



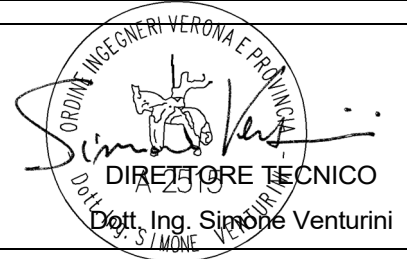
**PROGETTAZIONE DEFINITIVA E STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE
PER RICHIESTA DI AUTORIZZAZIONE UNICA
DELL'IMPIANTO AGRIVOLTAICO DA 40 MW
IN ZONA INDUSTRIALE DI PRATO SARDO NEL COMUNE DI NUORO (NU)**

PROGETTO DEFINITIVO

**NUORO
SOLAR**

COMMITTENTE:

PROGETTISTA:



TITOLO ELABORATO:

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA


ELABORATO n°:
BI029F-D-NUO-RT-02-r00

NOME FILE:

SCALA: ----

DATA: Giugno 2023

| REVISIONE | N. | DATA | DESCRIZIONE | ELABORATO | CONTROLLATO | APPROVATO |
|-----------|----|------|-------------|-----------------|-------------|-----------|
| | 00 | | Giugno 2023 | Prima Emissione | G. Massera | M. Sandri |
| 01 | | | | | | |
| 02 | | | | | | |
| 03 | | | | | | |
| 04 | | | | | | |


| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 1 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

SOMMARIO

| | |
|--|----|
| 1. Premessa | 3 |
| 2. Metodologia | 5 |
| 3. Analisi idrologica..... | 6 |
| 3.1. <i>Morfometria dei bacini idrografici afferenti alle opere di attraversamento</i> | 6 |
| 3.2. <i>Stima della massima precipitazione</i> | 8 |
| 3.2.1. Metodo Regionalizzato | 8 |
| 3.3. <i>Durata di precipitazione critica</i> | 14 |
| 3.4. <i>Calcolo delle portate di progetto</i> | 17 |
| 4. Analisi idraulica..... | 19 |
| 4.1. <i>Invarianza idraulica</i> | 19 |
| 4.2. <i>Verifica idraulica degli attraversamenti</i> | 19 |
| 4.2.1. Attraversamento con tombino circolare Ø1500 | 20 |
| 4.2.2. Attraversamento con tombino scatolare 2x2 m | 21 |
| 5. Conclusioni | 22 |


INDICE DELLE FIGURE

| | |
|--|----|
| Figura 1-1: Planimetria generale di progetto | 4 |
| Figura 3-1: Inquadramento dei n.6 bacini idrografici afferenti alle opere di attraversamento idraulico | 7 |
| Figura 3-2 – Suddivisione delle sottozone omogenee della Regione Sardegna secondo il modello TCEV (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio)..... | 12 |
| Figura 3-3 – Carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera espressa in [mm] (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio)..... | 12 |
| Figura 3-4: Dettaglio della carta delle sottozone omogenee della Regione Sardegna secondo il modello TCEV (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio)..... | 13 |
| Figura 3-5: Dettaglio della carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera espressa in [mm] (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio) | 13 |
| Figura 3-6: Curva di Possibilità Pluviometrica per Tr=200 anni riferita ai bacini oggetto di studio . | 14 |
| Figura 3-7: Inquadramento dei bacini idrografici oggetto di studio e mappa d'uso del suolo secondo il Corine Land Use (2018) | 18 |
| Figura 4-1 – Verifica tombino circolare Ø1500 | 20 |
| Figura 4-2 – Verifica tombino scatolare 2x2 m | 21 |

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 2 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

INDICE DELLE TABELLE

| | |
|---|----|
| Tabella 3-1: Parametri morfometrici calcolati per i n.6 bacini considerati..... | 7 |
| Tabella 3-2: Valori della Curva di Possibilità Pluviometrica per Tr=200 anni riferita ai bacini oggetto di studio | 14 |
| Tabella 3-3: Tempi di corrivazione calcolati in riferimento ai bacini oggetto di studio | 16 |
| Tabella 3-4: Valori ottenuti dall'applicazione delle formule considerate per il calcolo del tempo di corrivazione | 16 |
| Tabella 3-5: Valori dei tempi di corrivazione scelti per i bacini oggetto di studio | 17 |
| Tabella 3-6: Valori delle portate di progetto calcolate con il metodo razionale per i bacini oggetto di studio | 18 |
| Tabella 5-1: Valori dei tempi di corrivazione scelti per i bacini oggetto di studio | 22 |

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: B1029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 3 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

1. PREMESSA

Il progetto in esame è relativo alla realizzazione e messa in esercizio di un impianto agrivoltaico, ovvero un sistema innovativo in cui si implementano la produzione di energia mediante fonti rinnovabili (solare) e la produzione agricola per la generazione di energia elettrica, comprensivo delle opere di connessione, nel territorio comunale di Nuoro (NU) in Sardegna, in prossimità della zona industriale “Prato Sardo”, per una potenza nominale installata pari a circa 42 MWp DC ed una potenza in immissione pari a circa 37 MW AC, con rapporto DC/AC di circa 1,15.

L’energia elettrica sarà prodotta da moduli fotovoltaici bifacciali montati su strutture ad inseguimento mono assiale in acciaio. L’impianto sarà installato in parte in area di tipo industriale che permette un raffittimento delle strutture ad inseguimento e in parte in area di tipo agricolo. Tutta l’energia elettrica prodotta, al netto dei consumi dei servizi ausiliari, verrà ceduta alla rete.

La stessa energia sarà raccolta all’interno dell’area d’impianto attraverso una rete diffusa di cavi interrati in media tensione da 30kV, collegati alla sottostazione elettrica lato utente, posizionata vicino alla stazione di e-distribuzione da 30/150 kV.


La progettazione dell’opera è stata sviluppata tenendo in considerazione una serie di criteri sociali, ambientali e territoriali, che hanno permesso di valutare gli effetti della pianificazione elettrica nell’ambito territoriale considerato nel pieno rispetto degli obiettivi della salvaguardia, tutela e miglioramento della qualità dell’ambiente, della protezione della salute umana e dell’utilizzazione accorta e razionale delle risorse naturali.

L’energia elettrica prodotta dall’impianto concorrerà al raggiungimento dell’obiettivo di incrementare la produzione di energia elettrica da fonti rinnovabili, coerentemente con gli accordi siglati a livello comunitario dall’Italia.

L’impianto è stato studiato e progettato comparando le esigenze della pubblica utilità delle opere con gli interessi pubblici e privati coinvolti, cercando in particolare di:

- minimizzare l’interferenza con le zone di pregio ambientale, naturalistico, paesaggistico e archeologico;
- evitare, per quanto possibile, l’interessamento di aree urbanizzate o di sviluppo urbanistico;
- minimizzare l’interessamento di aree soggette a dissesto geomorfologico;
- assicurare la continuità del servizio, la sicurezza e l’affidabilità della fornitura di energia;
- permettere il regolare esercizio e la manutenzione dell’impianto.

L’obbiettivo del progetto è quello di creare un sistema in cui l’attività agricola non solo si integra nel sistema di produzione di energia elettrica, ma che l’impianto nel suo insieme si integri

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 4 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

perfettamente con l'ambiente dal punto di vista paesaggistico. Il fine è pertanto quello di creare un contesto armonioso con la natura e l'ambiente ospitante.

Ciò consente di preservare per l'area agricola, la continuità delle attività di coltivazione agricola e pastorale sul sito di installazione, garantendo, al contempo, una buona produzione energetica da fonti rinnovabili, mentre per l'area industriale, massimizzare la produzione annua. Anche il piano culturale è stato appositamente studiato considerando non solo la situazione preesistente e le annesse culture, ma anche integrando soluzioni agricole e di allevamento ad hoc che si inseriscono perfettamente nel contesto rurale, apportando valore aggiunto e migliore destinazione di uso delle aree. In questo contesto lo studio degli spazi di manovra per le macchine agricole è stato realizzato considerando le esigenze tipiche del mondo agricolo e nel rispetto della morfologia del territorio, oltre che alle esigenze legate alle manutenzioni e gestioni dell'impianto fotovoltaico.

