



# Comune di Busachi

Regione Sardegna

## ADEGUAMENTO DEL PIANO PARTICOLAREGGIATO DEL CENTRO DI ANTICA E PRIMA FORMAZIONE AL P.P.R. Studio di compatibilità ai sensi dell'art. 8, comma 2, delle N.T.A. del P.A.I. Sardegna

### PROGETTO DI PIANO

### STUDIO DI COMPATIBILITA' IDRAULICA

ELABORATO	TAVOLA	SCALA	ALLEGATO <b>09.b</b>
-----------	--------	-------	-------------------------

COMMITTENTE RESPONSABILE: COMUNE DI BUSACHI  
Area Tecnica - Responsabile: Dott. Ing. Giampaolo De Donato  
Servizio Urbanistica  
**Responsabile del Procedimento: Dott. Ing. Giampaolo De Donato**

REDAZIONE DEL PIANO PARTICOLAREGGIATO: A.T.P. MANCA-MASULI  
Progettisti: Dott. Ing. Raimondo Manca  
Dott. Arch. Marianna Masuli

STUDIO DI COMPATIBILITA': SUD OVEST ENGINEERING S.r.l.  
**Progettisti Responsabili: Dott. Ing. Andrea Lostia**  
**Dott. Geol. Tiziana Carrus**

**SOE Sud Ovest Engineering S.r.l.**

Ingegneria  
Architettura  
Urbanistica  
Ambiente  
Territorio  
Green energy  
Consulting engineering  
Servizi integrati di outsourcing  
Engineering and contracting

Vale Marconi n. 87, 09131 CAGLIARI  
Codice fiscale e partita IVA: 03454150925  
Capitale Sociale 10.000,00 € i.v.  
Tel./Fax: 070.8571341  
sudovestengineering@gmail.com  
soesrl@legalmail.it  
www.sudovestengineering.it

Direttore Tecnico  
Dott. Ing. Andrea Lostia

Unità Operativa  
Dott. Ing. Andrea Lostia  
Dott. Geol. Tiziana Carrus

codice	emissione	elaborazione	verificato	approvato
2016_28	RE02	lostia/carrus	lostia	lostia



## COMUNE DI BUSACHI

Piazza Italia 1 - 09082 Busachi (OR)  
Tel. 078362010 - Fax. 078362433  
E.mail: [tecnico@comunebusachi.gov.it](mailto:tecnico@comunebusachi.gov.it)  
PEC: [tecnico.busachi@legalmail.it](mailto:tecnico.busachi@legalmail.it)  
Partita IVA e codice fiscale: 00541880951

# ADEGUAMENTO DEL PIANO PARTICOLAREGGIATO DEL CENTRO DI ANTICA E PRIMA FORMAZIONE AL P.P.R. Studio di compatibilità ai sensi dell'art. 8, comma 2, delle N.T.A. del P.A.I. Sardegna

## STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA

AREA TECNICA

**Servizio Urbanistica**

Responsabile: **Dott. Ing. Giampaolo De Donato**

PROGETTO

**Sud Ovest Engineering S.r.l.**

Progettisti Responsabili: **Dott. Ing. Andrea Lostia**  
**Dott. Geol. Tiziana Carrus**



REGIONE AUTÒNOMA DE SARDIGNA  
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



## INDICE

PREMESSA.....	3
ANALISI METODOLOGICA .....	4
INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO .....	6
1. BACINO IDROGRAFICO E PARAMETRI MORFOMETRICI .....	12
2. STIMA DELLA PORTATA DI PIENA .....	13
3. IL METODO RAZIONALE BASATO SULLA DISTRIBUZIONE TCEV .....	14
4. TEMPO DI CORRIVAZIONE.....	15
5. DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA .....	17
6. VALUTAZIONE DEL PARAMETRO CURVE NUMBER .....	20
7. SEZIONI DI CONTROLLO E BACINI IDROGRAFICI .....	20
ANALISI IDROLOGICA DEI BACINI/SUB-BACINI OGGETTO DI STUDIO .....	21
1. BACINO RIU OGGIU .....	21
1a. Sottobacini RIU OGGIU: Riu Oggiu Medio.....	25
1b. Sottobacini RIU OGGIU: Riu Oggiu Monte .....	28
1c. Sottobacini RIU OGGIU: Compluvio Sx .....	31
2. BACINO COMPLUVIO VIA MANZONI .....	35
3. BACINO COMPLUVIO TUNGORI .....	40
4a. Sottobacino urbano Settore ovest (SP32) .....	45
4b. Sottobacino urbano Settore ovest (SS 388) .....	48
4c. Sottobacino urbano Settore ovest (Via Lamarmora) .....	51
ANALISI INTERFERENZE RETICOLO IDROGRAFICO .....	54
ANALISI IDRAULICA .....	62
1. IL MODELLO IDRAULICO .....	62
2. SCHEMATIZZAZIONE DELLE SEZIONI .....	66
3. PARAMETRI DI VERIFICA .....	66
CONCLUSIONI.....	68

## PREMESSA

Lo studio di compatibilità idraulica, conformemente all'art. 24 delle N.T.A. del P.A.I. Sardegna:

- valuta la pericolosità idraulica del territorio in esame e i suoi effetti sui piani e programmi a scala comunale con riferimento alle loro finalità e agli effetti ambientali;
- analizza le relazioni tra le trasformazioni territoriali derivanti dalla realizzazione dei piani e programmi a scala comunale e le condizioni dell'assetto idraulico e del dissesto idraulico attuale e potenziale del territorio, anche studiando e quantificando le variazioni della permeabilità e della risposta idrologica dello stesso territorio;
- verifica e dimostra la coerenza di piani e programmi con le previsioni e le norme del PAI Sardegna.

Con riferimento all'art. 26 delle N.T.A. del P.A.I. l'area di interesse del centro matrice di antica e prima formazione interno all'area urbana del Comune di Busachi è stata esaminata verificando la presenza o meno delle seguenti tipologie di aree idrografiche a significativa pericolosità idraulica:

- a. reticolo minore gravante sui centri edificati;
- b. foci fluviali;
- c. aree lagunari e stagni.

È stato studiato il reticolo idrografico di riferimento con lo scopo di individuare i relativi tronchi critici e/o la presenza di manufatti e/o infrastrutture le cui interferenze potessero innescare fenomeni di pericolosità idraulica.

Il presente studio, secondo fasi successive di approfondimento, è così articolato:

### *ANALISI METODOLOGICA*

Riporta una breve descrizione della metodologia utilizzata per redigere lo studio, il quadro informativo sulla cartografia storica con descrizione dell'evoluzione del territorio con i risvolti che lo stesso ha avuto in merito al sistema dei deflussi superficiali; e l'analisi foto interpretativa degli elementi dell'area di studio.

### *INQUADRAMENTO TERRITORIALE*

Prevede una breve descrizione dell'area interessata unitamente all'elencazione del quadro informativo territoriale utilizzato.

### *ANALISI IDROLOGICA*

Riporta lo studio dei bacini e del reticolo idrografico insistente sul territorio oggetto di studio, con l'elencazione delle aste fluviali principali e dei compluvi di cui si è potuto definire un quadro conoscitivo sulla base delle informazioni cartografiche e delle conoscenze locali. I corsi d'acqua richiamati, unitamente all'intero sistema idrografico interno all'area di studio saranno oggetto di analisi. L'analisi si occupa dell'interpretazione del fenomeno con relativa metodologia di calcolo, esaminando inoltre le grandezze caratteristiche che contraddistinguono il bacino scolante afferente alle sezioni di chiusura delle aste in esame, le grandezze idrologiche necessarie per la determinazione del valore della precipitazione e le successive determinazioni numeriche delle portate di calcolo.

### *ANALISI IDRAULICA*

Tratterà il comportamento idraulico dei tronchi, mediante l'illustrazione del fenomeno fisico e al relativo codice di calcolo utilizzato, per l'esecuzione delle elaborazioni numeriche; il risultato saranno i profili, sezioni e tabulati numerici delle elaborazioni eseguite. La definizione delle nuove aree di allagamento, infine, è derivata da un raffronto ragionato dei risultati ottenuti unitamente alle verifiche sul campo e all'analisi degli eventi storicamente avvenuti.

Il risultato finale dello studio di compatibilità idraulica saranno le carte della pericolosità idraulica, ossia la delimitazione delle aree allagabili, e la relativa disciplina urbanistico-edilizia, quale strumento a supporto delle scelte della pianificazione in grado di valutare la compatibilità delle trasformazioni territoriali, riferite ai piani e/o programmi, secondo le disposizioni della normativa di settore e del P.A.I. Sardegna nello specifico.

## ANALISI METODOLOGICA

Dallo studio del reticolo e dei bacini idrografici si sono individuati quei tronchi critici fluviali, che, a causa delle loro caratteristiche morfologiche e/o della presenza di manufatti, condizionano il deflusso delle acque mettendo a rischio gli elementi presenti nelle aree a loro adiacenti, che possono essere potenzialmente soggetti a fenomeni di esondazione e quindi causa di allagamenti.

L'analisi per l'individuazione dei tronchi critici si è basata sui seguenti criteri:

- il criterio dell'analisi storica basata sulla memoria di particolari eventi di piena storica, testimoniata dalla toponomastica di alcune località, dalle cronache e dai reperti documentali;
- il criterio geomorfologico basato sul riconoscimento attraverso analisi foto interpretativa degli elementi del territorio caratterizzati dall'evoluzione temporale del reticolo di drenaggio come terrazzi fluviali, alvei abbandonati, morfologie deposizionali,
- il criterio dell'attraversamento delle aree di pregio basato sulla constatazione dell'esistenza, lungo o nelle vicinanze degli alvei fluviali, di elementi esposti, così come indicati dal D.P.C.M. 29.09.98:
  1. aree libere da insediamenti e aree improduttive; zona boschiva; zona agricola non edificabile; demanio pubblico non edificato e/o edificabile,
  2. aree con limitata presenza di persone; aree extraurbane, poco abitate; edifici sparsi Zona agricola generica (con possibilità di edificazione); zona di protezione ambientale, rispetto, verde privato; Parchi, verde pubblico non edificato; infrastrutture secondarie,
  3. nuclei urbani non densamente popolati; infrastrutture pubbliche (strade statali, provinciali e comunali strategiche, ferrovie, lifelines, oleodotti, elettrodotti, acquedotti); aree sedi di significative attività produttive (insediamenti artigianali, industriali, commerciali minori); zone per impianti tecnologici e discariche RSU o inerti, zone a cava.
  4. centri urbani ed aree urbanizzate con continuità (densità abitativa superiore al 20% della superficie fondiaria); nuclei rurali minori di particolare pregio; zone di completamento; zone di espansione; grandi insediamenti industriali e commerciali; servizi pubblici prevalentemente con fabbricati di rilevante interesse sociale; infrastrutture pubbliche (infrastrutture viarie principali strategiche); zona discarica speciali o tossico nocivi; zona alberghiera; zona campeggi e villaggi turistici; beni architettonici, storici e artistici.

### Analisi storica e cartografia di base

Il primo approccio è stato quello di esaminare gli strumenti pianificatori esistenti e/o adottati per individuare il materiale ritenuto utile come base di partenza per la caratterizzazione del territorio, la cartografia esaminata è stata:

- Carta tecnica regionale 1:10000;
- Cartografia IGM 1:25000;
- Cartografia del PUC vigente;
- Cartografia del P.A.I.;
- Cartografia del P.S.F.F.;
- Carta dell'uso del suolo 1:10000;
- Carta geologica 1:10000;

Valido supporto allo studio è stato fornito da:

- il database del sito web della Regione Sardegna – Sardegna Geoportale dove sono state consultate le ortofoto e immagini satellitari dal 1943 al 2010, le foto oblique a maggior dettaglio relative al solo centro urbano del 2013;
- il database del sito web Google Earth Pro.

Inoltre sono stati richiesti alla Regione Sardegna, Assessorato Enti locali e Urbanistica, ulteriori dati cartografici e ortofoto, al momento non disponibili.

Successivamente si è proceduto ad una ricerca bibliografica volta all'individuazione delle aree storicamente soggette a dissesto idrogeologico di varia natura, e alla ricerca di eventi

calamitosi dovuti ad esondazione di corsi d'acqua e/o fenomeni di allagamento di varia natura. Si è presa visione del progetto AVI del Sistema Informativo sulle Catastrofi Idrogeologiche ed infine è stata fatta una ricerca mediante l'ascolto degli anziani locali sulla sussistenza o meno di eventi calamitosi.

L'ipotesi più accreditata sull'origine del nome Busachi indica che lo stesso deriverebbe da "Baxus" cioè "bosso", un arbusto perenne sempre verde della famiglia delle Buxacee, molto comune nella zona.

In generale si è potuto constatare l'inesistenza di eventi calamitosi (che abbiano interessato le popolazioni locali con perdite di vite umane e danni rilevanti al patrimonio) dovuti ad esondazione di corsi d'acqua e/o fenomeni di allagamento di varia natura che abbiano interessato l'area oggetto di studio.

#### Rilevamento sul campo

In seguito all'analisi della documentazione cartografica si è passati alla fase della verifica sul campo effettuando vari sopralluoghi, in funzione all'accessibilità dei luoghi, che hanno interessato il territorio comunale con particolare attenzione alle infrastrutture e/o ai manufatti interferenti col reticolo idrografico anche minore.

#### Fase di sintesi e di output

L'ultimo step è stato quello di realizzare la carta di sintesi delle aree a pericolosità idraulica seguendo le direttive e le metodologie riportate nelle Linee Guida del Piano Assetto idrogeologico (PAI) della Sardegna.

## INQUADRAMENTO GEOGRAFICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

Il territorio oggetto di studio, racchiuso dai limiti amministrativi del Comune di Busachi, è ubicato nella parte Centro-Orientale della provincia di Oristano, nell'ambito territoriale denominato "Barigadu", e nello specifico lo studio interessa l'area urbana interclusa dal centro matrice di antica e prima formazione.

Nella Cartografia Ufficiale Italiana il Comune di Busachi è inquadrato nel Foglio n° 515 sez. II dell'Istituto Geografico Militare in scala 1:25.000, e nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000 nell'elemento 515150 "Busachi".

L'area oggetto di studio presenta una morfologia con un andamento plano-altimetrico di tipo collinare con pendenze variabili, tipico dei sedimenti dell'Oligo Miocene con l'altimetria che varia da 508 m in località Bingiales a 316 m nell'area del depuratore; si ritrovano dei pianori con pendenze medio basse, intervallati da versanti a gradinate e sub verticali, in corrispondenza delle incisioni dei corsi d'acqua.

L'agglomerato urbano di Busachi è impostato sulle sequenze ignimbriche del vulcanismo dell'Oligo-Miocene costituito principalmente da prodotti piroclastici a chimismo da dacitico a riolitico. Si presentano in forma di banchi in facies tufacee, piroclastiche, pomiceo-cineritiche, di colorazione da biancastro a rosa-verdastro, alternate ad estese bancate di natura fortemente litoide, porfiriche, a struttura eutassilica, di colore rosso violaceo.



**ORTO FOTO 1968**



**ORTO FOTO 2013**

L'idrografia superficiale dell'area vasta in cui si ritrovano le litologie ignimbriche è caratterizzata da una rete di canali di drenaggio che costituiscono un reticolo idrografico prevalentemente sub dendritico tipico di terreni con una bassa permeabilità, dove è evidente un orientamento preferenziale in direzione NW-SE, causato da un certo controllo tettonico. I principali corsi d'acqua limitrofi al centro urbano, sono il Riu Oggiu, che nasce in prossimità della località Bingiales ad una quota di 430 mt s.l.m. e il Riu Pitzuarbule, che ha origine in località Terra 'E Piu ad una quota di 290 mt s.l.m., entrambi a carattere torrentizio. Inoltre sono presenti impluvi naturali del terreno che fungono da collettori secondari per immettere le acque di scorrimento nei corsi d'acqua principali.

Il Riu Oggiu ha una lunghezza di 3.036 mt, attraversa la periferia nord del centro urbano, dove in un tratto risulta tombato, drenando quasi totalmente le acque del centro urbano tramite ulteriori tre affluenti; prosegue poi in un alveo incassato in località Caedda-Suiles sino al territorio di Ula Tirso, dove in località Calavrighe si interseca con il Rio Littu per poi immettersi nel Fiume Tirso.

L'area oggetto del presente studio è rappresentata dal bacino del "riu oggiu" sotteso dalla

sezione di chiusura fissata a valle dell'abitato, nella zona nord-ovest in località "su truncau" nel punto in cui vi è una forte variazione di dislivello che determina un salto di circa 4 m tra la Via Collegiu e la campagna sottostante. Il bacino del "riu oggiu" è interessato principalmente da terreni collinari destinati al pascolo, piccole aree coltivate, incolti produttivi quali formazioni arbustive a macchia mediterranea o piccole superfici di bosco a "quercus pubescens" e "quercus suber" oltre che da una parte antropizzata costituita dal centro urbano. Il bacino in esame ha come principali caratteristiche orografiche una successione di altopiani ad andamento prevalentemente sub-orizzontale i cui fianchi sono costituiti da scarpate rocciose alternati a formazioni collinari su cui il rio ha inciso un profondo solco d'erosione.

L'insieme dei fenomeni morfogenetici e dei loro effetti su una determinata zona rappresenta quella che si definisce la pericolosità geologica, che comprende i fenomeni naturali quali ad esempio le frane, le alluvioni, i terremoti, le eruzioni vulcaniche ect. Nella fattispecie in questione, il quadro normativo di riferimento della Regione Sardegna disciplina la pericolosità idrogeologica e la pericolosità sismica.

### **PERICOLOSITÀ SISMICA**

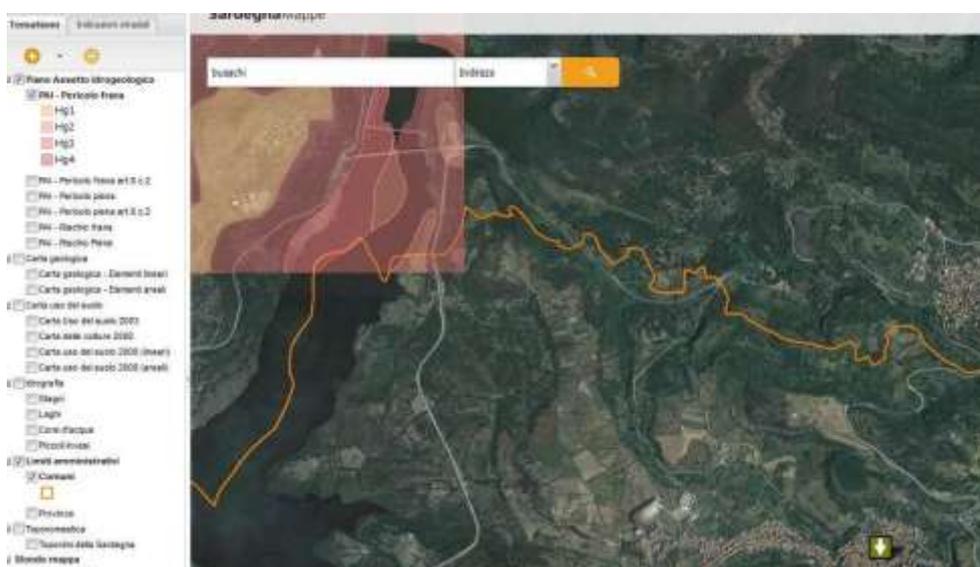
Con riferimento alla classificazione sismica del territorio nazionale con l'Ordinanza D.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003 e la successiva n. 3519 del 28/04/2006 la Sardegna è stata classificata come **zona sismica 4 "pericolosità molto bassa"**. Lo studio di pericolosità, allegato all'O.P.C.M. n. 3519 del 28/04/2006, integrato con il D.M. 14/01/2008, ha fornito alle Regioni uno strumento aggiornato per la classificazione del proprio territorio, introducendo degli intervalli di accelerazione (ag), con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni, da attribuire alle 4 zone sismiche.

### **PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICA**

In riferimento al rischio idrogeologico bisogna rapportarsi ai piani elaborati dalla Regione Sardegna che sono:

- Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.);
- Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.);
- Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvione (PGRA).

Relativamente ai piani sovraordinati sopra elencati il Comune di Busachi risulta avere una piccola parte del territorio comunale a nord perimetrato a rischio geomorfologico e nell'area urbana due aree perimetrare a rischio idraulico.



