



Aprile 2024

Giraffe CE 2 S.r.l.

IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO COLLEGATO ALLA RTN
IN COMUNE DI *BONORVA E SEMESTENE*
POTENZA NOMINALE **32,11 MW**

Relazione idrologica e idraulica

AA-IT028-08-2022-0003

| | |
|---|--|
| <p><i>Progettazione</i></p>  | <p><i>Analisi e valutazioni ambientali e paesaggistiche</i></p>  |
| <p><i>Certificazione del sistema di gestione DNV</i> ISO 9001 e ISO 14001</p> | <p><i>Certificazione del sistema di gestione DNV</i> ISO 9001 e ISO 14001</p> |

*Committente***Giraffe CE 2 S.r.l.**

*Indirizzo Viale della Stazione 7,
39100 Bolzano (BZ) - Italia*

Progettazione

*Via Angelo Fumagalli, 6
20134 Milano - Italia
+39.0254118173*

Analisi e valutazioni ambientali e paesaggistiche

*Via Carlo Poerio, 39
20129 Milano - Italia
+39.02277441*

| | |
|--------------------|--|
| Redazione | Arch. Giulia Peirano Ing. Paola Scaccabarozzi Ing. Corrado Landi Ing. Vincenzo Ferrante |
| Revisione | Arch. Giulia Peirano |
| Approvazione | Ing. Corrado Pluchino |
| Codice di progetto | Codice distinto per AI e per Montana - anticipato del codice del progetto dato dal committente |
| Documento | Relazione idrologica e idraulica |
| Codice | AA-IT028-08-2022-0003 |
| Versione | 01 |
| Data | 05/04/2024 |

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 5 |
| 2. DATI DI RIFERIMENTO | 7 |
| 2.1 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DTM)..... | 7 |
| 2.2 NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO | 7 |
| 3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO | 8 |
| 3.1 LOCALIZZAZIONE IMPIANTO | 8 |
| 3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGIO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO | 10 |
| 3.2.1 Inquadramento geomorfologico | 10 |
| 3.2.2 Inquadramento geologico | 11 |
| 3.2.3 Inquadramento idrologico..... | 12 |
| 3.3 IDROGRAFIA DEL TERRITORIO..... | 13 |
| 3.3.1 Idrografia superficiale | 13 |
| 3.4 INQUADRAMENTO QUALITÀ DELLE ACQUE | 14 |
| 3.4.1 Acque superficiali | 16 |
| 3.4.2 Acque sotterranee | 18 |
| 4. STUDIO PRELIMINARE DELLA COMPATIBILITÀ E INQUADRAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL’AREA DI PROGETTO | 24 |
| 4.1 PIANO STRALCIO DI BACINO PER L’ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)..... | 24 |
| 4.2 PIANO STRALCIO DELLE FASCE PLUVIALI (PSFF) | 26 |
| 4.3 PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA) | 27 |
| 4.4 RETICOLO IDROGRAFICO: FASCE DI PRIMA SALVAGUARDIA | 28 |
| 4.5 INVARIANZA IDRAULICA..... | 31 |
| 4.6 CONCLUSIONI | 32 |
| 5. STATO DI PROGETTO: DESCRIZIONE GENERALE INTERVENTI | 33 |
| 5.1 DESCRIZIONE IMPIANTO..... | 33 |
| 5.1.1 Moduli fotovoltaici..... | 34 |
| 5.1.2 Strutture di supporto dei moduli fotovoltaici | 34 |
| 5.1.3 Inverter | 37 |
| 5.1.4 Cabine di Campo | 38 |
| 6. STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E LINEA DI CONNESSIONE | 39 |
| 6.1 METODOLOGIA DI VERIFICA PROFONDITÀ DI SICUREZZA POSA TOC | 41 |
| 6.1.1 Analisi qualitativa | 41 |
| 6.1.2 Analisi quantitativa | 42 |
| 6.2 RISOLUZIONE INTERFERENZE LINEA DI CONNESSIONE | 44 |
| 6.2.1 I01 | 44 |
| 6.2.2 I02 | 46 |
| 6.2.3 I03 | 47 |
| 6.2.4 I04 | 49 |
| 6.2.5 I05 | 51 |
| 6.2.6 I06 e I07 | 53 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 6.2.7 | I08 | 55 |
| 6.2.8 | I09 | 57 |
| 6.2.9 | I10 | 59 |
| 6.2.10 | I11 | 61 |
| 6.2.11 | I12 | 63 |
| 6.2.12 | I13 | 65 |
| 6.2.13 | I14 | 67 |
| 6.2.14 | I15 | 70 |
| 6.2.15 | I16 | 71 |
| 6.2.16 | I17 | 73 |
| 7. | STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO | 76 |
| 7.1 | CONSIDERAZIONI CLIMATICHE | 76 |
| 7.2 | SCelta DEL TEMPO DI RITORNO | 77 |
| 7.3 | ANALISI PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE | 78 |
| 7.4 | IDENTIFICAZIONE DEI BACINI SCOLANTI DI PROGETTO | 85 |
| 7.5 | VALUTAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE (NETTA) | 88 |
| 7.5.1 | Valutazione ante-operam | 88 |
| 7.5.2 | Valutazione post-operam | 89 |
| 7.6 | MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI/DEFLUSSI – STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO | 90 |
| 8. | OPERE IDRAULICHE | 94 |
| 8.1 | SISTEMA DI DRENAGGIO SUPERFICIALE DELL'AREA DI INTERVENTO | 94 |
| 8.2 | SISTEMA DI LAMINAZIONE NELL'AREA DI INTERVENTO | 96 |
| 9. | CONCLUSIONI | 98 |

1. PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, tramite la società di scopo Giraffe CE 2 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico di potenza pari a 32,11 MW in alcuni terreni a siti nei territori comunali di Bonorva (SS) e Semestene (SS); nello specifico, l'area catastale ha un'estensione di circa 77,77 ettari complessivi di cui circa 49,93 ha recintati.

Giraffe CE 2 S.r.l., è una società italiana con sede legale in Italia nella città di Bolzano (BZ) in Viale della Stazione 7. Le attività principali del gruppo sono lo sviluppo, la progettazione e la realizzazione di impianti di medie e grandi dimensioni per la produzione di energia da fonti rinnovabili.

Il progetto in esame è in linea con quanto previsto dal: "Pacchetto per l'energia pulita (Clean Energy Package)" presentato dalla Commissione europea nel novembre 2016 contenente gli obiettivi al 2030 in materia di emissioni di gas serra, fonti rinnovabili ed efficienza energetica e da quanto previsto dal Decreto 10 novembre 2017 di approvazione della Strategia energetica nazionale emanato dal Ministro dello sviluppo economico, di concerto con il Ministro dell'ambiente e della tutela del territorio e del mare.

L'opera ha dei contenuti economico-sociali importanti e tutti i potenziali impatti sono stati mitigati. Il progetto sarà eseguito in regime "agrivoltaico" che produce energia elettrica "zero emission" da fonti rinnovabili attraverso un sistema integrato con l'attività agricola, garantendo un modello eco-sostenibile che fornisca energia pulita e prodotti sani da agricoltura biologica.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su due diverse tipologie di strutture; ovvero, sia strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo trivellato nel terreno, sia su strutture fisse anch'esse mediante palo trivellato nel terreno.

Le strutture, sia fisse sia mobili, saranno posizionate in maniera da consentire lo sfruttamento agricolo ottimale del terreno; i pali di sostegno delle strutture sono posizionati distanti tra loro di 5 metri per l'intera area di impianto. Tali distanze sono state applicate per consentire la coltivazione e garantire la giusta illuminazione al terreno, mentre i pannelli sono distribuiti in maniera da limitare al massimo l'ombreggiamento. Saranno utilizzate due tipologie di strutture; la prima composta da 14 moduli e la seconda composta da 28 moduli.

I terreni non occupati dalle strutture dell'impianto continueranno ad essere adibiti ad uso agricolo e pastorale.

Il progetto rispetta i requisiti riportati all'interno delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici", pubblicate nel Giugno del 2022 dal MiTE (oggi MASE-Ministero dell'Ambiente e della Sicurezza Energetica) in quanto la superficie minima per l'attività agricola è pari al 79,82% mentre la LAOR (Land Area Occupation Ratio – rapporto tra la superficie totale di ingombro dell'impianto agrivoltaico e la superficie totale occupata dal sistema agrivoltaico) è pari al 28,95%.

Infine, l'impianto fotovoltaico sarà collegato in antenna a 36 kV sulla sezione a 36 kV di una nuova stazione elettrica della RTN a 220/36 kV da inserire in entra-esce alla linea 220 kV "Codrongianos – Ottana".

Il presente documento riporta lo studio di compatibilità idraulica per la realizzazione di un nuovo impianto fotovoltaico, analizzando le eventuali interferenze dei diversi componenti con le aree a pericolosità idraulica e identificando, nel caso, la migliore soluzione e tecnologia per la risoluzione delle stesse. Nel caso di interferenze con canali irrigui/corsi d'acqua naturali si è inoltre valutato che il superamento delle interferenze avvenga in condizioni di sicurezza idraulica in relazione alla natura dell'intervento e al contesto territoriale.

Lo studio Idrologico e idraulico relativo al reticolo idrografico superficiale, ai principali solchi vallivi o aree depresse e alle aree allagabili è riferito alla perimetrazione della pericolosità idraulica riportata negli ultimi aggiornamenti del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI), del Piano Stralcio

delle Fasce Fluviali (PSFF), del Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA) e dell'ordinamento gerarchico del reticolo di STRAHLER.

Il progetto affronta lo studio idrologico idraulico delle aree scolanti interessate dalle opere del progetto con valutazioni in merito alle possibili variazioni ante-operam – post-operam, analizzando quindi il possibile impatto del progetto da un punto di vista idrologico (valutazione delle variazioni del coefficiente di deflusso e modifiche al deflusso naturale delle acque meteoriche) e da un punto di vista idraulico (valutazione delle variazioni degli apporti durante eventi intensi al ricettore finale).

Tale studio è svolto secondo le Norme Tecniche di Attuazione del Piano d'Assetto Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Sardegna, ed è costituito da:

- analisi delle piogge, eseguita utilizzando le indicazioni riportate sul progetto Valutazione Piene (VAPI) del Gruppo Nazionali Difesa Catastrofi Idrogeologiche (GNDCI);
- valutazione della durata dell'evento pluviometrico di progetto di durata pari al tempo critico del bacino idrografico oggetto di studio (tempo di corrivazione e ietogramma di progetto);
- determinazione delle portate di riferimento e dimensionamento del sistema di collettamento delle stesse.

Il progetto prevederà opere idrauliche relative alla rete di drenaggio, costituita da fossi in terra non rivestiti, che saranno dimensionate a seguito di uno studio idraulico di dettaglio. La rete di drenaggio dell'impianto agrivoltaico sarà posizionata in modo tale da ridurre al minimo le interferenze con la rete naturale e tutte le opere di regimazione rientreranno nell'ambito dell'ingegneria naturalistica.

2. DATI DI RIFERIMENTO

2.1 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DTM)

Attraverso il portale dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) è stato ottenuto, dal progetto "Tinitaly", il modello digitale del terreno con una risoluzione spaziale 10x10 metri di tutta l'area di progetto.

2.2 NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO

I seguenti documenti sono stato utilizzati come principali riferimenti per lo studio:

- D.Lgs 152/06 e smi;
- Direttiva Comunitaria 2007/60/CE – Valutazione e gestione del rischio di alluvioni/ D.Lgs. 49/2010;
- Autorità di Bacino della Sardegna – Piano stralcio di bacino per l'assetto idrogeologico (PAI) redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998;
- Direzione generale agenzia regionale del distretto idrografico della Sardegna – Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) Norme di Attuazione. Allegato 2 alla Delib. G.R. n. 2/8 del 20.1.2022;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (PGRA) previsto dalla Direttiva 2007/60/CE e dal D.Lgs. 49/2010;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183;
- Sistemi di fognatura - Manuale di progettazione - Hoepli, CSDU;
- La sistemazione dei bacini idrografici, Vito Ferro, McGraw – Hill editore;
- Open Channel Hydraulics, Chow – McGraw – Hill editore;
- Spate Irrigation - FAO – HR Wallinford;
- Urban Drainage Design Manual pubblicato da FHWA (Federal highway administration-US Department of transportation).
- Tarquini S., Isola I., Favalli M., Battistini A. (2007) TINITALY, a digital elevation model of Italy with a 10 m-cell size (Version 1.0) [Data set]. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/TINITALY/1.0>.”;
- Bischetti, Gian Battista. Linee Guida per La Progettazione Della Viabilità Agro-Silvo-Pastorale in Lombardia - Criteri Generali. Parte 1, Istituto di Idraulica Agraria dell'Università Degli Studi Di Milano, 2005.

3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO

3.1 LOCALIZZAZIONE IMPIANTO

Il progetto in esame è ubicato nei territori comunali di Bonorva e Semestene, entrambi in Provincia di Sassari. L'area di progetto è divisa in 21 sezioni denominate S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7, S8, S9, S10, S11, S12, S13, S14, S15, S16, S17, S18, S19, S20 e S21 situate a circa 2,37 km a Ovest del centro abitato di Bonorva (SS) e a circa 700 m dal centro abitato di Semestene (SS).

Le 21 sezioni sono vicine tra loro e risultano separate da diversi elementi, quali: muretti a secco, strade rurali, linee aeree BT, MT e AT e alvei di diverse dimensioni.

Le sezioni sono adiacenti tra di loro, le 4 sezioni a Sud risultano separate dal resto dell'impianto dalla Strade Vicinale Giaga e Mesu e dalla Strada vicinale Pedra. L'area di progetto è collocata ad Ovest della Strada Statale n.131 – Carlo Felice (SS131) (dal 162 km e 400 m al 163 km e 200 m) e a nord della Strada Provinciale n.8 (SP8) (Figura 3.1).

L'area di progetto presenta un'estensione complessiva catastale di circa 77,77 ettari complessivi di cui circa 49,93 ha recintati.

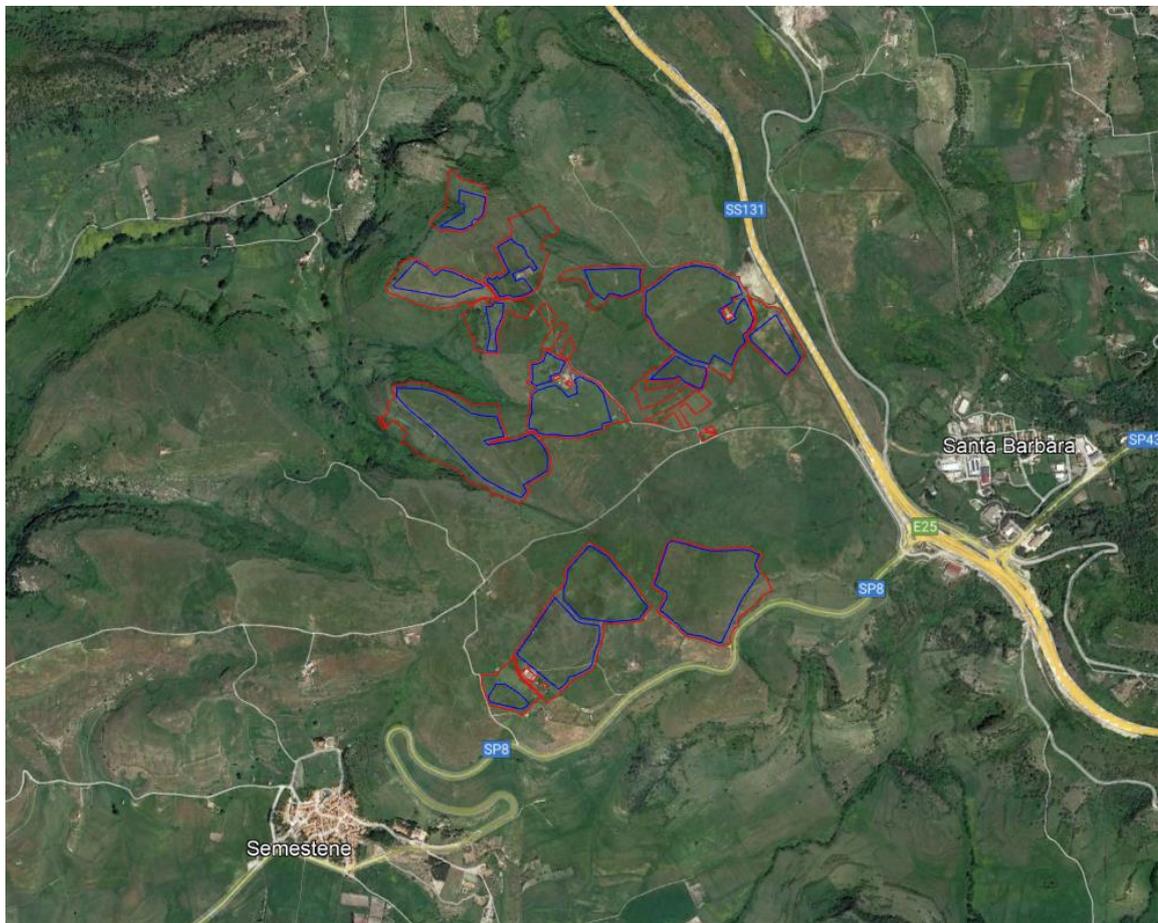


Figura 3.1 – Inquadramento dell'area di progetto: in blu la recinzione, in rosso l'area catastale

L'area deputata all'installazione dell'impianto fotovoltaico in oggetto risulta essere adatta allo scopo presentando una buona esposizione ed è facilmente raggiungibile ed accessibile attraverso le vie di comunicazione esistenti.

Attraverso la valutazione delle ombre si è cercato di minimizzare e ove possibile eliminare l'effetto di mutuo ombreggiamento, così da garantire una perdita pressoché nulla del rendimento annuo in termini di produttività dell'impianto fotovoltaico in oggetto.

Di seguito (Figura 3.2) si riporta uno stralcio della tavola riportante il rilievo effettuato in fase di sopralluogo "AA-IT028-08-2022-0024_Rilievo di dettaglio".

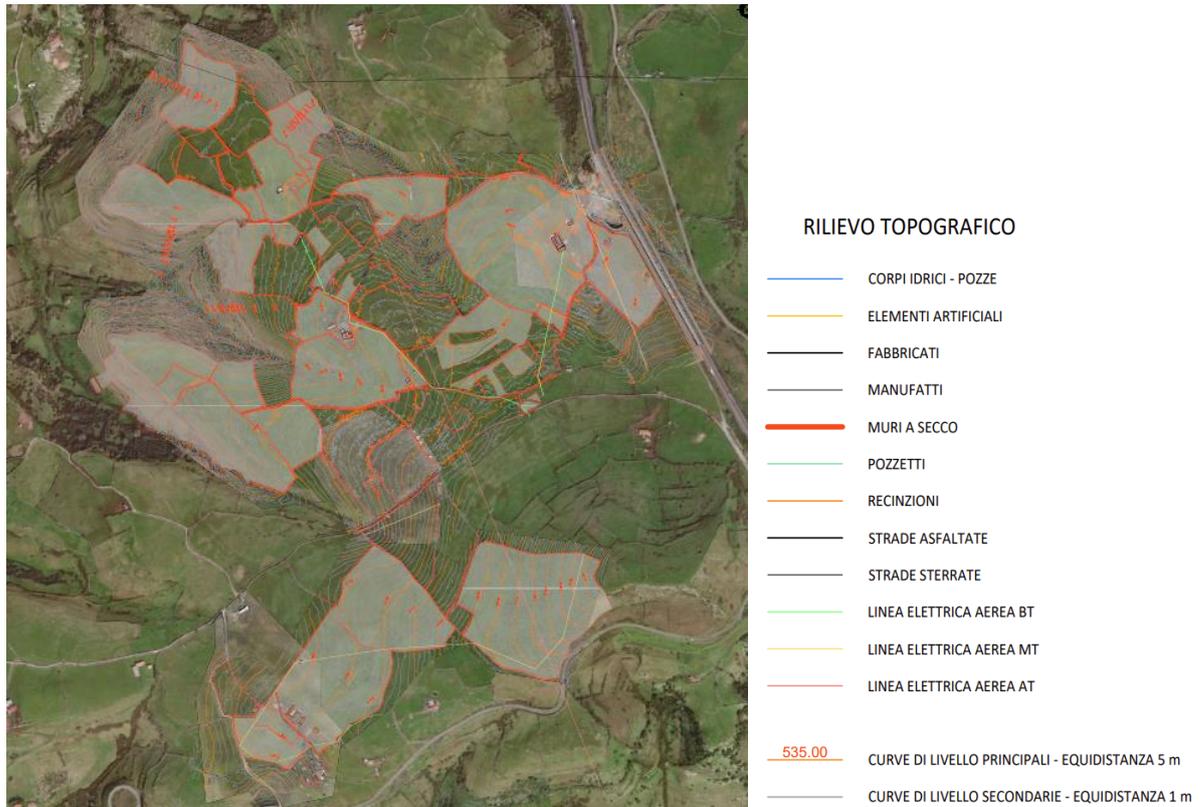


Figura 3.2 - Rilievo dell'area di progetto

Nell'ambito dello studio idrologico e del calcolo è stata valutata sia la copertura del terreno sia l'uso del suolo dell'area di ubicazione delle opere dell'impianto fotovoltaico.

Secondo il progetto CORINE Land Cover aggiornato al 2018 l'area di interesse è occupata interamente da seminativi in aree non irrigue. (Figura 3.3)



Figura 3.3 - Stralcio carta uso del suolo, CORINE Land Cover (2018). In rosso il perimetro dell'impianto fotovoltaico.

3.2 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.2.1 Inquadramento geomorfologico

Il settore in studio si colloca al margine settentrionale del plateau basaltico, dove l'erosione lo ha smantellato creando una cornice particolarmente acclive, che si rastrema verso valle con i sottostanti livelli miocenici.

Nelle parti più ripide delle cornici basaltiche che costeggiano i sedimenti miocenici si notano frequenti fenomeni di crollo che portano al franamento dei blocchi rocciosi lungo i versanti e alla formazione di piccole falde di detrito.

La pianura è costituita dai sedimenti alluvionali di età quaternaria; la morfologia della piana mostra una debole vergenza verso i quadranti nord-occidentali; si presenta come una superficie piana e monotona interrotta sporadicamente da leggere ondulazioni.

L'area interessata è caratterizzata da un andamento sub pianeggiante con una acclività modesta di circa il 3% verso nord est.

Dai sopralluoghi effettuati non si sono riscontrati fenomeni franosi, sia inattivi che stabilizzati (naturalmente o artificialmente), ne vengono segnalati nella cartografia PAI del portale geografico regionale aree a pericolo geomorfologico.

In generale il contesto geomorfologico litologico e giaciturale dell'area fanno sì che vi sia una molto bassa propensione al dissesto. Pertanto, non si rilevano criticità per quanto riguarda un eventuale rischio frana in quest'area.

3.2.2 Inquadramento geologico

L'area studiata è situata nella Sardegna nord-occidentale. Geologicamente si trova nel distretto vulcanologico del Logudoro-Bosano ed è contraddistinta dalla presenza di formazioni sedimentarie mioceniche e di vulcaniti appartenenti al ciclo oligo-miocenico.

La litofacies che caratterizza in maniera prevalente il paesaggio è costituita da biocalcareni e calcari bioclastici, talora da conglomerati con un contenuto principalmente silicoclastico con cemento carbonatico da abbondante a scarso; in particolare nel territorio in esame (Loc. Santa Barbara) affiorano delle litofacies costituite da arenarie e conglomerati. Lo spessore di questa formazione è dell'ordine delle decine di metri, in relazione alla paleomorfologia delle sottostanti vulcaniti.

Le arenarie hanno generalmente colore grigiastro, granulometria grossolana, solitamente sterili ma talora fossilifere: si rinvencono echinidi, bivalvi e spesso macroforaminiferi. I conglomerati sono formati da ciottolotti, ciottoli e blocchi fino a 1-1,5 m di andesite a volte in matrice sabbiosa (sempre di natura vulcanica), a volte legati da cemento carbonatico.

Gli affioramenti che caratterizzano i litotipi affioranti nell'area in studio sono dati dai "Basalti del Logudoro". La roccia si presenta la fessurazione colonnare tipica di effusioni laviche tipo plateau, legata a sistemi eruttivi indipendenti che talvolta vanno a colmare paleodepressioni dando luogo poi, con l'intervento degli agenti erosivi, ad evidenti fenomeni di inversione del rilievo, così come si osserva nel sito oggetto del presente studio.

I depositi olocenici nell'area sono costituiti da suoli argillosi, piuttosto sottili, derivanti dall'alterazione dei sottostanti basalti. Il loro spessore è limitato ad un massimo di qualche decina di centimetri, si presenta poco consistente e praticamente privo di scheletro nei livelli più superficiali.

In misura minore sono presenti nei fondivalle depositi sabbiosi e ciottolosi di deposizione fluvio-torrentizia.

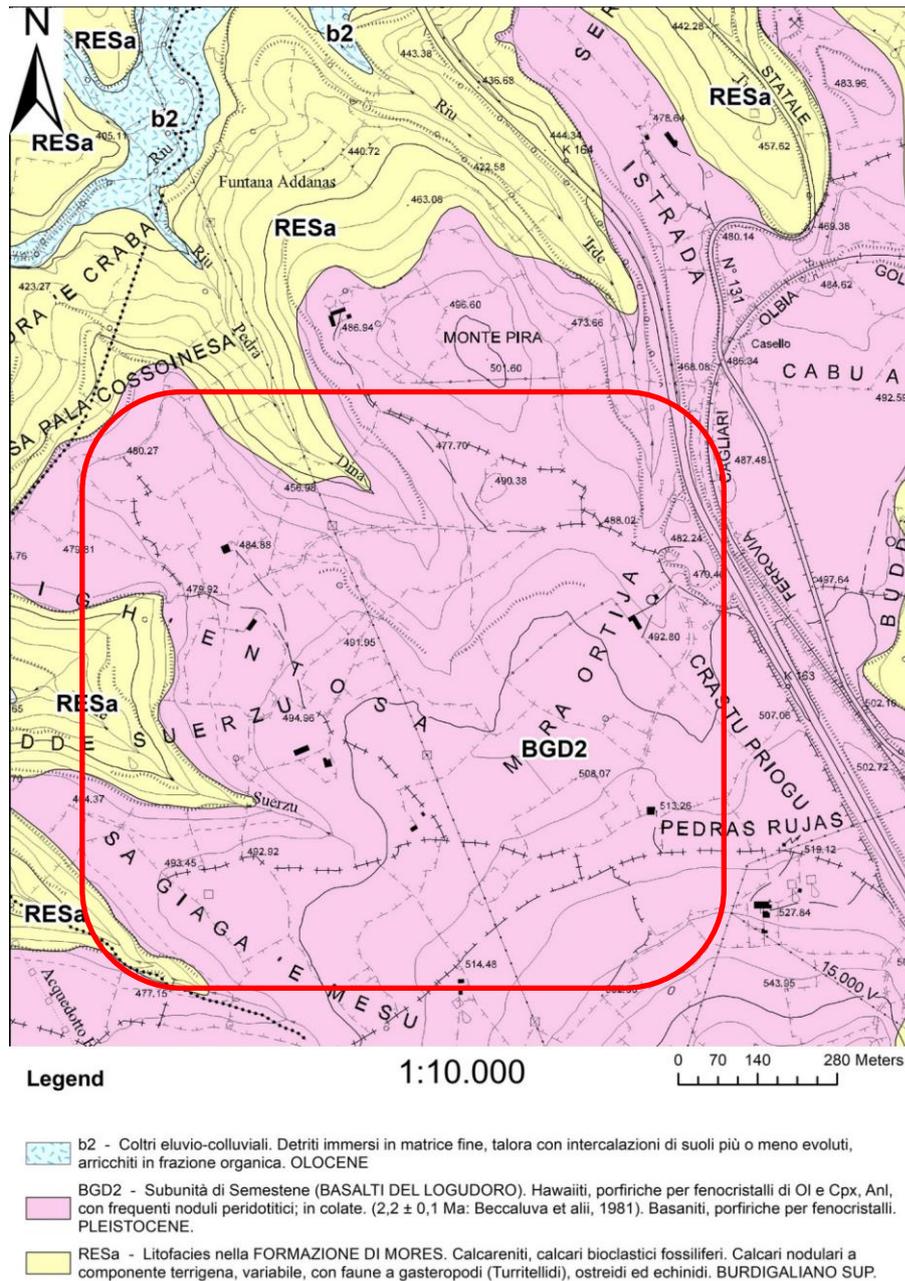


Figura 3.4 - Carta geologica del settore in studio

3.2.3 Inquadramento idrologico

Tutte le acque dolci che si trovano in Sardegna sono da collegarsi direttamente con la caduta di piogge il cui quantitativo non è scarso, essendo pari in media a quasi 19 miliardi di m³ all'anno. Una considerevole aliquota di dette acque è però destinata a ritornare rapidamente all'atmosfera per effetto dell'evapotraspirazione che, in Sardegna, è particolarmente elevata, dati gli alti valori raggiunti dalla temperatura, l'elevata percentuale dei giorni sereni e la frequenza con cui soffiano i venti. Un'altra frazione considerevole viene trattenuta direttamente dalla vegetazione.

Ciononostante, l'acqua restante rappresenta almeno la metà di quella originariamente pervenuta, o scorre sulla superficie emersa dell'isola e si infiltra nel sottosuolo alimentando le falde acquifere.

A causa di tale regime di precipitazioni i corsi d’acqua in Sardegna non possono essere considerati dei fiumi veri e propri, in quanto anche i principali hanno un carattere nettamente torrentizio con portate minime o nulle per la maggior parte dell’anno, brevi e violente piene nel periodo piovoso.

