



COMUNE DI PALAU

PROVINCIA DI OLBIA-TEMPIO

INTERVENTI PER IL SUPERAMENTO DELLE PROBLEMATICHE IDRAULICHE DEI CANALI COPERTI" LISCIA CULUMBA" (CODICE PGRA SS G258 002 A) E PALAU EST" (CODICE PGRA SS G258 001)

INTERVENTI RELATIVI A "PALAU EST" - CANALE LICCIA (CODICE PGRA SS G258 001)

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

ELABORATO :				RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA		
REVISIONI				ALLEGATO B	SCALA	
n°	MODIFICA	DATA	CTRL		CODICE	
01	consegna	Dic. 2023			NOTE	

Il Progettista:
Dott. Ing. Fabio Cambula

Il Responsabile del Procedimento:
Dott. Giovanni Tiveddu

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Sommario

1	INTRODUZIONE E CRITICITA'	2
1.1	Canale Liccia	13
1.2	Canale Baragge.....	Errore. Il segnalibro non è definito.
2	VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI	15
2.1	Alternativa a) : riqualificazione ed ampliamento canali artificiali.....	16
2.2	Alternativa b) : realizzazione di un volume di laminazione a monte dell'edificato e riqualificazione canali di valle	16
3	BENEFICI DERIVANTI DALL'ATTUAZIONE DELLA PROPOSTA PROGETTUALE	18
4	CENNI GEOMORFOLOGICI.....	20
5	STUDIO IDROLOGICO PER IL CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO	20
5.1	Premessa	20
5.2	Analisi pluviometrica	27
5.3	Calcolo delle portate di piena	28
4	STUDIO IDRAULICO	41
5.4	Valutazione del sopralzo della superficie libera in curva	44
6	CONSIDERAZIONI SUL BACINO RESIDUO A VALLE DI VIA DEL VECCHIO MARINO	50

1 INTRODUZIONE E CRITICITA'

La presente relazione tratta gli aspetti idrologici e idraulici inclusi nello Studio di Compatibilità Idraulica annesso al Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica dei lavori denominati *"Risanamento idrogeologico ambito Canale Liccia - Palau Est e Baragge Vecchio Marino "*, da realizzare per iniziativa del Comune di Palau.

Il lavoro riguarda gli interventi di risanamento idrogeologico del settore di Palau Est, nell'ambito del cosiddetto **"Canale Liccia"** e del **"Canale Baragge-Vecchio Marino"**. Nel presente lavoro saranno realizzato gli interventi inerenti il canale Liccia e il tratto a valle della confluenza con il Canale Baragge sino allo sbocco a mare; sono temporaneamente esclusi gli interventi lungo il Canale Baragge di cui tuttavia sono state considerate le caratteristiche in termini di mitigazione nell'ambito dello Studio di Compatibilità Idraulica e gli effetti per quanto necessario dal punto di vista idrologico e idraulico a valle della confluenza.

In base al reticolo idrografico ufficiale che fa capo al database "Elemento idrico" censito nel Geoportale della regione Sardegna, i due corsi d'acqua sono parzialmente indicati e presentano i tracciati riportati nella figura seguente e inclusi nel riquadro in rosso:



Figura 1 - Inquadramento reticolo idrografico ufficiale - Fiume 169455 (Canale Liccia Est) e Fiumi 169437 e 169461 (Canale Baragge)

Il **primo** rappresenta un compluvio che scorre in direzione sudest-nordovest alla periferia del centro abitato a monte della via Capo d'Orso (SP 123); il corso d'acqua nel tratto a valle della suddetta strada perde il connotato di alveo naturale e viene sostituito da alcune opere artificiali realizzate nel tempo con il progredire dell'edificazione: opere di attraversamento della viabilità,

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

tratti di tubazione, tratti di canale scatolare con diametri e sezioni di dimensioni variabili e in alcuni casi decrescenti da monte verso valle, idraulicamente connessi senza particolare logica; la trasformazione disordinata e priva di un progetto organico di dimensionamento, ha inevitabilmente causato gravi conseguenze in termini di allagamento delle aree circostanti la parte più depressa, per quanto difficilmente distinguibile nel tessuto ormai densamente edificato sino al Porto.

La figura seguente illustra i tracciati planimetrici delle opere che attualmente avrebbero la funzione di raccogliere e smaltire le acque naturali a valle della via Capo d'orso, sino allo sbocco nel Porto.



- RETICOLO IDROGRAFICO
- CANALE SCATOLARE in c.a. dim. nette 2,00x3,00 m
- TUBAZIONE IN CEMENTO DN 1300 mm
- TUBAZIONE DN 800 mm
- CANALE SCATOLARE in c.a. dim. nette 1,00x0,70 m

Figura 2 - Canale Licia Est - canalizzazioni esistenti a valle della Via Capo d'Orso

Il **secondo** si sviluppa più ad Est e presenta un tracciato planimetrico, che ha origine immediatamente a valle dell'attraversamento esistente sulla via Capo d'Orso, al quale si raccorda mediante apposito manufatto in calcestruzzo, ed è costituito da una sequenza di tratti di tubazione in cemento o calcestruzzo di diametri variabili tra 1000 mm e 600 mm, purtroppo decrescenti da monte verso valle; il canale passa al di sotto di edifici privati e pubblici (scuola) e della viabilità urbana, interessando quindi elementi a rischio molto elevato. Ovviamente è conclamata l'insufficienza della sezione idraulica anche per portate con tempi di ritorno ordinari e si registrano frequentemente allagamenti e situazioni di pericolo.



Figura 3 - reticolo idrografico tratto da DTM nell'area di Palau EST

Comune di PALAU (OT)
 RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
 Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

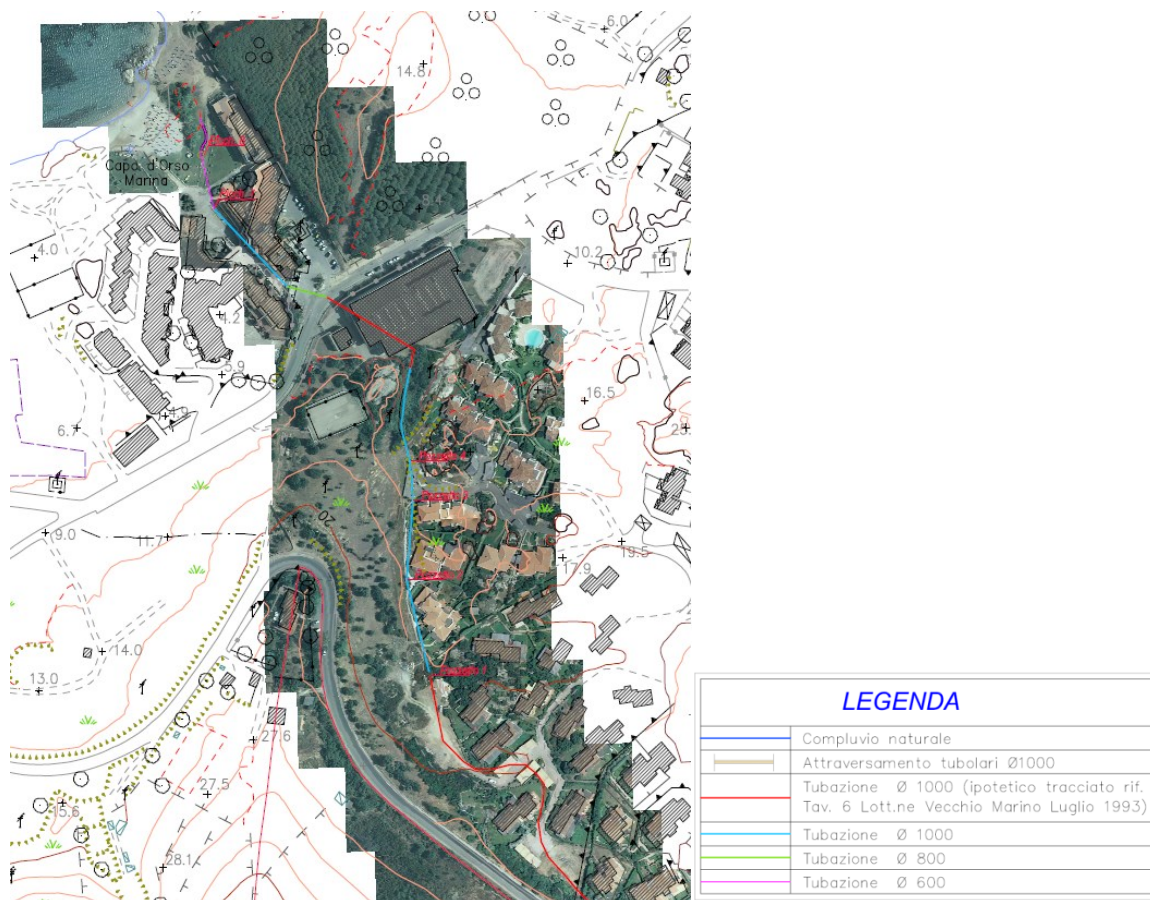


Figura 4 - Canale Baragge - tracciato attuale delle canalizzazioni esistenti

Le acque meteoriche provenienti dai bacini idrografici situati a monte della via Capo d'Orso nel settore di Palau Est, si distribuiscono, quindi, disordinatamente senza essere incanalate e raggiungono edifici e strade, causando danni e pericoli per l'incolumità delle persone.

Il Canale Liccìa è sede di aree a pericolosità idraulica molto elevata, la cui perimetrazione attualmente in vigore è stata determinata nell'ambito dello Studio di Compatibilità idraulica esteso al territorio comunale ai sensi dell'art. 8 comma 2 delle N.A. del PAI per l'adeguamento dello strumento urbanistico al PAI ma è in corso di adozione definitiva da parte dell'Autorità di Bacino regionale. La figura seguente illustra l'area di pericolosità idraulica nel settore in esame per effetto del compluvio "Liccia" e dell'adiacente "canale Ovest".

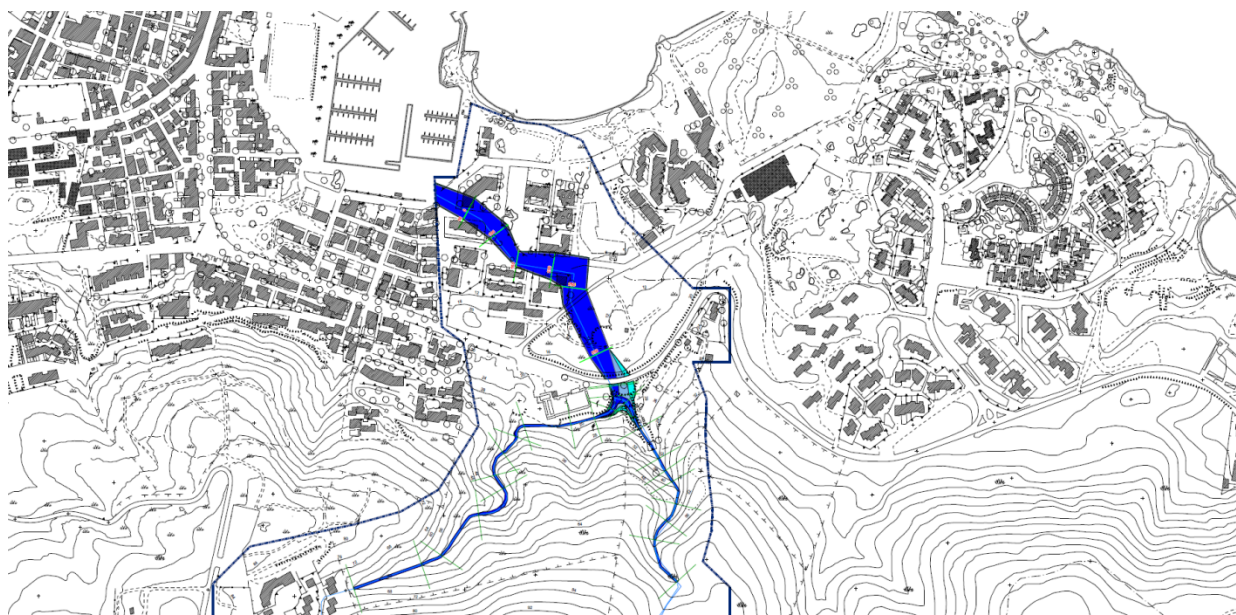


Figura 5 - area a pericolosità idraulica ex studio art. 8 comma 2 per il settore in esame

Il presente progetto di fattibilità tecnico-economica affronta la problematica tenendo conto delle implicazioni di carattere ambientale e paesaggistico connesse con la realizzazione delle opere e adottando la metodologia di analisi e calcolo prevista dal Piano di Assetto Idrogeologico (PAI). In una parte dell'area di intervento, quella situata tra la via Capo d'Orso e la via del Vecchio Marino, ricadente in Hi4, vige pertanto il regime di salvaguardia e si applicano le Norme di Attuazione del PAI, incluse le prescrizioni dell'art. 27 (*Disciplina delle aree a pericolosità idraulica molto elevata*) che in caso di interventi come quello in esame prevedono la redazione di apposito Studio di Compatibilità Idraulica, associato al presente livello progettuale. Lo Studio di Compatibilità è stato redatto per il progetto complessivo ed è stato approvato dall'Agenzia del Distretto Idrografico regionale nell'anno 2022. Il presente stralcio è coerente con quanto stabilito e previsto nel progetto generale e nello Studio approvato.

Sono stati considerati tre sub-bacini principali le cui sezioni di chiusura sono state ubicate in corrispondenza delle sezioni di immissione nel canale naturale e a monte dell'attraversamento della via Capo d'Orso, come illustrato ai paragrafi seguenti.

La metodologia adottata è indicata nelle linee guida per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico nell'ambito del PAI, come metodo di stima indiretto indispensabile qualora non vi sia sufficiente disponibilità di osservazioni storiche di portata, come è nel caso dei piccoli bacini in esame.

L'altezza di pioggia è stata desunta attraverso l'applicazione del metodo TCEV, idoneo per l'interpretazione degli eventi estremi e sufficientemente cautelativo per i dimensionamenti delle opere in progetto. Il tempo di corrivazione è scaturito dal confronto tra alcune note formule e

dall'adozione di quella ritenuta più cautelativa ed attendibile in funzione delle caratteristiche del singolo bacino idrografico. Le portate di progetto utilizzate sono scaturite dall'applicazione della Formula Razionale, che esprime il picco della portata di piena allo sbocco del bacino imbrifero come prodotto tra l'intensità di precipitazione, di assegnata durata e periodo di ritorno, il coefficiente di assorbimento e la superficie del bacino, tenendo conto di un coefficiente di ragguaglio alla superficie.

La figura seguente illustra invece i bacini idrografici dei compluvi individuati, presi in considerazione per le valutazioni idrologiche e idrauliche alla base delle scelte degli interventi da realizzare.