**Stralcio dal P.A.I. – aree a pericolosità da frana**



**Stralcio dal P.A.I. – aree a pericolosità idraulica Hi4**

Stralcio dal P.A.I. – aree a pericolosità idraulica Hi4

**Codice tratto critico: B2Tc013****Schede inventario di rif.to: BUS****Schede intervento di rif.to: B2Tc013****Legenda**

- |   |   |
|---|---|
|  | <b>Hi4</b> Aree inondabili da piena in parte di ordine catastrofale da tempi di ritorno di 50 anni  |
|  | <b>Hi3</b> Aree inondabili da piena in parte di ordine catastrofale da tempi di ritorno di 100 anni |
|  | <b>Hi2</b> Aree inondabili da piena in parte di ordine catastrofale da tempi di ritorno di 200 anni |
|  | <b>Hi1</b> Aree inondabili da piena in parte di ordine catastrofale da tempi di ritorno di 500 anni |
|  | Linee di subalveo   |

## ANALISI IDROLOGICA

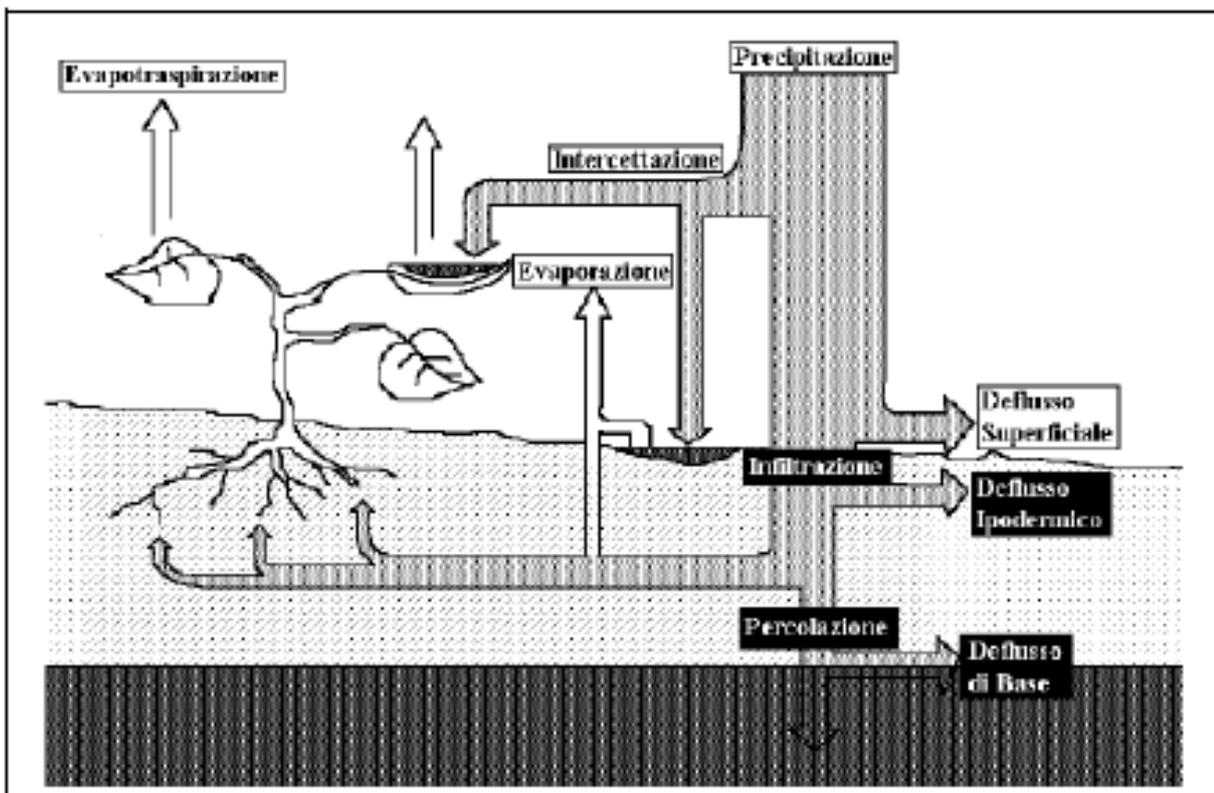
L'area oggetto di studio sita nel territorio comunale di Busachi è ricompresa all'interno del Bacino unico della Sardegna, più precisamente nel sub bacino n. 2 Tirso, così come riportato nel Piano di Assetto Idrogeologico e nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali. L'individuazione del sistema idrografico, costituisce la base di partenza dello studio idrologico e idraulico.

È importante rilevare che la definizione delle aree di allagamento sulla cartografia è l'ultimo passo di un processo di analisi che non può essere scisso dalle fasi che lo precedono e che, come tale, risente delle schematizzazioni che necessariamente devono essere assunte.

Nell'analisi idrologica l'ordine di schematizzazione assunto riguarda sia il quadro concettuale che esprime il verificarsi del fenomeno, sia la successiva traduzione modellistica del fenomeno semplificato.

Nel primo caso giova rilevare che la schematizzazione di base per la rappresentazione della trasformazione degli afflussi in deflussi parte dall'individuazione di un processo descrittivo che assume il deflusso come accorpamento negativo delle grandezze facenti parte del bilancio idrico.

In particolare con il concetto di "trasformazione afflussi-deflussi" raggruppa l'insieme di quei diversi processi idrologici che concorrono alla formazione del deflusso, a partire dalla precipitazione meteorica, prima ancora che il deflusso stesso si incanali nella rete idrografica secondo la seguente schematizzazione.



La realizzazione di modelli di piena passa necessariamente attraverso ulteriori semplificazioni del fenomeno, trascurando alcune grandezze possono che considerarsi influenti, infatti:

- l'evapotraspirazione risulta essere modesta o nulla in relazione ai deflussi superficiali che assumono importanza preponderante rispetto agli altri;

- i diversi tipi di deflusso (superficiale, ipodermico, profondo o di base) assumono una importanza relativa che varia in funzione del tempo caratteristico di risposta del bacino in esame;
- il deflusso di base, ovvero quello che può ritenersi costante e determinato dalle portate di magra del corso d'acqua, può essere ritenuto costante nell'ambito dell'evento di piena. Tale contributo, risulta in genere essere di uno o più ordini di grandezza inferiore alle portate di piena, e quindi in buona approssimazione trascurabile, così pure il deflusso ipodermico nel caso di un bacino di dimensioni medie o piccole.

La seconda fase consiste nello stabilire le relazioni analitiche intercorrenti tra le caratteristiche dell'evento meteorico che causa la piena e le modalità con cui avviene la trasformazione afflussi-deflussi.

Il processo di analisi ha avuto le sue prime formulazioni nella metà dell'800 (Mulvany) nella relazione veniva definito il valore della portata al colmo  $Q$  per un assegnato periodo di ritorno per effetto di una precipitazione ricadente in un bacino assegnato.

Nella sua formulazione, venivano assunte le seguenti semplificazioni:

- il valore della portata al colmo  $Q$  relativo ad un evento meteorico costante, è il maggiore tra tutti i valori di portata definiti per lo stesso bacino e per lo stesso tempo di ritorno  $T$ .
- per un preassegnato periodo di ritorno, l'evento meteorico che genera il valore massimo di portata ha una durata pari al tempo di corrivazione;
- che la portata al colmo  $Q$  per un evento causata da una precipitazione ragguagliata di intensità costante sia proporzionale all'intensità della precipitazione, alla superficie del bacino e a un coefficiente  $C$  legato alle caratteristiche del bacino e al suo grado di impermeabilità.

Il successivo approccio cinematico cui si fa affidamento per la determinazione della portata introduce semplificazioni che tendono a schematizzare il deflusso sempre assumendo delle condizioni che tendono a eliminare le interazioni tra le grandezze che concorrono; in particolare, le ipotesi di base sono:

- il trasferimento della piena sia affidata al trasferimento di massa liquida;
- ogni goccia percorra sempre la stessa traiettoria anche con l'evoluzione del processo di pioggia, e che quindi le linee di corrivazione siano immutabili;
- il tempo di corrivazione, e quindi la velocità di ruscellamento dell'acqua sia immutabile con il livello di saturazione del terreno e con il formarsi del velo idrico superficiale, la velocità della goccia non sia influenzata dal moto delle altre gocce;
- la portata di piena sia data dalla somma delle portate provenienti dalle altre parti di bacino che si presentano alla sezione di chiusura allo stesso istante.

Le ipotesi di cui sopra diventano di fondamentale importanza in relazione al contesto territoriale entro cui si opera, e inducono approssimazioni più o meno rilevanti in base alle forme e caratteristiche dei bacini riferimento.

Entrando nelle specifiche grandezze che influenzano il modello, si rileva che le semplificazioni riguardano sia il grado di precisione della stima dell'intensità di pioggia, della sua distribuzione spaziale, che evidentemente della superficie del bacino ma anche della sua forma, così pure dell'individuazione della pioggia netta, e passa attraverso una modellizzazione della risposta del bacino stesso.

Le considerazioni su esposte, dunque, inducono a ritenere che possa essere accettato un grado di scostamento rispetto alle condizioni che realmente potrebbero verificarsi.

In fase di valutazione delle grandezze su richiamate, sarà opportuno valutare il grado di imprecisione che deriva dalla valutazione dell'intensità di pioggia, dalla sua distribuzione spaziale e dal comportamento del bacino idrografico per quanto attiene il processo di trasformazione afflussi deflussi.

Con l'ausilio di codici specifici per l'idrologia in ambiente GIS è stata dunque eseguita la prima fase di processo dei dati. Successivamente sono stati definiti, per ogni cella, la direzione del flusso, la direzione di massima pendenza, il numero di celle a monte che contribuiscono al

flusso, la rete di drenaggio, le aree di drenaggio per ogni segmento idrico, etc., ai fini di ottenere il quadro completo che concorre all'individuazione dei parametri di bacino.

L'intera procedura consente di individuare quindi i principali parametri idrologici, quali la pendenza del bacino, l'asta principale, la lunghezza e pendenza dell'asta principale, la quota massima, minima e la superficie del bacino, la pendenza media.

Il calcolo della portata è stato effettuato conformemente a quanto previsto nelle Linee Guida del PAI. In esse si rileva che, in mancanza di dati osservati, si dovrà far ricorso alle metodologie di calcolo disponibili, che possono essere inquadrate in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di Metodi Diretti, la seconda come Metodi Indiretti, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente, ovvero indirettamente tramite trasformazione afflussi-deflussi.

Nel caso specifico, la stima della portata di piena ad assegnata frequenza sarà determinata attraverso il confronto critico tra metodologie dirette, indirette e i metodi empirici.

Per l'applicazione dei metodi di cui sopra si dovrà ricorrere all'individuazione dei parametri morfologici dei bacini in studio.

### **1. BACINO IDROGRAFICO E PARAMETRI MORFOMETRICI**

Intendiamo per bacino idrografico la superficie topografica dalla quale le acque di pioggia, defluendo naturalmente, passano per la sezione di chiusura. Le caratteristiche morfometriche esaminate riguardano le dimensioni planimetriche, il rilievo, la pendenza media del bacino, dell'asta fluviale e il tempo di corrivazione, riferite ai principali bacini idrografici individuati nel territorio comunale che ai sub-bacini utili ai fini delle verifiche del calcolo idraulico.

Le dimensioni planimetriche sono:

- **A** - area o superficie del bacino: superficie della proiezione orizzontale del bacino idrografico chiuso alla sezione del corso d'acqua;
- **P** - perimetro: lunghezza della proiezione orizzontale di tutto il contorno dello spartiacque del bacino idrografico;
- **L** - lunghezza dell'asta (fluviale) principale: lunghezza misurata considerando il "percorso idraulicamente più lungo" partendo dallo spartiacque sino alla sezione di chiusura dell'asta (fluviale) principale, la quale identifica il percorso dei deflussi più importante nel bacino, lungo il quale dovrebbero anche defluire le portate maggiori.

I parametri o i coefficienti più significativi di un bacino relativi alle sue caratteristiche morfometriche sono:

- pendenza media del bacino  $j_m$  :

$$j_m = \Delta z * \Sigma l_i / A$$

$\Delta z$  differenza di quota tra le curve di livello o anche detta equidistanza tra isoipse,  
 $\Sigma l_i$  sviluppo totale delle curve di livello  
 A superficie del bacino

- altitudine media del bacino  $H_m$  :

$$H_m = \Sigma S_i z_i / A$$

$S_i$  area compresa tra due curve di livello, differenza di quota tra le curve di livello o anche detta equidistanza tra isoipse,  
 $z_i$  sviluppo totale delle curve di livello  
 A superficie del bacino

- pendenza media dell'asta (fluviale) principale  $i_m$ :

$$\sqrt{i_m} = \frac{L_a}{\sum_k \frac{l_k}{\sqrt{i_k}}}$$

dove  $l_k$  e  $i_k$  sono la lunghezza e la pendenza del  $k$ -esimo tratto elementare dell'asta principale.

Il tracciamento dei bacini è stato fatto in ambiente GIS e integrato con applicativi specializzati per l'elaborazione idrologica. In particolare si è proceduto alla creazione di un modello digitale del terreno (DEM) costituito da una griglia a maglia quadrata di 10 metri ottenuta con un algoritmo triangolare ottimizzato (TIN), a sua volta desunto dalla trasformazione numerica delle isocore vettoriali 3D tratte dalla Carta Tecnica Regionale.

Il DEM così elaborato costituisce la base altimetrica su cui individuare la linea di displuvio che delimita il bacino e fornisce la rappresentazione numerica da cui desumere i parametri morfometrici del bacino stesso necessari alle elaborazioni idrologiche.

In particolare il DEM consente, con operazioni semplici, di determinare l'area dei bacini totale e parziali, le quote delle sezioni d'interesse, le altitudini medie, minime e massime.

La carta delle acclività, derivata dal DEM, consente la determinazione della pendenza media del bacino; la struttura di rete assunta, infine, con l'aggiunta della coordinata Z del DEM, consente agevolmente l'individuazione dell'asta principale, con gli attributi di lunghezza e pendenza media, e del suo profilo altimetrico.

## 2. STIMA DELLA PORTATA DI PIENA

Come previsto dalle Linee Guida PAI la stima della portata al colmo può essere eseguita con tre metodo differenti:

- 1) metodo "diretto o probabilistico"
- 2) metodo "indiretto o analitico"
- 3) metodo "empirico".

I primi pervengono al valore della portata al colmo in una sezione di interesse a partire dall'analisi di serie storiche osservate di portata; i secondi sfruttano un modello di trasformazione afflussi-deflussi che consente di pervenire alla portata di progetto partendo dall'analisi statistica delle piogge; i metodi empirici, infine, si basano sull'osservazione di valori di portata al colmo che vengono posti in relazione con particolari parametri geomorfologici di bacino.

Non disponendo di serie storiche osservate di portate occorre subito scartare l'ipotesi di ricorrere a metodi di stima diretti che tra l'altro sono stati validati solo per grandi bacini al di sopra di 40-60 km<sup>2</sup>.

I metodi empirici hanno il difetto di non tenere conto di nessuna analisi statistica, sono legati alla limitata serie di valori osservati e, in genere, danno dei valori di portata decisamente sovrastimati.

In tale ottica i metodi indiretti, vista anche la dimensione dei bacini in studio, paiono i più adatti a sopperire alla inconsistenza dei dati osservati e, tra questi, il metodo razionale, basato sulla formula omonima, risulta certamente fra i più utilizzati.

La scelta del modello trasformazione afflussi-deflussi è un aspetto molto importante in quanto determina l'accuratezza dei risultati delle elaborazioni e la corretta interpretazione della dinamica del bacino in esame. Nel caso dei nostri bacini in studio vista la loro dimensione ed essendo contigui, alcune caratteristiche idrologiche sono state considerate omogenee.

Il parametro di riferimento che descrive la risposta idrologica di un terreno in termini di trasformazione degli afflussi (piogge) in deflussi (portate) è detto "contributo specifico di piena" o "coefficiente udometrico" ( $u$ ), espresso usualmente in [l/s·ha]. La stima di " $u$ " avviene utilizzando dei modelli concettuali semplificati che permettono di ricavare la portata massima che si ha alla sezione di chiusura del bacino a fronte di una precipitazione di

assegnata durata e tempo di ritorno.

Tra i vari modelli analitico/concettuali disponibili in letteratura tecnica vi sono tre diversi metodi:

- il Metodo Razionale o Cinematico o del Tempo di Corrivazione, che rappresenta nel contesto italiano la formulazione sicuramente più utilizzata a livello operativo;
- il Metodo dell'Invaso;
- Il Metodo Curve Numbers proposto dal Soil Conservation Service (SCS) americano.

Circa la scelta della distribuzione di probabilità per le piogge (da adottarsi con la formula razionale), gli ultimi sviluppi della letteratura in proposito di eventi estremi in Sardegna hanno mostrato come la distribuzione Two Components Extreme Value, nota come TCEV, si presenti più adatta di quella Lognormale per interpretare i fenomeni di pioggia brevi e intensi. Il metodo permette di esprimere la massima portata inerente una generica sezione che sottende ad un bacino di area  $A$ , in funzione della precipitazione critica ragguagliata che chiameremo  $h_{(T)}$ . Il metodo trova fondamento dall'ipotesi che il tempo impiegato da una goccia di pioggia per raggiungere la sezione di chiusura del bacino sia una costante che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui questa è caduta; tale intervallo di tempo viene definito come "tempo di corrivazione". La sua importanza deriva dal fatto, che per una precipitazione di durata  $t_c$ , tutto il bacino contribuisce al deflusso superficiale, e quindi alla sezione di chiusura si registrerà la massima portata.

### 3. IL METODO RAZIONALE BASATO SULLA DISTRIBUZIONE TCEV

La stima della portata di colmo con i metodi indiretti come quello razionale con distribuzione TCEV passa attraverso la valutazione della pioggia critica, cioè della pioggia che determina la portata massima, nell'ipotesi approssimata che il tempo di ritorno di un certo evento di pioggia si possa attribuire anche alla portata che esso genera.

La trasformazione Afflussi-Deflussi che consente di passare dalle precipitazioni alle portate fa ricorso al metodo Cinematico e alla cosiddetta "formula razionale" che calcola la portata di piena in base al fenomeno della corrivazione delle particelle liquide.

Per tale formula la pioggia critica è quella di durata pari alla somma del tempo di corrivazione più il tempo di formazione del deflusso superficiale. Quindi se si indica con  $\Theta$  la durata critica si ha:

$$\Theta \equiv T_c + t_f$$

$T_c$  il tempo di corrivazione del bacino

$t_f$  il tempo di formazione del deflusso superficiale;

Nota la durata critica  $\Theta$  la formula razionale definisce la portata al colmo relativa ad un certo tempo di ritorno con la relazione:

$$Q = i_{n,r}[\Theta, T_R, r(\Theta, A)] \cdot A \cdot$$

In modo più esplicito:

$$Q = \frac{\Phi h[\Theta, T_R] r[\Theta, A] A}{\Theta} \quad (1)$$

Essendo

$A$  l'area del bacino in  $\text{km}^2$

$h[\Theta, T_R]$  l'altezza di pioggia critica di durata  $\Theta$  e tempo di ritorno  $T_R$

$\Phi$  il coefficiente di deflusso

$r(\Theta, A)$  il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino

$\Theta \equiv T_c + t_f$  durata critica

Posto

$$h_{n,r}[\Theta, T_R, r] = \Phi h[\Theta, T_R] r[\Theta, A]$$

Si può dire che la portata al colmo in una certa sezione che chiude un bacino di area  $A$  assegnata e relativa ad un certo tempo di ritorno  $T_R$  risulta determinata una volta nota l'altezza di pioggia netta ragguagliata, di durata critica  $\Theta$ , relativa a quel tempo di ritorno  $T_R$  e ragguagliata all'intero bacino (detta **altezza di pioggia critica**).

Si pongono di conseguenza due ordini di problemi:

- Definire la durata critica;
- Determinare l'altezza di pioggia critica.

Il calcolo della durata critica passa attraverso la determinazione del tempo di corrivazione e del tempo di formazione del deflusso.

Per il primo si hanno delle formule empiriche indicate di seguito, per il secondo si procede ad una valutazione per via iterativa.

Circa l'altezza di pioggia critica si procede come indicato nei paragrafi successivi.