3.3 IDROGRAFIA DEL TERRITORIO

3.3.1 Idrografia superficiale

Con deliberazione in data 30.10.1990 n. 45/57, la Giunta Regionale suddivide il Bacino Unico Regionale in sette Sub-Bacini, già individuati nell'ambito del Piano per il Razionale Utilizzo delle Risorse Idriche della Sardegna (Piano Acque) redatto nel 1987. L’intero territorio della Sardegna è suddiviso in sette sub-bacini, ognuno dei quali caratterizzato in grande da generali omogeneità geomorfologiche, geografiche, idrologiche ma anche da forti differenze di estensione territoriale.

Secondo la classificazione del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF) aggiornato al 2020 della Regione Autonoma Sardegna, l’area di progetto è inclusa nel sub-bacino Coghinas – Mannu – Temo.

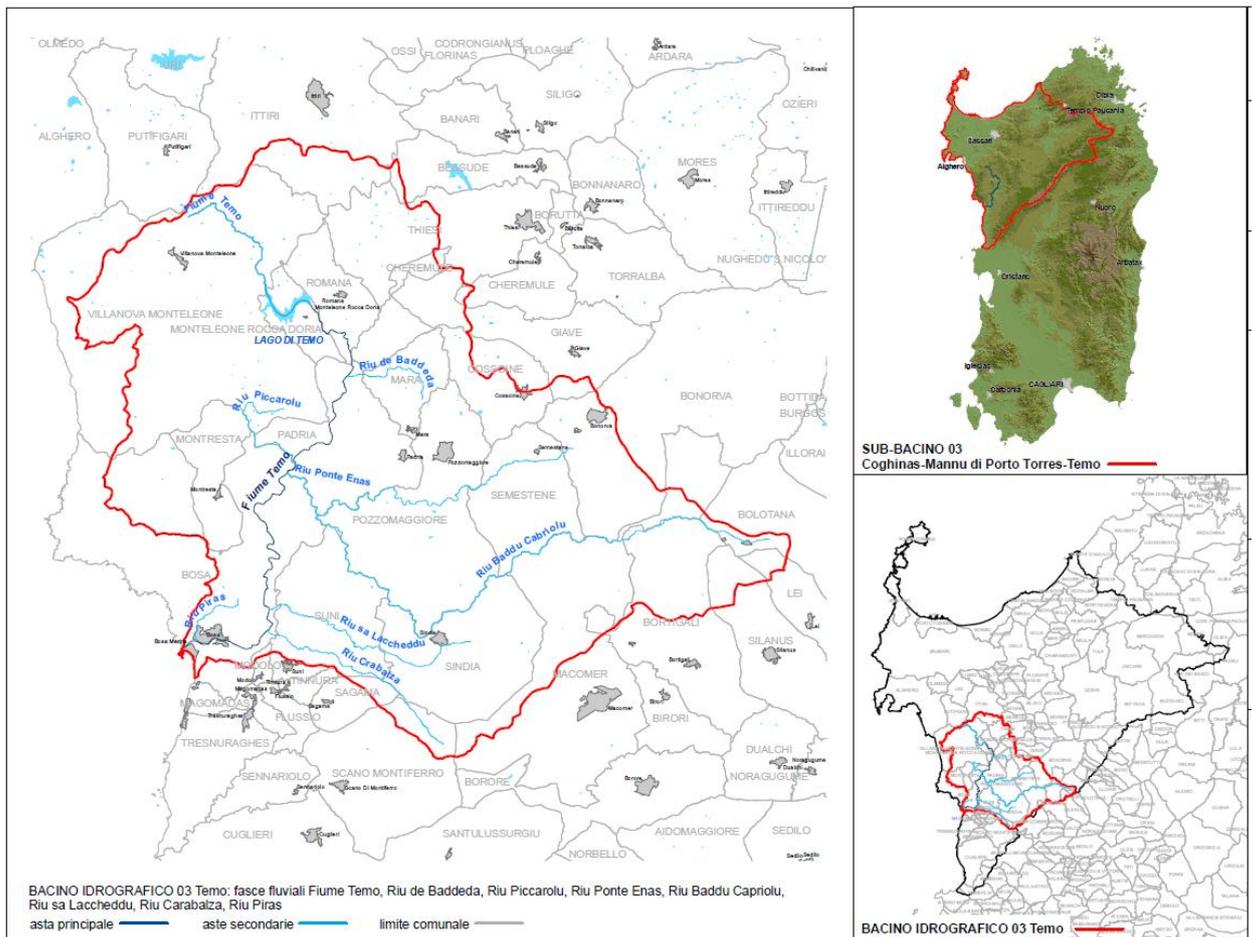


Figura 3.5 - Reticolo idrografico di interesse.

Il reticolo di drenaggio è fondamentalmente costituito da una serie di vallecole più o meno sviluppate che incidono il plateau con andamento sinuoso, vergenti verso nord ovest. I corsi d’acqua sono direttamente legati agli eventi meteorici, con piccole portate e regime stagionale come il Riu Pedra Dina a nord, il Riu Badde Suerzu a sud, i quali confluiscono verso il corso d’acqua più importante nell’area costituito dal Riu Archenneru, che incide profondamente i basalti, ha andamento meandri forme con direzione nord est-sud ovest. Appare evidente un forte controllo tettonico strutturale sull’impostazione dell’idrografia superficiale.

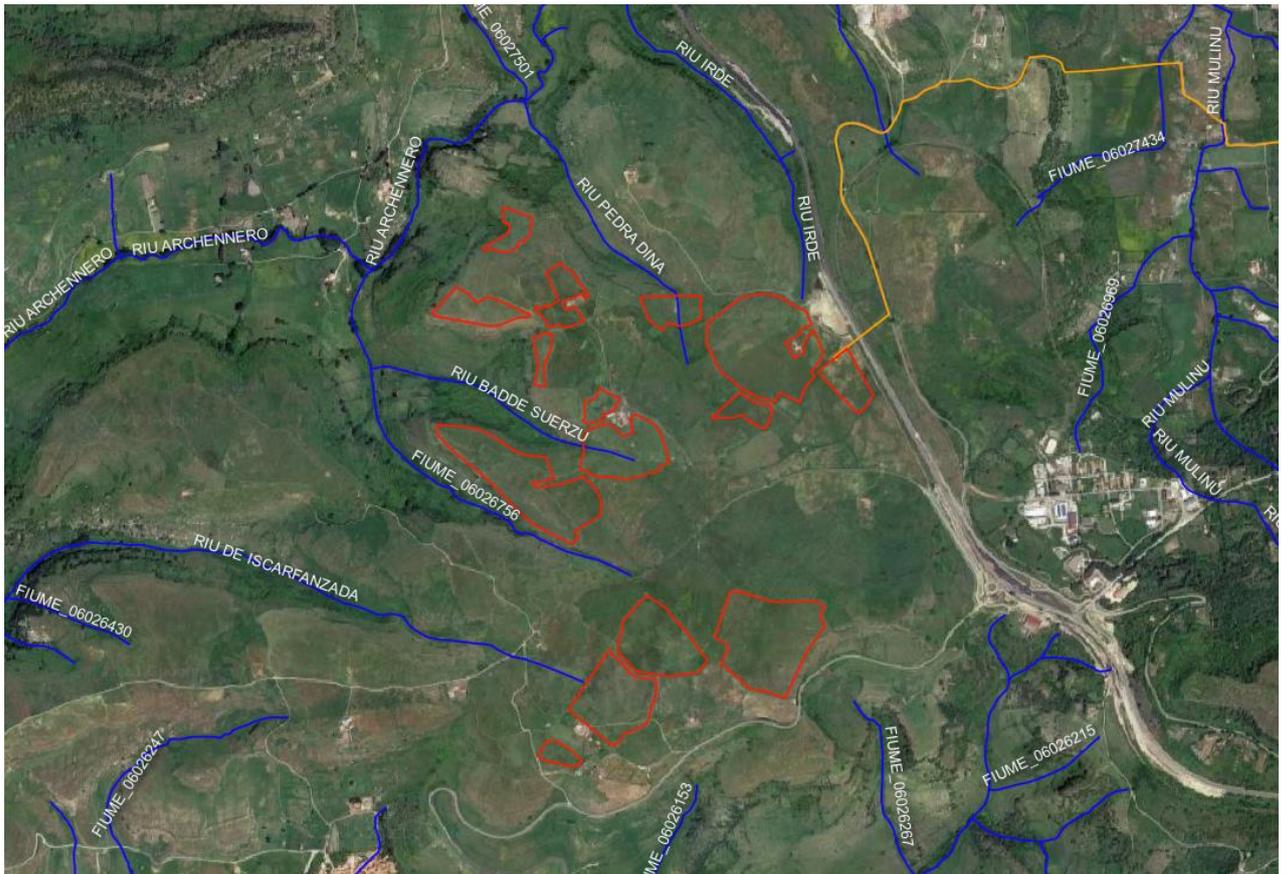


Figura 3.6 - Reticolo idrografico in prossimità dell'area di progetto.

Lo studio ha inoltre considerato il reticolo idrografico ufficiale della Regione Sardegna, adottato con deliberazione n.3 del 30/07/2015 dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino, basato sul Geodatabase Topografico alla scala 1: 10.000 (DGBT_10k).

Inoltre, è stata eseguita una simulazione del modello digitale del terreno o, ottenuto dal portale dell'INGV dal progetto Tinitaly. Lo studio del DEM ha permesso di identificare le principali informazioni idrologiche a scala di bacino nello stato di fatto. La simulazione è stata condotta mediante algoritmi TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models – Utah State University) e successivamente rielaborata in ambiente GIS.

3.4 INQUADRAMENTO QUALITÀ DELLE ACQUE

Il tema della qualità delle acque superficiali e sotterranee è trattato nel Piano regionale denominato Piano di Tutela delle Acque (PTA) e nel Piano di Gestione del Distretto Idrografico (PdG DIS).

Il Piano di Tutela delle Acque (PTA), approvato dalla Regione Autonoma della Sardegna con Deliberazione della Giunta Regionale n. 14/16 del 4 aprile 2006, è stato elaborato in attuazione dell'art. 44 del D.L.gs 11 maggio 1999 n. 152 e s.m.i. e dell'art. 2 della L.R. luglio 2000, n. 14.

Il Piano di Tutela delle Acque ha lo scopo principale di costituire uno strumento conoscitivo, programmatico, dinamico attraverso azioni di monitoraggio, programmazione, individuazione di interventi, misure, vincoli, finalizzati alla tutela integrata degli aspetti quantitativi e qualitativi della risorsa idrica. Esso contiene gli interventi volti alla tutela qualitativa e quantitativa del sistema idrico e a garantire:

- A. il raggiungimento o mantenimento degli obiettivi di qualità fissati dal D.Lgs. 152/99 e suoi collegati per i diversi corpi idrici e raggiungimento dei livelli di quantità e di qualità delle risorse idriche compatibili con le differenti destinazioni d'uso;
- B. il recupero e salvaguardia delle risorse naturali e dell'ambiente per lo sviluppo delle attività produttive e, in particolare, di quelle turistiche;
- C. il raggiungimento dell'equilibrio tra fabbisogni idrici e disponibilità, per garantire un uso sostenibile della risorsa idrica, anche con accrescimento delle disponibilità idriche, attraverso la promozione di misure tese alla conservazione, al risparmio, al riutilizzo ed al riciclo delle risorse idriche;
- D. la lotta alla desertificazione.

Contiene, inoltre:

- A. i risultati dell'attività conoscitiva;
- B. l'individuazione degli obiettivi ambientali e per specifica destinazione;
- C. l'elenco dei corpi idrici a specifica destinazione e delle aree richiedenti specifiche misure di prevenzione dall'inquinamento e di risanamento;
- D. le misure di tutela qualitative e quantitative tra loro integrate e coordinate per bacino idrografico;
- E. il programma di attuazione e verifica dell'efficacia degli interventi previsti.

Il PTA suddivide l'intero territorio Regionale in Unità Idrografiche Omogenee (U.I.O.), ognuna costituita da uno o più bacini idrografici limitrofi, la cui denominazione è quella del bacino principale, nell'esigenza di individuare un comparto territoriale su scala sufficientemente ampia da:

- tener conto delle complesse relazioni tra le varie pressioni insistenti sul territorio e i rispettivi corpi idrici (superficiali e sotterranei);
- tener conto delle complesse relazioni eventualmente esistenti tra i vari corpi idrici (interconnessioni, pozzi, sorgenti, ingressione marina, affluenze etc.);
- tener conto dell'ampio campo di influenza di ogni specifica misura che può avere ricadute su molteplici obiettivi pur essendo determinata, in prima battuta, da un'unica specifica esigenza ambientale;
- estendere la descrizione territoriale e la relativa analisi delle pressioni da attività antropica oltre i confini del singolo bacino idrografico, comprendendo, quindi, più bacini idrografici ed i rispettivi tratti marino-costieri, andando così a costituire sistemi territoriali omogenei per caratteristiche geomorfologiche o idrografiche/idrologiche o per tipologia delle pressioni da attività antropica, interrelati naturalmente (acquiferi significativamente afferenti su più bacini) e artificialmente (interconnessioni tra invasi artificiali, schemi acquedottistici e/o irrigui e/o schemi fognario depurativi a cavallo degli spartiacque, etc.).

L'area di progetto e il tracciato della connessione ricadono all'interno all'U.I.O. n. 6 "Temo".

Il 21 dicembre 2021, con Delibera n. 16, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino ha adottato il secondo riesame e aggiornamento del Piano di Gestione del distretto idrografico della Sardegna (terzo ciclo di pianificazione 2021-2027), ai fini delle successive procedure di approvazione, previste dalla L.R. 19/2006 e dall'articolo 66 del DLgs 152/2006.

In particolare l'11 febbraio 2022, a conclusione dell'iter di richiesta del parere della competente Commissione del Consiglio regionale della Sardegna previsto dall'art. 9 della L.R. 19/2006, con Delibera n. 2 il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino Regionale della Sardegna ha adottato il Riesame e aggiornamento del Piano di Gestione del distretto idrografico della Sardegna – Terzo ciclo di

pianificazione 2021-2027, ai fini del successivo iter di approvazione finale in sede statale ai sensi dell'articolo 66 del D.Lgs. 152/2006.

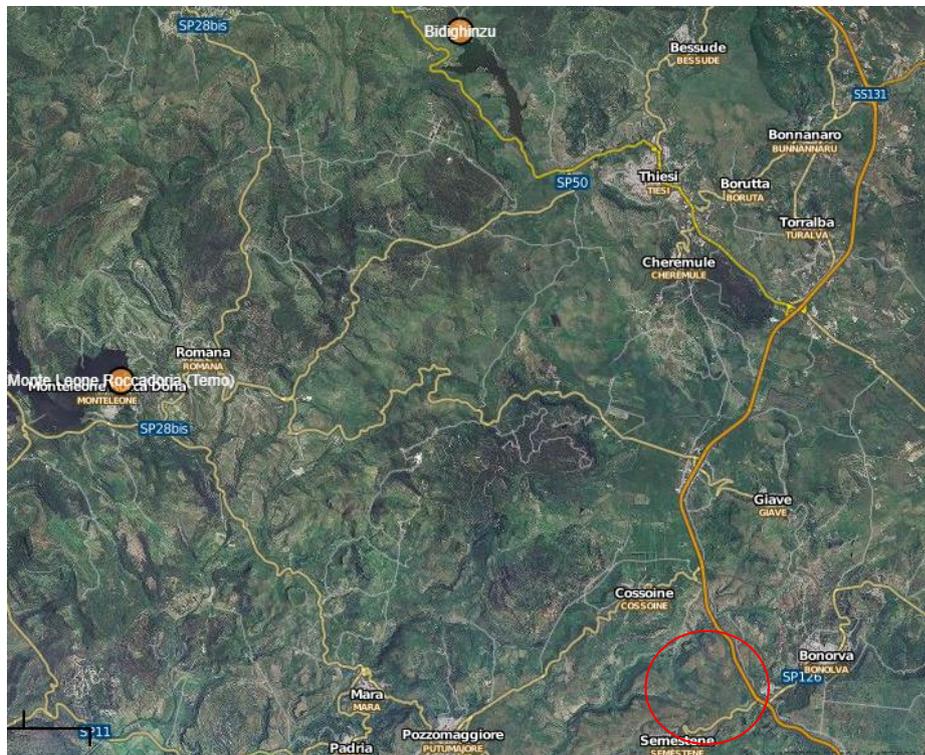
Il Piano fornisce un quadro dei cosiddetti centri di pericolo (CDP), reali e/o potenziali più importanti a livello regionale, che possono incidere sul livello qualitativo della risorsa idrica, ordinandoli secondo le seguenti classi:

- insediamenti industriali;
- discariche di rifiuti e assimilabili;
- attività minerarie ed estrattive;
- insediamenti urbani;
- vie di comunicazione e infrastrutture di collegamento;
- attività agricole;
- attività zootecniche;
- attività antropiche diverse che possono inquinare i corpi idrici.

3.4.1 Acque superficiali

Caratteristiche qualitative delle acque superficiali

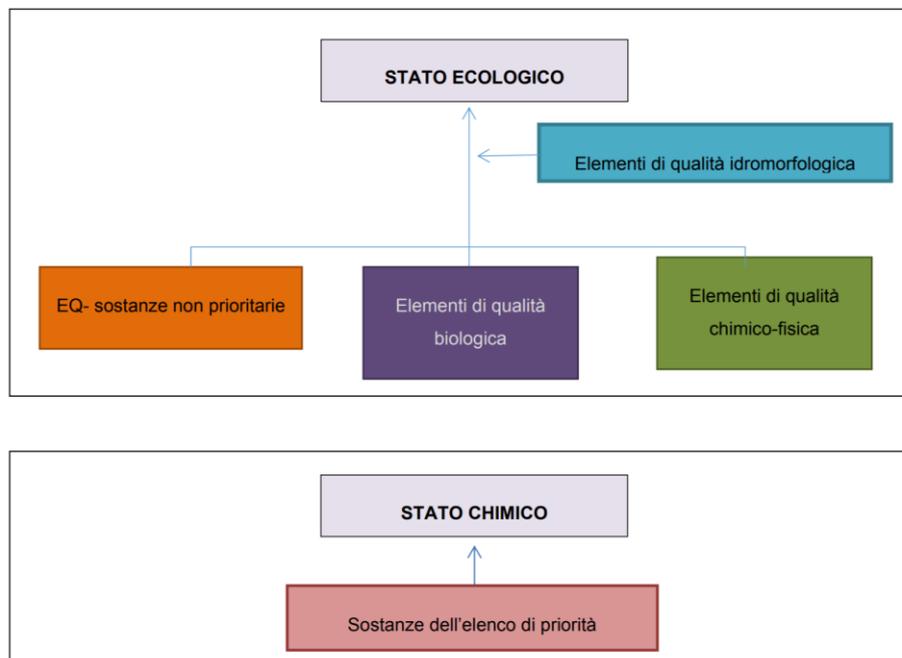
Attraverso il sistema informativo monitoraggio e preallarme siccità raggiungibile all'indirizzo <http://www.sardegnaedoc.it/invasi/> è possibile visionare la situazione dei serbatoi artificiali del sistema idrico multisettoriale della Sardegna e i relativi indicatori di stato per il monitoraggio e il preallarme della siccità. Lo stato attuale (Febbraio 2023) rappresentato in Figura 3.7 è classificato come “Livello di pericolo” per gli invasi di Monte Leone Roccadoria (Temo) e Bidighinzu.



| | |
|---|---|
| REGIME ORDINARIO (normalità) I = 0,5 - 1 | Gestione secondo gli indirizzi di pianificazione generale. |
| LIVELLO DI VIGILANZA (preallerta) I = 0,3 - 0,5 | E' necessario monitorare i parametri climatici per stimare con prontezza l'innescio di eventuali fluttuazioni; nel contempo è opportuno controllare i consumi portandoli ad un primo livello di riduzione che non determina svantaggi agli utenti. |
| LIVELLO DI PERICOLO (allerta) I = 0,15 - 0,3 | Il livello di erogazione deve essere ridotto in media, secondo le categorie di priorità degli usi, al fine di gestire in modo proattivo l'eventuale persistenza del periodo secco; contestualmente devono essere attivate le previste misure di mitigazione. |
| LIVELLO DI EMERGENZA I = 0 - 0,15 | In questo campo non si dovrebbe entrare, a seguito degli interventi di riduzione delle erogazioni di cui ai punti precedenti, è necessario, comunque, attivare ulteriori restrizioni nelle erogazioni; se si verificano livelli di emergenza e, in precedenza, le misure previste sono state puntualmente osservate, tale evento potrebbe significare che i parametri statistici delle serie si sono ulteriormente modificati e che quindi deve essere rivalutata l'erogazione media ammissibile in regime ordinario. |

Figura 3.7 - Situazione dei serbatoi artificiali del sistema idrico multisettoriale della Sardegna e i relativi indicatori di stato per il monitoraggio e il preallarme della siccità (dettaglio dell'area di studio, corrispondente indicativamente al cerchio rosso – fonte: <http://www.sardegnaedoc.it/invasi/>).

Relativamente allo Stato Ecologico e Chimico delle acque superficiali si considereranno i parametri riassunti nel seguente schema:



La classificazione dello Stato Ecologico dei corpi idrici (CI) fluviali della Sardegna è stata effettuata tenendo conto di quanto previsto dal DM 260/10 e riporta il giudizio relativo agli elementi di qualità dei corsi d'acqua rappresentato da un colore specifico per classe di qualità.

Il monitoraggio per lo stato chimico non è stato condotto su tutti i corpi idrici in cui è stato effettuato quello per lo stato ecologico, in quanto per il monitoraggio dello stato chimico si è tenuto conto della presenza o assenza di pressioni, della evidenza di scarichi, rilasci o immissioni nonché dei rilevamenti pregressi relativi alle sostanze di cui alla tabella 1/A del D.M. n. 260/2010 e s.m.i.

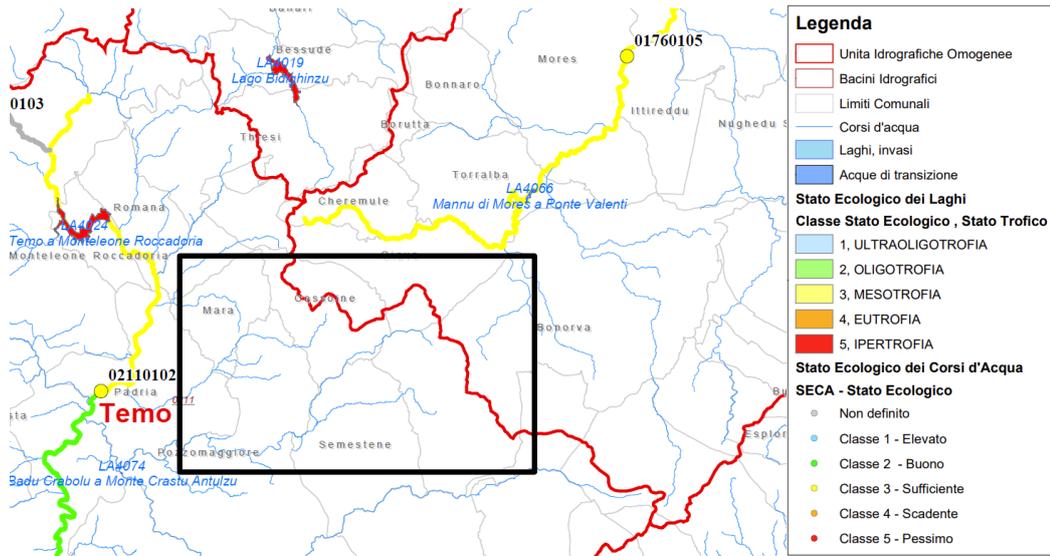


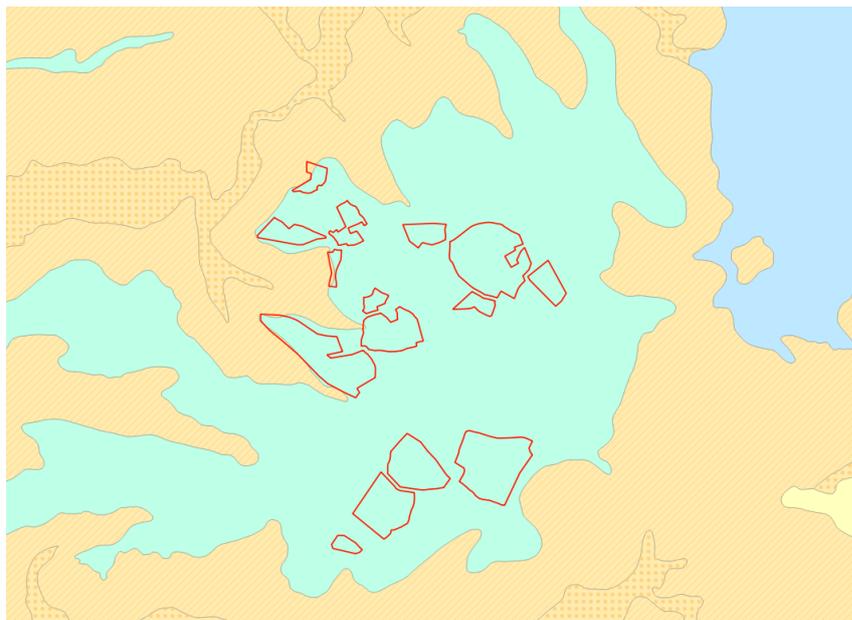
Figura 3.8 - Stato Ecologico delle acque superficiali nell'intorno dell'area di progetto (ciclo di pianificazione 2021-2027)

Lo Stato Ecologico delle acque superficiali nell'intorno dell'area di progetto relativo all'intervallo temporale più aggiornato (terzo ciclo di pianificazione 2021-2027¹) è mostrato nella Figura 3.8 ed evidenzia come il Riu Archennero è classificato con **Stato Ecologico elevato**.

3.4.2 Acque sotterranee

Caratteristiche qualitative delle acque sotterranee

Dalla carta della permeabilità dei suoli, resa disponibile Geoportale della Regione Autonoma della Sardegna (Figura 3.9), si evince che l'area interessata impianto di progetto presenta, nel complesso, una permeabilità medio bassa per fratturazione.



¹ Riesame e aggiornamento del Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sardegna – Terzo ciclo di pianificazione (2021 – 2027).

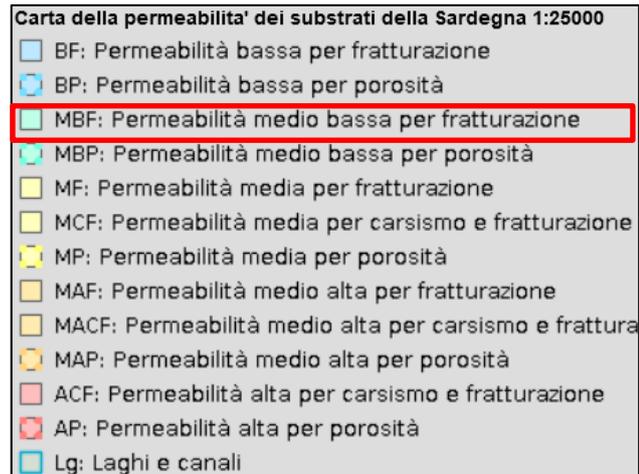


Figura 3.9 - Carta della permeabilità dei substrati della Regione Sardegna 1:25.000

Per la valutazione dello stato chimico e quantitativo della componente acque sotterranee nell'area di intervento sono state visionate le informazioni delle analisi elaborate dalla Regione Sardegna nel Piano di Tutela delle Acque (PTA) e nel Piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sardegna (PGDI). Come emerge dal PGDI, il sistema di approvvigionamento idrico della Sardegna per il comparto civile, irriguo ed industriale utilizza, per la maggior parte, acque superficiali immagazzinate e regolate da invasi artificiali. Le stesse acque sono utilizzate in alcuni casi anche per la produzione di energia idroelettrica. Le acque sotterranee sono utilizzate soprattutto per fabbisogni locali.

Nell'area vasta (Figura 3.11 e Figura 3.12) sono presenti corpi idrici sedimentari terziari (Acquifero Detritico-Carbonatico Oligo-Miocenico del Sassarese) e non sono presenti corpi idrici sedimentari plio-quadernari.

I complessi acquiferi significativi sono stati individuati sulla base della loro potenzialità e, secondariamente, della loro vulnerabilità intrinseca, ovvero la suscettibilità specifica dei sistemi acquiferi, nelle loro diverse parti componenti e nelle diverse situazioni geometriche ed idrodinamiche, ad ingerire e diffondere, anche mitigandone gli effetti, un inquinante fluido od idroveicolato tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea, nello spazio e nel tempo. Per quanto riguarda questo secondo aspetto è disponibile solo la tavola relativa agli acquiferi sedimentari terziari, di cui si riporta uno stralcio centrato sull'area vasta (Figura 3.13), dove è valutata una vulnerabilità medio-bassa.