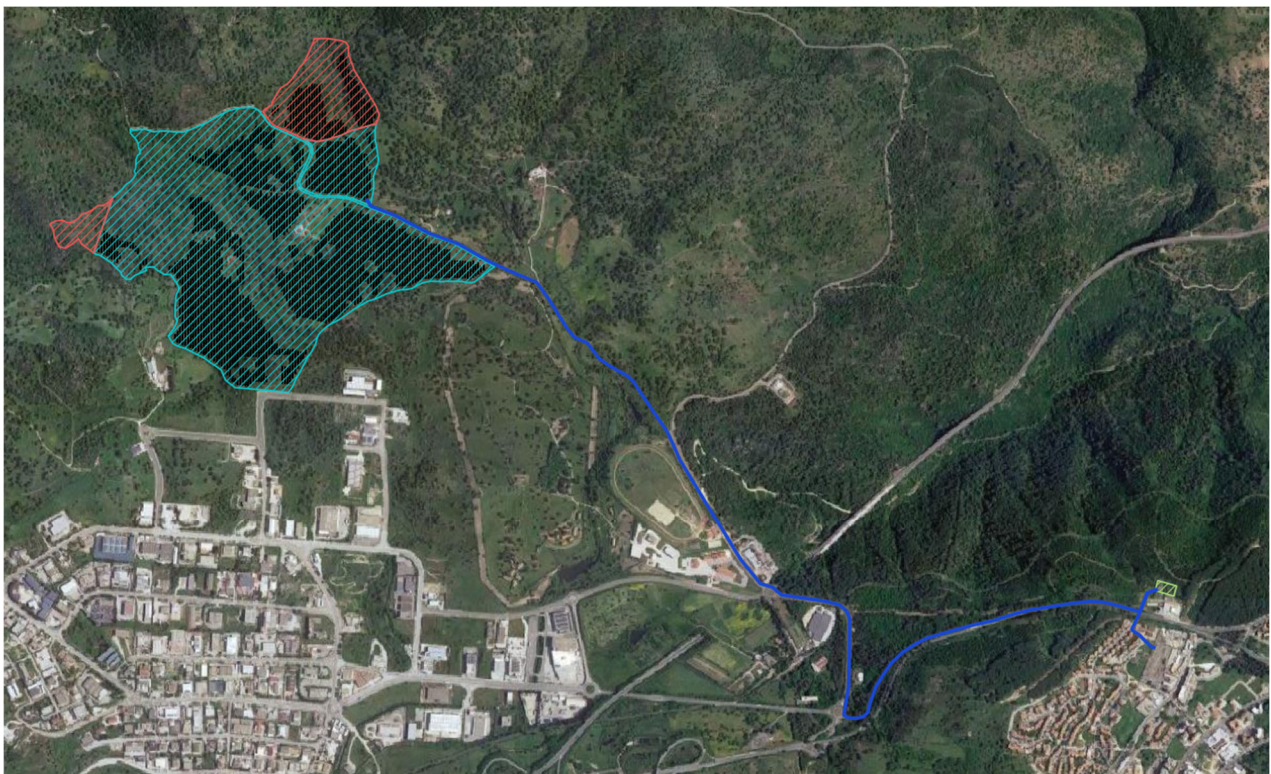



Figura 1-1: Planimetria generale di progetto

Nella presente relazione idrologico-idraulica si descrivono i procedimenti di calcolo utilizzati per la definizione delle portate di piena di progetto dei corsi d'acqua che vengono intercettati dalle piste di servizio da realizzarsi all'interno dell'impianto agrivoltaico in progetto, al fine di dimensionare opportunamente le opere per la gestione delle acque meteoriche e di attraversamento idraulico.

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: B1029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 5 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

2. METODOLOGIA

La presente relazione si suddivide nell'analisi idrologica dei corsi d'acqua che afferiscono alle aree di progetto e la successiva analisi idraulica per il dimensionamento delle opere di attraversamento idraulico delle piste di servizio.

L'analisi idrologica è articolata in:


- studio degli eventi meteorici estremi secondo il metodo VAPI Sardegna (TCEV) per la determinazione della precipitazione con assegnato periodo di ritorno;
- trasformazione afflussi-deflussi secondo il metodo razionale delle portate al colmo di progetto in corrispondenza degli attraversamenti idraulici.

Per lo svolgimento dell'analisi idrologica e il calcolo delle portate di piena sono stati utilizzati gli strumenti di pianificazione territoriale e idraulica emessi dalla Regione Sardegna. Tra questi, in particolare, si è fatto riferimento al Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA), al Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) regionale e al Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF), che costituiscono un riferimento primario per la trattazione di analisi idrologiche e idrauliche nella Regione Sardegna.

Successivamente, le portate vengono utilizzate nell'analisi idraulica per il calcolo dei tiranti idraulici di progetto all'interno delle opere di attraversamento idraulico al fine di rispettare la normativa vigente. Il riferimento normativo più rilevante ai fini di questa analisi è la Normativa Tecnica per le Costruzioni (NTC) 2018, e in particolare il capitolo 5, dove vengono elencate le prescrizioni riguardanti i ponti stradali e gli attraversamenti in genere, tra i quali quelli oggetto del presente studio e che nella normativa vengono definiti come "Tombini". Nel paragrafo "C5.1.2.3 Compatibilità idraulica" viene indicato che:

- l'evento da assumere a base del progetto di un tombino ha tempo di ritorno uguale a quello da assumere per i ponti (vale a dire evento con tempo di ritorno $T_r = 200$ anni);
- nel caso di funzionamento a superficie libera, il tirante idrico non dovrà superare i $2/3$ dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0,50 m.

Tali prescrizioni verranno utilizzate per il dimensionamento e la verifica delle opere di attraversamento.

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 6 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

3. ANALISI IDROLOGICA

I corsi d'acqua oggetto di studio sono i rami montani e sorgentizi del cosiddetto "riu Mannu 012", denominazione che viene assegnata a tale affluente di sinistra del fiume Tirso nella Relazione Monografica del PSFF. Nel seguito vengono descritte le caratteristiche morfometriche dei bacini idrografici afferenti alle opere di attraversamento, i procedimenti e metodi di calcolo per la determinazione della massima precipitazione ed il metodo per il calcolo delle portate di progetto.

3.1. Morfometria dei bacini idrografici afferenti alle opere di attraversamento

Sono stati definiti n.6 bacini idrografici relativi ai corsi d'acqua che afferiscono alle opere di attraversamento idraulico delle strade di servizio in progetto, definendo la sezione dell'attraversamento come sezione di chiusura del bacino (Figura 3-1). Tali corsi d'acqua scorrono lungo le pendici del monte su cui sono visibili i resti del Nuraghe s'Abba Viva, a monte dell'area industriale di Prato Sardo, presso Nuoro, e confluiscono poco più a valle delle aree oggetto di studio in un'unica asta, vale a dire il riu Mannu 012.

Si sottolinea che le aste fluviali principali considerate in questa analisi sono in realtà 3; tuttavia, sono stati distinti più bacini idrografici in funzione delle sezioni di attraversamento idraulico e, di conseguenza, in alcuni casi la medesima asta incontra più attraversamenti in serie. In particolare:

- Il bacino 3 include il 4 e l'asta principale è la stessa per entrambi; il bacino 3 ha una superficie maggiore del 4, determinata dalla posizione poco più a valle della sezione di chiusura;
- Il bacino 1 include il 2, 5, 6; l'asta principale è la stessa per l'1 ed il 2 ed il bacino 1 ha una superficie maggiore del 2, determinata dalla posizione più a valle della sezione di chiusura; i bacini 5 e 6 hanno invece un'asta principale che risulta secondaria per il bacino 1.

