



CITTA' DI TEMPIO PAUSANIA

Lavori di realizzazione strada di collegamento Tempio - strada provinciale per Aglientu - PIA SS 17-19 "Alta Gallura"

3° stralcio funzionale - LOTTO 2° - Tratto 2 - da km 0+725 a km 1+725

REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE : R.T.I.

bonifica spa



**STUDIO GALLI
INGEGNERIA**

Ing. Angelo Binaghi

IL GRUPPO DI PROGETTAZIONE:

INTEGRAZIONE PRESTAZIONI
E PROGETTAZIONE STRADALE
Ing. F. P. Bocchetto (Bonifica)

PROGETTAZIONE STRUTTURALE
Ing. F. Momoni (Bonifica)

ASPETTI AMBIENTALI
Arch. C. Caminiti (Bonifica)

PROGETTAZIONE IDRAULICA
Ing. F. P. Bocchetto (Bonifica)

IL RESPONSABILE DEL
PROCEDIMENTO

Arch. Giancarmelo Serra

IL GEOLOGO

Dott. Geol. L. Caravani

SICUREZZA IN FASE
DI PROGETTAZIONE

Ing. A. Binaghi

Ing. A. Binaghi

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

CODICE ELABORATO

PE3IDRRI-01

REV.

B

SCALA

DATA CONSEGNA
Marzo 2021

B

REVISIONE PROGETTO ESECUTIVO

Febbraio 2021

Ing. M.A. Iordanesco

Ing. G. Cambiagli

Ing. F.P. Bocchetto

A

EMISSIONE

Dicembre 2012

Ing. L. Calvani

Ing. F.P. Bocchetto

Ing. F.P. Bocchetto

REV.

DESCRIZIONE

DATA

REDAZIONE

VERIFICA

APPROVAZIONE

Indice

Relazione idrologica-idraulica

| | |
|--|-----------|
| 1. PREMESSA..... | 3 |
| 2. NORMATIVA | 4 |
| 3. TERMINOLOGIA..... | 6 |
| 4. INDIVIDUAZIONE DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO..... | 8 |
| 5. CONFRONTO CON LE LINEE GUIDA DEL PAI | 9 |
| 6. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO | 11 |
| 6.1 PREMESSA..... | 11 |
| 6.2 IL BACINO DEL FIUME LISCIA | 15 |
| 6.2.1 <i>Inquadramento generale.....</i> | <i>15</i> |
| 6.2.2 <i>Aspetti geologici e geomorfologici</i> | <i>15</i> |
| 6.2.3 <i>Uso del suolo</i> | <i>16</i> |
| 7. INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI | 17 |
| 7.1 I BACINI IDROGRAFICI NATURALI | 17 |
| 7.2 ALTRE SUPERFICI SCOLANTI..... | 18 |
| 8. ANALISI IDROLOGICA: PLUVIOMETRIA..... | 19 |
| 9. MODELLI DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI UTILIZZATI | 39 |
| 9.1 CALCOLO DELLE PORTATE METEORICHE DI PIATTAFORMA..... | 39 |
| 9.1.1 <i>Risultati della trasformazione afflussi – deflussi.....</i> | <i>44</i> |
| 9.2 CALCOLO DELLE PORTATE DEI BACINI NATURALI INTERFERENTI CON IL TRACCIATO | 45 |
| 9.2.1 <i>Caratteristiche dei bacini naturali individuati.....</i> | <i>45</i> |
| <i>Calcolo del tempo di corrivazione e della portata.....</i> | <i>45</i> |
| 10. VERIFICHE IDRAULICHE DELLA RETE IDROGRAFICA SUPERFICIALE | 47 |
| 10.1 MODALITÀ DEL DEFLUSSO DI PIENA | 47 |
| 10.2 RISULTATI DELLE VERIFICHE CONDOTTE..... | 48 |
| 11. VERIFICHE DEI MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO E DI SCARICO DELLE PORTATE STRADALI..... | 50 |
| 11.1 SEZIONE DI CHIUSURA DEL BACINO 5..... | 51 |
| 11.2 SEZIONE DI CHIUSURA DEL BACINO B | 52 |

1. PREMESSA

La presente relazione è parte integrante del progetto esecutivo dei Lavori di realizzazione strada di collegamento Tempio – strada provinciale per Aglientu – PIA SS 17-19 “Alta Gallura” 2° stralcio funzionale – Lotto 2 – Tratto 2 – dalla progressiva km 0+725 alla progressiva 1+725. L’opera interessa il territorio comunale di Tempio Pausania sito in Provincia di Sassari.

La presente relazione riporta la descrizione dello studio idrologico ed idraulico condotto al fine di determinare l’entità delle portate che possono prodursi in corrispondenza delle zone di interesse a seguito di eventi pluviometrici caratterizzati da una determinata probabilità di accadimento.

L’attività ha previsto da prima la definizione del reticolo idrografico. Il reticolo è stato individuato mediante diversi livelli cartografici, che comprendono la carta IGM 1:25000, la CTR 1:10000 e il rilievo aerofotogrammetrico 1:1000. Definito il reticolo, sono state individuate le interferenze con le opere in progetto e i bacini ad essi sottesi.

Quindi, l’intervento secondo *Piano per l’Assetto Idrogeologico - Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e misure di salvaguardia* ricade nell’area a rischio idraulico del Bacino Liscia.

Si possono individuare almeno 2 tipi di superfici scolanti che interferiscono con la struttura viaria:

- bacino sotteso da alcuni rii minori appartenenti al Sub Bacino 4 - Liscia;
- bacini piccoli relativi alle superfici costituite dalle opere di progetto.

Successivamente si riporta la descrizione delle verifiche idrauliche condotte, sulla base delle quali è stato studiato il funzionamento dei sistemi di raccolta e drenaggio delle acque meteoriche nelle aree di interesse, nonché il progetto degli interventi di drenaggio e smaltimento delle suddette portate.

Il primo passo operativo è stato quello di individuare i bacini. A tale scopo ci si è avvalsi delle informazioni desumibili da documentazioni esistenti, dalle tavole di progetto ed infine dai risultati di sopralluoghi eseguiti in loco.

Per la determinazione dell'entità delle portate afferenti alle aree in esame ci si è avvalsi di una procedura basata sull'implementazione di un modello di trasformazione afflussi-deflussi, ovvero di una metodologia che, a partire dalla conoscenza del regime pluviometrico e delle caratteristiche idrologiche dell'area di interesse, consente di definire gli idrogrammi conseguenti ad una determinata precipitazione in corrispondenza di un qualsiasi punto della rete di drenaggio del bacino di interesse.

La stima delle portate è stata elaborata con riferimento ai metodi regionali sviluppati nello studio CNR – GNDC, “Rapporto di sintesi sulla valutazione delle piene in Italia”, in particolare la “Valutazione delle Piene in Sardegna”, secondo le Linee Guida per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia” (PAI) della Regione Sardegna e in coerenza con il Piano Stralcio Fasce Fluviali regionale.

Quindi la determinazione degli idrogrammi costituisce il presupposto fondamentale al fine di individuare e dimensionare gli interventi necessari per il drenaggio e lo smaltimento dei deflussi.

Di seguito si descrivono con maggiore dettaglio le fasi dello studio idrologico-idraulico appena citate.

2. NORMATIVA

Per sviluppare la fase di progettazione degli interventi, in particolare per la definizione delle scelte costruttive da adottare allo scopo di garantire adeguate condizioni di sicurezza del deflusso originato dalle precipitazioni meteoriche, si è fatto riferimento a diverse normative, raccomandazioni, regolamenti.

- **Regio Decreto del 25/07/1904 n. 523** e ss.mm.ii – Testo unico sulle opere idrauliche;
- **Decreto Legislativo del 27/01/1992 n. 132** - “Attuazione della direttiva n. 80/68/CEE concernente la protezione delle acque sotterranee dall'inquinamento provocato da certe sostanze pericolose”;

- **Decreto Ministeriale del 14/02/1997** - “Direttive tecniche per l’individuazione e la perimetrazione, da parte della Regioni, delle aree a rischio idrogeologico”;
- **Direttiva 2000/60/CE**, cosiddetta “Direttiva Acque”
- **Decreto Legge del 3/04/2006 n. 152** – Norme in materia ambientale
- **Direttiva 2007/60/CE** cosiddetta “Direttiva delle alluvioni”
- **Legge del 27/02/2009 , n.13** – Misure straordinarie in materia di risorse idriche e protezione dell’ambiente
- **Decreto Legge del 23/02/2010 n. 49** – Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e gestione dei rischi di alluvioni”
- **Decreto Ministeriale del 17/01/2018** – Norme tecniche per le Costruzioni e la relativa circolare n. 7 del 21/01/2019

Il progetto è stato redatto nel rispetto delle seguenti norme in vigore a livello regionale e/o a scala di distretto idrografico:

- **Legge Regionale del 6/12/2006 n. 19** – Disposizioni in materia di risorse idriche e bacini idrografici
- **Piano di Gestione del distretto idrografico della Sardegna** – Aggiornato 2010
- **Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)** – Aggiornato 2015
- **Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA)** del Distretto Idrografico della Sardegna – Aggiornamento Marzo 2016
- **Norme di Attuazione del Piano per l’Assetto Idrogeologico (PAI)** – Aggiornato Giugno 2020
- **Linee Guida e indirizzi operativi per l’attuazione del principio della invarianza idraulica** – Aggiornato 2016

3. TERMINOLOGIA

Per portata di progetto si intende quel valore di portata liquida che viene assunto alla base del dimensionamento delle opere idrauliche da realizzare.

La portata di progetto viene in genere determinata fissando a priori il valore della probabilità "P" che un evento di tale intensità venga annualmente superato. Nella pratica idrologica, la probabilità di superamento viene usualmente correlata al cosiddetto tempo di ritorno "Tr" dell'evento, ossia alla durata (media) in anni, del periodo di tempo in cui si attende che si verifichi almeno una portata di entità pari o superiore a quella considerata.

Va precisato che si parla di una media di superamento su un certo periodo; trattandosi pertanto di un concetto di tipo statistico, come tale esso va considerato.

Molto spesso, nei casi concreti, per la scarsità di dati registrati, non è possibile procedere direttamente all'elaborazione statistica delle portate.

Per ovviare ai problemi sopra esposti, si fa in genere ricorso a procedure che vengono dette di "trasformazione afflussi-deflussi". Numerose sono le metodologie, più o meno complesse ed affidabili, ma tutte hanno in comune l'obiettivo di fornire un valore di portata a partire da una opportuna informazione di tipo pluviometrico caratteristica del bacino e del tempo di ritorno considerato.

Per meglio comprendere cosa si intenda per "caratterizzazione pluviometrica" di un certo bacino, giova qui introdurre due altri termini che verranno incontrati nel seguito: linee segnalatrici di possibilità pluviometrica e estrapolazioni geostatistiche (o regionalizzazione).

La "linea segnalatrice di possibilità" pluviometrica è un'espressione matematica che lega, per una certa area, e per un prefissato tempo di ritorno, il valore dell'altezza di precipitazione a quello della durata della pioggia; la linea segnalatrice è usualmente espressa in forma monomia del seguente tipo:

$$h = at^n$$

ove h rappresenta l'altezza di precipitazione per una durata t, mentre a ed n vengono detti parametri della linea segnalatrice.

La linea segnalatrice di possibilità pluviometrica è in genere il modo più comodo per indicare le caratteristiche pluviometriche di una certa zona. Essa viene ricavata mediante elaborazioni statistiche su dati di precipitazione di forte intensità e breve durata ed è, in genere, riferita ad una singola stazione.

Quando si voglia invece caratterizzare dal punto di vista pluviometrico un'area piuttosto ampia, si ricorre invece o alla "regionalizzazione" delle precipitazioni oppure al ragguaglio delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica.

La prima metodologia consiste nell'elaborazione di linee segnalatrici di possibilità pluviometrica a partire dai dati raccolti da più di un pluviografo appartenente ad una certa zona.

Il ragguaglio delle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica, si rende invece necessario quando si intenda rappresentare con una linea il regime pluviometrico di un'area che non sia quella strettamente adiacente allo strumento di misura i cui dati sono stati utilizzati per la costruzione della linea stessa. Il procedimento di ragguaglio, si traduce sempre in una riduzione delle altezze di pioggia di fissata durata all'aumentare dell'area considerata; questa operazione cerca di rendere conto, attraverso formulazioni più o meno empirico-sperimentali, del fatto che l'intensità delle precipitazioni non è costante su tutto il territorio, ma è distribuita secondo "centri di scroscio", ovvero punti di massima intensità, che tendono a spostarsi sul territorio dando luogo ad una distribuzione non uniforme, e mediamente minore, delle altezze d'acqua.

4. INDIVIDUAZIONE DEGLI EVENTI DI RIFERIMENTO

La verifica delle condizioni di funzionamento delle opere esistenti e l'individuazione degli eventuali interventi migliorativi hanno innanzitutto richiesto la definizione degli eventi di riferimento, ovvero degli eventi rispetto ai quali il sistema in esame deve garantire un corretto livello di efficienza.

La metodologia, usualmente adottata per la progettazione di reti fognarie, consente infatti di individuare la probabilità annua che il sistema risulti insufficiente, ovvero di definire a priori la frequenza annuale con cui, statisticamente, tale sistema potrà risultare inadeguato.

Posto un orizzonte temporale di vita dell'opera pari a N anni, la relazione che lega il rischio di insufficienza R_N nei suddetti N anni con la probabilità annuale di non superamento P e con il tempo di ritorno T è:

$$R_N = 1 - P^N = 1 - (1 - 1/T)^N$$

Applicando la relazione sopra riportata si può osservare che, assumendo un orizzonte temporale di vita tecnica dell'opera pari a $N = 50$ anni, e adottando – nella progettazione – un dimensionamento riferito ad un tempo di ritorno di $5 \div 10$ anni sussiste, in pratica, la certezza che l'opera entrerà in crisi almeno una volta durante la sua vita ($R_N \cong 1$); adottando, viceversa, un tempo di ritorno $T = 50$ anni, il rischio di insufficienza scenderebbe a circa $R_N = 0.63$, ovvero vi sarebbero 63 probabilità su 100 che si verifici almeno un evento di intensità maggiore di quella dell'evento di dimensionamento.