#### 4. TEMPO DI CORRIVAZIONE

Sullo schema concettuale della corrivazione che si basa sul *metodo cinematico* o *metodo della corrivazione*, per la stima delle portate di piena, le ipotesi basilari da tenere in considerazione sono:

- Ogni singola goccia di pioggia si muove sulla superficie del bacino seguendo un percorso immutabile che dipende unicamente dal punto in cui essa è caduta;
- La velocità di una goccia non è influenzata dalla presenza delle altre gocce, cioè ognuna di esse scorre indipendentemente dalle altre; in realtà sappiamo che la velocità dell'acqua lungo un pendio o un alveo dipende, oltre che dalle caratteristiche della superficie bagnata anche dal tirante idrico; ne consegue che in un bacino si possono avere diversi tempi di corrivazione sia in funzione delle caratteristiche del suolo che in funzione della durata e dell'intensità dell'evento.
- La portata defluente si ottiene sommando le singole portate elementari provenienti dalle diverse aree del bacino che confluiscono alla sezione di chiusura.

La trasformazione afflussi-deflussi è una determinata sequenza di operazioni che permette, conoscendo l'altezza di precipitazione e la durata di un evento meteorico, di ottenere la portata che defluisce per la sezione di chiusura del bacino idrografico.

Fattore da tenere in considerazione è che la velocità dell'acqua si mantiene pressoché costante da monte verso valle, dal momento che, la diminuzione di pendenza è bilanciata dai cambiamenti di larghezza, di profondità e di scabrezza.

Teoricamente, il tempo impiegato da una goccia d'acqua caduta nel punto idraulicamente più lontano, cioè il punto dello spartiacque da cui ha origine l'asta principale della rete idrografica, per raggiungere la sezione di chiusura, prende il nome di tempo di corrivazione.

Il tempo di corrivazione, considerando che è il tempo impiegato da una goccia d'acqua per percorrere l'intera asta fluviale principale, dall'origine sullo spartiacque topografico alla sezione di chiusura, è il maggiore tra quelli di tutti i punti del bacino.

Il tempo di corrivazione si stima in genere utilizzando formule empiriche, derivate dall'analisi di una gran quantità di casi reali, che esprimono il legame mediamente esistente tra il tempo di corrivazione e alcune grandezze caratteristiche del bacino di facile determinazione.

In particolare le linee Guida del PAI suggeriscono:

#### FORMULA DI VENTURA

$$T_c = 0,127 \left( \frac{A}{i_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [\text{ore}]$$

dove:

$A$  è l'area del bacino in  $\text{Km}^2$   
 $i_m$  pendenza media dell'asta principale.

#### FORMULA DI PASINI

$$T_c = \frac{0,108(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i_m^{\frac{1}{2}}} \quad [\text{ore}]$$

dove:

$A$  è l'area del bacino in  $\text{km}^2$   
 $i_m$  pendenza media dell'asta principale  
 $L$  è la lunghezza dell'asta principale in  $\text{km}$

#### FORMULA DI VIPARELLI

$$T_c = \frac{L}{(1 \div 1,5) \cdot 3,6} \quad [\text{ore}]$$

dove :

$L$  è la lunghezza dell'asta principale in  $\text{km}$   
 $1-1,5$  è la velocità media della corrente in  $\text{m/s}$

#### FORMULA DI GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}} \quad [\text{ore}]$$

dove :

$A$  è l'area del bacino in  $\text{km}^2$   
 $H_m$  altitudine media del bacino  $\text{m slm}$   
 $H_o$  altitudine della sezione di chiusura  $\text{m slm}$   
 $L$  è la lunghezza dell'asta principale in  $\text{km}$

Nella scelta del tempo di corrivazione occorre tenere conto delle incertezze insite nelle formule che consentono di stimarlo; ogni formula, vista la natura prevalentemente empirica, è valida per i bacini per i quali è stata ricavata e tarata. Nel caso in questione si possono fare alcune interessanti osservazioni:

- la relazione di Ventura è stata introdotta nell'ambito di uno studio sulle reti di bonifica bolognese;
- la relazione di Pasini è stata introdotta nell'ambito di uno studio sulle reti di bonifica della pianura renana;
- la formula di Viparelli è senza dubbio la più semplice, si basa sulla corrivazione e ricava il tempo di corrivazione come un rapporto tra lunghezza e velocità nell'ipotesi che l'acqua viaggi alla velocità di  $1 \text{ m/s}$ ;
- la formula introdotta da Giandotti, la più utilizzata in Italia deriva dall'esame del fenomeno di corrivazione;

Al fine di minimizzare gli errori comunque insiti nella stima di questo parametro si è deciso di assumere, come tempo di corrvazione, quello derivante dalla media delle formulazioni indicate quando esse danno risultati simili fra loro e adottare invece i valori più piccoli quando la diversità dei valori ottenuti suggerisce la maggior cautela, fermo restando che se il rio è un tronco critico già studiato dal PAI, i valori di portata devono essere comunque prossimi o inferiori a quelli presenti nel PAI vigente.

### 5. DETERMINAZIONE DELLE CURVE DI POSSIBILITÀ PLUVIOMETRICA

L'altezza di pioggia critica viene calcolata a partire dalla curva di possibilità pluviometrica che esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione,  $\tau$ , ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno  $T_R$ .

Le curve di possibilità pluviometrica disponibili si possono esprimere secondo due differenti distribuzioni probabilistiche:

- distribuzione **Log-Normale** (Sardegna suddivisa in 4 sottozone omogenee)
- distribuzione **TCEV** (Sardegna suddivisa in 3 sottozone omogenee definizione della pioggia indice)

In entrambi i casi, la Sardegna è suddivisa in zone pluviometriche omogenee per le piogge di breve durata. Ciascuna zona, per distribuzione geografica, può rappresentare un distinto regime pluviometrico. Le curve sono state determinate per ciascun gruppo nella forma:

$$h = a \cdot \tau^n$$

dove  $h$  rappresenta l'altezza di precipitazione per una durata  $\tau$ , mentre  $a$  ed  $n$  sono i coefficienti caratteristici di ogni gruppo omogeneo, funzione del tempo di ritorno e, nel caso della distribuzione TCEV, della pioggia indice.

Si descrive brevemente la procedura utilizzata per la determinazione delle curve segnalatrici di possibilità climatica valide nelle località esaminata, utilizzando i risultati in (Deidda e Piga, 1998) qui presentati in forma aggiornata. L'altezza di pioggia lorda  $h_l(\tau)$  in mm di durata  $\tau$  in ore e di assegnato tempo di ritorno  $T$  in anni è fornita dalla seguente relazione monomia:

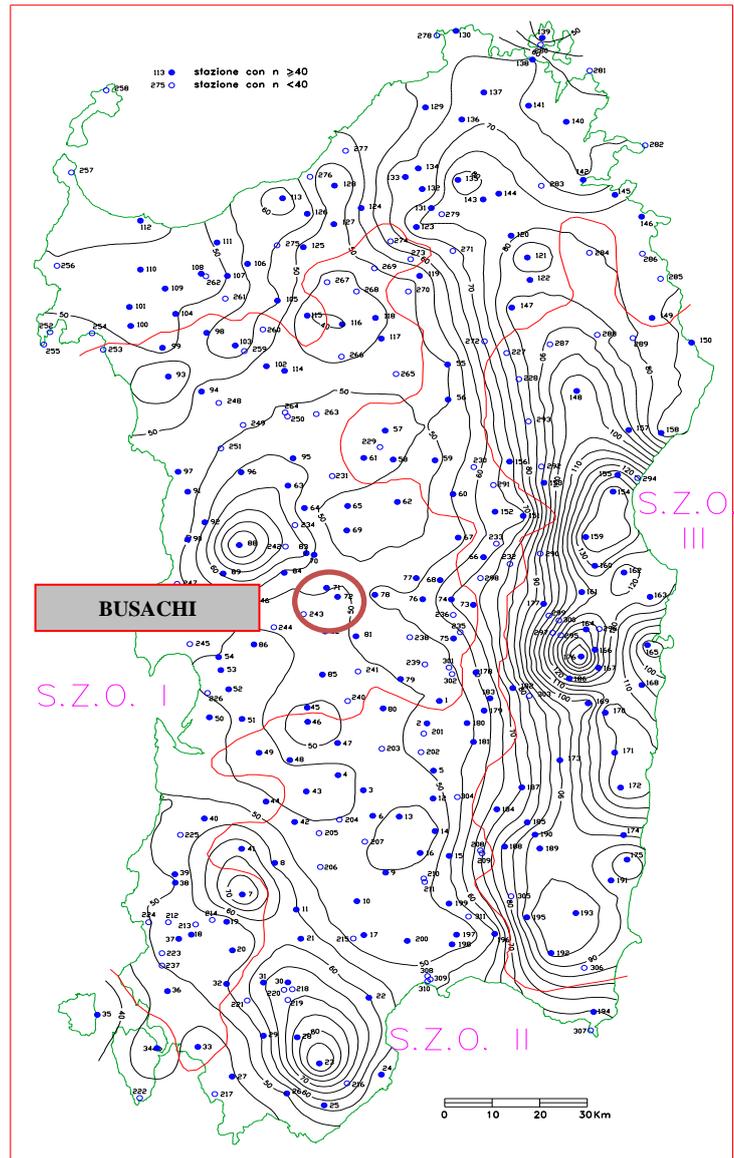
$$h_l(\tau) = a \tau^n \quad (2)$$

La pioggia indice, definita nella distribuzione TCEV ed elemento tipico della singola stazione pluviometrica, tiene conto dell'altezza di pioggia caduta in 1 ora e consente di rappresentare direttamente le caratteristiche degli eventi meteorici per il territorio in esame; pertanto è l'elemento che permette di scendere più in dettaglio rispetto alla semplice suddivisione in sottozone che caratterizza il metodo basato sulla distribuzione Log-Normale.

Anche in virtù di questo fatto come distribuzione probabilistica delle piogge si è adottata la **TCEV** (Two Component Extreme Value) parametrizzata secondo lo studio condotto da Deidda e Piga sulle curve di possibilità climatica in Sardegna a partire dall'analisi dei massimi annui delle piogge brevi e intense.

Di seguito si descrive il calcolo per un tempo di ritorno di  $T$  anni.

L'applicazione del metodo prevede il calcolo preliminare della pioggia indice giornaliera  $\bar{h}(g)$  valutabile per interpolazione dalle isoiete della carta della relativa distribuzione spaziale.



Divisione delle sottozone omogenee SZO della Regione Sardegna

Dalla pioggia indice giornaliera si ricava la **pioggia indice** o pioggia media di durata  $\tau$ ,

$$\bar{h}(\tau) = \frac{\bar{h}_g}{0.886 * 24^{(-0.493+0.476 \text{Log}(\bar{h}_g))}} * \tau^{(-0.493+0.476 \text{Log}(\bar{h}_g))} \quad (2)$$

In questa relazione la pioggia indice va calcolata assumendo come durata quella critica

$$\Theta \equiv T_c + t_f$$

Il tempo di corrivazione è stato stimato, mentre per il tempo di formazione del deflusso superficiale si procede in modo iterativo con la formula suggerita nelle linee guida PAI:

$$t_f = \frac{I_a}{i(\Theta, r)}$$

Essendo

$I_a$  l'assorbimento iniziale (vedi stima delle perdite SCS)  
 $i(\Theta, r)$  l'intensità di pioggia raggugiata di durata critica.

Definita la pioggia indice si definisce una variabile aleatoria normalizzata:

$$h'(\tau) = \frac{h(\tau)}{\bar{h}(\tau)} = a \tau^n \quad (2)$$

Dove **a** ed **n** sono i parametri della curva normalizzata definiti per le tre sotto zone omogenee della Sardegna (SZO) in funzione del tempo di ritorno per durate minori e maggiori di 1 ora e per tempi di ritorno maggiori o minori di 10 anni con le seguenti formule (per T>10 anni):

SZO	Durata ≤ 1 ora	Durata >1 ora
Sottozona 1	$a=0.46378+1.0386*\text{Log}(T)$	$a=0.46378+1.0386*\text{Log}(T)$
	$n=-0.18449+0.23032*\text{Log}(T)-3.3330*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-1.0563*10^{-2}-7.9034*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 2	$a=0.44182+1.0817*\text{Log}(T)$	$a=0.44182+1.0817*\text{Log}(T)$
	$n=-0.18676+0.24310*\text{Log}(T)-3.5453*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=-5.6593*10^{-3}-4.0872*10^{-3}*\text{Log}(T)$
Sottozona 3	$a=0.41273+1.1370*\text{Log}(T)$	$a=0.40926+1.1441*\text{Log}(T)$
	$n=-0.19055+0.25937*\text{Log}(T)-3.8160*10^{-2}*\text{Log}^2(T)$	$n=1.5878*10^{-2}+7.6250*10^{-3}*\text{Log}(T)$

**Tabella 1 Parametri della curva normalizzata**

Poiché i bacini ricadono interamente in **sottozona 1**, in funzione della durata critica e del tempo di ritorno (maggiori di 10 anni) si possono calcolare i valori di a ed n.

Assumendo T si determinano **a** ed **n** e sostituendo nella (2) si determina il valore della variabile aleatoria normalizzata posto  $\tau \equiv \Theta$

$$h'(\tau) = a \tau^n$$

Utilizzando la relazione (2) si perviene infine a determinare l'altezza di pioggia critica relativa ad un dato T:

$$h(\Theta) = h'(\Theta) \bar{h}(\Theta)$$

Quella determinata è la pioggia **lorda** critica  $h$  con tempo di ritorno T anni, ma per stimare la portata con la formula 1 occorre la cosiddetta pioggia netta  $h_{netta}$  valutata con la formula:

$$h_{netta} = \Phi h = \frac{(h - I)^2}{(h + S - I)}$$

dove:

**S** (in mm) è l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione

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

**CN** Curve Number

**I<sub>a</sub>** è l'assorbimento iniziale legato ad S dalla relazione:

$$I_a = 0.2 \cdot S$$

Nel caso in questione, considerato l'uso del suolo e il tipo di suolo e ponendoci nelle condizioni più critiche di AMCIII si determina il CN quindi S, I e  $h_{netta} = \Phi h$ .

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h}$$

Il coefficiente di deflusso  $\phi$  è il parametro che determina la trasformazione degli afflussi meteorici in deflussi. Esso è determinato, come il rapporto tra il volume defluito attraverso un'assegnata sezione in un definito intervallo di tempo e il volume meteorico totale precipitato nell'intervallo stesso. Il coefficiente di deflusso è valutato considerando le caratteristiche di permeabilità, e quindi, di utilizzo, delle diverse superfici presenti nell'intero bacino scolante.

Si calcola un coefficiente di ragguglio r per  $\tau = \Theta$  con la relazione valida per  $A < 20 \text{ km}^2$

$$r = 1 - (0.0394 A^{0.354}) \tau^{(-0.40+0.0208 \ln(4.6-\ln(A)))}$$

Introducendo  $\phi$ ,  $h$ ,  $r$ ,  $A$  e  $\theta$  nella (1) si ha infine la determinazione della portata  $Q$  relativa a quel tempo di ritorno.

### 6. VALUTAZIONE DEL PARAMETRO CURVE NUMBER

I valori del parametro Curve Number (CN), compreso tra 0 e 100, valuta la capacità di assorbimento dei suoli in funzione delle caratteristiche dell'uso del suolo, la litologia e la permeabilità. Seguendo le procedure proposte dalla RAS, in primis, sulla base dei dati dell'uso del suolo (RAS - Carta Corine) si sono attribuiti i valori del CN, corretti in seguito in funzione delle caratteristiche geologiche ( $\Delta$ CN); in ultimo attraverso la somma algebrica si è ottenuto il parametro CN corretto.

Lo studio proposto dalla RAS, ha analizzato le diverse classi in considerazione degli aspetti geologici preminenti e delle caratteristiche di permeabilità, cui sono stati attribuiti i coefficienti di variazione ( $\Delta$ CN) corrispondenti ad ogni tipo litologico.

I coefficienti di variazione del Curve Number sono assunti nell'intervallo di valori (- 5, +15): un coefficiente di variazione pari a - 5 è tipico dei terreni incoerenti ad elevata capacità di infiltrazione, mentre un valore +15 è proprio di rocce con strutture cristalline compatte e poco permeabili.

### 7. SEZIONI DI CONTROLLO E BACINI IDROGRAFICI

Stabilita la metodologia per il calcolo della portata occorre definire i bacini e le sezioni di controllo rispetto alle quali valutare le portate.

Uno schema dei bacini considerati è riportato nell'apposita tavola carta del reticolo e dei bacini idrografici. Ciò premesso i bacini analizzati sono riportati nel seguente schema:

BACINI E SOTTOBACINI INDIVIDUATI	
1 Riu Oggiu Totale	3 Compluvio Tungori
1a Riu Oggiu Medio	4a Sottobacino SP 32
1b Riu Oggiu Monte	4b Sottobacino SS 388
1c Riu Oggiu Compluvio Sx	4c Sottobacino Via Lamarmora
2 Compluvio Via Manzoni	

Considerando le sezioni di controllo in totale sono stati analizzati 9 bacini/sottobacini.

Per ciascun bacino/sub-bacino si sono valutate le portate corrispondenti ai 4 tempi di ritorno applicando il metodo indiretto basato sulla formula razionale.

Nel seguito si descriverà il calcolo idrologico per ognuno dei 9 bacini/sottobacini.

## ANALISI IDROLOGICA DEI BACINI/SUB-BACINI OGGETTO DI STUDIO

### 1. BACINO RIU OGGIU

L'inquadramento territoriale del bacino è rappresentato nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **1**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello.

Si riporta in Tabella 2 la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>BACINO RIU OGGIU</b>	
SUPERFICIE (kmq)	1,10
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	2,18
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0,07
PENDENZA MEDIA BACINO	0,12
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	420,19
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	320,00

**Tabella 2 Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e la buona presenza di superfici coltivate nella parte valliva con buone capacità di assorbimento consentono di attribuire al bacino un valore di **CN III = 95,00**.