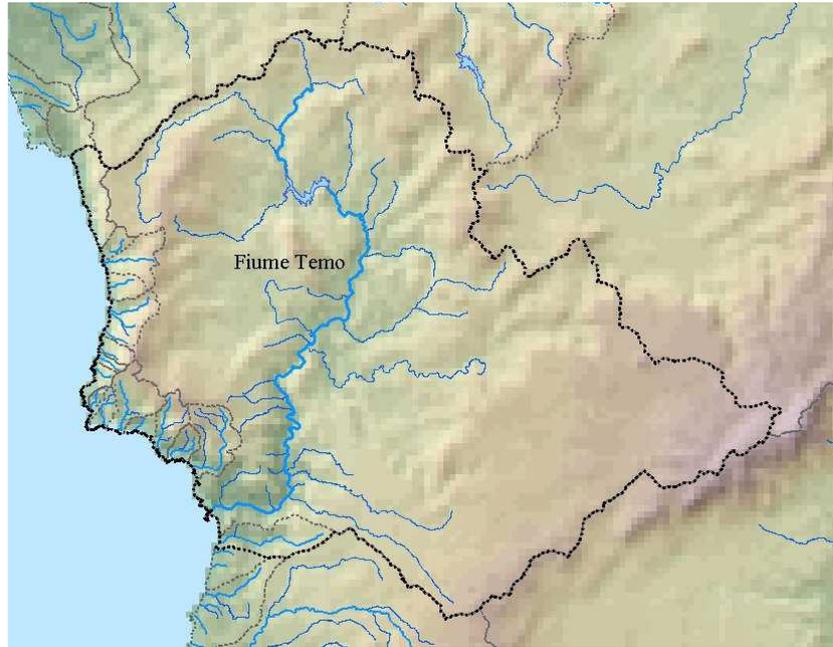


Figura 3.10 -Unità Idrica Omogenea (U.I.O.) n° 6 del Temo

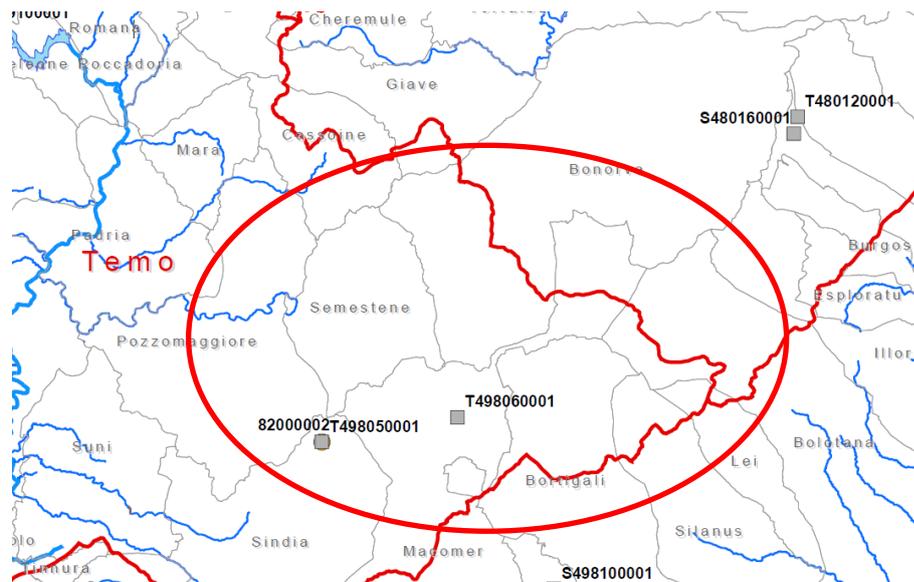


Figura 3.11 - Stralci Tavola 4a del PTA della Sardegna. In rosso l'indicazione dell'area vasta

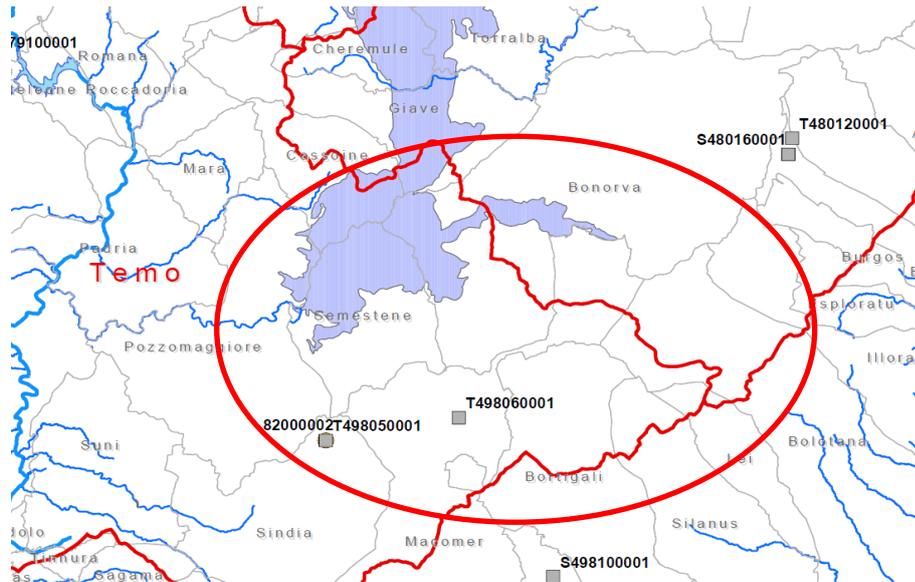


Figura 3.12 – Stralcio Tavola 4c del PTA della Sardegna. In rosso l’indicazione dell’area vasta

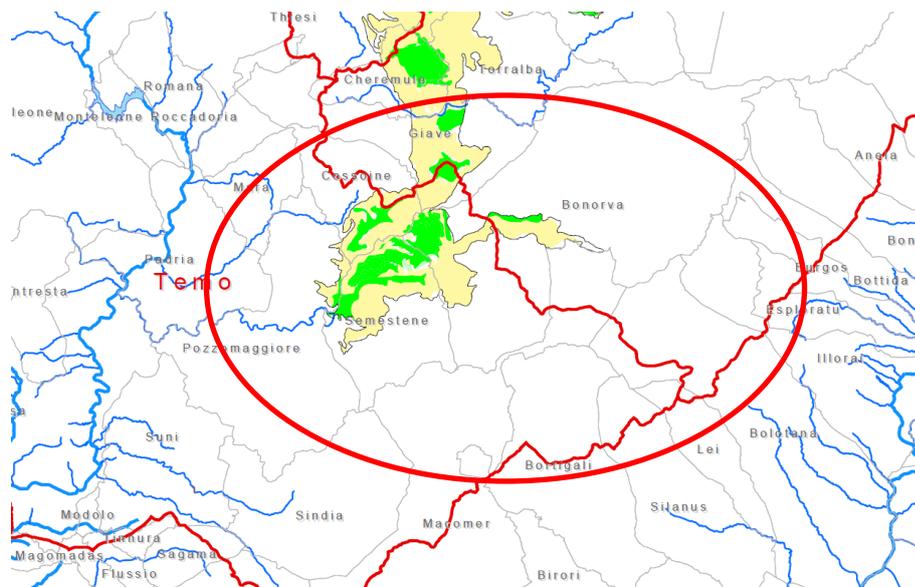


Figura 3.13 - Stralcio carta della vulnerabilità intrinseca degli acquiferi (Tavola 8c del PTA della Sardegna). In rosso l’indicazione dell’area vasta

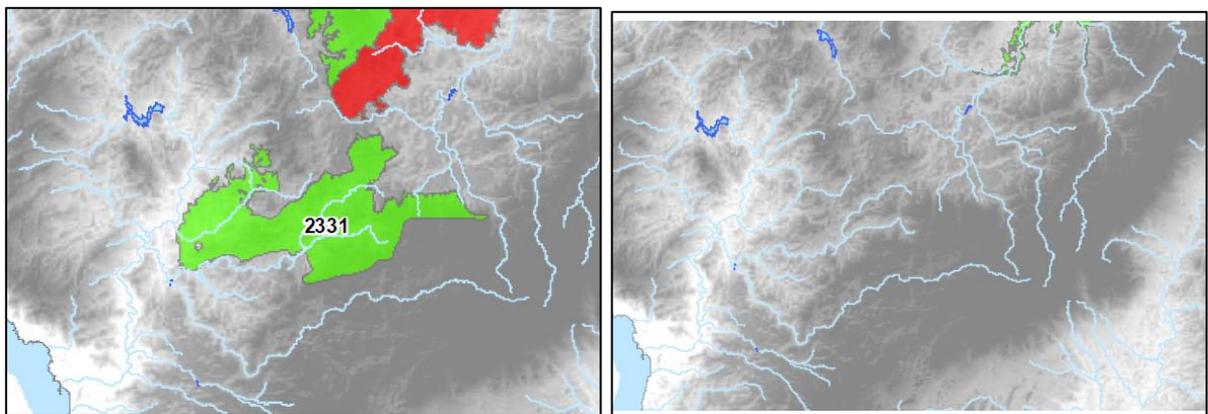
L'ARPAS effettua per conto della Regione Sardegna il monitoraggio delle acque sotterranee ai sensi del D.Lgs 152/2006. Il monitoraggio ha cadenza semestrale e comprende analisi quantitative (misure di portata di sorgenti e di livello piezometrico di pozzi) e qualitative (analisi chimiche di laboratorio e sul campo). Il monitoraggio è effettuato nelle circa 100 postazioni, dislocate nei 37 acquiferi significativi, della rete prevista nell'ambito delle attività del Piano di Tutela delle Acque. La procedura di classificazione dello stato chimico e quantitativo dei corpi d’acqua sotterranei utilizzata è illustrata in Tabella 3.1.

Tabella 3.1 - Schema dei test utilizzati nella classificazione dello stato chimico e quantitativo delle acque sotterranee in Regione Sardegna (ARPAS).

| Giudizio singoli test STATO CHIMICO | | Test | Giudizio singoli test STATO QUANTITATIVO | |
|--|--------|--|--|--------|
| Buono | Scarso | Presenza di intrusioni saline o altre intrusioni | Buono | Scarso |
| Buono | Scarso | Interazione con corpi idrici superficiali | Buono | Scarso |
| Buono | Scarso | Consumo umano delle acque sotterranee | | |
| Buono | Scarso | Stato chimico generale | | |
| | | Bilancio idrico | Buono | Scarso |
| Stato Chimico | | | Stato Quantitativo | |
| Se anche un solo test chimico dà come risultato scarso allora al corpo idrico sotterraneo verrà attribuito uno stato chimico scarso. | | | Se anche un solo test quantitativo dà come risultato scarso allora al corpo idrico sotterraneo verrà attribuito uno stato quantitativo scarso. | |
| Buono | Scarso | | Buono | Scarso |

Per quanto riguarda invece lo stato chimico, il PGDI (Terzo ciclo di pianificazione 2021-2027) valuta lo stato chimico degli acquiferi, di cui si riporta uno stralcio centrato sull'area vasta (Tavola 3 dell'Allegato 6, Figura 3.14) Come si può osservare, c'è interazione con gli acquiferi plio-quadernari e non c'è alcuna interazione con gli acquiferi terziari.

Lo stato quantitativo, invece (Tavola 5 dell'Allegato 6, Figura 3.15) è valutato come buono per tutti gli acquiferi dell'area.



STATO CHIMICO



Figura 3.14 - Stralcio della Tavola 3 dell'Allegato 6 del PGDI della Sardegna sull'area vasta, stato chimico delle acque sotterranee. A: Corpi idrici sedimentari terziari, B: Corpi idrici sedimentari plio-quadernari.

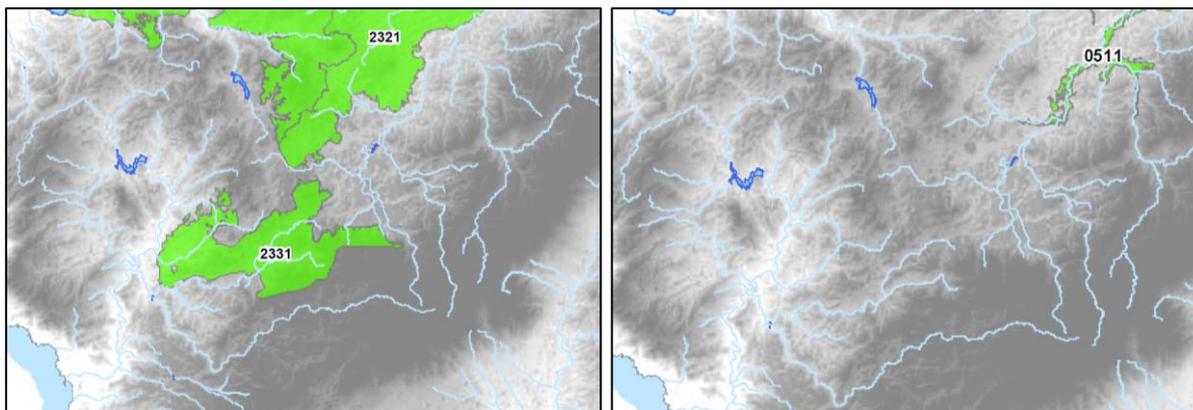
**STATO QUANTITATIVO** Buono Scarso

Figura 3.15 - Stralcio della Tavola 5 dell'Allegato 6 del PGDI della Sardegna sull'area vasta, stato quantitativo delle acque sotterranee. A: Corpi idrici sedimentari terziari, B: Corpi idrici sedimentari plio-quadernari.

4. STUDIO PRELIMINARE DELLA COMPATIBILITÀ E INQUADRAMENTO DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO IDRAULICO DELL'AREA DI PROGETTO

Il Piano di bacino è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa, alla valorizzazione e alla corretta utilizzazione del suolo e delle acque, sulla base delle caratteristiche fisiche e ambientali dei territori interessati. Esso rappresenta il quadro di riferimento a cui devono adeguarsi e riferirsi tutti i provvedimenti autorizzativi e concessori inerenti agli interventi comunque riguardanti il bacino e ha valore di piano territoriale di settore.

Il Piano di bacino ha i contenuti e l'efficacia di cui all'articolo 65 del decreto legislativo n. 152 del 2006.

Il Piano di bacino è redatto, adottato e approvato per sottobacini o per stralci relativi a settori funzionali, interessanti anche più bacini idrografici e costituenti, in ogni caso, fasi sequenziali e interrelate rispetto ai suoi contenuti.

Nei paragrafi seguenti verranno individuate le interferenze tra i piani: PAI, PGRA, PSFF e Reticolo idrografico Strahler con il layout di progetto ed il tracciato del cavo di connessione.

4.1 PIANO STRALCIO DI BACINO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO (PAI)

Il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino unico regionale PAI, è redatto ai sensi della legge n. 183/1989 e del decreto-legge n. 180/1998, con le relative fonti normative di conversione, modifica e integrazione.

Il PAI è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso finalizzate alla conservazione, alla difesa ed alla valorizzazione del suolo, alla prevenzione del rischio idrogeologico, sulla base delle caratteristiche fisiche ed ambientali del territorio interessato.

Il PAI si applica nel bacino idrografico unico regionale della Regione Sardegna, corrispondente all'intero territorio regionale, comprese le isole minori, che ai sensi della Deliberazione della Giunta regionale n. 45/57 del 30.10.1990 è suddiviso nei seguenti sette sottobacini: sub-bacino n.1 Sulcis, sub-bacino n.2 Tirso, sub-bacino n.3 Coghinas-Mannu-Temo, sub-bacino n.4 Liscia, sub-bacino n.5 Posada-Cedrino, sub-bacino n.6 Sud-Orientale, sub-bacino n.7 Flumendosa-Campidano-Cixerri.

Le mappe PAI disponibili sul geoportale della regione Sardegna sono aggiornate al 2020.

Come si evince dalla Figura 4.1, il Piano di Assetto Idrologico della Sardegna non interferisce con alcuna parte dell'area recintata dell'impianto fotovoltaico e nemmeno con il tracciato del cavidotto di connessione (Figura 4.2).

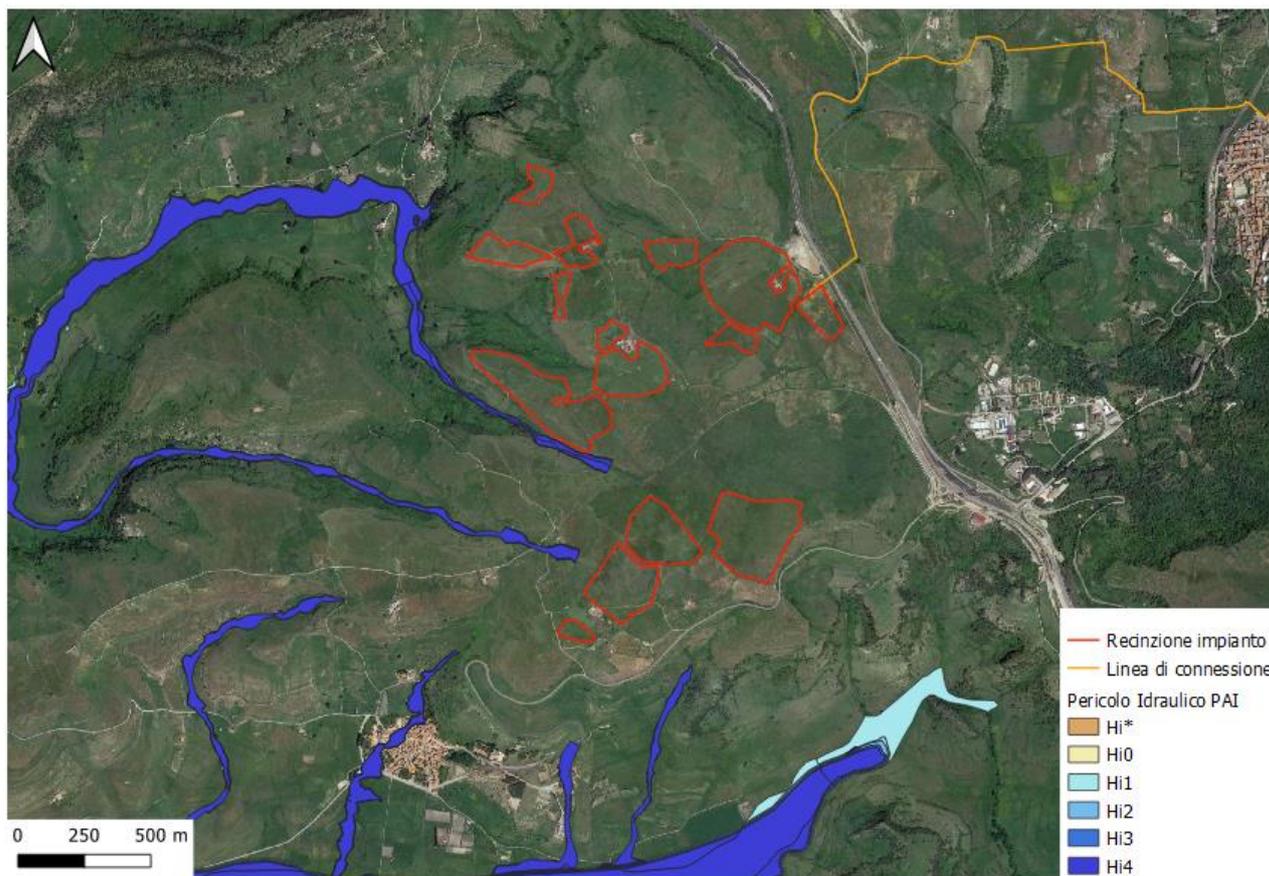


Figura 4.1 - Fasce di pericolosità idraulica PAI, rev. 2022, nell'area di impianto.

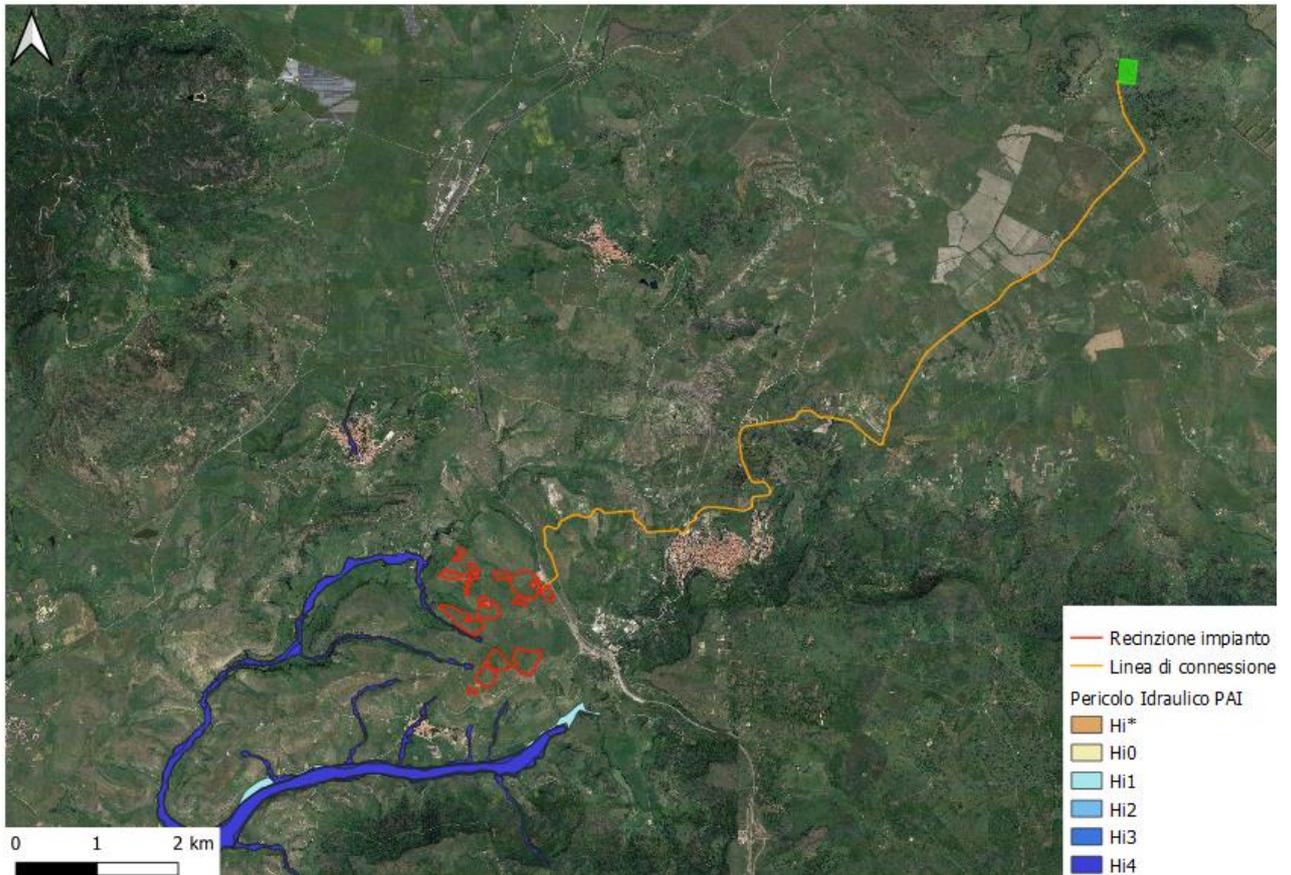


Figura 4.2 - Fasce di pericolosità idraulica PAI, rev. 2022, in rosso l'area di impianto e in arancione la linea di connessione.

4.2 PIANO STRALCIO DELLE FASCE PLUVIALI (PSFF)

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è redatto ai sensi dell'art. 17, comma 6 della legge 19 maggio 1989 n. 183, quale Piano Stralcio del Piano di Bacino Regionale relativo ai settori funzionali individuati dall'art. 17, comma 3 della L. 18 maggio 1989, n. 183.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali ha valore di Piano territoriale di settore ed è lo strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo, mediante il quale sono pianificate e programmate le azioni e le norme d'uso riguardanti le fasce fluviali.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali costituisce un approfondimento ed una integrazione necessaria al Piano di Assetto Idrogeologico (P.A.I.) in quanto è lo strumento per la delimitazione delle regioni fluviali funzionale a consentire, attraverso la programmazione di azioni (opere, vincoli, direttive), il conseguimento di un assetto fisico del corso d'acqua compatibile con la sicurezza idraulica, l'uso della risorsa idrica, l'uso del suolo (ai fini insediativi, agricoli ed industriali) e la salvaguardia delle componenti naturali ed ambientali.

Le mappe P.S.F.F. della Sardegna sono aggiornate al 2020, suddividono il territorio in aree alluvionali del tipo:

- Fascia A: aree inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=2$ anni o $T = 50$ anni;
- Fascia B: aree esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento di piena con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=100$ anni o $T = 200$ anni;

- Fascia C: aree esterne alle precedenti, inondabili al verificarsi dell'evento con portata al colmo di piena corrispondente a periodo di ritorno $T=500$ anni e, nel caso siano più estese, comprendenti anche le aree storicamente inondate e quelle individuate mediante analisi geomorfologica.

Nel caso specifico, il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali della Sardegna non interferisce in alcun punto con l'area di impianto e con il tracciato del cavidotto di connessione (Figura 4.3).

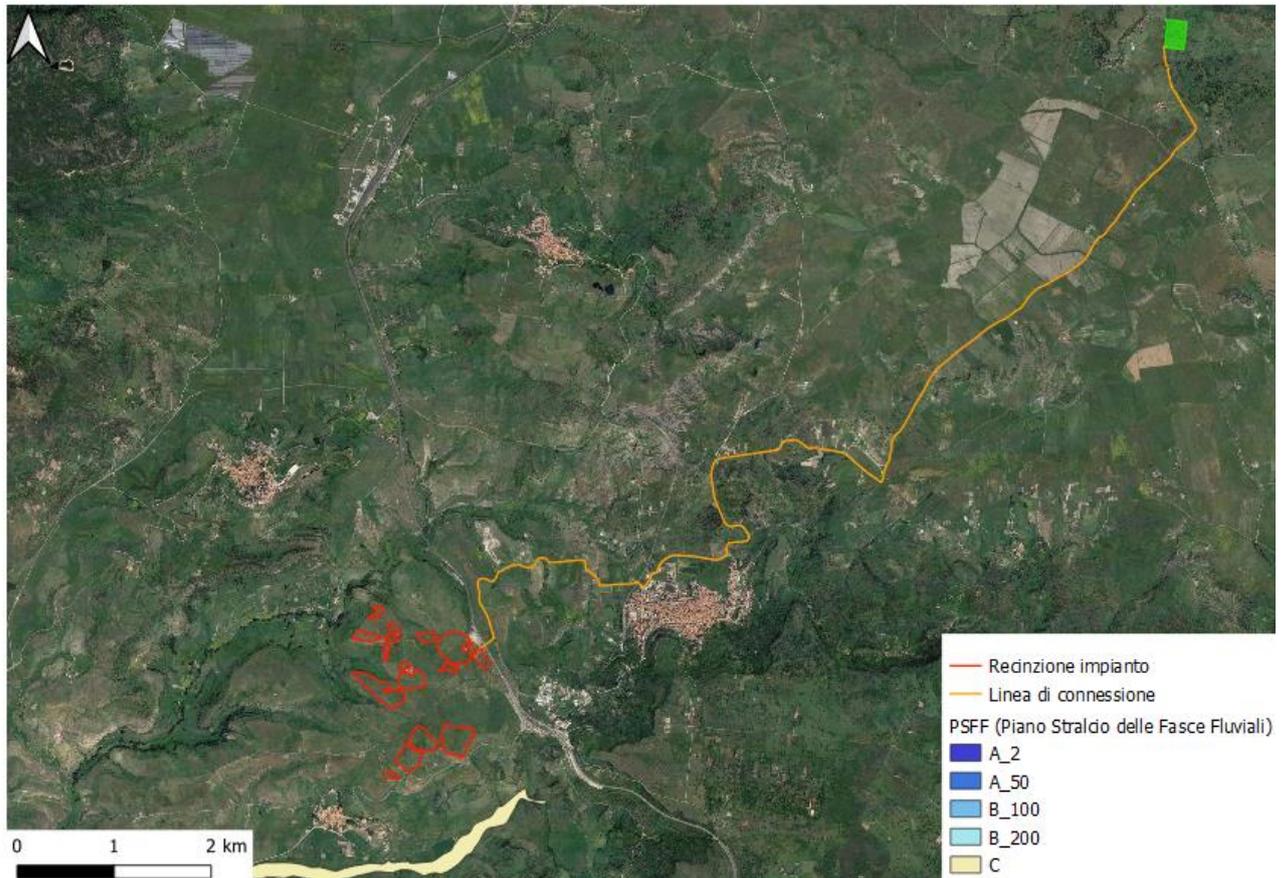


Figura 4.3 - Fasce di inondabilità PSFF, aggiornamento 2020.

4.3 PIANO DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)

Il Piano di gestione del rischio di alluvioni è redatto in ottemperanza alle previsioni del D.Lgs. 23 febbraio 2010, n.49 avente a oggetto "Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni".

Oltre ai riferimenti normativi, sono stati redatti a livello nazionale e comunitario numerosi documenti tecnici che riportano linee guida e indirizzi applicativi finalizzati a supportare le Autorità di Bacino nella redazione dei Piani di gestione del rischio di alluvione.

A conclusione del processo di partecipazione attiva, avviato nel 2018 con l'approvazione della "Valutazione preliminare del rischio" e del "Calendario, programma di lavoro e dichiarazione delle misure consultive", proseguito poi nel 2019 con l'approvazione della "Valutazione Globale Provvisoria" e nel 2020 con l'adozione del Progetto di Piano, con la Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 14 del 21/12/2021 è stato approvato il Piano di gestione del rischio di alluvioni della Sardegna per il secondo ciclo di pianificazione.

La cartografia riportata in seguito è riferita all'ultimo aggiornamento delle perimetrazioni delle aree caratterizzata de fasce di pericolo idraulico del secondo ciclo.

Come si evince dalla Figura 4.4, non vi sono interferenze con le fasce del PGRA.

