



COMUNE DI COSSOINE

PROVINCIA DI SASSARI

Svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico del comune di Cossoine - CIG Z722AC07121/19

Committente:

Comune di Cossoine

Titolo Elaborato:

Relazione tecnico illustrativa

Allegato:

Revisione:

01

A

Data:

31 marzo 2020

RTP:

Ing. Cristian Cannaos
Ing. Giuseppe Onni
Ing. Enzo Battaglia
Ing. Cinzia Oggianu
Geol. Pietro Masia

Dott. Ing. Cristian Cannaos
via Cavanna n°10 - 07041 Alghero (SS)
Tel. 320.3325142

e-mail: cannaos@gmail.com

Sommario

Premessa	2
1	2
1.1	3
2	4
2.1 Attraversamenti oggetto di studio	4
2.2	8
2.3	9
2.4 Determinazione dell'altezza di pioggia critica	10
2.5 Calcolo del Tempo di Corrivazione	13
2.6 Stima del coefficiente di deflusso	14
2.7 Risultati dello studio idrologico	17
3 Studio Idraulico	18
3.1 Il codice di calcolo HEC-RAS	18
3.2 Determinazione del franco idraulico	22
3.3 Determinazione del Tempo di ritorno Critico	24
3.4 Risultati dello studio idraulico	25

Premessa

Con la gara aggiudicata a sistema sul portale SardegnaCAT del 24/11/2019 il Comune di Cossoine ha affidato al RTP costituito da Ing. Cristian Cannaos (mandatario), Ing. Enzo Battaglia, Ing. Giuseppe Onni, Ing. Cinzia Oggianu e Dott. Geol. Pietro Masia l'esecuzione del servizio tecnico denominato "Incarico per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico del comune di Cossoine - CIG Z722AC0712".

Oltre alla presente relazione, che costituisce l'Allegato A, fanno parte dello studio i seguenti elaborati:

- All. B. Report dei risultati dell'analisi idrologica;
- All. C. Report delle verifiche di sicurezza degli attraversamenti;
- All. D. Schede degli attraversamenti e delle altre opere interferenti;
- All. E. Report dei risultati delle simulazioni idrauliche - Output Hec Ras;
- All. F. Schede per la verifica delle condizioni di stabilità
- Tavola 1 - Corografia degli attraversamenti nel territorio comunale di Cossoine;
- Tavola 2 - Corografia dei bacini idrografici.

1 Inquadramento normativo

Con l'articolo 22 delle Norme di Attuazione del Piano di Assetto Idrologico (di seguito NTA del PAI) - testo coordinato aggiornato al Febbraio 2018 - la Regione Sardegna stabilisce le linee guida per la verifica delle opere interferenti con il reticolo idrografico.

L'articolo 22 delle NTA del PAI ai commi 1 e 2 recita infatti che:

1. la Regione Sardegna stabilisce disposizioni, linee guida e criteri per sottoporre a verifiche di sicurezza, anche al di fuori delle aree di pericolosità idrogeologica perimetrata dal PAI, categorie espressamente individuate di infrastrutture a rete o puntuali, impianti produttivi, siti di attività estrattive, insediamenti, opere di difesa e di sistemazione idraulica e idrogeologica, opere pubbliche ed edifici civili con presenza rilevante anche discontinua di persone, forme diverse di occupazione dei suoli. La Regione stabilisce anche i casi in cui alle

verifiche devono seguire progetti di messa in sicurezza ed adeguamento;

2. le verifiche e le eventuali progettazioni di cui al precedente comma sono svolte a cura e a carico dei soggetti gestori o proprietari. I dati derivanti dalle verifiche e gli eventuali progetti successivi sono trasmessi all'autorità regionale competente.

1.1 Attraversamenti

Con Delibera di Giunta Regionale n. 43/2 del 1.9.2016, successivamente rettificata con la deliberazione del Comitato Istituzionale n. 2 del 27.10.2015, in osservanza di quanto espresso al comma 1 dell'articolo 22 delle NTA del PAI è stata pubblicata la "Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna nonché di altre opere interferenti".

Tale direttiva definisce gli indirizzi, i contenuti e le modalità operative per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle opere esistenti di attraversamento, viario o ferroviario, del reticolo idrografico nonché delle altre opere interferenti con il medesimo reticolo e pone in capo ai proprietari, gestori o concessionari una serie di adempimenti finalizzati a verificare che le opere non determinino condizioni di rischio idraulico e a redigere i progetti degli interventi di manutenzione o di adeguamento nonché a definire le misure non strutturali atte alla mitigazione del rischio presente. Al punto 3 della predetta direttiva, viene inoltre sancito che "gli Enti proprietari, gestori o concessionari delle opere esistenti di attraversamento viario e ferroviario del reticolo idrografico e delle opere interferenti con il reticolo idrografico predispongono una verifica di sicurezza delle stesse, identificando in particolare il tempo di ritorno critico della singola opera, inteso come quello minimo a partire dal quale la portata conseguente transita con franco pari al 50% di quello definito dalle norme vigenti".

Il calcolo del franco idraulico in corrispondenza delle opere di attraversamento viene definito sulla base degli indirizzi presenti nell'articolo 21 delle NTA del PAI.

Al fine di individuare in maniera univoca le infrastrutture da sottoporre a verifica, la Regione Sardegna ha realizzato lo Strato informativo delle infrastrutture di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna, in cui sono individuate le opere di attraversamento ottenute dall'intersezione tra lo strato informativo del reticolo idrografico della Regione Sardegna, approvato con deliberazione del C.I. n. 3 del 30.07.2015 e quello della rete stradale e ferroviaria utilizzato per i servizi SITR/IDT.

Come riportato nello stesso punto 3 della direttiva, la verifica non è richiesta nel caso in cui le opere siano state progettate, realizzate e collaudate nel rispetto delle previsioni delle NTA del PAI e nel caso in cui per l'opera di attraversamento si verificano entrambe le seguenti condizioni:

- Bacino idrografico sotteso inferiore a 0.5 km^2 ;

- Portata idrica inferiore a $10 \text{ m}^3/\text{s}$ da calcolare con tempo di corrivazione fornito dalla formula di Viparelli ($V=1 \text{ m/s}$), con utilizzo del metodo TCEV/SCS con CN III non inferiore a 95.

Al punto 4 della direttiva vengono stabiliti i criteri per le verifiche di sicurezza degli attraversamenti e rilevati di accesso esistenti riguardo ai diversi elementi di calcolo che verranno analizzati nei capitoli successivi e nelle schede di sintesi dei risultati.

Nei punti successivi della direttiva vengono indicate le misure transitorie da adottare in presenza di infrastrutture che non superano la verifica di sicurezza (Punto 5), le condizioni generali per la definizione degli interventi manutentivi e di adeguamento (Punto 6) e le misure atte alla riduzione del rischio idraulico (Punto 9).

Con il presente studio si procederà quindi all'applicazione della direttiva al fine di effettuare le verifiche idrauliche degli attraversamenti oggetto di studio e la loro caratterizzazione mediante la scheda all'allegato 1 della direttiva.

2 Elenco degli attraversamenti e delle opere interferenti censiti per il comune di Cossoine

2.1 Attraversamenti oggetto di studio

Come anticipato nelle premesse allo studio, la Regione Sardegna ha individuato l'elenco degli attraversamenti interferenti con il reticolo fluviale per ciascun comune della Sardegna. La Tabella 1 riportata l'elenco degli attraversamenti individuati nel territorio comunale di Cossoine, classificati in base alla tipologia di strada su cui sono stati realizzati. Nel territorio comunale di Cossoine la RAS ha individuato sono stati individuati complessivamente 26 attraversamenti, di cui 10 localizzati su strade comunali, 3 su strade provinciali, 12 su strade statali e 1 lungo la linea ferroviaria.

Il presente studio è riferito agli attraversamenti di competenza comunale.

Analizzando il database degli attraversamenti censiti dalla Regione Sardegna, così come individuati nell'Allegato B alla Delib. G.R. n. 67/2 del 16.12.2016, non sono presenti attraversamenti comunali ricadenti entro i 500 metri dall'inviluppo urbano del PPR per cui tutti sono localizzati in area totalmente extraurbana.