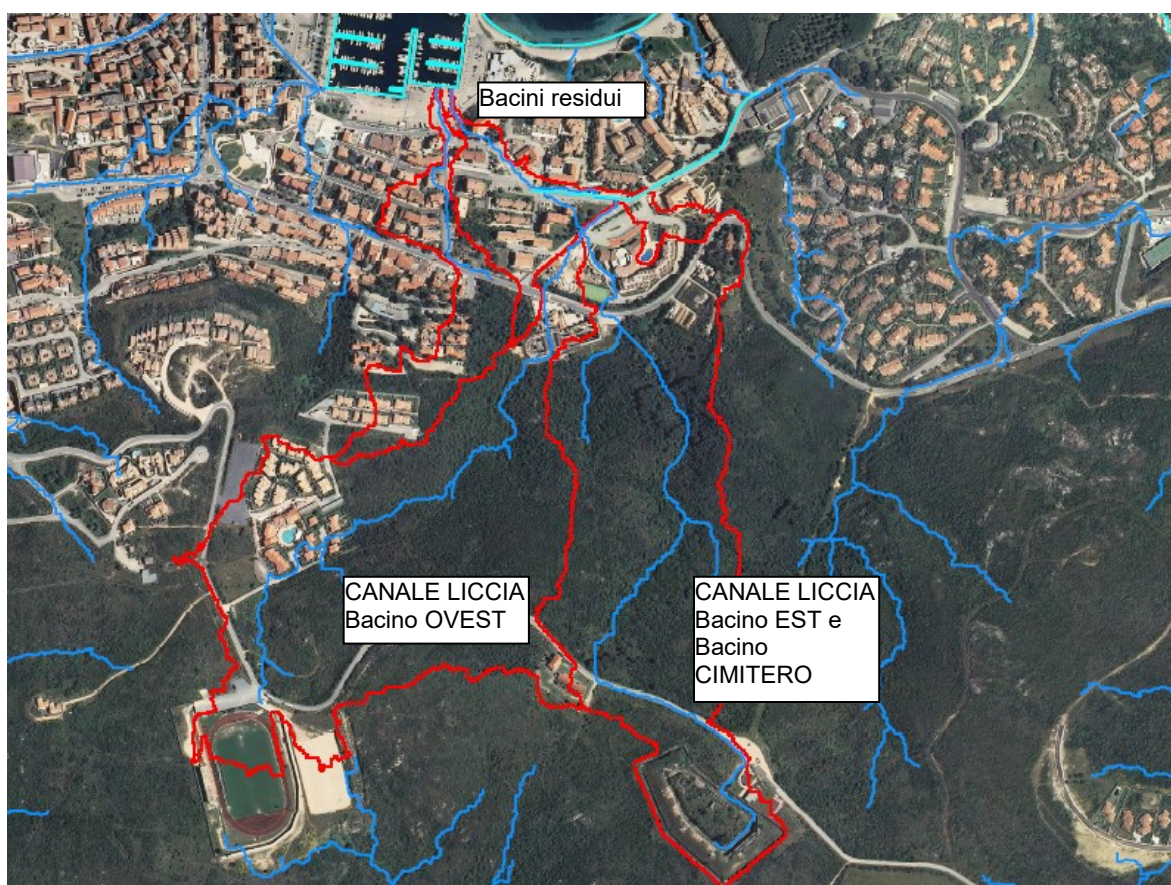


Figura 6 - reticolo e bacini idrografici nell'area in esame - Palau EST

Nella figura seguente, invece, sono indicati i punti critici dove si registrano allagamenti anche durante eventi non particolarmente intensi.



Figura 7 - individuazione punti critici soggetti ad allagamenti lungo il Canale Licia e asta affluente da Ovest

Il lavoro si propone di **intercettare il deflusso naturale a monte della via Capo d'Orso** mediante le seguenti opere ed azioni:

1. sistemazione e risagomatura del canale naturale di guardia che si sviluppa a monte del perimetro del cimitero, lato sud;
2. demolizione e ricostruzione dell'attraversamento stradale della Via Capo d'Orso con nuovo tombino scatolare;
3. stombamento dell'attuale linea di deflusso a valle della Via Capo d'Orso sino alla via del Vecchio Marino mediante realizzazione di un canale artificiale in calcestruzzo che si sviluppa lungo il tracciato naturale del Canale Licia e che sarà reso carrabile mediante la copertura con griglia in acciaio;
4. realizzazione del canale diversore in calcestruzzo, a cielo aperto lungo la via del vecchio Marino, sino alla confluenza con il Canale Baragge e che consentirà di eliminare i tratti tombati attualmente presenti tra la Via del Vecchio Marino e il Porto;
5. realizzazione di n. 3 attraversamenti stradali: n. 1 in corrispondenza dell'intersezione a raso tra il parcheggio e la Via del Vecchio Marino, n. 1 in prossimità della confluenza con il Canale Baragge e n. 1 lungo il Canale Baragge (escluso dal presente intervento);
6. realizzazione del tratto terminale a cielo aperto e sezione trapezoidale a valle della confluenza tra Licia e Baragge sino allo sbocco a mare.

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

In tal modo si eviterà che in caso di eventi anche non eccezionali, la maggior parte del deflusso dei bacini idrografici denominati "Liccia EST", Ovest e "Cimitero" venga incanalato e deviato verso il settore est, lungo la viabilità, preservando la porzione di edificato attualmente esposta al pericolo di allagamento. Il bacino residuo che include la porzione edificata a valle della via Capo d'Orso è di dimensioni tali da poter essere gestito con la rete di acque meteoriche cittadina.

Nel presente intervento saranno realizzate le seguenti azioni:

- ✓ pulizia e sistemazione idraulica delle due aste convergenti verso il centro abitato tramite l'attraversamento viario di via Capo d'Orso, mediante risagomatura e introduzione di alcuni tratti di protezione spondale antiersiva con scogliera;
- ✓ stombamento dell'attuale linea di deflusso a valle della Via Capo d'Orso e sino alla via del Vecchio Marino mediante realizzazione di un canale artificiale in calcestruzzo, che si sviluppa lungo il tracciato naturale del Canale Liccia e che sarà reso carrabile mediante la copertura con griglie in acciaio;
- ✓ realizzazione del canale diversore in calcestruzzo, a cielo aperto lungo la via del Vecchio Marino, sino alla confluenza con il Canale Baragge e che consentirà di eliminare i tratti tombati attualmente presenti tra la Via del Vecchio Marino e il Porto; in corrispondenza delle intersezioni sotto la viabilità il canale sarà chiuso e conforme ai requisiti previsti dalle NTC 2018 relativamente ai tombini scatolari;
- ✓ realizzazione di n. 2 attraversamenti stradali (NTC 2018): n. 1 in corrispondenza dell'intersezione a raso tra il parcheggio e la Via del Vecchio Marino, n. 1 in prossimità della confluenza con il Canale Baragge;
- ✓ realizzazione del tratto terminale a cielo aperto e sezione trapezoidale a valle della confluenza tra Liccia e Baragge sino allo sbocco a mare.

La soluzione generale predisposta eviterà che in caso di eventi anche non eccezionali, la maggior parte del deflusso dei bacini idrografici denominati "Liccia EST", Ovest e "Cimitero" venga incanalato e deviato verso il settore est, preservando la porzione di edificato attualmente esposta al pericolo di allagamento. Il bacino residuo che include la porzione edificata a valle della via Capo d'Orso è di dimensioni tali da poter essere gestito con la rete di acque meteoriche cittadina. L'attuazione immediata del presente intervento lungo tutto il Canale Liccia risulterà funzionale agli obiettivi generali e consentirà sin da principio di incidere significativamente sulla raccolta e deviazione del deflusso proveniente dal Canale Liccia, evitando che lo stesso raggiunga i settori edificati e sede dei tratti tombati non idonei.

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

L'intervento produce una sensibile riduzione della pericolosità e del rischio idraulico a carico degli elementi più vulnerabili (classificabili ai sensi del PAI e del PGRA¹ come soggetti a Danno potenziale elevato e molto elevato D3 e D4) come l'edificato urbano e la viabilità principale.

L'intervento produce una sensibile riduzione della pericolosità e del rischio idraulico a carico degli elementi più vulnerabili (classificabili ai sensi del PAI e del PGRA² come soggetti a Danno potenziale elevato e molto elevato D3 e D4) come l'edificato urbano e la viabilità principale.

L'intervento rientra tra quelli ammessi e suggeriti dal paragrafo **“9. Misure strutturali”** della **“Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza dei Canali Tombati”** dell'Autorità di Bacino regionale ed in particolare i seguenti punti evidenziati:

(tipologie interventi possibili)

- *riapertura totale del canale;*
- *realizzazione di canali scolmatori aventi la finalità di ridurre la portata transitante nel canale tombato;*
- *realizzazione di aperture parziali della soletta superiore e inserimento nello sviluppo complessivo del canale di griglie che consentano la fuoriuscita dell'acqua e l'eventuale rientro nel canale;*
- *realizzazione di vasche di laminazione a monte dell'imbocco del canale, in modo da ridurre la portata in corrispondenza degli eventi di piena e da limitare il trasporto solido all'interno del canale*
- *realizzazione di briglie selettive in modo da ridurre la dimensione dei corpi solidi trasportati all'interno del canale*
- *rimozione e riduzione di elementi di ostacolo al flusso esistenti all'interno del canale, quali curve repentine, attraversamenti di reti pubbliche, strutture di fondazione;*
- *miglioramento delle opere di imbocco e sbocco;*
- *eventuale delocalizzazione di edifici e strutture che interferiscono con le strutture del canale;*
- *apertura di varchi nella soletta per consentire l'inserimento di attrezzature per le operazioni di verifica e manutenzione;*
- *ampliamento della sezione esistente esclusivamente in zona edificata e nel caso di dichiarata mancanza di alternative progettuali tecnicamente ed economicamente sostenibili, allo scopo di ovviare a documentate situazioni di pericolo e a garantire la tutela della pubblica incolumità.*

La soluzione proposta consiste nel realizzare una linea di deflusso in parte naturale ed in parte artificiale costituita dai seguenti elementi principali:

- **canale naturale di guardia esistente**, che si sviluppa ai piedi del versante a monte del perimetro cimiteriale e raggiunge a cielo aperto la via Capo d'Orso in corrispondenza dell'attraversamento e della confluenza con l'alveo del Canale Licia (Est); il canale raccoglie i contributi del sub-bacino Ovest e del sub-Bacino del Cimitero;

¹ Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni approvato dalla Regione Sardegna nell'anno 2016.

² Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni approvato dalla Regione Sardegna nell'anno 2016.

- **canale artificiale con copertura carrabile con griglie permeabili** che effettua lo stombamento del Canale Licia tra la Via Capo d'orso e la Via del Vecchio Marino sviluppandosi quindi lungo il tracciato del compluvio naturale;
- **canale artificiale diversore a cielo aperto lungo la Via del Vecchio Marino**, che impedirà di trasferire le portate verso il tratto tombato insufficiente e inadeguato che attualmente ha sbocco nel Porto dopo aver attraversato l'edificato urbano;
- **attraversamenti della viabilità in corrispondenza delle intersezioni con le nuove opere**, progettati come tombini, ovvero manufatti totalmente rivestiti in sezione in grado di smaltire complessivamente portate fino a $50 \text{ m}^3/\text{s}$ per il tempo di ritorno di 200 anni, come per i casi in esame. In tal senso il franco può essere calcolato come da Norme del PAI e non valgono l'obbligo del valore minimo di 1.50 m e varie altre condizioni riportate nel punto 5.1.2.3 delle NTC 2018.

Effettuando il raffronto tra le lunghezze dei tratti tombati nella condizione ante operam e in quella post operam si evince che vi è una riduzione drastica passando da **927 metri** a circa **105 metri** interamente dotati di copertura con griglie "trasparenti" al passaggio dell'acqua, cui si aggiungono circa **60 metri di tombini** di attraversamento stradale rispondenti alle indicazioni della Circolare del Consiglio Superiore dei LL.PP. del 21/01/2019 che in merito all'applicazione del punto 5.1.2.3 "Compatibilità idraulica" nei ponti recita:

"Restano esclusi dal punto 5.1.2.3 della Norma i tombini, intendendosi per tombino un manufatto totalmente rivestito in sezione, eventualmente suddiviso in più canne, in grado di condurre complessivamente portate fino a $50 \text{ m}^3/\text{s}$. L'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha comunque tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti. La scelta dei materiali deve garantire la resistenza anche ai fenomeni di abrasione e urto causati dai materiali trasportati dalla corrente."

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023



Figura 8 - planimetria di dettaglio con tracciati del reticolo ufficiale, dei canali tombati esistenti e delle opere in progetto (in rosso)

Le verifiche idrauliche sono state svolte mediante l'utilizzo del software agli elementi finiti **HEC-RAS** con simulazioni in moto vario e in moto permanente, di cui sono state utilizzate le funzioni speciali per rappresentare numericamente i punti singolari (ponti, argini, ecc.); da esse sono stati desunti i tiranti idrici utili per valutare l'efficacia delle opere e definire le eventuali superfici di allagamento in caso di fuoriuscita delle portate di piena o in caso di deficit nei franchi idraulici di sicurezza. Il modello matematico predisposto nel presente aggiornamento, tiene conto della confluenza del Canale di Baragge, per il quale sono state svolte elaborazioni analoghe al Canale Liccia, coordinate dal punto di vista idrologico e idraulico. Il segmento terminale del nuovo canale di scarico verso il mare, che raccoglie il deflusso di entrambi i canali, è incluso nel progetto relativo al Baragge ed è stato previsto in continuità con le ipotesi del presente progetto.

1.1 Canale Liccìa

Il lavoro si propone di **intercettare il deflusso naturale a monte della via Capo d'Orso** mediante, per quanto riguarda il Canale Liccìa, la sistemazione e risagomatura del canale naturale di guardia che si sviluppa a monte del perimetro del cimitero, lato sud, la demolizione e ricostruzione dell'attraversamento stradale e la realizzazione di un canale artificiale in calcestruzzo che si sviluppa a valle dello stesso lungo la strada privata seguendo il percorso del reticolo naturale con una sezione rettangolare grigliata e successivamente diverge verso Est e procede lungo la via del Vecchio Marino, prima di convergere con il canale Baragge e raggiungere lo sbocco a mare con unica linea di deflusso a cielo aperto. In tal modo si eviterà che in caso di eventi anche non eccezionali, la maggior parte del deflusso dei bacini idrografici denominati "Liccìa EST", Ovest e "Cimitero" venga incanalato e deviato verso il settore est, lungo la viabilità, preservando la porzione di edificato attualmente esposta al pericolo di allagamento.

Il nuovo canale sarà realizzato quasi interamente a cielo aperto, ad eccezione del tratto a valle dell'attraversamento della via Capo d'orso sino al parcheggio della via del vecchio Marino, dove è necessario introdurre la copertura con grigliato in acciaio carrabile al fine di consentire la percorribilità della strada di accesso alle abitazioni e alle strutture ricettive presenti.



RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

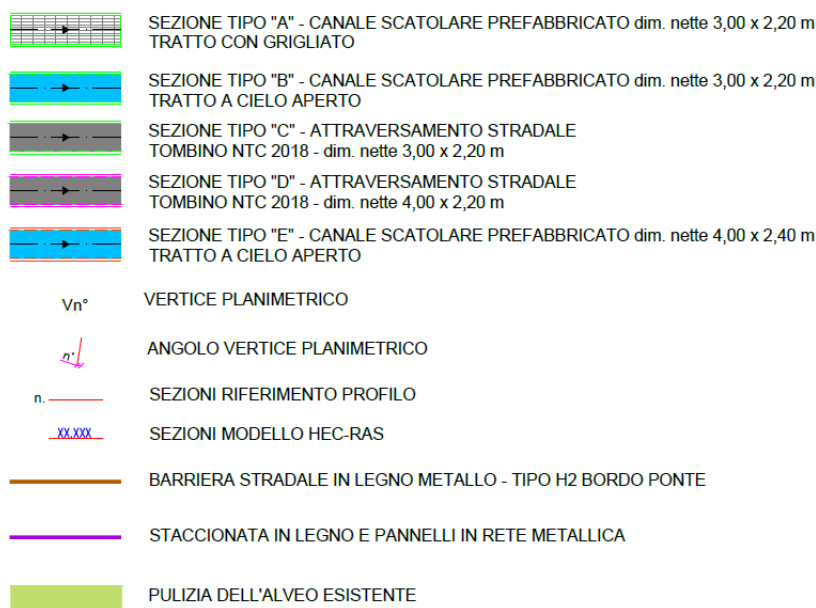


Figura 9 - Planimetria interventi Canale Liccia e relativa legenda

Il bacino urbano residuo che include la porzione edificata a valle della via del Vecchio Marino ha estensione di circa 0.06 km² e pertanto è certamente di dimensioni tali da poter essere gestito con la rete di acque meteoriche cittadina, la cui dorsale principale è costituita dal canale scatolare presente lungo la Via degli Achei, di sezione rettangolare di dimensioni 1.00x0.70 m, in grado di trasferire una portata massima di circa **2.30 m³/s**, con un franco di circa 25 cm; applicando il metodo TCEV al settore in esame, caratteristiche di impermeabilità dell'area scolante quasi totale, (coefficiente CN 95) si ottiene che per il tempo di ritorno di 200 anni la portata massima è di circa **1.33 m³/s**, quindi ampiamente compatibile con le infrastrutture presenti, come illustrato ai paragrafi seguenti e ammesso che i dispositivi di drenaggio superficiale (caditoie) siano sufficienti a raccogliere e smaltire le portate teoriche.



Figura 10 - Bacino urbano residuo a valle della via del Vecchio Marino

2 VALUTAZIONE DELLE ALTERNATIVE PROGETTUALI

La scelta degli interventi proposti, in particolare l'opportunità di intercettare la maggior parte dei contributi del bacino idrografico del Canale Licia in corrispondenza della frontiera della via del Vecchio Marino, è scaturita dalla valutazione, per quanto sommaria, di **due alternative** progettuali, descritte ai paragrafi seguenti:

- a) **riqualificare ed ampliare le sezioni artificiali** presenti lungo l'attuale direttrice tra via Capo d'Orso e il Porto, in modo da renderle idonee al trasferimento di portate con tempo di ritorno di 200 anni con il rispetto del franco idraulico di legge, valutando anche l'eventualità di **delocalizzare gli edifici ricadenti**
- b) **realizzare volumi di laminazione** a monte del centro abitato unitamente all'inevitabile riqualificazione e adeguamento dei canali artificiali esistenti di cui al punto precedente;

La cosiddetta "alternativa zero", ovvero non realizzare l'opera, non è percorribile in quanto gli inconvenienti e i pericoli derivanti dai frequenti allagamenti e dal funzionamento in pressione delle canalizzazioni esistenti, rendono improcrastinabile l'attuazione di opere che incidano significativamente nella gestione dei deflussi superficiali provenienti dai bacini idrografici a monte del centro abitato e che investono una porzione ormai consolidata dal punto di vista urbanistico ed edilizio.

2.1 Alternativa a) : riqualificazione ed ampliamento canali artificiali

Nell'ipotesi in esame, sarebbe necessario creare gli spazi per la realizzazione di nuovi canali a cielo aperto o al più con copertura carrabile costituita da griglie estese; tenendo conto che le portate in gioco sono dell'ordine di $6.50 \text{ m}^3/\text{s}$ sino a via del Vecchio Marino cui si aggiungerebbero circa $2.30 \text{ m}^3/\text{s}$ del bacino residuo, si avrebbero valori massimi di quasi $9.00 \text{ m}^3/\text{s}$ nella parte terminale, con altezze di canale almeno pari a 3.00 m e larghezze nette di 4.50 m . Tale eventualità incontrerebbe almeno due problematiche di difficile soluzione:

- **la necessità di delocalizzare edifici residenziali o destinati a strutture ricettive**, con indubbe conseguenze e impatti negativi dal punto di vista sociale ed economico; il tessuto urbano edificato è infatti ormai consolidato da decine di anni e sembra assai improbabile immaginare di incontrare il favore o la benchè minima disponibilità dei proprietari ad accettare una così radicale modifica delle condizioni di fatto, anche e soprattutto in relazione alla stagione turistica, che per Palau rappresenta il principale veicolo di crescita e sussistenza economica. Tale eventualità è stata comunque ritenuta impraticabile innanzitutto dallo stesso Comune di Palau.
- **le condizioni di scarico delle portate di piena raccolte nel bacino portuale**, il cui battente marino oscillerebbe attorno alla quota ± 0.50 rispetto al valore zero sul livello medio del mare, con la conseguenza che in caso di riempimento anche parziale della sezione del canale, si avrebbe un efflusso sotto battente con inevitabile rigurgito verso monte e ovvie complicazioni in caso di moto ondoso da maestrale. In sostanza lo scarico a mare è efficace solo per portate minime e ordinarie mantenendo il fondo canale al di sopra del livello medio del mare, mentre diventerebbe impossibile in caso di posa sotto il livello del mare che farebbe riempire il canale di acqua marina rendendolo inutile.

Alla luce di tali valutazioni, per quanto di massima, si è ritenuto di escludere di gravare la parte edificata delle portate provenienti dai bacini a monte, limitando il deflusso a quello ordinario del bacino residuo a valle della Via del Vecchio Marino, compatibile con il canale principale esistente in via degli Achei e creando quindi i presupposti per migliorare con altri interventi il drenaggio e la canalizzazione in tale settore.

2.2 Alternativa b) : realizzazione di un volume di laminazione a monte dell'edificato e riqualificazione canali di valle

Nell'ipotesi in esame, si è valutata la possibilità di abbinare la riqualificazione ed ampliamento dei canali di valle alla creazione di un volume di laminazione in grado di intercettare le portate delle aste afferenti al settore del Canale Liccia Est e ridurre i picchi a carico degli stessi. Tale ipotesi è stata scartata a seguito delle seguenti problematiche:

- Il versante sede delle tre aste torrentizie principali è caratterizzato da pendenze significative, superiori al 40%, che renderebbero necessari ingenti lavori di scavo e realizzazione di arginature necessarie per la creazione del volume di accumulo utile alla laminazione; ciò comporterebbe fenomeni di instabilità di versante e inevitabili azioni di mitigazione e consolidamento con ulteriori costi e con l'allungamento dei tempi di attuazione. Dalla figura seguente si può osservare come il settore maggiormente idoneo ad ospitare un'area di laminazione con morfologia pianeggiante è collocato al di fuori delle linee di deflusso e quindi risulterebbero necessarie costose opere di avvicinamento e deviazione verso Est dei corpi idrici presenti.



- Inoltre, il versante a monte dell'edificato presenta una fitta e rigogliosa copertura vegetale, costituita da boschi ed essenze tipiche della macchia mediterranea che concorrono a rendere il paesaggio tra i più caratteristici e di pregio della costa nord-orientale e che il Piano Paesaggistico regionale vigente include tra le aree Naturali e Sub-Naturali, in cui sono vietate azioni di modificazione dei suoli.



Anche nella presente ipotesi permane la problematica relativa allo scarico nel bacino portuale, condizionato dal livello del mare e dall'esigenza di sezioni di canale comunque superiori ad 1.00 m di altezza, che quindi sarebbero soggette all'intrusione marina e alla difficoltà a delocalizzare anche pochi edifici dal settore di edificato sottostante la via del Vecchio Marino per fare spazio a canali di dimensioni adeguate.

3 BENEFICI DERIVANTI DALL'ATTUAZIONE DELLA PROPOSTA PROGETTUALE

Gli interventi produrranno una sensibile riduzione della pericolosità e del rischio idraulico a carico degli elementi più vulnerabili (classificabili ai sensi del PAI e del PGRA³ come soggetti a Danno potenziale elevato e molto elevato D3 e D4) come l'edificato urbano e la viabilità principale. I livelli di pericolosità resteranno confinati all'interno delle nuove sezioni incise per i tempi di ritorno di 50, 100 e 200 anni. Nella parte residua a valle della via del Vecchio Marino lungo il Canale Licia, si avranno allagamenti prodotti dalle portate con Tr 500 anni mentre non si avranno nuove pericolosità dal momento che il canale esistente di via degli Achei presenta sezioni e pendenze adeguate a smaltire le portate ordinarie e di piena duecentennale.

Il lavoro pertanto è stato impostato a partire proprio dai calcoli idrologici e idraulici, sviluppati secondo le Linee guida del PAI, che hanno permesso di valutare le portate di piena per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni e di effettuare le simulazioni in moto permanente utili al corretto dimensionamento delle opere.

Si evidenzia come le scelte siano state condivise con il Comune di Palau anche a seguito di una precedente versione del progetto preliminare del solo Canale Baragge (anno 2017), definendo unitariamente il quadro idrologico per i bacini idrografici che si affacciano sul Porto lungo il

³ Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni approvato dalla Regione Sardegna nell'anno 2022.

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

settore Licia e le scelte dimensionali inerenti le opere di mitigazione, includendo la confluenza tra i due canali sino allo sbocco a mare, comune per i due corpi idrici.

La presente revisione tiene conto unitariamente dei due corsi d'acqua e considera gli approfondimenti svolti in campo e gli aggiornamenti della parte finanziaria al Prezzario regionale dell'anno 2023; si ritiene che possa restare immutata nelle successive fasi progettuali per quanto attiene alle scelte e agli aspetti idrologici e idraulici.

Al termine dei lavori e a seguito di collaudo delle opere, si procederà alla redazione della Variante ai sensi dell'art. 37 delle N.A. del PAI a seguito di interventi di mitigazione. Nel sito interessato dall'esecuzione degli interventi di mitigazione saranno individuati gli soggetti a Danno Potenziale e sarà definita la Carta del rischio Idraulico.

Si rimanda agli altri allegati progettuali per gli aspetti di dettaglio inerenti le caratteristiche geometriche e costitutive delle opere in progetto; nella presente relazione sono illustrati i calcoli idrologici e le modalità con cui è stata sviluppata l'analisi idraulica, necessaria per il dimensionamento delle opere progettate sin dalla presente fase, che tiene conto delle Nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 e delle Norme di Attuazione del PAI, con particolare riferimento alle Linee Guida del PAI e alle recenti Direttive dell'Autorità di Bacino sulle verifiche di sicurezza degli attraversamenti stradali esistenti e dei canali tombati esistenti.

Tutti i nuovi manufatti saranno in grado di evacuare le portate di piena con tempo di ritorno di 200 anni con franco idraulico conforme all'art. 21 delle N.A. del PAI e alle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

4 CENNI GEOMORFOLOGICI

La zona in studio è situata nella Sardegna nord-orientale, ed è interamente inclusa nel territorio comunale di Palau. È ubicata nella Tavoleta n. 441 della cartografia I.G.M. in scala 1:25.000 e ricade nei Fogli 441_150 e 441_160 della recente Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000. Il compluvio denominato "Canale Licia" e il compluvio adiacente denominato "canale Ovest", convergono verso lo sbocco a mare attraversando una parte dell'edificato di Palau Est e la banchina del Porto Turistico. Entrambi appartengono al reticolo idrografico minore incluso nel sub-bacino n. 4 "Licia".

5 STUDIO IDROLOGICO PER IL CALCOLO DELLE PORTATE DI PROGETTO

5.1 Premessa

La criticità fondamentale è rappresentata dalla necessità di regolare il deflusso idraulico nella porzione dell'edificato del centro abitato di Palau situata ad Est, tra la via Capo d'Orso e il porto, lungo la quale convergono alcuni compluvi naturali con sbocco al porto tra cui i principali sono il Canale Licia (oggetto del presente progetto) e il Canale Baragge; tali compluvi, nei tratti a monte della Via Capo d'Orso scorrono con le caratteristiche di alvei naturali a cielo aperto, mentre a valle della strada sono sostituiti da tratti artificiali costituiti da tubolari o scatolari realizzati soltanto in corrispondenza delle interferenze principali con la viabilità ed in adiacenza agli edifici; nella progressiva artificializzazione non è stata considerata adeguatamente la reale morfologia del terreno che determina le linee di deflusso superficiale in caso di piena e non sono stati sviluppati calcoli idraulici per la scelta delle sezioni.

La figura 2 seguente illustra il reticolo naturale teorico, ovvero dedotto dalle elaborazioni numeriche su modello digitale del terreno (DTM) basate sulle quote del piano di campagna senza considerare gli edifici; emerge chiaramente, per quanto vi siano ovvie approssimazioni, che in corrispondenza delle linee di compluvio siano state realizzate opere artificiali di vario genere e che in tal modo siano stati creati i presupposti per allagamenti incontrollati in caso di eventi meteorici anche non particolarmente intensi.

La figura 3 successiva illustra invece i bacini idrografici dei compluvi individuati, presi in considerazione per le valutazioni idrologiche e idrauliche alla base delle scelte degli interventi da realizzare.