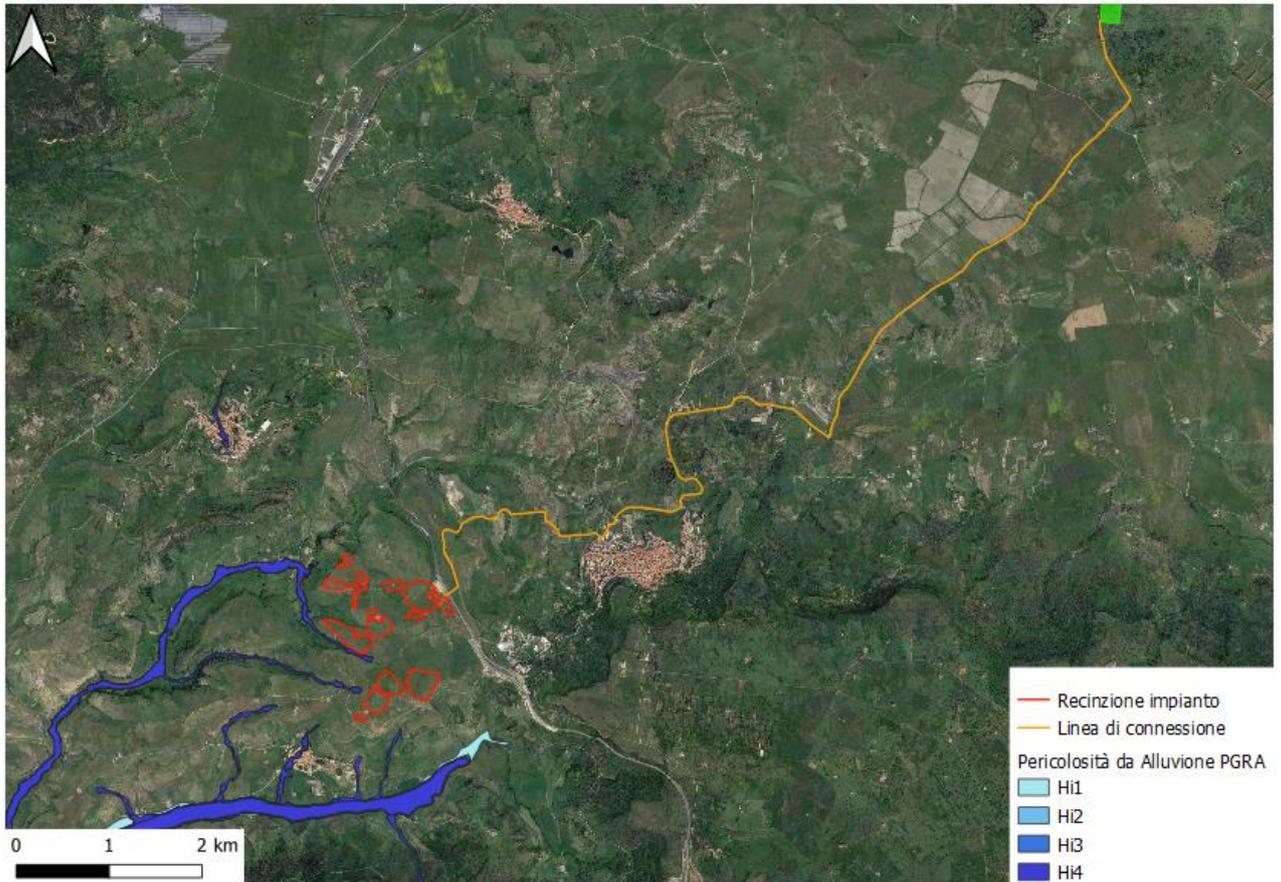


Figura 4.4 – Pericolosità da alluvione PGRA, aggiornamento 2021.

4.4 RETICOLO IDROGRAFICO: FASCE DI PRIMA SALVAGUARDIA

Con la deliberazione del Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino n. 1 del 16 giugno 2020 sono state modificate ed integrate le norme di attuazione del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) della Sardegna ed è stato introdotto l’art. 30 ter, avente per oggetto *“Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia”*. Al fine di fornire uno strumento per l’applicazione dell’articolo in argomento e la corretta definizione delle fasce di prima salvaguardia si è provveduto ad operare un’analisi del reticolo idrografico ufficiale della Regione Sardegna che lo rendesse funzionale a tale scopo.

L’analisi è stata rivolta a definire l’ordine gerarchico di ciascun tratto di corso d’acqua rappresentato nell’attuale copertura della rete idrografica.

Il Comitato Istituzionale dell’Autorità di Bacino, con Deliberazione n. 3 del 30 luglio 2015, ha adottato quale reticolo idrografico ufficiale della Regione Sardegna, lo strato informativo del DBGT_10k_Versione 0.1 denominato «04_ELEMENTO_IDRICO». Lo strato informativo è composto da una copertura in formato shape che riporta i circa 230.000 tratti di corso d’acqua rilevati sul territorio regionale. Nella Delibera si specifica che il reticolo rappresentato nella copertura rimane da integrare con gli ulteriori elementi idrici eventualmente rappresentati nella cartografia dell’Istituto Geografico Militare (IGM), Carta topografica d’Italia - serie 25V edita per la Sardegna dal 1958 al 1965, laddove non presenti. La Deliberazione puntualizza inoltre che rientrano in ogni caso nel suddetto reticolo idrografico anche gli elementi idrici che allo stato attuale seguono un percorso diverso a causa di evoluzione naturale o a causa di interventi di deviazione o derivazione.

La struttura del reticolo idrografico è un elemento essenziale per definire le modalità di risposta agli eventi meteorici di un generico bacino idrografico. La rete di tratti di corso d'acqua presenti in un bacino si sviluppa secondo un'organizzazione ad albero, dove la sezione di chiusura rappresenta la sezione del tronco mentre, procedendo verso monte, si osserva una struttura di biforcazione verso canali via via più piccoli. Lo sviluppo di tale struttura, più o meno complessa a seconda delle caratteristiche geologiche e climatiche del bacino, si può rappresentare facendo ricorso a varie grandezze, introdotte nell'ambito di una descrizione gerarchica della rete.

La definizione del grado gerarchico dei corsi d'acqua, pertanto, è stata ritenuta di fondamentale importanza per la definizione delle fasce di prima salvaguardia di cui all'art. 30 ter introdotto nell'ultima versione della NA del PAI.

Il criterio utilizzato per la gerarchizzazione dei reticoli idrografici è quello di Horton-Strahler, e in funzione dell'ordine di un tratto fluviale è associata una fascia di Rispetto. Nella seguente Tabella 4.1 si associa l'ordine gerarchico con la profondità della fascia di prima salvaguardia.

Tabella 4.1 - Fasce di prima salvaguardia relative all'ordine di Horton-Strahler.

| CLASSIFICAZIONE HORTON-STRALER | FASCIA DI SALVAGUARDIA [M] |
|--------------------------------|----------------------------|
| 1 | 10 |
| 2 | 25 |
| 3 | 50 |
| 4 | 75 |
| 5 | 100 |
| 6 | 150 |
| 7 | 250 |
| 8 | 400 |

Secondo l'articolo 30 ter (Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia) delle NA del PAI all'ultimo aggiornamento di Gennaio 2022, Commi 2 e 3:

"2. Per le opere e per gli interventi da realizzare all'interno della fasce di prima salvaguardia, i Comuni, anche su istanza dei proponenti, sono tenuti ad effettuare apposito studio idrologico-idraulico volto a determinare le effettive aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1); tale studio, obbligatorio per i tratti di ordine maggiore di due, dovrà contemplare i corsi d'acqua interessati nella loro interezza o almeno i tronchi degli stessi idraulicamente significativi in relazione alle opere e agli interventi da realizzare."

"3. Anche in assenza degli studi di cui al comma 2, nelle aree interne alla fascia di cui al comma 1, sono consentiti gli interventi previsti dall'articolo 27 e 27 bis delle NA."

In Figura 4.5 il perimetro della recinzione e le aree di installazione impianto.



Figura 4.5 - Reticolo idrografico con fasce di prima salvaguardia.

Nella definizione del layout e nel posizionamento dei moduli fotovoltaici sono state tenute in considerazione le sovrapposizioni con il reticolo idrografico in sito.

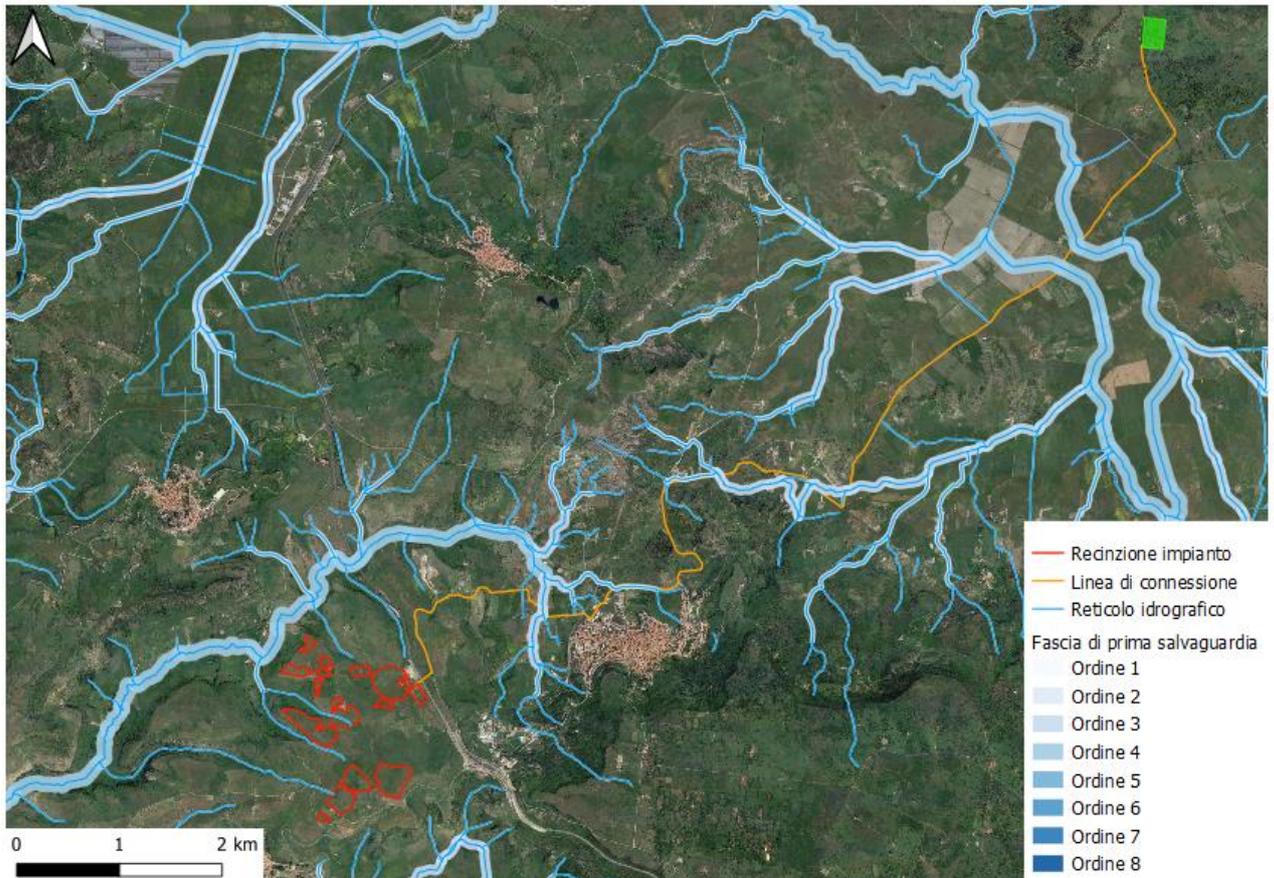


Figura 4.6 - Reticolo idrico di Strahler e relative fasce di rispetto

4.5 INVARIANZA IDRAULICA

Per invarianza idraulica si intende il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei recettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione; in base a tale principio si richiede a chi propone una trasformazione di uso del suolo di prendersi carico, attraverso opportune azioni compensative, degli oneri del consumo della risorsa territoriale costituita dalla capacità di un bacino di regolare le piene e quindi mantenere le condizioni di sicurezza nel tempo.

L'invarianza idraulica è regolamentata dall'articolo 47 delle NA del PAI, che è così articolato:

- i. Per invarianza idraulica si intende il principio in base al quale le portate di deflusso meteorico scaricate dalle aree urbanizzate nei recettori naturali o artificiali di valle non sono maggiori di quelle preesistenti all'urbanizzazione.
- ii. I comuni in sede di redazione degli strumenti urbanistici generali o di loro varianti generali e in sede di redazione degli strumenti urbanistici attuativi, stabiliscono che le trasformazioni dell'uso del suolo rispettino il principio dell'invarianza idraulica.
- iii. Gli strumenti urbanistici generali ed attuativi individuano e definiscono le infrastrutture necessarie per soddisfare il principio dell'invarianza idraulica per gli ambiti di nuova trasformazione e disciplinano le modalità per il suo conseguimento, anche mediante la realizzazione di vasche di laminazione.
- iv. Sono fatte salve eventuali normative già adottate dai comuni per l'applicazione del principio dell'invarianza idraulica.
- v. La Regione approva normative specifiche con l'obiettivo di incentivare il perseguimento del principio della invarianza idraulica anche per i contesti edificati esistenti.

Ai sensi della suddetta normativa e alla luce dell'area di trasformazione considerata sono stati analizzati gli interventi di progetto.

L'area occupata dalle strutture per i moduli e dai moduli stessi non risulta essere impermeabile e non va a trasformare effettivamente l'uso del suolo; inoltre, secondo quanto descritto al punto "i", l'area in questione non va ad aumentare le portate di deflusso meteoriche scaricate nei recettori naturali o artificiali di valle.

La viabilità di progetto sarà in materiale interamente permeabile per l'intero pacchetto stradale, di conseguenza la trasformazione dell'uso del suolo sarà trascurabile.

Le uniche aree che risultano essere totalmente impermeabili sono quelle occupate dai cabinati; tali aree non risultano impattare significativamente a livello idraulico sul deflusso meteorico naturale delle acque poiché rappresentano una percentuale molto bassa rispetto all'area di impianto totale.

Il presente studio ha quindi verificato, anche con la realizzazione di opportune misure di mitigazione, che la realizzazione degli interventi di trasformazione territoriale del piano attuativo permettano di mantenere invariate le caratteristiche di risposta idraulica del bacino recettore oggetto dell'intervento.

4.6 CONCLUSIONI

Si è valutata la possibile interferenza delle opere di progetto con aree soggette a pericolosità idraulica perimetrate nei Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI, aggiornato al 2020), nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, aggiornato al 2020) e nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA, aggiornato al 2020).

Si è valutato inoltre il rispetto dell'invarianza idraulica, secondo l'art.47 delle NA del PAI, verificando che la realizzazione degli interventi di trasformazione territoriale del piano attuativo permettano di mantenere invariate le caratteristiche di risposta idraulica del bacino oggetto dell'intervento.

Il presente studio ha quindi verificato, anche con la realizzazione di opportune misure di mitigazione, che la realizzazione degli interventi di trasformazione territoriale del piano attuativo permettano di mantenere invariate le caratteristiche di risposta idraulica del bacino oggetto dell'intervento.

5. STATO DI PROGETTO: DESCRIZIONE GENERALE INTERVENTI

I criteri con cui è stata realizzata la progettazione definitiva dell'impianto fotovoltaico fanno riferimento sostanzialmente a:

- rispetto del PAI sulla base dell'ultimo aggiornamento nella predisposizione del layout;
- scelta preliminare della tipologia impiantistica, ovvero impianto fotovoltaico a terra tipo tracker con tecnologia moduli BI-facciali;
- ottimizzazione dell'efficienza di captazione energetica realizzata mediante orientamento dinamico dei pannelli;
- disponibilità delle aree, morfologia ed accessibilità del sito acquisita sia mediante sopralluoghi che rilievo topografico di dettaglio.

Oltre a queste assunzioni preliminari si è proceduto tenendo conto di:

- rispetto delle leggi e delle normative di buona tecnica vigenti;
- soddisfazione dei requisiti di performance di impianto;
- conseguimento delle massime economie di gestione e di manutenzione degli impianti progettati;
- ottimizzazione del rapporto costi/benefici;
- impiego di materiali componenti di elevata qualità, efficienza, lunga durata e facilmente reperibili sul mercato;
- riduzione delle perdite energetiche connesse al funzionamento dell'impianto, al fine di massimizzare la quantità di energia elettrica immessa in rete.

5.1 DESCRIZIONE IMPIANTO

L'impianto fotovoltaico con potenza nominale di picco pari a 32,11 MW è così costituito da:

- n.1 Cabina di Connessione. La Cabina di Connessione dell'impianto, a livello di tensione pari a 36 kV, sarà posizionata in adiacenza alla nuova SE di Trasformazione di Terna di riferimento;
- n.1 Cabina di Sezionamento. La Cabina di Sezionamento dell'impianto, a livello di tensione pari a 36 kV, sarà posizionata lungo la linea di connessione dell'impianto alla nuova SE di Trasformazione di Terna di riferimento;
- n.1 Cabina di Smistamento. Le Cabine di Smistamento hanno la funzione di raccogliere le terne provenienti dalle Cabine di Campo, presenti nei vari sottocampi. Le cabine saranno posizionate in maniera strategica all'interno dell'impianto. Nella stessa area all'interno della cabina sarà presente I quadri contenenti i dispositivi generali DG, di interfaccia DDI e gli apparati SCADA e telecontrollo;
- n. 10 Cabine di Campo. Le Cabine di Campo avranno la funzione di elevare la tensione da bassa tensione a livello di media tensione; esse saranno collegate tra di loro in configurazione radiale e in posizione più possibile baricentrica rispetto ai sottocampi fotovoltaici in cui saranno convogliati i cavi provenienti dagli inverter di stringa che a loro volta raccoglieranno i cavi provenienti dai raggruppamenti delle stringhe dei moduli fotovoltaici collegati in serie;
- n.8 Uffici e n.8 Magazzini ad uso del personale, installati in coppie (ufficio + magazzino) in ogni sezione dell'impianto;
- i moduli fotovoltaici saranno installati su apposite strutture metalliche di sostegno di due tipologie: strutture fisse e strutture mobili (tipo tracker) entrambe fondate su pali trivellati nel terreno;
- L'impianto è completato da:

- tutte le infrastrutture tecniche necessarie alla conversione DC/AC della potenza generata dall'impianto e dalla sua consegna alla rete di distribuzione nazionale;
- opere accessorie, quali: impianti di illuminazione, videosorveglianza, monitoraggio, cancelli e recinzioni.

L'impianto dovrà essere in grado di alimentare dalla rete tutti i carichi rilevanti (ad esempio: quadri di alimentazione, illuminazione). Inoltre, in mancanza di alimentazione dalla rete, tutti i carichi di emergenza verranno alimentati da un generatore temporaneo di emergenza, che si ipotizza possa essere rappresentato da un generatore diesel.

Di seguito si riporta la descrizione dei principali componenti d'impianto; per dati di tecnici maggior dettaglio si rimanda alle relazioni e agli elaborati dedicati.

5.1.1 Moduli fotovoltaici

I moduli fotovoltaici utilizzati per la progettazione dell'impianto, saranno di prima scelta, del tipo silicio monocristallino a 132 celle, di tipologia bifacciale, indicativamente della potenza di 690 W_p, della marca Canadian Solar dotati di scatola di giunzione (Junction Box) installata sul lato posteriore del modulo, con cavetti di connessione muniti di connettori ad innesto rapido, al fine di garantire la massima sicurezza per gli operatori e rapidità in fase di installazione.

I componenti elettrici e meccanici installati saranno conformi alle normative tecniche e tali da garantire le performance complessive d'impianto.

La tecnologia di moduli fotovoltaici utilizzata è progettata appositamente per impianti di grande taglia connessi alla rete elettrica ed è realizzata assemblando in sequenza diversi strati racchiusi da una cornice in alluminio anodizzato.

- vetro temperato con trattamento anti-riflesso;
- EVA (etilene vinil acetato) trasparente;
- celle FV in silicio monocristallino.

5.1.2 Strutture di supporto dei moduli fotovoltaici

Il progetto prevede l'impiego di due tipologie di strutture: struttura metallica di tipo fisso e struttura metallica di tipo mobile (tracker).

Struttura metallica di tipo fisso

Il progetto prevede l'impiego di una struttura metallica di tipo fisso, in acciaio zincato a caldo, adeguatamente dimensionati e con fondazione su pali trivellati nel terreno.

Sono strutture completamente adattabili alle dimensioni del pannello fotovoltaico, alle condizioni geotecniche del sito ed alla quantità di spazio di installazione disponibile e l'intero sistema di supporto dei moduli è dimensionato in modo tale da resistere alle sollecitazioni dovute al carico vento e neve e alle sollecitazioni sismiche.

Saranno realizzate montando profili speciali in acciaio zincato a caldo, imbullonati mediante staffe e pezzi speciali. Le travi portanti orizzontali, posate su longheroni agganciati direttamente al sostegno verticale, formeranno i piani inclinati per l'appoggio dei moduli con un tilt (angolo) fisso pari a 33° per il sito in oggetto.

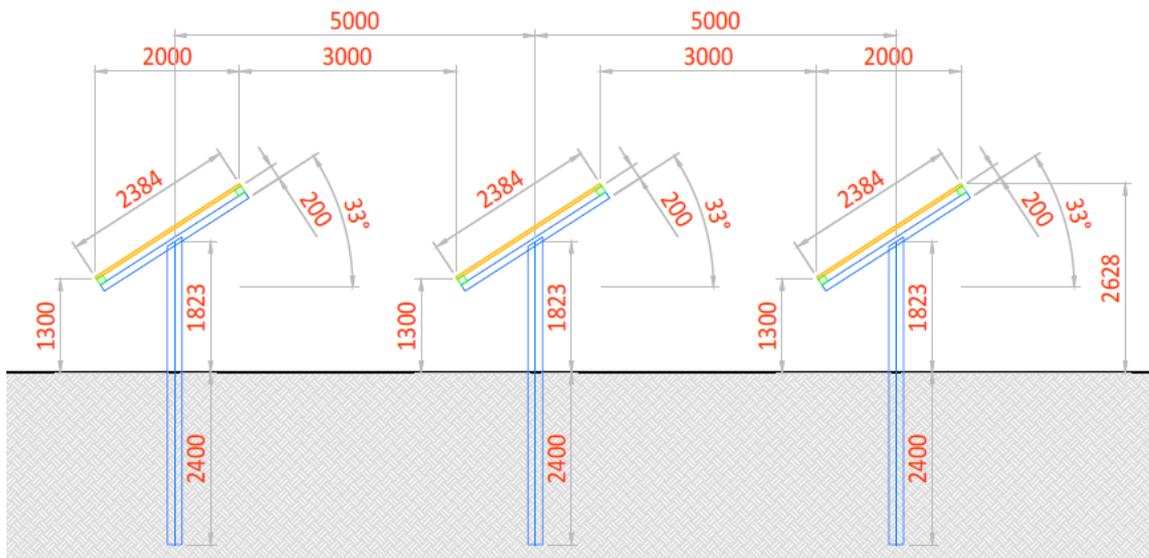


Figura 5.1 - Particolare costruttivo struttura fissa



Figura 5.2 - Esempio di struttura di tipo fisso

Si compongono in generale dei seguenti elementi:

1. pali di lunghezza variabile in base alle caratteristiche geotecniche dell'area di infissione;
2. testa palo in acciaio zincato a caldo;
3. corrente e profilo di supporto in acciaio zincato a caldo;
4. profili di supporto moduli, in acciaio zincato a caldo;
5. morsetti per l'ancoraggio dei moduli ai profili.

Per quanto riguarda i pali di supporto collocati nel terreno, in fase esecutiva potrebbero essere adottati degli accorgimenti puntuali di protezione, in alcune aree soggette a erosione da scorrimenti meteorici superficiali o caratterizzate da terreni con caratteristiche geotecniche non idonee alla tipologia di palo.

Saranno installate in totale:

- n. 110 strutture fisse con configurazione 14x1;
- n. 625 strutture fisse con configurazione 28x1.

Struttura metallica mobile (di tipo tracker)

Parte del progetto prevede l'impiego di una struttura metallica di tipo tracker con fondazione su pali trivellati nel terreno ed in grado di esporre il piano ad un angolo di tilt pari a $+60^\circ$ -60° .

Le peculiarità delle strutture di sostegno sono:

- riduzione dei tempi di montaggio alla prima installazione;
- facilità di montaggio e smontaggio dei moduli fotovoltaici in caso di manutenzione;
- meccanizzazione della posa;
- ottimizzazione dei pesi;
- miglioramento della trasportabilità in sito;
- possibilità di utilizzo di bulloni anti furto.
- Le caratteristiche generali della struttura sono:
 - materiale: acciaio zincato a caldo
 - tipo di struttura: Tracker fissata su pali
 - inclinazione sull'orizzontale $+60^\circ$ -60°
 - Esposizione (azimut): 0°
 - Altezza min: 1,30 m (rispetto al piano di campagna)
 - Altezza max: 3,385 m (rispetto al piano di campagna)

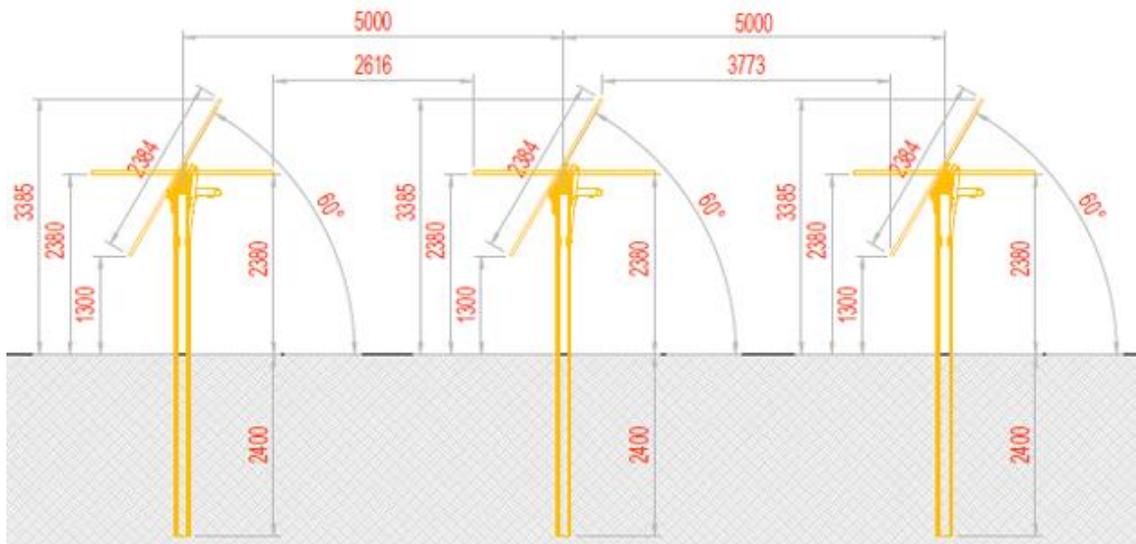


Figura 5.3 - Particolare costruttivo strutture mobili (tracker)



Figura 5.4 - Esempio di struttura di tipo mobile (tracker) monoassiale con configurazione 1p

In via preliminare è prevista sono state previste due tipologie di portali costituiti rispettivamente da 14 e 28 moduli, montati con una disposizione su una fila in posizione verticale (1p). Tale configurazione potrà variare in conseguenza della scelta definitiva del tipo di modulo fotovoltaico.

Saranno installate in totale:

- n. 242 strutture fisse con configurazione 14x1;
- n. 841 strutture fisse con configurazione 28x1.

I materiali delle singole parti saranno armonizzati tra loro per quanto riguarda la stabilità, la resistenza alla corrosione e la durata nel tempo.

Durante la fase esecutiva sarà definita la miglior tecnologia da utilizzare per l'esecuzione del pre-foro, necessario per la realizzazione della fondazione.

5.1.3 Inverter

L'impianto sarà dotato di inverter di stringa posizionati in maniera distribuita, atti alla conversione della corrente continua in corrente alternata (costituiti da uno o più inverter in parallelo), agendo come generatore di corrente, attuano il condizionamento e il controllo della potenza trasferita.

I gruppi di conversione sono basati su inverter statici a commutazione forzata (con tecnica PWM) ed in grado di operare in modo completamente automatico, inseguendo il punto caratteristico della curva di massima potenza (MPPT) del campo fotovoltaico.

L'inverter deve essere progettato in modo da evitare, così come nei quadri elettrici, che la condensa si formi nell'involucro IP31 minimo; questo in genere è garantito da una corretta progettazione delle distanze fra le schede elettroniche.

Gli inverter devono essere dotati di un sistema di diagnostica interna in grado di inibire il funzionamento in caso di malfunzionamento, e devono essere dotati di sistemi per la riduzione delle correnti armoniche, sia sul lato CA e CC. Gli inverter saranno dotati di marcatura CE.

Gli inverter sono di marca Sungrow SG350HX e dovranno essere tutti dello stesso tipo in termini di potenza e caratteristiche per consentire l'intercambiabilità tra loro, di seguito la scheda.

er dovranno rispettare i seguenti standard principali: EN 50178; IEC/EN 62109-1; IEC/EN 62109-2; IEC/EN61000-6-2; IEC/EN61000-6-4; IEC 62109-1; IEC 62109-2; IEC/EN61000-3-11; IEC/EN61000-3-12; IEC/EN61000-3 series; IEC/EN61000-6 series.

5.1.4 Cabine di Campo

Le Cabine di Campo hanno la funzione di elevare il livello di tensione della corrente da bassa tensione (BT) a media tensione (MT).

Per le cabine vengono usate cabine monolitiche auto-portanti prefabbricate in sandwich d'acciaio o calcestruzzo, trasportabili su camion in un unico blocco già assemblate ed allestite delle apparecchiature elettromeccaniche di serie (Incluso trasformatore). Si appoggia a basamenti di tipo prefabbricato e sono totalmente recuperabili. Sono realizzate con pannellature e strutture in acciaio zincato a caldo, con finiture esterne che garantiscono la minima manutenzione per tutta la vita utile del cabinato; in alternativa saranno realizzate in calcestruzzo vibrato confezionato con cemento ad alta resistenza adeguatamente armato con pareti internamente ed esternamente trattate con un rivestimento murale plastico idrorepellente costituito da resine sintetiche pregiate, polvere di quarzo, ossidi coloranti ed additivi che garantiscono il perfetto ancoraggio sulla parete, inalterabilità del colore e stabilità agli sbalzi di temperatura. L'elemento di copertura sarà munito di impermeabilizzazione e con funzione protettiva e riflettente dei raggi solari.