L'analisi è partita valutando gli attraversamenti di competenza comunale individuati dalla RAS. Uno di essi (DSC001) è collocato sulla SP124, e dunque di competenza provinciale, per cui è stato escluso dallo studio. A seguito dei rilievi sul campo sono stati individuati ulteriori 20 attraversamenti appartenenti a strade comunali, a cui è stato attribuito un codice univoco progressivo compreso tra

D100_SC_0027 e D100_SC_0046. In totale lo studio riguarda pertanto 9+20=26 attraversamenti. La Figura 1 riporta la localizzazione degli attraversamenti su strade comunali in territorio di Cossoine oggetto del presente lavoro.

Tabella 1_Elenco degli attraversamenti interferenti con il reticolo fluviale individuati dalla Regione Sardegna nel territorio comunale di Cossoine.

COMUNE	C_Catasto	Prov_2016	Den_Strada	Den_Fiume	Tipo	Sigla_Tipo	Codice
Cossoine	D100	Sassari	Strada Provinciale Numero 124	090030_FIUME_73 529	Comunale	SC	D100_SC_00 01
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_71 531	Comunale	SC	D100_SC_00 02
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_75 200	Comunale	SC	D100_SC_00 03
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_76 692	Comunale	SC	D100_SC_00 04
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_76 864	Comunale	SC	D100_SC_00 05
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_77 112	Comunale	SC	D100_SC_00 06
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_79 132	Comunale	SC	D100_SC_00 07
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_80 383	Comunale	SC	D100_SC_00 08
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_84 738	Comunale	SC	D100_SC_00 09
Cossoine	D100	Sassari		090027_FIUME_85 269	Comunale	SC	D100_SC_00 10
Cossoine	D100	Sassari	Strada Ferrata	090027_FIUME_74 960	Ferrovia	SF	D100_SF_00 11
Cossoine	D100	Sassari	Strada Provinciale Numero 77	090027_FIUME_72 754	Provinciale	SP	D100_SP_00 12

Cossoine	D100	Sassari	Strada Provinciale Numero 77	090027_FIUME_75 354	Provinciale	SP	D100_SP_00 13
Cossoine	D100	Sassari	Strada Provinciale Numero 77	090027_FIUME_76 864	Provinciale	SP	D100_SP_00 14
Cossoine	D100	Sassari	SS292dir	090027_FIUME_72 540	Statale	SS	D100_SS_00 15
Cossoine	D100	Sassari	SS292dir	090027_FIUME_73 282	Statale	SS	D100_SS_00 16
Cossoine	D100	Sassari	SS292dir	090027_FIUME_77 311	Statale	SS	D100_SS_00 17
Cossoine	D100	Sassari	SS292dir	090027_FIUME_78 016	Statale	SS	D100_SS_00 18
Cossoine	D100	Sassari	SS292dir	090027_FIUME_81 018	Statale	SS	D100_SS_00 19
Cossoine	D100	Sassari	SS292dir	090027_FIUME_84 451	Statale	SS	D100_SS_00 20
Cossoine	D100	Sassari	Strada Statale 292	FIUME_341014	Statale	SS	D100_SS_00 21
Cossoine	D100	Sassari	Strada Statale 292	RIU NELGUI	Statale	SS	D100_SS_00 22
Cossoine	D100	Sassari	Strada Statale Numero 131	090027_FIUME_74 960	Statale	SS	D100_SS_00 23
Cossoine	D100	Sassari	Strada Statale Numero 131	090027_FIUME_74 960	Statale	SS	D100_SS_00 24
Cossoine	D100	Sassari	Strada Statale Numero 131	090027_FIUME_75 088	Statale	SS	D100_SS_00 25
Cossoine	D100	Sassari	Strada Statale Numero 131	090027_FIUME_75 088	Statale	SS	D100_SS_00 26

Tabella 2_Elenco degli attraversamenti appartenenti a strade comunali individuati nel territorio comunale di Cossoine.

COMUNE	C_Catasto	Prov_2016	Den_Fiume	Sigla_Tipo	Nuovo Codi
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_71531	SC	D100_SC_0002
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_75200	SC	D100_SC_0003
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_76692	SC	D100_SC_0004
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_76864	SC	D100_SC_0005
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_77112	SC	D100_SC_0006
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_79132	SC	D100_SC_0007
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_80383	SC	D100_SC_0008
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_84738	SC	D100_SC_0009
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_85269	SC	D100_SC_0010
Cossoine	D100	Sassari	090027_FIUME_NN	SC	D100_SC_0027
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_74409	SC	D100_SC_0028
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_84738	SC	D100_SC_0029
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_72876_ Rio Archennero	SC	D100_SC_0030
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_75292_ _Riu Ortu	SC	D100_SC_0031
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_78619	SC	D100_SC_0032
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_82119	SC	D100_SC_0033
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_77802	SC	D100_SC_0034
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_79313	SC	D100_SC_0035
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_81055	SC	D100_SC_0036
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_76692_ Riu 'e su Segadu	SC	D100_SC_0037
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_74333_ Riu_e_su_Segadu	SC	D100_SC_0038
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_74333_ Riu_e_su_Segadu	SC	D100_SC_0039

Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_74333_ Riu_e_su_Segadu	SC	D100_SC_0040
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_82638	SC	D100_SC_0041
Cossoine	D100	Sassari	090027_Canale_73468	SC	D100_SC_0042
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_74333_ Riu_e_su_Segadu	SC	D100_SC_0043
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_74333_ Riu_e_su_Segadu	SC	D100_SC_0044
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_84903	SC	D100_SC_0045
Cossoine	D100	Sassari	090027_Fiume_76403_ Riu Ortu	SC	D100_SC_0046

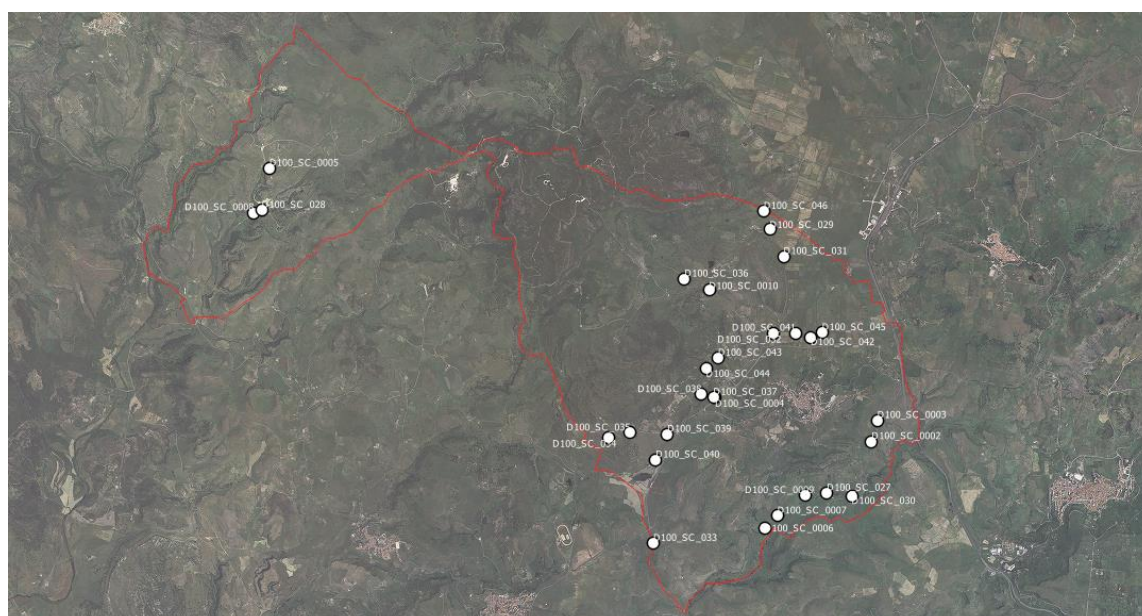


Figura 1_Inquadrimento su base ortofoto degli attraversamenti comunali di Cossoine.

2.2 Studio Idrologico

Lo studio idrologico è la procedura volta alla stima delle portate al colmo di piena con assegnata probabilità di accadimento in una data sezione di chiusura. Tale previsione può avvenire attraverso l'impiego di un modello idrologico ovvero una procedura di calcolo che deve essere scelta sulla base delle informazioni disponibili e dei risultati ottenibili.