Figura 1 Altitudine media Bacino

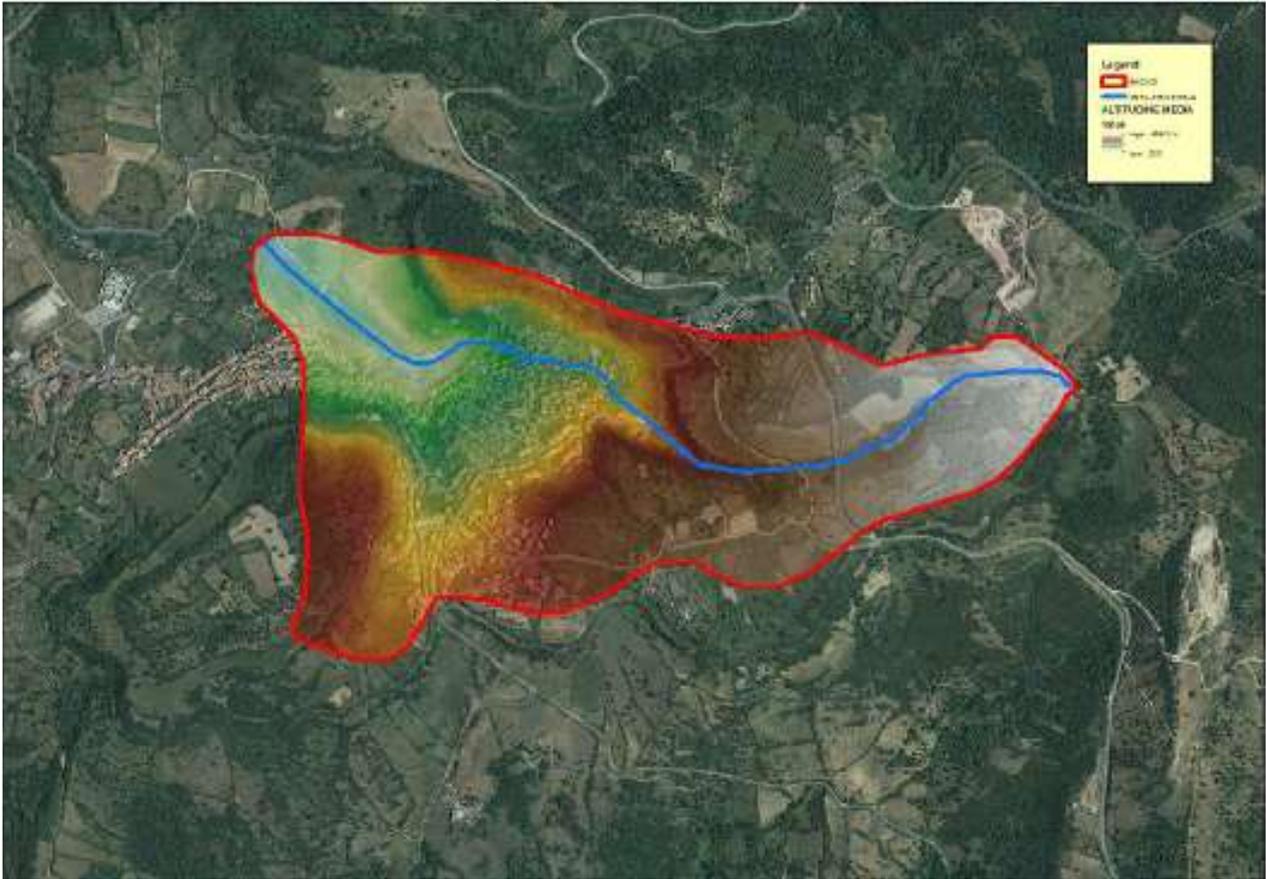


Figura 2 Pendenza media Bacino



**Tempo di corrivazione**

Come suggeriscono le linee Guida PAI può essere valutato con alcune formule empiriche:

FORMULA DI VENTURA

$$T_c = 0,127 \left( \frac{A}{i_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [\text{ore}]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in Km<sup>2</sup>

*i<sub>m</sub>* pendenza media dell'asta principale.

$$T_c \equiv 0.5034 \quad \text{ore}$$

FORMULA DI PASINI

$$T_c = \frac{0,108(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i_m^{\frac{1}{2}}} \quad [\text{ore}]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in km<sup>2</sup>

*i<sub>m</sub>* pendenza media dell'asta principale

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

$$T_c \equiv 0.5464 \quad \text{ore}$$

FORMULA DI VIPARELLI

$$T_c = \frac{L}{(1 \div 1,5) \cdot 3,6} \quad [\text{ore}]$$

dove :

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

1-1,5 è la velocità media della corrente in m/s

posto V=1.2 m/s si ha:

$$T_c \equiv 0.4037 \quad \text{ore}$$

FORMULA DI GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}} \quad [\text{ore}]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in km<sup>2</sup>

*H<sub>m</sub>* altitudine media del bacino m slm

*H<sub>o</sub>* altitudine della sezione di chiusura m slm

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

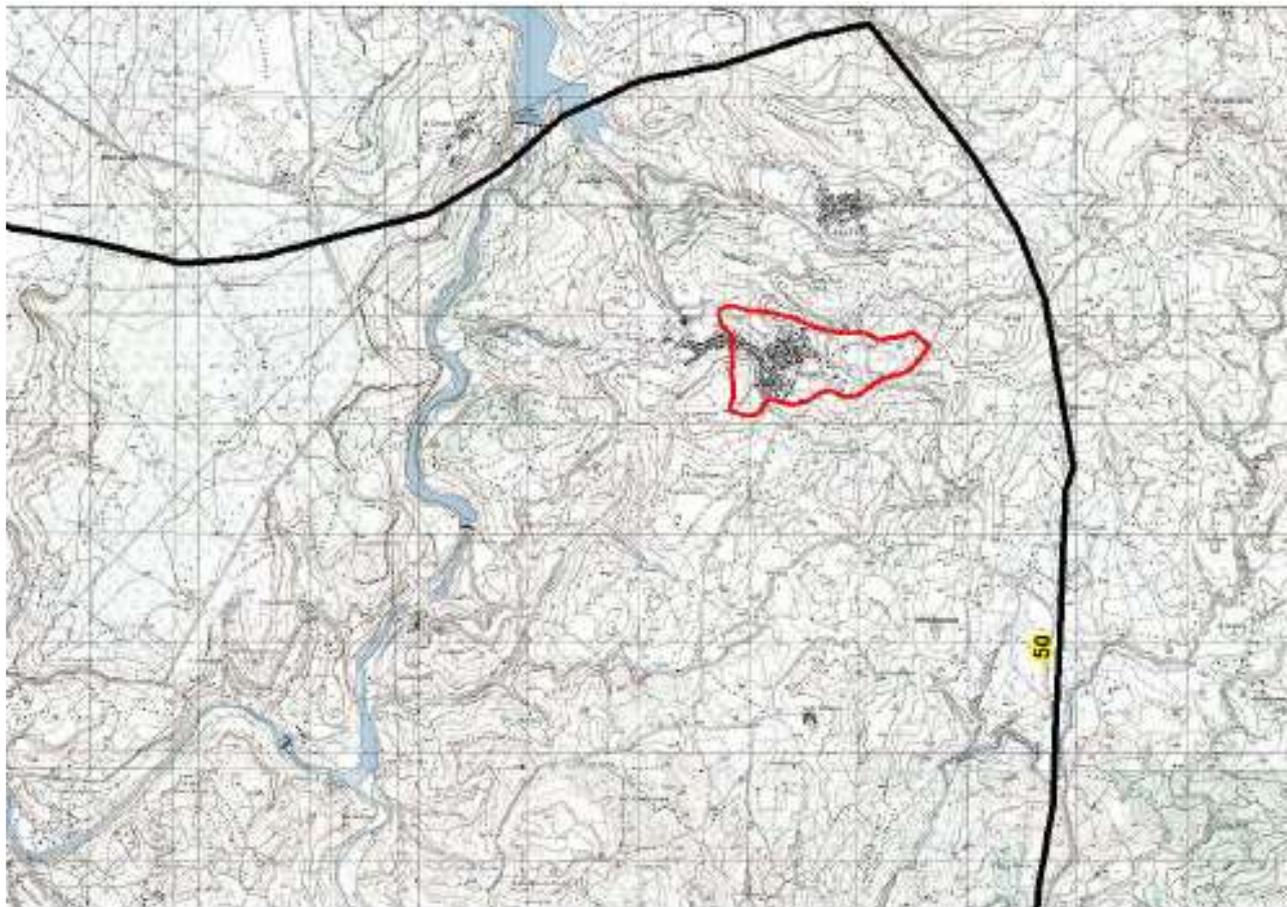
$$T_c \equiv 0.9323 \quad \text{ore}$$

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Viparelli:

$$T_c \equiv 0.4037 \text{ ore}$$

### **Portate**

Utilizzando come tempo di corrivazione Viparelli e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 50.00 mm



si ottiene infine:

$$Q_{50} = 13,51 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{100} = 15,70 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{200} = 17,92 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{500} = 20,93 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Il coefficiente di deflusso risulta pari a

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h} = 0.7092$$

**1a. Sottobacini RIU OGGIU: Riu Oggiu Medio**

L'inquadratura territoriale del bacino è rappresentata nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **1a**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello.

Si riporta in Tabella 2 la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>SOTTOBACINO RIU OGGIU MEDIO</b>	
SUPERFICIE (kmq)	0,50
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	1,66
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0,076
PENDENZA MEDIA BACINO	0,15
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	449,07
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	350,00

**Tabella 3 Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e alla ridotta presenza di superfici coltivate rispetto a quello del bacino consentono di attribuire al bacino un valore leggermente superiore di **CN III = 95,50**.

Figura 3 Altitudine media Bacino

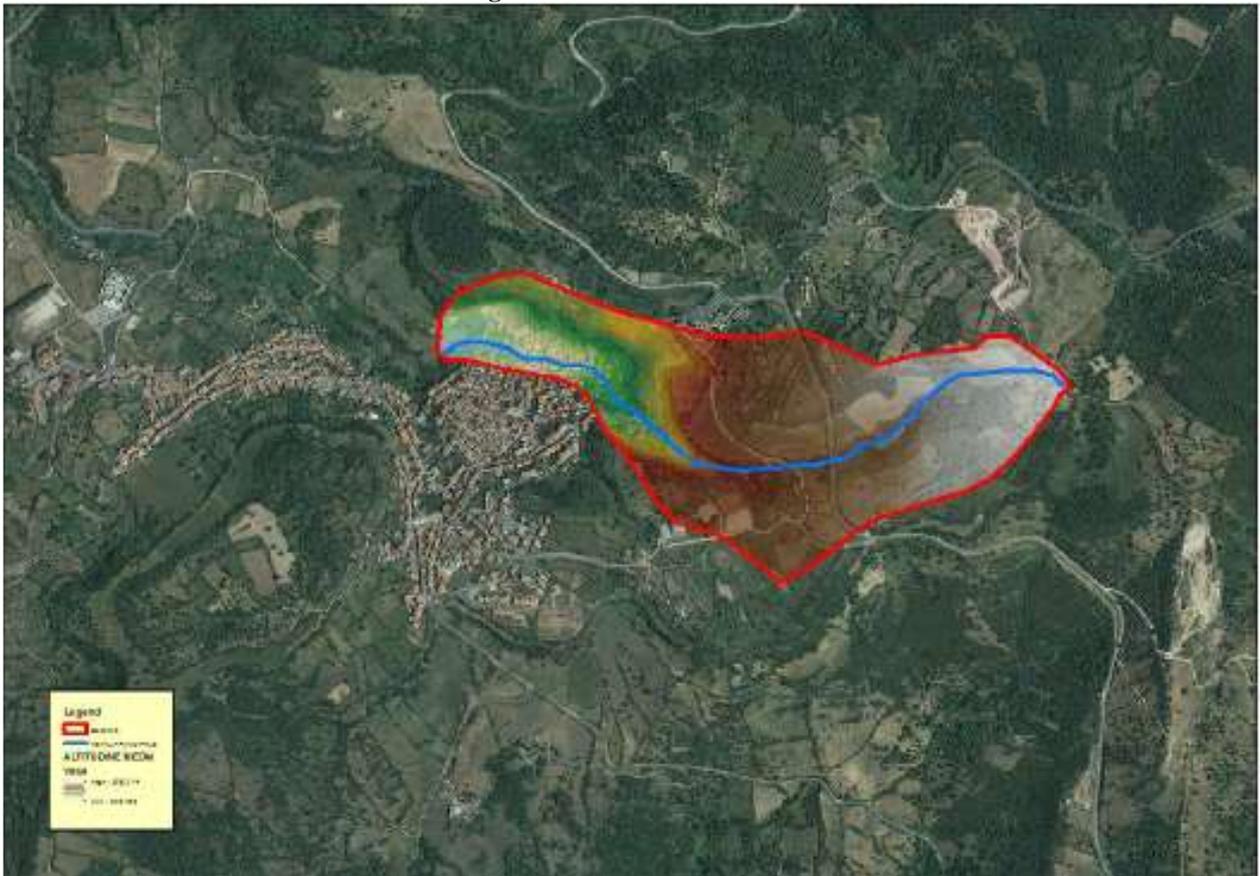


Figura 4 Pendenza media Bacino



### Tempo di corrivazione

Come suggeriscono le linee Guida del PAI il tempo di corrivazione viene valutato con le classiche formule empiriche già utilizzate per il bacino totale e i cui valori vengono riportati nella tabella che segue:

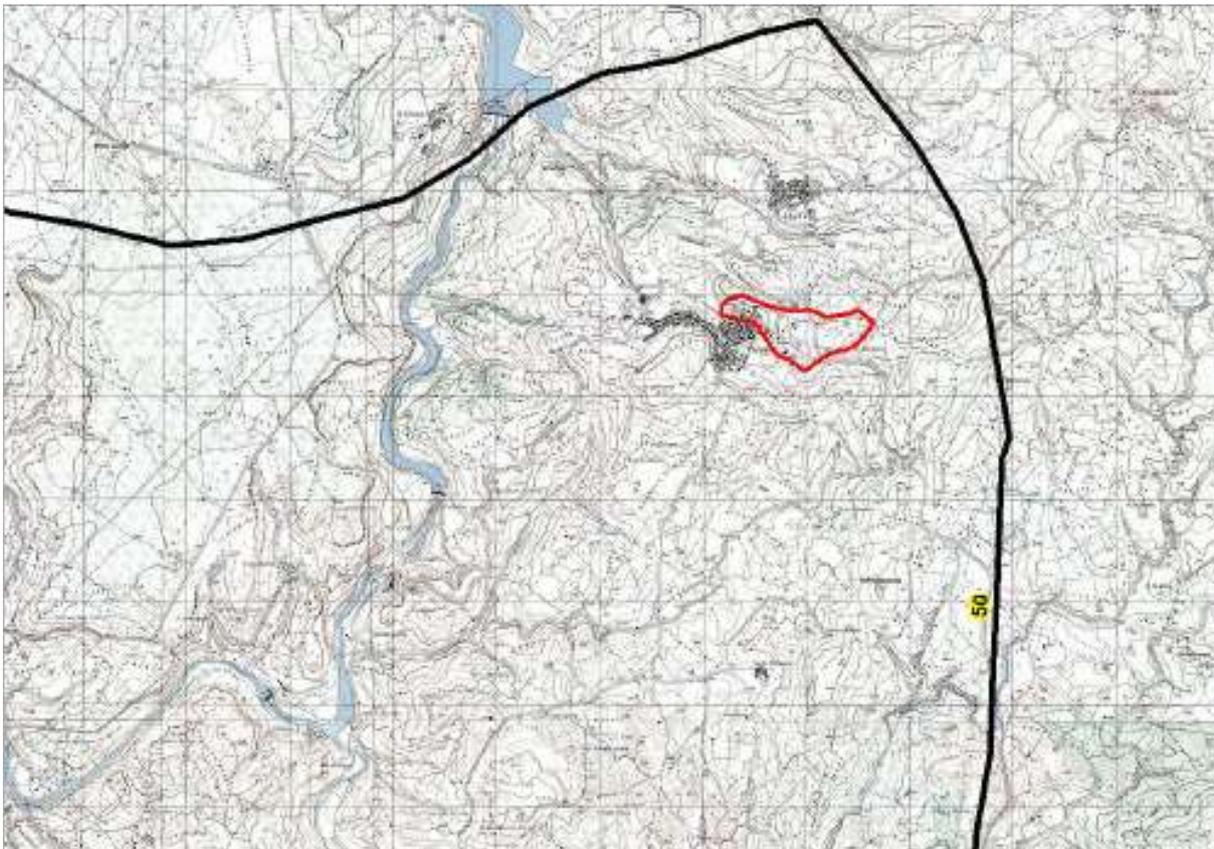
TEMPI DI CORRIVAZIONE	
Formulazione del VENTURA	$T_c = 0,3626$ ore
Formulazione del PASINI	$T_c = 0,3682$ ore
Formulazione del VIPARELLI	$T_c = 0,3074$ ore
Formulazione del GIANDOTTI	$T_c = 0,6679$ ore

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Viparelli:

$$T_c \equiv 0.3074 \text{ ore}$$

### Portate

Utilizzando come tempo di corrivazione Viparelli e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 50.00 mm



si ottiene infine:

$$Q_{50} = 7,23 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{100} = 8,30 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{200} = 9,39 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{500} = 10,87 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Il coefficiente di deflusso risulta pari a

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h} = 0.7028$$

**1b. Sottobacini RIU OGGIU: Riu Oggiu Monte**

L'inquadratura territoriale del bacino è rappresentata nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **1b**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello.

Si riporta in Tabella 2 la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>SOTTOBACINO RIU OGGIU MONTE</b>	
SUPERFICIE (kmq)	0,19
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	0,83
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0,06
PENDENZA MEDIA BACINO	0,09
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	480,31
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	440,00

**Tabella 4 Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e alla ridotta presenza di superfici coltivate rispetto a quello del bacino consentono di attribuire al bacino un valore leggermente superiore di **CN III = 97,00**.

Figura 5 Altitudine media Bacino



Figura 6 Pendenza media Bacino



### Tempo di corrivazione

Come suggeriscono le linee Guida del PAI il tempo di corrivazione viene valutato con le classiche formule empiriche già utilizzate per il bacino totale e i cui valori vengono riportati nella tabella che segue:

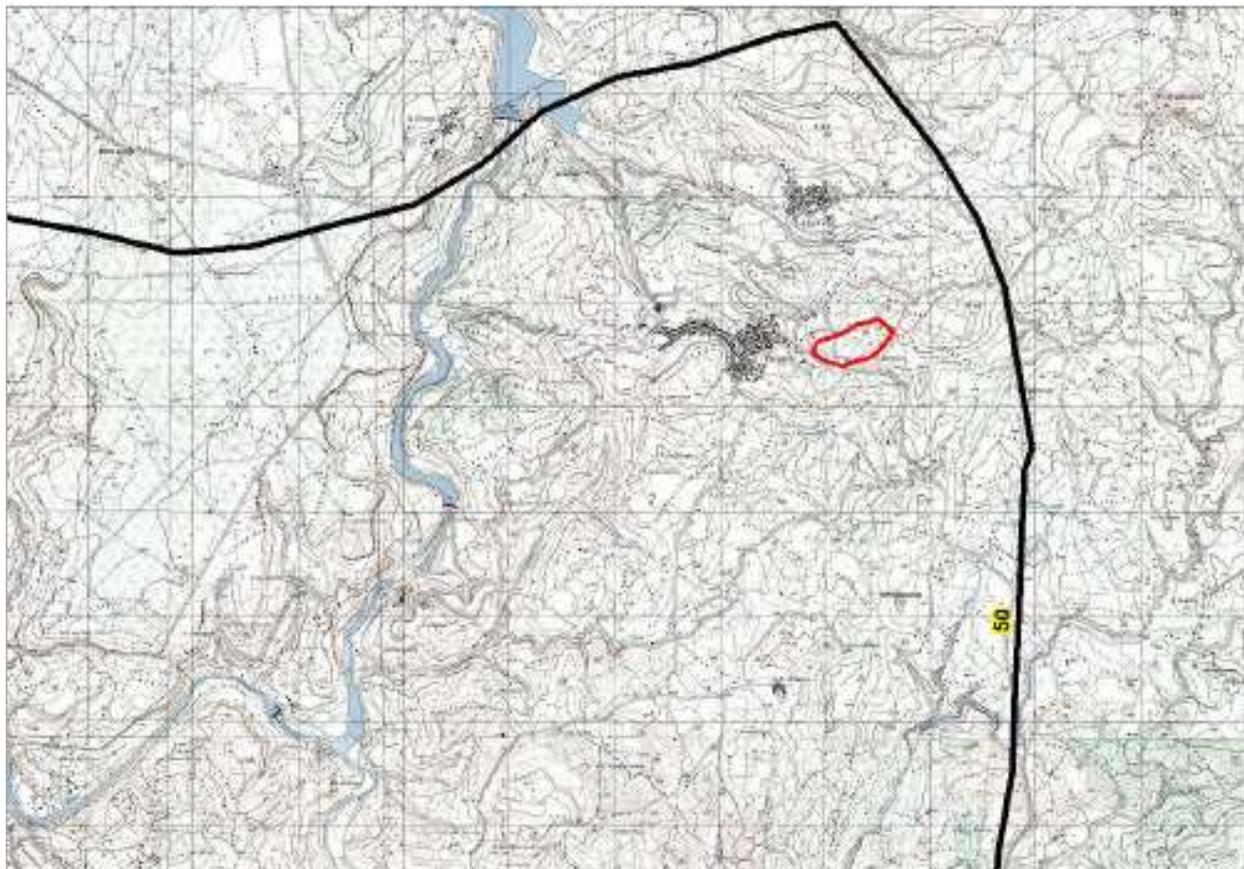
TEMPI DI CORRIVAZIONE	
Formulazione del VENTURA	$T_c = 0,226$ ore
Formulazione del PASINI	$T_c = 0,2382$ ore
Formulazione del VIPARELLI	$T_c = 0,1537$ ore
Formulazione del GIANDOTTI	$T_c = 0,5884$ ore

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Viparelli:

$$T_c \equiv 0.1537 \text{ ore}$$

### Portate

Utilizzando come tempo di corrivazione Viparelli e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 50.00 mm



si ottiene infine:

$$Q_{50} = 4,34 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{100} = 4,81 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{200} = 5.29 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{500} = 5.96 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Il coefficiente di deflusso risulta pari a

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h} = 0.7180$$

### 1c. Sottobacini RIU OGGIU: Compluvio Sx

L'inquadramento territoriale del bacino è rappresentato nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **1c**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello.