Al fine di garantire la continuità di servizio per i circuiti ausiliari delle apparecchiature installate nella Cabina di Campo, si prevede l'installazione di un gruppo statico di continuità indicativamente da 5 kVA; con riserva di carica per la specifica gestione del riarmo delle bobine di minima tensione, inserite nelle celle di Media tensione, così come prescritto dalla Normativa CEI- 0/16.

In particolare si riportano di seguito le descrizioni dei trasformatori MT/BT e degli interruttori in MT quali principali componenti delle Cabine di Campo.

Trasformatore elevatore BT/MT

All'interno delle Cabine di Campo saranno presenti i trasformatori di tensione necessari per l'immissione in rete dell'energia prodotta. Tali trasformatori dovranno essere adatti per l'installazione in impianti fotovoltaici e, come regola generale, saranno preferibilmente trasformatori in resina, per potenza che varia da 3200 kVA a 4480 kVA.

In particolare, essi devono essere progettati e dimensionati tenendo in considerazione la presenza di armoniche di corrente prodotte dai convertitori.

A tal fine, i trasformatori non possono avere a vuoto e perdite superiori al 110% delle perdite nominali. I trasformatori saranno del tipo con raffreddamento di tipo ONAN (Oil Natural Air Natural), per installazione interna, e saranno dotati di un sistema di ventilazione forzata per migliorare la dissipazione del calore.

I trasformatori sono di marca Sungrow del tipo MVS3200/4480-LV.

Quadri BT/MT

All'interno delle Cabine di Campo saranno presenti i quadri e le celle necessarie per il trasporto dell'energia prodotta nonché per l'alimentazione dei carichi ausiliari dell'impianto.

6. STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA NUOVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO E LINEA DI CONNESSIONE

Nel capitolo 4 sono stati individuati i possibili punti/tratti di interferenza tra le opere in progetto ed il reticolo idrografico esistente. Per la classificazione delle aree si è fatto riferimento al PSFF, al PGRA, al PAI e alla gerarchizzazione di Horton-Strahler con relative fasce di rispetto.

Al fine di valutare la compatibilità idraulica sono state analizzate le interferenze del layout di progetto e del tracciato della linea di connessione con il reticolo idrografico.

Come riportato al capitolo 4, non vi sono interferenze con il layout di progetto, mentre non sono esenti interferenze tra il cavidotto di connessione e le fasce di prima salvaguardia del reticolo di Strahler.

Le soluzioni adottate per le interferenze con la linea di connessione sono di tipo ‘trenchless’, ovvero una tipologia di interrimento del cavo che non prevede il tradizionale scavo a cielo aperto. Esempi di tecnologie trenchless sono TOC, microtunnel e spingitubo. Nella maggior parte delle interferenze analizzate si prevede l’adozione della TOC, ma, in accordo col gestore, possono essere prese in considerazione altre tecnologie trenchless minormente invasive.

Per i corsi d’acqua minori, effimeri o episodici, in cui l’alveo sia molto superficiale e con una sponda molto ridotta non è sempre necessario interrare i cavi con un metodo *trenchless*. Nei lunghi periodi di secca, tipici delle stagioni estive, è possibile valutare scavi tradizionali purché il cavo venga interrato almeno di 1,5 metri dal punto di impluvio, mentre nelle stagioni critiche più piovose, è opportuno affidarsi ai *trenchless*. Inoltre, ulteriore elemento di decisione tra le due soluzioni tecniche è che nel caso di scavo tradizionale questo non debba compromettere la stabilità spondale o creare punti critici che inneschino nel tempo erosioni.

Dove è specificato l’impiego di una TOC, è sempre necessario adoperare questa tecnica e si prevede una profondità minima di posa del cielo tubo di 2 metri dal punto più depresso dell’alveo, mentre nelle altre interferenze minori, in piccoli alvei spesso asciutti è sufficiente un cavo interrato alla profondità specificata per le stagioni non piovose. Si tratta dei casi, identificati in Tabella 6.1, con risoluzione “*trenchless/cavo interrato*”.

In particolare, quando si riscontrano interferenze con corsi d’acqua significativi (ordine Strahler > 2) la risoluzione utilizzata è la TOC.

Nel caso in cui non sia necessaria la tecnologia *trenchless* e la profondità di interro da normativa risulti più restrittiva rispetto a quella dei calcoli idraulici, si potrà adottare la soluzione di interrimento.

Il cavo di connessione sarà interrato sotto il manto stradale ad una profondità minima in funzione del numero di terne presenti nello scavo. Pertanto, nell’eventualità di allagamento, il cavo sarà protetto dall’erosione. Inoltre, nella fase post operam della posa del cavo, non vi sarà ostacolo al deflusso naturale delle acque meteoriche e non si riscontrerà una riduzione delle capacità di invaso delle aree interessate.

In Figura 6.1 sono riportati i punti di interferenza del tracciato di connessione con l’idrografia.

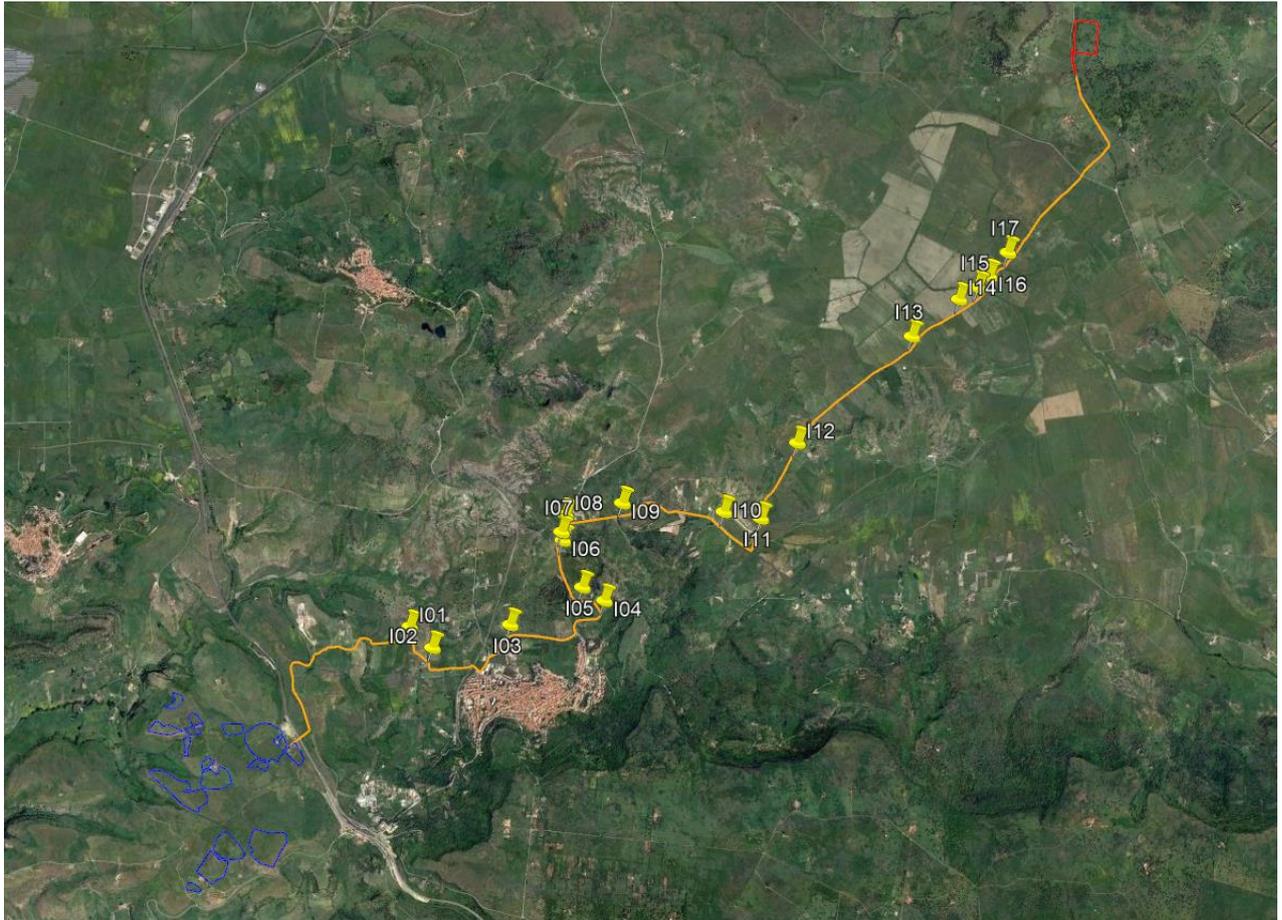


Figura 6.1 – Interferenze con l'idrografia lungo il tracciato della linea di connessione (in arancione), in blu la recinzione di impianto

La Tabella 6.1 di seguito riporta un riepilogo dei vari punti analizzati lungo il percorso di connessione, indicando il tipo di interferenza e la tecnologia prevista per la risoluzione dell'interferenza ove presente.

Tabella 6.1 – Interferenze con il percorso di connessione

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|---------------------------|
| I01 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_86126 | Trenchless/cavo interrato |
| I02 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | RIU MULINU | Trenchless/TOC |
| I03 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 2 | RIU DE SERRAS | Trenchless/cavo interrato |
| I04 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | Cavo interrato |
| I05 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | Trenchless/cavo interrato |
| I06 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | Trenchless/cavo interrato |
| I07 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | Trenchless/cavo interrato |

| | | | |
|-----|--|--------------------|----------------------------------|
| 108 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_77370 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |
| 109 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | 090013_FIUME_76525 | <i>Trenchless/TOC</i> |
| 110 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | 090013_FIUME_72011 | <i>Trenchless/TOC</i> |
| 111 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | 090013_FIUME_72011 | <i>Trenchless/TOC</i> |
| 112 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_82883 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |
| 113 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_80307 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |
| 114 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06029271 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |
| 115 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06029314 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |
| 116 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 4 | RIU LADU | <i>Trenchless/TOC</i> |
| 117 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 4 | RIU SANTA LUCIA | <i>Trenchless/TOC</i> |

6.1 METODOLOGIA DI VERIFICA PROFONDITÀ DI SICUREZZA POSA TOC

6.1.1 Analisi qualitativa

In seguito all'identificazione dei punti di interferenza, per gli attraversamenti dei corsi d'acqua naturali/antropici è stata effettuata un'analisi qualitativa di stabilità dei tratti di interesse. L'analisi è stata condotta sulla base delle indicazioni HEC-20 – Stream Stability at Highway Structures – FHWA.

Per ognuno è stato assegnato un valore numerico totale derivante dall'analisi qualitativa multicriteriale al quale corrisponde una categoria di stabilità dell'alveo: eccellente, buono, moderato, cattivo stato.

Gli indicatori di stabilità considerati sono stati:

- caratteristiche e attività del bacino e delle golene: è stato valutato il grado di interferenza dovuto all'esercizio di attività come pascoli, allevamenti, costruzioni, infrastrutture, ecc.
- periodicità caratteristica: periodicità e frequenza del flusso (effimero, regolare, flash flood, ecc.) e clima (umido, semiarido, arido);
- classificazione geomorfologica del canale;
- presenza e tipologia di aree golenali. Grado di confinamento, quindi se il canale è delimitato da argini, infrastrutture;
- materiale di fondo e granulometria tipologica;
- presenza delle barre e caratteristiche dell'asta (pendenza longitudinale, il rapporto tra larghezza/altezza della sezione di interesse);
- potenziali ostruzioni;
- caratteristiche dello stato delle golene e delle sponde;
- pendenza media delle sponde;

- grado di protezione delle sponde sulla base della copertura vegetale o di opere di ingegneria;
- valutazione del livello di frastagliamento della sponda;
- segni di cedimenti delle golene ed eventuali evidenze di trasporto di materiale;
- allineamento di eventuali ponti e pile rispetto al flusso.

6.1.2 Analisi quantitativa

L'analisi quantitativa segue la metodologia HEC18 "Evaluating Scour at Bridges" FHWA-HIF-12-003 basata sulle portate caratteristiche idrologiche/idrauliche, le caratteristiche geometriche e granulometriche del corso d'acqua.

La granulometria assunta è quella caratteristica dello strato risultante dal modello geotecnico consistente al di sotto dei 3 metri da piano campagna in ciottoli di matrice sabbiosa-limosa.

Considerata la stabilità geomorfologica complessiva non è stata considerata la migrazione dell'alveo. A favore di sicurezza non sono stati considerati fenomeni di deposizione ma solo di erosione.

L'erosione totale potenziale è stata valutata come somma:

- Erosione a lungo termine;
- Erosione in corrispondenza di contrazioni;
- Erosioni locali in corrispondenza di pile di ponti.

Erosione a lungo termine

Il calcolo dell'erosione a lungo termine è stato condotto nell'ipotesi di formazione di uno strato di corazzamento "armoring". L'erosione graduale dello stato attivo di fondo con il dilavamento dei sedimenti crea uno strato di corazzamento assunto quale condizione di stabilità.

Tale stabilità è mantenuta sino a nuovo evento che supera quello alla base del calcolo.

Non essendo possibile stabilire allo stato attuale se tale corazzamento sia avvenuto o in divenire, a favore di sicurezza il valore di escavazione calcolato è stato sommato interamente con le altre erosioni.

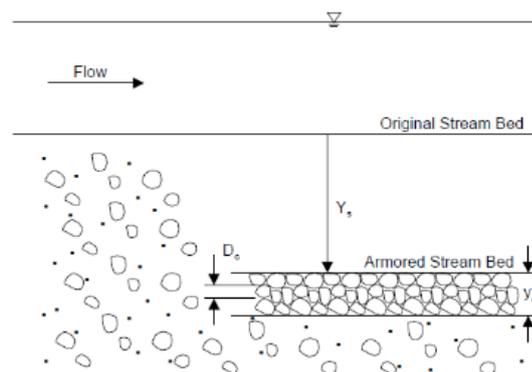


Figura 6.2 Dinamica erosione a lungo termine per corazzamento (FHWA)

La portata utilizzata per il calcolo dell'erosione a lungo termine è stata la portata formativa/dominante definita come quel valore teorico di portata che ha maggiori effetti sulla forma e sulle dimensioni dell'alveo.

Esistono tre possibili approcci per determinare tale portata "teorica" (Biedenharn et al.,2001):

- a. portata ad alveo pieno (bankfull discharge);
- b. portata con tempo di ritorno compreso tra 1 e 3 anni (il valore della portata con tempo di ritorno di 1.5 anni è quello più comunemente usato);
- c. portata efficace (effective discharge), intesa come portata che trasporta più sedimenti in un intervallo temporale sufficientemente ampio.

Nel presente calcolo è stata assunta la portata con metodo b.

Erosione da contrazione e da pile in corrispondenza di ponti stradali

L'erosione dovuta alla presenza di un ponte di attraversamento stradale è calcolata come somma dell'erosione dovuta alla contrazione della vena più quella dovuta alla presenza di pile in alveo.

La portata alla base del calcolo a favore di sicurezza è quella con tempo di ritorno 200 anni.

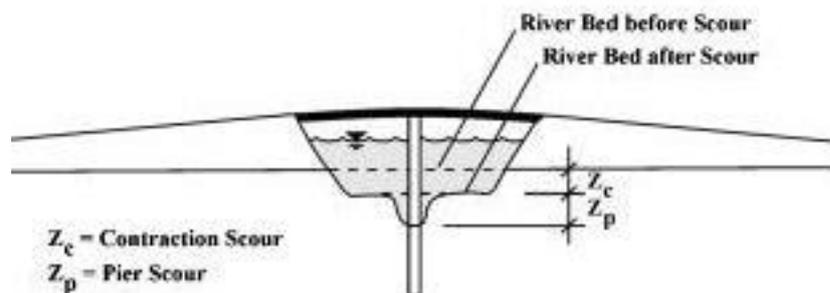


Figura 6.3 Erosioni assunte in corrispondenza di un ponte di attraversamento stradale (fonte FHWA).

Contrazione

L'erosione di contrazione e da pile è diversa dal degrado a lungo termine, in quanto la contrazione si verifica in prossimità di restringimenti naturali o antropici quali ponti. Questa può essere ciclica e/o correlata al passaggio di una piena.

L'erosione dello stato attivo è tipicamente ciclica; ad esempio, durante la fase ascendente di evento di piena può creare erosioni che si riempiono poi nella fase discendente.

La natura ciclica incrementa la difficoltà nel determinare la profondità di escavazione dopo un'alluvione. A favore di sicurezza nel calcolo è assunta l'erosione totale calcolata quindi nel punto più critico della piena.

La contrazione del flusso può mediamente essere causata sia dalla diminuzione naturale dell'area di flussi del torrente sia da restringimenti antropici.

Assumendo la possibilità di rimozione dello strato di corazzamento in occasione di eventi di piena la formulazione adottata per il calcolo ha previsto la condizione di Live Bed cioè il trasporto solido in atto e non di acqua limpida come indicato da linea guida FHWA.

Pile e spalle

Il meccanismo di base che causa l'erosione localizzata delle pile è presentato dalle correnti non lineari create dall'interazione tra flusso di monte e pila.

Il vortice a ferro di cavallo creato è stato il risultato dell'accumulo di acqua sulla superficie a monte dell'ostruzione con prima importante escavazione e della successiva accelerazione del flusso con creazione di vortici a frequenza oscillatoria. L'azione di tali vortici rimuove il materiale del letto intorno alla base della pila.

Il tasso di trasporto dei sedimenti a valle del ponte è superiore al tasso di trasporto alla pila e, di conseguenza si sviluppa erosione. Con l'aumento della profondità dell'escavazione, la forza del vortice a ferro di cavallo si riduce, riducendo così il tasso di trasporto della regione di base.

Ristabilendo l'equilibrio tra l'afflusso e il deflusso del materiale del letto si crea una stabilità di fondo.

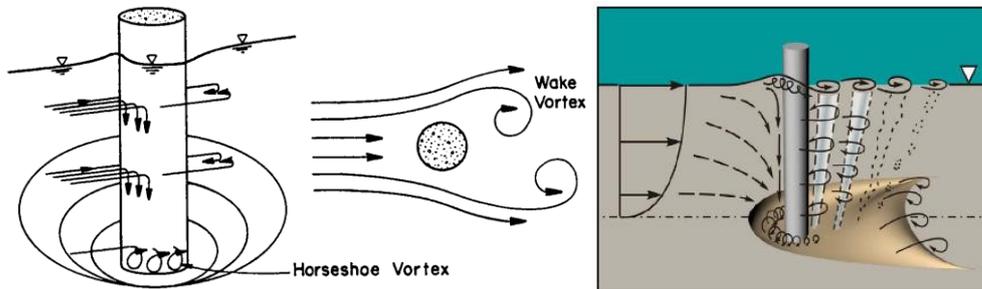


Figura 6.4 - Dinamica di erosione in corrispondenza di pile strette (fonte FHWA)

6.2 RISOLUZIONE INTERFERENZE LINEA DI CONNESSIONE

6.2.1 I01

Identificazione

L'interferenza è situata lungo una strada vicinale ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 1.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.2 – Riepilogo interferenza I01

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|---------------------------|
| I01 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_86126 | Trenchless/cavo interrato |



Figura 6.5 - Ubicazione interferenza I01 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale.

Da visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2006 e il 2023, non si riscontrano particolari segni di erosione. Non si identifica un alveo particolarmente inciso.

Il tratto in corrispondenza dell'interferenza appare vegetato con specie erbacee.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **54** rientrando così nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Date le condizioni del canale e poiché l'elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 1, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull'alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l'attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.2 I02

Identificazione

L'interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 1.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.3 – Riepilogo interferenza I02

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------|----------------|
| I02 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | RIU MULINU | Trenchless/TOC |



Figura 6.6 - Ubicazione interferenza I02 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un elemento idrico naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Le sezioni risultano regolari ed il letto appare rinverdito con presenza di vegetazione erbacea e arbustiva.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **56** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Poiché l’elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 3, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 2,5 m sull’alveo attivo. La posa del cavo verrà eseguita secondo tecnologie trenchless, con ad esempio l’impiego della tecnica TOC.

In fase successiva di progettazione, sulla base di un sopralluogo e rilievo topografico di dettaglio bisognerà riverificare tale profondità in modo tale da garantire che l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica.

6.2.3 I03

Identificazione

L’interferenza è situata lungo una strada di collegamento alla SP43 ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 2, il Riu De Serras.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.4 – Riepilogo interferenza I03

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|---------------|----------------------------------|
| I03 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 2 | RIU DE SERRAS | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |



Figura 6.7 - Ubicazione interferenza I03 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.8 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I03

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Le sezioni risultano regolari ed il letto appare vegetato con specie erbacee e arbustive.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **58** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Date le condizioni del canale e poiché l’elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 2, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull’alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.4 I04

Identificazione

L’interferenza è situata lungo la strada provinciale SP43 ed è dovuta a un canale del reticolo idrografico mappato da DBGT_10K.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.5 – Riepilogo interferenza I04

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|-----------------------------------|----------------|----------------|
| I04 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | Cavo interrato |



Figura 6.9 - Ubicazione interferenza I04 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.10 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I04

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale.

Dalla visione di ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2002 e il 2022, non si identifica un alveo inciso ben definito, bensì si evidenziano alcuni segni di erosione da ruscellamento.

Analisi qualitativa stabilità

Non essendo stato riscontrato un solco di drenaggio o erosioni di ruscellamento l'analisi qualitativa di stabilità risulta ottima.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Da sopralluogo non si riscontra un alveo o solchi di drenaggio identificabili e si prevede quindi la posa di cavo avverrà a profondità da normativa considerando quale punto di riferimento il piano campagna più depresso dell'area.

Nella successiva fase di progettazione, attraverso la consultazione di un rilievo topografico di dettaglio si valuterà la necessità di variazioni in merito alla soluzione tecnologica da utilizzare per il superamento dell'interferenza.

Si ritiene che a tale profondità l'attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.5 I05

Identificazione

L'interferenza è situata lungo la strada provinciale SP43 ed è dovuta a un canale del reticolo idrografico mappato da DBG_T_10K.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.6 – Riepilogo interferenza I05

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|
| I05 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |



Figura 6.11 - Ubicazione interferenza I05 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.12 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I05

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Il letto del fosso appare rinverdito con presenza di vegetazione erbacea e arbustiva.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **57** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Data l’entità del canale, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull’alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.6 I06 e I07

Identificazione

Le interferenze I06 e I07 sono situate lungo la strada provinciale SP43 e sono dovute a un canale del reticolo idrografico mappato da DBGT_10K.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.7 – Riepilogo interferenza I06 e I07

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|
| I06 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |
| I06 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06027795 | <i>Trenchless/cavo interrato</i> |



Figura 6.13 - Ubicazione interferenza I06 e I07 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.14 – Foto da Google Earth in corrispondenza delle interferenze I06 e I07

Osservazioni

Le interferenze sono dovute a un fiume naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso in calcestruzzo.

Dalla visione di ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2006 e il 2023, non si evidenziano particolari segni di erosione. L'alveo appare particolarmente vegetato con specie erbacee e arbustive.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **58** rientrando così nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Data l'entità del canale, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull'alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità gli attraversamenti avvengano in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.7 I08

Identificazione

L'interferenza è situata lungo la strada provinciale SP43 ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 1.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.8 – Riepilogo interferenza I08

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|---------------------------|
| I08 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_77370 | Trenchless/cavo interrato |

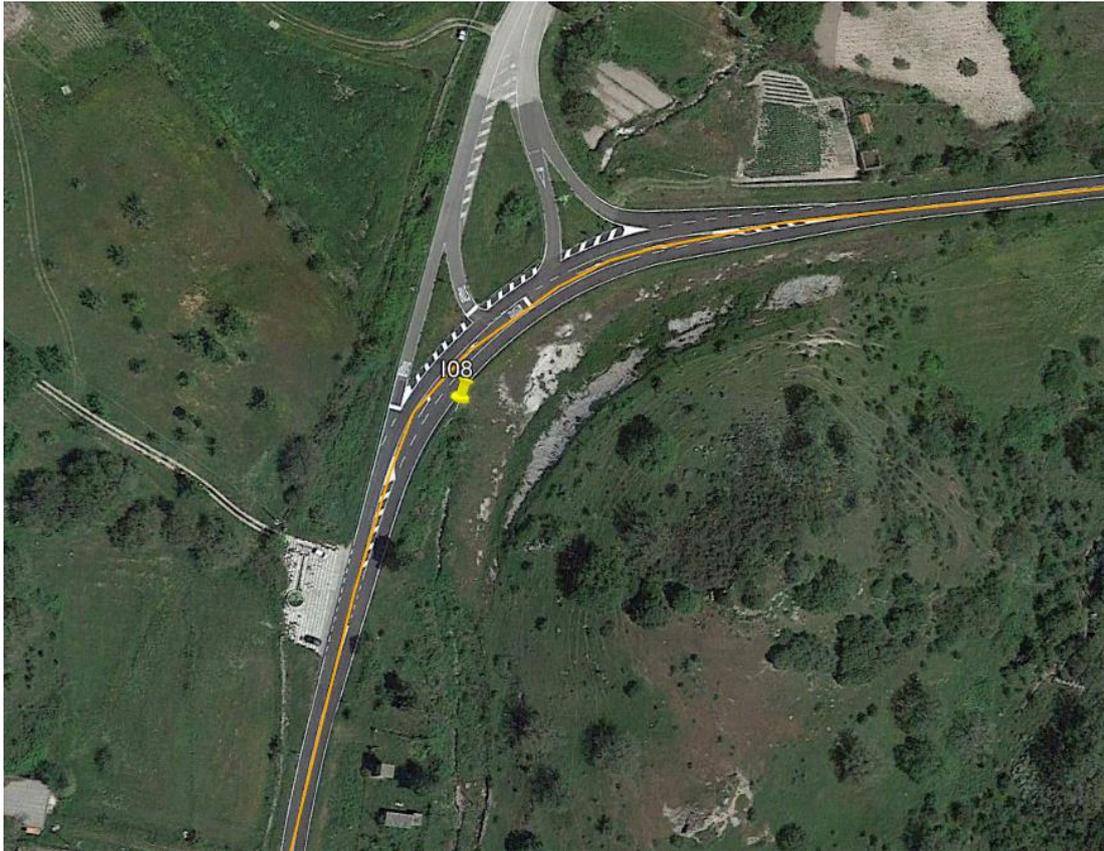


Figura 6.15 - Ubicazione interferenza 108 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.16 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza 108

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Dalla visione di ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2006 e il 2023, non sono presenti particolari segni di erosione.

L'alveo appare particolarmente vegetato.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **60** rientrando così nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Poiché l'elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 1, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull'alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l'attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.8 109

Identificazione

L'interferenza è situata lungo la strada provinciale SP43 ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 3, affluente del Riu Mannu.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.9 – Riepilogo interferenza 109

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|----------------|
| 109 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | 090013_FIUME_76525 | Trenchless/TOC |

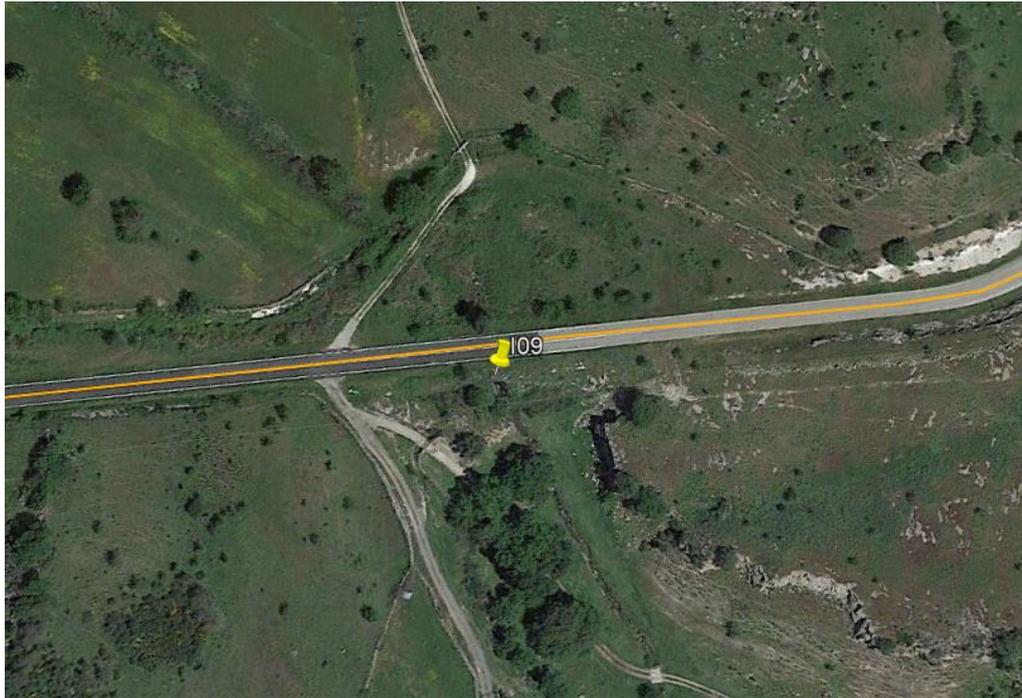


Figura 6.17 - Ubicazione interferenza I09 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione

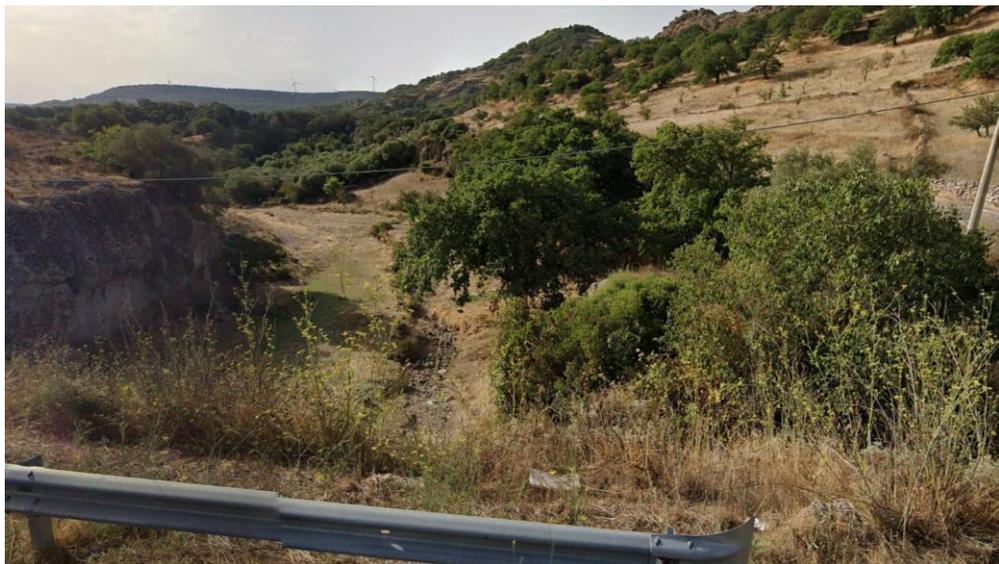


Figura 6.18 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I09

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Dalla visione di ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2006 e il 2023, non sono presenti particolari segni di erosione.