La seguente tabella riporta i valori di R_N in funzione del tempo di ritorno T_r , assumendo un orizzonte temporale di vita delle opere di 50 anni.

| Tr (anni) | R_N (%) |
|----------------------|------------------------------|
| 2 | ≈100 |
| 5 | ≈100 |
| 10 | 99.48 |
| 20 | 92.30 |
| 50 | 63.58 |
| 100 | 39.42 |
| 200 | 22.17 |
| 500 | 9.52 |

Tabella 1 - Rischio di insufficienza in funzione del Tr

Dai dati riportati in tabella si può osservare che – sempre ragionando su 50 anni di vita dell’opera – per poter avere una ragionevole certezza che durante tale periodo non si verifichino eventi di entità superiore a quella di dimensionamento, occorrerebbe adottare un tempo di ritorno dell’evento di riferimento decisamente elevato (> 500 anni), con dimensioni e costi delle opere inaccettabili.

Per questo motivo, in linea generale, le reti fognarie vengono dimensionate accettando che possano risultare insufficienti, a fronte di eventi di pioggia di eccezionale intensità, sicuramente almeno una volta durante la loro vita.

È chiaro che il tempo di ritorno su cui dimensionare l’opera deve tenere conto sia del rischio associato al malfunzionamento dell’opera stessa che del costo aggiuntivo relativo all’adozione di tempi di ritorno maggiori. Nel caso in studio il danno associato all’allagamento della sede stradale consiste essenzialmente in una temporanea interruzione della viabilità; per il dimensionamento delle nuove opere di smaltimento delle acque di piattaforma si è ritenuto corretto definire come evento di progetto quello a cui è associato un tempo di ritorno pari a 200 anni.

5. CONFRONTO CON LE LINEE GUIDA DEL PAI

Nelle Norme di Attuazione del Piano Stralcio per Assetto Idrogeologico (PAI) del maggio 2016 all’articolo 21 – Indirizzi per la progettazione, realizzazione e

manutenzione delle nuove infrastrutture al comma 2 in particolare viene prescritto quanto segue:

- a. *conservino le funzioni e il livello naturale dei corsi d'acqua;*
- b. *non creino in aree pianeggianti impedimenti al naturale deflusso delle acque;*
- c. *prevedono l'attraversamento degli alvei naturali ed artificiali e delle aree di pertinenza da parte di condotte in sotterraneo a profondità compatibile con la dinamica fluviale;*
- d. *garantiscono un franco sul livello della portata di progetto, per velocità medie della corrente inferiore a 8 m/s, pari a quanto indicato dall'analisi modellistica sul franco idraulico approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino, corrispondente al massimo tra :*
 - *$1 - 0,7 v^2/2g$ dove v indica la velocità media della corrente;*
 - *2 – un metro;*
 - *$3 - (0,87(y)^{1/2} + \alpha y')$ dove y è la profondità media della corrente, y' è l'altezza della corrente areata ed α un coefficiente che varia linearmente tra 0 e 1 quando la velocità varia tra 5 m/s e 15 m/s, con le limitazioni che il valore $0,87(y)^{1/2}$ sarà assunto al massimo pari a 1,5 ed y' viene assunto pari a 2 metri o alla profondità media y , se questa risulta minore di 2. Per velocità superiore a 8m/s il franco sarà almeno pari all'intera altezza cinetica $v^2/2g$;*
- e. *prevedono eventuali rampe di accesso alle infrastrutture di attraversamento in modo da non ostacolare il naturale deflusso delle acque;*
- f. *adottino per i nuovi attraversamenti criteri che possibilmente evitino o comunque limitino il numero di pile in alveo;*
- g. *configuri le spalle dei ponti in modo da non comportare restringimenti della sezione che pregiudichino la sicurezza del tronco d'alveo;*
- h. *prevedano le pile dei nuovi attraversamenti in modo da offrire la minore resistenza idrodinamica;*
- i. *garantiscono la protezione dall'erosione delle pile dei ponti preferibilmente evitando plateazioni delle sezioni di imposta;*

- *l. minimizzino il rischio di instabilità gravitativa e di alterazione del naturale reticolo drenante indotto dai tagli dei versanti lungo i tracciati;*
- *m. limitino le modificazioni della morfologia naturale dei pendii impegnati;*
- *n. prevedano appropriati sistemi di drenaggio, da sottoporre ad adeguata manutenzione;*
- *o. prevengano l'apporto di suolo nei corsi d'acqua in conseguenza dell'esposizione agli agenti meteorici della superficie interessata dall'opera.*

L'analisi idraulica di seguito condotta considera in modo distinto due problemi incontrati: il primo tiene conto dell'interazione diretta dei corsi d'acqua con il tracciato in progetto, mentre il secondo vuole considerare l'interazione dei sotto-bacini con la nuova infrastruttura.

Per la risoluzione del primo problema sono state analizzate le portate corrispondenti a tempi di ritorno crescenti e conseguente crescita del tirante idrico e della velocità delle acque stesse in prossimità dei viadotti e dei tombini presenti lungo il tracciato stradale.

Per la risoluzione del secondo problema sono stati individuati tutti i sotto-bacini interferenti con il tracciato in progetto e di conseguenza dimensionati opportuni sistemi di raccolta e allontanamento delle acque meteoriche.

6. CARATTERIZZAZIONE DEL TERRITORIO

6.1 PREMESSA

Con la deliberazione del 30/10/1990 n. 45/57, la Giunta Regionale suddivide il Bacino Unico Regionale in sette Sub – Bacini, ognuno dei quali caratterizzato da generali omogeneità geomorfologiche, geografiche, idrologiche ma anche da forti differenze di estensione territoriale.

Nella tabella che segue sono riportate le superfici dei sub-bacini Regionali Sardi

| <i>Numero</i> | <i>Bacino</i> | <i>Superficie (km²)</i> | <i>%</i> |
|---------------|------------------------------|--|--------------|
| 1 | Sulcis | 1646 | 6.8 |
| 2 | Tirso | 5327 | 22.2 |
| 3 | Coghinas-Mannu-Temo | 5402 | 22.5 |
| 4 | Liscia | 2253 | 9.4 |
| 5 | Posada-Cedrino | 2423 | 10.1 |
| 6 | Sud-Orientale | 1035 | 4.3 |
| 7 | Flumendosa-Campidano-Cixerri | 5960 | 24.8 |
| Totale | | 24046 | 100.0 |

Tabella 2 - Delimitazione dei Sub-bacini Regionali Sardi

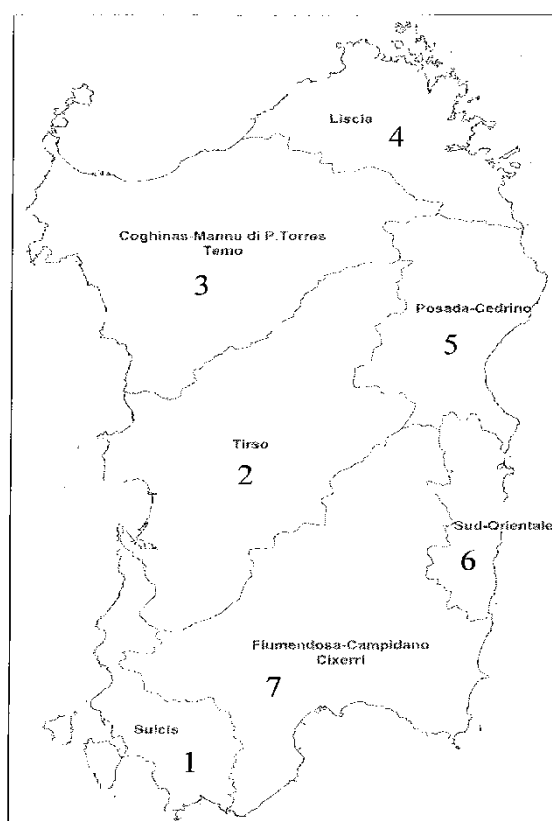


Figura 1 - Delimitazione dei Sub-bacini Regionali Sardi

L'idrografia regionale è caratterizzata dalla quasi totale assenza di corsi d'acqua perenni. Infatti, i soli classificati come tali sono costituiti dal Tirso, dal Flumedosa, dal Coghinas, dal Cedrino, dal Liscia e dal Temo, unico navigabile nel tratto terminale. Inoltre, la necessità di reperire risorse idriche superficiali da tutti i corsi d'acqua

disponibili ha portato alla costruzione di numerosi invasi artificiali che di fatto hanno completamente modificato il regime idrografico, tanto che anche i fiumi sopra citati a valle degli sbarramenti, sono asciutti per lunghi periodi dell'anno.

La maggior parte dei corsi d'acqua presenta caratteristiche torrentizie che, per la conformazione geomorfologia dei bacini imbriferi, presentano pendenze elevate per buona parte del loro percorso, con tratti vallivi, brevi che si sviluppano nei conoidi di deiezione o nelle piane alluvionali. Di conseguenza nelle parti montane si verificano intensi processi erosivi dell'alveo, mentre nei tratti di valle si osservano fenomeni di sovralluvionamento che danno luogo a sezioni poco incise con frequenti fenomeni di instabilità planimetrica anche per portate non particolarmente elevate.

Il Bacino Unico Regionale presenta un clima semiarido con un'elevata variabilità temporale della precipitazione e intensità orarie di elevata intensità, tipiche dei regimi idrologici pluviometrici marittimi. Di seguito si riportano media e deviazione standard della precipitazione annuale per alcune stazioni pluviometriche.

| Stazione | Cagliari | Oristano | Sassari | Nuoro | Tempio | Is Cannoneris |
|--------------|----------|----------|---------|-------|--------|------------------|
| Media (mm) | 430,1 | 581,3 | 593,2 | 714,8 | 800,0 | 1134,7 |
| Dev. St (mm) | 114,6 | 128,8 | 123,9 | 213,0 | 186,8 | 266,5 |

Tabella 3 - Media e deviazione standard della piovosità annua (mm) in alcune stazioni pluviometriche nel periodo 1922 - 1922

Alla variabilità temporale delle precipitazioni si aggiunge anche quella spaziale, caratterizzata dalla forte influenza dell'orografia con le principali direzioni dei flussi di umidità indotte dalle perturbazioni atmosferiche come si evince dalla distribuzione spaziale della media giornaliera.

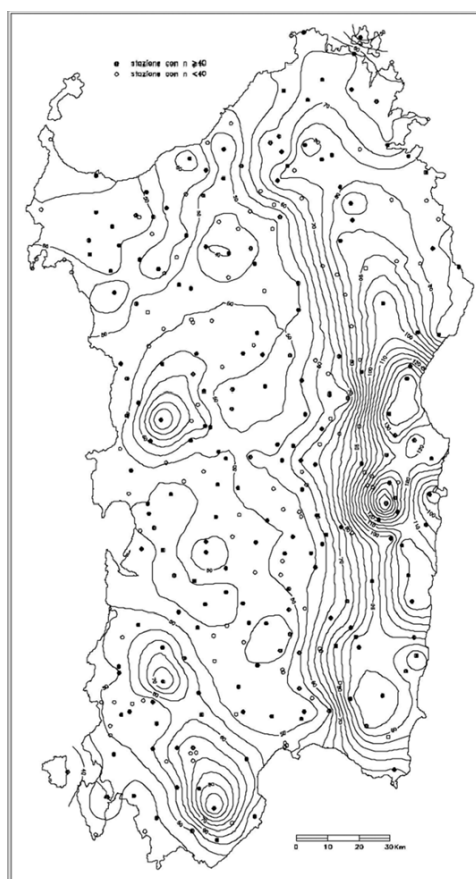


Figura 2 - Ubicazione delle stazioni di misura in Sardegna e corrispondenti valori della pioggia indice giornaliera mg

La variabilità si manifesta anche sul valore annuale di precipitazione, dove si può osservare come la precipitazione media annua varia dai 430 mm di Cagliari, praticamente al livello del mare, sino agli oltre 1100 mm di Is Cannoneris, ubicata a quota 700 m circa e ad una distanza di 30 km da Cagliari.

Di conseguenza i regimi pluviometrici, oltre che per la nota dipendenza dai fattori litologici del bacino, i deflussi nei corsi d'acqua sono irregolari, con bassi o quasi nulli valori di portata nel periodo estivo, ma con picchi di portata nel periodo della stagione autunno – vernina.

Facendo riferimento alla suddivisione in Sub Bacini, l'intervento in progetto fa parte del sub bacino del Liscia.

6.2 IL BACINO DEL FIUME LISCIA

6.2.1 Inquadramento generale

Il bacino del fiume Liscia ha un'estensione di circa 2253 Km² ed è delimitata a Sud del Massiccio del Limbara, ad Est dai rilievi di Punta Salici e Monte Littigheddu, sino ad arrivare sulla costa al promontorio di Isola Rossa, ad Ovest dai modesti rilievi del M.Pinna e di Punta di Manas e a Nord dalle Bocche di Bonifacio. L'altimetria del bacino varia con quote che vanno da 0 m (s.l.m) in corrispondenza della foce del fiume Liscia ai 1285 m (s.l.m) in corrispondenza dei Monti del Limbara.

Il bacino principale è quello del fiume Liscia, la cui superficie totale, misurata in corrispondenza della sezione più valliva (Liscia a Liscia), è di 562 Km², l'altitudine media sul livello del mare è di 342 m.