2.3 Criteri generali per la determinazione delle portate

Un modello idrologico è la metodologia di calcolo da utilizzare per valutare in una data sezione di chiusura la risposta del bacino ad eventi di pioggia ad elevata intensità e breve durata. Tale risposta è espressa in termini di portata al colmo di piena di assegnato Tempo di Ritorno T_R , ovvero la probabilità di accadimento espressa in termini di anni in cui un evento di assegnata intensità viene uguagliato o superato almeno una volta. In accordo con quanto espresso nelle Linee Guida del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Sardegna (PAI) la valutazione degli scenari di pericolosità a seguito di eventi di inondazione deve avvenire per portate di piena con T_R (ovvero di assegnata probabilità di accadimento) pari a 50, 100, 200 e 500 anni.

I metodi di stima della portata di assegnato T_R dipendono da vari fattori, primi fra tutti dalla disponibilità di dati osservati e dalla copertura spaziale della rete idrometeorologica. In relazione alla disponibilità dei dati la letteratura scientifica di riferimento distingue Metodi Diretti da Metodi Indiretti. I metodi diretti ricavano le portate al colmo di piena nelle sezioni di interesse direttamente da valori di portate osservate, mentre quelli indiretti calcolano le portate indirettamente dai valori delle precipitazioni meteoriche ovvero stimano le portate a partire da distribuzioni di probabilità definite sulla base delle misure di pioggia, disponibili in numero molto più elevato rispetto alle misure di portata, a seguito della trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi idrici nell'ipotesi che la frequenza di accadimento delle precipitazioni caratterizzi quella della portate al colmo di piena.

In assenza di deflussi osservati per le sezioni di interesse, è necessario procedere al calcolo della portata di piena mediante metodi indiretti. Nel presente studio si è fatto ricorso al metodo indiretto basato sull'applicazione del cosiddetto "modello cinematico" un metodo di stima delle portate che trova spesso applicazione per i piccoli bacini, e che assume le seguenti ipotesi:

- la pioggia critica è quella che ha durata pari al Tempo di Corrivazione T_C del bacino;
- la precipitazione si suppone di intensità costante per tutta la durata dell'evento;
- il Tempo di Ritorno T_R della portata è pari a quello della pioggia critica;
- la trasformazione della piena è dovuta esclusivamente ad un fenomeno di trasferimento della massa liquida.

Sulla base di tali ipotesi il bacino idrografico viene assimilato ad una rete di canali lineari in parallelo, ovvero si considera il solo meccanismo di trasferimento della massa liquida senza valutare un eventuale capacità di invaso della rete scolante.

Assunte valide le ipotesi alla base del "modello cinematico" le portate al colmo di piena sono state valutate attraverso la cosiddetta "Formula Razionale":

$$Q = r_{(S,d)} \cdot \frac{\Psi \cdot h_{TC} \cdot S}{3.6 \cdot T_C} \quad (1)$$

in cui:

- $r_{(S,d)}$ è il coefficiente di ragguaglio funzione della superficie;
- Ψ è il coefficiente di deflusso;
- T_C è il Tempo di Corrivazione del bacino in esame;
- h_{TC} è l'altezza di pioggia critica;
- S è la superficie del bacino alla sezione di chiusura.

Il coefficiente $r_{(S,d)}$ ragguaglia le piogge alla superficie del bacino in esame. Il suo valore dipende dalla superficie del bacino S e dalla durata della pioggia d , ed è stato valutato attraverso le relazioni proposte dal progetto Valutazione delle Piene (VAPI) Sardegna:

$$r = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot d^{(-0.4+0.0208 \cdot \ln(4.6-\ln(S)))} \quad \text{per } S < 20\text{km}^2 \quad (2)$$

$$r = 1 - (0.0394 \cdot S^{0.354}) \cdot d^{(-0.4+0.003832 \cdot \ln(4.6-\ln(S)))} \quad \text{per } S > 20\text{km}^2 \quad (3)$$

Ulteriori specifiche procedure sono state invece impiegate per la stima dell'altezza di pioggia critica h_{TC} , del Tempo di Corrivazione T_C e del coefficiente di deflusso Ψ .

2.4 Determinazione dell'altezza di pioggia critica

Per la previsione quantitativa delle piogge intense in un determinato areale della località di studio si è ricorso alle curve di possibilità pluviometrica, le quali esprimono la relazione probabilistica che lega l'altezza di precipitazione $h_{(t_p)}$ alla sua durata t_p , per un assegnato tempo di ritorno T_R secondo una relazione del tipo:

$$h_{(t_p)} = a \cdot t_p^n \quad (4)$$

in cui

- h è l'altezza di pioggia in [mm] per precipitazioni di durata t_p ;
- t_p è la durata della precipitazione [ore];
- a, n sono parametri che dipendono dal Tempo di Corrivazione T_R e dalle caratteristiche climatiche.

Pertanto l'altezza di pioggia critica $h_{(TC)}$, ovvero l'altezza di una pioggia di assegnato Tempo di Ritorno T_R e durata pari al Tempo di Corrivazione T_C del bacino, è valutabile attraverso una relazione

del tipo:

$$h_{(T_C)} = a \cdot T_C^n \quad (5)$$

Occorre quindi determinare i parametri a ed n che dipendono oltre che dallo specifico T_R anche dalle caratteristiche climatiche della località in esame. Ciò richiederebbe una stima locale a partire da misurazioni dirette nell'area in esame. In mancanza di tali osservazioni, si è proceduto ad impiegare la loro stima su base regionale mediante opportune tecniche di regionalizzazione volte ad individuare la legge di distribuzione probabilistica che meglio interpreta le informazioni disponibili per determinate zone idrologicamente omogenee.

La procedura di regionalizzazione per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica adottata nella Valutazione delle Piene (VAPI) in Sardegna si basa sull'impiego del modello probabilistico TCEV (Two Components Extreme Values) che è stato dimostrato essere in grado di ben interpretare le caratteristiche di frequenza delle serie storiche registrate in Sardegna. I parametri a ed n ottenuti al seguito di tale processo di regionalizzazione assumono la forma del tipo:

$$\{a = a_1 \times a_2 \quad n = n_1 + n_2 \quad (6)$$

Pertanto, sostituendo nella curva di possibilità pluviometrica ottiene:

$$h_{(t_p)} = a_1 \cdot a_2 \cdot t_p^{n_1+n_2} = \mu_{(t_p)} \cdot k_{(t_p)} \quad (7)$$

in cui:

$$\mu_{(t_p)} = a_1 \cdot t_p^{n_1} \quad (8)$$

$$k_{(t_p)} = a_2 \cdot t_p^{n_2} \quad (9)$$

Il valore di $\mu_{(t_p)}$ è la Pioggia Indice di durata t_p pari alla media dei massimi annui delle piogge di durata t_p , mentre $k_{(t_p)}$ è il Coefficiente di Crescita. In pratica l'altezza di pioggia $h_{(t_p)}$ di durata t_p e assegnato tempo di ritorno T_R si ottiene dal prodotto tra la pioggia indice

$\mu_{(t_p)}$ ed il coefficiente di crescita $k_{(t_p)}$.

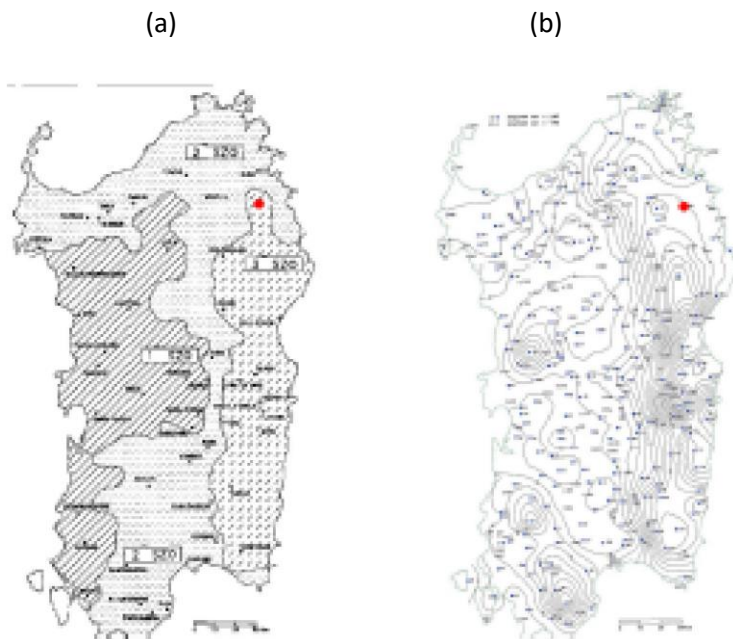


Figura 2_Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi ed intense(a) e distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (b)con indicazione dell'area di interesse.