Nella figura 4, invece, sono indicati i punti critici dove si registrano allagamenti anche durante eventi non particolarmente intensi:

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

- 1) area cimitero comunale;
- 2) attraversamento via Capo d'Orso
- 3) strada privata interna a zona edificata con struttura ricettiva e abitazioni residenziali
- 4) area edificata via dei Lotofagi-via Clitemnestra
- 5) area turistico-ricettiva Palau Green-Village
- 6) edificio delle Scuole Medie di Palau
- 7) edifici residenziali area tra via Del Vecchio Marino e via Capo d'Orso
- 8) Viabilità interna settore residenziale



Figura 11 - reticolo idrografico nell'area di Palau EST

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

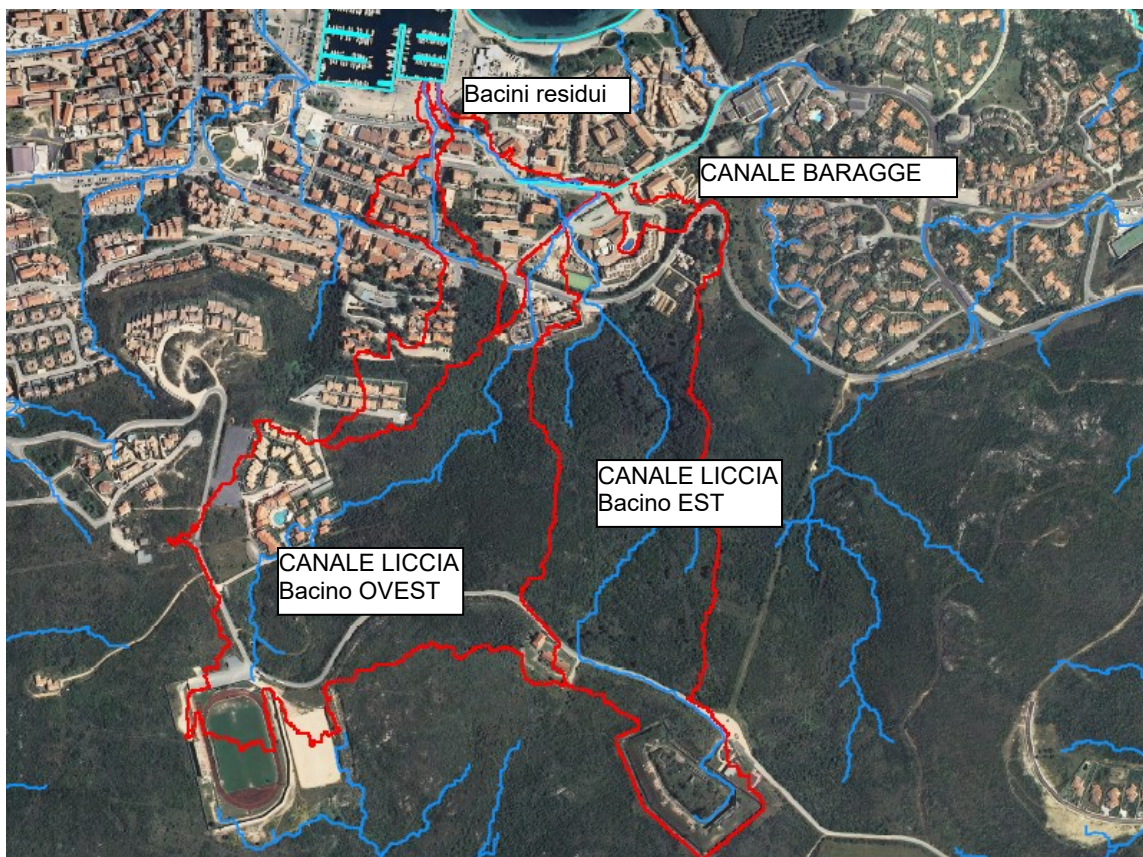


Figura 12 - reticolo e bacini idrografici nell'area in esame - Palau EST



Figura 13 - individuazione punti critici soggetti ad allagamenti lungo il Canale Licia e Canale Baragge

Il lavoro si propone di **intercettare il deflusso naturale a monte della via Capo d'Orso** mediante la risagomatura del canale naturale esistente a monte del cimitero, lungo il perimetro lato Sud, l'adeguamento dell'attraversamento stradale e la realizzazione di un canale artificiale in calcestruzzo che si sviluppa a valle dello stesso lungo la strada privata e successivamente lungo la via del Vecchio Marino, prima di convergere con il Canale Baragge e raggiungere lo sbocco a mare mediante unica linea di deflusso a cielo aperto.

In tal modo si eviterà che in caso di eventi anche non eccezionali, la maggior parte del deflusso dei bacini idrografici denominati "Liccias EST" e "Ovest", incluso il piccolo sub-bacino "Cimitero" venga incanalato e deviato verso il settore est, lungo la viabilità, preservando la porzione di edificato attualmente esposta al pericolo di allagamento. Il bacino residuo che include la porzione edificata a valle della via Capo d'Orso è di dimensioni tali da poter essere gestito con la rete di acque meteoriche cittadina.

Lo **studio idrologico** per il calcolo delle portate è stato effettuato per **sei sub-bacini idrografici**, tre dei quali producono le portate raccolte dal nuovo canale in progetto, con sezioni di chiusura situate a monte della via Capo d'Orso in posizioni utili per considerare le portate di piena di progetto; tre sub-bacini, invece, costituiscono il Bacino principale del Canale Baragge; la somma dei sei dà origine al contributo cui è soggetto il tratto terminale di confluenza sino allo sbocco a mare.

In sintesi sono descritti di seguito i sei sub-bacini oggetto di studio idrologico:

- **BACINO OVEST:** sub-bacino riferito all'asta affluente da ovest e convergente nel Canale Liccia - ramo Est tramite il canale di guardia situato a monte del cimitero e della via Capo d'Orso;
- **BACINO EST - CANALE LICCIA:** sub-bacino riferito al Canale Liccia - ramo Est;
- **BACINO RESIDUO - CENTRO ABITATO:** sub-bacino riferito alla porzione residua dell'edificato a valle del Canale Liccia in progetto, di cui è stato valutato a parte il dettaglio sottostante la via del Vecchio Marino;
- **BACINI BARAGGE:** sub-bacini riferiti al canale Baragge situati a est dei due compluvi dell'ambito Liccia con sbocco nella spiaggia dell'Isolotto; il sub 1 è situato a monte dell'edificato, mentre gli altri due includono i settori a valle della via Capo d'Orso. (considerati per unitarietà del fenomeno)

Per i sottobacini studiati, è stato elaborato lo studio idrologico in conformità alle prescrizioni delle Linee Guida del PA e con l'utilizzo di elaborazioni numeriche in ambiente GIS per la descrizione

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

ed interazione delle diverse componenti territoriali coinvolte nel processo di trasformazione afflussi-deflussi.

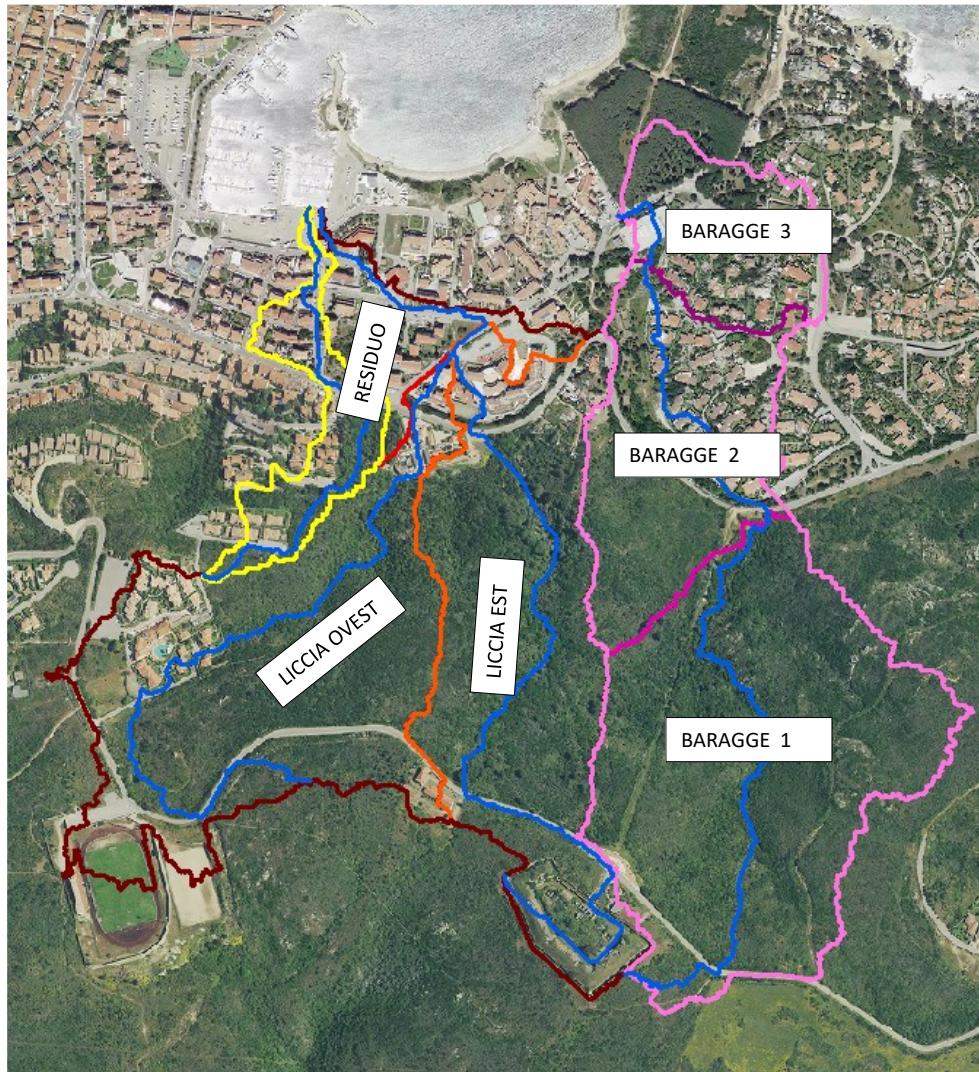


Figura 14 - Individuazione Sub-bacini oggetto di studio



Figura 15 - Individuazione del Bacino Ovest su ortofoto satellitare

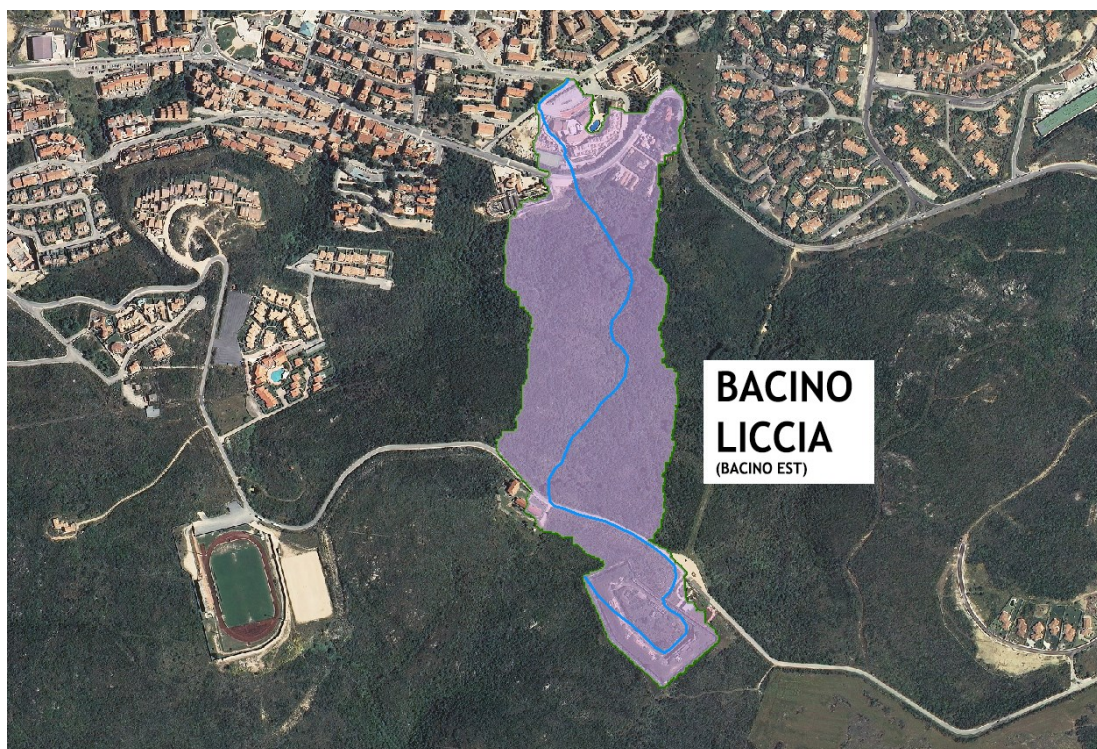


Figura 16 - Individuazione del Bacino del Canale Liccia (Est) su ortofoto satellitare



Figura 17 - Individuazione del Bacino del Canale Baragge su ortofoto satellitare



Figura 18 - Individuazione del Bacino residuo nella porzione di edificato sottostante la via del Vecchio Marino e afferente il canale di Via degli Achei

Gli *step* metodologici per la definizione delle portate utilizzate sono i seguenti:

- Predisposizione della cartografia numerica e redazione del Modello Digitale del terreno (DTM);

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

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

5.2 Analisi pluviometrica

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

Tale curva ha come espressione matematica:

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

Per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica è stato adottato il modello probabilistico TCEV, che ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche per la Sardegna⁴.

La procedura richiede di individuare:

- la sottozona omogenea, che per tutti i bacini in esame risulta essere la SZO 2;
- la pioggia indice giornaliera, che per l'area in esame risulta essere $\mu_g = 65$ mm;
- i tempi di ritorno sono maggiori di un ora ($\tau < 1$)

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

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

dove i coefficienti a_1 , a_2 , n_1 e n_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti T :

$$n_1 = -0.493 + 0.476 \log_{10} \mu_g$$

$$a_1 = \mu_g / (0.886 \cdot 24^{n_1})$$

$$n_2 = 0.18449 + 0.23032 \log_{10} T - 0.03333 \cdot 10^{-3} \log_{10} T$$

$$a_2 = 0.46378 + 1.0386 \log_{10} T$$

⁴ Deidda R., Piga E., Sechi G., *Confronto tra alcuni modelli regionali per la valutazione della pioggia indice*. D.I.T., Quaderni di ricerca, n. 13, Cagliari, 1997.