La determinazione dei parametri morfometrici dei bacini, riportati nella Tabella 3-1 seguente, è stata condotta mediante tecniche di analisi geospaziale con il supporto del software QGIS 3.16. Per tale analisi è stato impiegato il modello Digitale del Terreno (DTM) con passo 10 m (reperibile presso il Geoportale della Regione Sardegna). Tali parametri morfometrici includono le aree, le principali quote e le pendenze dei bacini, la lunghezza, le principali quote e le pendenze delle aste principali e i valori del Curve Number ("CN", ottenuto a partire dalla mappatura disponibile sul Geoportale della Regione Sardegna), parametro che descrive la capacità d'infiltrazione della precipitazione nel suolo. Grazie a tali valori sarà possibile in seguito

calcolare i tempi di corrivazione dei bacini, per procedere successivamente al calcolo delle portate di progetto.

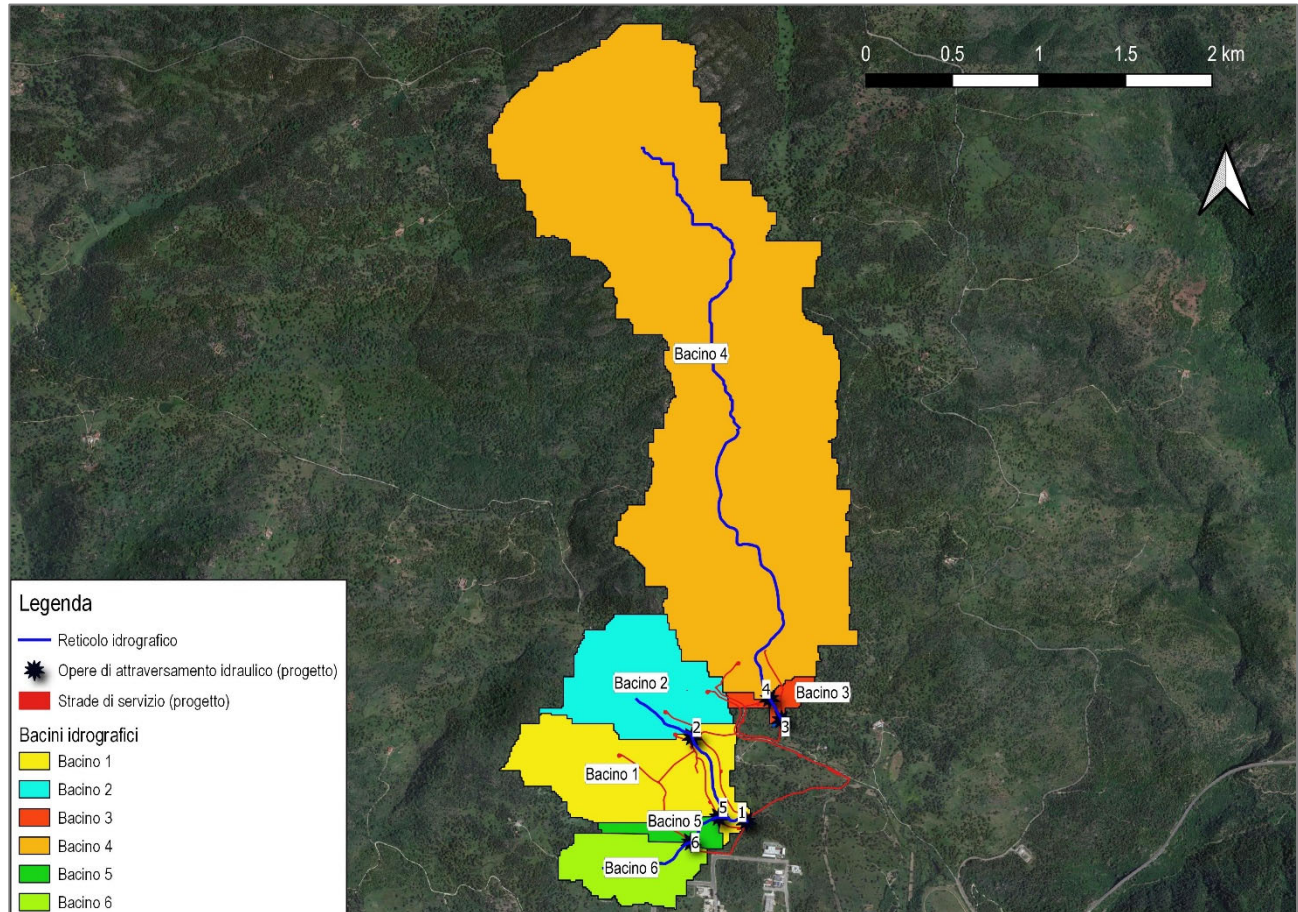



Figura 3-1: Inquadramento dei n.6 bacini idrografici afferenti alle opere di attraversamento idraulico

Tabella 3-1: Parametri morfometrici calcolati per i n.6 bacini considerati

| Parametro morfometrico | Unità di misura | Bacino 1 | Bacino 2 | Bacino 3 | Bacino 4 | Bacino 5 | Bacino 6 |
|---|-----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Superficie – S | km ² | 1.50 | 0.50 | 4.23 | 4.17 | 0.35 | 0.27 |
| Lunghezza asta principale – L _a | km | 1.49 | 0.8 | 4.92 | 4.77 | 0.87 | 0.64 |
| Quota max asta principale – Z _{max} | m s.m.m. | 602.74 | 602.74 | 803.2 | 803.2 | 530 | 530 |
| Quota min – Z _{min} | m s.m.m. | 479.14 | 514.90 | 510.00 | 520.00 | 485.19 | 492.16 |
| Quota max bacino – H _{max} | m s.m.m. | 685.96 | 685.96 | 827.39 | 827.39 | 563.77 | 561.41 |
| Quota media bacino – H _m | m s.m.m. | 560.53 | 595.90 | 678.22 | 680.28 | 523.83 | 528.09 |
| Quota min bacino – H _{min} | m s.m.m. | 479.14 | 514.90 | 510.00 | 520.00 | 485.19 | 492.16 |
| Pendenza media asta principale – i _a | % | 8.30 | 10.98 | 5.96 | 5.94 | 5.15 | 5.91 |
| Pendenza media bacino – i _b | % | 17.98 | 21.60 | 19.75 | 19.87 | 12.05 | 12.06 |
| CNII medio bacino (standard) – CNII | - | 73.30 | 70.03 | 73.17 | 73.17 | 76.72 | 77.13 |
| CNII medio bacino (asciutto) – CNII | - | 53.56 | 49.53 | 53.39 | 53.39 | 58.06 | 58.61 |
| CNIII medio bacino (umido) – CNIII | - | 86.33 | 84.31 | 86.25 | 86.25 | 88.34 | 88.58 |

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 8 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

3.2. Stima della massima precipitazione

Nel presente paragrafo si illustra il metodo per la stima della precipitazione lorda specifica per i bacini in esame, attraverso l'applicazione del metodo regionalizzato del VAPI Sardegna.

3.2.1. Metodo Regionalizzato

La stima delle massime precipitazioni nella Regione Sardegna è condotta con il metodo VAPI della regionalizzazione. Tale metodo può avvalersi dei modelli TCEV, ossia modelli basati sulla definizione di regioni omogenee.

Il modello probabilistico TCEV è fondato sull'ipotesi che i valori estremi della grandezza idrologica considerata provengano da due differenti popolazioni di variabili aleatorie, originate da fenomeni meteorici diversi. La prima popolazione comprende gli eventi ordinari più frequenti e meno intensi e costituisce lo componente di base mentre la seconda raccoglie gli eventi più rilevanti e rari e costituisce la componente straordinaria. I due differenti meccanismi climatici sono interpretati con un unico processo di tipo poissoniano nel quale la distribuzione probabilistica del massimo valore annuo è esprimibile mediante la relazione:

$$F(x) = e^{-\lambda_1 e^{-x\eta/\mu} - \lambda^* \lambda_1^{1/\theta^*} e^{-x\eta/\mu\theta^*}}$$

In questa espressione, $F(x)$ rappresenta la probabilità che l'altezza di pioggia massima annua abbia un valore pari o inferiore ad x ed è legata al tempo di ritorno Tr espresso in anni dalle relazioni:

$$F(x) = 1 - 1/Tr$$

$$Tr = 1/(1 - F(x))$$

, mentre λ^* , θ^* , λ_1 e μ sono i quattro parametri della distribuzione.