I valori di a_1 ed n_1 si determinano in funzione della Pioggia Indice giornaliera μ_g attraverso le relazioni:

$$a_1 = \frac{\mu_g}{0.886 \cdot 24^{n_1}} \quad (10)$$

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \cdot \log \mu_g \quad (11)$$

La Pioggia Indice giornaliera μ_g rappresenta la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera ed è il parametro che tiene conto delle caratteristiche climatiche della località in esame. Il suo valore è stato stimato dalla mappa della distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera per la Sardegna (vedi Figura 2).

I valori di a_2 ed n_2 si determinano con relazioni differenti per tempi di ritorno T_R maggiori o minori di 10 anni, per durate di pioggia t_p maggiori o minori di 1 ora in funzione delle 3 sottozone omogenee (SZO) in cui è stata suddivisa la Sardegna (vedi Tabella 3).

SZO Durata \leq 1 ora

Durata \geq 1 ora

Tabella 3_ Parametri della curva di possibilità pluviometrica per TR maggiori di 10 anni.

1	$a_2=0.46378+1.0386 \cdot \log(T_R)$ $n_2=-0.18449+0.23032 \cdot \log(T_R)-3.3330 \cdot 10^{-2} \cdot \log^2(T_R)$	$a_2=0.46378+1.0386 \cdot \log(T_R)$ $n_2=-1.0563 \cdot 10^{-2}-7.9034 \cdot 10^{-3} \cdot \log(T_R)$
2	$a_2=0.44182+1.0817 \cdot \log(T_R)$ $n_2=-0.18676+0.24310 \cdot \log(T_R)-3.5453 \cdot 10^{-2} \cdot \log^2(T_R)$	$a_2=0.44182+1.0817 \cdot \log(T_R)$ $n_2=-5.6593 \cdot 10^{-3}-4.0872 \cdot 10^{-3} \cdot \log(T_R)$
3	$a_2=0.41273+1.1370 \cdot \log(T_R)$ $n_2=-0.19055+0.25937 \cdot \log(T_R)-3.8160 \cdot 10^{-2} \cdot \log^2(T_R)$	$a_2=0.41273+1.1370 \cdot \log(T_R)$ $n_2=-1.5878 \cdot 10^{-2}-7.6250 \cdot 10^{-3} \cdot \log(T_R)$

2.5 Calcolo del Tempo di Corrivazione T_C

Il Tempo di Corrivazione T_C rappresenta l'intervallo di tempo dall'inizio della precipitazione raggiunto il quale tutto il bacino contribuisce al deflusso nella sezione terminale di interesse. In genere esso viene calcolato attraverso formule empiriche, che ne esprimono il valore in funzione di alcuni parametri geometrici, di superficie e di altitudine del bacino in esame. In letteratura le più conosciute sono:

Formula di Ventura

$$T_C = 0.127 \cdot \sqrt{\frac{A}{i_a}} \quad [\text{ore}] \quad (12)$$

Formula di Giandotti

$$T_C = \frac{1.5 \cdot L + 4 \cdot \sqrt{A}}{0.8 \cdot \sqrt{H_m - H_0}} \quad [\text{ore}] \quad (13)$$

Formula di Pasini

$$T_C = 0.108 \cdot \frac{\sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i_a}} \quad [\text{ore}] \quad (14)$$

Formula di Viparelli

$$T_C = \frac{L}{3.6 \cdot V} \quad [\text{ore}] \quad (15)$$

Formula del Soil Conservation Service (SCS)

$$T_C = 0.057 \cdot \frac{(L)^{0.8}}{\sqrt{i_b}} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7} \quad [\text{ore}] \quad (16)$$

in cui

- A è la superficie del bacino [km^2];
- L è la lunghezza dell'asta principale [km];
- H_m è l'altitudine media del bacino [m];
- H_0 è l'altitudine della sezione di chiusura del bacino [m];
- i_b è la pendenza media del bacino [m/m];
- i_a è la pendenza media dell'asta principale del bacino [m/m];
- V è la velocità media della corrente lungo l'asta principale (sono ammissibili valori compresi tra 1 ed 1.5 [m/s])
- CN è il Curve Number del Soil Conservation Service.

Per i piccoli bacini a ridotta pendenza si adatta bene anche la formula sperimentale di Kirpich:

$$\text{Formula di Kirpich} \quad T_C = 0.000325 \cdot \left(\frac{L \cdot 1000}{\sqrt{i_b}} \right)^{0.77} \quad [\text{ore}] \quad (17)$$

Per i bacini con superficie compresa fra i 30 e i 170 km^2 è invece preferibile la formula di Tournon:

$$\text{Formula di Tournon} \quad T_C = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{i_a}} \cdot \left(\frac{A}{L^2} \cdot \frac{\sqrt{i_a}}{\sqrt{i_b}} \right)^{0.72} \quad [\text{ore}] \quad (18)$$

La pendenza dell'asta principale i_a è da intendersi in termini di pendenza idraulica equivalente, valutabile attraverso la relazione di Fornari a partire dal valore L di lunghezza totale dell'asta principale, e dai valori l_i di lunghezza dei singoli tratti omogenei a pendenza costante j_i in cui l'asta principale può essere suddivisa:

$$\sqrt{i_a} = \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{j_i}}} \quad (19)$$

In pratica, noti i parametri morfometrici del bacino idrografico si procede al calcolo dei Tempi di Corrivazione T_C attraverso le formule proposte in letteratura, e successivamente alla scelta di uno dei valori ottenuti.

2.6 Stima del coefficiente di deflusso

Da quanto in precedenza esposto le curve di possibilità pluviometrica opportunamente calibrate su sottozone idrologiche omogenee permettono di calcolare l'altezza di pioggia di nota durata T_C e assegnato tempo di ritorno T_R (pioggia totale o pioggia lorda). Tuttavia, è esperienza comune che

non tutta l'acqua della precipitazione contribuisce al deflusso superficiale. Parte si infiltra nel sottosuolo e va ad alimentare le falde, parte viene assorbita dalle piante, parte ritorna in testa al ciclo idrologico sotto forma di vapore per fenomeni diretti di evaporazione o evapotraspirazione delle piante, parte viene immagazzinata nelle depressioni superficiali e come umidità del suolo. La parte residuale, in genere la più rilevante, è la cosiddetta pioggia netta ed è la parte di pioggia totale che contribuisce a formare il deflusso superficiale lungo i compluvi prima sotto forma di rigagnoli, quindi di torrenti ed infine di fiumi.

Il rapporto tra le pioggia netta e la pioggia totale assume valori compresi tra 0 ed 1 ed è denominato coefficiente di deflusso Ψ . Tale coefficiente tiene conto delle cosiddette perdite di bacino che concorrono alla riduzione dei deflussi superficiali per effetto delle caratteristiche di permeabilità dei suoli ricadenti nel bacino, della loro umidità e grado di saturazione, del tipo di copertura vegetale, dei fenomeni di infiltrazione, della pendenza del bacino, della relativa forma e dimensione, della presenza di invasi superficiali e di tutte le altre cause che intervengono nel processo di trasformazione degli afflussi in deflussi. Il suo valore varia anche in modo consistente da evento ad evento, in funzione delle condizioni di imbibizione del suolo antecedenti l'evento stesso.

La stima del coefficiente di deflusso e dei parametri che concorrono alla sua determinazione è estremamente difficoltosa e costituisce un elemento di grande incertezza nel processo di stima della portata al colmo di piena. Le metodologie proposte dalla letteratura scientifica di riferimento associano ad ogni bacino un valore di sintesi del coefficiente di deflusso mediato sull'area in esame sulla base dei valori assunti da un certo numero di fattori di riferimento. Tra i metodi più utilizzati e scientificamente testati vi è il "*Soil Conservation Service Runoff Curve Number (CN) method*" proposto dal SCS del Dipartimento dell'Agricoltura statunitense nel 1972 ed adottato dalla stessa metodologia VAPI per la Sardegna.