Gli altri corsi d'acqua principali sono i seguenti

- Rio Vignola,
- Rio Surrau, con foce a Palau,
- Rio San Giovanni di Arzachena,
- Rio San Nicola e il Rio De Seligheddu, che attraversano il centro abitato di Olbia,
- Fiume Padrogianus, che in sinistra idrografica ha gli apporti del Rio Enas e del Rio S.Simone provenienti dalle pendici del Limbara, mentre in destra il Rio Castagna proveniente da M.Nieddu.

6.2.2 Aspetti geologici e geomorfologici

Dal punto di vista geologico l'area è formata quasi esclusivamente di graniti risalenti al Carbonifero Superiore-Permiano. Si tratta di granodioriti tonalitiche, tonaliti, leucograniti e monzograniti, spesso di colore rosa, raramente grigio.

Nella parte centrale del bacino è presente un complesso metamorfico migmatitico costituito prevalentemente da scisti, gneiss e migmatiti.

La morfologia è condizionata dal vasto complesso granitico presente. Le forme sono quelle tipiche: creste di roccia seghettate e scoscese alternate a piccole valli, pietraie, Tor, alte pile di blocchi rocciosi, Tafoni.

Nell'insieme il bacino degrada da Sud verso Nord attraverso una serie di catene discontinue con orientamento Sud-Est/Nord-Ovest.

6.2.3 Uso del suolo

Per quanto riguarda l'uso del suolo circa il 39% è occupato da aree con vegetazione arbustiva e/o erbacea. E' significativa anche la presenza di aree boschive (14,4%) in cui risultano prevalenti le sugherete, che rappresentano una forte risorsa economica per la zona. Le aree agricole sono in gran parte seminativi (21,3%) e sono concentrate nel territorio circostante l'invaso del Liscia, caratterizzato dalla presenza di aree coltivate regolarmente.

7. INDIVIDUAZIONE DEI BACINI SCOLANTI

7.1 I bacini idrografici naturali

Il principale bacino idrografico naturale preso in considerazione nel presente studio è il bacino sotteso da alcuni rii minori, appartenente al Bacino Idrografico del fiume Liscia: Rio di Conca. Di seguito è riportata una tabella in cui sono elencate le superfici dei bacini presi in esame (i nomi fanno riferimento all'allegata planimetria dei bacini).

| <i>Bacino</i> | <i>Area (km²)</i> |
|----------------------|-------------------------------------|
| <i>5</i> | 1.79 |
| <i>A1</i> | 0.18 |
| <i>A2</i> | 0.012 |
| <i>B</i> | 0.063 |
| <i>C</i> | 0.016 |
| <i>D</i> | 0.045 |

Tabella 4 - Bacini direttamente afferenti al tratto in progetto, vedi elaborati PE_3_IDR_CO_01_A.

7.2 Altre superfici scolanti

Oltre ai bacini idrografici dei corsi d'acqua presenti è stato necessario individuare le superfici scolanti limitrofe alle opere di progetto, quali per esempio le porzioni terminali dei versanti che defluirebbero naturalmente verso la piattaforma stradale. Con la realizzazione della strada di collegamento da Tempio Pausania ad Aglientu infatti, alcune limitate porzioni del bacino scolante del territorio circostante, quale per esempio la parte bassa dei versanti, verrebbero a gravare sulle opere di progetto, costituendo queste una soluzione della naturale continuità idraulica. I deflussi meteorici prodotti dal ruscellamento superficiale anziché riversarsi naturalmente nelle aree limitrofe al tracciato stradale, sarebbero convogliati lungo i rilevati stradali o lungo la carreggiata stessa nei tratti in trincea, con i deducibili effetti negativi in relazione sia alla stabilità del rilevato, sia alla sicurezza della circolazione stradale.

È pertanto necessario valutare i contributi di portata delle aree sopra indicate al fine di prevedere idonee opere di raccolta e smaltimento delle portate prodotte.

Pertanto, nelle valutazioni eseguite, si sono valutati i contributi in termini di deflusso dovuti alle aree limitrofe alle opere di progetto qualora queste ultime dovessero interferire con il naturale/attuale sistema di smaltimento.

L'intera area scolante è stata suddivisa in 6 sottobacini.

Per la determinazione delle portate meteoriche relative alla superficie occupata dalle opere di progetto si è suddiviso l'intero tracciato stradale in più tratti calcolando la superficie afferente ad ogni singolo punto terminale di recapito.

La suddivisione delle aree scolanti è stata eseguita secondo i seguenti criteri:

- le piattaforme stradali con pendenza positiva verso la sezione di chiusura;
- le scarpate ai lati delle piattaforme di cui sopra;
- le aree suborizzontali di pertinenza dalle quali è possibile che si verifichi il deflusso delle acque meteoriche verso le piattaforme stesse.

8. ANALISI IDROLOGICA: PLUVIOMETRIA

Nell'ambito di questo studio si è fatto riferimento allo ietogramma sintetico tipo "Chicago", largamente utilizzato in Italia per il progetto di reti fognarie. Questo ietogramma, che si costruisce a partire da una curva di possibilità pluviometrica nota, presenta le seguenti proprietà:

1. la portata al colmo del bacino d'interesse si ha in corrispondenza di una durata critica dell'evento pluviometrico prossima al tempo di risposta del bacino stesso;
2. fissata la durata dell'evento pluviometrico, pari a quella critica per il bacino complessivo, lo ietogramma rappresenta piogge critiche anche per tutte le durate inferiori;
3. per durate di pioggia complessive superiori a quella critica, lo ietogramma fornisce valori di portata al colmo che poco si discostano da quelli calcolati per la durata critica.

L'idea che sta alla base del metodo è che la quantità di pioggia caduta nel periodo di tempo θ sia pari all'integrale rispetto al tempo dell'intensità di precipitazione media

$$i = a \cdot t^{n-1} \quad (1)$$

$$\int_0^{\theta} i(\vartheta) dt = a \cdot \theta^n \quad (2)$$

differenziando entrambi i termini della (2) si ottiene la legge che esprime la variazione dell'intensità nel tempo

$$i(\vartheta) = na \theta^{n-1} \quad (3)$$

Ponendo un sistema di riferimento con origine nel punto di massima precipitazione e i due assi del tempo divergenti, crescente dopo il picco e decrescente prima, si può indicare con r il rapporto

$$\frac{\theta_b}{\theta}$$

tra il periodo prima della massima intensità e il tempo totale di pioggia e con $1-r$ il rapporto

$$\frac{\theta_a}{\theta}$$

tra il periodo prima del picco e il periodo totale. E' quindi possibile scrivere due equazioni che descrivano l'andamento dello ietogramma prima del picco

$$i(\theta_b) = na \left(\frac{\theta_b}{r} \right)^{n-1} \quad (4)$$

e dopo il picco:

$$i(\theta_a) = na \left(\frac{\theta_a}{1-r} \right)^{n-1} \quad (5)$$

Nelle simulazioni eseguite il rapporto r è stato posto pari a 0.4.

Le linee segnalatrici di possibilità pluviometrica utilizzate per la costruzione dello ietogramma Chicago sono state desunte dallo studio *Progetto Speciale per la Valutazione delle Piene in Italia (VAPI)*, programma speciale operativo di valutazione delle portate di piena, corrispondenti ad assegnati periodi di ritorno, per i corsi d'acqua italiani. Lo studio è stato realizzato in ambito universitario nazionale coordinato dal GNDICI-CNR rappresentato in Sardegna dall'Unità Operativa 1.7 del Dipartimento di Ingegneria del Territorio dell'Università di Cagliari.

Secondo tale studio attraverso l'applicazione del modello probabilistico TCEV alle piogge giornaliere massime annue e l'elaborazione relativa agli eventi estremi di piogge brevi ed intense (secondo livello di regionalizzazione) è stato possibile ripartire l'intero territorio in tre sottozone pluviometricamente omogenee (SZO) di cui si riporta la delimitazione geografica nella figura di seguito.

Dall'indicazione della sottozona omogenea (SZO) di appartenenza e dalla stima della pioggia indice giornaliera μ_g (espressa in mm) è stato possibile determinare le curve di possibilità pluviometrica per assegnato tempo di ritorno Tr .

In coerenza con le linee guida e metodologiche del Piano di PAI e del PSFF, si adotta quanto segue:

- per i bacini con superficie superiore ai 60 km^2 , si procede con il metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV riportato nelle sopraccitate Linee Guida e descritto in dettaglio nella “Valutazione delle piene in Sardegna”.
- per i bacini con superficie inferiore ai 60 km^2 , si procede con metodo indiretto mediante applicazione del metodo razionale e formulazione SCS.

Grandi bacini: metodo diretto TCEV

In coerenza con le linee guida e metodologiche del PAI e del PSFF, per la stima delle portate al colmo dei bacini di dimensioni superiori a 60 km^2 , si fa riferimento al metodo diretto della regionalizzazione VAPI delle portate al colmo per la Sardegna secondo la distribuzione TCEV.

Nei risultati ottenuti dall'applicazione del metodo di regionalizzazione basato sulla distribuzione TCEV non sono state considerate le osservazioni relative al TEMO.

Per quanto concerne il primo livello di analisi regionale, si è ritenuto coerente allo spirito del metodo di non operare alcuna differenziazione territoriale, nonostante la tendenza dell'asimmetria ad assumere valori mediamente più elevati per i bacini orientali.

Quindi si sono ottenute le seguenti stime dei parametri Λ^* e Θ^* che caratterizzano l'intero territorio dell'isola:

$$\Lambda^* = 0.3938$$

$$\Theta^* = 5.887$$

Al secondo livello di regionalizzazione le stazioni sono state differenziate in relazione al versante di appartenenza come di seguito:

Bacini occidentali $\Lambda_1 = 6.286$

Bacini orientali $\Lambda_1 = 4.571$

Di conseguenza i parametri ottenuti per la Sardegna sono:

Bacini occidentali $\Lambda^* = 0.3938$ $\Lambda_1 = 6.286$ $\Theta^* = 5.887$ $\eta = 4.377$

Bacini orientali $\Lambda^* = 0.3938$ $\Lambda_1 = 4.571$ $\Theta^* = 5.887$ $\eta = 4.058$

In definitiva si ricavano i valori probabilistici del coefficiente di crescita K_T , definito come rapporto fra la precipitazione di assegnato tempo di ritorno e la pioggia indice dalla seguente formula e riportati nella tabella:

$$K_T = (((\Theta^* \times \text{Ln } \Lambda^*) / \eta) + (\text{Ln } \Lambda_1) / \eta)) + (\Theta^* / \eta) \times \text{Ln } T$$

| T (anni) | K_T (bacini occidentali) | K_T (bacini orientali) |
|-----------------|--|--|
| 50 | 4,41 | 4,68 |
| 100 | 5,35 | 5,70 |
| 200 | 6,29 | 6,71 |
| 500 | 7,52 | 8,04 |

Tabella 5 - Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita

Invece il terzo livello di analisi delle piene nella struttura del modello TCEV, si è fatto riferimento all'analisi del parametro modale ϵ_1 . Il legame teorico tra questo parametro e la piena media annua μ_x è rappresentato dalla formula:

$$\mu_x = (\epsilon_1 / \text{Ln } \Lambda_1) \times \eta$$

I lavori stimati nelle singole stazioni idrometriche sono stati regolarizzati in funzioni della superficie del bacino A in modo analogo a quanto fatto per le medie nel modello log normale ottenendo le seguenti relazioni:

Bacini occidentali $\ln (\epsilon_1) = 1,1954 + 0,9235 \ln (A)$

Bacini orientali $\ln (\epsilon_1) = 0,9882 + 0,6452 \ln (A)$

Piccoli bacini: metodo razionale

Con riferimento alla formula razionale la portata di piena è espressa come prodotto tra l'intensità di precipitazione i , di assegnata durata e tempo di ritorno (T_r), il coefficiente di assorbimento ϕ , la superficie del bacino (A) e il coefficiente di laminazione $\epsilon_{(t)}$.

$$Q = i [(\tau, T_r, r(\tau, A))] \times \phi \times A \times \epsilon(\tau)$$

Dove con τ si è indicato il valore di durata critica, mentre $r(\tau, A)$, rappresenta il fattore di ragguaglio della precipitazione all'area del bacino, espresso in funzione della durata τ e della superficie del bacino A .

L'intensità di precipitazione $i(\tau, T_r)$, che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica rappresentata mediante la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione d , assegnata la frequenza di accadimento o il periodo di ritorno T_r . Tale curva è riportata dalla letteratura come:

$$h(T) = a \times \tau^n$$

La metodologia si basa sull'interferenza statistica del modello TCEV della variabile aleatoria adimensionale:

$$h'(\tau) = h(\tau)/h_{med}(\tau)$$

che rappresenta il massimo annuale di pioggia di assegnata durata τ , normalizzato rispetto alla altezza di pioggia media.

L'equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata diventa, in tal modo, per ciascun tempo di ritorno:

$$h'(T) = a \times t^n$$

nella quale i parametri della curva $a(T)$ ed $n(T)$, vengono definiti per tre Sottozone Omogenee (SZO) individuate in Sardegna, per durate minori e maggiori di 1 ora e per

tempi di ritorno T_r superiori ai 10 anni. La zona di studio, in particolare i bacini di competenza della strada in progetto ricadono nella sottozona 2.