Dai primi due parametri λ^* e θ^* , dipende il valore del coefficiente di asimmetria della distribuzione, dal terzo parametro λ_1 oltre che dai primi due, dipende il valore del coefficiente di variazione mentre il quarto parametro μ , chiamato anche pioggia indice, rappresenta la media della distribuzione. La grandezza η che compare nella relazione di cui sopra è una funzione nota di λ^* , θ^* , λ_1 e la sua espressione risulta:

$$\eta = (\ln\lambda_1 + 0.5772) - \sum_i [(-1)^i (\lambda^*)^i \Gamma(i/\theta^*)]/i!$$

, dove Γ è la funzione Gamma.

Introducendo la variabile ridotta $x' = x/\mu$, pari al rapporto tra la variabile originaria e la sua media, la relazione della distribuzione probabilistica assume la forma:

$$F(x) = e^{-\lambda_1 e^{-x'\eta} - \lambda^* \lambda_1^{1/\theta^*} e^{-x'\eta/\theta^*}}$$

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|--------|
|  REGIONE SARDEGNA | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 9 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

nota col nome di curva di crescita. Pertanto, due siti nei quali si possano assumere valori uguali dei parametri λ^* , θ^* , λ_1 saranno contraddistinti da una medesima curva di crescita e conseguentemente le altezze di pioggia di pari tempo di ritorno staranno tra loro nella stessa proporzione delle rispettive medie.

Per la stima dei parametri della distribuzione viene usualmente adottata una procedura di tipo gerarchico. Essa procede attraverso tre successivi livelli di regionalizzazione nel primo dei quali viene ripartito il territorio in esame in una o più Zone Omogenee (ZO) contraddistinte ognuno da valori costanti dei due parametri di λ^* , θ^* , e quindi del coefficiente d'asimmetria. Al secondo livello di regionalizzazione il territorio viene ulteriormente ripartito in Sottozone Omogenee (SZO) con valori costanti del parametro λ_1 e quindi del coefficiente di variazione, mentre al terzo livello vengono stimati in ogni punto del territorio i valori della pioggia indice μ . I valori dei parametri sono usualmente determinati mediante un procedimento iterativo basato sul metodo di massima verosimiglianza.

Nell'applicazione del modello TCEV in Sardegna sono stati utilizzati i dati delle 46 stazioni pluviografiche e delle 200 stazioni pluviometriche con il maggior numero di osservazioni.

Al primo livello di regionalizzazione delle piogge giornaliere, basato sulle 200 stazioni pluviometriche, è stata identificata un'unica ZO comprendente tutto il territorio regionale, nella quale i parametri λ^* , θ^* , valgono: $\lambda^* = 0.3938$ e $\theta^* = 5.58866$. Al secondo livello di regionalizzazione il territorio è stato ripartito in tre SZO, per le quali si utilizzano diverse formulazioni per il calcolo del K_T , ossia il coefficiente (adimensionale) di crescita espresso in funzione del tempo di ritorno T_r :


$$\begin{aligned} \text{SZO1} \quad h(T_r) &= \mu_g K_T = \\ &= \mu_g [0.69319 + 0.72015 \cdot \text{Log}_{10} Tr + 3.1364 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} Tr)^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SZO2} \quad h(T_r) &= \mu_g K_T = \\ &= \mu_g [0.60937 + 0.91699 \cdot \text{Log}_{10} Tr + 3.9932 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} Tr)^2] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SZO3} \quad h(T_r) &= \mu_g K_T = \\ &= \mu_g [0.47839 + 1.22460 \cdot \text{Log}_{10} Tr + 5.3321 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} Tr)^2] \end{aligned}$$

Al terzo livello di regionalizzazione, i valori locali della pioggia indice μ_g sono stati ottenuti mediante la tecnica d'interpolazione stocastica tra i valori osservati nelle 200 stazioni pluviometriche, nota col nome di Kriging (Figura 3-3).

Un procedimento analogo è stato adottato per la stima dei parametri relativi alle piogge brevi ed intense. In particolare, l'indagine è stata condotta sulle piogge di durata τ pari a 0.50, 0.75, 1, 3, 6, 12 e 24 ore, rilevate nelle 46 stazioni pluviografiche della Sardegna.

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|---------|
|  REGENTRA | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 10 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

L'indagine ha confermato la stessa ripartizione in ZO e SZO ottenute nello studio delle piogge giornaliere.

Nel caso delle piogge brevi ed intense i parametri λ^* , θ^* , λ_1 dipendono, in generale, dalla durata dell'evento.

Le indagini svolte al terzo livello di regionalizzazione hanno consentito di individuare una relazione di tipo monomio tra il valore della pioggia indice $\mu(\tau)$ (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata τ) e quello della durata τ , i cui coefficienti sono funzione del valore della media μ_g della pioggia giornaliera nel medesimo sito. Esprimendo la durata τ in ore e l'altezza di pioggia in mm, questa relazione risulta:

$$\mu(\tau) = a_1 \cdot \tau^{n_1}$$

, nella quale i coefficienti a_1 ed n_1 si possono determinare in funzione della pioggia indice giornaliera μ_g :

$$a_1 = \mu_g / (0,886 \cdot 24^{n_1})$$

$$n_1 = -0,493 + 0,476 \cdot \log(\mu_g)$$

L'altezza di pioggia $h(\tau)[Tr]$ di durata τ con assegnato periodo di ritorno Tr in anni si ottiene moltiplicando la pioggia indice $\mu(\tau)$ per un coefficiente di crescita $K(\tau)[Tr] = a_2 \tau^{n_2}$:

$$h(\tau)[Tr] = \mu(\tau) \cdot K(\tau)[Tr] = (a_1 a_2) \tau^{(n_1+n_2)}$$

nella quale i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le seguenti relazioni, distinte per sottozona, per differenti Tr e τ :

a) Per tempi di ritorno $Tr \leq 10$ anni

SZO1 $a_2 = 0.66105 + 0.85994 \cdot \log_{10} Tr$
 $n_2 = -1.3558 \cdot 10^{-4} - 1.3660 \cdot 10^{-2} \cdot \log_{10} Tr$


SZO2 $a_2 = 0.64767 + 0.89360 \cdot \log_{10} Tr$
 $n_2 = -6.0189 \cdot 10^{-3} + 3.2950 \cdot 10^{-4} \cdot \log_{10} Tr$

SZO3 $a_2 = 0.62408 + 0.95234 \cdot \log_{10} Tr$
 $n_2 = -2.5392 \cdot 10^{-2} + 4.7188 \cdot 10^{-2} \cdot \log_{10} Tr$

b) Per tempi di ritorno $Tr > 10$ anni

SZO1 $a_2 = 0.46378 + 1.0386 \cdot \log_{10} Tr$
 $n_2 = -0.18449 + 0.23032 \cdot \log_{10} Tr - 3.3330 \cdot 10^{-2} \cdot$
 $(\log_{10} Tr)^2$ per $\tau \leq 1 \text{ hr}$

$n_2 = -1.0563 \cdot 10^{-2} - 7.9034 \cdot 10^{-3} \cdot \log_{10} Tr$
per $\tau \geq 1 \text{ hr}$

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|---------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 11 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