Il metodo del CN consente di ricavare dall'altezza di pioggia lorda h_{lorda} il valore della pioggia netta h_{netta} mediante la stima delle perdite di bacino I_a dovute ai fenomeni di infiltrazione:

$$h_{netta} = \frac{(h_{lorda} - I_a)^2}{(h_{lorda} + S - I_a)} \quad (20)$$

S (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, ovvero la quantità massima invasabile nel terreno a seguito dell'inizio del deflusso superficiale, il cui valore è stato sperimentalmente ricavato in funzione delle caratteristiche del suolo attraverso il parametro Curve Number (CN):

$$S = 254 \cdot \left(\frac{100}{CN} - 1 \right) \quad (21)$$

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

$$I_a = 0.2 \cdot S \quad (22)$$

Tabella 4_ *Suddivisione in classi del tipo di terreno in funzione della capacità di infiltrazione del suolo (da Ferro, 2002).*

Gruppo	Descrizione
A	Bassa capacità di formazione del deflusso. Suoli con elevata infiltrabilità anche in condizioni di completa saturazione. Sabbie o ghiaie profonde e molto ben drenate. La conducibilità idrica alla saturazione è molto elevata.
B	Suoli con modesta infiltrabilità se saturi. Discretamente drenanti e profondi sono caratterizzati da una tessitura medio-grossa e da una conducibilità idrica non molto elevata.
C	Suoli con bassa infiltrabilità se saturi. Sono per lo più suoli con uno strato che impedisce il movimento dell'acqua verso il basso (a drenaggio impedito) oppure suoli con tessitura medio fine e bassa infiltrabilità. La conducibilità idrica alla saturazione è bassa.
D	Suoli con elevata capacità di formazione del deflusso. Appartengono a questo gruppo i suoli ricchi di argilla con capacità rigonfianti, i suoli con uno strato di argilla presso la superficie, i suoli poco profondi su substrati impermeabili. La conducibilità idrica è estremamente bassa.

Il CN è un indice numerico compreso tra 0 e 100 che rappresenta l'attitudine del bacino esaminato a produrre deflusso. Tale indice si stima sulla base dei valori riportati in un apposita tabella prodotta dal Soil Conservation Service, la quale individua quattro differenti valori di CN (CN_A , CN_B , CN_C , CN_D) in funzione della copertura vegetale e delle caratteristiche idrologiche dei suoli. La scelta tra i quattro valori del CN presuppone la determinazione del "Hydrologic Soil Group (HSG)" ovvero del gruppo idrologico dei suoli (gruppi A, B, C, e D della Tabella 4). Nell'ambito del presente studio si è deciso di adottare la classe di uso del suolo di tipo 'D' ovvero la classe con bassissima capacità di infiltrazione a cui corrisponde il più alto potenziale di scorrimento.

A ciascuna area omogenea viene attribuito l'appropriato CN sulla base di quelli riportati nella tabella del Soil Conservation Service. Il valore di CN per l'intero bacino si ottiene quindi come media pesata dei valori di CN stimati per le singole aree omogenee:

$$CN_{II} = \frac{\sum CN_{IIi} \cdot A_i}{\sum A_i} \quad (23)$$

Infine, poiché il valore del CN_{II} così ottenuto si riferisce ad un terreno mediamente saturo, per meglio tener conto delle condizioni di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento (Antecedent Moisture Conditions, AMC) si è fatto riferimento alle tre classi AMC sulla base delle precipitazioni totali cadute nei cinque giorni precedenti l'evento in esame (Tabella 5).

Tabella 5_ *Suddivisione in classi del tipo di terreno in funzione della capacità di infiltrazione del suolo (da Ferro,*

2002).

Altezza di precipitazione nei 5 giorni precedenti l'evento		
Stagione di riposo vegetativo (Autunno – Inverno)	Stagione di crescita vegetativa (Primavera – Estate)	AMC
$h < 35$ mm	$h < 13$ mm	I
$35 \text{ mm} \geq h \leq 53$ mm	$13 \text{ mm} \geq h \leq 28$ mm	II
$h > 53$ mm	$h > 28$ mm	III

Nel caso ci si trovi nella condizione secca (AMC I) ovvero in quella umida (AMC III) i valori del CN ottenuti per la condizione di terreno mediamente saturo (AMC II) devono essere corretti secondo le seguenti equazioni rispettivamente per la condizione secca (CN_I) e per quella umida (CN_{III}):

$$CN_I = \frac{4.2 \cdot CN_{II}}{10 - 0.058 \cdot CN_{II}} \quad (24)$$

$$CN_{III} = \frac{23 \cdot CN_{II}}{10 + 0.13 \cdot CN_{II}} \quad (25)$$

Nell'ambito del presente studio si è ricorso al valore del CN_{III} .

2.7 Risultati dello studio idrologico

I bacini idrografici sottesi alle sezioni di interesse sono stati individuati e caratterizzati mediante l'assemblaggio, l'analisi e l'elaborazione in ambiente GIS dei dati disponibili relativamente all'andamento plano-altimetrico del terreno, all'andamento della rete di drenaggio e alla caratteristiche del terreno. Tali dati sono di seguito elencati:

- DTM numerico con mesh di 10 metri disponibile nel geoportale della RAS;
- strato informativo "04_ELEMENTO_IDRICO.shp" del database DBGT 10K della Regione Sardegna;
- Cartografia dell'Istituto Geografico Militare(IGM) Carta topografica d'Italia - serie 25V edita per la Sardegna dal 1958 al 1965;
- uso del Suolo della Regione Sardegna (Corine Land Cover - anno 2008).

La Tavola 1 "Corografia degli attraversamenti nel territorio comunale di Cossoine" mostra i bacini idrografici analizzati nell'ambito del presente studio; i corrispondenti parametri idrologici e morfometrici, e le relative portate di piena sono indicate nell' "Allegato B".

3 Studio Idraulico

Lo studio idraulico è la procedura volta alla definizione dei profili di corrente degli eventi di piena di assegnato Tempo di Ritorno T_R . Di seguito si riporta una breve descrizione della metodologia utilizzata nell'ambito del presente studio.

3.1 Il codice di calcolo HEC-RAS

Per l'analisi idraulica dei corsi d'acqua in esame si è utilizzato il codice di calcolo HEC-RAS (River Analysis System) sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers. Tale codice può essere impiegato per ricostruire il profilo idrico di un corso d'acqua in regime di moto permanente (moto stazionario) e/o in regime di moto vario (moto non stazionario), sfruttando le informazioni relative alla geometria dei corsi d'acqua nonché quelle relative alle caratteristiche del terreno espresse in termini di coefficiente di scabrezza di Manning. La geometria di ciascun tronco d'alveo può essere definita mediante la forma e le caratteristiche idrauliche delle sezioni trasversali che lo delimitano. Pertanto, fornendo tali informazioni in un sufficiente numero di sezioni trasversali di un determinato tratto fluviale il codice permette di correlare l'entità della portata liquida con le velocità e con le altezze idrometriche nelle sezioni di magra e nelle aree golenali del tratto fluviale considerato, ovvero di sistemi con congiunzioni e biforcazioni tra diversi tratti fluviali. Il codice permette di impiegare anche modelli idraulici più evoluti (es. analisi bidimensionali in regime di moto vario), tuttavia nell'ambito del presente studio si è ritenuto sufficientemente rappresentativa la modellazione in regime di moto permanente. Tale condizione di moto si basa sulle seguenti ipotesi:

- la portata è costante nel tempo nei vari tratti di alveo;
- il moto della corrente idrica è monodimensionale;
- il canale/alveo ha pendenza sufficientemente piccola da poter ritenere che i tiranti idrici siano misurabili sulla verticale piuttosto che ortogonalmente al fondo; – la corrente è gradualmente variata.

Le informazioni necessarie per la definizione della geometria dei tratti fluviali analizzati sono state ricavate mediante opportune procedure. Il tracciato è stato definito sulla cartografia numerica a disposizione integrata da rilievi di dettaglio effettuati lungo i tracciati. Le sezioni trasversali sono state posizionate mediamente ogni 15 metri in posizioni ritenute significative per gli scopi del presente studio, ed estese lungo le sponde in misura sufficiente da contenere i tiranti idrici durante gli eventi di piena (vedi Figura 3). La morfologia del terreno è stata ricostruita da un modello digitale di elevazione del terreno (DEM) con risoluzione spaziale di 1 metro là dove disponibile, e con

risoluzione spaziale di 10 metri negli altri casi (vedi Figura 4). Gli elementi geometrici degli attraversamenti sono stati inseriti mediante apposita interfaccia grafica con un notevole grado di precisione (Figura 5). I valori di scabrezza sono stati valutati per ogni sezione trasversale a partire dai valori ottenuti dalla mappa dell'Uso del Suolo della Regione Sardegna (Corine Land Cover - anno 2008).