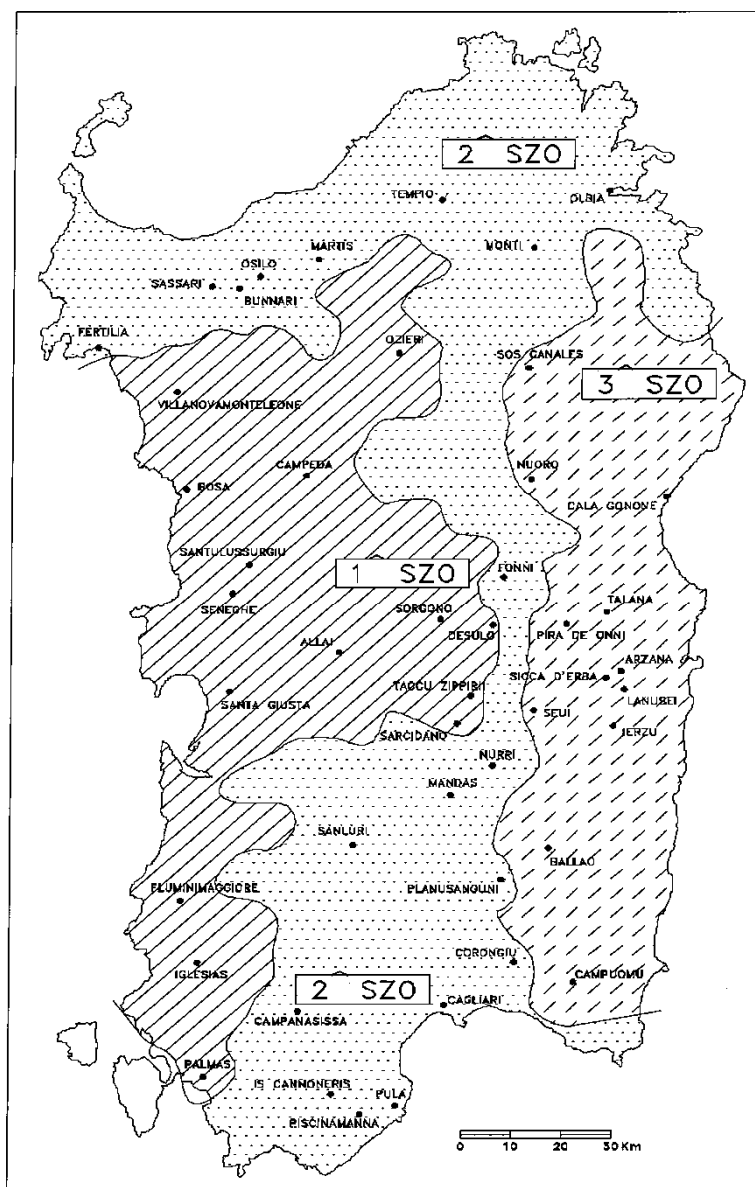


Figura 3 - Divisione in sottozone omogenee (SZO) della Regione Sardegna

La pioggia media per diverse durate, detta anche pioggia indice $h(t)$ è funzione della pioggia media giornaliera

L'altezza di pioggia giornaliera h_T in mm con assegnato tempo di ritorno T in anni per la SZO2 è data dalla formula:

$$\text{SZO2} \quad h(T) = \mu_g \times K_T = \mu_g \times [0,69319 + 0,72015 \times \text{Log}_{10}T + 3,1364 \times 10^{-2} \times (\text{Log}_{10}T)^2]$$

La pioggia indice giornaliera μ_g è la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera. K_T è il coefficiente (adimensionale) di crescita espresso in funzione del tempo di ritorno T .

La pioggia indice $\mu(t)$ di durata τ (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata τ può essere espressa in forma monomia:

$$\mu(t) = a_1 \times t^{n_1}$$

dove i coefficienti a_1 e n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g :

$$a_1 = \mu_g / 0,886 \times 24^{n_1} \qquad n_1 = -0,493 + 0,476 \times \text{Log}_{10}\mu(g)$$

L'altezza di pioggia $h_T(\tau)$ di durata τ con assegnato tempo di ritorno T in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice $\mu(t)$ per un coefficiente di crescita $K_T(\tau) = a_2 \times \tau^{n_2}$:

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

dove i coefficienti a_2 e n_2 per la sottozona SZO2, si determinano con le relazioni seguenti per differenti T e τ :

tempi di ritorno T_R minori/uguali di 10 anni

$$a_2 = 0,64767 + 0,89360 \text{Log}_{10}T \qquad n_2 = -6,0189 \times 10^{-3} + 3,2950 \times 10^{-4} \text{Log}_{10}T$$

tempi di ritorno T_R maggiori di 10 anni

$$a_2 = 0,64767 + 0,89360 \text{Log}_{10}T \qquad n_2 = -6,0189 \times 10^{-3} + 3,2950 \times 10^{-4} \text{Log}_{10}T$$

Quindi i coefficienti a_1 , a_2 , n_1 e n_2 per diversi tempi di ritorno e per una pioggia indice giornaliero $\mu_g = 50$ mm (determinata dalla carta delle isoiete presentata nella fig.9) vengono raggruppati di seguito:

| Tr (anni) | a_1 | a_2 | n_1 | n_2 |
|-----------|-------|-------|--------|--------|
| 50 | 20,61 | 2,27 | 0,3157 | 0,2160 |
| 100 | 20,61 | 2,60 | 0,3157 | 0,2853 |
| 200 | 20,61 | 2,93 | 0,3157 | 0,3536 |

Tabella 6 - Valori di a ed n al variare del periodo di ritorno

La pioggia ottenuta, calcolata per la durata critica τ_{crit} di ogni bacino, viene ragguagliata all'area tramite il parametro r , secondo la formulazione VAPI:

$$\begin{aligned} \text{per } A \text{ minore di } 20 \text{ km}^2 & \quad r = 1 - (0,0394 \times A^{0,354}) \times \tau^{(-0,40+0,0208\ln(4,6-\ln A))}; \\ \text{per } A \text{ maggiore di } 20 \text{ km}^2 & \quad r = 1 - (0,0394 \times A^{0,354}) \times \tau^{(-0,40+0,003832\ln(4,6-\ln A))}; \end{aligned}$$

dove:

τ = durata critica della precipitazione in ore

A = superficie del bacino in km^2 ;

Il valore del coefficiente di afflusso è stato calcolato con il metodo SCS – Curve Number che permette di ricavare l'altezza di pioggia netta in mm:

$$h_N = h_r(\tau) - 0,2S)^2 / h_r(\tau) + 0,8S)$$

Dove:

h_r = precipitazione meteorica ragguagliata (mm)

S = massima capacità di assorbimento del bacino per infiltrazione (mm)

Il valore S in mm è stato calcolato mediante l'equazione:

$$S = 254 \times ((100/CN)-1)$$

Il valore del parametro di assorbimento CN sono stati ricavati secondo la metodologia elaborata dal CIMA (Centro di Ricerca Interuniversitario in Monitoraggio Ambientale, Savona) per conto e in coordinamento della Protezione Civile.

La carta CN è costruita sulla base delle informazioni sull'uso del suolo, la litologia e la permeabilità a disposizione. La procedura prevede inizialmente l'associazione ad ogni tipologia di copertura del territorio di un valore di CN secondo la classificazione riportata di seguito:

| Descrizione | CN |
|--|----|
| 1111 - TESSUTO RESIDENZIALE COMPATTO E DENSO | 95 |
| 1112 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO | 95 |
| 1121 - TESSUTO RESIDENZIALE RADO E NUCLEIFORME | 95 |
| 1122 - FABBRICATI RURALI | 95 |
| 1211 - INSEDIAMENTO INDUSTRIALI/ARTIG. E COMM. E SPAZI ANNESSI | 95 |
| 1212 - INSEDIAMENTO DI GRANDI IMPIANTI DI SERVIZI | 95 |
| 1221 - RETI STRADALI E SPAZI ACCESSORI | 95 |
| 1222 - RETI FERROVIARIE E SPAZI ANNESSI | 95 |
| 1223 - GRANDI IMPIANTI DI CONCENTRAMENTO E SMISTAMENTO MERCI | 99 |
| 1224 - IMPIANTI A SERVIZIO DELLE RETI DI DISTRIBUZIONE | 95 |
| 123 - AREE PORTUALI | 95 |
| 124 - AREE AEROPORTUALI ED ELIPORTI | 95 |
| 131 - AREE ESTRATTIVE | 75 |
| 1321 - DISCARICHE | 75 |
| 1322 - DEPOSITI DI ROTTAMI A CIELO APERTO, CIMITERI DI AUTOVEICOLI | 75 |
| 133 - CANTIERI | 95 |
| 141 - AREE VERDI URBANE | 70 |
| 1421 - AREE RICREATIVE E SPORTIVE | 95 |
| 1422 - AREE ARCHEOLOGICHE | 75 |
| 143 - CIMITERI | 95 |
| 2111 - SEMINATIVI IN AREE NON IRRIGUE | 60 |
| 2112 - PRATI ARTIFICIALI | 75 |
| 2121 - SEMINATIVI SEMPLICI E COLTURE ORTICOLE A PIENO CAMPO | 60 |
| 2122 - RISAIE | 99 |
| 2123 - VIVAI | 70 |
| 2124 - COLTURE IN SERRA | 75 |
| 221 - VIGNETI | 60 |
| 222 - FRUTTETI E FRUTTI MINORI | 60 |
| 223 - OLIVETI | 60 |
| 231 - PRATI STABILI | 75 |
| 2411 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE ALL'OLIVO | 60 |
| 2412 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AL VIGNETO | 99 |
| 2413 - COLTURE TEMPORANEE ASSOCIATE AD ALTRE COLTURE PERMANENTI | 60 |
| 242 - SISTEMI CULTURALI E PARTICELLARI COMPLESSI | 60 |
| 243 - AREE PREV. OCCUPATE DA COLTURE AGRARIE CON PRESENZA DI SPAZI NATURALI IMPORTANTI | 70 |
| 244 - AREE AGROFORESTALI | 70 |
| 3111 - BOSCHI DI LATIFOGIE | 50 |
| 31121 - PIOPPETI SALICETI EUCALITTETI | 50 |
| 31122 - SUGHERETE | 65 |
| 31123 - CASTAGNETI DA FRUTTO | 50 |
| 31124 - ALTRO | 50 |
| 3121 - BOSCHI DI CONIFERE | 70 |

| Descrizione | CN |
|---|----|
| 3122 - CONIFERE A RAPIDO ACCRESCIMENTO | 70 |
| 313 - BOSCHI MISTI DI CONIFERE E LATIFOGIE | 60 |
| 321 - AREE A PASCOLO NATURALE | 75 |
| 3221 - CESPUGLIETI ED ARBUSTETI | 65 |
| 3222 - FORMAZIONI DI RIPA NON ARBOREE | 65 |
| 3231 - MACCHIA MEDITERRANEA | 65 |
| 3232 – GARIGA | 65 |
| 3241 - AREE A RICOLONIZZAZIONE NATURALE | 70 |
| 3242 - AREE A RICOLONIZZAZIONE ARTIFICIALE | 70 |
| 3311 - SPIAGGE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 40 |
| 3312 - AREE DUNALI NON COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 40 |
| 3313 - AREE DUNALI COPERTE DA VEGETAZIONE DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 40 |
| 3315 - LETTI DI TORRENTI DI AMPIEZZA SUPERIORE A 25M | 99 |
| 332 - PARETI ROCCIOSE E FALESIE | 75 |
| 333 - AREE CON VEGETAZIONE RADA > 5% E < 40% | 75 |
| 411 - PALUDI INTERNE | 99 |
| 421 - PALUDI SALMASTRE | 99 |
| 422 – SALINE | 75 |
| 423 - ZONE INTERTIDALI | 99 |
| 5111 - FIUMI, TORRENTI E FOSSI | 99 |
| 5112 - CANALI E IDROVIE | 99 |
| 5121 - BACINI NATURALI | 99 |
| 5122 - BACINI ARTIFICIALI | 99 |
| 5211 - LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI A PRODUZIONE ITTICA NATURALE | 99 |
| 5212 - ACQUACOLTURE IN LAGUNE, LAGHI E STAGNI COSTIERI | 99 |
| 522 - ESTUARI E DELTA | 99 |
| 5231 - AREE MARINE A PRODUZ. ITTICA NATURALE | 99 |
| 5232 - ACQUACOLTURE IN MARE LIBERO | 99 |

Tabella 7- Valori di Curve Number in funzione delle diverse tipologie del suolo

La carta tematica costruita utilizzando le informazioni riportate sopra restituisce una visione d'insieme delle diverse risposte del suolo secondo la seguente immagine:

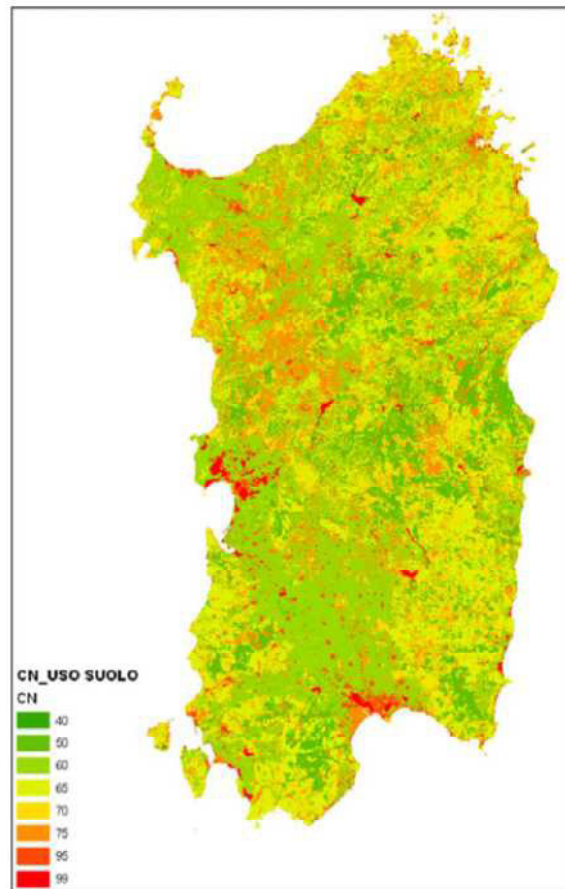


Figura 4 - Carta del CN in funzione del solo uso del suolo, sulla base dei dati Carta CORINE

Successivamente, così come indicato dalla metodologia CIMA – Protezione Civile Nazionale, si è proceduto ad analizzare le informazioni presenti nella Carta geologica, al fine di ottenere fattori correttivi per il calcolo definitivo dei valori di CN a scala regionale:

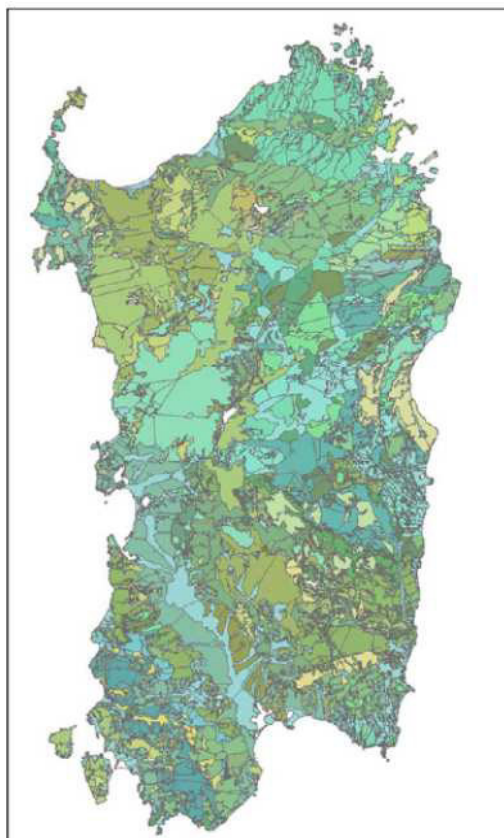


Figura 5 - Carta geologica della Sardegna

Ogni classe è stata indagata e, in considerazione degli aspetti geologici permanenti e delle caratteristiche di permeabilità proprie, sono stati stimati i coefficienti di variazione del CN da attribuire ad ogni tipo litologico.