SZO2

$$a_2 = 0.44182 + 1.0817 \cdot \text{Log}_{10}Tr$$

$$n_2 = -0.18676 + 0.24310 \cdot \text{Log}_{10}Tr - 3.5453 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{Log}_{10}Tr)^2 \quad \text{per } \tau \leq 1 \text{ hr}$$

$$n_2 = -5.6593 \cdot 10^{-3} - 4.0872 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}_{10}Tr \quad \text{per } \tau \geq 1 \text{ hr}$$

SZO3

$$a_2 = 0.41273 + 1.1370 \cdot \text{Log}_{10}Tr$$

$$n_2 = -0.19055 + 0.25937 \cdot \text{Log}_{10}Tr - 3.8160 \cdot 10^{-2} \cdot (\text{Log}_{10}Tr)^2 \quad \text{per } \tau \leq 1 \text{ hr}$$

$$n_2 = 1.5878 \cdot 10^{-2} + 7.6250 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}_{10}Tr \quad \text{per } \tau \geq 1 \text{ hr.}$$

La definizione della sottozona di riferimento delle aree di progetto si basa sulla carta riportata in Figura 3-2. Un dettaglio della stessa carta, riportato in Figura 3-4, evidenzia come l'area considerata si trovi al confine tra le sottozone SZO 2 e SZO 3. Nonostante la posizione dei bacini considerati sia appena dentro i confini della SZO 2, cautelativamente si ritiene opportuno considerare come sottozona di riferimento per i calcoli pluviometrici la SZO 3, dal momento che i bacini sono di dimensioni ridotte e direttamente confinanti con essa. La SZO 3 include aree più piovose e, di conseguenza, le formulazioni per il calcolo della massima precipitazione forniscono valori maggiori rispetto alla SZO 2.

La pioggia indice giornaliera μ_g viene stimata sulla base della carta delle isoiete riportata in Figura 3-3. I valori di questo parametro per i bacini idrografici afferenti alle opere di attraversamento idraulico dell'impianto agrivoltaico in progetto sono pari a 60 mm, come visibile nel dettaglio della carta riportato in Figura 3-5.

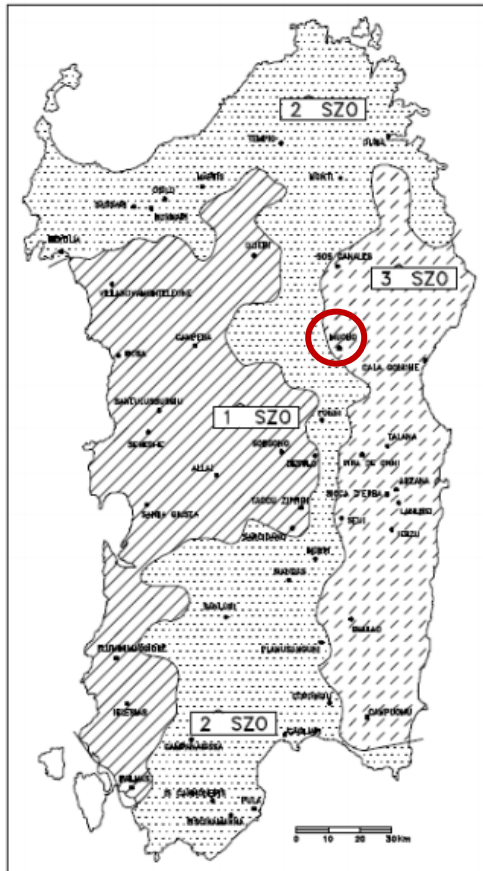


Figura 3-2 – Suddivisione delle sottozone omogenee della Regione Sardegna secondo il modello TCEV (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio)

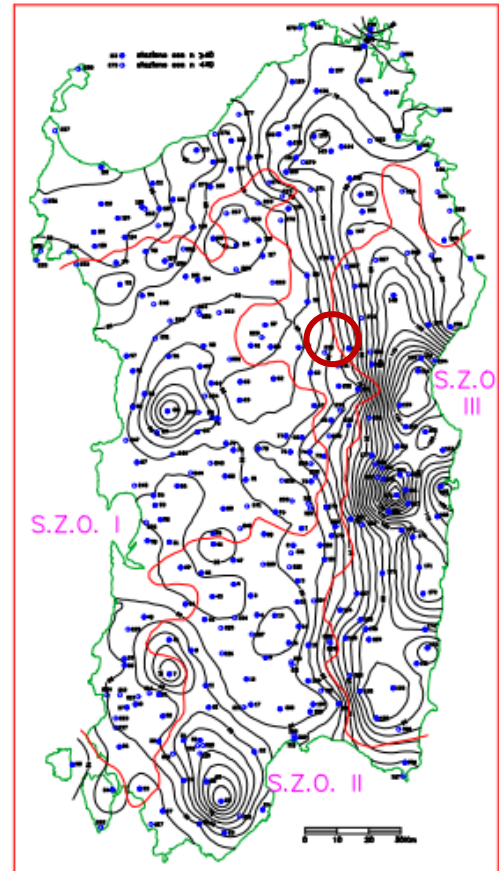


Figura 3-3 – Carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera espressa in [mm] (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio)



Figura 3-4: Dettaglio della carta delle sottozone omogenee della Regione Sardegna secondo il modello TCEV (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio)



Figura 3-5: Dettaglio della carta delle isoiete per identificare la pioggia indice giornaliera espressa in [mm] (il cerchio in rosso scuro evidenzia l'area di studio)

L'applicazione del modello di calcolo per la stima della massima precipitazione, esposto nel presente paragrafo, fornisce i seguenti valori di altezza pluviometrica (Tabella 3-2), i quali esprimono la Curva di Possibilità Pluviometrica per il $T_r=200$ anni graficata in Figura 3-6.

Tabella 3-2: Valori della Curva di Possibilità Pluviometrica per Tr=200 anni riferita ai bacini oggetto di studio

| CPP Tr=200 anni | |
|-------------------------------|---------------------------------|
| durata precipitazione - t [h] | altezza precipitazione - h [mm] |
| 0.5 | 45.33 |
| 0.75 | 59.69 |
| 1 | 66.72 |
| 3 | 102.05 |
| 6 | 133.43 |
| 12 | 174.46 |
| 15.00 | 190.19 |
| 20.00 | 212.58 |
| 24.00 | 228.11 |

Tale Curva di Possibilità Pluviometrica è ottenuta dalla formula:

$$h(t, Tr = 200 \text{ anni}) = 66.72 t^{(0.56)}$$

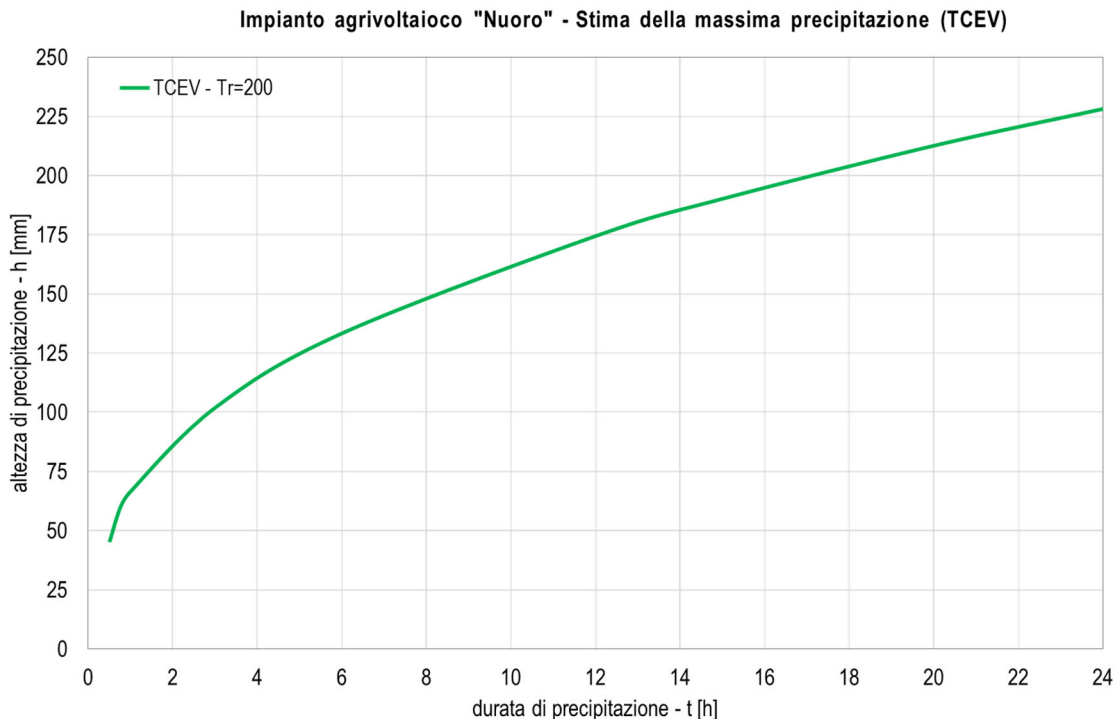



Figura 3-6: Curva di Possibilità Pluviometrica per Tr=200 anni riferita ai bacini oggetto di studio

