



DICEMBRE 2023

FLYNIS PV 42 S.r.l.

IMPIANTO INTEGRATO AGRIVOLTAICO
COLLEGATO ALLA RTN

POTENZA NOMINALE 56,55 MW
COMUNE DI CARBONIA (CI)

Montano

PROGETTO DEFINITIVO IMPIANTO AGRIVOLTAICO Relazione Idrologica e idraulica

Progettisti (o coordinamento)

Ing. Laura Maria Conti n. ordine Ing. Pavia 1726

Codice elaborato

2983_5376_CA_VIA_R06_Rev1_Relazione Idrologica e idraulica

Memorandum delle revisioni

Cod. Documento	Data	Tipo revisione	Redatto	Verificato	Approvato
2983_5376_CA_VIA_R06_Rev1_Relazione Idrologica e idraulica	12/2023	Richiesta di Integrazione – Regione Autonoma della Sardegna	LAL	Mcu	L.Conti
2983_5376_CA_VIA_R06_Rev0_Relazione Idrologia e Idraulica	07/2023	Prima emissione	LAL	Mcu	L.Conti

Gruppo di lavoro

Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Laura Maria Conti	Direzione Tecnica	Ordine Ing. Pavia 1726
Corrado Pluchino	Responsabile Tecnico Operativo	Ord. Ing. Milano A27174
Riccardo Festante	Progettazione Elettrica, Rumore e Comunicazioni	Tecnico acustico/ambientale n. 71
Marco Corrù	Project Manager	
Paola Scaccabarozzi	Ingegnere Idraulico	
Giulia Peirano	Architetto	Ordine Arch. Milano n. 20208
Fabio Lassini	Ingegnere Idraulico	Ordine Ing. Milano A29719
Mauro Aires	Ingegnere strutturista	Ordine Ing. Torino 9583J
Andrea Delussu	Ingegnere Elettrico	
Corrado Landi	Ingegnere Ambientale	
Carolina Ferraro	Ingegnere idraulico	
Luca Morelli	Ingegnere Ambientale	



Nome e cognome	Ruolo nel gruppo di lavoro	N° ordine
Matteo Cuda	Naturalista	
Graziella Cusmano	Architetto	
Matthew Piscedda	Perito Elettrotecnico	
Laura Annovazzi Lodi	Ingegnere Ambientale	
Daniele Moncecchi	Ingegnere Ambientale	
Raffaella Bertolini	Biologo Ambientale	
Carla Marcis	Ingegnere per l'Ambiente ed il Territorio, Tecnico competente in acustica	Ord. Ing. Prov. CA n. 6664 – Sez. A ENTECA n. 4200
Andrea Mastio	Ingegnere per l'Ambiente e il Territorio	
Leonardo Cuscito	Perito Agrario laureato	Periti Agrari della provincia di Bari, n° 1371
Eliana Santoro	Agronomo	Agronomo albo n.883 dottori agronomi e forestali provincia di Torino
Emanuela Gaia Forni	Dott.ssa Scienze e Tecnologie Agrarie	
Edoardo Bronzini	Agronomo	Albo n.1026 Dottori Agronomi e Forestali Provincia di Torino
Chiara Caltagirone	Dott.ssa Scienze e Tecnologie Agrarie	
Giancarlo Carboni	Geologo	
Rosana Pla Orquin	Professionista Archeologo I Fascia	
Luca Doro	Professionista Archeologo I Fascia	
Gabriele Carenti	Professionista Archeologo I Fascia	

Montana S.p.A.