I coefficienti di variazione del Curve Number sono stati 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 +15 è un valore del coefficiente di variazione tipico delle rocce con strutture cristalline compatte e poco permeabili.

La tavola dei fattori correttivi al Curve Number che si è desunta seconda la metodologia CIMA – Protezione Civile Nazionale, è riportata completa nella seguente tabella:

| DESCRIZIONE | ΔCN |
|--|-----|
| Alternanza di metarenarie, quarziti e filladi (47b). Metarenarie e filladi a bt (47a). Successioni terrigene prevalentemente attribuite al Cambriano-Ordoviciano inf. e subordinatamente all'Ordoviciano sup. e al Devoniano-Carbonifero inf.) | 5 |
| Alternanza di quarziti, metarenarie, metapeliti e metasiltiti, metaconglomerati e breccie; olistoliti e olistostromi della successione siluro-devoniana. (Carbonifero inf.) | 10 |
| Andesiti, andesiti basaltiche e rari basalti ad affinità tholeiitica e calcalcalina, talora brecciati in colate, cupole di ristagno; lave andesitiche e dacitiche in cupole e filoni; andesiti, basalti andesitici e latiti ad affinità da calcalcalina a | 10 |
| Anfiboliti con relitti di paragenesi eclogitiche. (Precambriano) | 15 |
| Anfiboliti e anfiboliti ultramafiche con relitti di paragenesi granulitiche. (Precambriano) | 15 |
| Arenarie di San Vito e Formazione di Solanas: metarenarie micacee e quarziti alternate a metapeliti e rari metaconglomerati, con piste ed impronte di Meduse e Acritarchi; nella parte alta metapeliti viola, nere e verdastre, quarziti e metaconglomerati | 10 |
| Arenarie eoliche wurmiane (2c); Conglomerati, arenarie e biocalcareni di spiaggia (2b); Conglomerati, sabbie, argille più meno cementate (2a). | 0 |
| Arenarie marnose, siltiti, calcareniti sublitorali (9d). (Serravalliano med.-sup.) Marne e marne arenacee epibatiali (9c). (Langhiano med.-sup.-Serravalliano inf.) Marne arenacee e siltose, arenarie, conglomerati, calcareniti e sabbie silicee sublitorali | 10 |
| Argille rosso violacee, arenarie quarzoso-micacee e conglomerati di piana alluvionale, con intercalazioni di calcari silicizzati. (Permiano sup.-Trias medio p.p) Conglomerati, arenarie, breccie vulcaniche, calcari con selci lacustri e lenti di antra | 10 |
| Basalti alcalini e transizionali, trachibasalti, andesiti basaltiche e basalti subalcalini, intercalati, alla base, da depositi di tipo fluvio lacustri (5b). (Pliocene-Pleistocene) Trachiti, trachiti fonolitiche, fonoliti, fonoliti tefritiche e tefriti | 10 |
| Conglomerati a matrice argillosa e arenarie di derivazione alluvionale (8d). Calcarivacuolari e brecciati sopratidali e intertidali; calcari microcristallini di ambiente evaporitico, marne e calcari organogeni sublitorali (8c). (Messiniano) Calcari e ar | 0 |
| Conglomerati e arenarie continentali con banchi di selce, tufiti, tufi pomicei (10f). (Burdigagliano) Arenarie, conglomerati, tufiti più o meno arenacee, calcari sublitorali (10e) Calcari selciosi, siltiti, arenarie e conglomerati fluviali con interca | 0 |
| Conglomerati, arenarie ed argille derivanti dallo smantellamento di sedimenti miocenici (Formazione di Samassi) (3b); Sabbie carbonatiche e siltiti argillose (3a). | 0 |
| Conglomerati, arenarie marnose, marne e calcareniti sublitorali (Plioc. inf.) | 0 |
| Dolomie, dolomie marnose e marne con gessi e argille. (Trias sup) Depositi carbonatici di piattaforma: calcari dolomitici e dolomie arenacee, calcari e calcari marnosi con rare intercalazioni gessose, circolitorali e transizionali. (Trias medio) | 10 |
| Filoni a composizione prevalentemente basaltica e comenditica. (Oligocene sup.-Miocene inf. medio) | 10 |
| Filoni a composizione trachibasaltica, alcalibasaltica e hawaitica. (Pliocene-Pleistocene) | 10 |
| Filoni principali di porfidi granitici e ammassi di micrograniti, principali filoni aplitici e pegmatitiche. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Filoni principali di quarzo. (Carbonifero sup. Permiano) | 10 |
| Formazione di Cabitza: argilloscisti, metarenarie, metacalcari nodulari, metasiltiti con rare lenti calcaree. (Cambriano inf.-Ordoviciano) | 10 |
| Formazione di Dorgali: dolomie, dolomie arenacee, calcari dolomitici, da litorali a circa litorali; conglomerati, arenarie quarzose, siltiti ed argille fluvio-deltizi con livelli lignitiferi (Dogger-Malm) | 5 |
| Formazione di Gonnese (Metallifero Auct.): metacalcari e metadolomie; metadolomie e metacalcari stromatolitici. (Cambriano inf.) | 5 |
| Formazione di Nebida (Formazione delle Arenarie Auct.): metarenarie a cemento carbonatico, metadolomie, metacalcari oolitici e micritici; arenarie siltose con rare intercalazioni di calcari (63c). (Cambriano inf.) Filladi e metarenarie, talvolta con i | 10 |

| DESCRIZIONE | ΔCN |
|--|-----|
| Formazione di Serra Tonnai: metavulcaniti intermedie o raramente basiche, metagrovacche vulcaniche; Formazione di Manixeddu: metaepiclastiti, metaconglomerati a prevalenti elementi di vulcaniti acide. Formazione di M.te Corte Cerbos: metarioliti, metac | 5 |
| Ghiaie, sabbie, limi ed argille sabbiose di origine alluvionale, eolica e litorale. | -5 |
| Granitoidi a crd. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Granitoidi foliati, principalmente granodioriti tonalitiche fino a tonaliti. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Granodioriti tonalitiche. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Granodioriti, monzogranitiche equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Granodioriti, monzogranitiche inequigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Leucograniti a grt. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Leucograniti equigranulari. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Marmi grigi, raramente dolomitici, con alternanze filladiche, localmente fossiliferi. (Devoniano) | 5 |
| Metacalcari nodulari. (Devoniano) Metacalcari a graptoliti. (Siluriano-Devoniano inf.) | 10 |
| Metacalcari nodulari; sottili alternanze di metacalcari e metasiltiti (49b). (Devoniano inf. medio-Tournaisiano inf.) Marmi talvolta dolomitici e calcescisti (49a). (Devoniano- Carbonifero inf.) | 10 |
| Metaconglomerati, metarosi, metesiltiti, metagrovacche, con intercalazioni di metabasiti alcaline; metacalcareniti e metacalcari fossiliferi spesso silicizzati. (Caradoc-Ashgill) | 10 |
| Metagabbri alcalini (45b). (Carbonifero inf.) Filladi scure carboniose, metasiltiti, quarziti nere con rare e sottili intercalazioni di marmi (45a). (Devoniano) | 10 |
| Metapeliti scure carboniose, nella parte inferiore livelli di quarziti nere a graptoliti; nelle partesuperiore metacalcari nodulari. (Siluriano inf.-Devoniano inf.) | 5 |
| Metapeliti scure carboniose; nella parte inferiore quarziti nere a graptoliti. (Siluriano inf.) | 15 |
| Metarenarie, quarziti, filladi, metaconglomerati ad elementi di liditi, olistoliti e olistostromi della successione siluro-devoniana e ordoviciana, e metavulcaniti basiche alcaline, talora a pillow. (Carbonifero inf.) | 10 |
| Metarioliti e metariodaciti con fenocristalli da millimetrici a decimetrici di kfs; alla base sono presentiquarziti, metarenarie, metaconglomerati poligenici con elementi di metavulcaniti, metaepiclastiti, metagrovacche. (Ordoviciano medio) | 15 |
| Metasiltiti e metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche e metatufi; metaconglomerati con olistoliti di calcari e dolomie cambriani, metasiltiti e metarenarie rosso-violacee di piana da alluvionale a costiera. (Caradoc-Ashgill) | 10 |
| Metavulcaniti acide, intermedie e basiche e metaepiclastiti. (Ordoviciano medio) | 10 |
| Miscascisti e paragneiss a grt+/-oligoclasio. (Paleozoico) | 10 |
| Migmatiti leucocratiche, nebuliti, magmatiti, gneiss, talora con lenti a silicati di calcio. (Precambriano) | 10 |
| Monzograniti equigranulari (28b). Monzograniti inequigranulari (28a). (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Ortogneiss granodioritici e granitici. (Ordoviciano medio) | 10 |
| Ortogneiss granodioritici e monzogranitici. (Precambriano) | 10 |
| Ortogneiss granodioritici. (Ordoviciano medio) | 15 |
| Paragneiss, miscascisti a grt+/-st+/-ky e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia, miloniti di variabile grado metamorfico tra la facies anfibolitica e quella degli scisti verdi. (Paleozoico) | 10 |
| Paragneiss, miscascisti e quarziti in facies anfibolitica di pressione intermedia con sovrainprontadi alta temperatura. (Paleozoico) | 10 |
| Porfidi grigi: metariodaciti e metadaciti massive, spesso porfiriche, metatufi e metatufiti; metavulcanitiriolitiche metatufiti e metaepiclastiti; metaconglomerati poligenici grossolani, con clasti di metarioliti. (Ordoviciano medio) | 15 |

| DESCRIZIONE | ΔCN |
|--|-------------|
| Principali corpi filoniani a composizione prevalentemente basaltica ad affinità calcalina e subordinatamente shoshonitica. (Carbonifero sup.- Permiano) | 10 |
| Rioliti e riolaciti in espandimenti ignimbritici e colate, porfidi in ammassi subvulcanici, lave, breccieandesitiche, subordinati espandimenti dacitici; rioliti alcaline in espandimenti ignimbritici.(Carbonifero sup.-Permiano sup.- Trias inf.) | 10 |
| Rioliti e riolaciti, daciti porfiriche vetrose e bollose. (Pliocene) | 15 |
| Rioliti, riolaciti, daciti e subordinatamente comenditi, in espandimenti ignimbritici, cupole diristagno e rare colate a cui si associano prodotti freatomagmatici; talora livelli epiclastici intercalati. (Oligocene sup.-Miocene inf. medio) | 10 |
| Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, calcari dolomitici, calcarioolitici e calcari bioclastici, sublitorali; alla base marne e calcari marnosi paralici (17b). (Berriasiano-Albiano inf.)Sardegna orientale: depositi carbo | 5 |
| Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari, marne e calcareniti glauconitiche sublitorali e localmente calcari lacustri (16b). (Cenomaniano-Campaniano)Sardegna orientale: depositi carbonatici di piattaforma: calcari marnosi e | 10 |
| Sardegna occidentale: depositi carbonatici di piattaforma: dolomie e calcari dolomitici, calcarioolitici, calcari ad oncoidi, calcari selciferi, calcari micritici, calcari marnosi e marne; alla sommità dolomie e calcari dolomitici scuri lacustri (18b | 5 |
| Sardegna orientale: calcari, calcari maenosi e marne argillose sublitorali (14b).Arenarie e conglomerati poligenici più o meno quarzosi fluvio-deltizi (14a). (Ypresiano-Luteziano inf.) | 10 |
| Sieniti sodiche. (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |
| Sulcis e Trexenta: calcari litorali e transizionali, calcari marnosi, marne e argille continentali e paralico-transizionali con depositi di carbone; alla base sono presenti, arenarie e conglomerati di piana alluvionale. (Paleocene sup.-Eocene inf. m | 0 |
| Tonaliti (33b). Gabbri e masse gabbro-tonalitiche (33a). (Carbonifero sup.-Permiano) | 10 |

Tabella 8 - Valori dei fattori correttivi al Curve Number per caratteristiche geologiche da attribuire, per sovrapposizione, ad ogni tipo litologico