3.3. Durata di precipitazione critica

La durata di pioggia critica si assume pari al tempo di corrivazione (t_{corr}), che è ricavabile dal confronto di diverse espressioni empiriche:

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|---------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 15 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

- Formula di **Viparelli** - Ottenuta da bacini pedemontani è stata calcolata ponendo in relazione a velocità dell'acqua, pendenze medie e tipologia dei terreni:

$$t_{corr}[h] = \frac{L}{3,6 \cdot V}$$

- Formula di **Ventura** - Valida per bacini con $A < 40 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = 0,1272 \cdot \left(\frac{A}{i_{asta}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

- Formula **Kirpich** - pendenze tra 0,03 e 0,1 e superficie tra 0,4 e 45 ha. Usata per bacini urbani e rurali fino a 80 ha. 1940 - California Highways and Public Works:

$$t_{corr}[h] = 0.000325 \cdot (1000 \cdot L)^{0.77} \cdot \left[\frac{H_{max} - H_s}{1000 \cdot L} \right]^{-0.385}$$

- Formula di **Giandotti** - Valida per bacini di superficie compresa tra 170 e 70.000 km^2 . Accettabile per bacini di superficie $A > 100 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = \frac{4\sqrt{A} + 1,5L}{0,8 \cdot \sqrt{H_m - H_s}}$$

- Seconda formula di **Pasini** - Valida per bacini con $A < 40 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = \frac{0,108(A \cdot L)^{\frac{1}{3}}}{\sqrt{i_{asta}}}$$

- Formula di **Pezzoli** - Studiata su piccoli bacini montani piemontesi. Valida per bacini di superficie $A < 20 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = \frac{0,055 \cdot L}{\sqrt{i_{asta}}}$$

- Formula di **Puglisi** - Ottenuta analizzando bacini di superficie $43 < A < 94 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = 6 \cdot L^{2/3} \cdot (H_{max} - H_s)^{-1/3}$$

- Formula di **Tournon** - Ricavata su 9 piccoli bacini piemontesi. Valida per bacini di superficie $30 < A < 170 \text{ km}^2$:

$$t_{corr}[h] = \frac{0.396 \cdot L}{i_{asta}} \left(\frac{A}{L^2} \cdot \sqrt{\frac{i_{asta}}{A}} \right)^{0.72}$$

- Formula **Soil Conservation Service** - Calcolata per piccoli bacini rurali degli Stati Uniti. Tende a sottostimare il tempo di corrivazione:

$$t_{corr}[h] = \frac{100 \cdot L^{0.8} \left(\frac{1000}{CN} - 9 \right)^{0.7}}{1100 \sqrt{i_{bacino}}}$$

Le formule su esposte considerano le seguenti grandezze:

- $A [km^2]$ è l'area del bacino
- $t_{corr} [h]$ è il tempo di corrivazione
- i_{asta} è la pendenza media dell'asta principale
- i_{bacino} è la pendenza media del bacino
- $L [km]$ è la lunghezza dell'asta principale
- $H_{max} [m \text{ s. m. m.}]$ è la quota massima del bacino
- $H_m [m \text{ s. m. m.}]$ è la quota media del bacino
- $H_s [m \text{ s. m. m.}]$ è la quota della sezione di chiusura
- $V [m/s]$ è la velocità media di scorrimento assunta pari a 1.5 m/s.

Tabella 3-3: Tempi di corrivazione calcolati in riferimento ai bacini oggetto di studio

Tabella 3-4: Valori ottenuti dall'applicazione delle formule considerate per il calcolo del tempo di corrivazione

| Formula | Bacino 1 | Bacino 2 | Bacino 3 | Bacino 4 | Bacino 5 | Bacino 6 |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Viparelli | 0.28 | 0.15 | 0.91 | 0.88 | 0.16 | 0.12 |
| Ventura | 0.54 | 0.27 | 1.07 | 1.07 | 0.33 | 0.27 |
| Kirpich | 0.19 | 0.10 | 0.65 | 0.64 | 0.15 | 0.11 |
| Giandotti | 0.99 | 0.56 | 1.50 | 1.51 | 0.74 | 0.64 |
| Pasini | 0.49 | 0.24 | 1.22 | 1.20 | 0.32 | 0.25 |
| Pezzoli | 0.28 | 0.13 | 1.11 | 1.08 | 0.21 | 0.14 |
| Puglisi | 1.32 | 0.93 | 2.54 | 2.52 | 1.28 | 1.09 |
| Tournon | 1.89 | 1.40 | 2.01 | 2.03 | 1.93 | 1.84 |
| SCS | 0.54 | 0.33 | 1.35 | 1.31 | 0.39 | 0.30 |

Sulla base delle caratteristiche dei bacini idrografici, che presentano dimensioni ridotte, si è ritenuto opportuno scegliere di applicare una media personalizzata dei valori ottenuti soltanto con le seguenti formulazioni, per determinare il tempo di corrivazione per ciascun bacino idrografico:

- Viparelli
- Ventura
- Kirpich
- Pasini
- Pezzoli
- SCS

, ottenendo di conseguenza i seguenti risultati:

Tabella 3-5: Valori dei tempi di corrivazione scelti per i bacini oggetto di studio

| | Bacino 1 | Bacino 2 | Bacino 3 | Bacino 4 | Bacino 5 | Bacino 6 |
|---------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Tempo di corrivazione [h] | 0.39 | 0.20 | 1.05 | 1.03 | 0.26 | 0.20 |

3.4. Calcolo delle portate di progetto

La portata di progetto per la verifica delle opere di attraversamento è stata calcolata con l'applicazione del metodo razionale, secondo il quale la portata determinata da una pioggia di intensità:

$$i[t, Tr] = h/t \quad [mm/h]$$

, con t tempo di pioggia e h l'altezza di precipitazione corrispondente con un prefissato tempo di ritorno, è data da:

$$Q = i[t, Tr] \cdot \Phi \cdot A / 3.6$$

con:

- $A [km^2]$ è l'area del bacino
- $\Phi [-]$ è il coefficiente di deflusso del bacino

Il metodo razionale è una formula che, sotto alcune ipotesi, permette la stima della portata al colmo di piena che un evento di pioggia di determinato tempo di ritorno può produrre in una data sezione di chiusura di un bacino idrografico; viene utilizzata nella progettazione dei collettori fognari e dei canali artificiali, oltre che nella verifica della capacità idraulica degli alvei fluviali.

La formula dà risultati verosimili nel caso di tratti fluviali per i quali possa ritenersi trascurabile l'effetto di laminazione delle portate di piena.

Per massimizzare il valore della portata viene inoltre assunta l'ipotesi che la durata di pioggia t sia pari al tempo di corrivazione t_{corr} , cioè il tempo in cui tutta la superficie del bacino concorre alla produzione del deflusso alla sezione di chiusura. Il valore del tempo t nella formula razionale sarà pertanto il tempo di corrivazione calcolato per il sottobacino interessato.

