento rilevato ed introdotto nel modello matematico per il calcolo idraulico in moto permanente, è stata effettuata con processo iterativo per tentativi la ricerca del tirante idrico e della portata critica associata, valutando di volta in volta la sussistenza o meno del franco di sicurezza calcolato secondo le formule indicate all'art. 21 delle Norme di Attuazione del PAI per un determinato tempo di ritorno. Individuata la portata ed il tempo di ritorno critici, la quota del tirante idrico e la velocità ad esso associata, sono state considerate nella sezione di monte più prossima all'attraversamento, tenendo conto della presenza dell'eventuale **profilo di rigurgito**; per la sezione di valle si è considerato il livello idrico maggiore in prossimità dello sbocco tenendo conto dell'eventuale formazione del **risalto idraulico**. Le tabelle allegate alle simulazioni illustrano compiutamente i valori numerici di input e output.

7 SINTESI DELLE CRITICITA' INDIVIDUATE

Le elaborazioni su modello hanno consentito di mettere in luce le criticità presenti nel territorio comunale oggetto di studio; in generale si segnalano alcune problematiche in verità molto diffuse nel territorio regionale, ovvero:

- innalzamenti del pelo libero verso monte (profilo di rigurgito) in corrispondenza dei **passaggi attraverso luci, soglie o restringimenti presenti in corrispondenza degli attraversamenti interferenti con il reticolo idrografico**, principalmente le strade comunali oggetto di incarico. La criticità è acuita dalla scarsa manutenzione rispetto alla vegetazione presente all'imbocco e allo sbocco dai manufatti, che comporta l'ulteriore riduzione delle sezioni trasversali in corrispondenza degli attraversamenti;
- **insufficienza della maggior parte degli attraversamenti** verificati rispetto alla portata con Tr di 200 anni. Sul totale di **136 attraversamenti** verificati si hanno i seguenti risultati:

COMUNE DI SASSARI
Verifiche di sicurezza idraulica opere interferenti con il reticolo idrografico
VERIFICHE DI SICUREZZA IDRAULICA ATTRAVERSAMENTI STRADE COMUNALI
RELAZIONE GENERALE

- i manufatti idonei sono **5**
- i manufatti per i quali il Tcr è compreso tra 50 e 200 anni sono **4**;
- i manufatti per i quali il Tcr è compreso tra 10 e 50 anni sono **2**;
- i manufatti per i quali il Tcr è compreso tra 1 e 10 anni sono **37**;
- i manufatti per i quali il Tcr è inferiore a 1 anno sono **88**;

Per ciascuna asta fluviale sono state tracciate le **sezioni trasversali** lungo l'asta principale, la cui numerazione procede in ordine crescente da valle verso monte in conformità alle regole del programma. Gli **attraversamenti delle aste fluviali** dovuti a viadotti, ponti e sottopassi sono stati identificati con specifiche sigle e classificati in ordine crescente da valle verso monte.

L'allegato "*B-1 – Report calcoli idrologici*" contiene le tabelle inerenti i risultati dello studio idrologico che ha condotto alla determinazione delle portate di piena per i 4 tempi di ritorno del PAI per ciascun bacino studiato.

Negli Allegati "*B-2-a/B-2-b/B-2-c/B-2-d -Simulazioni in moto permanente e Verifiche dei franchi*" sono riportati per ciascuna asta o sistema di aste fluviali i tabulati numerici e i grafici con i tiranti idrici per le portate studiate.

Gli allegati "*C-1/C-2/C-3 – Schede monografiche e Verifiche di sicurezza degli attraversamenti*" contengono le schede di ciascun attraversamento con le informazioni geometriche, geomorfologiche, idrologiche e idrauliche previste dalla Direttiva nonché l'individuazione della portata e del tempo di ritorno critici.

ing. Alessia Vargiu