Utilizzando la tabella correttiva è stata realizzata una carta tematica che restituisce visivamente la distribuzione dei fattori correttivi:

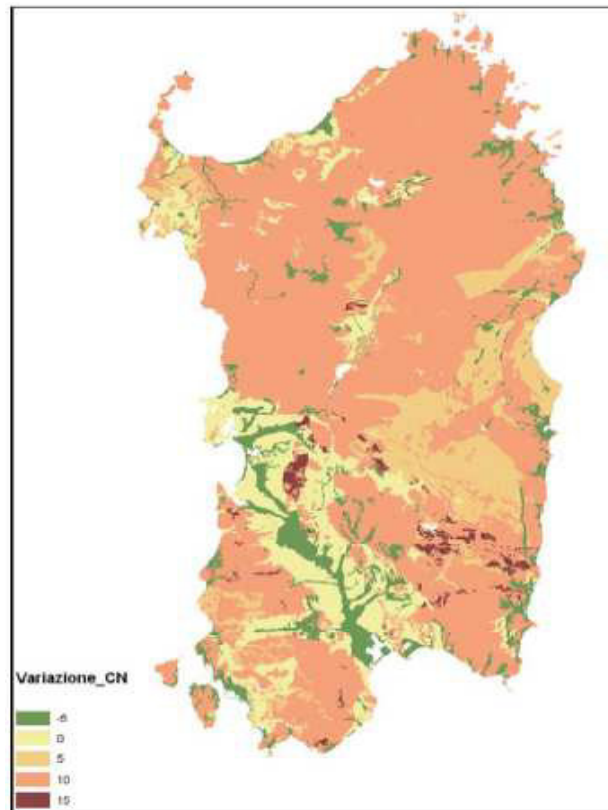


Figura 6 - Carta di variazione del CN derivante dalla stima di permeabilità del terreno desunto dalla carta geologica

In tal modo è stato possibile effettuare la correzione dei valori di Curve Number associati alle caratteristiche di uso del suolo (CORIN) con i fattori di variazione derivati dall'analisi delle informazioni geologiche, il prodotto finale è la Carta del Curve Number per la Regione Sardegna.

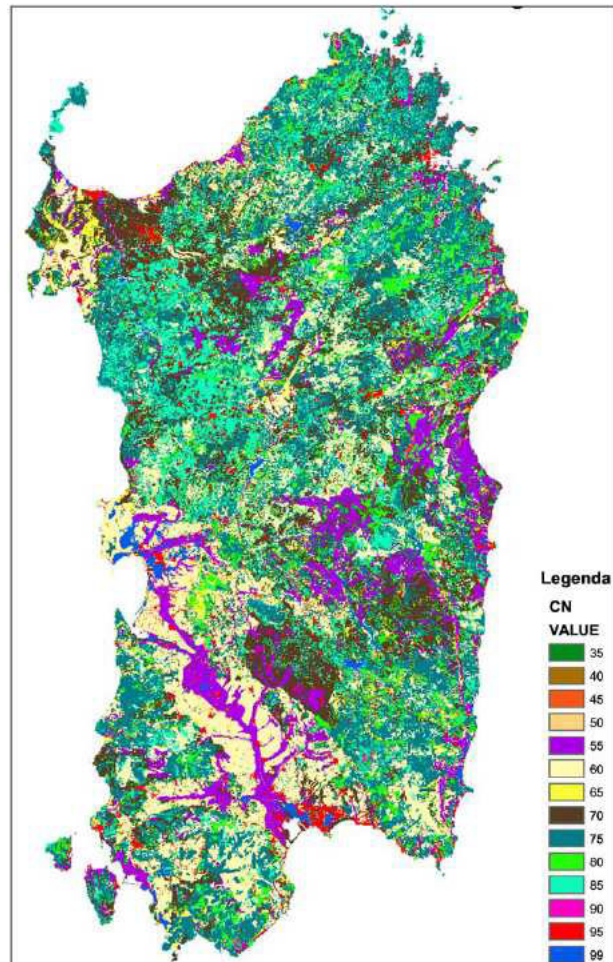


Figura 7 - Carta del CN aggiornata

Infine un ulteriore incremento del CN (che così definito nella procedura rappresenta condizioni medie di umidità del suolo antecedenti all'inizio dell'evento, AMCII) avviene per ogni sottobacino nel valutare elevate le condizioni di umidità antecedenti l'evento (condizione AMCIII).

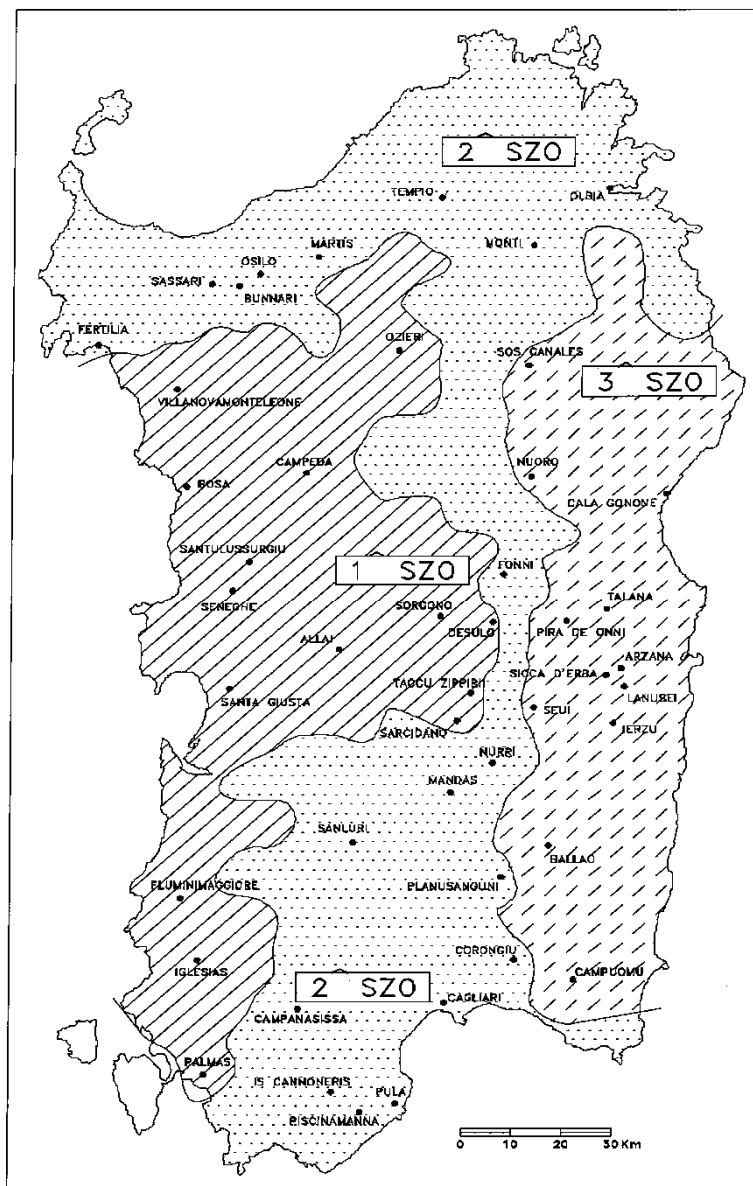


Figura 8 - Carta delle SZO.

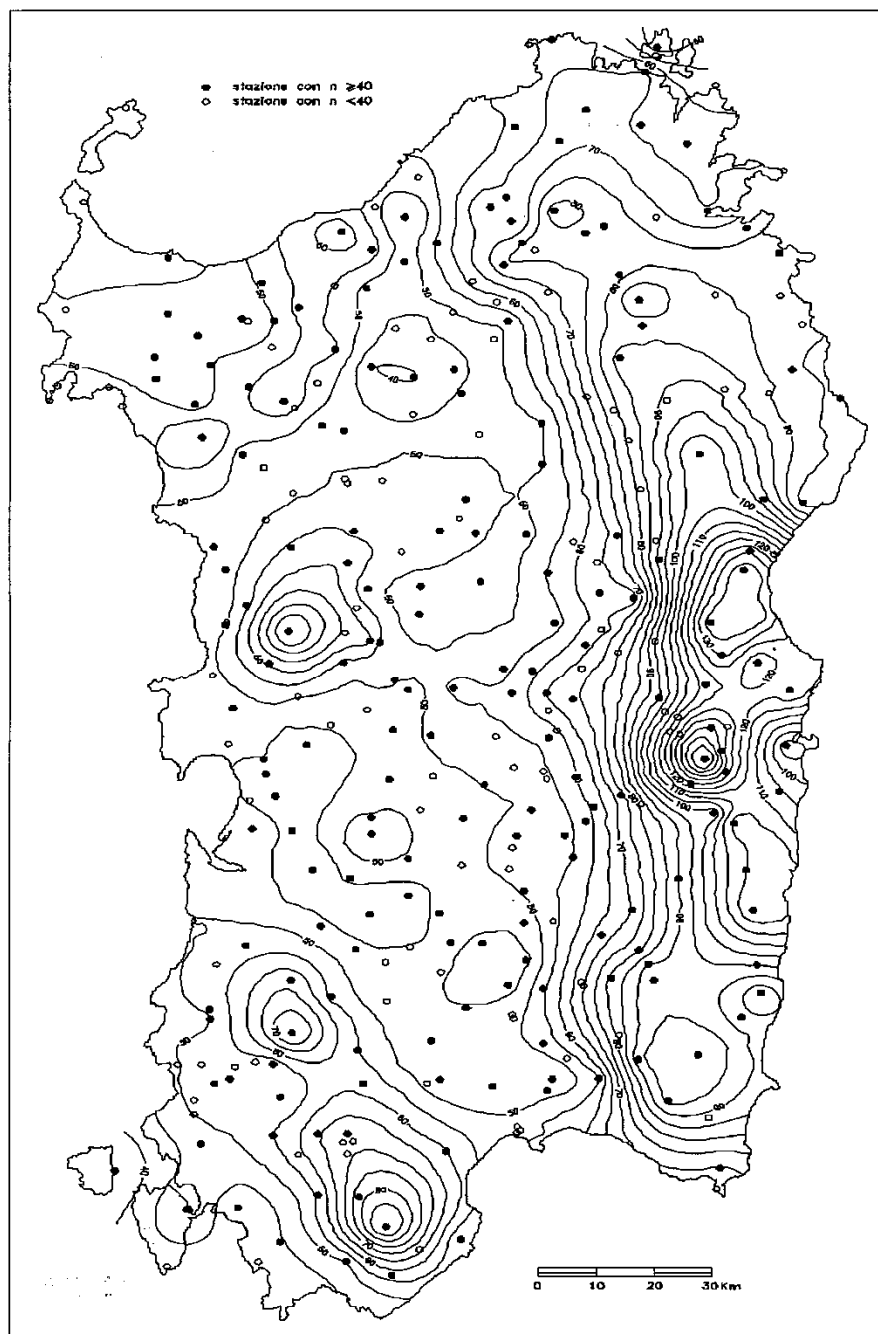


Figura 9 - Carta delle isoiete.

9. MODELLI DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI-DEFLUSSI UTILIZZATI

9.1 Calcolo delle portate meteoriche di piattaforma

Come precedentemente descritto per costruire lo ietogramma della distribuzione della precipitazione è stato utilizzato il metodo “Chicago”.

Nella seguente tabella è indicato lo ietogramma ottenuto con un passo di calcolo pari ad un minuto per l'evento considerato, avente tempo di ritorno di 50 anni, durata complessiva pari a due ore e $r=0.4$.

| Tempo (minuti) | Intensità precipitazione (mm/ora) | Tempo (minuti) | Intensità precipitazione (mm/ora) |
|-------------------|---|-------------------|---|
| 1 | 8.91 | 61 | 26.22 |
| 2 | 9.03 | 62 | 25.00 |
| 3 | 9.15 | 63 | 23.91 |
| 4 | 9.28 | 64 | 22.94 |
| 5 | 9.41 | 65 | 22.07 |
| 6 | 9.55 | 66 | 21.28 |
| 7 | 9.69 | 67 | 20.56 |
| 8 | 9.84 | 68 | 19.90 |
| 9 | 9.99 | 69 | 19.29 |
| 10 | 10.15 | 70 | 18.73 |
| 11 | 10.32 | 71 | 18.21 |
| 12 | 10.49 | 72 | 17.72 |
| 13 | 10.67 | 73 | 17.27 |
| 14 | 10.86 | 74 | 16.85 |
| 15 | 11.06 | 75 | 16.45 |
| 16 | 11.27 | 76 | 16.08 |
| 17 | 11.49 | 77 | 15.73 |
| 18 | 11.73 | 78 | 15.39 |
| 19 | 11.97 | 79 | 15.08 |
| 20 | 12.23 | 80 | 14.78 |
| 21 | 12.50 | 81 | 14.50 |
| 22 | 12.79 | 82 | 14.23 |
| 23 | 13.10 | 83 | 13.97 |
| 24 | 13.43 | 84 | 13.72 |
| 25 | 13.78 | 85 | 13.49 |
| 26 | 14.16 | 86 | 13.26 |
| 27 | 14.57 | 87 | 13.05 |
| 28 | 15.00 | 88 | 12.84 |

| Tempo (minuti) | Intensità precipitazione (mm/ora) | Tempo (minuti) | Intensità precipitazione (mm/ora) |
|---------------------------|--|---------------------------|--|
| 29 | 15.47 | 89 | 12.65 |
| 30 | 15.99 | 90 | 12.46 |
| 31 | 16.55 | 91 | 12.27 |
| 32 | 17.16 | 92 | 12.10 |
| 33 | 17.84 | 93 | 11.93 |
| 34 | 18.60 | 94 | 11.77 |
| 35 | 19.44 | 95 | 11.61 |
| 36 | 20.39 | 96 | 11.46 |
| 37 | 21.47 | 97 | 11.31 |
| 38 | 22.72 | 98 | 11.17 |
| 39 | 24.18 | 99 | 11.03 |
| 40 | 25.91 | 100 | 10.90 |
| 41 | 28.00 | 101 | 10.77 |
| 42 | 30.61 | 102 | 10.64 |
| 43 | 33.96 | 103 | 10.52 |
| 44 | 38.49 | 104 | 10.40 |
| 45 | 45.04 | 105 | 10.29 |
| 46 | 55.67 | 106 | 10.18 |
| 47 | 167.10 | 107 | 10.07 |
| 48 | 167.10 | 108 | 9.96 |
| 49 | 167.10 | 109 | 9.86 |
| 50 | 167.10 | 110 | 9.76 |
| 51 | 167.10 | 111 | 9.66 |
| 52 | 57.91 | 112 | 9.57 |
| 53 | 49.49 | 113 | 9.48 |
| 54 | 43.67 | 114 | 9.39 |
| 55 | 39.35 | 115 | 9.30 |
| 56 | 36.00 | 116 | 9.21 |
| 57 | 33.31 | 117 | 9.13 |
| 58 | 31.09 | 118 | 9.05 |
| 59 | 29.21 | 119 | 8.97 |
| 60 | 27.61 | 120 | 8.89 |

Tabella 9 - - Ietogramma Chicago di progetto

Nella figura seguente è indicato lo ietogramma di progetto utilizzato.