Si riporta in Tabella 2 la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>SOTTOBACINO COMPLUVIO SX</b>	
SUPERFICIE (kmq)	0,11
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	0,70
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0,11
PENDENZA MEDIA BACINO	0,16
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	442,69
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	380,00

**Tabella 5 Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e alla ridotta presenza di superfici coltivate rispetto a quello del bacino consentono di attribuire al bacino un valore leggermente superiore di **CN III = 97,00**.

Figura 7 Altitudine media Bacino

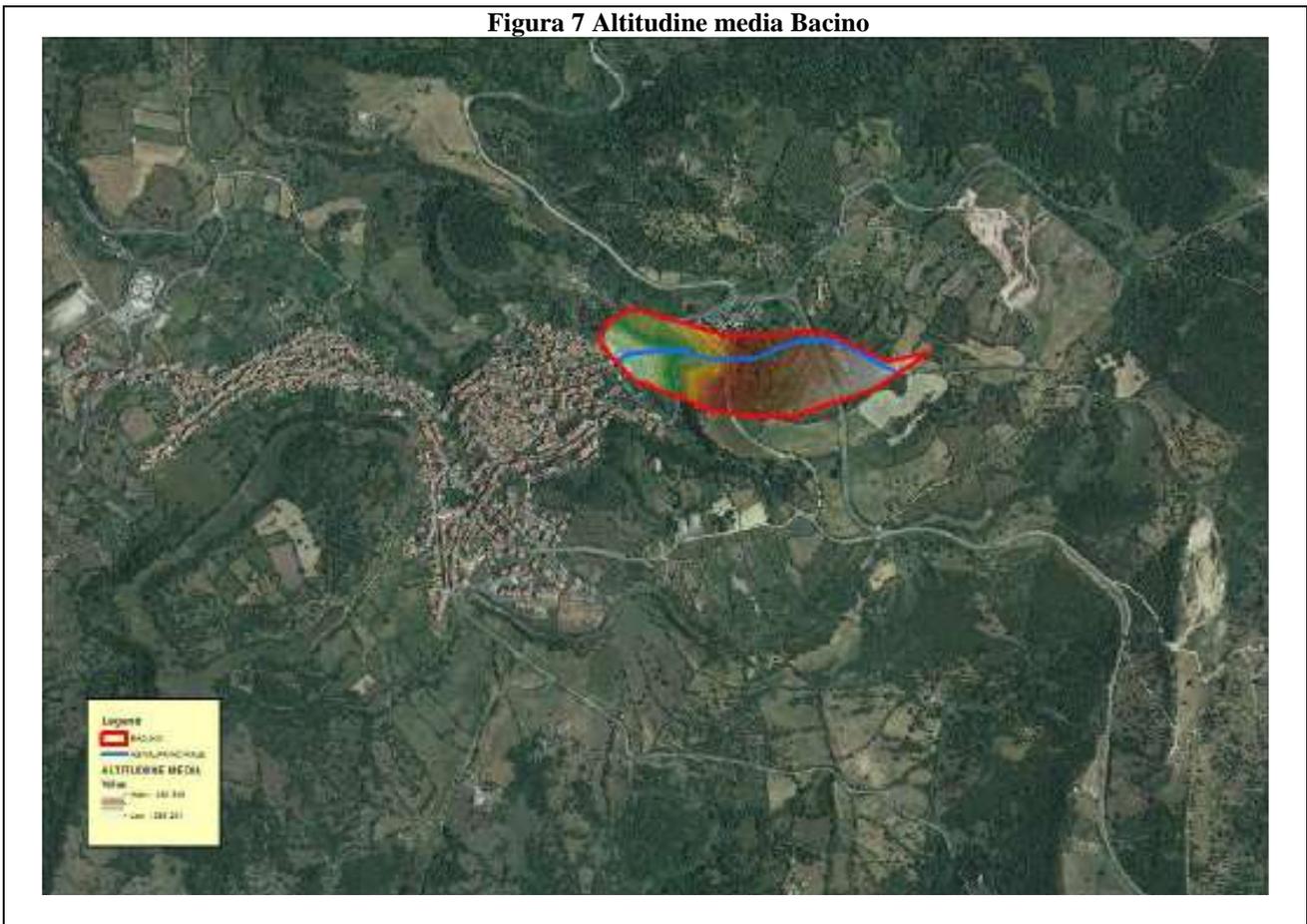
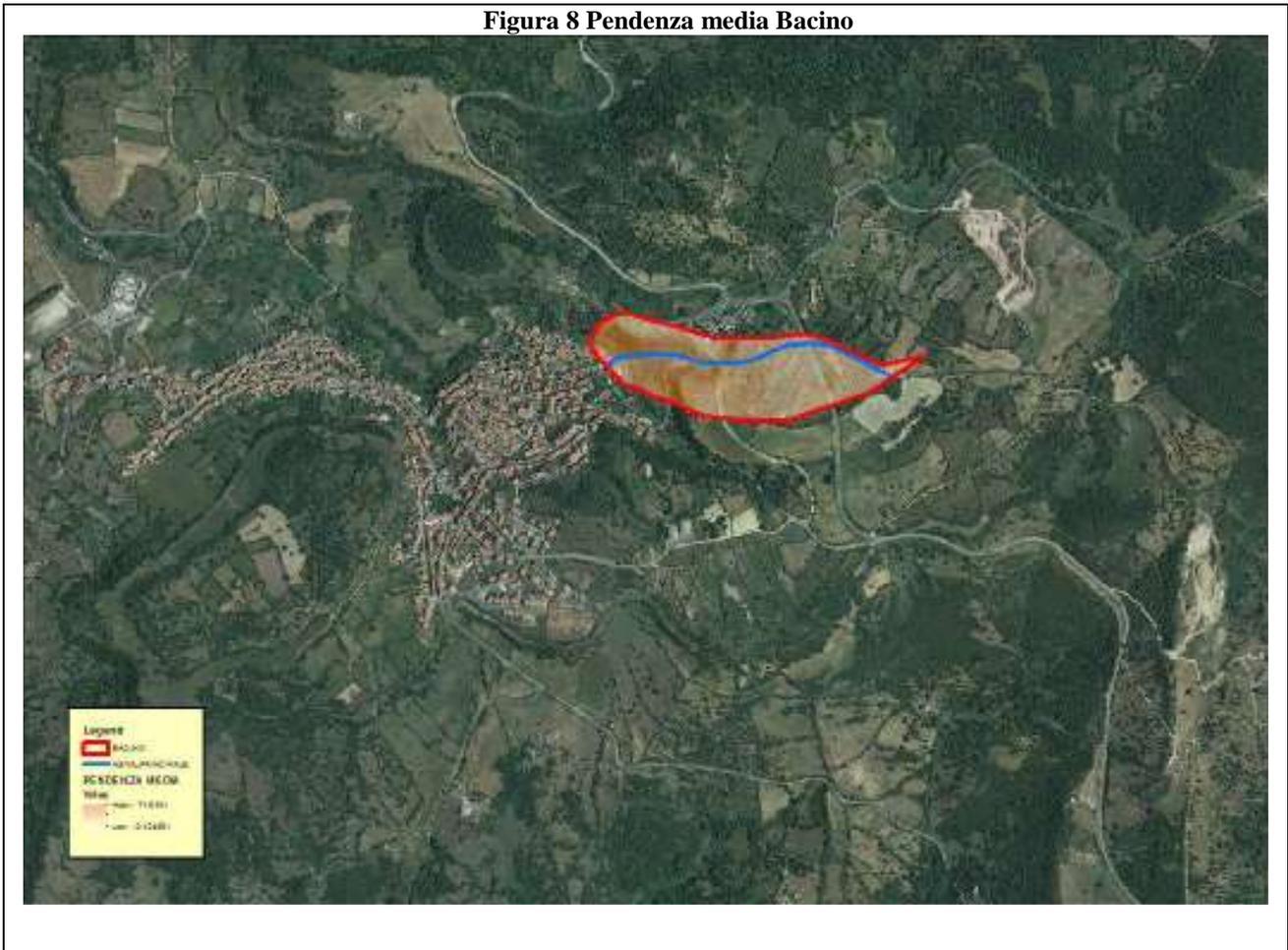


Figura 8 Pendenza media Bacino



**Tempo di corrivazione**

Come suggeriscono le linee Guida del PAI il tempo di corrivazione viene valutato con le classiche formule empiriche già utilizzate per il bacino totale e i cui valori vengono riportati nella tabella che segue:

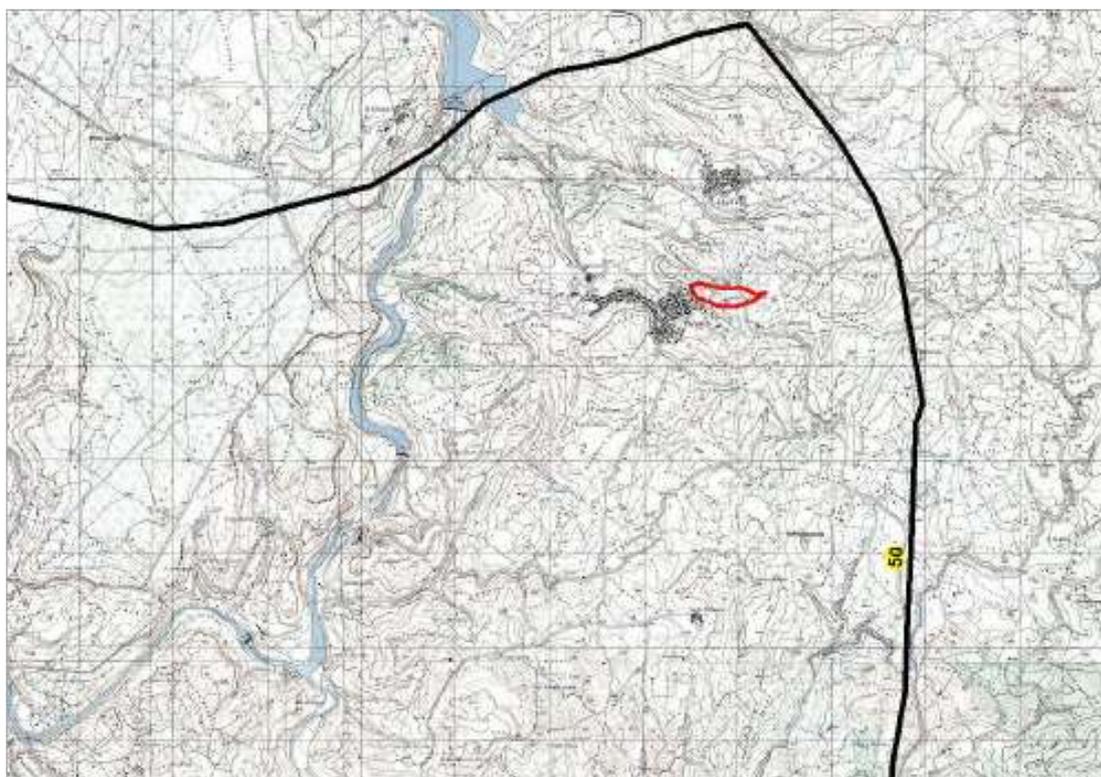
TEMPI DI CORRIVAZIONE	
Formulazione del VENTURA	$T_c = 0,1380$ ore
Formulazione del PASINI	$T_c = 0,1385$ ore
Formulazione del VIPARELLI	$T_c = 0,1296$ ore
Formulazione del GIANDOTTI	$T_c = 0,3752$ ore

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Viparelli:

$$T_c \equiv 0.1296 \text{ ore}$$

**Portate**

Utilizzando come tempo di corrivazione Viparelli e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 50.00 mm



si ottiene infine:

$$Q_{50} = 2,70 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{100} = 2,98 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{200} = 3.26 \text{ m}^3 / \text{s} \quad Q_{500} = 3.66 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Il coefficiente di deflusso risulta pari a

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h} = 0.6992$$

## 2. BACINO COMPLUVIO VIA MANZONI

L'inquadramento territoriale del bacino è rappresentato nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **2**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello;

Si riporta in Tabella la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>BACINO COMPLUVIO VIA MANZONI</b>	
SUPERFICIE (kmq)	0,25
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	0,84
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0.09
PENDENZA MEDIA BACINO	0.15
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	408,67
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	340,00

**Tabella 6 Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e la buona presenza di superfici coltivate nella parte valliva con buone capacità di assorbimento consentono di attribuire al bacino un valore di **CN III = 97,00**.

Figura 9 Altitudine media Bacino



Figura 10 Pendenza media Bacino

**Tempo di corrivazione**

Come suggeriscono le linee Guida PAI può essere valutato con alcune formule empiriche:

FORMULA DI VENTURA

$$T_c = 0,127 \left( \frac{A}{i_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [ore]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in Km<sup>2</sup>

*i<sub>m</sub>* pendenza media dell'asta principale.

$$T_c \equiv 0.2117 \quad ore$$

FORMULA DI PASINI

$$T_c = \frac{0,108(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i_m^{\frac{1}{2}}} \quad [ore]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in km<sup>2</sup>

*i<sub>m</sub>* pendenza media dell'asta principale

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

$$T_c \equiv 0.2140 \text{ ore}$$

FORMULA DI VIPARELLI

$$T_c = \frac{L}{(1 \div 1,5) \cdot 3,6} \text{ [ore]}$$

dove :

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

*1-1,5* è la velocità media della corrente in m/s

*V=1.2* m/s si ha:

$$T_c \equiv 0.1556 \text{ ore}$$

FORMULA DI GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}} \text{ [ore]}$$

dove:

*A* è l'area del bacino in km<sup>2</sup>

*H<sub>m</sub>* altitudine media del bacino m slm

*H<sub>o</sub>* altitudine della sezione di chiusura m slm

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

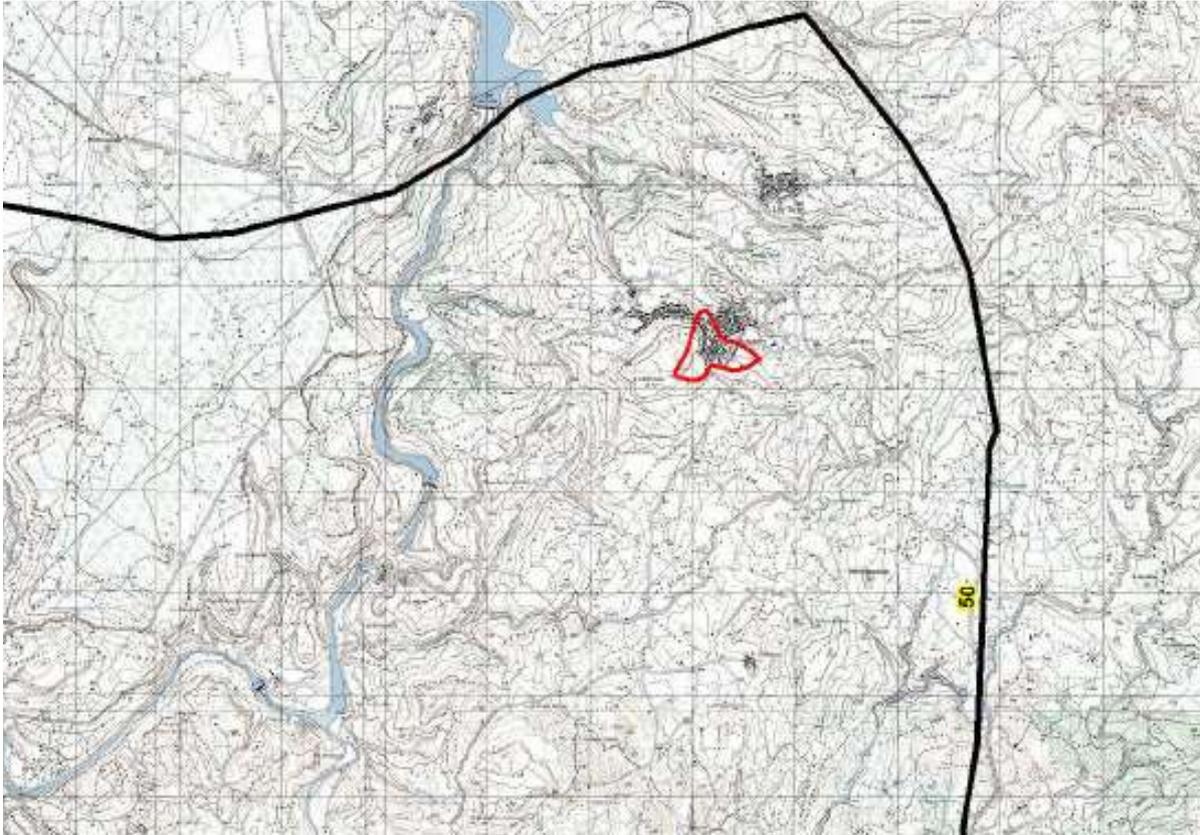
$$T_c \equiv 0.4917 \text{ ore}$$

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Viparelli:

$$T_c \equiv 0.1556 \text{ ore}$$

### **Portate**

Utilizzando come tempo di corrivazione Viparelli e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 50.00 mm



si ottiene infine:

$$Q_{50} = 5,66 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{100} = 6,27 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{200} = 6,90 \text{ m}^3 / \text{s}$$

$$Q_{500} = 7,78 \text{ m}^3 / \text{s}$$

Il coefficiente di deflusso risulta pari a

$$\Phi = \frac{h_{netta}}{h} = 0.7194$$

### 3. BACINO COMPLUVIO TUNGORI

L'inquadratura territoriale del bacino è rappresentata nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **3**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello;

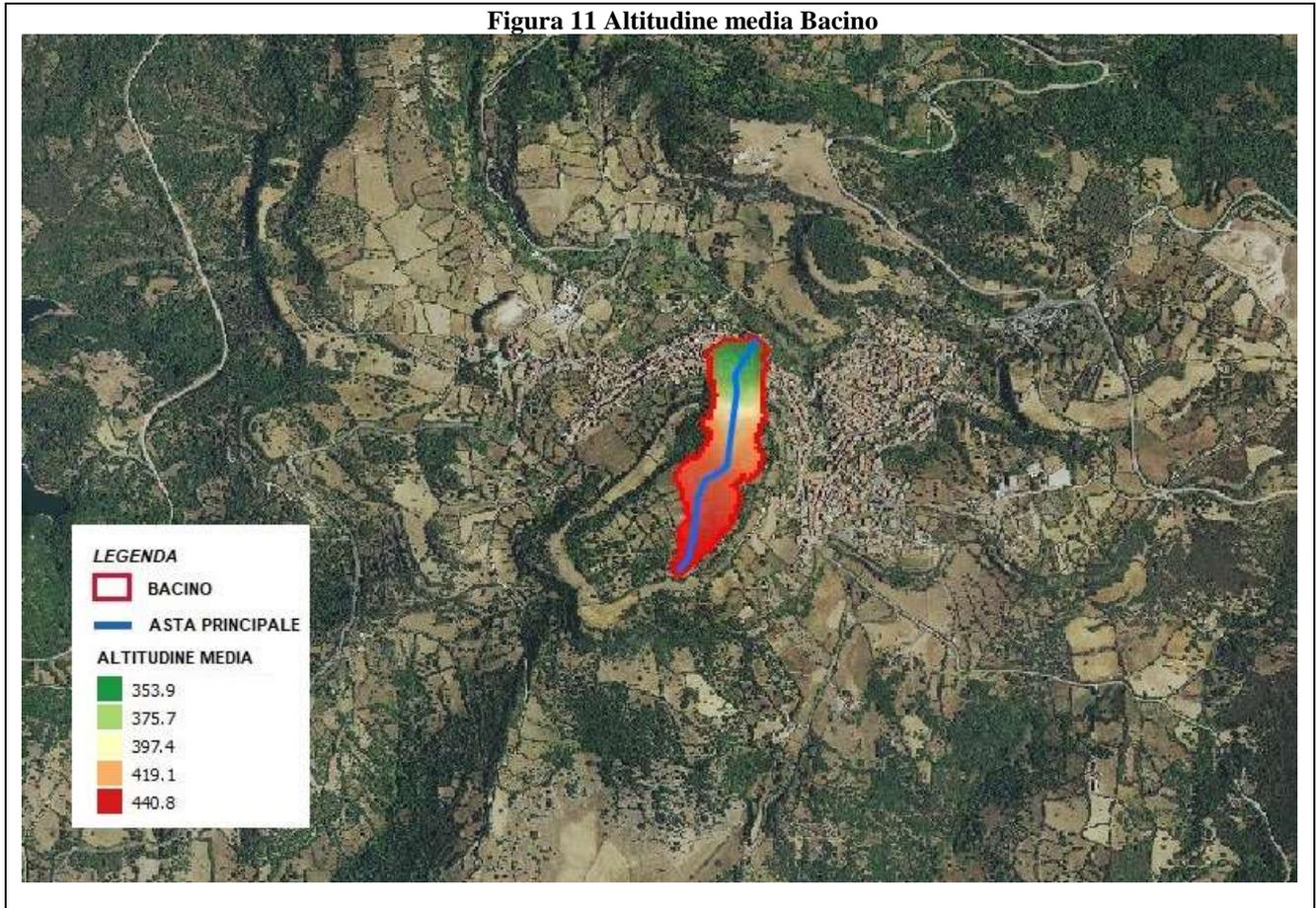
Si riporta in Tabella la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>BACINO COMPLUVIO TUNGORI</b>	
<i>SUPERFICIE (kmq)</i>	0.087
<i>LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)</i>	0.786
<i>PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE</i>	0.11
<i>PENDENZA MEDIA BACINO</i>	0.11
<i>ALTITUDINE MEDIA (m slm)</i>	393.46
<i>ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)</i>	340

**Tabella Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e la buona presenza di superfici coltivate con buone capacità di assorbimento consentono di attribuire al bacino un valore di **CN III = 97,30**.