Le sezioni risultano regolari e le sponde del canale appaiono rinverdite con presenza di vegetazione erbacea e arbustiva.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **59** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Poiché l’elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 3, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 2,5 m sull’alveo attivo. La posa del cavo verrà eseguita secondo tecnologie trenchless, con ad esempio l’impiego della tecnica TOC.

Si ritiene che a tale profondità l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.9 I10

Identificazione

L’interferenza è situata lungo la strada provinciale SP43 ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 3, affluente del Riu Ladu.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.10 – Riepilogo interferenza I10

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|----------------|
| I10 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | 090013_FIUME_72011 | Trenchless/TOC |

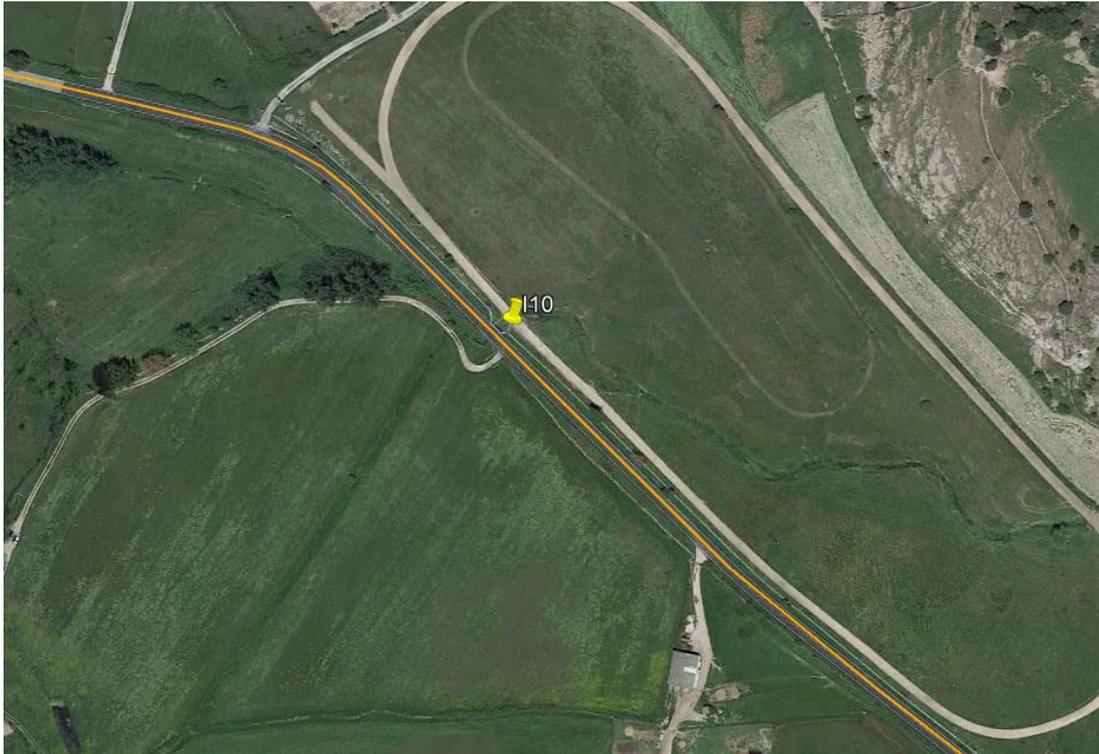


Figura 6.19 - Ubicazione interferenza I10 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.20 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I10

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Dalla visione di ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2006 e il 2023, si evidenziano alcuni segni di erosione.

Il letto appare rinverdito con presenza di vegetazione erbacea e arbustiva.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **62** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Data l’entità del canale e poiché l’elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 3, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 3 m sull’alveo attivo. La posa del cavo verrà eseguita secondo tecnologie trenchless, con ad esempio l’impiego della tecnica TOC.

Si ritiene che a tale profondità l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.10/11

Identificazione

L’interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 3, affluente del Riu Ladu.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.11 – Riepilogo interferenza I11

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|----------------|
| I11 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 3 | 090013_FIUME_72011 | Trenchless/TOC |

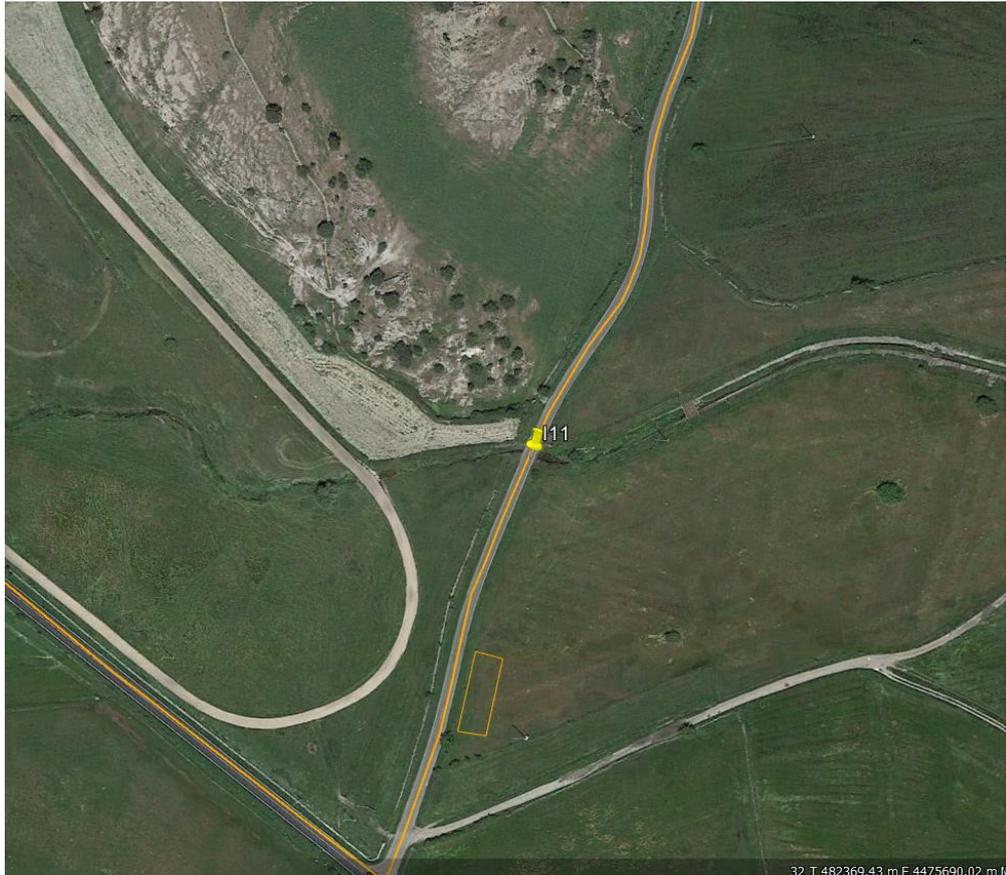


Figura 6.21 - Ubicazione interferenza I11 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.22 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell’interferenza I11

Osservazioni

L’interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Le sezioni risultano regolari ed il letto appare rinverdito con presenza di vegetazione erbacea e anche arbustiva. Sono presenti diversi ponti per l’attraversamento del fosso nelle prossimità dell’interferenza.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **58** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Data l’entità del canale e poiché l’elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 3, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 2,5 m sull’alveo attivo. La posa del cavo verrà eseguita secondo tecnologie trenchless, con ad esempio l’impiego della tecnica TOC.

Si ritiene che a tale profondità l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.11/12

Identificazione

L’interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 1, affluente del Riu Ladu.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.12 – Riepilogo interferenza I12

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|---------------------------|
| I12 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_82883 | Trenchless/Cavo interrato |

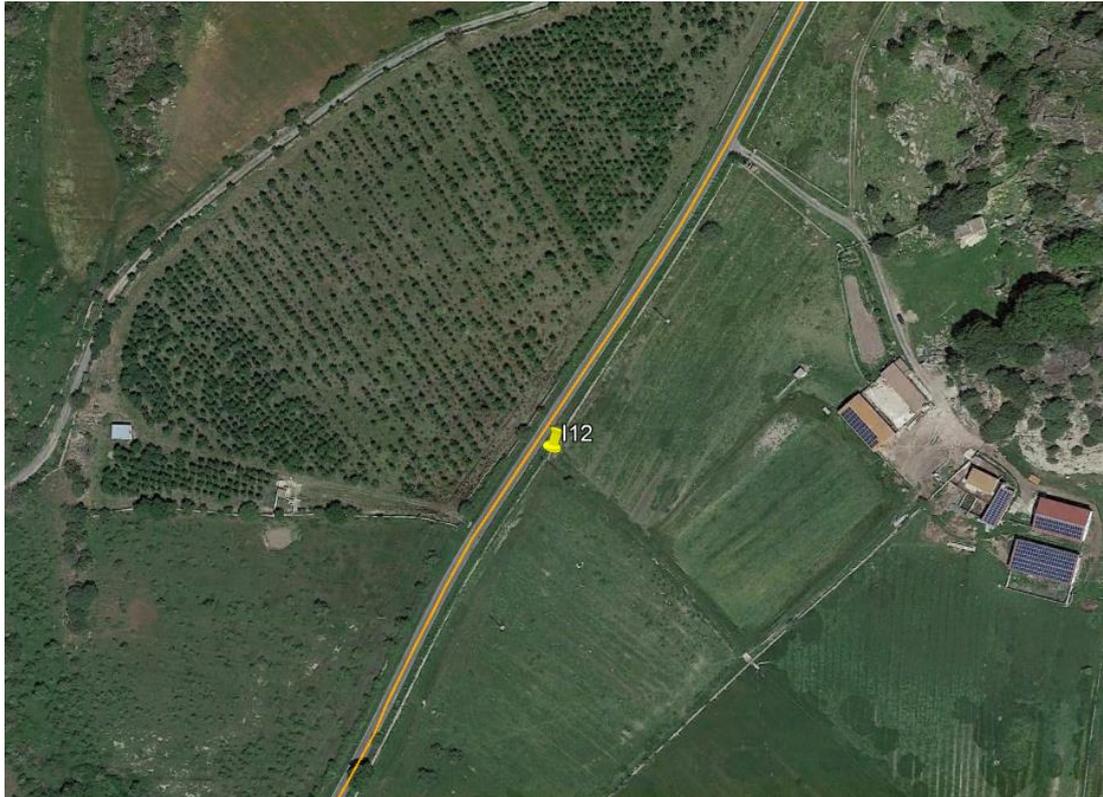


Figura 6.23 - Ubicazione interferenza I12 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.24 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I12

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale non in sede pensile che attraversa il tratto stradale tramite sottopasso.

Le sezioni risultano regolari ed il letto appare rinverdito con presenza di vegetazione erbacea e anche arbustiva.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **55** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Poiché l’elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 1, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull’alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.12/13

Identificazione

L’interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 1.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.13 – Riepilogo interferenza I13

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------------|---------------------------|
| I13 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 1 | 090013_FIUME_80307 | Trenchless/cavo interrato |



Figura 6.25 - Ubicazione interferenza I13 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.26 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I13

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un canale naturale che attraversa la sede stradale tramite sottopasso in calcestruzzo.

Le sezioni risultano regolari ed il tratto appare rinverdito con specie vegetative erbacee e arbustive nei pressi della strada. L'alveo si presenta stretto e inciso.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **52** rientrando così nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Poiché l’elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 1, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull’alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l’attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.13/14

Identificazione

L’interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un canale del reticolo idrografico mappato da DBGT_10K, affluente del Riu Ladu.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.14 – Riepilogo interferenza I14

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|-----------------------------------|----------------|----------------------------------|
| I14 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06029271 | <i>Trenchless/Cavo interrato</i> |

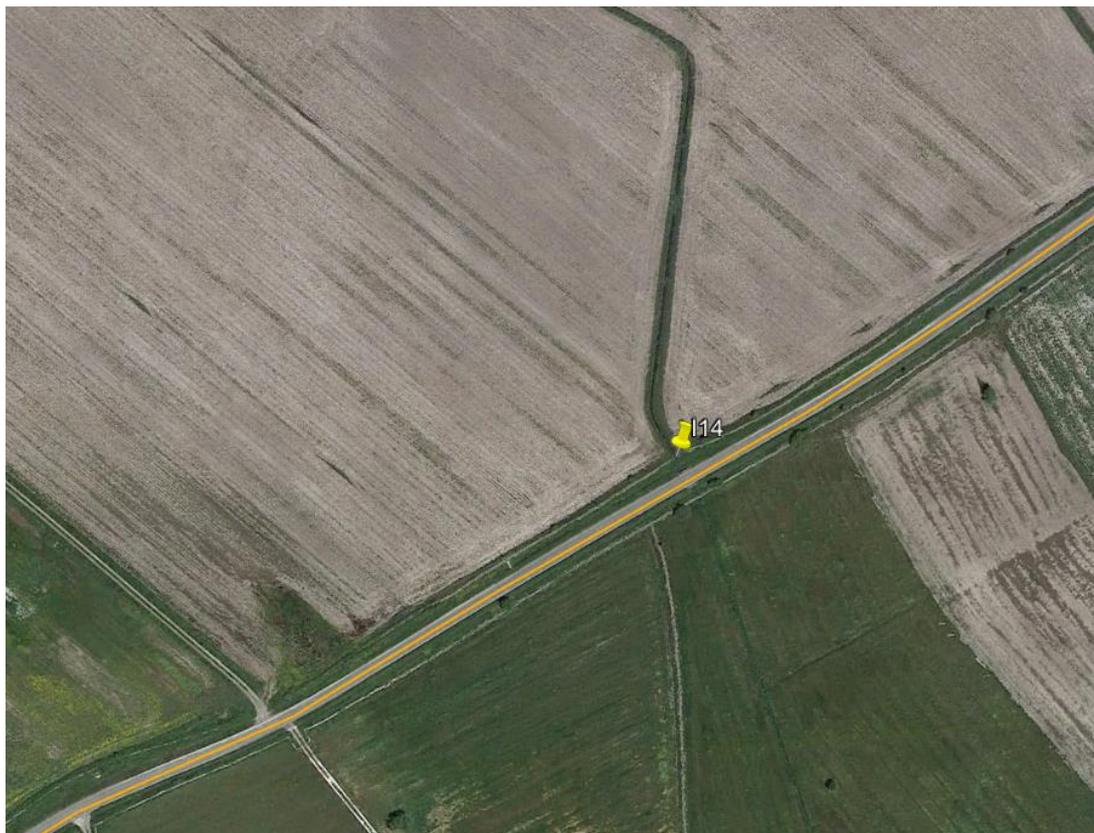


Figura 6.27 - Ubicazione interferenza I14 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.28 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I14

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un fosso naturale che attraversa la sede stradale tramite sottopasso.

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2006 e il 2023, non si identificano segni di erosione.

Le sezioni risultano regolari ed il tratto appare rinverdito con specie vegetative erbacee. L'alveo si presenta stretto e inciso.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **52** rientrando così nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Date le caratteristiche del fosso e la sua entità, per la posa del cavo si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull'alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l'attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.14/15

Identificazione

L'interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un canale del reticolo idrografico mappato da DBG_T_10K, affluente del Riu Ladu.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.15 – Riepilogo interferenza I15

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|-----------------------------------|----------------|---------------------------|
| I15 | Interferenza reticolo idrografico | FIUME_06029314 | Trenchless/cavo interrato |

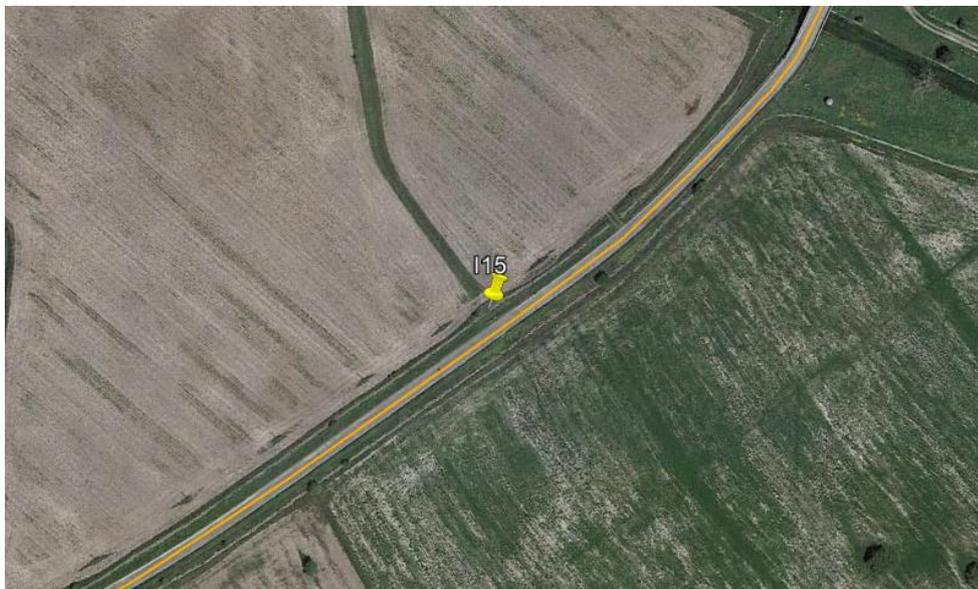


Figura 6.29 - Ubicazione interferenza I15 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.30 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I15

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un fosso naturale che attraversa la sede stradale tramite sottopasso.

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2006 e il 2023, non si identificano segni di erosione.

Le sezioni risultano regolari ed il tratto appare rinverdito con specie vegetative erbacee. L'alveo si presenta stretto e inciso.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **53** rientrando così nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Date le caratteristiche del fosso e la sua entità, per la posa del cavo si dovrà garantire un passaggio a profondità 1,5 m sull'alveo attivo.

Si ritiene che a tale profondità l'attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.15/16

Identificazione

L'interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 4, il Riu Ladu.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.16 – Riepilogo interferenza I16

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|--------------|----------------|
| I16 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 4 | RIU LADU | Trenchless/TOC |

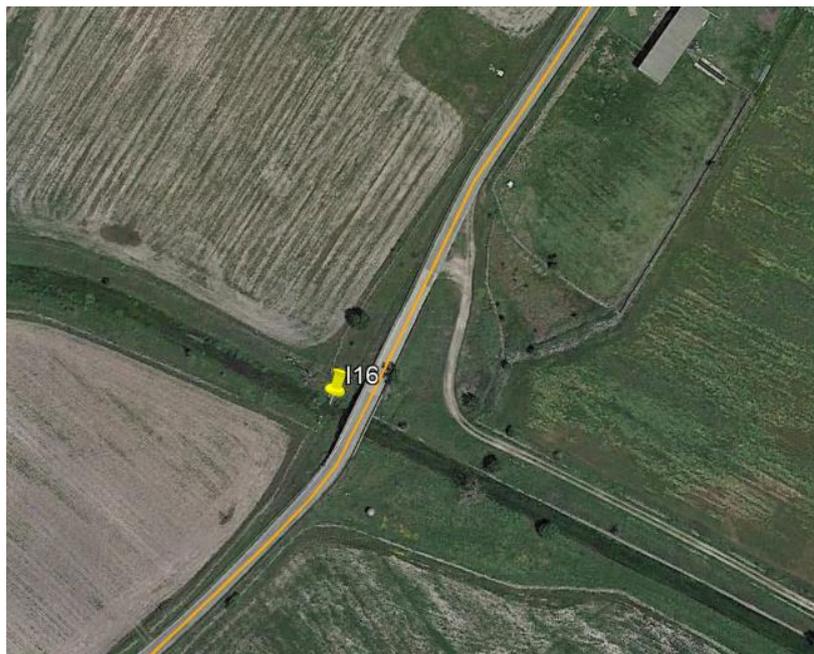


Figura 6.31 - Ubicazione interferenza I16 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.32 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I16

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un fiume non in sede pensile che attraversa la sede stradale tramite sottopasso.

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2002 e il 2022, non si identificano segni di erosione.

Le sezioni sono regolari e l'alveo appare rinverdito.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **58** rientrando così nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Poiché l'elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 4, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 3 m sull'alveo attivo. La posa del cavo verrà eseguita secondo tecnologie trenchless, con ad esempio l'impiego della tecnica TOC.

Si ritiene che a tale profondità l'attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

6.2.16/17

Identificazione

L'interferenza è situata lungo una strada secondaria ed è dovuta a un elemento idrico di Strahler di ordine 4, il Riu Santa Lucia.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione.

Tabella 6.17 – Riepilogo interferenza I17

| ID | PERICOLOSITÀ | INTERFERENZA | RISOLUZIONE |
|-----|--|-----------------|----------------|
| I17 | Interferenza elemento idrico Strahler – ordine 4 | RIU SANTA LUCIA | Trenchless/TOC |

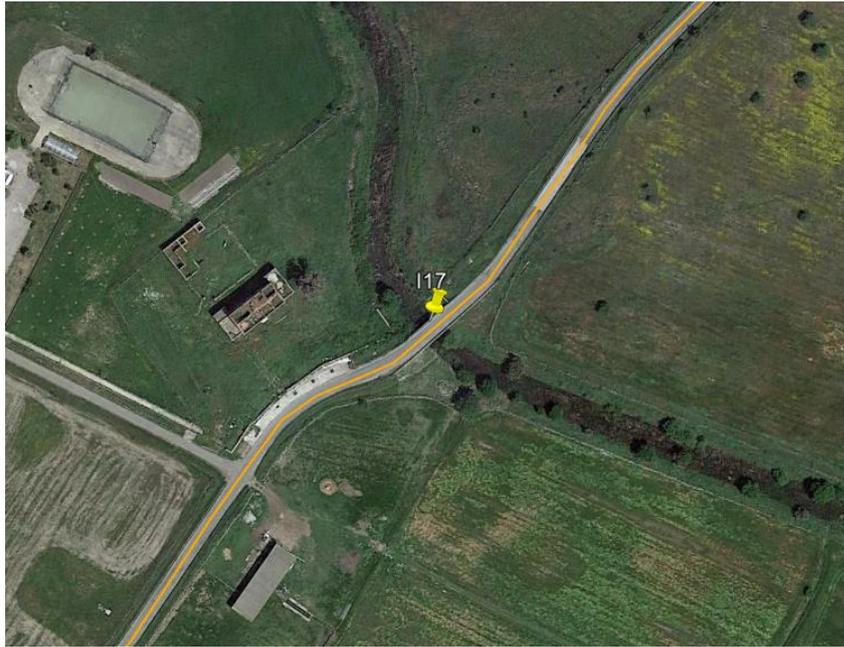


Figura 6.33 - Ubicazione interferenza I17 su ortofoto, in arancione il cavidotto di connessione



Figura 6.34 – Foto da Google Earth in corrispondenza dell'interferenza I17

Osservazioni

L'interferenza è dovuta a un fiume naturale non in sede pensile che attraversa la sede stradale tramite sottopasso.

Le sezioni del tratto fluviale appaiono per lo più regolari, con diverse specie vegetative che interessano le sezioni fluviali.

Dalla visione di ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2002 e il 2022, non si evidenziano particolari segni di erosione.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.1.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore di **61** rientrando così nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica – Analisi quantitativa

Poiché l'elemento idrico con il quale il cavo interferisce è di ordine 4, per la sua posa si dovrà garantire un passaggio a profondità 3 m sull'alveo attivo. La posa del cavo verrà eseguita secondo tecnologie trenchless, con ad esempio l'impiego della tecnica TOC.

Si ritiene che a tale profondità l'attraversamento avvenga in condizioni di sicurezza idraulica nella vita di progetto attesa.

7. STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO

In questo paragrafo si riportano le basi per il dimensionamento del sistema di drenaggio superficiale delle aree di intervento.

Lo studio idrologico-idraulico è stato articolato secondo i seguenti punti:

- Studio dei bacini idrografici minori esistenti basato sulla modellazione del DTM ed estrazione della rete idrografica naturale, con analisi critica rispetto alla morfologia;
- Identificazione delle aree scolanti e del coefficiente di deflusso ottenuto mediante una media ponderata;
- Determinazione delle Linee Segnaletiche di Possibilità Pluviometriche (LSPP) per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 30, e 50 anni;
- Costruzione dello ietogramma di progetto;
- Stima del processo di infiltrazione e determinazione dello ietogramma netto di progetto;
- Modello di trasformazione afflussi-deflussi - stima delle portate di progetto post operam.
- dimensionamento degli elementi caratteristici del drenaggio consistenti in fossi e trincee drenanti.

7.1 CONSIDERAZIONI CLIMATICHE

Da una analisi dei dati pluviometrici pubblicati dall'Ente Idrografico della Sardegna risulta che le località meno piovose dell'isola sono situate nel settore centro-meridionale; la zona di Cagliari infatti presenta la più bassa piovosità di tutta l'isola, seguita da Oristano.

La maggior parte della precipitazione è concentrata durante la stagione invernale e autunnale (seconda metà di ottobre prima metà di novembre).

Di seguito si riporta l'andamento delle precipitazioni medie nel territorio regionale, dove si può notare che la precipitazione media annuale nel comune di Ozieri si attesta tra i 800 – 900 mm.

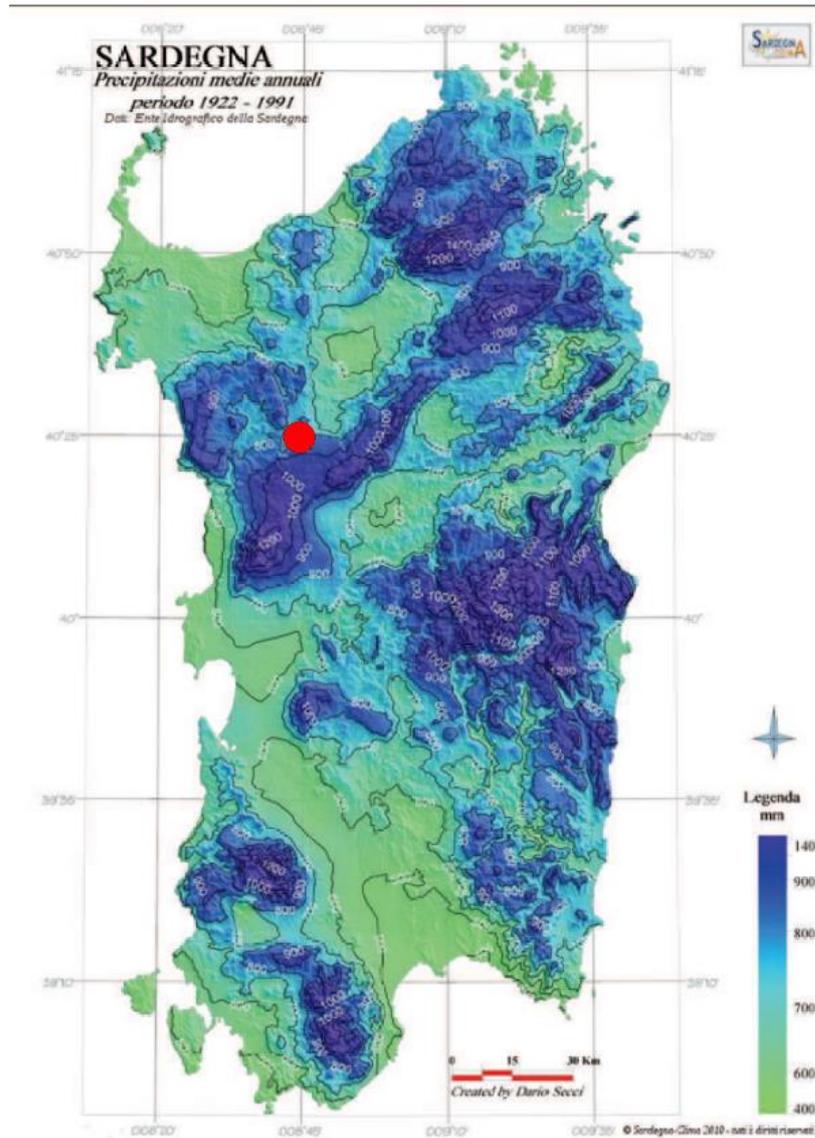


Figura 7.1 - Precipitazioni medie annuali, periodo 1922-1991

7.2 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO

L'evento di pioggia di progetto alla base dei calcoli idrologici e della simulazione/dimensionamento idraulico è scelto in base al concetto di tempo di ritorno.