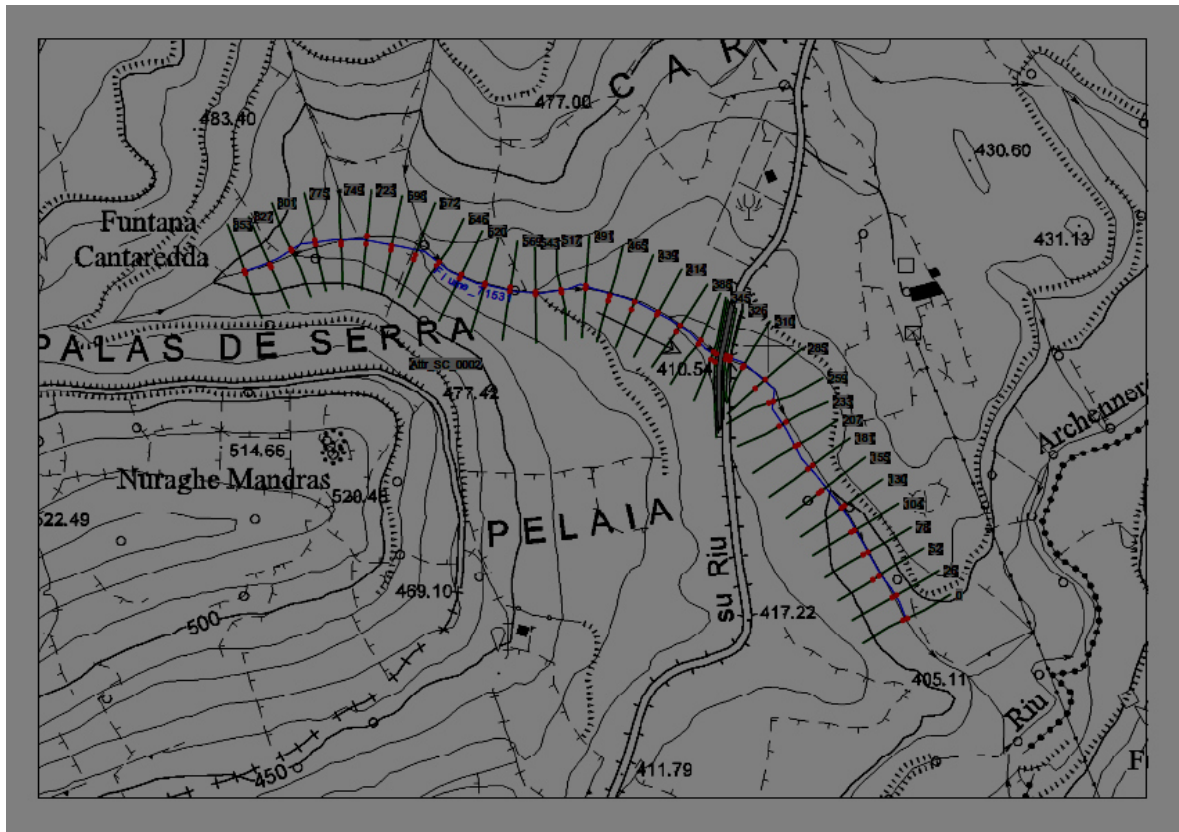


Figura 3_Inquadramento su base CTR di sezioni trasversali impiegate nell'analisi idraulica.

Per l'analisi del moto HEC RAS impone di fissare la portata su ogni ramo della rete e di definire per ogni ramo le condizioni al contorno di monte (indispensabile per il profilo coniugato di corrente veloce) e di valle (indispensabile per il profilo coniugato di corrente lenta). Per un regime di moto di tipo misto, invece, si rende necessaria specificare entrambe le condizioni, ovvero a monte e a valle. Fissate le condizioni al contorno il codice permette di dedurre il profilo coniugato di corrente lenta, il profilo coniugato di corrente veloce ovvero, il profilo di corrente in regime misto utilizzando e raccordando entrambi i profili coniugati (metodo utilizzato nella modellazione). Le condizioni al contorno sono sinteticamente riconducibili a due tipi: altezza nota del pelo libero (critica, di moto uniforme, nota o imposta in corrispondenza di particolari condizioni) oppure conoscenza della velocità media in sezione.

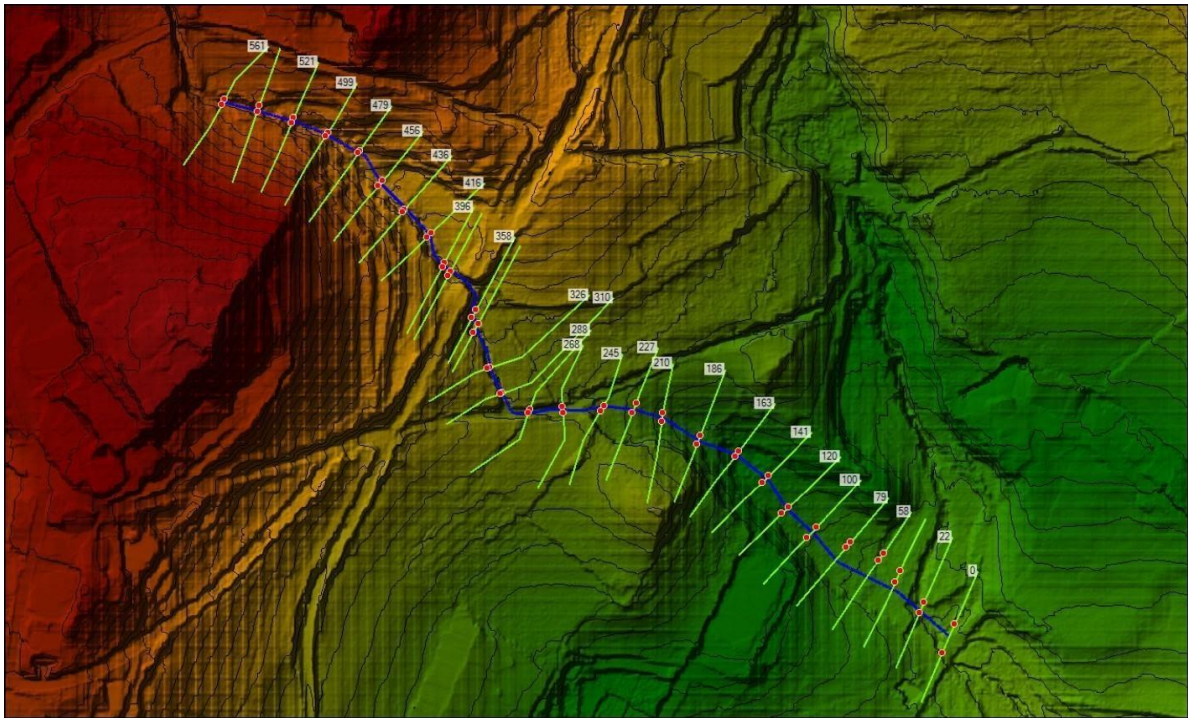


Figura 4_Costruzione della geometria delle sezioni su base DEM con risoluzione spaziale di 1 metro.

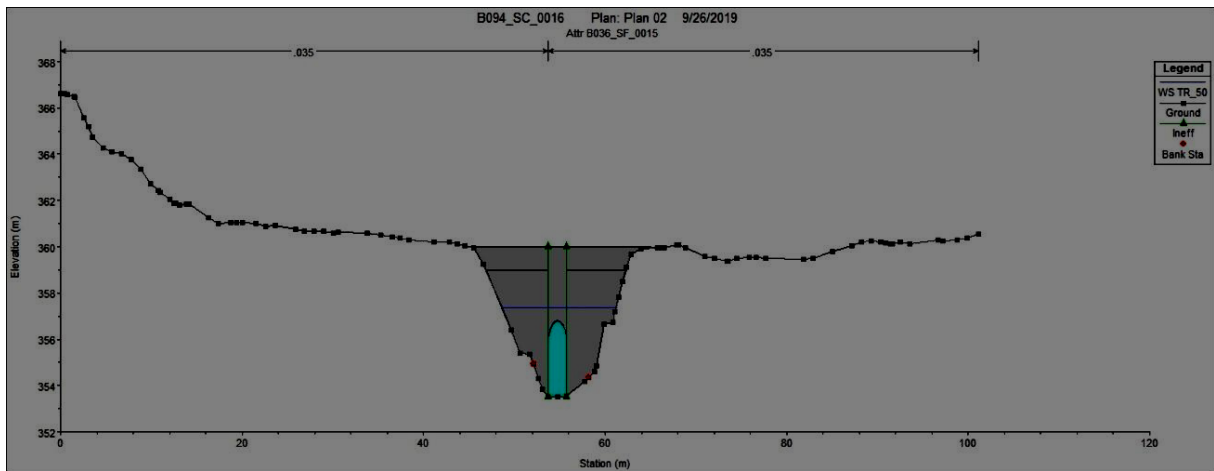


Figura 5_Dettaglio della geometria di un attraversamento caricato in Hec Ras.