Il coefficiente di deflusso è stato considerato pari a 0.3 sulla base di considerazioni legate all'uso del suolo delle aree di progetto. Come visibile in Figura 3-7, le aree dei bacini idrografici sono prevalentemente definite secondo la mappatura del Corine Land Use (2018) come 311 (Boschi latifoglie), 243 (Aree occupate da colture agrarie con presenza di spazi naturali importanti) e 244 (Aree agroforestali).

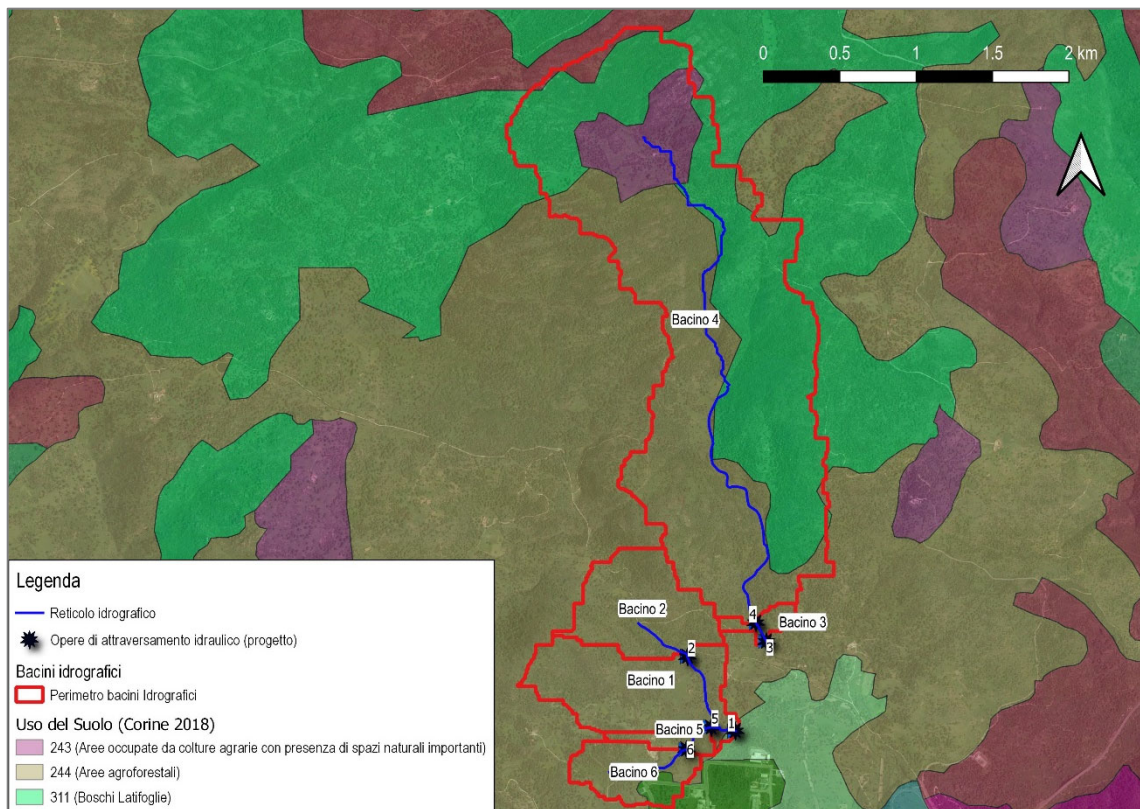



Figura 3-7: Inquadramento dei bacini idrografici oggetto di studio e mappa d'uso del suolo secondo il Corine Land Use (2018)

Di conseguenza, sono stati ottenuti i seguenti valori per le portate con $T_r=200$ anni:

Tabella 3-6: Valori delle portate di progetto calcolate con il metodo razionale per i bacini oggetto di studio

| | Bacino 1 | Bacino 2 | Bacino 3 | Bacino 4 | Bacino 5 | Bacino 6 |
|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Portata di progetto [m ³ /s] | 12.67 | 5.64 | 22.80 | 22.79 | 3.53 | 3.09 |

| | | | | |
|---|--------|------------------|----------------------------------|---------|
|  | Rev. 0 | Data Giugno 2023 | El: BI029F-D-NUO-RT-02-r00 | Pag. 19 |
| | | | RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA | |

4. ANALISI IDRAULICA

Oggetto di questo capitolo è la descrizione ed il calcolo di dimensionamento degli attraversamenti sulle incisioni presenti nelle aree di progetto, intercettate dalle piste di servizio da realizzare all'interno dei campi fotovoltaici.

L'intervento si suddivide in 4 aree principali, per ciascuna delle quali sono state individuate le interferenze con le principali incisioni e individuati gli attraversamenti necessari per assicurare il deflusso delle portate di progetto.

4.1. Invarianza idraulica

Il presente progetto riguarda la realizzazione di un impianto agrivoltaico, ossia un sistema in cui si implementano la produzione di energia mediante fonti rinnovabili (solare) e la produzione agricola.

Al fine di mantenere la vocazione agricola delle aree in oggetto, i pannelli fotovoltaici sono installati su dei pali che mantengono il pannello staccato dal terreno, a quote superiori al metro, per permettere la coltivazione e la piantumazione del terreno sottostante. L'intervento pertanto **non prevede l'impermeabilizzazione** delle aree attualmente coltivate, che verranno mantenute come tali anche dopo la realizzazione dell'intervento.

4.2. Verifica idraulica degli attraversamenti

I coefficienti di deflusso allo stato attuale del terreno non vengono alterati. Non è pertanto richiesta una valutazione dell'invarianza idraulica per l'area di intervento.

I valori delle portate di progetto ottenuti nell'analisi idrologica vengono utilizzati per il dimensionamento delle opere di attraversamento delle strade di servizio previste nel progetto dell'impianto agrivoltaico di Nuoro.

Il dimensionamento dei manufatti adottati è stato condotto con la formula di Gauckler-Strickler, considerando l'instaurarsi del moto uniforme all'interno del manufatto:

$$Q = AK_s R_h^{2/3} i_f^{1/2}$$

nella quale sono state considerate le seguenti variabili:

- $A [m^2]$ è la sezione di deflusso;
- $K_s [m^{1/3}/s]$ è il Coefficiente di scabrezza di Gauckler-Strickler, assunto è pari a $70 m^{1/3}/s$, considerando l'opera di attraversamento in calcestruzzo in condizioni di usura dopo anni di servizio;
- $R_h [m]$ è il raggio idraulico;

- $i_f[-]$ è la pendenza del canale, assunta pari al 3.5 %, che risulta coerente con le pendenze delle aste fluviali considerate nei tratti in corrispondenza delle sezioni di chiusura.

Per uniformità di realizzazione si sono verificati 2 tipologie di opere di attraversamento. Come si vedrà nel seguito, tali tipologie sono stati adottati considerando 2 gruppi di opere, nelle quali si ottengono tiranti idraulici, che consentono di rispettare la normativa ottimizzando le dimensioni. Tali tipologie sono:

- Attraversamento con tombino circolare $\varnothing 1500$;
- Attraversamento con tombino scatolare 2x2 m.

Il franco di sicurezza, come anticipato nel capitolo 2, si fa riferimento alle NTC 2018, capitolo 5 - Ponti, C.5.1.2.3, secondo cui nei tombini con deflusso a pelo libero il tirante idrico non dovrà superare i 2/3 dell'altezza della sezione, garantendo comunque un franco minimo di 0.50 m.

4.2.1. Attraversamento con tombino circolare $\varnothing 1500$

Questo tipologico viene adottato per le sezioni di chiusura dei bacini 2, 5, 6, nei quali la massima portata di progetto risulta essere quella del bacino 2 pari a $Q = 5.64 \text{ m}^3/\text{s}$.

Con l'applicazione della formula si ottiene un tirante idraulico interno pari a 0.72 m, come visibile nella seguente Figura 4-1.