Il periodo di ritorno di un evento, definito anche come "tempo di ritorno", è il tempo medio intercorrente tra il verificarsi di due eventi successivi di entità uguale o superiore ad un valore di assegnata intensità o, analogamente, è il tempo medio in cui un valore di intensità assegnata viene uguagliato o superato almeno una volta.

Oltre al concetto di tempo di ritorno vi è poi la probabilità che un evento con tempo di ritorno T si realizzi in N anni:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^N$$

Il grafico riportato di seguito esprime il rischio di superare l'evento con tempo di ritorno T durante N anni.

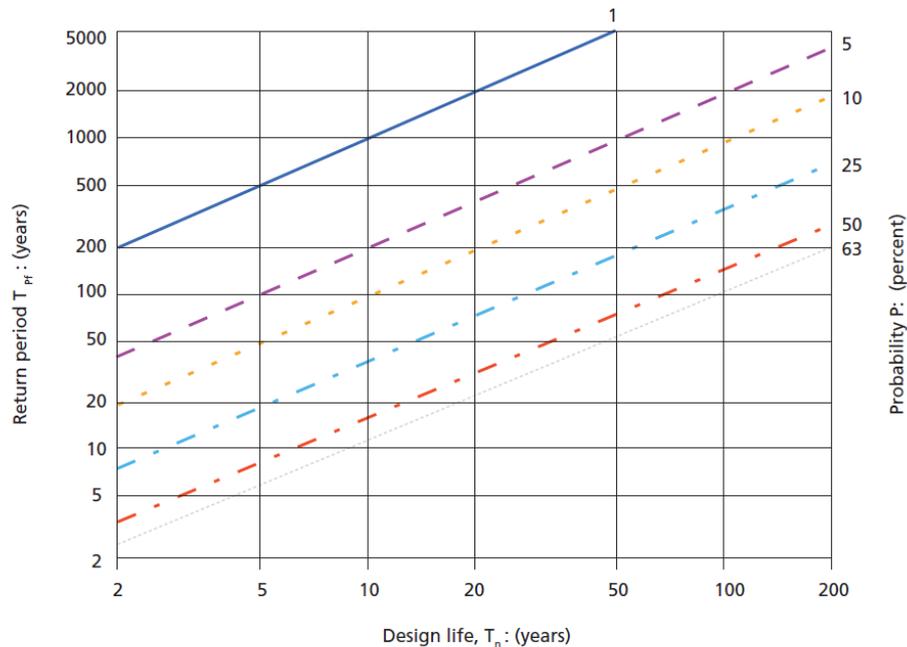


Figura 7.2 - Probabilità che un evento con determinati Tempi di ritorno si verifichi in N anni

La durata della vita utile dell'impianto fotovoltaico in oggetto è assunta pari a 30 anni.

Il tempo di ritorno per il calcolo della precipitazione di progetto è stato assunto pari a **30 anni** per le opere permanenti, mentre un tempo di **2 anni** per le opere di cantiere.

Nelle successive fasi di progetto, in seguito a sopralluogo in sito e rilievo aggiornato, nell'eventualità dell'identificazione di corsi preferenziali che non presentano un alveo ben definito, ma possono raggiungere portate significative in seguito ad eventi di pioggia intensi non ordinari, il tempo di ritorno per il calcolo della precipitazione di progetto sarà assunto pari a **100 anni**.

7.3 ANALISI PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE

Per l'applicazione del metodo impiegato nella stima delle portate meteoriche superficiali è stato necessario determinare la curva di possibilità climatica caratteristica dell'area oggetto di intervento.

Il tempo di ritorno da assegnare alla curva di possibilità climatica è stato fatto variare da un minimo di 2 anni ad un massimo di 100 anni.

La procedura proposta nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento della Regione Sardegna permette di calcolare l'intensità di pioggia ad assegnato periodo di ritorno in ciascun punto del bacino sardo tramite l'analisi regionale (VAPI Sardegna, 1996), condotta sulle precipitazioni intense di breve durata per le circa 200 stazioni con almeno quaranta anni di osservazione a partire dal 1922.

L'intensità di precipitazione che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che, com'è noto, esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, d , ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T . Tale curva è riportata dalla letteratura tecnica come:



$$h(T) = a \cdot d^n$$

Recenti studi per la Sardegna² mostrano che il modello probabilistico TCEV ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche, motivo per il quale è stato adottato nella procedura VAPI per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica.

La metodologia regionale di calcolo si basa sull'inferenza statistica del modello TCEV della variabile aleatoria adimensionale:

$$h' = \frac{h(d)}{\bar{h}(d)}$$

che è il massimo annuale di pioggia per assegnata durata, d , normalizzato rispetto alla media h e successivamente sul calcolo della $h(d)$ per le diverse durate.

L'equazione della curva di possibilità pluviometrica normalizzata è per ciascun tempo di ritorno, T :

$$h'(T) = a \cdot d^n$$

dove i parametri della curva, $a(T)$ ed $n(T)$, vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO), per durate minori e maggiori di 1 ora e per tempi di ritorno maggiori di 10 anni.

Tabella 7.1 - Parametri di calcolo della curva di possibilità pluviometrica (CPP)

| SZO | Durata ≤ 1 ora | Durata >1 ora |
|-------------|---|--|
| Sottozona 1 | $a=0.46420+1.0376 \cdot \text{Log}(T)$ | $a=0.46420+1.0376 \cdot \text{Log}(T)$ |
| | $n=-0.18488+0.22960 \cdot \text{Log}(T)- 3.3216 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$ | $n=-1.0469 \cdot 10^{-2}-7.8505 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$ |
| Sottozona 2 | $a=0.43797+1.0890 \cdot \text{Log}(T)$ | $a=0.43797+1.0890 \cdot \text{Log}(T)$ |
| | $n=-0.18722+0.24862 \cdot \text{Log}(T)- 3.36305 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$ | $n=-6.3887 \cdot 10^{-3}-4.5420 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$ |
| Sottozona 3 | $a=0.40926+1.1441 \cdot \text{Log}(T)$ | $a=0.40926+1.1441 \cdot \text{Log}(T)$ |
| | $n=-0.19060+0.264438 \cdot \text{Log}(T)- 3.8969 \cdot 10^{-2} \cdot \text{Log}^2(T)$ | $n=1.4929 \cdot 10^{-2}+7.1973 \cdot 10^{-3} \cdot \text{Log}(T)$ |

Per la zona oggetto di studio SZO1, l'altezza di pioggia giornaliera h_T con assegnato tempo di ritorno T in anni è data da:

$$h(T) = \mu_g K_T$$

² DEIDDA R., PIGA E., SECHI G.M. - Studio regionale delle massime precipitazioni giornaliere in Sardegna, Quaderni ricerca, 9, 30 pp.c, 1997;

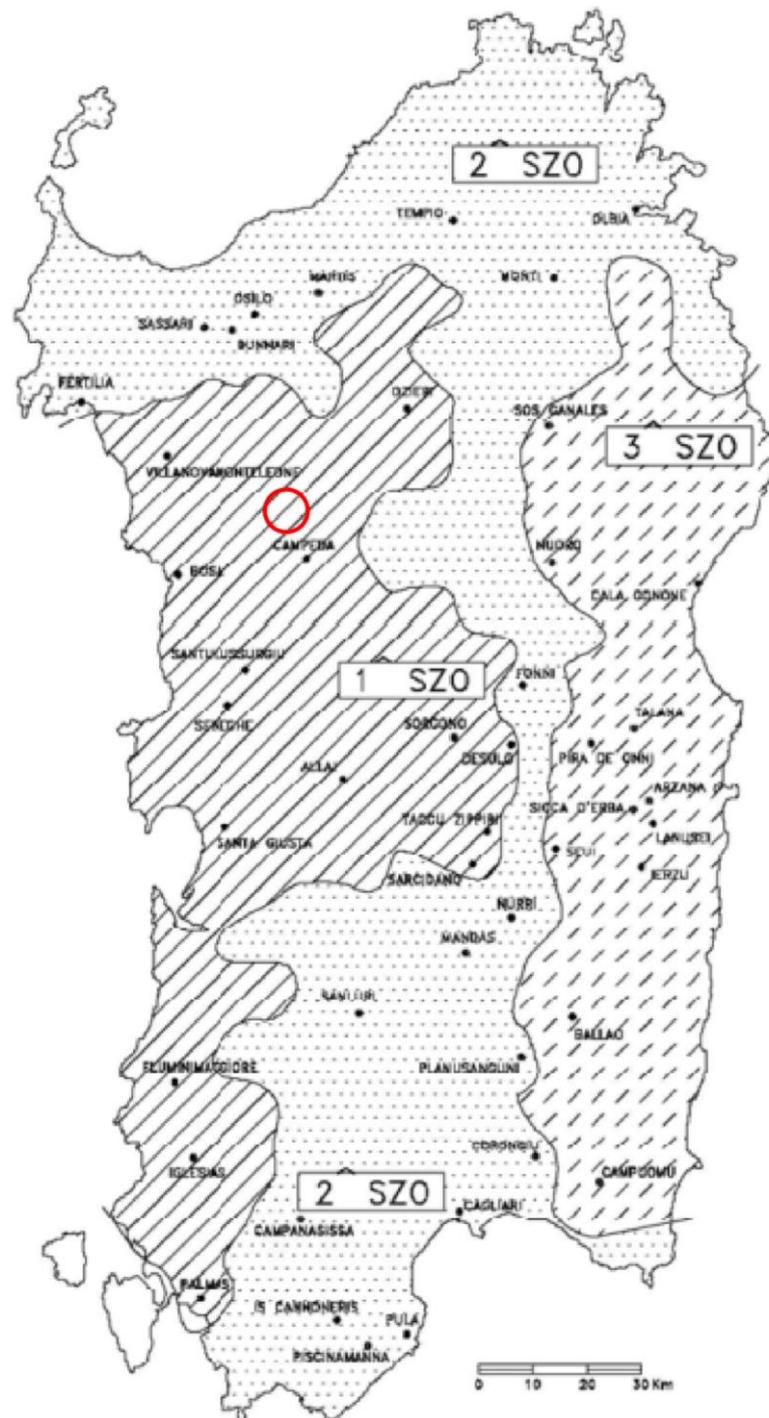


Figura 7.3 – Zonizzazione del PAI – Stralcio carta Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi e intense.

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 t (ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata t) può essere espressa in forma monomia:

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

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

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

$$n_1 = -0,493 + 0,476 \text{ Log}_{10} \mu_g$$

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

$$h_T(t) = \mu(t) K_T(T) = (a_1 a_2) t^{(n_1+n_2)}$$

dove i coefficienti a_2 e n_2 si determinano con le relazioni seguenti per differenti T e t

a) per tempi di ritorno $T \leq 10$ anni

$$a_2 = 0,64767 + 0,89360 \text{ Log}_{10} T$$

$$n_2 = -6,0189 \cdot 10^{-3} + 3,2950 \cdot 10^{-4} \text{ Log}_{10} T$$

b) per tempi di ritorno $T > 10$ anni

$$a_2 = 0,44182 + 1,0817 \text{ Log}_{10} T$$

$$n_2 = -0,18676 + 0,24310 \text{ Log}_{10} T - 3,5453 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 \quad (\text{per } t \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -5,6593 \cdot 10^{-3} - 4,0872 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T \quad (\text{per } t \geq 1 \text{ ora})$$

Assumendo μ_g pari a 45 mm (Figura 7.4), nella tabella sottostante sono riportati i valori di $h(T)$ e K_T relativi al tempo di ritorno stabilito.

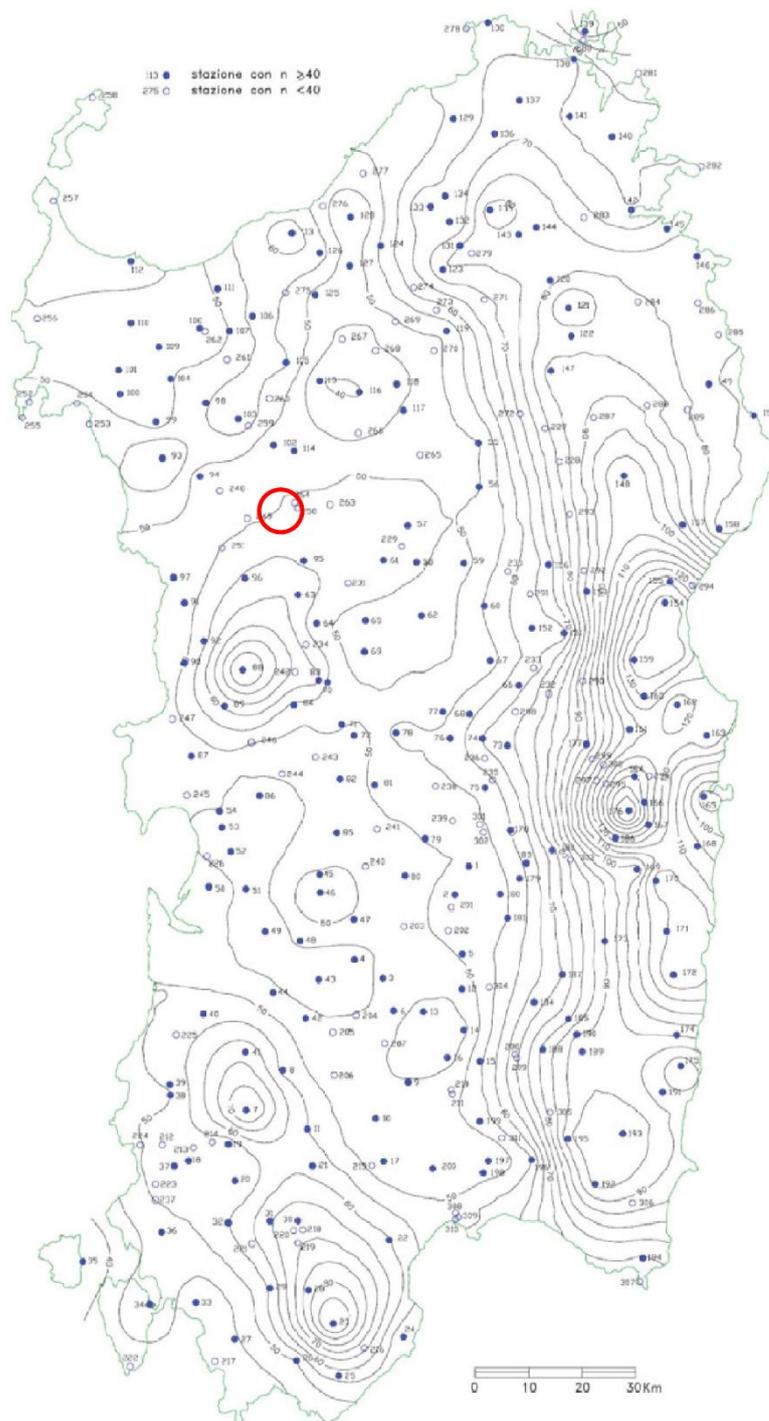


Figura 7.4 - Zonizzazione PAI Regione Sardegna - Stralcio carta delle isoiete (pioggia indice giornaliera).

Nella sottostante tabella vengono riportati i parametri di calcolo a e n delle curve di possibilità in relazione al tempo di ritorno di progetto.

Tabella 7.2 - Parametri delle curve di possibilità pluviometrica.

| PARAMETRI CPP | | | | | | | |
|-------------------------|---------------------|-------|-------|----------------|-------------------|---------------------------|---------------------------|
| | $\mu_g = 45,0$ [mm] | | | | | | |
| Tempo di ritorno [anni] | a_1 | n_1 | a_2 | $n_2 (t > 1h)$ | $n_2 (t \leq 1h)$ | $a_2 (T \leq 10$ anni) | $n_2 (T \leq 10$ anni) |
| 2 | 20,69 | 0,32 | 0,92 | -0,007 | -0,117 | -0,00592 | 20,69 |
| 5 | 20,69 | 0,32 | 1,27 | -0,009 | -0,034 | -0,00579 | 20,69 |
| 10 | 20,69 | 0,32 | 1,54 | -0,010 | 0,021 | -0,00569 | 20,69 |
| 30 | 20,69 | 0,32 | 2,04 | -0,012 | 0,095 | - | 20,69 |
| 50 | 20,69 | 0,32 | 2,28 | -0,013 | 0,124 | - | 20,69 |
| 100 | 20,69 | 0,32 | 0,92 | -0,007 | -0,117 | -0,00592 | 20,69 |

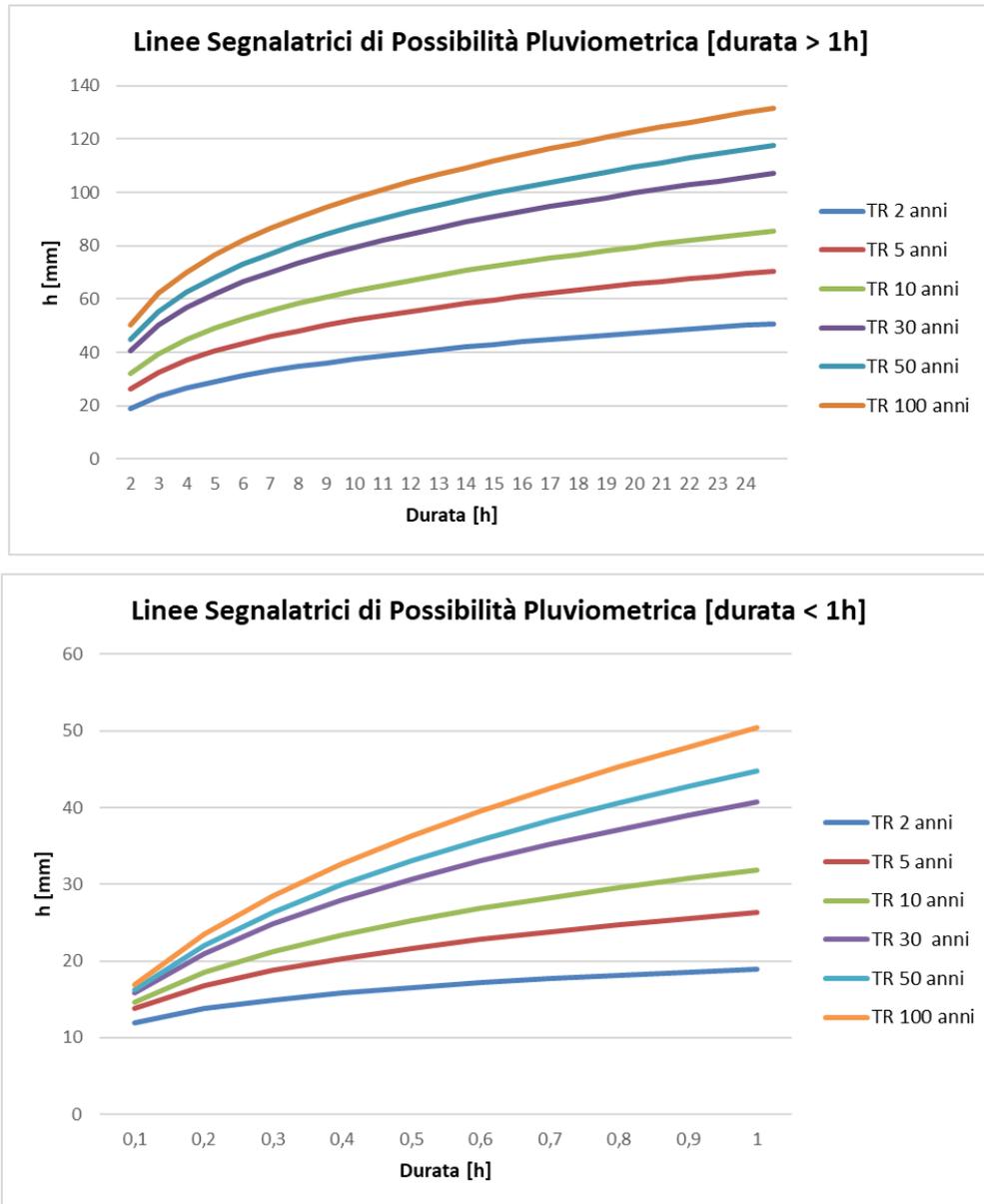


Figura 7.5 - Curve di possibilità pluviometrica (CPP) per eventi di durata >1h e <1h

Nella tabella seguente si riportano, inoltre, per diverse durate t (0,5 – 24h) e tempi di ritorno T (2, 5, 10, 30, 50 e 100 anni), i valori delle altezze di precipitazione $h_T(t)$ espresse in mm.

Tabella 7.3 - Altezza di pioggia per le diverse durate per i diversi tempi di ritorno

| ALTEZZA PIOGGIA CRITICA AL VARIARE DEL TEMPO DI RITORNO E DELLA DURATA H [mm] | | | | | | |
|---|-----------|-----------|------------|------------|------------|-------------|
| DURATA EVENTO CRITICO [H] | TR 2 ANNI | TR 5 ANNI | TR 10 ANNI | TR 30 ANNI | TR 50 ANNI | TR 100 ANNI |
| 0,5 | 16,5 | 21,7 | 25,3 | 30,6 | 33,0 | 36,3 |
| 1 | 17,1 | 22,8 | 26,9 | 33,0 | 35,8 | 39,6 |
| 2 | 23,5 | 32,6 | 39,5 | 50,3 | 55,3 | 62,1 |

| DURATA EVENTO CRITICO [H] | ALTEZZA PIOGGIA CRITICA AL VARIARE DEL TEMPO DI RITORNO E DELLA DURATA H [mm] | | | | | |
|---------------------------------|---|-----------|------------|------------|------------|-------------|
| | TR 2 ANNI | TR 5 ANNI | TR 10 ANNI | TR 30 ANNI | TR 50 ANNI | TR 100 ANNI |
| 3 | 26,7 | 37,0 | 44,8 | 56,9 | 62,5 | 70,2 |
| 4 | 29,1 | 40,5 | 49,0 | 62,1 | 68,2 | 76,6 |
| 5 | 31,2 | 43,4 | 52,5 | 66,4 | 73,0 | 81,9 |
| 6 | 33,0 | 45,9 | 55,6 | 70,2 | 77,1 | 86,5 |
| 7 | 34,7 | 48,1 | 58,3 | 73,6 | 80,8 | 90,7 |
| 8 | 36,1 | 50,1 | 60,8 | 76,6 | 84,2 | 94,4 |
| 9 | 37,5 | 52,0 | 63,0 | 79,4 | 87,2 | 97,8 |
| 10 | 38,7 | 53,7 | 65,1 | 82,0 | 90,1 | 101,0 |
| 11 | 39,9 | 55,4 | 67,1 | 84,4 | 92,7 | 103,9 |
| 12 | 41,0 | 56,9 | 68,9 | 86,7 | 95,2 | 106,7 |
| 13 | 42,0 | 58,3 | 70,6 | 88,8 | 97,5 | 109,3 |
| 14 | 43,0 | 59,6 | 72,3 | 90,8 | 99,7 | 111,8 |
| 15 | 43,9 | 60,9 | 73,8 | 92,7 | 101,8 | 114,1 |
| 16 | 44,8 | 62,2 | 75,3 | 94,6 | 103,8 | 116,3 |
| 17 | 45,6 | 63,3 | 76,8 | 96,3 | 105,8 | 118,5 |
| 18 | 46,4 | 64,5 | 78,1 | 98,0 | 107,6 | 120,6 |
| 19 | 47,2 | 65,6 | 79,5 | 99,7 | 109,4 | 122,5 |
| 20 | 48,0 | 66,6 | 80,7 | 101,2 | 111,1 | 124,5 |
| 21 | 48,7 | 67,6 | 82,0 | 102,7 | 112,8 | 126,3 |
| 22 | 49,4 | 68,6 | 83,1 | 104,2 | 114,4 | 128,1 |
| 23 | 50,1 | 69,6 | 84,3 | 105,6 | 115,9 | 129,8 |
| 24 | 50,8 | 70,5 | 85,4 | 107,0 | 117,4 | 131,5 |

7.4 IDENTIFICAZIONE DEI BACINI SCOLANTI DI PROGETTO

Nel presente paragrafo sono state identificate le singole aree scolanti e le principali caratteristiche sulla base del quale calcolare le portate idrologiche di riferimento.

Al fine di non modificare la rete naturale allo stato attuale e definire un sistema di drenaggio interno al sito con il minor impatto è stata eseguita una simulazione del modello digitale del terreno disponibile con lo scopo di identificare le principali informazioni morfologiche e idrologiche a scala di bacino nello stato di fatto (pendenze e isoipse, delimitazione del bacino idrografico, rete principale e secondaria).

La simulazione è stata condotta mediante algoritmi TauDEM (Terrain Analysis Using Digital Elevation Models) e successivamente rielaborata in ambiente GIS.

La rete estratta attraverso la simulazione sarà quindi sovrapposta con le aree di progetto e sulla base dei risultati sarà definito il sistema interno di gestione delle acque meteoriche e i punti di affluenza. Lo stato di progetto presenterà quindi una rete di drenaggio con percorsi e punti di affluenza ai canali perimetrali compatibili con lo stato di fatto. La rete interna a tali siti sarà principalmente costituita da canalette in terra a cielo aperto.

In Figura 7.6 sono riportati i bacini individuabili all'interno dell'area di impianto.



Figura 7.6 - Delimitazione bacini scolanti e codifica

| BACINI DI DRENAGGIO | |
|---------------------|-----------|
| ID BACINO | AREA [MQ] |
| Bacino 1 | 3330,44 |
| Bacino 2 | 4528,65 |
| Bacino 3.1 | 5000,01 |
| Bacino 3.2 | 1079,82 |
| Bacino 4 | 2103,40 |
| Bacino 4.1 | 6480,56 |

| BACINI DI DRENAGGIO | |
|---------------------|-----------|
| ID BACINO | AREA [MQ] |
| Bacino 4.2 | 6145,85 |
| Bacino 5 | 4757,38 |
| Bacino 6 | 12089,96 |
| Bacino 7.1 | 27991,96 |
| Bacino 7.2 | 50267,67 |
| Bacino 8.1 | 2480,51 |
| Bacino 8.2 | 519,37 |
| Bacino 9 | 13690,35 |
| Bacino 11.1 | 3891,34 |
| Bacino 11.2 | 882,86 |
| Bacino 12 | 6955,86 |
| Bacino 13.1 | 2835,99 |
| Bacino 13.2 | 5042,79 |
| Bacino 13.3 | 3438,84 |
| Bacino 14.1 | 2427,47 |
| Bacino 14.2 | 1562,30 |
| Bacino 15 | 5191,28 |
| Bacino 16 | 34335,30 |
| Bacino 17.1 | 2874,81 |
| Bacino 18.1 | 11638,34 |
| Bacino 18.2 | 2575,03 |
| Bacino 20.1 | 22449,42 |
| Bacino 20.2 | 18089,34 |
| Bacino 21.1 | 54888,56 |
| Bacino 21.2 | 8710,14 |
| Bacino 21.3 | 7651,20 |
| Bacino 22.1 | 40339,07 |
| Bacino 22.2 | 960,81 |
| Bacino 23.1 | 885,62 |

| BACINI DI DRENAGGIO | |
|---------------------|-----------|
| ID BACINO | AREA [MQ] |
| Bacino 23.2 | 3680,76 |

7.5 VALUTAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE (NETTA)

La determinazione della pioggia efficace ovvero della porzione di volume della precipitazione che contribuisce effettivamente alla formazione dell'onda di piena è stata eseguita applicando il "metodo percentuale" ϕ .

Questo metodo ipotizza che le perdite costituiscano una percentuale costante della quantità di pioggia durante l'evento.

Si considera il coefficiente di deflusso ϕ , caratteristico dell'evento nella sua totalità, come rapporto tra il volume di precipitazione netta (P_{netta}) ed il volume di precipitazione totale (P):

$$\phi = \frac{P_{netta}}{P}$$

Al fine di ottenere lo ietogramma di pioggia netta, la pioggia sintetica "di progetto" viene moltiplicata per il parametro ϕ , ammettendosi così che i fenomeni di infiltrazione e perdita idrica siano costanti durante tutta la durata dell'evento piovoso.

7.5.1 Valutazione ante-operam

Le aree allo stato ante-operam non risultano impermeabilizzate e sono prevalentemente coltivate. Come descritto in precedenza, l'area di progetto e il cavidotto si sviluppa su aree di colture intensive, colture annuali associate a colture permanenti, tessuto urbano discontinuo e oliveti.

Secondo il metodo SCS-NC, in base alla perimetrazione del CN ottenuta del Geoportale della Regione Sardegna, sono state individuati diversi valori nell'area di progetto, che hanno portato ad un valore medio ponderale del CN pari a **79**.

Si assume che il valore di CN possa variare in relazione alle condizioni iniziali di imbibimento all'atto della piena. Lo stato di imbibimento viene espresso, in modo quali-quantitativo, in base ad un indice di pioggia, ovvero la pioggia totale caduta nei cinque giorni che precedono l'evento di piena.

A seconda di tale valore, vengono identificate le tre classi AMC I, II e III, che rappresentano rispettivamente terreno inizialmente asciutto, mediamente imbibito e fortemente imbibito.

Nell'ipotesi di ACM III il CN corrispondente risulta pari a **89**.

A seguito del calcolo del CN è stato possibile determinare il coefficiente di deflusso della zona, confrontando la precipitazione lorda con la precipitazione netta.

In Figura 7.7 si riporta il grafico di correlazione tra il valore di *Curve Number* e il coefficiente di deflusso.