Figura 11 Altitudini media Bacino



### Tempo di corrivazione

Come suggeriscono le linee Guida PAI può essere valutato con alcune formule empiriche:

FORMULA DI VENTURA

$$T_c = 0,127 \left( \frac{A}{i_m} \right)^{\frac{1}{2}} \quad [ore]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in Km<sup>2</sup>

*i<sub>m</sub>* pendenza media dell'asta principale.

$$T_c \equiv 0.107 \quad ore$$

FORMULA DI PASINI

$$T_c = \frac{0,108(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{i_m^{\frac{1}{2}}} \quad [ore]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in km<sup>2</sup>

*i<sub>m</sub>* pendenza media dell'asta principale

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

$$T_c \equiv 0.116 \quad ore$$

## FORMULA DI VIPARELLI

$$T_c = \frac{L}{(1+1,5) \cdot 3,6} \quad [\text{ore}]$$

dove :

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

*1-1,5* è la velocità media della corrente in m/s

*V=1.2* m/s si ha:

$$T_c \equiv 0.136 \quad \text{ore}$$

## FORMULA DI GIANDOTTI

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8\sqrt{(H_m - H_o)}} \quad [\text{ore}]$$

dove:

*A* è l'area del bacino in km<sup>2</sup>

*H<sub>m</sub>* altitudine media del bacino m slm

*H<sub>o</sub>* altitudine della sezione di chiusura m slm

*L* è la lunghezza dell'asta principale in km

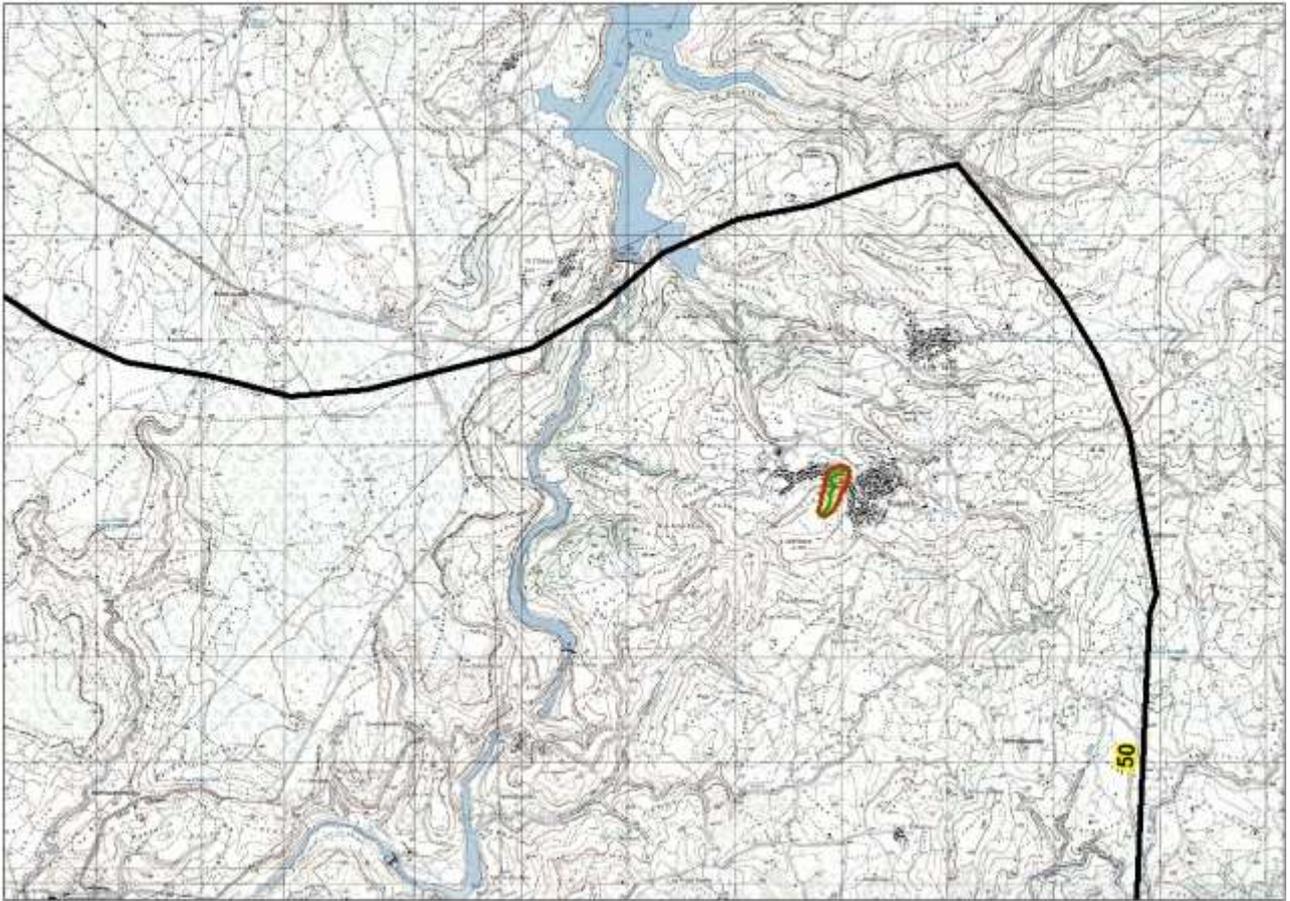
$$T_c \equiv 0.341 \quad \text{ore}$$

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Ventura:

$$T_c \equiv 0.107 \quad \text{ore}$$

**Portate**

Utilizzando come tempo di corrivazione Ventura e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 51 mm.



si ottiene infine:

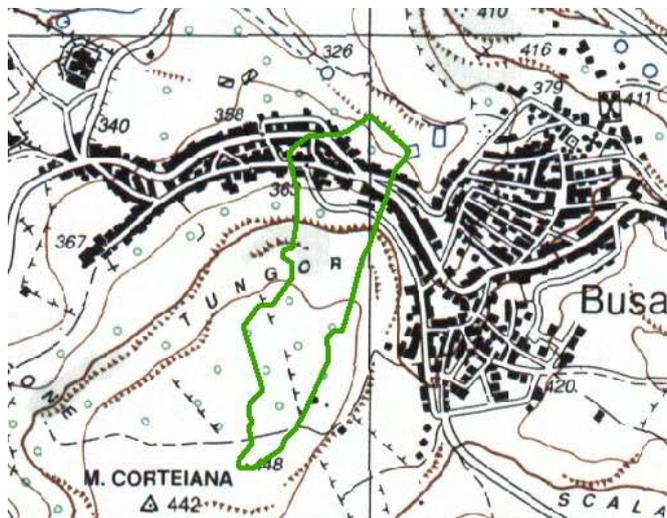
$$Q_{50} = 2.16 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{100} = 2.36 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{200} = 2.56 \text{ m}^3/\text{s} \quad Q_{500} = 2.86 \text{ m}^3/\text{s}$$

Il coefficiente di deflusso risulta pari a  $\phi = h_{netta}/h = 0.70$

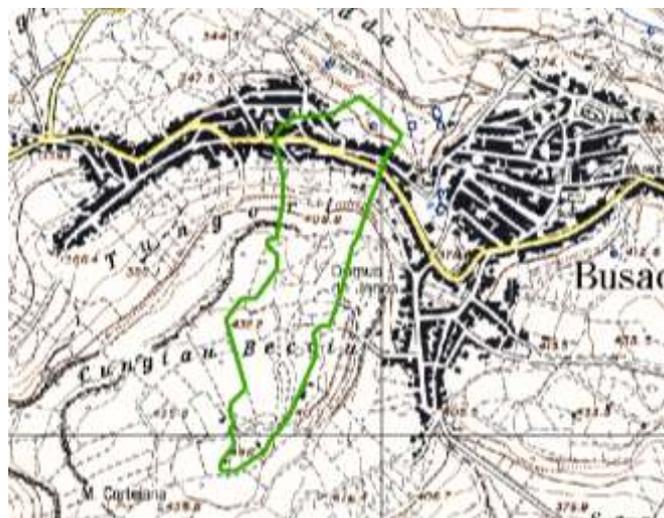
## Valutazioni idrauliche

In relazione alle valutazioni idrauliche si è condotta l'analisi sulla cartografia storica e verificata da sopralluoghi sul posto.

CARTA IGM 1989



CARTA CTR 1968



In relazione alle verifiche effettuate si può affermare che non si è in presenza di un compluvio, mancando una incisione o una definita linea di deflusso, di questo si è avuto conferma anche ricostruendo in ambiente GIS, a partire da un modello di terreno DTM 1 metro, le cosiddette *flow accumulation*.

Se si mette in relazione quest'ultima considerazione con il valore ridotto delle portate che raggiungono, anche per tempi di ritorno elevati, valori al più di  $2,8 \text{ m}^3/\text{s}$ , è lecito ritenere che il bacino in oggetto non produca pericolosità idrauliche nelle aree interessate dalla pianificazione attuativa.

Per tale ragione si è ritenuta non necessaria alcuna modellazione idraulica di un compluvio inesistente e comunque interessato da portate non significative.

**4a. Sottobacino urbano Settore ovest (SP32)**

L'inquadratura territoriale del bacino è rappresentata nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **4a**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello.

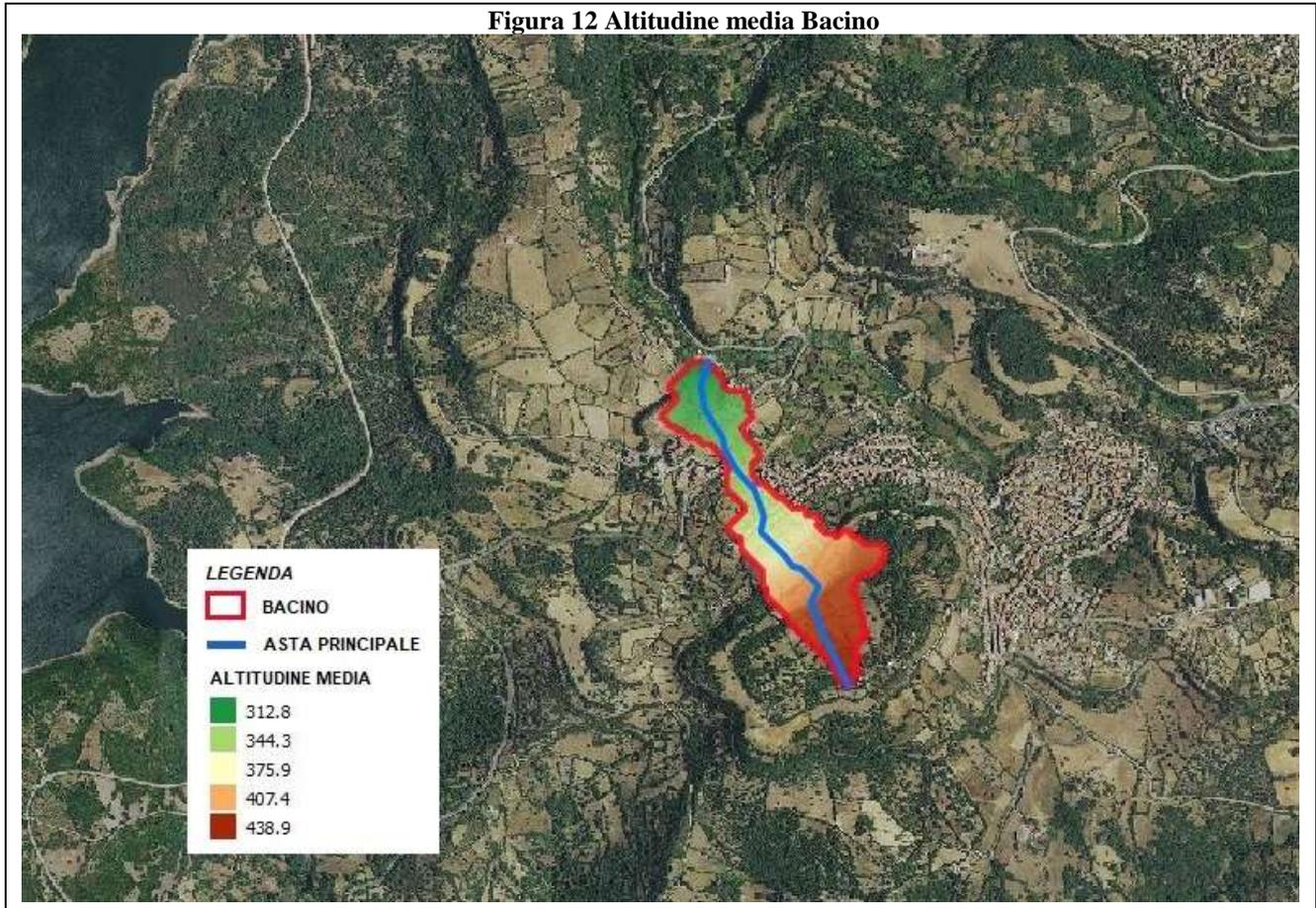
Si riporta in Tabella la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>SOTTOBACINO URBANO 4a</b>	
SUPERFICIE (kmq)	0,16
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	1,06
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0,076
PENDENZA MEDIA BACINO	0,133
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	445,61
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	303,70

**Tabella Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e alla ridotta presenza di superfici coltivate consentono di attribuire al bacino un valore leggermente superiore di **CN III = 95,20**.

Figura 12 Altitudine media Bacino



### **Tempo di corrivazione**

Come suggeriscono le linee Guida del PAI il tempo di corrivazione viene valutato con le classiche formule empiriche già utilizzate per i precedenti bacini e i cui valori vengono riportati nella tabella che segue:

TEMPI DI CORRIVAZIONE	
Formulazione del VENTURA	$T_c = 0,186$ ore
Formulazione del PASINI	$T_c = 0,218$ ore
Formulazione del VIPARELLI	$T_c = 0,294$ ore
Formulazione del GIANDOTTI	$T_c = 0,460$ ore

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Ventura:

$$T_c = 0.186 \text{ ore}$$

### **Portate**

Utilizzando come tempo di corrivazione Ventura e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 51.00 mm si ottiene infine:

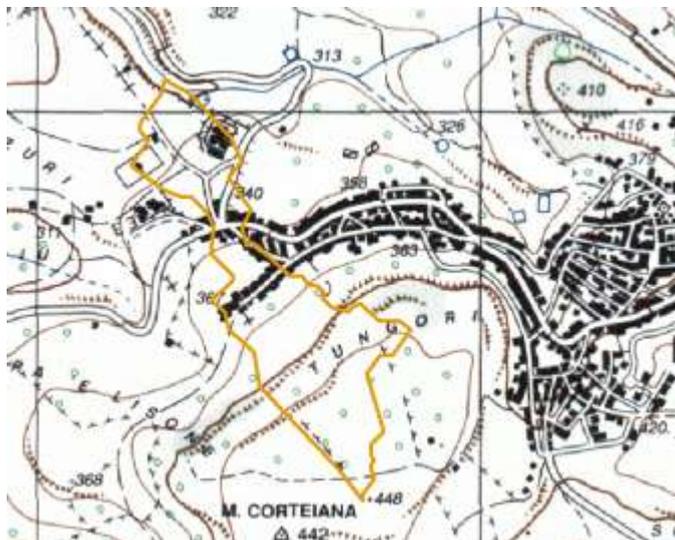
Tr (anni)	50	100	200	500
Portata (m <sup>3</sup> /s)	2.70	3.07	2.45	3.97

Il coefficiente di deflusso risulta *pari a*  $\Phi = h_{netta}/h = 0.62$

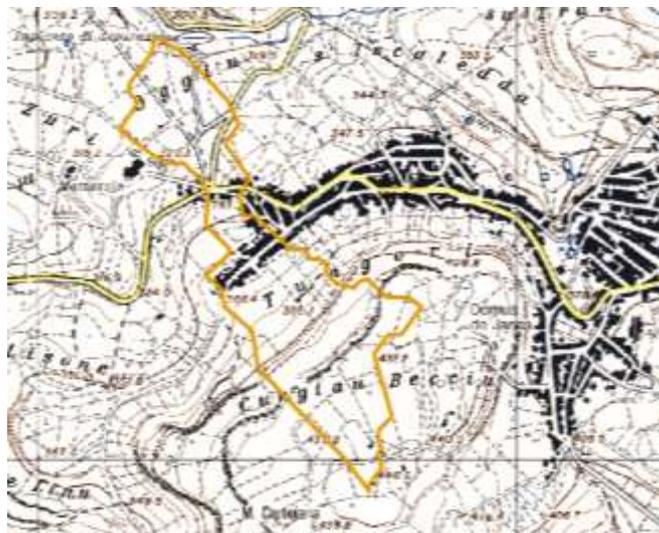
### **Valutazioni idrauliche sottobacino 4a**

In relazione alle valutazioni idrauliche si è condotta l'analisi sulla cartografia storica e verificata da sopralluoghi sul posto.

CARTA IGM 1989



CARTA CTR 1968



In relazione alle verifiche effettuate si può affermare che non si è in presenza di un compluvio, mancando una incisione o una definita linea di deflusso, di questo si è avuto conferma anche ricostruendo in ambiente GIS, a partire da un modello di terreno DTM 1 metro, le cosiddette *flow accumulation*.

Se si mette in relazione quest'ultima considerazione con il valore ridotto delle portate che raggiungono, anche per tempi di ritorno elevati, valori al più di  $3,97 \text{ m}^3/\text{s}$ , è lecito ritenere che il bacino in oggetto (di estensione modesta, pari a  $0,164 \text{ km}^2$ ) non produca pericolosità idrauliche nelle aree interessate dalla pianificazione attuativa.

Per tale ragione si è ritenuta non necessaria alcuna modellazione idraulica di un compluvio inesistente e comunque interessato da portate non significative.

**4b. Sottobacino urbano Settore ovest (SS 388)**

L'inquadratura territoriale del bacino è rappresentata nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **4b**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello.