Via Angelo Carlo Fumagalli 6, 20143 Milano
Tel. +39 02 54 11 81 73 | Fax +39 02 54 12 98 90

Milano (Sede Certificata ISO) | Brescia | Palermo | Cagliari | Roma | Siracusa

C. F. e P. IVA 10414270156

Cap. Soc. 600.000,00 €

www.montanambiente.com





INDICE

1. PREMESSA	6
2. DATI DI RIFERIMENTO	8
2.1 MODELLO DIGITALE DEL TERRENO (DTM).....	8
2.2 NORMATIVA E FONTI DI RIFERIMENTO	8
3. DESCRIZIONE DELLO STATO DI FATTO	9
3.1 LOCALIZZAZIONE IMPIANTO	9
3.1.1 Inquadramento catastale impianto	11
3.1.2 Inquadramento urbanistico territoriale.....	11
3.2 COPERTURA DEL SUOLO	12
3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO	13
3.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO	13
3.5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO	16
3.6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	16
3.7 UNITÀ DELLE VULCANITI OLIGO-MIOCENICHE IDROGRAFIA DEL TERRITORIO	17
3.7.1 Idrografia superficiale	17
3.8 INQUADRAMENTO QUALITÀ DELLE ACQUE	19
3.8.1 Acque superficiali.....	19
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 DI GESTIONE RISCHIO ALLUVIONI (PGRA)	25
4.3 PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (PSFF).....	26
4.4 RETICOLO IDROGRAFICO: FASCE DI PRIMA SALVAGUARDIA	27
4.5 INVARIANZA IDRAULICA.....	30
4.6 CONCLUSIONI	31
5. STATO DI PROGETTO: DESCRIZIONE GENERALE INTERVENTI	32
5.1 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO	32
5.1.1 Moduli fotovoltaici.....	33
5.1.2 Strutture di supporto dei moduli fotovoltaici	34
5.1.3 Cabine di campo	35
5.1.4 Inverter	35
5.2 SISTEMA BESS	36
6. STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA NUOVO IMPIANTO FOTOVOLTAICO E LINEA DI CONNESSIONE	38
6.1 IDENTIFICAZIONE INTERFERENZE – IMPIANTO FOTOVOLTAICO	38
6.2 IDENTIFICAZIONE INTERFERENZE – CAVO DI CONNESSIONE.....	38
6.3 METODOLOGIA DI VERIFICA PROFONDITÀ DI SICUREZZA POSA TOC	41
6.3.1 Analisi qualitativa	41
6.3.2 Analisi quantitativa	42
6.4 RISOLUZIONE INTERFERENZE CAVO DI CONNESSIONE	44
6.4.1 I01	44



6.4.2 I02	45
6.4.3 I03	47
6.4.4 I04	48
6.4.5 I05	50
6.4.6 I06	52
6.4.7 I07	56
6.4.8 I08	59
6.4.9 I09	62
6.4.10 I10	65
6.4.11 I11	67
6.4.12 I12	69
6.4.13 I13	70
6.4.14 I14	71
6.4.15 I15	72
6.4.16 I16	74
6.4.17 I17	75
6.4.18 I18	77
7. SISTEMA DI GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE – BESS	81
8. STUDIO IDROLOGICO E IDRAULICO.....	82
8.1 CONSIDERAZIONI CLIMATICHE	82
8.2 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO.....	83
8.3 ANALISI PROBABILISTICA DELLE PRECIPITAZIONI INTENSE.....	84
8.4 IDENTIFICAZIONE DEI BACINI SCOLANTI DI PROGETTO.....	90
8.5 VALUAZIONE DELLA PIOGGIA EFFICACE (NETTA)	93
8.5.1 Valutazione ante-operam.....	93
8.5.2 Valutazione post-operam	94
8.6 MODELLO DI TRASFORMAZIONE AFFLUSSI/DEFLUSSI – STIMA DELLE PORTATE DI PROGETTO.....	95
9. OPERE IDRAULICHE.....	100
9.1 SISTEMA DI DRENAGGIO SUPERFICIALE DELL’AREA DI INTERVENTO.....	100
9.1.1 Punti di scarico dei canali di drenaggio	102
9.2 SISTEMA DI LAMINAZIONE NELL’AREA DI INTERVENTO	102
9.3 STIMA DEL VOLUME DI LAMINAZIONE E INFILTRAZIONE – BESS	103
10. CONCLUSIONI	107

ELABORATI GRAFICI

TAVOLA 01 Allegato01_Gestione acque meteoriche



1. PREMESSA

Il progetto in questione prevede la realizzazione, attraverso la società di scopo FLYNIS PV 42 S.r.l., di un impianto solare fotovoltaico in alcuni terreni a ovest del territorio comunale di Carbonia (CI) di potenza pari a 56,55 MW su un'area catastale di circa 155,03 ettari complessivi di cui circa 87,61 ha recintati.