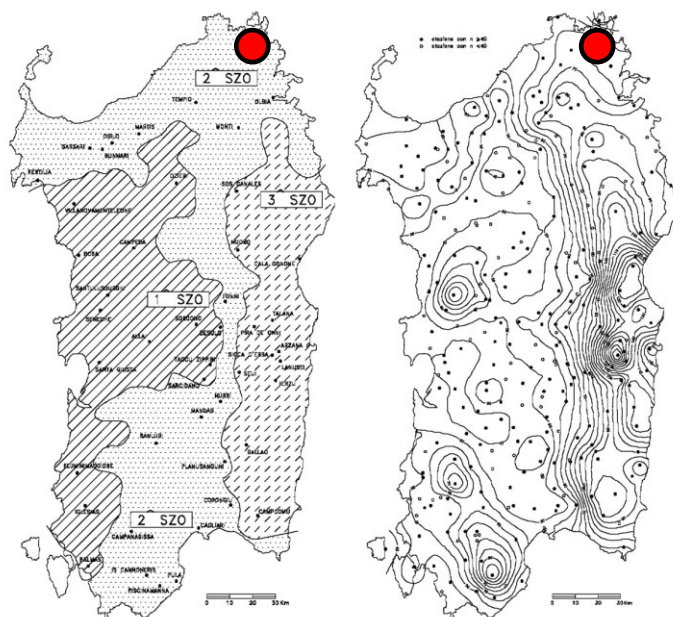


Figura 19 - carta delle sottozone (a sinistra) e delle isoiete (a destra); in rosso la zona di interesse

5.3 Calcolo delle portate di piena

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

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

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

In accordo con le suddette linee guida si è utilizzato un coefficiente di ragguaglio della precipitazione all’area del bacino secondo le formule:

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

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

Il metodo prevede il calcolo dell’intensità di precipitazione i per una durata pari al tempo di corrivazione t_c . Il tempo di corrivazione è stato valutato per i tre bacini attraverso un confronto critico tra i risultati delle formulazioni riportate nella tabella 1 seguente, scegliendo i valori maggiormente cautelativi, ovvero quelli che forniscono i tempi più brevi.

Comune di PALAU (OT)
 RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
 Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tabella 1 - Formule per il calcolo del tempo di corrivazione

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

Per la valutazione del parametro di assorbimento CN (curve number) riferito a ciascun bacino idrografico studiato e indispensabile per il calcolo della pioggia netta secondo la metodologia SCS, sono stati determinati i singoli valori di CN facendo riferimento alla metodologia SCS-CN in funzione della tipologia pedologica e di uso del suolo del bacino in esame. Considerando la presenza nel terreno di una componente argillosa, operando a favore di sicurezza, si è scelta la classe di uso del suolo D con il più alto potenziale di scorrimento e una bassissima capacità di infiltrazione.

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

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

I valori di CN(II) per la categoria di suolo D adottati per ogni classe presente all'interno della carta dell'uso del suolo sono elencati nella seguente tabella2.

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

TIPOLOGIA DI USO DEL SUOLO	manning
Aree a ricolonizzazione artificiale	89
Aree agroforestali	83
Aree prevalentemente occupate da coltura agrarie con presenza di spazi naturali importanti	89
Boschi di latifoglie	83
Campeggi, aree sportive e parchi di divertimento	84
Colture temporanee associate a colture permanenti	93
Colture temporanee associate ad altre colture permanenti (pascoli e seminativi arborati con copertura d	89
Gariga	89
Insedimenti industriali/artigianali e commerciali, con spazi annessi	98
Macchia mediterranea	83
Prati artificiali	78
Seminativi in aree non irrigue	89
Seminativi semplici e colture orticole a pieno campo	91
Sistemi colturali e particellari complessi	89
Sugherete (popolamenti puri di querce da sughera con copertura >25% con evidenti cure colturali)	83
Tessuto discontinuo (extraurbano)	85
Tessuto residenziale compatto e denso	92
Tessuto residenziale rado	85

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

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

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

Il valore ottenuto è stato incrementato relazionandolo allo stato di imbibizione del terreno prima dell'evento di piena. Si è considerata infatti la presenza di una pioggia superiore a 50 mm nei 5 giorni antecedenti l'evento di piena (classe A.M.C. III – pioggia totale nei cinque giorni

precedenti l'evento). Il nuovo valore di CN, che tiene conto di tale considerazioni, è denominato CN(III). La formula che lega il CN(II) al CN(III) è la seguente:

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

Sono stati così ottenuti i valori del CN effettivamente utilizzati per il calcolo dei tempi di corrivazione per i bacini analizzati, ovvero quelli che prevedono il terreno in condizioni di massima saturazione.

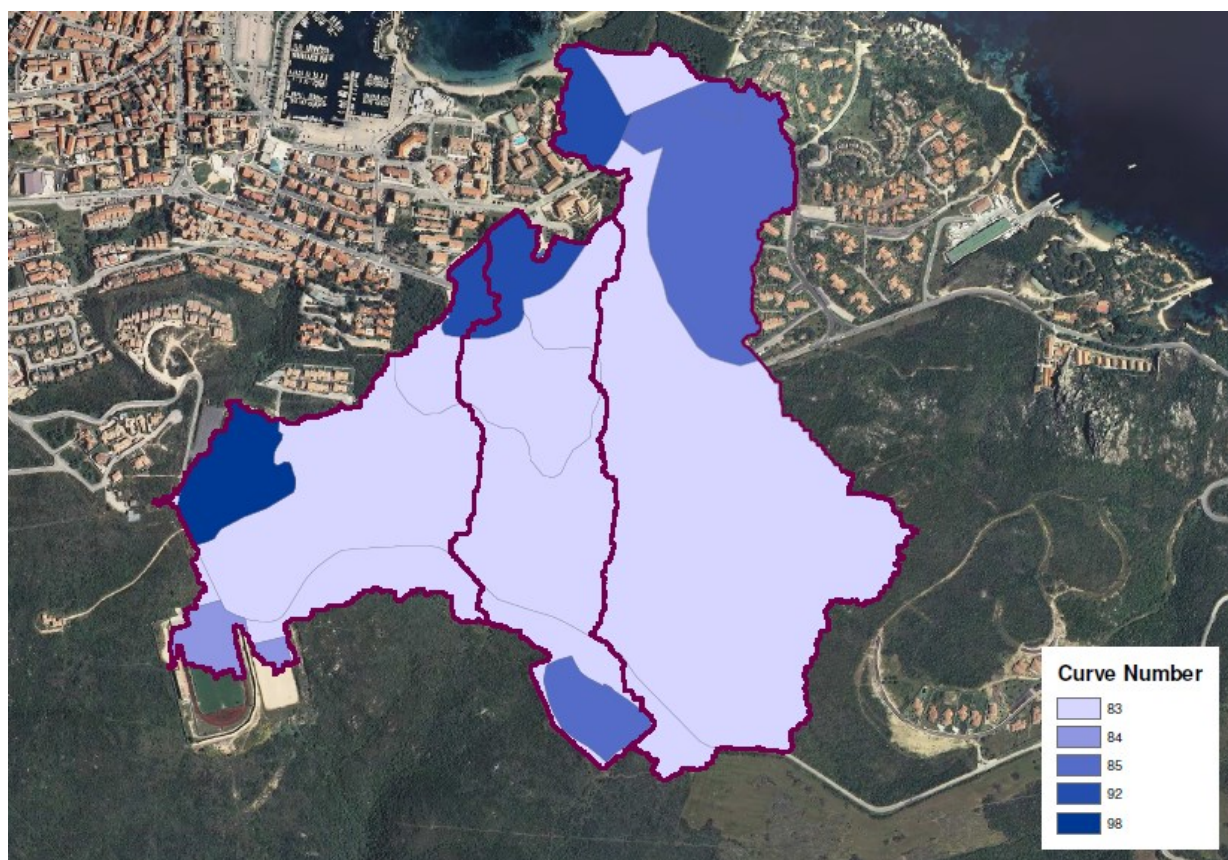


Figura 20 - carta del CN nell'area di studio

Le altre grandezze geometriche necessarie a definire il tempo di corrivazione per le quattro formulazioni utilizzate, sono state ricavate attraverso l'elaborazione cartografica con GIS open source del modello digitale del terreno (*D.E.M. Digital Elevation Model*) con celle di passo 10 m realizzato a partire dalle curve di livello e i punti quotati della Carta Tecnica Regionale e del rilievo in campo con strumentazione GPS.

In particolare sono state ricavate le seguenti grandezze geometriche:

- superficie del bacino: espressa in Km² valutata come area del poligono chiuso che definisce ciascun bacino idrografico;

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

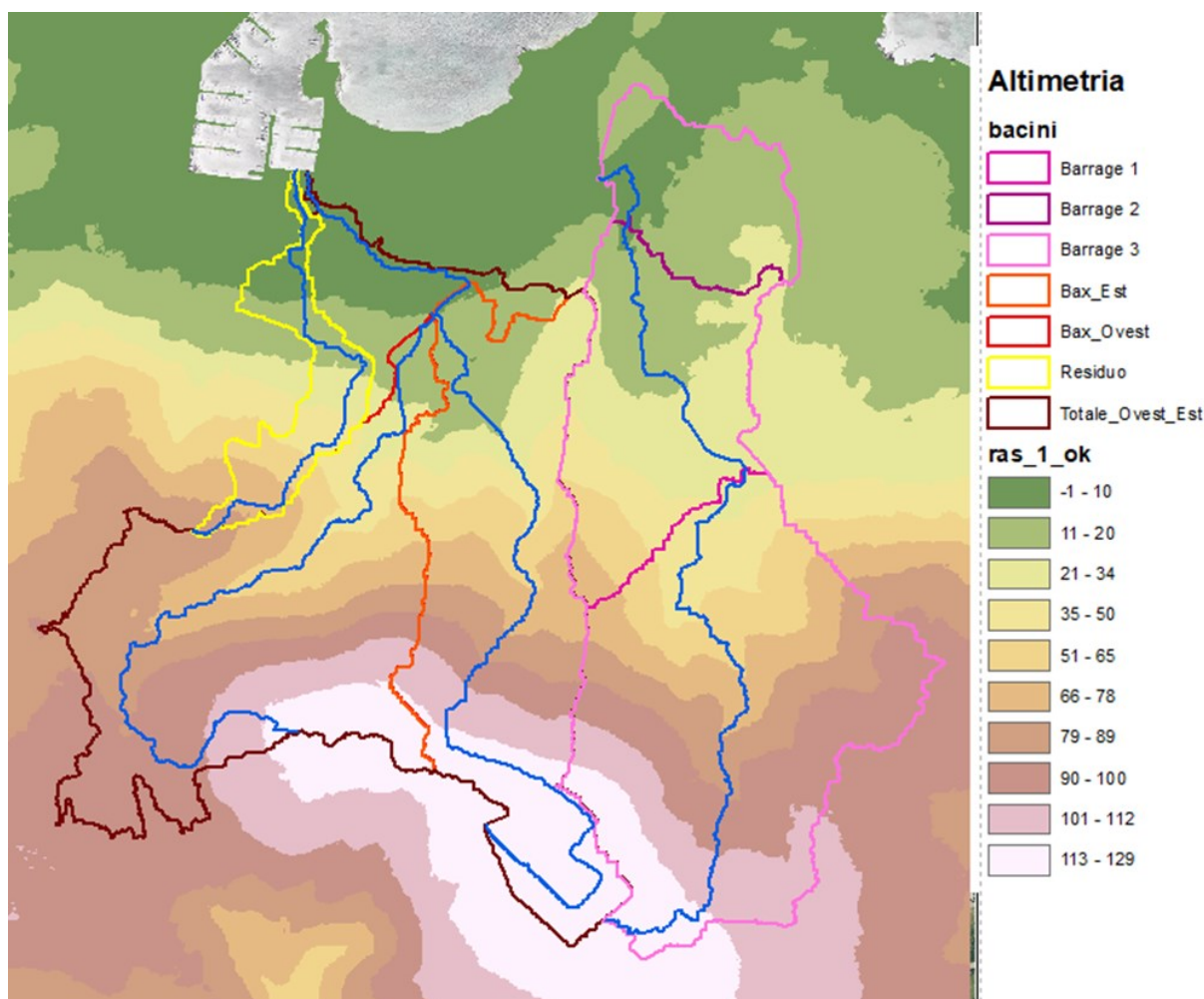


Figura 21 - carta dell'altimetria nell'area di studio

Da una successiva elaborazione del D.E.M. si è ottenuta la carta delle pendenze. Con l'ausilio di tale carta digitale è stato possibile ricavare le seguenti grandezze geometriche:

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

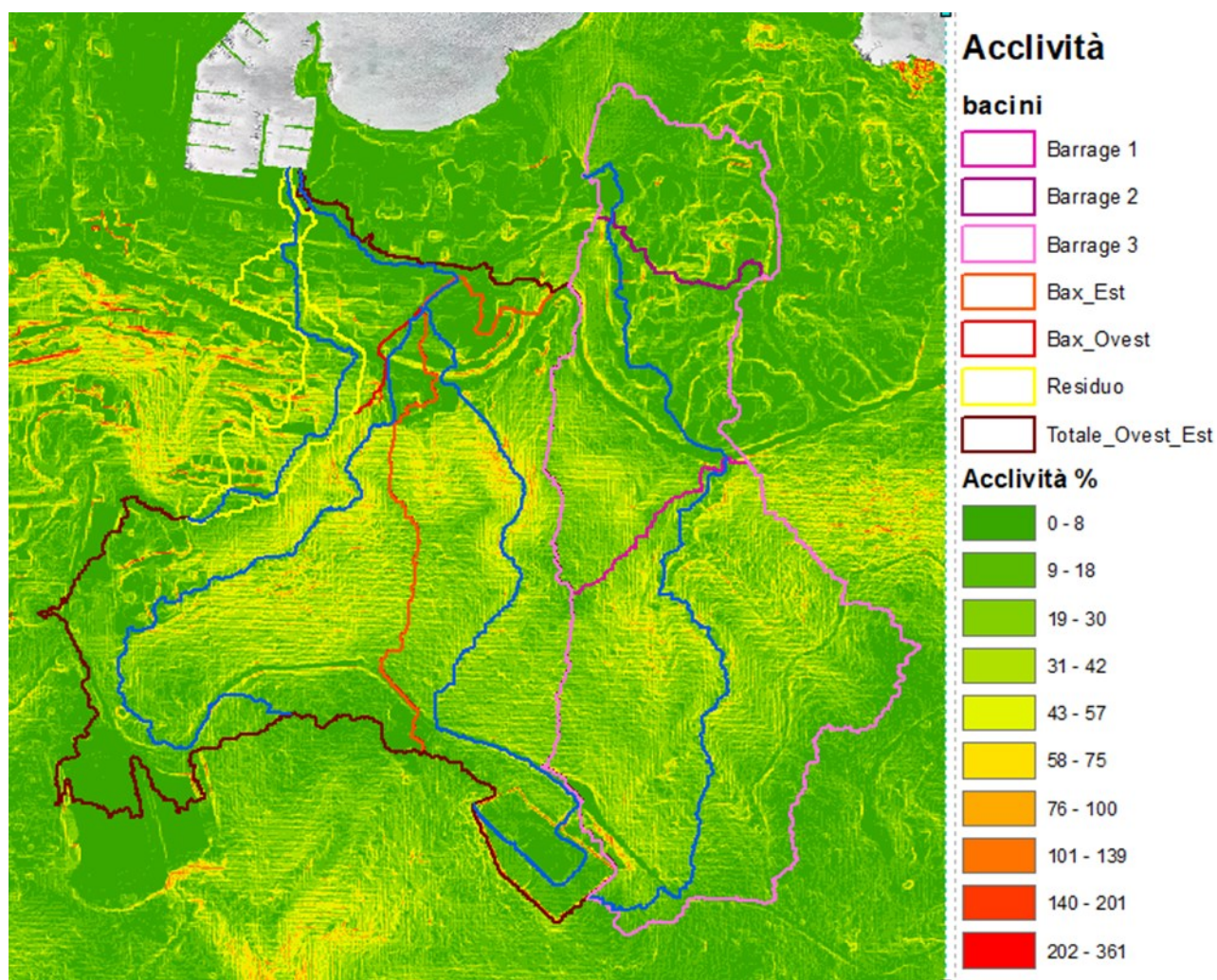


Figura 22 - carta dell'acclività nell'area di studio

Il valore del coefficiente di assorbimento o di deflusso Φ è stato calcolato con il metodo del SCS-Curve Number⁵ che permette di ricavare la pioggia netta in base all'espressione:

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

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

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

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

⁵ U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE – SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology, pp. 10.1÷24, Washington, D.C., U.S.A., 1972.