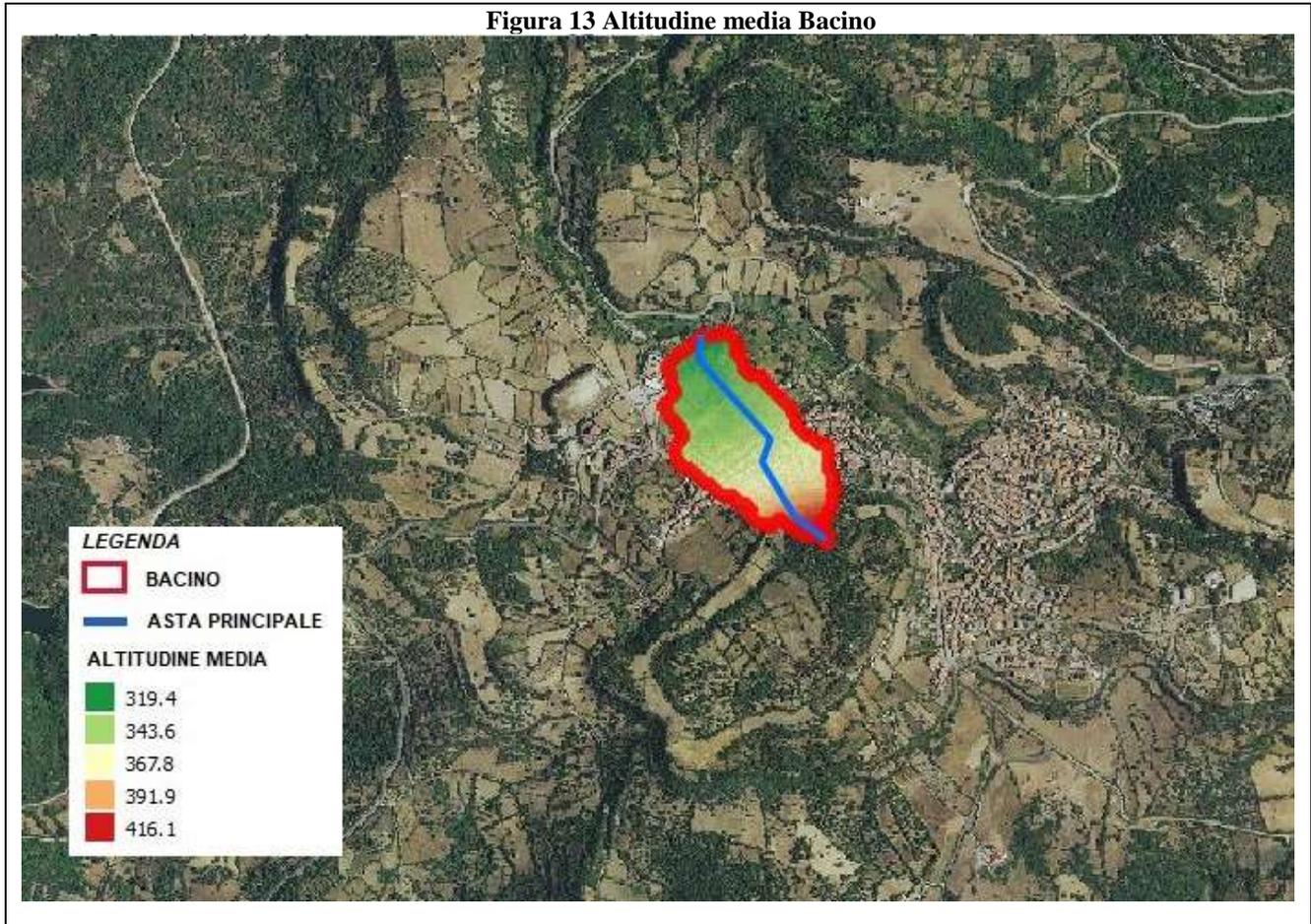
Si riporta in Tabella la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>SOTTOBACINO URBANO 4b</b>	
SUPERFICIE (kmq)	0,1247
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	0,63
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0,096
PENDENZA MEDIA BACINO	0,125
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	353,15
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	312.70

**Tabella Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e alla ridotta presenza di superfici coltivate consentono di attribuire al bacino un valore leggermente superiore di **CN III = 95,70**.

Figura 13 Altitudine media Bacino



### **Tempo di corrivazione**

Come suggeriscono le linee Guida del PAI il tempo di corrivazione viene valutato con le classiche formule empiriche già utilizzate per i precedenti bacini e i cui valori vengono riportati nella tabella che segue:

TEMPI DI CORRIVAZIONE	
Formulazione del VENTURA	$T_c = 0,145$ ore
Formulazione del PASINI	$T_c = 0,149$ ore
Formulazione del VIPARELLI	$T_c = 0,175$ ore
Formulazione del GIANDOTTI	$T_c = 0,464$ ore

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Ventura:

$$T_c = 0.145 \text{ ore}$$

### **Portate**

Utilizzando come tempo di corrivazione Ventura e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 51.00 mm si ottiene infine:

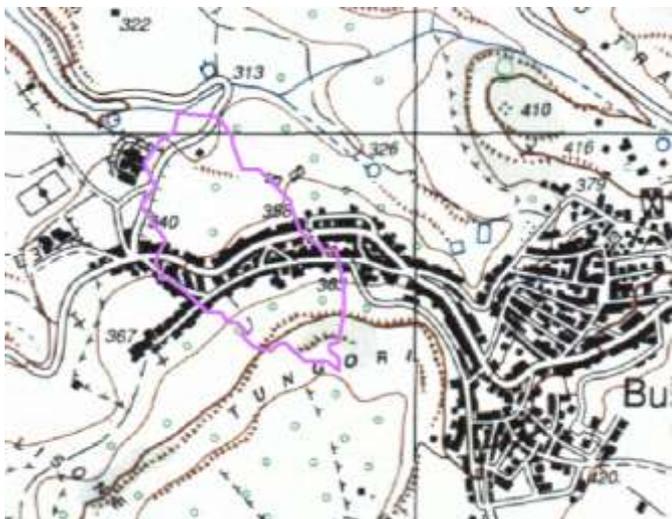
Tr (anni)	50	100	200	500
Portata (m <sup>3</sup> /s)	2.37	2.66	2.96	3.38

Il coefficiente di deflusso risulta *pari a*  $\Phi = h_{netta}/h = 0.62$

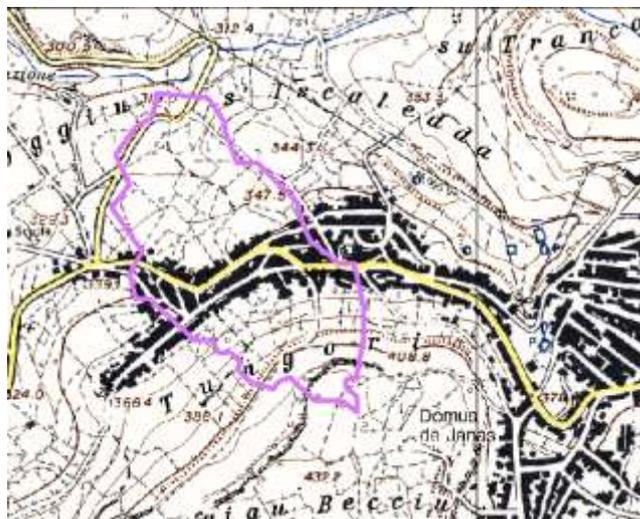
### **Valutazioni idrauliche sottobacino 4b**

In relazione alle valutazioni idrauliche si è condotta l'analisi sulla cartografia storica e verificata da sopralluoghi sul posto.

CARTA IGM 1989



CARTA CTR 1968



In relazione alle verifiche effettuate si può affermare che non si è in presenza di un compluvio, mancando una incisione o una definita linea di deflusso, di questo si è avuto conferma anche ricostruendo in ambiente GIS, a partire da un modello di terreno DTM 1 metro, le cosiddette *flow accumulation*.

Se si mette in relazione quest'ultima considerazione con il valore ridotto delle portate che raggiungono, anche per tempi di ritorno elevati, valori al più di  $3,38 \text{ m}^3/\text{s}$ , è lecito ritenere che il bacino in oggetto (di estensione modesta, pari a  $0,125 \text{ km}^2$ ) non produca pericolosità idrauliche nelle aree interessate dalla pianificazione attuativa.

Per tale ragione si è ritenuta non necessaria alcuna modellazione idraulica di un compluvio inesistente e comunque interessato da portate non significative.

**4c. Sottobacino urbano Settore ovest (Via Lamarmora)**

L'inquadrimento territoriale del bacino è rappresentato nell'apposita tavola su base cartografica 1:10000 dove è contrassegnato con il numero **4c**.

Tracciato il bacino in ambiente GIS dal suo profilo altimetrico si ricava la pendenza media attraverso la formula:

$$\sqrt{i} \equiv \frac{L}{\sum \frac{l_i}{\sqrt{i_i}}}$$

Dove: L è la lunghezza dell'asta principale;

$i_i$  la pendenza del tratto di asta di lunghezza  $l_i$  compresa tra due curve di livello.

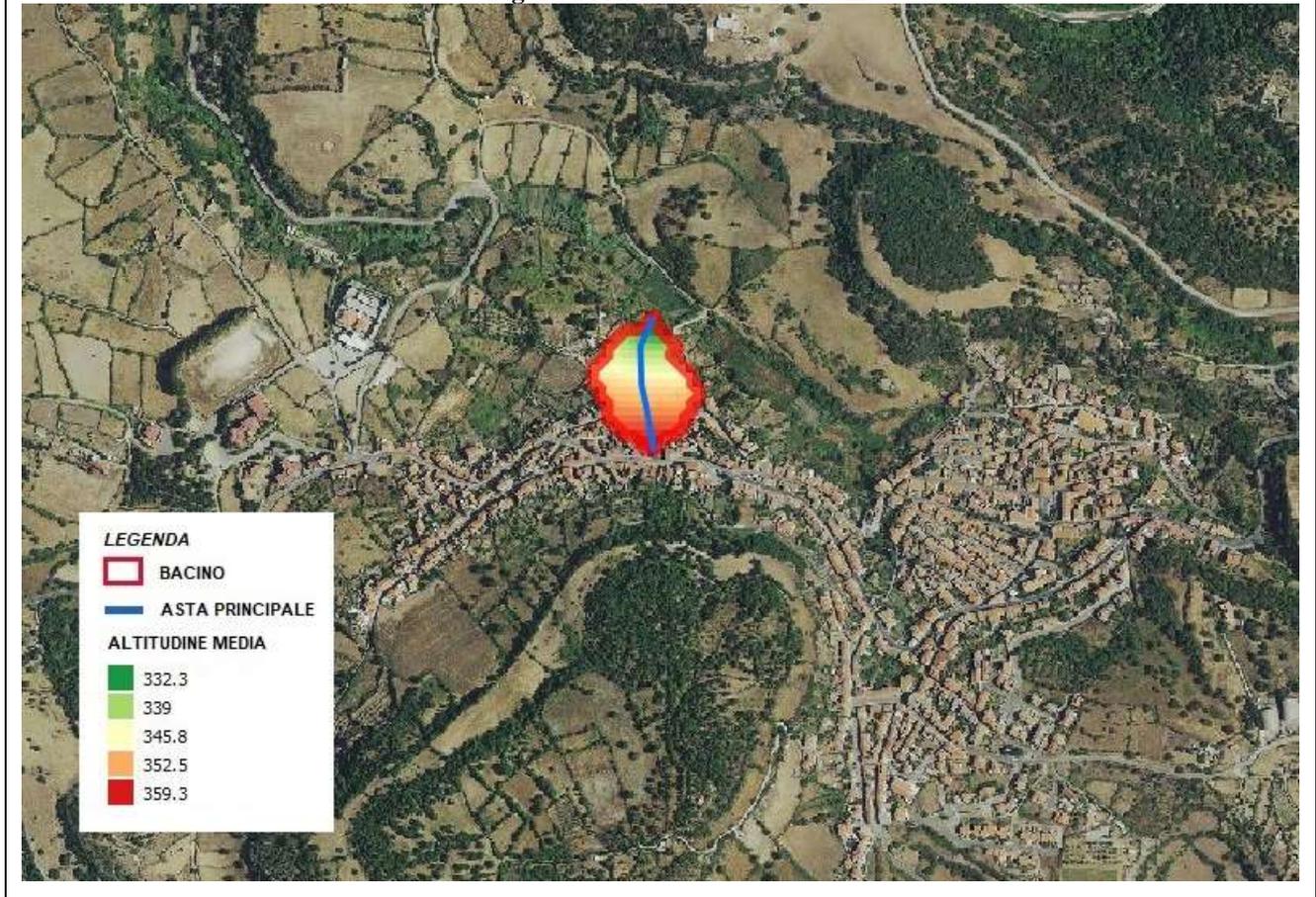
Si riporta in Tabella la sintesi dei parametri esprimenti le caratteristiche geomorfologiche del bacino.

<b>SOTTOBACINO URBANO 4c</b>	
SUPERFICIE (kmq)	0,175
LUNGHEZZA ASTA PRINCIPALE (Km)	0,186
PENDENZA MEDIA ASTA PRINCIPALE	0,094
PENDENZA MEDIA BACINO	0,135
ALTITUDINE MEDIA (m slm)	347.85
ALTITUDINE SEZIONE TERMINALE (m slm)	329.35

**Tabella Parametri di bacino**

Per il calcolo delle portate di piena e per stabilire le perdite di bacino si è fatta la valutazione del parametro del Curve Number. Precisamente l'utilizzo congiunto delle informazioni relative all'uso del suolo e alla geologia e alla ridotta presenza di superfici coltivate consentono di attribuire al bacino un valore leggermente superiore di **CN III = 97,30**.

Figura 14 Altitudine media Bacino



### **Tempo di corrivazione**

Come suggeriscono le linee Guida del PAI il tempo di corrivazione viene valutato con le classiche formule empiriche già utilizzate per i precedenti bacini e i cui valori vengono riportati nella tabella che segue:

TEMPI DI CORRIVAZIONE	
Formulazione del VENTURA	$T_c = 0,054$ ore
Formulazione del PASINI	$T_c = 0,050$ ore
Formulazione del VIPARELLI	$T_c = 0,047$ ore
Formulazione del GIANDOTTI	$T_c = 0,228$ ore

Per ragioni di cautela si è deciso di adottare come tempo quello della formulazione di Viparelli:

$$T_c = 0.047 \text{ ore}$$

### **Portate**

Utilizzando come tempo di corrivazione Ventura e stimando una pioggia indice giornaliera pari a 51.00 mm si ottiene infine:

Tr (anni)	50	100	200	500
Portata (m <sup>3</sup> /s)	0,64	0,68	0,72	0,79

Il coefficiente di deflusso risulta *pari a*  $\Phi = h_{netta}/h = 0.58$

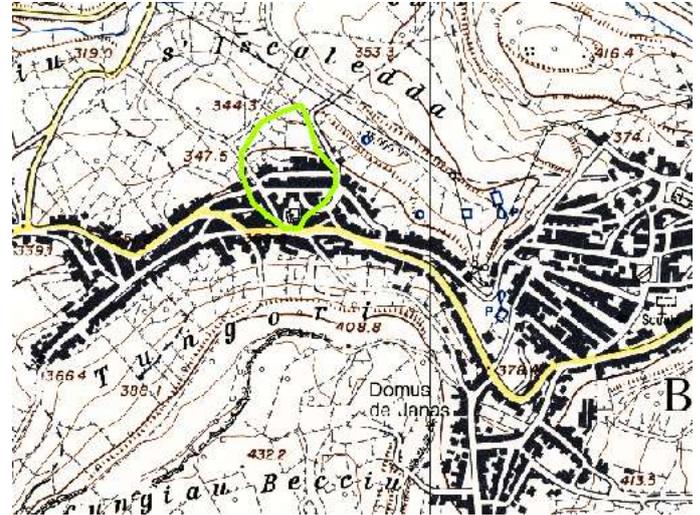
### Valutazioni idrauliche sottobacino 4c

In relazione alle valutazioni idrauliche si è condotta l'analisi sulla cartografia storica e verificata da sopralluoghi sul posto.

CARTA IGM 1989



CARTA CTR 1968



In relazione alle verifiche effettuate si può affermare che non si è in presenza di un compluvio, mancando una incisione o una definita linea di deflusso, di questo si è avuto conferma anche ricostruendo in ambiente GIS, a partire da un modello di terreno DTM 1 metro, le cosiddette *flow accumulation*.

Se si mette in relazione quest'ultima considerazione con il valore ridotto delle portate che raggiungono, anche per tempi di ritorno elevati, valori al più di  $0.79 \text{ m}^3/\text{s}$ , è lecito ritenere che il bacino in oggetto (di estensione modesta, pari a  $0,017 \text{ km}^2$ ) non produca pericolosità idrauliche nelle aree interessate dalla pianificazione attuativa..

Per tale ragione si è ritenuta non necessaria alcuna modellazione idraulica di un compluvio inesistente e comunque interessato da portate non significative.

## ANALISI INTERFERENZE RETICOLO IDROGRAFICO

Nei vari sopralluoghi effettuati, in base all'accessibilità dei luoghi, si è proceduto al rilievo di tutte le opere d'arte e le infrastrutture che interferiscono con il reticolo idrografico, oggetto di studio, anche minore. L'attenzione è stata posta maggiormente sulle opere e infrastrutture principali, strade provinciali e statali, canali tombati e strade comunali.

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: Via Sas Nughes	Tipologia: tubolare cls interrato
Sezione: $\varnothing$ 300 mm	Coordinate:	



Vista: FOTO 04

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: S.S. 388 - Via Sas Nughes	Tipologia: Ponte
Sezione: 400x280h cm	Coordinate:	
		
Vista: FOTO 05		

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: Via Sas Nughes	Tipologia: Tubolare cls interrato
Sezione: $\varnothing$ 800 mm	Coordinate:	



Vista: FOTO 06

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: Via Sas Nughes	Tipologia: Tubolare cls interrato
Sezione: $\varnothing$ 800 mm	Coordinate:	



Vista: FOTO 07

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: Via Martini	Tipologia: Canale cls interrato
Sezione: 150x180h cm	Coordinate:	



Vista: FOTO 10

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: Via Mazzini	Tipologia: Canale cls interrato
Sezione: 150x200h cm	Coordinate:	



Vista: INTERNO CANALE A VALLE E A MONTE

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: Via Mazzini	Tipologia: Canale cls interrato
Sezione: 150x200h cm	Coordinate:	



Vista: FOTO 12

Asta: <b>RIU OGGIU</b>	Ubicazione: Via Mazzini	Tipologia: Tubolare cls interrato
Sezione: $\varnothing$ 1000 mm	Coordinate:	



Vista: FOTO 11

## ANALISI IDRAULICA

La fase di processo delle informazioni morfometriche del sistema, come già anticipato, ha come obiettivo primario quello di individuare i principali dati da utilizzarsi per l'analisi idraulica, e precisamente:

- la definizione dell'asse del corso d'acqua;
- il tracciamento del ciglio destro e sinistro dell'alveo;
- il tracciamento delle sezioni trasversali.

Lo scopo delle analisi idrauliche è consistito nella individuazione delle aree suscettibili di essere inondate da eventi di piena caratterizzati da assegnato tempo di ritorno. Le metodiche utilizzate seguono rigorosamente quanto prescritto nelle Linee Guida del PAI.

In generale, tutte le analisi sono state condotte assumendo lo stato stazionario (moto permanente) sebbene i processi di propagazione delle onde di piena siano fenomeni di moto vario. Questa ipotesi è supportata dal fatto che le variazioni di portata nel tempo in occasione delle piene naturali non sono così rapide da rendere necessaria un'analisi in condizioni di moto vario.

Lo studio si è svolto secondo le seguenti fasi:

1. definizione della configurazione del sistema;
2. ricostruzione della geometria dell'alveo mediante rilievo e analisi dei progetti esistenti;
3. individuazione delle condizioni al contorno e implementazione della idrologia del sistema;
4. ricostruzione dei profili di corrente e calcolo dei livelli di moto permanente;
5. tracciamento delle aree di inondazione;

Ogni fase ha comportato l'analisi di studi, progetti e documenti esistenti, indagini presso enti e rilievi di campagna.

Per la modellazione si è ricostruita la geometria dell'alveo di piena mediante sezioni trasversali estese sufficientemente sino a comprendere la possibile espansione di piena; la congruità delle sezioni nei riguardi della loro effettiva capacità di rappresentare la zona di propagazione è stata analizzata mediante sopralluoghi e raffronti con immagini satellitari.

I dati topografici sono stati processati mediante il codice HEC-RAS per realizzare il modello idraulico descritto dettagliatamente più avanti.