FLYNIS PV 42 S.r.l., è una società italiana con sede legale in Italia nella città di Milano (MI). 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.

La tecnologia impiantistica prevede l'installazione di moduli fotovoltaici bifacciali che saranno installati su strutture mobili (tracker) di tipo monoassiale mediante palo fisso nel terreno.

Le strutture saranno posizionate in maniera da consentire lo sfruttamento agricolo ottimale del terreno, i pali di sostegno delle strutture tracker sono posizionati distanti tra loro di 12 metri. 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 composte rispettivamente da 28 (tipo 1) e 14 (tipo 2) moduli.

Inoltre, all'interno di una sezione dell'impianto, è prevista l'installazione di un sistema di batterie di accumulo (BESS) con potenza pari a 25 MW per 4 ore.

I terreni non occupati dalle strutture dell'impianto continueranno ad essere adibiti ad uso agricolo; in particolare è prevista, per una porzione dell'impianto pari a 10,94 ha, la piantumazione e coltivazione di mandorleti (secondo il modello superintensivo), e per la restante porzione, pari a 76,68 ha, verranno piantumate e coltivate le specie foraggere annuali destinate allo sfalcio e alla fienagione.

Il progetto rispetta i requisiti riportati all'interno delle "Linee Guida in materia di Impianti Agrivoltaici" in quanto la superficie minima per l'attività agricola è pari al 77,7% mentre la LAOR (percentuale di superficie ricoperta dai moduli) è pari al 36,3%.

La corrente elettrica prodotta dai moduli fotovoltaici sarà convertita e trasformata tramite l'installazione di 15 Power Station. Infine, l'impianto fotovoltaico sarà allacciato, con soluzione in cavo interrato di lunghezza pari a circa 8,60 km, in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una futura Stazione Elettrica (SE) di trasformazione RTN 220/36 kV da inserire in entrata-uscita alla linea RTN 220 kV "Sulcis-Oristano".

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 stati 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. Testo coordinato aggiornato con le modifiche approvate dal comitato istituzionale dell'autorità di bacino con deliberazione n. 15 del 22 novembre 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 nel territorio comunale di Carbonia, in Provincia di Carbonia-Iglesias. L'area di progetto è divisa in 15 sezioni tutte adiacenti e situate a circa 4,9 km a nord ovest del centro abitato di Carbonia (CI).

Le sezioni dell'impianto, collocate a pochi metri a sud ovest della cava "Medau Is Fenus", risultano divise tra di loro da diversi elementi presenti nel territorio, come viabilità esistente, linee taglia fuoco, elementi idrici e linea elettrica AT. L'intera area di progetto è localizzata ad ovest della Strada Provinciale n.2 – Via Pedemontana (SP2), a circa 1,8 km ad ovest dell'incrocio tra suddetta strada e la Strada Statale n.126 Sud Occidentale Sarda (SS126). Il centro abitato di Santa Maria di Flumentepido risulta a circa 1 km ad est dal sito dell'impianto.

L'area di progetto presenta un'estensione complessiva catastale pari a 155,03 ettari ed un'area recintata pari a 87,61 ha.