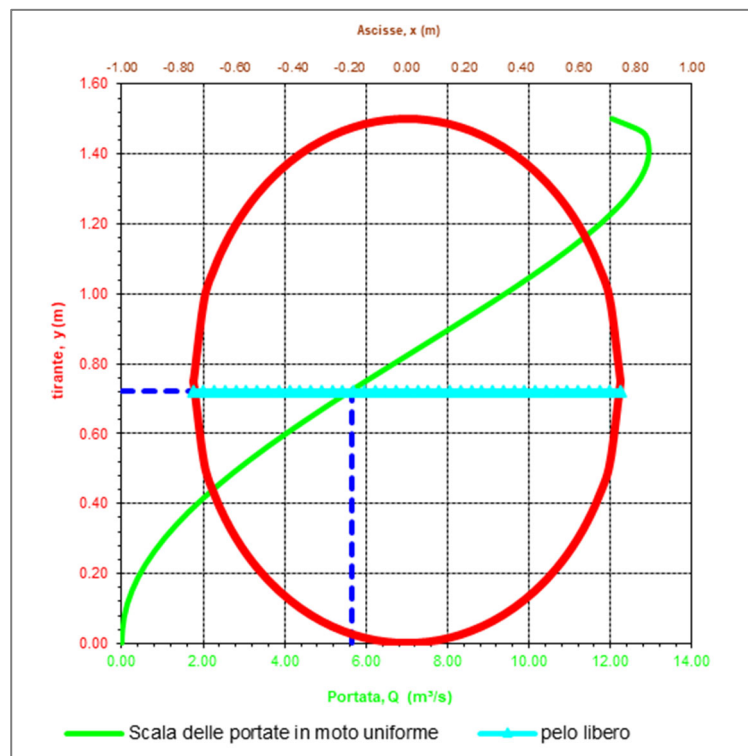


Figura 4-1 – Verifica tombino circolare $\varnothing 1500$

Il franco di sicurezza sulla piena di progetto è pari a 0.78 m ed il tirante idraulico di 0.72 m non supera i 2/3 dell'altezza della sezione, pari a 1 m.

Si sottolinea che con riferimento all'opera di attraversamento della sezione di chiusura del bacino 5 il tirante idraulico calcolato con la portata $Q = 3.53 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a 0.56 m, mentre per il bacino 6 il tirante idraulico calcolato con la portata $Q = 3.09 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a 0.52 m.

4.2.2. Attraversamento con tombino scatolare 2x2 m

Questo tipologico viene adottato per le sezioni di chiusura dei bacini 1, 3, 4, nei quali la massima portata di progetto risulta essere quella del bacino 3 (corrispondente a quella del bacino 4) pari a $Q = 22.80 \text{ m}^3/\text{s}$. Con l'applicazione della formula otteniamo si ottiene un tirante idraulico pari a 1.28 m, come visibile nella seguente Figura 4-2.

Il franco di sicurezza sulla piena di progetto è pari a 0.72 m ed il tirante idraulico di 1.28 m non supera i 2/3 dell'altezza della sezione, pari a 1.33 m.

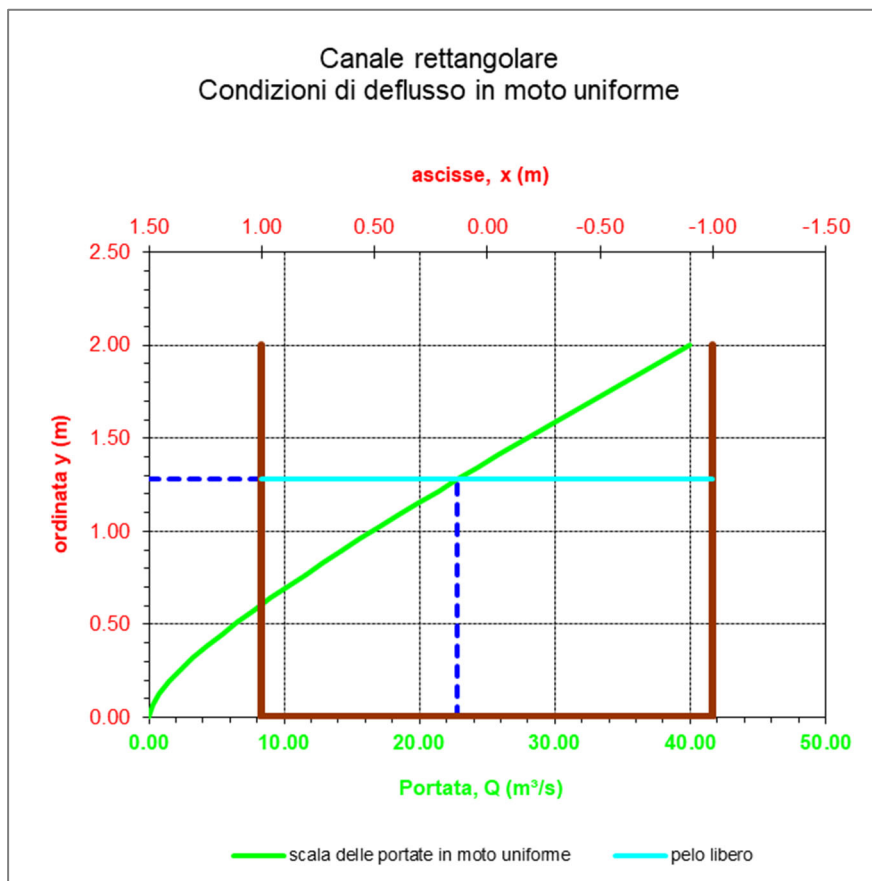


Figura 4-2 – Verifica tombino scatolare 2x2 m

Si sottolinea che con riferimento all'opera di attraversamento della sezione di chiusura del bacino 1 il tirante idraulico calcolato con la portata $Q = 12.67 \text{ m}^3/\text{s}$ è pari a 0.82 m.

5. CONCLUSIONI

La presente relazione riporta l'analisi idrologica ed idraulica dei bacini idrografici afferenti alle sezioni in cui sono state previste opere di attraversamento idraulico delle strade di servizio in progetto all'interno delle aree destinate ad ospitare l'impianto agrivoltaico di Nuoro.

A seguito del calcolo delle portate di progetto per ciascun attraversamento, sono state effettuate le verifiche idrauliche dei tombini previsti nel progetto, al fine di assicurare la continuità del reticolo idraulico superficiale. I franchi di sicurezza rispondono alle indicazioni delle NTC 2018 in termini di attraversamenti con tombini, considerando eventi con tempo di ritorno di 200 anni.

In sintesi, si riportano nella seguente Tabella 5-1 le opere previste e le principali caratteristiche dei idrologico-idrauliche delle stesse.

Tabella 5-1: Valori dei tempi di corrivazione scelti per i bacini oggetto di studio

| | Bacino 1 | Bacino 2 | Bacino 3 | Bacino 4 | Bacino 5 | Bacino 6 |
|---|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| Tempo di corrivazione [h] | 0.39 | 0.20 | 1.05 | 1.03 | 0.26 | 0.20 |
| Portata di progetto [m ³ /s] | 12.67 | 5.64 | 22.80 | 22.79 | 3.53 | 3.09 |
| Tipologia opera | Tombino scatolare 2x2 m | Tombino circolare Ø1500 | Tombino scatolare 2x2 m | Tombino scatolare 2x2 m | Tombino circolare Ø1500 | Tombino circolare Ø1500 |
| Tirante idraulico [m] | 0.82 | 0.72 | 1.28 | 1.28 | 0.56 | 0.52 |

Per quanto riguarda l'invarianza idraulica, si fa presente che l'intervento non altera le caratteristiche di deflusso del terreno allo stato attuale, dal momento che l'installazione dei pannelli avviene su pali per premettere la coltivazione dei terreni, come nello stato attuale. L'intervento è pertanto invariante dal punto di vista idraulico.