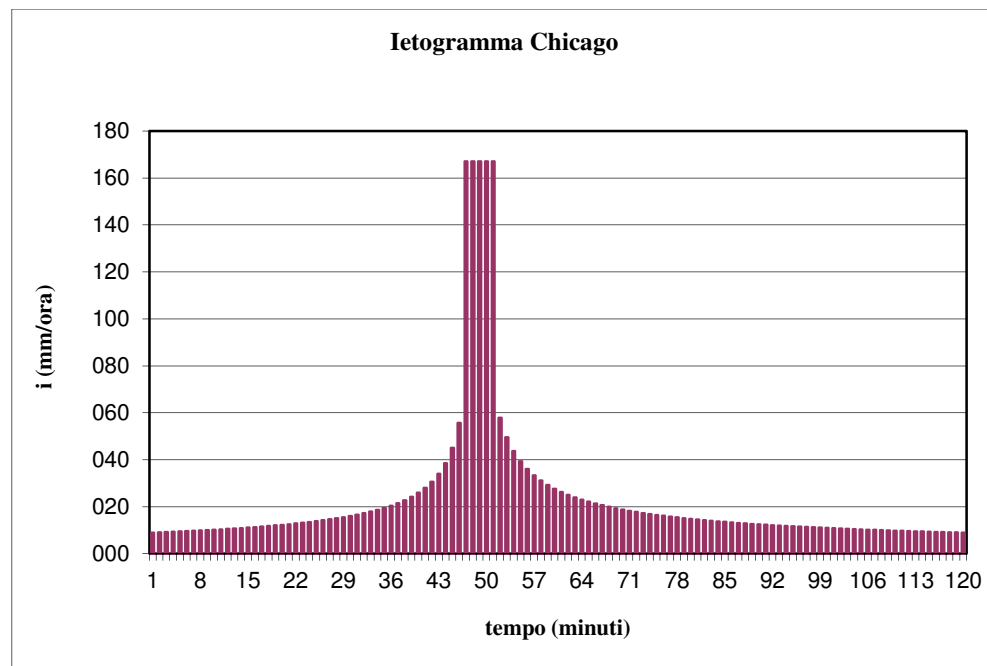


Figura 10 - Ietogramma Chicago di progetto

A partire dalla definizione della precipitazione, i modelli di trasformazione afflussi-deflussi consentono, in generale, la ricostruzione dell'idrogramma di piena in corrispondenza di una qualsiasi sezione di chiusura di un bacino idrografico, naturale o artificiale, sotteso dalla sezione stessa.

Per ognuno dei punti indagati è stato quindi generato un apposito modello di trasformazione afflussi-deflussi al fine di ricavare la forma e la dimensione dell'idrogramma generato dal bacino afferente al punto stesso.

Gli idrogrammi sono stati ricavati secondo la seguente metodologia.

Ammettendo che all'inizio dell'evento il deflusso nella sezione di interesse sia nullo, in un determinato istante t la portata $q(t)$ risulta funzione della pioggia $p(t)$ caduta fino allo stesso istante ed è ricavabile mediante il seguente integrale di convoluzione:

$$q(t) = \int_0^t p(\tau)h(t-\tau)d\tau = \int_0^t p(t-\tau)h(\tau)d\tau$$

La funzione $h(t)$ o idrogramma unitario istantaneo (*IUH*) rappresenta l'idrogramma di piena che si origina nel bacino in occasione di un impulso di durata infinitesima, di intensità infinita e volume unitario. L'*IUH* racchiude in sé le caratteristiche fisiche del bacino che determinano la formazione delle piene. In pratica la stima dell'*IUH* si ottiene con semplici schematizzazioni del comportamento del bacino, attraverso la valutazione dei parametri che definiscono le caratteristiche dell'area in esame.

Nel caso specifico è stato applicato il metodo della corrivazione, il quale schematizza il bacino come un insieme di canali lineari, tali cioè che il percorso ed il tempo di percorrenza dell'acqua da ogni punto del bacino rispetto alla sezione di chiusura siano invarianti, e che i fenomeni di invaso siano trascurabili. Con tale ipotesi il fenomeno è descritto dalla curva aree-tempi, che rappresenta – per ogni istante di tempo inferiore al tempo di corrivazione del bacino – l'area che contribuisce alla formazione dell'idrogramma di piena nella sezione di chiusura.

Tenuto conto del fatto che la piattaforma stradale (che rappresenta la parte di bacino che contribuisce in maniera preponderante alla formazione dell'idrogramma) ha una forma rettangolare molto allungata, è lecito – in questo caso - considerare la suddetta curva aree-tempi come una retta, che quindi risulta completamente definita una volta noto il tempo di corrivazione del bacino (che è il tempo di percorrenza della pioggia caduta sul punto più lontano dalla sezione di chiusura).

In questo caso l'*IUH* assume la forma semplificata (per $t < t_c$):

$$h(t) = \frac{1}{t_c}$$

La funzione $p(t)$ rappresenta l'intensità di precipitazione netta ricavata dallo ietogramma che definisce l'evento pluviometrico di riferimento, depurato dalle perdite di bacino.

La precipitazione netta, ovvero la parte della pioggia che contribuisce alla formazione dell'idrogramma, è stata ricavata a partire dalla precipitazione totale sul bacino, moltiplicando l'altezza di pioggia per il coefficiente di afflusso medio φ .

Detto coefficiente di afflusso è stato ricavato come media pesata dei coefficienti di afflusso attribuiti alle differenti zone del bacino, definiti come:

- $C_p = 0.9$ coefficiente d'afflusso per le superfici asfaltate;
- $C_s = 0.1$ coefficiente d'afflusso per le scarpate adiacenti alla piattaforma stradale con pendenza rivolta verso la piattaforma stessa;
- $C_v = 0.1$ coefficienti d'afflusso per le aree verdi sub-orizzontali al fianco delle piattaforme stradali dalle quali è possibile che si verifichi il deflusso delle acque meteoriche verso le piattaforme stesse e per le scarpate con pendenza rivolta verso le suddette aree verdi.

| <i>Tipologia</i> | <i>Coefficiente</i> |
|---|---------------------|
| Superfici pavimentate (C_p) | 0.9 |
| Scarpate con pendenza verso superfici asfaltate (C_s) | 0.1 |
| Aree a verde (C_v) | 0.1 |

Tabella 10 - Coefficienti di afflusso per tipologia della superficie

Il coefficiente di afflusso medio è quindi stato ricavato attraverso la formula:

$$\varphi = I_p * C_p + I_s * C_s + I_v * C_v$$

dove I_p , I_s , I_v rappresentano, rispettivamente le percentuali di piattaforma stradale, di scarpate e di aree verdi del bacino.

In definitiva, l'espressione utilizzata per il calcolo della intensità di precipitazione, depurata dalle perdite idrologiche, risulta:

$$p(t) = \varphi \cdot \frac{dh(t)}{dt} = \varphi \cdot a \cdot t^{n-1}$$

L'idrogramma di piena è stato ottenuto attraverso una discretizzazione in intervalli di tempo Δt pari a 1 minuto.

Con questa schematizzazione la portata all'istante k-esimo è stata calcolata come:

$$q(t) = \sum_{j=1}^t p(j) \cdot h(k-j+1) \Delta t$$

9.1.1 Risultati della trasformazione afflussi – deflussi

La trasformazione afflussi-deflussi sopra descritta ha fornito, a partire dagli ietogrammi sintetici e in corrispondenza del tempo di ritorno considerato, i risultati indicati nella tabella seguente.

| Tr=50 anni | | | | | | | | | | |
|------------|------------|-------|------|------|----|----------|-------------|----------|-----------|-------------------|
| Bacino | Superficie | L | Hmax | Hmin | Ym | tc | $h_{Tr=50}$ | i | φ | Q |
| | ha | Km | m | m | m | ore | mm | mm/h | | m ³ /s |
| A1 | 18,5 | 0,38 | 470 | 444 | 26 | 0,08677 | 26,54328 | 305,9049 | 0,3 | 4,716033 |
| A2 | 1,9 | 0,041 | 431 | 440 | 9 | 0,009974 | 8,433695 | 845,5766 | 0,3 | 1,33883 |
| B | 6,6 | 0,352 | 470 | 428 | 42 | 0,066037 | 22,96717 | 347,7913 | 0,3 | 1,912852 |
| C | 1,6 | 0,293 | 460 | 440 | 20 | 0,071092 | 23,88269 | 335,9424 | 0,3 | 0,447923 |
| D | 5 | 0,279 | 455 | 440 | 15 | 0,075052 | 24,5788 | 327,4915 | 0,3 | 1,364548 |

Tabella 11 - Riepilogo dei risultati ottenuti per i bacini relativi agli interventi di progetto, con Tr=50 anni

| Tr=100 anni | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|-------|------|------|----|----------|--------------|----------|-----------|-------------------|
| Bacino | Superficie | L | Hmax | Hmin | Ym | tc | $h_{Tr=100}$ | i | φ | Q |
| | ha | Km | m | m | m | ore | mm | mm/h | | m ³ /s |
| A1 | 18,5 | 0,38 | 470 | 444 | 26 | 0,08677 | 12,40951 | 143,0166 | 0,3 | 2,20484 |
| A2 | 1,9 | 0,041 | 431 | 440 | 9 | 0,009974 | 3,388854 | 339,7722 | 0,3 | 0,537973 |
| B | 6,6 | 0,352 | 470 | 428 | 42 | 0,066037 | 10,53433 | 159,5212 | 0,3 | 0,877366 |
| C | 1,6 | 0,293 | 460 | 440 | 20 | 0,071092 | 11,01095 | 154,884 | 0,3 | 0,206512 |
| D | 5 | 0,279 | 455 | 440 | 15 | 0,075052 | 11,37497 | 151,5617 | 0,3 | 0,631507 |

Tabella 12 - Riepilogo dei risultati ottenuti per i bacini relativi agli interventi di progetto, con Tr=100 anni.

| Tr=200 anni | | | | | | | | | | |
|-------------|------------|-------|------|------|----|----------|--------------|----------|-----------|-------------------|
| Bacino | Superficie | L | Hmax | Hmin | Ym | tc | $h_{Tr=200}$ | i | φ | Q |
| | ha | Km | m | m | m | ore | mm | mm/h | | m ³ /s |
| A1 | 18,5 | 0,38 | 470 | 444 | 26 | 0,08677 | 11,75449 | 135,4676 | 0,3 | 2,088459 |
| A2 | 1,9 | 0,041 | 431 | 440 | 9 | 0,009974 | 2,752942 | 276,0146 | 0,3 | 0,437023 |
| B | 6,6 | 0,352 | 470 | 428 | 42 | 0,066037 | 9,786713 | 148,2 | 0,3 | 0,8151 |
| C | 1,6 | 0,293 | 460 | 440 | 20 | 0,071092 | 10,28321 | 144,6473 | 0,3 | 0,192863 |
| D | 5 | 0,279 | 455 | 440 | 15 | 0,075052 | 10,66413 | 142,0905 | 0,3 | 0,592044 |

Tabella 13 - Riepilogo dei risultati ottenuti per i bacini relativi agli interventi di progetto, con Tr=200 anni.

9.2 Calcolo delle portate dei bacini naturali interferenti con il tracciato

9.2.1 Caratteristiche dei bacini naturali individuati

Nell'ambito del tracciato della strada in progetto sono stati individuati i sottobacini più significativi, che interagiscono con essa; per detti bacini, rappresentati nella tavola in allegato, si riportano nelle tabelle seguenti le caratteristiche morfometriche, necessarie per la determinazione della portata al colmo di piena.

| Bacino 5 | | |
|------------------------------|-------|-----|
| Superficie scolante | 178.5 | ha |
| Lunghezza percorso idraulico | 1.6 | Km |
| Quota massima | 583 | m |
| Quota minima | 425 | m |
| Quota media | 470 | m |
| Pendenza | 0.028 | m/m |

Tabella 14 - Caratteristiche morfometriche dei bacini naturali interferenti con il tracciato.

Calcolo del tempo di corrivazione e della portata

Per la stima del tempo di corrivazione si fa riferimento alla formulazione suggerita da M. Giandotti (1933) che prevede di relazionare il suddetto parametro ad una serie di grandezze significative proprie del sottobacino:

$$tc = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_o}}$$

con il seguente significato dei simboli:

t_c tempo di corrivazione in ore;

S l'estensione del sottobacino espressa in km²;

L la lunghezza del percorso dell'acqua all'interno del sottobacino (km);

H_m l'altitudine media del sottobacino in m s.l.m.;

H_o l'altitudine della sezione di chiusura del sottobacino in m s.l.m.