### **1. IL MODELLO IDRAULICO**

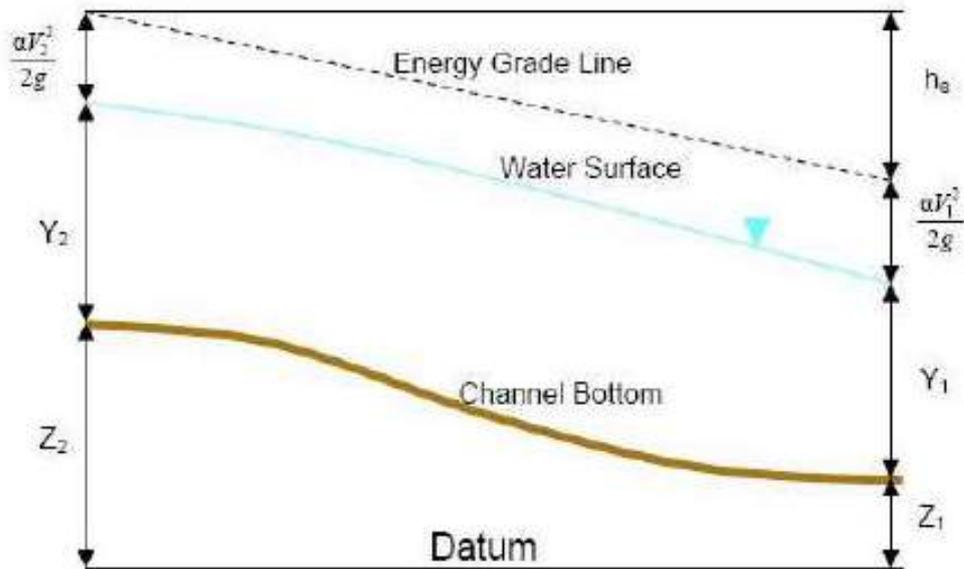
Il codice di calcolo utilizzato in questo studio, per la modellazione idraulica, denominato HEC-RAS, nella sua versione 5.0, è stato sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center dell'U.S. Army Corps of Engineers; il modello è in grado di effettuare simulazioni di tipo monodimensionale del fenomeno di propagazione dell'onda di piena su corsi d'acqua in condizioni di moto stazionario e non stazionario.

Questa scelta è stata fatta per ragioni di coerenza con il PAI che ha individuato e perimetrato le aree a rischio idraulico e utilizzando tale codice. Il modello presuppone che siano fornite tutte le informazioni necessarie, ed in particolare la geometria di un numero sufficiente di sezioni trasversali, la scabrezza che metta in conto le resistenze idrauliche, le condizioni al contorno e le portate.

Il programma consente di inserire sezioni trasversali fittizie, interpolando quelle rilevate, in modo da assicurare che il passo di discretizzazione spaziale non ecceda un assegnato valore limite ed è in grado di modellare il comportamento di canali naturali e artificiali tenendo conto dell'influenza sul moto di manufatti di vario tipo che possano influenzare le caratteristiche della corrente ecc..

MOTO PERMANENTE

Per l'analisi in moto permanente HEC-RAS determina il profilo del pelo libero tra una sezione e la successiva mediante la procedura iterativa denominata *standard step*, risolvendo l'equazione del bilancio energetico,



Equazione del bilancio energetico

$$Y_2 + Z_2 + \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} - h_e \quad (1)$$

dove:

$Y_1$  e  $Y_2$  sono le altezze d'acqua riferite al fondo dell'alveo;

$Z_1$  e  $Z_2$  sono le altezze del fondo rispetto ad una quota di riferimento;

$V_1$  e  $V_2$  sono le velocità medie della corrente nelle due sezioni estreme del tronco fluviale considerato;

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  sono coefficienti di ragguglio delle potenze cinetiche;

$h_e$  è la perdita di carico tra le due sezioni considerate.

Il termine  $h_e$  dipende sia dalle perdite per attrito che da quelle per contrazione ed espansione. Si può valutare mediante la seguente relazione:

$$h_e = L \cdot \bar{S}_f + C \cdot \left| \frac{\alpha_2 V_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 V_1^2}{2g} \right| \quad (2)$$

dove:

$L$  è la lunghezza del tronco considerato;

$\bar{S}_f$  è la cadente media tra le due sezioni;

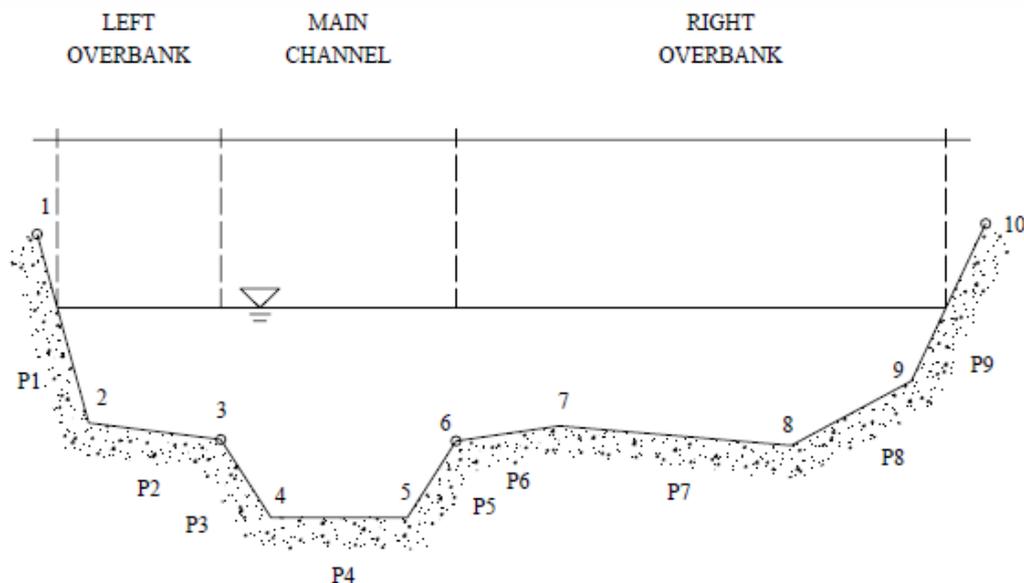
$C$  è il coefficiente di perdita di carico per contrazione o espansione.

Il primo termine rappresenta la perdita di carico totale per attrito, prodotto tra le due sezioni dalla cadente media. Il programma prevede diverse possibilità di calcolo della cadente, che viene determinata presupponendo una suddivisione della sezione d'alveo in sottosezioni all'interno delle quali la velocità possa ritenersi con buona approssimazione costante.

Il secondo termine della equazione per il calcolo delle perdite di carico rappresenta invece il contributo dovuto alla contrazione ed espansione dell'area bagnata; tali perdite sorgono nel momento in cui si abbia un allargamento o restringimento della sezione che determini una situazione di corrente non lineare. Il coefficiente  $C$  varia in un intervallo compreso tra 0.1 e 1 per correnti subcritiche, mentre in caso di correnti veloci generalmente si assumono valori inferiori.

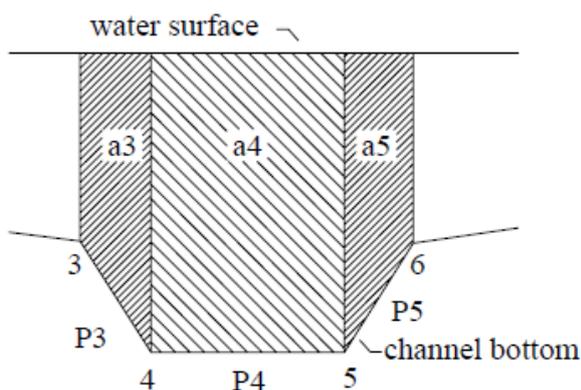
L'altezza del pelo libero, in riferimento ad una assegnata sezione, viene determinato mediante una risoluzione iterativa delle equazioni (1) e (2). Il modello fornisce inoltre i valori dell'altezza critica nelle diverse sezioni fluviali. Qualora si verificano transizioni da corrente lenta e veloce o viceversa, in tali segmenti di asta fluviale l'equazione di bilancio energetico è sostituita dall'equazione globale di equilibrio dinamico.

Ogni sezione descritta da un numero  $N$  di punti è suddivisa in tre "porzioni" (left overbank, main channel, right overbank), come illustrato in figura.



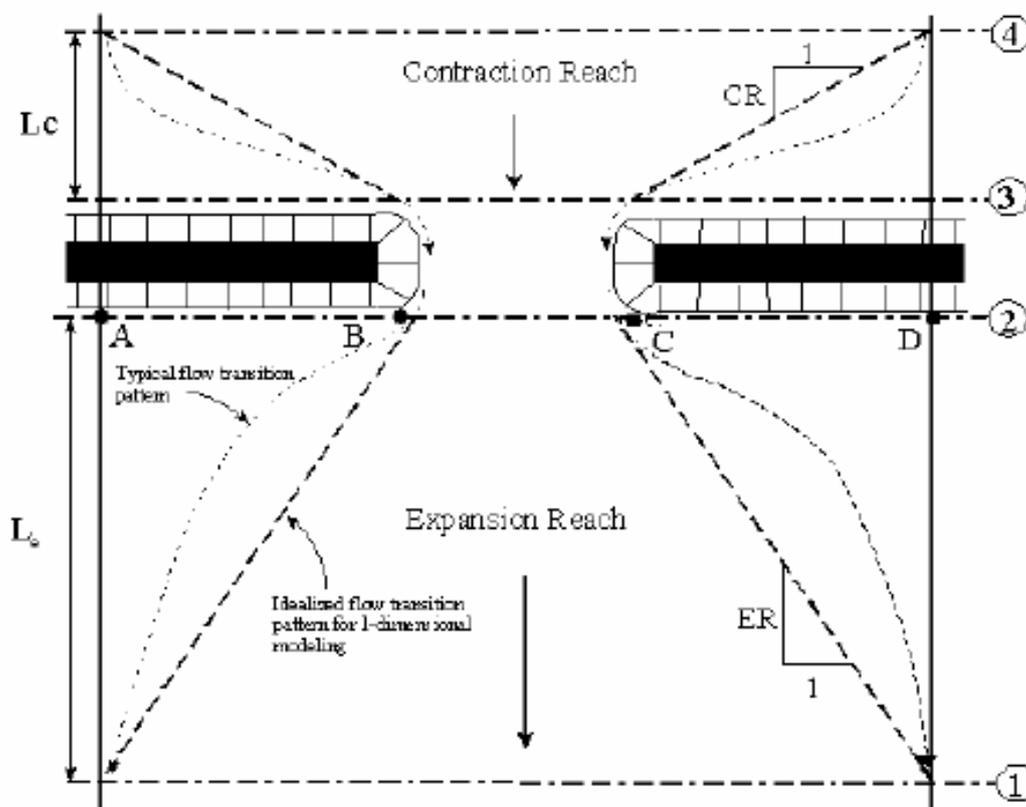
SUDDIVISIONE DELLA SEZIONE IN TRE COMPONENTI

Ogni sezione è ulteriormente suddivisa in *sub-section*, come illustrato nella figura sottostante, ad esempio l'area corrispondente al *main channel* è data dalla sommatoria delle aree delle *sub-section*, che la compongono secondo quanto riportato in figura.



Il modello HEC-RAS consente di modellare l'effetto indotto sulla corrente dalla presenza di attraversamenti fluviali, nel caso che il deflusso attraverso il ponte avvenga a pelo libero ma anche in pressione. La perdita di energia causata dal ponte è divisa in tre parti: in primo luogo le perdite che si hanno nella zona immediatamente a valle del ponte dove, generalmente, si ha un'espansione della corrente. Sono poi considerate le perdite di energia che si verificano durante l'attraversamento del ponte, nonché le perdite che si hanno immediatamente a monte, ove la corrente subisce una contrazione. Per lo studio del deflusso attraverso un ponte HEC-RAS fa riferimento a quattro sezioni fluviali trasversali: sezione a monte del ponte, sezione di ingresso al ponte, sezione in uscita al ponte e sezione a valle del ponte. Il calcolo può essere effettuato utilizzando diverse soluzioni.

Per rendere definito il problema occorre fornire 4 sezioni, due delle quali rispettivamente a monte e a valle dell'interferenza in cui siano trascurabili i fenomeni dovuti alla contrazione della corrente (sezioni 4 e 1), le altre due immediatamente a monte e a valle del manufatto (sezioni 2 e 3), in queste è necessario imporre un'area inefficace.



GEOMETRIA DI UN PASSAGGIO RISTRETTO

Il metodo del bilancio energetico (metodo *standard step*), tratta la sezione in cui è presente il ponte esattamente come le altre, ad eccezione del fatto che l'area occupata dalla struttura viene sottratta dall'area totale e che il perimetro bagnato risulta incrementato per via del contributo dato dal ponte stesso. Poiché le perdite totali sono funzione delle perdite per attrito e delle perdite per contrazione ed espansione, occorre definire in questa fase i coefficienti necessari per il calcolo. In particolare, essendovi variazioni di velocità anche notevoli, il coefficiente di contrazione e soprattutto quello di espansione risulteranno sensibilmente maggiori dei valori assunti per i normali tronchi fluviali.

Il metodo del bilancio della quantità di moto si basa invece sull'applicazione dell'omonima equazione tra le quattro sezioni fluviali in precedenza descritte. Il modello permette all'utente di utilizzare, per lo studio di ogni ponte, ciascuno dei metodi sopra citati o eventualmente di selezionarli entrambi; il software provvede a restituire il profilo che prospetta la situazione caratterizzata da maggior criticità.

### CONDIZIONI AL CONTORNO IN MOTO PERMANENTE

Assegnato il valore di portata di moto permanente, nel caso di corrente lenta occorre specificare una condizione al contorno di valle; viceversa, per correnti veloci, è richiesta la definizione di una condizione al contorno di monte. Per un regime misto, invece, si rende necessaria la specifica di entrambe le condizioni, ovvero a monte e a valle. HEC-RAS ammette la definizione delle condizioni al contorno attraverso la specifica di un valore di altezza assegnato, oppure imponendo il passaggio del profilo per l'altezza critica, oppure per l'altezza di moto uniforme.

## **2. SCHEMATIZZAZIONE DELLE SEZIONI**

Il modello di simulazione richiede che venga definita la geometria di un certo numero di sezioni di calcolo su cui si andranno a calcolare i livelli idrici nelle diverse condizioni di portata. Nell'apposita tavola sono indicati i tronchi critici con l'individuazione delle relative sezioni idrauliche di calcolo.

A tale scopo si è ricostruito lo sviluppo di diverse sezioni trasversali dei corsi d'acqua in studio utilizzando le informazioni cartografiche e di rilievo seguenti:

- Cartografia tecnica regionale al 10000
- Rilievi di ponti, tombini e altre opere d'arte;
- **DTM 10 m** ottenuto dalla trasformazione delle isocore e dei punti quotati 3D della cartografia al 10000 con passaggio intermedio su TIN.
- **DTM 1 m** ottenuto dalla trasformazione delle isocore e dei punti quotati 3D della cartografia al 2000 con passaggio intermedio su TIN.
- Sopralluoghi.

Nelle sezioni si è avuto cura di rilevare gli elementi significativi seguenti:

- Quote del fondo alveo desunte dai rilievi;
- Quote delle aree golenali in base alla cartografia 1:1000 e al DTM 1 m (urbano) e 10 m (extraurbano);
- Quote e luci dei manufatti che interferiscono idraulicamente con l'evoluzione della piena: quali ponti, tombini e tratti tombati.

## **3. PARAMETRI DI VERIFICA**

Il calcolo così come sopra descritto è stato condotto complessivamente su circa 200 sezioni rilevate o ricostruite.

Per quanto riguarda le **condizioni al contorno** ci si è posti nell'ipotesi di regime misto e pertanto si è imposta una condizione di valle e una di monte,

Precisamente:

- per i tratti che si sviluppano in campagna si è assunta l'altezza di moto uniforme corrispondente alla pendenza dell'asta;
- per i segmenti a pendenza elevata, dell'ordine di alcune unità percentuali, con forti irregolarità altimetriche si è imposta l'altezza critica;

La caratterizzazione delle **resistenze idrauliche** dell'alveo e delle aree limitrofe è stata effettuata assumendo opportuni valori del coefficiente di Manning o di Strickler secondo quanto riportato in letteratura (Open-Channel Hydraulics, V. T. Chow).

I coefficienti di scabrezza sono stati attribuiti a tratti omogenei d'alveo e di golena riconosciuti attraverso fotografie aeree e ricognizioni sul posto.

In particolare si è adottato un coefficiente di Manning **0.04** per le aree golenali, e **0.018** per le aree urbane.

Infine si è posto pari a **0.1** il **coefficiente di contrazione** e **0.3 quello di espansione**, tipici di transizione graduale fra le sezioni, anche quando in pratica la sezione rimane costante, come nel caso dei tratti regolarizzati.

Come **input idrologico**, si è deciso di assumere le portate indicate nel suddetto studio e precedentemente riportate.

Come **output** la procedura descritta ha consentito il calcolo, per ogni sezione, della quota dei livelli idrici corrispondenti alle portate assegnate, nonché tutti i parametri idraulici relativi al profilo di corrente, riprodotti in forma tabellare nei *report* di analisi che riportano i risultati delle verifiche (Elaborato B2).

In particolare, i dati numerici forniti dal calcolo sono:

- 1 la quota minima dell'alveo (linea di *thalweg*) in m s.l.m. indicata come quota fondo;
- 2 la quota del pelo libero, in m s.l.m.;
- 3 la velocità media in alveo in m/s;
- 4 il numero di Froude.

Le quote del pelo libero, riportate planimetricamente nel transetto esteso delle sezioni significative utilizzando dei contour costruiti sul DTM 10 m e DTM 1 m dove disponibile, hanno consentito di individuare l'involuppo delle superfici bagnate dalla piena.

Il codice HEC, inoltre, produce un file dati specifico per la rappresentazione planimetrica, contenente tutte le informazioni di quota della corrente nelle sezioni di calcolo nonché le coordinate dei punti estremi del pelo libero nel sistema geografico di riferimento che possono essere utilizzate in ambiente GIS per la mappatura delle aree.

Confrontando i tiranti idrici corrispondenti alle portate relative ai diversi tempi di ritorno per tutti i corsi d'acqua studiati si vede che vi sono differenze piuttosto irrilevanti passando da 50 a 500 anni; pertanto, anche in relazione agli aspetti orografici e altimetrici del territorio, **si è stabilito di rappresentare solo le aree a pericolosità Hi4 (involuppate all'Hi1)**, posto che le altre aree, corrispondenti a eventi meno frequenti e quindi meno pericolosi, avrebbero comunque una analoga estensione.

## CONCLUSIONI

Dallo studio e verifiche idrauliche fatte in corrispondenza dei tronchi critici preliminarmente individuati, sono state opportunamente perimetrate le aree a pericolosità idraulica e conseguentemente allagabili che rientrano negli alvei e nelle aree golenali. Le criticità individuate sono quelle in corrispondenza delle opere di attraversamento dei corsi d'acqua. A prescindere dalle aree perimetrate a **pericolosità idraulica**, tutti gli interventi urbanistico-edilizi previsti nel piano attuativo a scala comunale saranno effettivamente realizzabili, nel rispetto delle NTA del PAI, soltanto se:

- migliorano in modo significativo o comunque non peggiorano le condizioni di funzionalità del regime idraulico del reticolo principale e secondario, non aumentando il rischio di inondazione a valle;
- migliorano in modo significativo o comunque non peggiorano le condizioni di equilibrio statico dei versanti e di stabilità dei suoli attraverso trasformazioni del territorio non compatibili;
- non compromettono la riduzione o l'eliminazione delle cause di pericolosità o di danno potenziale né la sistemazione idrogeologica a regime;
- non aumentano il pericolo idraulico con nuovi ostacoli al normale deflusso delle acque o con riduzioni significative delle capacità di invaso delle aree interessate;
- limitano l'impermeabilizzazione dei suoli e creano idonee reti di regimazione e drenaggio;
- favoriscono quando possibile la formazione di nuove aree esondabili e permeabili;
- salvaguardano la naturalità e la biodiversità dei corsi d'acqua e dei versanti;
- non interferiscono con gli interventi previsti dagli strumenti di programmazione e pianificazione di protezione civile;
- adottano per quanto possibile le tecniche dell'ingegneria naturalistica e quelle a basso impatto ambientale;
- non incrementano le condizioni di rischio specifico idraulico o da frana degli elementi vulnerabili interessati ad eccezione dell'eventuale incremento sostenibile concesso all'intervento espressamente assentito;
- assumono adeguate misure di compensazione nei casi in cui sia inevitabile l'incremento sostenibile delle condizioni di rischio o di pericolo associate agli interventi consentiti;
- garantiscono condizioni di sicurezza durante l'apertura del cantiere, assicurando che i lavori si svolgano senza creare, neppure temporaneamente, un significativo aumento del livello di rischio o del grado di esposizione al rischio esistente.

### I PROFESSIONISTI

Dott. Ing. Andrea Lostia

Dott. Geol. Tiziana Carrus