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

$$I_a = 0.2 S.$$

Nelle tabelle seguenti sono illustrati i valori delle grandezze utilizzate per determinare le portate di picco utilizzate nelle simulazioni.

Tabella 3 - calcolo delle portate di piena per il bacino Ovest

Ovest	TR (anni)		50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	1425	1425	1425	1425
Curve Number	CN	-	93,27	93,27	93,27	93,27
Pend.za media bac.	i_{bac}	-	0,22807	0,2281	0,2281	0,2281
Area bacino	A	kmq	0,19	0,19	0,19	0,19
Altitudine massima	Hmax	m slm	119,19	119,19	119,19	119,19
Altitudine media	Hmed	m slm	80,92	80,92	80,92	80,92
Altitudine minima	Hmin	m slm	9,45	9,45	9,45	9,45
Pend.za media asta	iret	m/m	0,13121	0,1312	0,1312	0,1312
	SCS	(ore)	0,232	0,232	0,232	0,232
	GIANDOTTI	(ore)	0,574	0,574	0,574	0,574
	PASINI	(ore)	0,193	0,193	0,193	0,193
	VAPI	(ore)	0,925	0,925	0,925	0,925
	KIRPICH	(ore)	0,154	0,154	0,154	0,154
	VIPARELLI	(ore)	0,264	0,264	0,264	0,264
	tc adott.		KIRPICH			
		(ore)	0,154	0,154	0,154	0,154
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	65	65	65	65
	Sottozona		2	2	2	2
Altezza di pioggia	n1	-	0,36994676	0,36994676	0,3699468	0,3699468
	a1	-	22,6399238	22,6399238	22,639924	22,639924
	n2 (ADOTTATO)	-	0,12392456	0,157628	0,184906	0,2111044
	a2 (ADOTTATO)	-	2,27959585	2,60522	2,9308441	3,3612959
	n (ADOTTATO)	-	0,49387131	0,52757476	0,5548528	0,5810511
	a (ADOTTATO)	-	51,6098764	58,9819823	66,354088	76,099482
	h (ADOTTATO)	(mm)	20,485	21,981	23,498	25,660
	Coef.f.Ragg (ADOTTATO)	-	0,957	0,957	0,957	0,957
	h r (ADOTTATO)	(mm)	19,603	21,034	22,486	24,555
	S	(mm)	18,328	18,328	18,328	18,328
	la	(mm)	3,666	3,666	3,666	3,666
	Phetta (ADOTTATO)	(mm)	7,413	8,451	9,535	11,127
	Coef.defl. (SCS)		0,431	0,457	0,482	0,511
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0,575	0,606	0,633	0,663
	Coef.defl. (PASINI)		0,400	0,425	0,448	0,477
	Coef.defl. (VAPI)		0,642	0,674	0,700	0,729
	Coef.defl. (KIRPICH)		0,362	0,384	0,406	0,434
	Coef.defl. (VIPARELLI)		0,452	0,480	0,505	0,535
	Coef.defl. (ADOTTATO)	-	0,362	0,384	0,406	0,434
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	2,460	2,841	3,233	3,790
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	2,073	2,453	2,839	3,363
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	2,506	2,878	3,263	3,817
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	1,818	2,176	2,539	3,025
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	2,541	2,897	3,268	3,814
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	2,419	2,804	3,199	3,756
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	2,541	2,897	3,268	3,814

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tabella 4 - calcolo delle portate di piena per il bacino del Canale Liccia (bacino Est)

Est	TR (anni)		50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	1561	1561	1561	1561
Curve Number	CN	-	92,60	92,60	92,60	92,60
Pend.za media bac.	i _{bac}	-	0,23712	0,2371	0,2371	0,2371
Area bacino	A	kmq	0,17	0,17	0,17	0,17
Altitudine massima	Hmax	m s.l.m.	128,71	128,71	128,71	128,71
Altitudine media	Hmed	m s.l.m.	72,68	72,68	72,68	72,68
Altitudine minima	Hmin	m s.l.m.	8,69	8,69	8,69	8,69
Pend.za media asta	iret	m/m	0,15191	0,1519	0,1519	0,1519
	SCS	(ore)	0,252	0,252	0,252	0,252
	GIANDOTTI	(ore)	0,624	0,624	0,624	0,624
	PASINI	(ore)	0,178	0,178	0,178	0,178
	VAPI	(ore)	0,838	0,838	0,838	0,838
	KIRPICH	(ore)	0,163	0,163	0,163	0,163
	VIPARELLI	(ore)	0,289	0,289	0,289	0,289
	tc adott.	KIRPICH				
		(ore)	0,163	0,163	0,163	0,163
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	65	65	65	65
	Sottozona		2	2	2	2
Altezza di pioggia	n1	-	0,36994676	0,36994676	0,3699468	0,3699468
	a1	-	22,6399238	22,6399238	22,639924	22,639924
	n2 (ADOTTATO)	-	0,12392456	0,157628	0,184906	0,2111044
	a2 (ADOTTATO)	-	2,27959585	2,60522	2,9308441	3,3612959
	n (ADOTTATO)	-	0,49387131	0,52757476	0,5548528	0,5810511
	a (ADOTTATO)	-	51,6098764	58,9819823	66,354088	76,099482
	h (ADOTTATO)	(mm)	21,052	22,631	24,229	26,496
	Coef.f.Ragg (ADOTTATO)	-	0,959	0,959	0,959	0,959
	h r (ADOTTATO)	(mm)	20,198	21,713	23,246	25,422
	S	(mm)	20,298	20,298	20,298	20,298
	la	(mm)	4,060	4,060	4,060	4,060
	Phetta (ADOTTATO)	(mm)	7,148	8,211	9,323	10,954
	Coef.defl. (SCS)		0,414	0,441	0,466	0,498
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0,559	0,592	0,620	0,652
	Coef.defl. (PASINI)		0,355	0,379	0,402	0,431
	Coef.defl. (VAPI)		0,602	0,636	0,664	0,695
	Coef.defl. (KIRPICH)		0,340	0,363	0,385	0,413
	Coef.defl. (VIPARELLI)		0,436	0,465	0,491	0,523
	Coef.defl. (ADOTTATO)	-	0,340	0,363	0,385	0,413
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	2,024	2,356	2,699	3,184
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	1,730	2,061	2,398	2,856
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	2,071	2,386	2,714	3,192
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	1,605	1,925	2,251	2,689
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	2,074	2,383	2,706	3,179
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	1,993	2,329	2,675	3,160
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	2,074	2,383	2,706	3,179

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tabella 5 - calcolo delle portate di piena per il bacino Residuo (edificato + parte a monte)

Residuo	TR (anni)		50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	883	883	883	883
Curve Number	CN	-	95,57	95,57	95,57	95,57
Pend.za media bac.	i _{bac}	-	0,21423	0,2142	0,2142	0,2142
Area bacino	A	kmq	0,04	0,04	0,04	0,04
Altitudine massima	Hmax	m s.l.m.	83,75	83,75	83,75	83,75
Altitudine media	Hmed	m s.l.m.	35,42	35,42	35,42	35,42
Altitudine minima	Hmin	m s.l.m.	0,89	0,89	0,89	0,89
Pend.za media asta	iret	m/m	0,11613	0,1161	0,1161	0,1161
	SCS	(ore)	0,146	0,146	0,146	0,146
	GIANDOTTI	(ore)	0,452	0,452	0,452	0,452
	PASINI	(ore)	0,104	0,104	0,104	0,104
	VAPI	(ore)	0,526	0,526	0,526	0,526
	KIRPICH	(ore)	0,109	0,109	0,109	0,109
	VIPARELLI	(ore)	0,164	0,164	0,164	0,164
	tc adott.	KIRPICH				
		(ore)	0,109	0,109	0,109	0,109
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	65	65	65	65
	Sottozona		2	2	2	2
Altezza di pioggia	n1	-	0,36994676	0,36994676	0,3699468	0,3699468
	a1	-	22,6399238	22,6399238	22,639924	22,639924
	n2 (ADOTTATO)	-	0,12392456	0,157628	0,184906	0,2111044
	a2 (ADOTTATO)	-	2,27959585	2,60522	2,9308441	3,3612959
	n (ADOTTATO)	-	0,49387131	0,52757476	0,5548528	0,5810511
	a (ADOTTATO)	-	51,6098764	58,9819823	66,354088	76,099482
	h (ADOTTATO)	(mm)	17,281	18,329	19,410	21,006
	Coef.f.Ragg (ADOTTATO)	-	0,972	0,972	0,972	0,972
	h r (ADOTTATO)	(mm)	16,800	17,819	18,870	20,422
	S	(mm)	11,774	11,774	11,774	11,774
	la	(mm)	2,355	2,355	2,355	2,355
	Phetta (ADOTTATO)	(mm)	7,959	8,780	9,642	10,939
	Coef.defl. (SCS)		0,507	0,528	0,547	0,572
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0,669	0,694	0,716	0,740
	Coef.defl. (PASINI)		0,453	0,471	0,488	0,512
	Coef.defl. (VAPI)		0,688	0,713	0,734	0,758
	Coef.defl. (KIRPICH)		0,461	0,479	0,497	0,521
	Coef.defl. (VIPARELLI)		0,525	0,547	0,567	0,592
	Coef.defl. (ADOTTATO)	-	0,461	0,479	0,497	0,521
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	0,771	0,860	0,951	1,084
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	0,573	0,662	0,751	0,872
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	0,816	0,899	0,986	1,117
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	0,546	0,633	0,720	0,839
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	0,810	0,894	0,982	1,114
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	0,753	0,843	0,935	1,069
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	0,810	0,894	0,982	1,114

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tabella 6 - calcolo delle portate di piena per il bacino Residuo dell'area edificata sotto via del Vecchio Marino

RESIDUO SOTTO VIA DEL VECCHIO MARINO	TR (anni)		50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	340	340	340	340
Curve Number	CN	-	95,00	95,00	95,00	95,00
Pend.za media bac.	i _{bac}	-	0,1000	0,1000	0,1000	0,1000
Area bacino	A	kmq	0,059	0,059	0,059	0,059
Altitudine massima	Hmax	m slm	10	10	10	10
Altitudine media	Hmed	m slm	5	5	5	5
Altitudine minima	Hmin	m slm	0	0	0	0
Pend.za media asta	iret	m/m	0,0300	0,0300	0,0300	0,0300
	SCS	(ore)	0,102	0,102	0,102	0,102
	GIANDOTTI	(ore)	0,828	0,828	0,828	0,828
	PASINI	(ore)	0,169	0,169	0,169	0,169
	VAPI	(ore)	0,484	0,484	0,484	0,484
	KIRPICH	(ore)	0,140	0,140	0,140	0,140
	VIPARELLI	(ore)	0,094	0,094	0,094	0,094
	tc adott.	VIPARELLI				
		(ore)	0,094	0,094	0,094	0,094
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	65	65	65	65
	Sottozona		2	2	2	2
Altezza di pioggia	n1	-	0,36994676	0,36994676	0,3699468	0,3699468
	a1	-	22,6399238	22,6399238	22,639924	22,639924
	n2 (ADOTTATO)	-	0,12392456	0,157628	0,184906	0,2111044
	a2 (ADOTTATO)	-	2,27959585	2,60522	2,9308441	3,3612959
	n (ADOTTATO)	-	0,49387131	0,52757476	0,5548528	0,5810511
	a (ADOTTATO)	-	51,6098764	58,9819823	66,354088	76,099482
	h (ADOTTATO)	(mm)	16,092	16,984	17,916	19,316
	Coef.f.Ragg (ADOTTATO)	-	0,966	0,966	0,966	0,966
	h r (ADOTTATO)	(mm)	15,549	16,412	17,312	18,665
	S	(mm)	13,368	13,368	13,368	13,368
	la	(mm)	2,674	2,674	2,674	2,674
	Pnetta (ADOTTATO)	(mm)	6,317	6,963	7,651	8,710
	Coef.defl. (SCS)		0,406	0,424	0,442	0,466
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0,710	0,737	0,759	0,783
	Coef.defl. (PASINI)		0,489	0,512	0,533	0,559
	Coef.defl. (VAPI)		0,644	0,671	0,694	0,720
	Coef.defl. (KIRPICH)		0,459	0,480	0,499	0,525
	Coef.defl. (VIPARELLI)		0,393	0,410	0,427	0,451
	Coef.defl. (ADOTTATO)	-	0,393	0,410	0,427	0,451
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	1,089	1,204	1,326	1,511
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	0,661	0,779	0,898	1,057
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	1,016	1,144	1,276	1,467
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	0,787	0,914	1,043	1,217
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	1,048	1,172	1,302	1,491
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	1,096	1,208	1,328	1,511
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	1,096	1,208	1,328	1,511

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tabella 7 - calcolo delle portate di piena per il bacino Baragge 1