Lo schema di calcolo del moto permanente adottato nelle simulazioni idrauliche di cui al presente studio è applicabile in condizioni di corrente gradualmente variata (moto monodimensionale). In tali condizioni, il profilo idraulico viene determinato tra una sezione e la successiva valutando le perdite di energia tra due sezioni consecutive dovute alla resistenza dell'alveo e alle variazioni di sezione, ovvero applicando l'equazione di conservazione dell'energia tra le due sezioni (equazione 26).

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} + h_e \quad (26)$$

in cui (vedi Figura 7):

- Y è il tirante idrico nella sezione;
- V è la velocità media nella sezione;

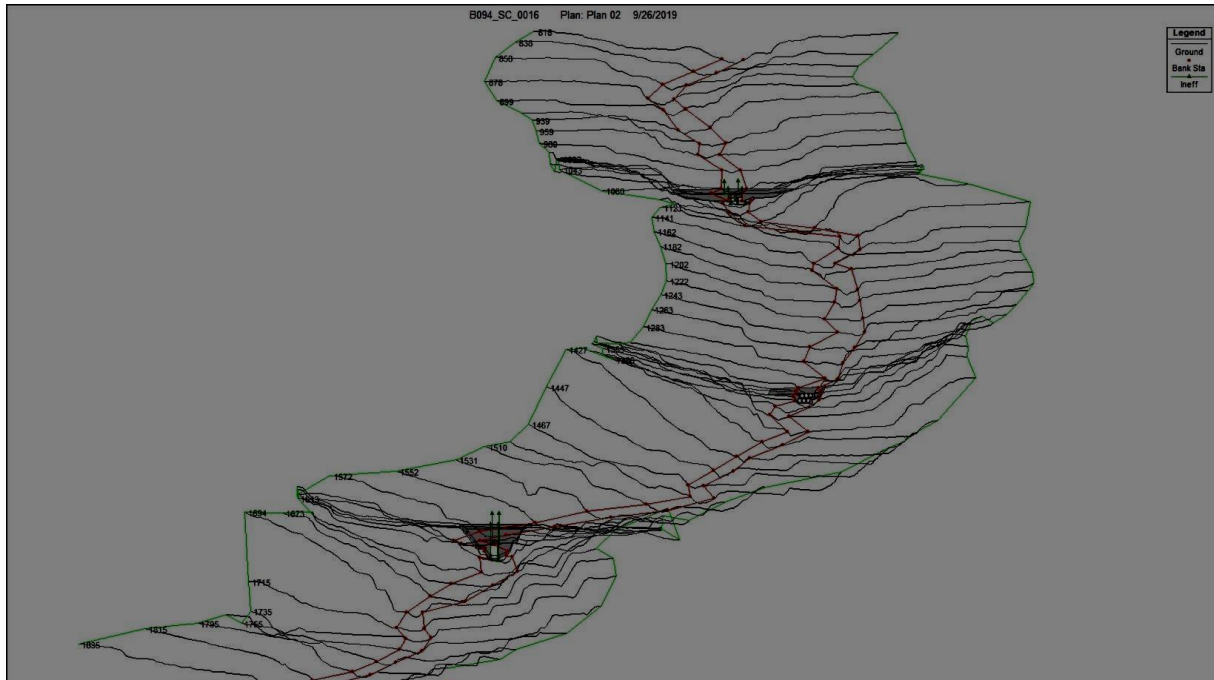


Figura 6_ Visualizzazione tridimensionale della geometria di un alveo caricata in Hec Ras.

- g è l'accelerazione di gravità;
- α è il coefficiente di ragguglio delle velocità; - h_e è la perdita di energia tra le due sezioni.

La perdita di energia h_e tiene conto della componente dovuta alle perdite di carico per attrito (perdite di carico distribuite), valutate secondo l'equazione di Manning, e della componente dovuta alle perdite di carico per contrazione ed espansione (perdite di carico concentrate) secondo la relazione 27.

$$h_e = L \cdot J \cdot C \cdot \left[\frac{\alpha_2 \cdot V_2^2}{2 \cdot g} - \frac{\alpha_1 \cdot V_1^2}{2 \cdot g} \right] \quad (27)$$

in cui:

- L è la distanza tra le sezioni;
- J è la cadente idraulica ricavabile dalla formula di Chezy;
- C è il coefficiente di perdita per espansione o contrazione di sezione;

In condizioni di moto permanente Hec-Ras determina il profilo del pelo libero mediante la procedura iterativa denominata standard step, risolvendo in maniera sequenziale l'Equazione 26.

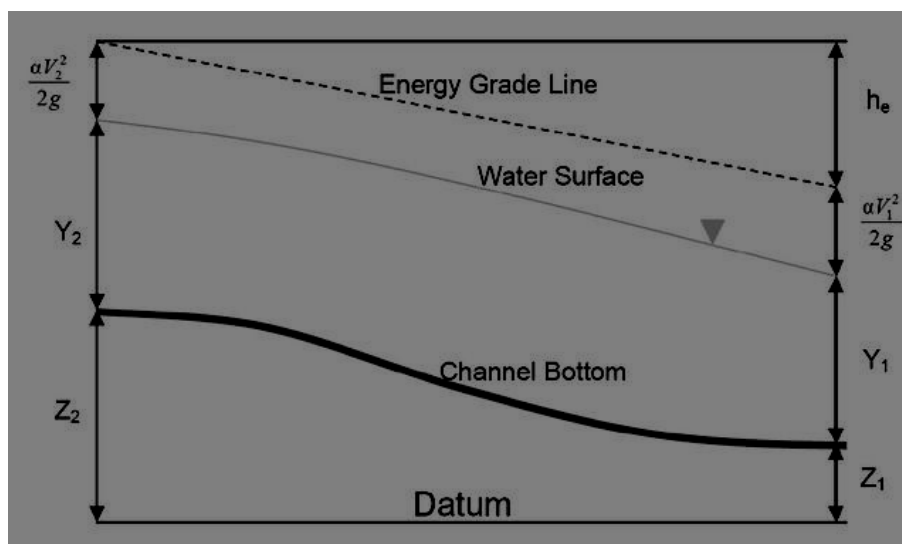


Figura 7_Schema grafico della variazione dell'energia di una corrente idraulica.

Poiché l'equazione di conservazione dell'energia 26 è applicabile solo per condizioni di moto gradualmente variato, quando avviene il passaggio da corrente lenta a veloce o viceversa allorché per esempio si abbia una significativa variazione di pendenza del fondo alveo oppure un cambio di sezione dovuto alla presenza di ponti o manufatti, salti di fondo, confluente, occorre applicare l'equazione di conservazione della quantità di moto.

3.2 Determinazione del franco idraulico

Per quanto riguarda la verifica idraulica degli attraversamenti è necessario far riferimento a quanto disposto dall'art. 21 delle NTA del PAI "Indirizzi per la progettazione, realizzazione e manutenzione delle infrastrutture" ed in particolare a quanto disposto al comma 2 secondo cui:

Per le opere di attraversamento trasversale di tutti i corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico, le disposizioni e norme tecniche tendono a stabilire principi generali e prescrizioni affinché le attività di progettazione, realizzazione e identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture [...] garantiscano un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiori a 8 m/s, pari a quanto indicato dall'analisi modellistica sul franco

idraulico approvata dal Comitato istituzionale dell’Autorità di Bacino, corrispondente al massimo tra:

- $0.7v^2/2g$, dove v indica la velocità media della corrente;
- un metro;
- $0.87\sqrt{y} + \alpha y^0$, dove y è la profondità media della corrente, y^0 è l’altezza della corrente areata ed α è un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0.87\sqrt{y}$ sarà assunto al massimo pari a 1.5 ed y^0 viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2. Il valore y della profondità media della corrente è pari alla media pesata sulla base del contributo di ciascuna area di sezione liquida associata alla corrispondente larghezza della corrente sul pelo libero. Nelle sezioni idrauliche non confinate o nelle quali vi siano zone ove le velocità medie sono modeste, per la valutazione dell’area bagnata attiva si considerano le sole parti aventi velocità della corrente superiori a 0.1 m/s.