Il calcolo della massima portata al colmo di piena è stato effettuato utilizzando la formula analitica del metodo razionale. Attraverso tale formula è possibile ricavare la portata in funzione di parametri morfometrici del bacino e della pioggia che genera la piena:

$$Q_c = \frac{\varphi 10^6 Ah}{3600\tau_c} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

con il seguente significato dei simboli:

τ_c tempo di corrivazione in ore;

S l'estensione del sottobacino espressa in km²;

h altezza di pioggia espressa in m;

φ coefficiente di afflusso.

Per ciascun bacino il calcolo della portata di piena è stato effettuato in corrispondenza degli attraversamenti stradali dei corsi d'acqua.

Il calcolo è stato realizzato per differenti tempi di ritorno T_r rispettivamente di 50, 100 e 200.

Di seguito si riportano i valori delle portate ottenuti per ciascun bacino con riferimento ai differenti tempi di ritorno.

| <i>Bacino</i> | <i>Q_{max} 50anni (m³/sec)</i> | <i>Q_{max} 100anni (m³/sec)</i> | <i>Q_{max} 200anni (m³/sec)</i> |
|---------------|---|--|--|
| 5 | 16.19 | 9.21 | 10.6 |

Tabella 15 - Risultati del calcolo delle portate per T_r pari a 50, 100, 200 anni.

10. VERIFICHE IDRAULICHE DELLA RETE IDROGRAFICA SUPERFICIALE

10.1 Modalità del deflusso di piena

Considerato che non si è in presenza di elementi particolarmente vulnerabili (ospedali, centrali) in prossimità di attraversamenti e non essendo necessaria una valutazione della capacità di laminazione del corso d'acqua, lo schema di calcolo utilizzato per la determinazione del profilo idrico della corrente è quello di moto uniforme (portata costante e geometria costante).

L'analisi di moto uniforme è stata condotta con l'equazione di Gauckler-Strickler che permette di determinare l'altezza idrica h e, quindi, la scala di deflusso, delle sezioni trasversali ipotizzate costanti nello sviluppo della loro relativa geometria. L'espressione utilizzata è la seguente:

$$V = K_s R_h^{2/3} \sqrt{i}$$

dove:

$V = Q/A$ è la velocità media in moto uniforme in m/s;

Q = portata in m³/s;

A = sezione dell'area liquida in m²;

K_s = coefficiente di scabrezza di Strickler in m^{1/3}/s;

i = pendenza del fondo;

R_h = raggio idraulico in m;

Si è voluto ricostruire, per le portate legate ai vari tempi di ritorno in precedenza individuati, le altezze del pelo libero sulle sezioni trasversali in corrispondenza dei viadotti al fine di osservare l'interazione fiume-tracciato stradale di progetto in modo da poterle mitigare, proteggendo le strutture da fenomeni di scalzamento o, ipotesi limite, modificando l'andamento planimetrico o le livellette del tracciato stesso.

Per ciascuna sezione verificata è stata inoltre sommata al valore di portata di piena sopra descritto, la portata raccolta lungo il tratto della piattaforma stradale e dei relativi

bacini limitrofi, che secondo il presente progetto, è previsto vengano scaricate in corrispondenza dei viadotti.

10.2 Risultati delle verifiche condotte

Il codice di calcolo adottato ha portato alla stima delle portate di punta per ciascuno dei bacini che interferisce con l'opera di progetto, in funzione di scrosci aventi tempo di ritorno T_r pari a 50 anni.

Per evidenziare i parametri funzionali e poter conseguentemente verificare le capacità di smaltimento dei canali di sgrondo/condotte sono state utilizzate le relazioni analitiche legate al deflusso idraulico a moto uniforme (vedi paragrafo 9.1).

Le tipologie di opere adottate in relazione alle caratteristiche del tracciato sono:

- fossi in terra di sgrondo con dimensioni di fondo alveo pari a 0.5m e pendenza delle sponde a 45°;
- collettore DN 400;

Nella tabella seguente sono riportati le portate e i recapiti della rete di drenaggio in esame.

| TRATTO IN DX | ELEMENTI | Largh | L | S | S | τ | h_{50} | i | φ | Q | PEND. LONG | RECAPITO |
|---------------------|--------------------|-------|--------|----------------|----------|--------|----------|---------|-----------|-------------------|------------|--|
| | | m | m | m ² | ha | ore | mm | mm/h | | m ³ /s | % | |
| 0+725 - 0+743,4 | Collettore + Fosso | 15,6 | 18,4 | 287,04 | 0,028704 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,014833 | 1,28 | Tombino circolare DN400 Progr: 0+060,097 |
| 0+744 - 0+779 | Fosso + Cunette | 16,11 | 35 | 563,85 | 0,056385 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,029137 | 1,28 | Tombino circolare DN600 Progr: 0+786,48 |
| 0+783,5 - 0+842,37 | Fosso | 16,2 | 58,87 | 953,694 | 0,095369 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,049283 | 1,28 | Tombino circolare DN600 Progr: 0+786,48 |
| 0+842,37 - 0+957,09 | Fosso | 11,5 | 114,72 | 1319,28 | 0,131928 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,068175 | 1,74 | Tombino circolare DN600 Progr: 0+957,09 |
| 0+957,09 - 1+100 | Fosso | 10,9 | 142,91 | 1557,719 | 0,155772 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,080496 | 2,59 | Tombino circolare DN600 Progr: 0+957,09 |
| 1+100 - 1+300 | Fosso | 13,6 | 200 | 2720 | 0,272 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,140558 | 3,5 | Fosso in corrispondenza del ponticello esistente. Progr: 1+300 |

Tabella 16 - Portate e recapiti della rete di drenaggio in esame; Tratto in dx.

| TRATTO IN SX | ELEMENTI | Largh | L | S | S | τ | h_{50} | i | φ | Q | PEND. LONG | RECAPITO |
|----------------------|--------------------|-------|--------|----------------|----------|--------|----------|---------|-----------|-------------------|------------|--|
| | | m | m | m ² | ha | ore | mm | mm/h | | m ³ /s | % | |
| 0+822,745 - 0+957,09 | Collettore + Fosso | 11,96 | 134,3 | 1606,228 | 0,160623 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,083003 | 1,67 | Tombino circolare DN600 Progr: 0+957,09 |
| 1+284,95 - 1+387,3 | Fosso | 11,5 | 102,35 | 1177,025 | 0,117703 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,060823 | 2,27 | Fosso in corrispondenza del ponticello esistente. Progr: 1+275 |
| 1+387,3 - 1+450 | Fosso | 9,56 | 62,7 | 599,412 | 0,059941 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,030975 | 0,62 | Tombino scatolare 2,00 x 2,00 m Progr: 1+543,83 |
| 1+450 - 1+543,83 | Fosso | 9,5 | 93,83 | 891,385 | 0,089139 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,046063 | 0,95 | Tombino scatolare 2,00 x 2,00 m Progr: 1+543,84 |
| 1+543,83 - 1+700 | Fosso | 9,5 | 156,17 | 1483,615 | 0,148362 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,076667 | 2,53 | Tombino scatolare 2,00 x 2,00 m Progr: 1+543,85 |
| 1+700 - 1+725 | Fosso | 9,5 | 25 | 237,5 | 0,02375 | 0,25 | 46,508 | 186,032 | 1 | 0,012273 | 2,62 | Fosso presente nel lotto 2 Tratto 1 |

Tabella 17 - Portate e recapiti della rete di drenaggio in esame; tratto in sx.

11. VERIFICHE DEI MANUFATTI DI ATTRAVERSAMENTO E DI SCARICO DELLE PORTATE STRADALI.

Nella presente fase di progettazione si è provveduto alla verifica di ciascuna sezione scatolare posta in corrispondenza dei punti di intersezione con il tracciato stradale.

Tali manufatti rappresentano a seconda dell'ubicazione lungo il tracciato stradale di progetto:

- unicamente un'opera che consente di garantire il naturale andamento dei corsi d'acqua esistenti;
- il punto finale di recapito e conseguente scarico delle acque meteoriche raccolte lungo la piattaforma stradale;
- sia un'opera di attraversamento che di recapito delle acque superficiali.

Per semplicità di calcolo è stata adottata una forma dell'idraulica classica ipotizzando che la corrente attraversi il corso d'acqua in regime di moto uniforme.

La sezione adottata è uno scatolare di dimensioni standard 2mx2m, la quale consente di garantire un opportuno franco di sicurezza.

Nei paragrafi seguenti vengono riportati i risultati delle verifiche condotte adottando la sezione indicata.

11.1 Sezione di chiusura del Bacino 5

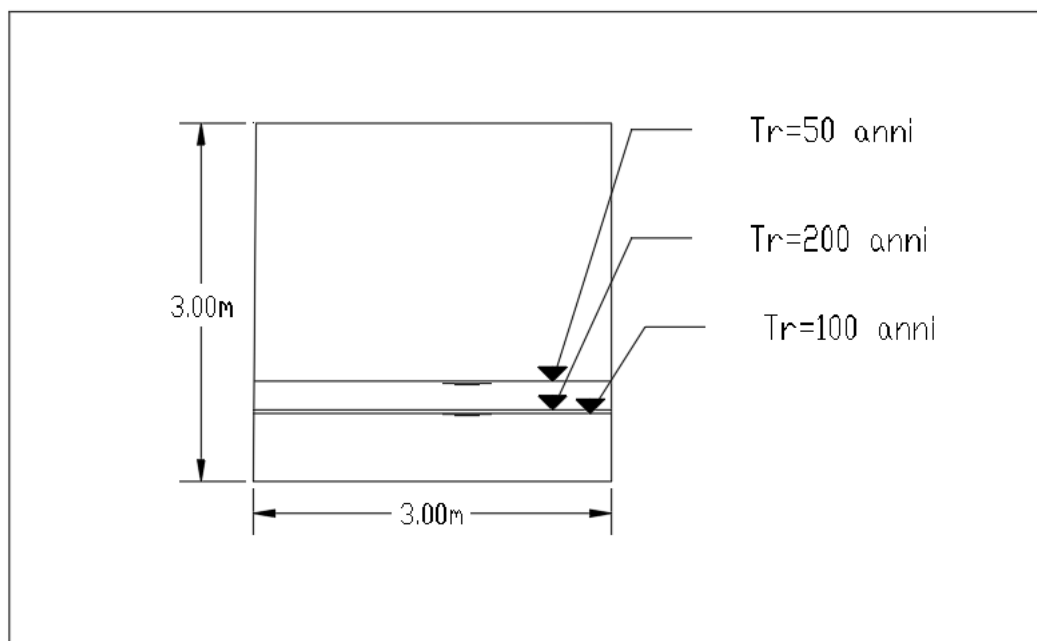


Figura 11 - Luce di attraversamento del bacino 5

(Progr. I+285)

| | Tr=50 anni | Tr=100 anni | Tr=200 anni |
|----------------------------------|------------|-------------|-------------|
| Altezza pelo libero (m) | 0.84 | 0.57 | 0.60 |
| Area (m²) | 2.52 | 1.71 | 1.8 |
| Pendenza (%) | 0.015 | 0.015 | 0.015 |
| K_s | 80 | 80 | 80 |
| velocità (m/s) | 6.48 | 5.43 | 5.57 |
| Portata (m³/s) | 16.19 | 9.21 | 10.66 |

11.2 Sezione di chiusura del Bacino B

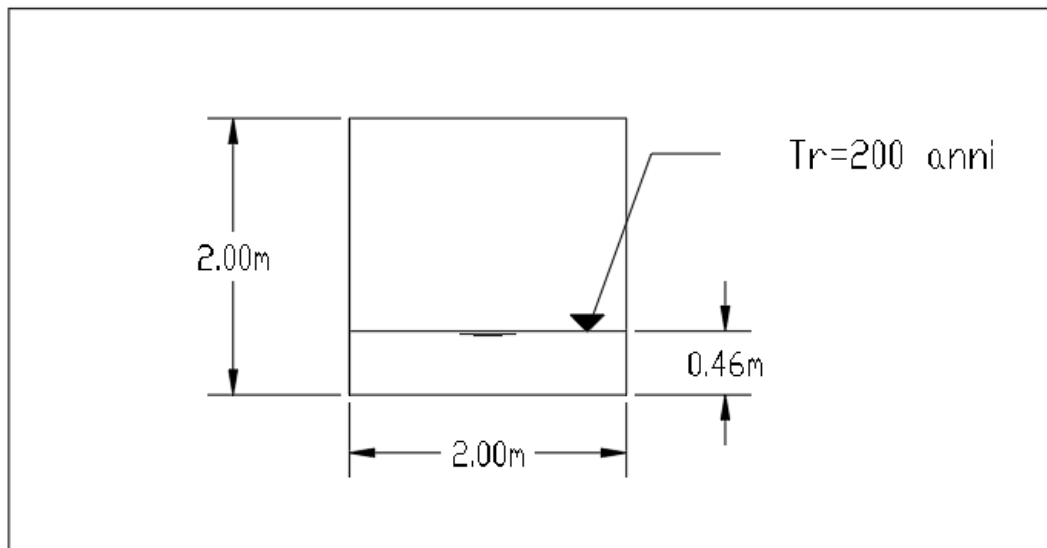


Figura 12 - Luce di attraversamento del bacino B

(Progr. I+544)

| | Tr=200 anni |
|-----------------------------|-------------|
| Altezza pelo libero (m) | 0.45 |
| Area (m ²) | 0.9 |
| Pendenza (%) | 0.10 |
| K _s | 80 |
| velocità (m/s) | 1.17 |
| Portata (m ³ /s) | 1.04 |