Baragge 1	TR (anni)		50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	1116	1116	1116	1116
Curve Number	CN	-	91,96	91,96	91,96	91,96
Pend.za media bac.	i _{bac}	-	0,22662	0,2266	0,2266	0,2266
Area bacino	A	kmq	0,21	0,21	0,21	0,21
Altitudine massima	Hmax	m slm	128,74	128,74	128,74	128,74
Altitudine media	Hmed	m slm	84,08	84,08	84,08	84,08
Altitudine minima	Hmin	m slm	25,25	25,25	25,25	25,25
Pend.za media asta	iret	m/m	0,14051	0,1405	0,1405	0,1405
	SCS	(ore)	0,203	0,203	0,203	0,203
	GIANDOTTI	(ore)	0,572	0,572	0,572	0,572
	PASINI	(ore)	0,178	0,178	0,178	0,178
	VAPI	(ore)	0,938	0,938	0,938	0,938
	KIRPICH	(ore)	0,128	0,128	0,128	0,128
	VIPARELLI	(ore)	0,207	0,207	0,207	0,207
	tc adott.		SCS			
		(ore)	0,203	0,203	0,203	0,203
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	65	65	65	65
	Sottozona		2	2	2	2
Altezza di pioggia	n1	-	0,36994676	0,36994676	0,3699468	0,3699468
	a1	-	22,6399238	22,6399238	22,639924	22,639924
	n2 (ADOTTATO)	-	0,12392456	0,157628	0,184906	0,2111044
	a2 (ADOTTATO)	-	2,27959585	2,60522	2,9308441	3,3612959
	n (ADOTTATO)	-	0,49387131	0,52757476	0,5548528	0,5810511
	a (ADOTTATO)	-	51,6098764	58,9819823	66,354088	76,099482
	h (ADOTTATO)	(mm)	23,478	25,427	27,387	30,124
	Coef.f.Ragg (ADOTTATO)	-	0,960	0,960	0,960	0,960
	h r (ADOTTATO)	(mm)	22,529	24,400	26,281	28,907
	S	(mm)	22,207	22,207	22,207	22,207
	la	(mm)	4,441	4,441	4,441	4,441
	Phetta (ADOTTATO)	(mm)	8,119	9,447	10,829	12,825
	Coef.defl. (SCS)		0,346	0,372	0,395	0,426
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0,517	0,551	0,580	0,613
	Coef.defl. (PASINI)		0,323	0,348	0,370	0,400
	Coef.defl. (VAPI)		0,592	0,627	0,657	0,689
	Coef.defl. (KIRPICH)		0,268	0,289	0,308	0,335
	Coef.defl. (VIPARELLI)		0,349	0,375	0,399	0,429
	Coef.defl. (ADOTTATO)	-	0,346	0,372	0,395	0,426
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	2,334	2,716	3,113	3,687
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	2,067	2,470	2,881	3,443
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	2,334	2,705	3,092	3,659
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	1,841	2,224	2,615	3,140
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	2,288	2,623	2,979	3,516
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	2,333	2,716	3,114	3,689
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	2,334	2,716	3,113	3,687

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tabella 8 - calcolo delle portate di piena per il bacino Baragge 2

Baragge 2	TR (anni)		50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	1637	1637	1637	1637
Curve Number	CN	-	91,49	91,49	91,49	91,49
Pend.za media bac.	i _{bac}	-	0,17152	0,1715	0,1715	0,1715
Area bacino	A	kmq	0,3	0,3	0,3	0,3
Altitudine massima	Hmax	m slm	128,74	128,74	128,74	128,74
Altitudine media	Hmed	m slm	66,74	66,74	66,74	66,74
Altitudine minima	Hmin	m slm	6,76	6,76	6,76	6,76
Pend.za media asta	iret	m/m	0,11925	0,1193	0,1193	0,1193
	SCS	(ore)	0,324	0,324	0,324	0,324
	GIANDOTTI	(ore)	0,750	0,750	0,750	0,750
	PASINI	(ore)	0,247	0,247	0,247	0,247
	VAPI	(ore)	0,999	0,999	0,999	0,999
	KIRPICH	(ore)	0,191	0,191	0,191	0,191
	VIPARELLI	(ore)	0,303	0,303	0,303	0,303
	tc adott.		PASINI			
		(ore)	0,247	0,247	0,247	0,247
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	65	65	65	65
	Sottozona		2	2	2	2
Altezza di pioggia	n1	-	0,36994676	0,36994676	0,3699468	0,3699468
	a1	-	22,6399238	22,6399238	22,639924	22,639924
	n2 (ADOTTATO)	-	0,12392456	0,157628	0,184906	0,2111044
	a2 (ADOTTATO)	-	2,27959585	2,60522	2,9308441	3,3612959
	n (ADOTTATO)	-	0,49387131	0,52757476	0,5548528	0,5810511
	a (ADOTTATO)	-	51,6098764	58,9819823	66,354088	76,099482
	h (ADOTTATO)	(mm)	25,857	28,189	30,525	33,748
	Coef.f.Ragg (ADOTTATO)	-	0,957	0,957	0,957	0,957
	h r (ADOTTATO)	(mm)	24,751	26,983	29,219	32,304
	S	(mm)	23,626	23,626	23,626	23,626
	la	(mm)	4,725	4,725	4,725	4,725
	Phetta (ADOTTATO)	(mm)	9,187	10,797	12,468	14,854
	Coef.defl. (SCS)		0,401	0,432	0,459	0,492
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0,538	0,574	0,604	0,638
	Coef.defl. (PASINI)		0,355	0,383	0,408	0,440
	Coef.defl. (VAPI)		0,581	0,617	0,648	0,680
	Coef.defl. (KIRPICH)		0,312	0,337	0,360	0,390
	Coef.defl. (VIPARELLI)		0,390	0,420	0,447	0,480
	Coef.defl. (ADOTTATO)	-	0,355	0,383	0,408	0,440
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	3,055	3,616	4,194	5,006
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	2,677	3,230	3,795	4,561
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	3,103	3,647	4,211	5,017
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	2,500	3,036	3,582	4,316
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	3,101	3,619	4,160	4,948
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	3,070	3,628	4,204	5,016
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	3,103	3,647	4,211	5,017

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tabella 9 - calcolo delle portate di piena per il bacino Baragge 3

Baragge 3	TR (anni)		50	100	200	500
Lunghezza asta	L	m	1781	1781	1781	1781
Curve Number	CN	-	91,97	91,97	91,97	91,97
Pend.za media bac.	i _{bac}	-	0,11885	0,1189	0,1189	0,1189
Area bacino	A	kmq	0,35	0,35	0,35	0,35
Altitudine massima	Hmax	m slm	128,74	128,74	128,74	128,74
Altitudine media	Hmed	m slm	58,82	58,82	58,82	58,82
Altitudine minima	Hmin	m slm	6,53	6,53	6,53	6,53
Pend.za media asta	iret	m/m	0,11488	0,1149	0,1149	0,1149
	SCS	(ore)	0,407	0,407	0,407	0,407
	GIANDOTTI	(ore)	0,871	0,871	0,871	0,871
	PASINI	(ore)	0,272	0,272	0,272	0,272
	VAPI	(ore)	1,009	1,009	1,009	1,009
	KIRPICH	(ore)	0,235	0,235	0,235	0,235
	VIPARELLI	(ore)	0,330	0,330	0,330	0,330
	tc adott.		KIRPICH			
		(ore)	0,235	0,235	0,235	0,235
Tempi di ritorno	T	(anni)	50	100	200	500
Dati pluviometrici	Pgiorn.	(mm)	65	65	65	65
	Sottozona		2	2	2	2
Altezza di pioggia	n1	-	0,36994676	0,36994676	0,3699468	0,3699468
	a1	-	22,6399238	22,6399238	22,639924	22,639924
	n2 (ADOTTATO)	-	0,12392456	0,157628	0,184906	0,2111044
	a2 (ADOTTATO)	-	2,27959585	2,60522	2,9308441	3,3612959
	n (ADOTTATO)	-	0,49387131	0,52757476	0,5548528	0,5810511
	a (ADOTTATO)	-	51,6098764	58,9819823	66,354088	76,099482
	h (ADOTTATO)	(mm)	25,240	27,472	29,708	32,803
	Coef.f.Ragg (ADOTTATO)	-	0,954	0,954	0,954	0,954
	h r (ADOTTATO)	(mm)	24,079	26,207	28,341	31,293
	S	(mm)	22,177	22,177	22,177	22,177
	la	(mm)	4,435	4,435	4,435	4,435
	Pnetta (ADOTTATO)	(mm)	9,227	10,786	12,401	14,711
	Coef.defl. (SCS)		0,458	0,490	0,518	0,551
	Coef.defl. (GIANDOTTI)		0,577	0,612	0,642	0,674
	Coef.defl. (PASINI)		0,391	0,419	0,445	0,477
	Coef.defl. (VAPI)		0,598	0,634	0,663	0,694
	Coef.defl. (KIRPICH)		0,366	0,393	0,417	0,448
	Coef.defl. (VIPARELLI)		0,423	0,453	0,480	0,513
	Coef.defl. (ADOTTATO)	-	0,366	0,393	0,417	0,448
PORTATE DI PIENA	Qpicco (SCS)	(mc/s)	3,622	4,295	4,984	5,939
	Qpicco (GIANDOTTI)	(mc/s)	3,107	3,749	4,403	5,284
	Qpicco (PASINI)	(mc/s)	3,786	4,444	5,122	6,083
	Qpicco (VAPI)	(mc/s)	2,985	3,612	4,250	5,107
	Qpicco (KIRPICH)	(mc/s)	3,818	4,463	5,131	6,087
	Qpicco (VIPARELLI)	(mc/s)	3,721	4,389	5,076	6,037
	Qpicco (ADOTTATO)	(mc/s)	3,818	4,463	5,131	6,087

4 – STUDIO IDRAULICO

Il lavoro di modellazione idraulica, già dalla presente fase preliminare, è stato effettuato con l'ausilio dei Sistemi Informativi Territoriali. Il modello digitale del terreno assunto come base su cui costruire il modello idraulico, è stato realizzato utilizzando il DTM di passo 1 metro disponibile nel geoportale della Regione Sardegna, integrato con la geometria del canale in progetto nel tratto sede della nuova opera.

L'analisi e la valutazione della propagazione delle piene è stata effettuata utilizzando un modello matematico con schema monodimensionale predisposto con l'ausilio del software HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center- River Analysis System del Corpo Ingegneri dell'esercito U.S.A.). Come è noto il software consente di costruire il modello numerico delle aste fluviali in esame, rappresentandone anche gli elementi singolari, quali manufatti di attraversamento (ponti e tombinature), pile ed altre ostruzioni presenti in alveo (fabbricati), arginature e ricavare i profili della corrente in moto permanente determinati dalle portate di progetto. Tra gli output ricavabili, i livelli della superficie libera nelle sezioni trasversali consentono di individuare le aree occupate dalla corrente idraulica durante l'evento di piena.

La modellazione avviene attraverso l'inserimento di sezioni trasversali alla direzione di scorrimento dell'asta fluviale, rappresentanti la morfologia del terreno ed estese lungo le sponde in misura sufficiente da contenere i tiranti idrici, suddivise in più tratti anche in funzione di differenti valori del parametro "n" di scabrezza associato a ciascun tratto. Oltre a tale ripartizione, vengono delimitate per ogni sezione trasversale tre zone principali: quella centrale dell'alveo inciso (denominata main channel) e le due zone laterali golenali (denominate right and left overbanks).

L'asta in esame è stata analizzata discretizzando la morfologia del terreno con sezioni trasversali poste a distanza variabile l'una dall'altra e definendo le condizioni al contorno.

Sono state delimitate **le aree a pericolosità idraulica** per i tempi di ritorno considerati, nelle condizioni ante e post operam tenendo conto dei limiti imposti dalle Direttive del PAI e dell'Autorità di Bacino per poter effettuare la eventuale deperimetrazione.

Il progetto per finalità e modalità di esecuzione è pienamente coerente con le previsioni e le norme del PAI. Infatti consente di ridurre il livello di pericolosità idraulica a carico di elementi a rischio elevato (centro abitato, strada, infrastrutture di servizio) mediante la costruzione di linee di deflusso che percorrono preferibilmente i tracciati degli alvei naturali e in corrispondenza dell'edificato seguono i tracciati della viabilità lungo canali artificiali a cielo aperto, ad eccezione degli attraversamenti dove saranno realizzati tombini scatolari conformi alle limitazioni delle NTC 2018.

Tali linee saranno in grado di contenere le portate con tempo di ritorno di 200 anni con il rispetto dei franchi idraulici di legge. Le metodologie adottate per l'analisi idrologica e i calcoli idraulici sono quelle prescritte dal PAI; è stata effettuata innanzitutto l'analisi idraulica nella condizione ante operam in modo da riprodurre con affidabilità le aree di allagamento derivanti dalle piene con i tempi di ritorno del PAI, basate anche su una definizione topografica accurata. L'esito di tale analisi è riferito nella figura seguente e mostra risultati senza dubbio maggiormente aderenti ai fenomeni reali di quanto non sia rappresentato dal PAI vigente:



Figura 23 Stralcio della Tavola B.06 "Palau Est"

E' stata quindi predisposta la modellazione nella condizione **post operam** al fine di stabilire con continuità l'altezza dei tiranti idrici nelle sezioni trasversali tracciate lungo i canali e verificare l'efficacia degli interventi. L'esito è riportato nella figura seguente da cui si evince l'efficacia dell'intervento per Tr 200 anni.

Riguardo al requisito di ammissibilità, l'intervento è ammissibile ai sensi dell'art. 27 comma 1 lettera a).

Si rimanda allo specifico allegato per il dettaglio delle simulazioni in moto permanente nelle due condizioni e ai franchi idraulici.

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023



Figura 24 Carta pericolosità idraulica Post Operam con intervento Baragge



Figura 25 Carta pericolosità idraulica Post Operam senza intervento Baragge

5.4 Valutazione del sopralzo della superficie libera in curva

In corrispondenza di due tratti del tracciato in progetto, il primo compreso tra le sezioni 23 e 26 (sezioni del modello Hec-Ras 360.97 e 350.96) e il secondo tra le sezioni 41 e 45 (modello di Hec-Ras 82.47 e 22.56), il tracciato planimetrico presenta curve con raggio medio pari a circa 21.5 m nel primo caso e circa 50 m nel secondo, come indicato nelle figure seguenti.



Figura 26 Indicazione del tratto in curva tra le sezioni 23-26 con riferimento al cerchio di raggio più rappresentativo



Figura 27 Indicazione del tratto in curva tra le sezioni 41-45 con riferimento al cerchio di raggio più rappresentativo

In corrispondenza di tali porzioni l'effetto della curva planimetrica è messo in evidenza dall'inclinazione che assume la superficie libera con una sopraelevazione sulla sponda esterna e una depressione sulla sponda interna.

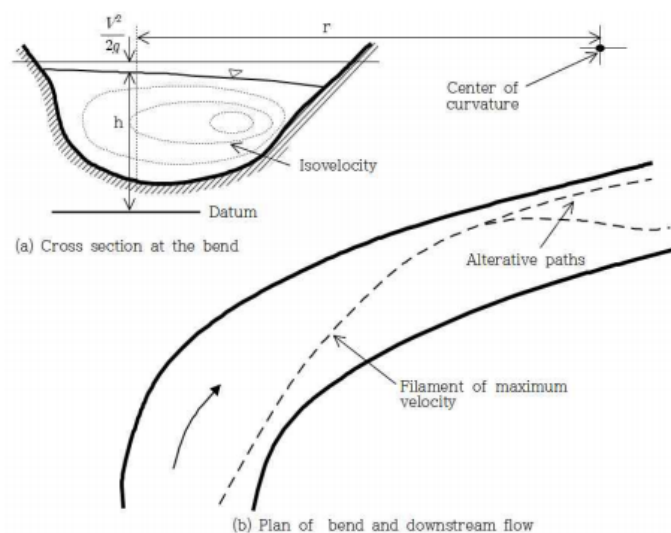


Figura 28 Schematizzazione del tratto di curva generica in un canale

Il fenomeno è stato studiato in modo semplificato da vari autori ipotizzando una curva circolare a fondo piano e pareti verticali, assumendo che le velocità della corrente dipendano dal raggio di curvatura r come avviene nel vortice irrotazionale.