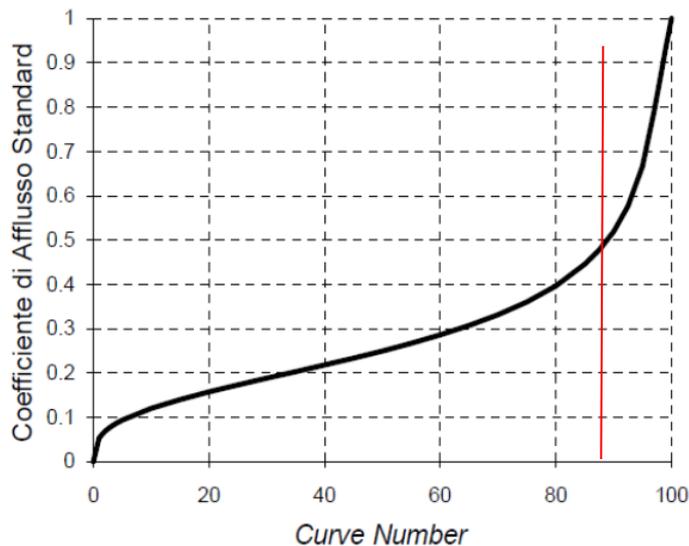


Figura 7.7: Correlazione da letteratura SCS-CN vs. coeff. afflusso/deflusso.

Il coefficiente di deflusso ante operam è stato assunto pari a **0,51**.

7.5.2 Valutazione post-operam

In merito alle aree prevalentemente permeabili è stato valutato l'impatto dell'installazione di strutture tracker e fisse.

In riferimento ai tracker, l'interasse fra le strutture sarà di circa 5,00 metri. L'altezza in mezzera della struttura sarà di circa 2,38 m (rispetto al piano di campagna). I tracker non avranno una configurazione fissa ma oscilleranno durante le fasi del giorno. Il tracker si posizionerà stabilmente con un tilt prossimo a zero solo in condizioni di messa in sicurezza in occasione di velocità del vento superiore alla soglia limite.

Per quanto riguarda le strutture fisse, l'interasse sarà di circa 4,10 metri. L'altezza in mezzera della struttura sarà paria circa 2,38 m (rispetto al piano di campagna).

Si ritiene che durante un evento intenso con tempo di ritorno pari a quello di progetto, la capacità di infiltrazione, così come le caratteristiche di permeabilità del terreno, delle aree di intervento non siano modificate dall'installazione delle strutture.

Analogamente si può affermare delle platee di appoggio delle cabine elettriche che avranno un'area trascurabile rispetto all'intera estensione delle aree.

Ciononostante, volendo cautelativamente ipotizzare una perdita di capacità di infiltrazione delle acque meteoriche, si è valutata arealmente l'incidenza e si sono valutati gli impatti in termini di capacità di infiltrazione delle eventuali acque di ruscellamento che si generano su ogni settore di progetto su aree permeabili.

Relativamente alle strutture tracker, tale valutazione è stata condotta sulla base di precedenti studi internazionali (rif. "Hydrologic response of solar farm", Cook, Lauren, Richard - 2013 –American Society of Civil Engineers) improntati su un modello concettuale di impatto che simula il modulo idrologico tipo di impianto come costituito da un'area di installazione pannelli ed una di interfila.

L'area di interfila presenta una capacità di infiltrazione non influenzata dall'opera in progetto; l'area interessata dalla struttura, invece, viene schematizzata come composta al 50% da una sezione "Wet" con capacità di infiltrazione non influenzata e collegata alla precedente area di interfila e una sezione

“dry” che si assume a favore di sicurezza come non soggetta ad infiltrazione diretta e quindi con coefficiente di deflusso pari a 1. Lo schema è visibile in Figura 7.8.



Figura 7.8 - Modulo tipo, descrivente il modello concettuale idrologico dell’installazione di strutture fotovoltaiche a tracker su pali infissi comprendente l’area pannelli (in rosso) e l’area di interfila (Fonte: Hydrologic response of solar farm Cook 2013 American Society of Civil Engineers).

Come descritto in precedenza, la proiezione del tracker a terra non risulterà fissa in quanto la struttura varierà il tilt durante le fasi della giornata. Volendo comunque assumere la condizione più sfavorevole di evento intenso di progetto in occasione di tilt della struttura pari a zero si ottiene un’area dry pari al 50% dell’area utile di installazione pannelli.

Per valutare l’“area dry” delle strutture fisse, si è considerata l’effettiva proiezione del pannello a terra. Sulla base di tali assunzioni, il coefficiente di deflusso medio ponderale post-operam è stato stimato pari a 0.62; di conseguenza, l’impermeabilità del sito risulterà incrementata del **22%**.

Tabella 7.4 - Aree scolanti e caratteristiche di infiltrazione negli scenari ante-operam/post-operam

| TIPOLOGIA STRUTTURE | STATO DI FATTO | AREA [HA] | AREA MODULI [HA] | % MODULI SU AREA NETTA | AREA DRY STIMATA [HA] | % AREA AVENTE EFFETTO POTENZIALMENTE DRY | Φ ANTE OPERAM | Φ POST OPERAM | AUMENTO IMPERMEABILITA' DEL SITO |
|------------------------|----------------------------|-----------|------------------|------------------------|-----------------------|--|---------------|---------------|----------------------------------|
| Tot. (fissi + tracker) | Prevalentemente permeabile | 49.93 | 14.43 | 0.36 | 9.23 | 0.23 | 0.51 | 0.62 | 22% |

Sulla base dei coefficienti di deflusso stimati, sono state calcolate le portate al colmo durante l’evento di progetto negli scenari ante-operam e post-operam.

7.6 MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI/DEFLUSSI – STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO

Per calcolare le portate di scolo dai bacini imbriferi costituiti dai singoli settori in cui è prevista l’area di progetto, si è determinato per ognuno di essi l’evento critico, cioè l’evento meteorico che produce la massima portata al colmo (portata critica). A tal fine si è adottato il modello cinematico (o della corrivazione).

Ipotizzando che la precipitazione sia a intensità costante e che la curva tempi aree del bacino sia lineare, la durata critica coincide con il tempo di corrivazione del bacino e la portata critica (portata di progetto) è data dall’espressione:

$$Q_P = \varphi \cdot \frac{i(T_0, t_C) \cdot A}{360}$$

Dove:

Q_p = portata critica (netta) [m^3/s];

ϕ = coefficiente di deflusso, mediante il quale si tiene conto delle perdite per infiltrazione e detenzione superficiale [adimensionale];

$i(T_0, t_c)$ = intensità media della precipitazione di durata pari al tempo di corrivazione del bacino (t_c - min) ed avente un tempo di ritorno (T - anni) [mm/h];

A = superficie del bacino [ha].

Il valore del tempo di corrivazione è stato calcolato con la formula di Kirpich.

Tabella 7.5 - Determinazione delle portate di progetto nello scenario ante e post operam

| | BACINO 1 | BACINO 2 | BACINO 3.1 | BACINO 3.2 | BACINO 4 | BACINO 4.1 |
|--|----------|----------|------------|------------|----------|------------|
| S (ha) | 0,33 | 0,45 | 0,50 | 0,11 | 0,21 | 0,65 |
| L asta (m) | 103 | 68 | 118 | 50 | 59 | 107 |
| t_c (h) | 0,27 | 0,26 | 0,28 | 0,26 | 0,26 | 0,27 |
| Kt (-) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| h (60) (mm) | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| h(t) (mm) | 24 | 24 | 24 | 23 | 24 | 24 |
| Intensità (mm/h) | 88 | 89 | 87 | 90 | 90 | 88 |
| Coefficiente di deflusso ante-operam (-) | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| Coefficiente di deflusso post-operam (-) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Portata al colmo ante-operam Q_{cr} (mc/s) | 0,04 | 0,06 | 0,06 | 0,01 | 0,03 | 0,08 |
| Portata al colmo post-operam Q_{cr} (mc/s) | 0,05 | 0,07 | 0,08 | 0,02 | 0,03 | 0,10 |

| | BACINO 4.2 | BACINO 5 | BACINO 6 | BACINO 7.1 | BACINO 7.2 | BACINO 8.1 |
|--|------------|----------|----------|------------|------------|------------|
| S (ha) | 0,61 | 0,48 | 1,21 | 2,80 | 5,03 | 0,25 |
| L asta (m) | 72 | 129 | 74 | 297 | 341 | 51 |
| t_c (h) | 0,27 | 0,28 | 0,27 | 0,31 | 0,32 | 0,26 |
| Kt (-) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| h (60) (mm) | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| h(t) (mm) | 24 | 24 | 24 | 25 | 26 | 23 |
| Intensità (mm/h) | 89 | 87 | 89 | 81 | 79 | 90 |
| Coefficiente di deflusso ante-operam (-) | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| Coefficiente di deflusso post-operam (-) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Portata al colmo ante-operam Q_{cr} (mc/s) | 0,08 | 0,06 | 0,15 | 0,32 | 0,56 | 0,03 |
| Portata al colmo post-operam Q_{cr} (mc/s) | 0,09 | 0,07 | 0,19 | 0,39 | 0,69 | 0,04 |

| | BACINO 8.2 | BACINO 9 | BACINO 11.1 | BACINO 11.2 | BACINO 12 |
|---|------------|----------|-------------|-------------|-----------|
| S (ha) | 0,05 | 1,37 | 0,39 | 0,09 | 0,70 |
| L asta (m) | 26 | 173 | 106 | 58 | 136 |
| t _c (h) | 0,26 | 0,29 | 0,27 | 0,26 | 0,28 |
| Kt (-) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| h (60) (mm) | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| h(t) (mm) | 23 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Intensità (mm/h) | 91 | 85 | 88 | 90 | 86 |
| Coefficiente di deflusso ante-operam (-) | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| Coefficiente di deflusso post-operam (-) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Portata al colmo ante-operam Q _{cr} (mc/s) | 0,01 | 0,16 | 0,05 | 0,01 | 0,09 |
| Portata al colmo post-operam Q _{cr} (mc/s) | 0,01 | 0,20 | 0,06 | 0,01 | 0,10 |

| | BACINO 13.1 | BACINO 13.2 | BACINO 13.3 | BACINO 14.1 | BACINO 14.2 | BACINO 15 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|
| S (ha) | 0,28 | 0,50 | 0,34 | 0,24 | 0,16 | 0,52 |
| L asta (m) | 132 | 142 | 40 | 67 | 64 | 70 |
| t _c (h) | 0,28 | 0,28 | 0,26 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| Kt (-) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| h (60) (mm) | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| h(t) (mm) | 24 | 24 | 23 | 24 | 24 | 24 |
| Intensità (mm/h) | 87 | 86 | 90 | 89 | 89 | 89 |
| Coefficiente di deflusso ante-operam (-) | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| Coefficiente di deflusso post-operam (-) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Portata al colmo ante-operam Q _{cr} (mc/s) | 0,03 | 0,06 | 0,04 | 0,03 | 0,02 | 0,07 |
| Portata al colmo post-operam Q _{cr} (mc/s) | 0,04 | 0,07 | 0,05 | 0,04 | 0,02 | 0,08 |

| | BACINO 16 | BACINO 17.1 | BACINO 17.2 | BACINO 18.1 | BACINO 18.2 |
|--------------------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| S (ha) | 3,43 | 0,29 | 2,32 | 1,16 | 0,26 |
| L asta (m) | 106 | 96 | 132 | 184 | 155 |
| t _c (h) | 0,27 | 0,27 | 0,28 | 0,29 | 0,28 |
| Kt (-) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| h (60) (mm) | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| h(t) (mm) | 24 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| Intensità (mm/h) | 88 | 88 | 87 | 85 | 86 |
| Coefficiente di deflusso | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |

| | BACINO 16 | BACINO 17.1 | BACINO 17.2 | BACINO 18.1 | BACINO 18.2 |
|--|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| ante-operam (-) | | | | | |
| Coefficiente di deflusso post-operam (-) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s) | 0,43 | 0,04 | 0,28 | 0,14 | 0,03 |
| Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s) | 0,52 | 0,04 | 0,35 | 0,17 | 0,04 |

| | BACINO 20.1 | BACINO 20.2 | BACINO 21.1 | BACINO 21.2 | BACINO 21.3 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| S (ha) | 2,24 | 1,81 | 5,49 | 0,87 | 0,77 |
| L asta (m) | 269 | 288 | 340 | 161 | 253 |
| t _c (h) | 0,31 | 0,31 | 0,32 | 0,28 | 0,30 |
| Kt (-) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| h (60) (mm) | 41 | 41 | 41 | 41 | 41 |
| h(t) (mm) | 25 | 25 | 26 | 24 | 25 |
| Intensità (mm/h) | 82 | 81 | 79 | 85 | 82 |
| Coefficiente di deflusso ante-operam (-) | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| Coefficiente di deflusso post-operam (-) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s) | 0,26 | 0,21 | 0,62 | 0,11 | 0,09 |
| Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s) | 0,32 | 0,25 | 0,75 | 0,13 | 0,11 |

| | BACINO 22.1 | BACINO 22.2 | BACINO 23.1 | BACINO 23.2 |
|--|-------------|-------------|-------------|-------------|
| S (ha) | 4,03 | 0,10 | 0,09 | 0,37 |
| L asta (m) | 239 | 45 | 61 | 53 |
| t _c (h) | 0,30 | 0,26 | 0,26 | 0,26 |
| Kt (-) | 1,83 | 1,83 | 1,83 | 1,83 |
| h (60) (mm) | 41 | 41 | 41 | 41 |
| h(t) (mm) | 25 | 23 | 24 | 23 |
| Intensità (mm/h) | 83 | 90 | 89 | 90 |
| Coefficiente di deflusso ante-operam (-) | 0,51 | 0,51 | 0,51 | 0,51 |
| Coefficiente di deflusso post-operam (-) | 0,62 | 0,62 | 0,62 | 0,62 |
| Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s) | 0,47 | 0,01 | 0,01 | 0,05 |
| Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s) | 0,58 | 0,01 | 0,01 | 0,06 |

8. OPERE IDRAULICHE

L'approccio utilizzato nella progettazione ha posto grande attenzione non solo alla progettazione della rete di drenaggio delle acque meteoriche, ma soprattutto all'integrazione delle opere con lo stato di fatto. Si sono quindi minimizzate le interferenze con l'idrografia esistente, sostituendo l'utilizzo delle tradizionali opere dell'ingegneria civile di raccolta e scarico con opere che implementassero la mitigazione.

In particolare, in contrapposizione al classico approccio di drenaggio delle acque meteoriche, in cui il principale obiettivo è l'allontanamento delle acque dal sito, nel presente progetto si sono utilizzate tecniche di progettazione a basso impatto.

La scelta dei sistemi di drenaggio sostenibili porterà al raggiungimento di più obiettivi:

- Regimentazione del carico di acque meteoriche smaltite nei vari corsi idrici, per lo smaltimento tramite laminazione;
- Realizzazione di infrastrutture verdi a vantaggio di quelle grigie;
- Rallentamento e riduzione del picco di piena durante piogge intense;
- Realizzazione di interventi che favoriscano i fenomeni di infiltrazione e ritenzione e gli indiretti processi di bioremediation;
- Contrastare i processi di erosione.

Il presente progetto ha mirato all'utilizzo di:

- Fossi di scolo in terra;
- Bacini di laminazione;
- Protezione scarichi verso solchi di drenaggio naturali mediante implementazione di opere di dissipazione e protezione del versante.

Il sistema di drenaggio è stato dimensionato sulla base dei tempi di ritorno in linea con la vita utile di progetto.

8.1 SISTEMA DI DRENAGGIO SUPERFICIALE DELL'AREA DI INTERVENTO

Attraverso l'analisi TauDEM rielaborata in ambiente GIS (come descritto nel paragrafo 7.4) è stato indentificato un reticolo idrografico principale caratterizzato da corsi preferenziali che non presentano un alveo ben definito, ma possono raggiungere portate significative in seguito ad eventi di pioggia intensi non ordinari.

Alcuni di questi ricadono all'interno dell'area di progetto, di conseguenza la loro pericolosità è stata studiata.

Il progetto ha previsto una sistemazione del drenaggio oggi assente al fine di indirizzare e distribuire le portate, costituita da canalette di forma trapezia scavate nel terreno naturale e rinverdite.

Tra i vantaggi idraulici essi immagazzinano e convogliano le acque scolanti meteoriche favorendo la riduzione dei picchi di deflusso, l'infiltrazione e il rallentamento dei flussi, a seconda della pendenza. Tali opere sono state e sono tuttora largamente in uso nelle aree rurali.

Durante l'avvento dei sistemi di gestione sostenibile questa categoria è stata rielaborata progettualmente creando nuove funzioni quali detenzione, infiltrazione, bioremediation ed ecologica.

Di seguito alcuni esempi:

- Può essere promossa la sedimentazione mediante l'uso di una fitta vegetazione, solitamente piante erbacee, che garantisce basse velocità di flusso per intrappolare gli inquinanti particellari e indiretti effetti fitodepurativi;
- È possibile installare dighe o berme lungo il fosso per favorire ulteriormente lo stoccaggio, il rallentamento, la sedimentazione e l'infiltrazione;

- Mediante la formazione di sottofondo in materiale drenante è possibile incrementare l'infiltrazione creando opere miste con trincee drenanti;
- Utilizzo in commistione con bacini di detenzione come ingresso o uscita.

Nel presente paragrafo sono illustrate le modalità di verifica idraulica di moto uniforme per il dimensionamento dei canali e delle canalette di drenaggio dei diversi settori dell'impianto.

La capacità di convogliamento della sezione idraulica può essere calcolata attraverso una verifica idraulica in regime di moto uniforme, secondo la normale prassi progettuale, utilizzando la nota formula di Chezy con il coefficiente di scabrezza di Manning (parametro che si usa nello studio dei flussi dei canali e che varia rispetto alla natura della superficie di riferimento):

$$Q = \frac{A \cdot R^{2/3} i^{1/2}}{n} \quad (8)$$

Dove:

- Q : portata di riferimento [m^3/s];
- A : area della sezione bagnata [m^2];
- R : raggio idraulico [m] (rapporto tra A e il corrispondente perimetro bagnato della sezione);
- i : pendenza dell'alveo [m/m];
- n : coefficiente di conduttanza idraulica di Manning.

Le canalette sono posizionate in maniera prioritaria a protezione di strade e cabinati, parallelamente alle strade interne con i cabinati e lungo le strade perimetrali sul lato più critico di intercettazione delle acque di deflusso. Nel sito in esame sono presenti numerosi muretti a secco che circoscrivono gran parte dell'impianto. I suddetti muretti sono stati considerati come "barriere" rispetto al flusso di acqua superficiale, e si è tenuto conto di ciò nel posizionamento delle canalette.

Le canalette interne all'impianto sono collocate nell'interasse tra le strutture, siano esse fisse o mobili, con disposizione est-ovest per le fisse e nord-sud per i tracker. In linea generale, ove possibile, si evita il tracciamento di canalette perpendicolarmente ai filari delle strutture.

Le canalette scaricheranno all'esterno della recinzione (all'interno dell'area catastale), in corrispondenza di percorsi naturali di drenaggio, ovvero nei punti in cui naturalmente si ricreano vie preferenziali di deflusso. Allo scarico sarà presente un elemento di tipo riprap al fine di dissipare l'energia e ridurre i problemi di erosione. Gli scarichi della rete di drenaggio senza modifiche tra ante-operam e post-operam convergeranno ai ricettori esistenti. In fase esecutiva verranno realizzati in conformità con le pratiche agricole del sito.

Le canalette saranno realizzate in scavo con una sezione trapezia di larghezza e profondità variabile in funzione della portata di progetto e sponde inclinate di 26° (Figura 8.1).

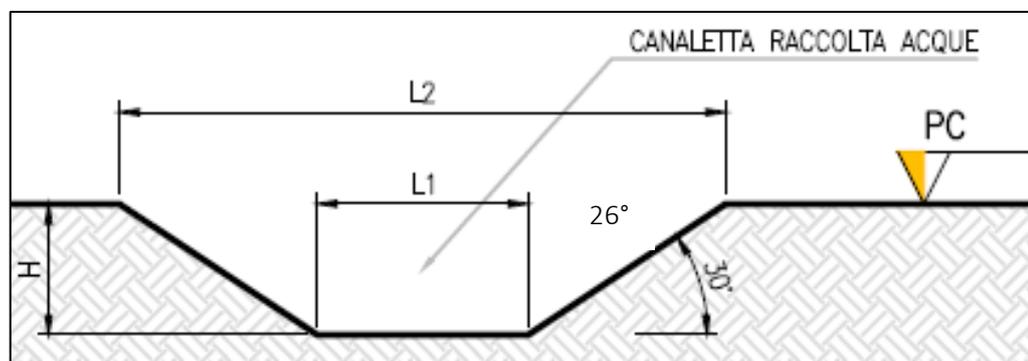


Figura 8.1: Sezione tipologica canaletta di drenaggio realizzata in scavo.

In corrispondenza delle intersezioni con la viabilità o con i muretti a secco, si sono previsti dei tratti interrati composti da scatolati in c.a. carrabili o da tubazioni in HDPE carrabili.

Si precisa che allo stato attuale probabilmente esistono già delle vie preferenziali tramite cui l'acqua riesce a defluire attraverso i muretti a secco.

Lo scopo delle canalette e dei condotti interrati è quello di permettere il deflusso dell'intera portata di progetto, relativa a un Tempo di Ritorno di 30 anni.

L'ubicazione planimetrica delle canalizzazioni è illustrata nell'Allegato 01.

8.2 SISTEMA DI LAMINAZIONE NELL'AREA DI INTERVENTO

La tipologia dell'opera di laminazione è quella dei "bacini di laminazione e di infiltrazione". Tali bacini consistono in aree rinverdite e depresse con tiranti idrici episodici massimi di 1,2 m.

Le opere a verde di questo tipo di vasche prevedranno il riuso del terreno in sito e crescita spontanea mantenuta di essenze vegetali.

Questa tipologia di sistemi di drenaggio sostenibile (SuDS) sono generalmente realizzati con forme differenti in funzione dell'estensione del bacino afferente e degli aspetti paesaggistico/architettonici.

Oltre ai vantaggi in materia idraulica già descritti precedentemente, la scelta di inserimento di questi bacini consentirà:

- Incremento biodiversità e dell'habitat con creazione di isole di rifugio per la fauna;
- Discrete rese di bioremediation soprattutto dovute a meccanismi di filtrazione e adsorbimento;
- Ridotta necessità di manutenzione.

In Figura 8.2 si riportano alcune immagini esemplificative dell'opera in oggetto.

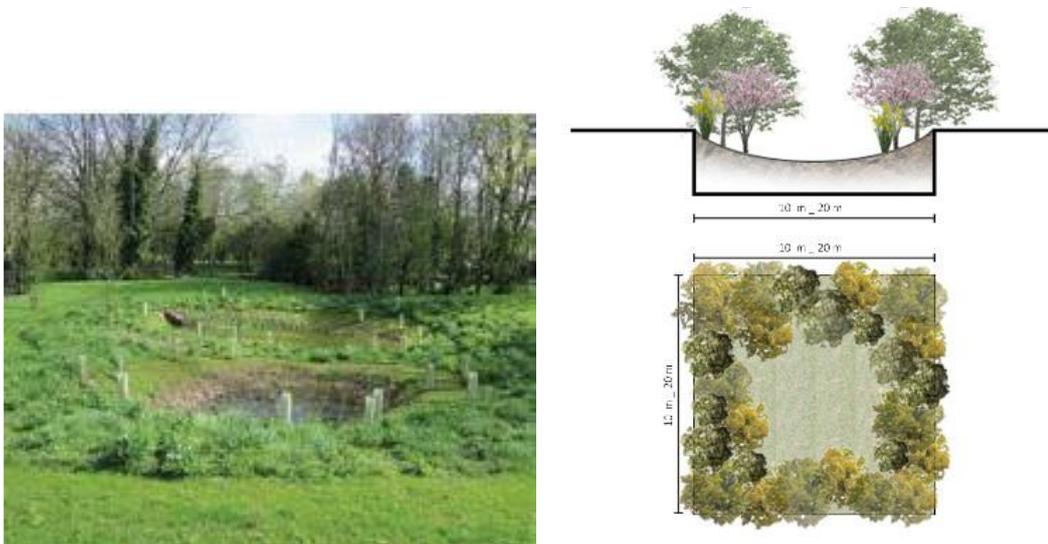


Figura 8.2: Immagini esemplificative di bacini

In fase esecutiva si verificheranno gli esatti valori di permeabilità del substrato e la soggiacenza della falda. Si consiglia in ogni caso di verificare, in fase esecutiva, la presenza del livello superficiale arenaceo che possa compromettere il corretto funzionamento dell'opera disperdente.

Il dimensionamento si condurrà secondo le linee progettuali de "Sistemi di Fognatura Manuale di Progettazione – HOEPLI" sulla base della legge di Darcy.

$$Q_f = k \cdot J \cdot A \quad (9)$$

Dove:

- Q_f : portata di infiltrazione [m^3/s];
- k : coefficiente di permeabilità [m/s];
- J : cadente piezometrica [m/m];
- A : superficie netta d'infiltrazione [m^2].

Al fine di tener conto che gli strati di terreno in questione si trovano spesso in condizioni insature, è opportuno ridurre del 50% il valore della permeabilità che compare nella legge di Darcy [Sieker, 1984].

In seguito alle indagini di permeabilità in sito si potrà valutare quanto ognuna delle opere è in grado di disperdere per infiltrazione; quindi, quanta portata sono in grado di smaltire per metro lineare, da cui derivare le dimensioni specifiche di ogni opera.

Il tempo di ritorno che verrà considerato per il dimensionamento delle vasche è tra 2 e 5 anni.

L'ubicazione planimetrica delle vasche di laminazione e infiltrazione è illustrata nell'Allegato 01.

9. CONCLUSIONI

Lo studio di compatibilità idraulica del progetto ha analizzato le possibili interferenze con le aree a pericolosità idraulica. (Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI, aggiornato al 2020), nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, aggiornato al 2022) e nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni - PGRA, aggiornato al 2020).

Si è valutato inoltre il rispetto dell'invarianza idraulica, secondo l'art.47 delle NA del PAI, verificando che la realizzazione degli interventi di trasformazione territoriale del piano attuativo permettano di mantenere invariate le caratteristiche di risposta idraulica del bacino oggetto dell'intervento.

Si evidenzia che l'approccio utilizzato nello studio ha posto grande attenzione non solo alla progettazione della rete di drenaggio delle acque meteoriche, ma soprattutto all'integrazione delle opere con lo stato di fatto. Si sono quindi minimizzate le interferenze con l'idrografia esistente, sostituendo l'utilizzo delle tradizionali opere dell'ingegneria civile (infrastrutture grigie) con le infrastrutture verdi, che mitigano gli impatti biofisici delle opere in progetto, riducendo il potenziale rischio idrogeologico, creando benefici ecosistemici e promuovendo gli obiettivi della politica comunitaria.

Lo studio di compatibilità idraulica del progetto dell'impianto agrivoltaico e della linea di connessione ha escluso la presenza di interferenze con le aree a pericolosità idraulica.

Il presente studio, inoltre, ha messo a confronto lo scenario ante-operam e quello post-operam, ossia a seguito dell'installazione delle strutture (fisse e mobili), analizzando il possibile impatto del progetto da un punto di vista idrologico (valutazione variazioni del coefficiente di deflusso e modifiche al deflusso naturale delle acque meteoriche) e da un punto di vista idraulico (valutazione variazioni degli apporti durante eventi intensi al ricettore finale).

Vista l'interdistanza esistente tra le strutture, l'altezza da piano campagna e la mobilità che varierà la copertura su suolo (rendendo quindi non permanente la schermatura), durante un evento intenso con tempo di ritorno pari a quello di progetto non sono previste variazioni critiche della capacità di infiltrazione, così come delle caratteristiche di permeabilità del terreno nelle aree interessate dall'installazione di tracker. Analogamente le platee di appoggio delle cabine avranno un'area trascurabile rispetto all'intera estensione delle aree.

Ciononostante, volendo cautelativamente ipotizzare una perdita di capacità di infiltrazione delle acque meteoriche, si è valutata arealmente l'incidenza nell'ipotesi di fissità orizzontale dei tracker e si sono valutati gli impatti in termini di capacità di infiltrazione delle eventuali acque di ruscellamento che si generano su ogni settore di progetto su aree permeabili. Tale valutazione è stata condotta sulla base di precedenti studi internazionali (rif. "Hydrologic response of solar farm", Cook, Lauren, Richard - 2013 – American Society of Civil Engineers) improntati su un modello concettuale di impatto che simula il modulo idrologico tipo di impianto come costituito da un'area di installazione pannelli ed una di interfila.

Nelle aree interessate dal progetto, durante la fase post-operam, nello scenario più cautelativo, si registrerebbe un incremento dei deflussi totali di circa il 22%.

Si segnala come sia prevista una rete costituita da fossi in terra non rivestiti che verranno realizzati in corrispondenza degli impluvi naturali esistenti; questi ultimi sono stati identificati sulla base di una simulazione del modello digitale del terreno con estrazione dei sottobacini idrografici e della rete idrografica primaria e secondaria esistente. Tali scelte consentiranno di evitare di modificare la rete naturale, senza interferenze nella costruzione della viabilità, nella disposizione dei tracker e delle altre opere di progetto. L'interasse tra due file di canali di drenaggio rispetterà i vincoli della normativa vigente.

È inoltre prevista, se possibile, l'adozione di vasche di laminazione e infiltrazione rinverdate per alleggerire dal carico idrico la rete e portare quindi ad uno scenario post-operam maggiormente confrontabile con quello ante-operam.



Tutte le opere di regimazione rientreranno nell'ambito dell'ingegneria naturalistica.