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

Per velocità medie della corrente superiori a 8 m/s il franco sarà almeno pari all’intera altezza cinetica $v^2/2g$.

Nel caso di attraversamenti caratterizzati da una geometria nella quale le spalle o le pile del ponte non siano distinguibili dall’impalcato, in particolare per le sezioni circolari, semicircolari o in generale curve, l’allegato alla Deliberazione n. 3 del 11.12.2018 “*Indirizzi applicativi relativi al franco idraulico degli attraversamenti dei corsi d’acqua*” propone di utilizzare il principio del confronto dell’area della sezione in progetto con un’area rettangolare, avente per base la corda massima della sezione di progetto (vedi Figura 8). Pertanto, nel caso in cui, in di verifica di un attraversamento, non sia possibile definire il franco idraulico in quanto la forma curva della sezione non consente di distinguere l’impalcato dalle spalle o dalle pile, l’area della sezione di progetto (A_s) potrà essere assunta pari o superiore a quella di una sezione rettangolare con base uguale alla corda massima della sezione (che per sezioni circolari o semicircolari coincide col diametro), e di altezza pari a quella dell’area rettangolare bagnata più il franco F previsto dalle norme (A_r). Per le sezioni circolari di piccolo diametro ($R \leq 1.5m$) il franco idraulico non potrà essere comunque inferiore al raggio R .

Nel caso di verifica idraulica di tratti tombati, la “Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei canali tombati esistenti (articolo 22 delle norme tecniche di attuazione del PAI)” stabilisce al punto 6.3 che:

“il minimo franco tra la quota idrometrica relativa alla piena di progetto e la quota di intradosso

del canale è quello prescritto dall'articolo 21 delle NTA del PAI".

Le norme tecniche per le costruzioni - D.M. 17 Gennaio 2018, pubblicate nella Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20/02/2018, ed entrate in vigore il 22/03/2018, stabiliscono che il franco idraulico è da intendersi come "la distanza fra la quota liquida di progetto immediatamente a monte del ponte e l'intradosso delle strutture, da assumersi non inferiore a 1.50 m". Pertanto, nell'attesa che la normativa regionale recepisca quanto stabilito dalle nuove disposizioni Nazionali, le verifiche idrauliche degli attraversamenti e dei tratti tombati individuati nel territorio comunale di Cossoine sono state condotte in accordo a quanto disposto dalla normativa nazionale.

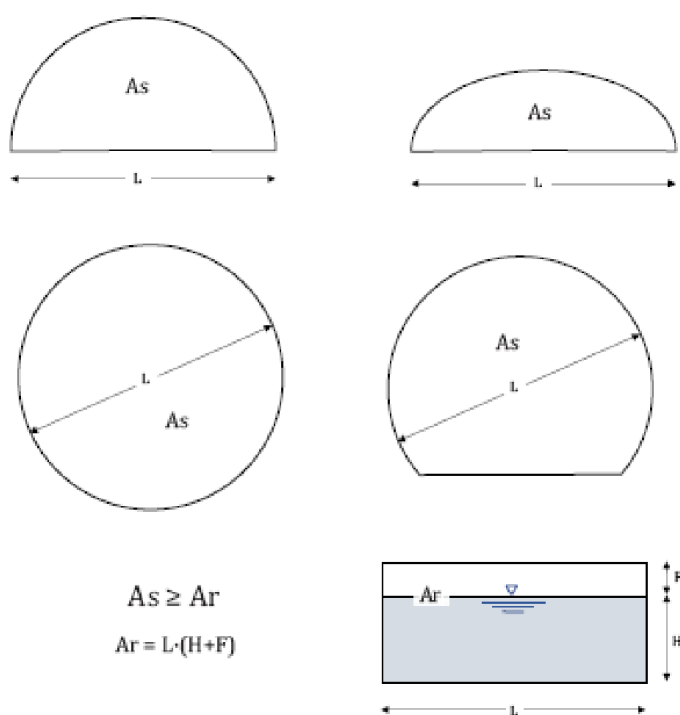


Figura 8_Schema esemplificativo per la definizione della sezione equivalente.

3.3 Determinazione del Tempo di ritorno Critico T_{Crit}

Così come disposto dal punto 3 della Direttiva, la verifica idraulica degli attraversamenti richiede il calcolo del tempo di ritorno critico T_{Crit} dell'opera di attraversamento, ovvero il tempo di ritorno T_R della portata di piena che circola nell'attraversamento con un franco idraulico pari al 50% di quello definito dalle NTA del PAI. La definizione del T_{Crit} richiede di procedere in modo iterativo, variando la portata fino ad ottenere una un franco idraulico pari alla metà del franco calcolato secondo l'art.21 del PAI.

3.4 Risultati dello studio idraulico

Lo studio idraulico condotto nell'ambito del presente lavoro è finalizzato alla stima dei livelli idrici e dei relativi franchi di sicurezza in corrispondenza degli attraversamenti presenti nel territorio di Cossoine per i quali è richiesta la verifica di sicurezza. Per ciascun attraversamento tale stima è stata effettuata con riferimento a 4 sezioni di calcolo:

- Sezione immediatamente a monte dell'attraversamento (Sezione "Monte");
- Sezione in corrispondenza del paramento di monte dell'attraversamento (Sezione "Up");
- Sezione in corrispondenza del paramento di valle dell'attraversamento (Sezione "Down");
- Sezione immediatamente a valle dell'attraversamento (Sezione "Valle").

Nei casi in cui la quota della corrente è risultata superare la quota di intradosso della struttura di attraversamento il valore del franco è stato posto pari a "0".

I risultati ottenuti sono rappresentati in forma tabellare nell'"Allegato C" mentre l'"Allegato E" riporta gli outputs della simulazione numerica.

Come mostrato nella tavola 2 (esiti delle verifiche sugli attraversamenti) e nell'allegato B (Report dei risultati dell'analisi idrologica) per 11 dei 29 attraversamenti analizzati nell'ambito del presente lavoro non è richiesta la verifica di sicurezza in quanto sottendono bacini idrografici di ridotte dimensioni (<0.5 kmq) con modeste portate idriche (< 10mc/s con Tr di 200 anni).

Di seguito si riportano alcune considerazioni sulla verifica di sicurezza dei restanti 18 attraversamenti.

Nessun attraversamento soddisfa la verifica di sicurezza.

L'attraversamento D100_SC_0002 verifica 3 condizioni su 4, l'unica verifica del franco non soddisfatta è quella della sezione di monte a causa del rigurgito indotto dal restringimento di sezione. Il tempo di ritorno critico è stato stimato pari a 100 anni.

Gli attraversamenti D100_SC_0004 e D100_SC_0037 verificano il franco unicamente nella sezione di valle. Per entrambi il tempo di ritorno critico è stato stimato pari a 15 anni.

L'attraversamento D100_SC_0010 è risultato irrilevabile a causa della foltissima vegetazione che lo ricopre. Quindi, è da considerarsi non idoneo al corretto smaltimento di un'eventuale portata di piena a prescindere dalle effettive misure. Necessita pertanto una pulizia dell'attraversamento prima di ogni altra valutazione.

Gli attraversamenti costituiti da tubolari di piccola dimensione, ovvero il D100_SC_0005,

D100_SC_0008, D100_SC_0028, D100_SC_0033, D100_SC_0034 sono di fatto assimilabili a guadi con tempo di ritorno critico inferiore ai 2 anni.

Gli attraversamenti D100_SC_0029, D100_SC_0038, D100_SC_0039, D100_SC_0040, D100_SC_0043, D100_SC_0044, D100_SC_0045, D100_SC_0046 risultano essere sormontati dalla portata di progetto ($T_r = 200$ anni) e presentano tempi di ritorno critici relativamente bassi (inferiore ai 2 anni). Si tratta pertanto di attraversamenti la cui funzionalità idraulica potrà andare in crisi facilmente.

L'attraversamento D100_SC_0030, non risulta soggetto a fenomeni di sormonto, ma è comunque da considerarsi a scarsa funzionalità idraulica in virtù del ridotto tempo critico di ritorno stimato in 5 anni.