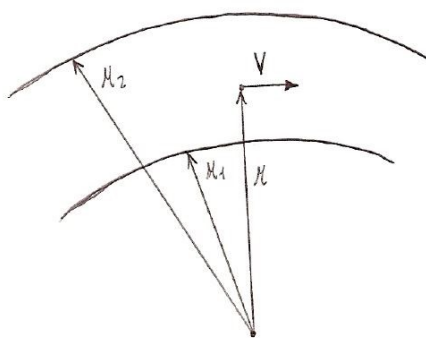


Figura 29 Schematizzazione del tratto di curva circolare in un canale

Ogni elemento fluido è soggetto alla forza specifica verticale g dovuta al potenziale gravitazionale e ad una forza centrifuga specifica orizzontale pari a V^2/r . Il pelo libero quindi deve assumere una pendenza trasversale per disporsi perpendicolarmente alla risultante delle due forze.

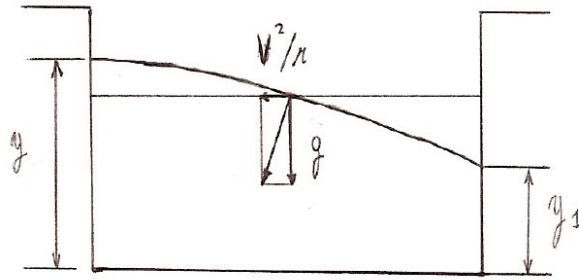


Figura 30 - Forze agenti sull'elemento infinitesimo di corrente fluida in curva

di conseguenza la pendenza del pelo libero è data da:

$$\frac{\partial y}{\partial r} = \frac{V^2}{gr}$$

ed avendo assunto:

$$V = \frac{c_1}{r}$$

con c_1 intensità del vortice, si ottiene:

$$\frac{\partial y}{\partial r} = \frac{c_1^2}{gr^3}$$

Integrando l'equazione tra i raggi r_1 (interno) e r_2 (esterno) della curva e le corrispondenti quote del pelo libero y_1 e y_2 , si ha:

$$\Delta y = y_2 - y_1 = \frac{V_m^2 B}{g} \cdot \frac{r_m^3}{r_1^2 r_2^2}$$

Essendo V_m la velocità sulla curva di raggio medio r_m e $B=r_2-r_1$ la larghezza del canale si ha:

$$\Delta y = y_2 - y_1 = \frac{c_1^2}{2g} \left(\frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right)$$

Con buona approssimazione si può sostituire al raggio medio aritmetico quello medio geometrico e a V_m la velocità media nella sezione, ottenendo la Formulazione di Grashof:

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

$$\Delta y \approx \frac{\bar{V}^2 B}{gr_m}$$

Da altri autori sono state desunte formule sperimentali strutturate analogamente a quella di Grashof e riportate nella tabella seguente, con riferimento alla simbologia indicata nelle ulteriori figure che seguono.

	Formulas	Remarks
Woodward (1920)	$\Delta y = \frac{V^2}{gr_c} (r_o - r_i)$	Woo(2001)
Grashof (1937)	$\Delta h = 2.3 \frac{V^2}{g} \log \frac{r_o}{r_i}$	Chow(1959)
Shukry (1950)	$\Delta h = \frac{(rV)^2}{2g} \left(\frac{1}{r_i^2} - \frac{1}{r_o^2} \right)$	
Ippen-Drinker (1962)	$\Delta h = \frac{BV^2}{gr_c} \left(\frac{1}{1 - B^2/4r_c^2} \right)$	free vortex
	$\Delta h = \frac{BV^2}{gr_c} \left(\frac{1}{1 + B^2/12r_c^2} \right)$	forced vortex
ADWR (1985)	$\Delta y = C \frac{BV^2}{gr_c}; (B/r_c \geq 0.33)$	
	$\Delta y = C \frac{BV^2}{gr_c} + 0.25 \frac{V^2}{2g}; (B/r_c < 0.33)$	
KWRA (2009)	$\Delta h = 1.5 \frac{BV^2}{gr_c}$	

Figura 31 - Formule empiriche per il calcolo del sopralzo in curva circolare

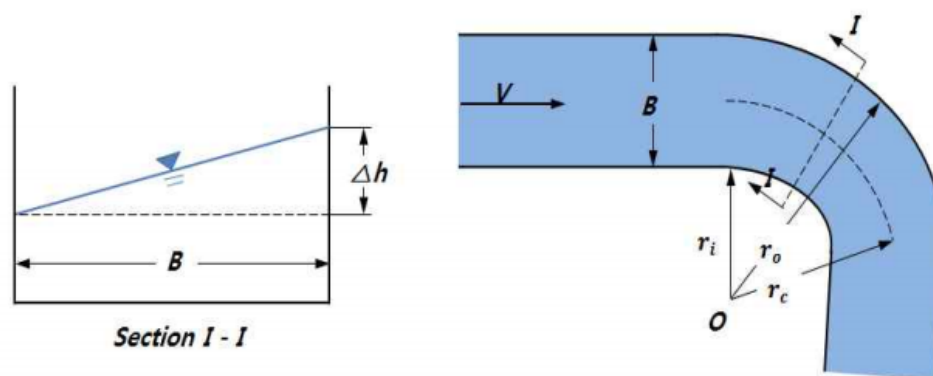


Figura 32 - Schematizzazione del sopralzo in curva circolare di un canale a superficie libera

Flow type	Channel cross section	Type of curve	C	Remarks
Tranquil	Rectangular	Simple circular	0.5	
	Trapezoidal	Simple circular	0.5	×1.15
Rapid	Rectangular	Simple circular	1.0	
	Trapezoidal	Spiral transitions, Spiral banked	0.5	
		Simple circular, Spiral transitions	1.0	×1.3

Figura 33 - Tabella relativa alle possibili scelte per il valore della costante C

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

Tutte le formule richiedono come dati in ingresso la velocità della corrente ed i raggi di curvatura nel tracciato, valutabili come il massimo ed il minimo raggio specifici alle massime circonferenze iscrivibili nel canale in prossimità della curva.

Nei casi specifici si è considerato un raggio medio pari a 21.5 m nel primo caso, ottenibile come media matematica tra il raggio massimo esterno pari a 23 m e quello massimo interno pari a 20 m e 47.5 m, come media matematica tra i valori di 50.5 m e 44.5 m.

Per i casi in esame, sono state applicate tutte le formulazioni elencate in tabella, scegliendo di considerare i valori risultanti più cautelativi, ottenuti con la Formula KWRA (Kings waste and Recycling Authority - CA- USA). Il calcolo è stato effettuato per la portata con tempo di ritorno di 200 anni e in corrispondenza della sezione con Velocità media più elevata (sez. 360.97 e $V=5.57$ m/s). Le tabelle seguenti riportano i dati di input e l'incremento della superficie libera in metri ottenuto in ciascun caso per i tratti in esame.

In entrambi i casi il sopralzo massimo è stato aggiunto al livello idrico ottenuto dalla simulazione in moto permanente, effettuando il controllo della sussistenza del franco idraulico anche nel tratto sede di curva. La verifica si è rivelata positiva, come riportato nelle tabelle seguenti.

CURVA PRESSO LE SEZIONI 23-26

DATI DI INPUT			RISULTATI			
Velocità media	5,57	m/s	Autori formulazioni	Entità sopralzo (m)	Presenza vortice	
accelerazione gravità	9,78	m/s ²	Woodward	0,443		
r esterno	23	m	Grashof	0,443		
r interno	20	m	Shukry	0,447		
B	3	m	Ippen-Drinker	0,442	free vortex?	NO
rc	21,5	m		0,445	free vortex?	SI
C	0,5		ADWR	0,618		
			KWRA	0,664		

Figura 34 - Elementi per il calcolo del sopralzo in curva per diverse formulazioni

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	E.G. Elev	E.G. Slope	Vel Chnl	Flow Area	Top Width	Froude # Chl	Levee El Left	Levee El Right	tirante idrico h	increment o per sopralzo in curva	Franco richiesto	Franco disponibile SX	Franco disponibile Dx
			(m ³ /s)	(m slm)	(m slm)	(m slm)	(m slm)	(m/m)	(m/s)	(m ²)	(m slm)		(m slm)	(m slm)	(m)	(m)		(m)	(m)
Liccia	400,97	Tr 200 anni	6,46	10,32	10,69	11,1	12,44	0,039549	5,87	1,1	3	3,1	12,52	12,52	0,37		1,00	1,83	1,83
Liccia	390,97	Tr 200 anni	6,46	8,85	9,15	9,63	11,82	0,075607	7,24	0,89	3	4,24	11,05	11,05	0,3		1,00	1,90	1,90
Liccia	380,97	Tr 200 anni	6,46	8,8	9,16	9,58	11,02	0,043204	6,04	1,07	3	3,23	11	11	0,36		1,00	1,84	1,84
Liccia	370,97	Tr 200 anni	6,46	8,57	8,95	9,35	10,56	0,034274	5,6	1,15	3	2,89	10,77	10,77	0,38		1,00	1,82	1,82
Liccia	360,97	Tr 200 anni	6,46	8,24	8,63	9,02	10,21	0,033713	5,57	1,16	3	2,86	10,44	10,44	0,39	0,66	1,00	1,15	1,15
Liccia	350,96	Tr 200 anni	6,46	8,07	8,49	8,85	9,84	0,026578	5,16	1,25	3	2,55	10,27	10,27	0,42	0,66	1,00	1,12	1,12
Liccia	340,96	Tr 200 anni	6,46	7,76	8,17	8,54	9,57	0,027833	5,23	1,23	3	2,61	9,96	9,96	0,41		1,00	1,79	1,79
Liccia	330,96	Tr 200 anni	6,46	7,34	7,73	8,12	9,26	0,031808	5,47	1,18	3	2,78	9,54	9,54	0,39		1,00	1,81	1,81

Figura 35 - Stralcio della tabella di verifica dei franchi di sicurezza per il tratto in curva alle sezioni 23-26

Comune di PALAU (OT)
RISANAMENTO IDROGEOLOGICO AMBITO CANALE LICCIA - PALAU EST e CANALE BARAGGE
Progetto di fattibilità tecnico economica
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA - agg. Settembre 2023

CURVA PRESSO LE SEZIONI 41-45

DATI DI INPUT			RISULTATI			
			Autori formulazioni	Entità sopralzo (m)	Presenza vortice	
Velocità media	6,015	m/s	Woodward	0,47		
accelerazione gravità	9,78	m/s ²	Grashof	0,47		
r esterno	50,5	m	Shukry	0,47		
r interno	44,5	m	Ippen-Drinker	0,47	free vortex?	NO
B	6	m		0,47	free vortex?	SI
rc	47,5	m	ADWR	0,70		
C	0,5		KWRA	0,70		

Reach	River Sta	Profile	Q Total	Min Ch El	W.S. Elev	Crit W.S.	Vel Chnl	Levee El Left	Levee El Right	tirante idrico h	incremento per sopralzo in curva	Franco richiesto	Franco disponibile SX	Franco disponibile Dx
			(m ³ /s)	(m slm)	(m slm)	(m slm)	(m/s)	(m slm)	(m slm)	(m)	(m)		(m)	(m)
Baragge_B	155,38	Tr 200 anni	11,59	4	5,24	4,95	2,34	6,6	6,6	1,24		1,00	1,36	1,36
Baragge_B	148,82	Tr 200 anni	11,59	3,92	5,29	4,8	1,88	6,37	6,37	1,37		1,02	1,08	1,08
Baragge_B	144,92	Tr 200 anni	11,59	3,86	5,32	4,68	1,58	6,46	6,46	1,46		1,05	1,14	1,14
Baragge_B	128,33	Tr 200 anni	11,59	3,79	5,28	4,81	1,77	6,35	6,35	1,49		1,06	1,07	1,07
Baragge_B	103,41	Tr 200 anni	11,59	3,69	4,9	4,9	2,99	6,22	6,22	1,21		1,00	1,32	1,32
Baragge_B	82,48	Tr 200 anni	11,59	3,3	4,23	4,51	4,23	5,7	5,7	0,93		1,00	1,47	1,47
Baragge_B	64,11	Tr 200 anni	11,59	2	2,63	3,14	6,21	4,5	4,5	0,63	0,70	1,70	1,87	1,87
Baragge_B	57,08	Tr 200 anni	11,59	1,48	2,09	2,62	6,48	3,98	3,98	0,61	0,70	1,77	1,89	1,89
Baragge_B	49,59	Tr 200 anni	11,59	1	1,6	2,14	6,6	3,5	3,5	0,6	0,70	1,81	1,90	1,90
Baragge_B	42,96	Tr 200 anni	11,59	0,82	1,45	1,96	6,19	3,32	3,32	0,63	0,70	1,70	1,87	1,87
Baragge_B	33,97	Tr 200 anni	11,59	0,55	1,21	1,69	5,86	3,05	3,05	0,66	0,70	1,70	1,84	1,84
Baragge_B	22,56	Tr 200 anni	11,59	0,3	1,01	1,44	5,38	2,8	2,8	0,71		1,00	1,79	1,79

Figura 36 - Stralcio della tabella di verifica dei franchi di sicurezza per il tratto in curva alle sezioni 41-45

6 CONSIDERAZIONI SUL BACINO RESIDUO A VALLE DI VIA DEL VECCHIO MARINO

Il bacino urbano residuo che include la porzione edificata a valle della via del Vecchio Marino ha estensione di circa 0.06 km² e pertanto è certamente di dimensioni tali da poter essere gestito con la rete di acque meteoriche cittadina, la cui dorsale principale è costituita dal canale scatolare presente lungo la Via degli Achei, di sezione rettangolare di dimensioni 1.00x0.70 m, in grado di trasferire una portata massima di circa **2.30 m³/s**, con un franco di circa 25 cm; applicando il metodo TCEV al settore in esame, caratteristiche di impermeabilità dell'area scolante quasi totale, (coefficiente CN 95) si ottiene che per il tempo di ritorno di 200 anni la portata massima è di circa **1.33 m³/s**, quindi ampiamente compatibile con le infrastrutture presenti, come illustrato ai paragrafi seguenti e ammesso che i dispositivi di drenaggio superficiale (caditoie) siano sufficienti a raccogliere e smaltire le portate teoriche.

Inoltre, se si considerasse l'apporto teorico proveniente dalla porzione non edificata a monte di via Capo d'Orso e convergente solo in parte verso l'area di Via degli Achei (vedi Figura 12), vi sarebbe un incremento di circa 1.00 m³/s per il tempo di ritorno di 200 anni, per un totale a carico del canale esistente di 2.33 m³/s, pertanto compatibile.

Ing. Fabio Cambula