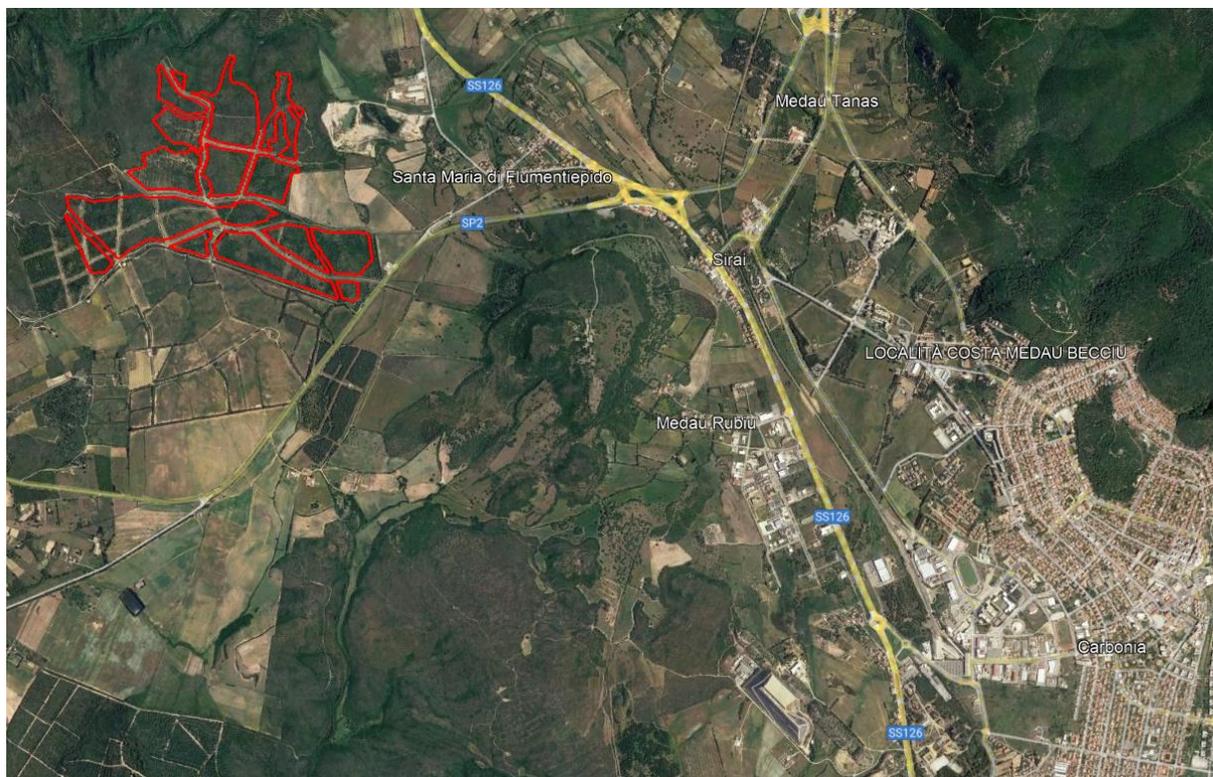


Figura 3.1: Inquadramento aree impianto, in rosso.

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 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 lo stato di fatto "2983_5376_CA_VIA_T01_Rev0_Stato di Fatto".



FASCE DI RISPETTO

-  BOSCHI
-  FASCIA DI RISPETTO STRADALE
-  LINEE TAGLIAFUOCO
-  ELEMENTI IDRICI - NUMERO DI STRAHLER 1 - FASCIA DI RISPETTO 10m
-  ELEMENTI IDRICI - NUMERO DI STRAHLER 2 - FASCIA DI RISPETTO 25m
-  ELEMENTI IDRICI - NUMERO DI STRAHLER 5 - FASCIA DI RISPETTO 100m
-  CORSI D'ACQUA - FASCIA DI RISPETTO 150m
-  VIGNETO
-  LINEA AEREA AT - FASCIA DI RISPETTO 16m
-  FASCIA COSTIERA
-  FASCIA DI RISPETTO DAI FABBRICATI ESISTENTI - 10m
-  FASCIA DI RISPETTO DAL SANTUARIO - 500m

Figura 3.2: Stato di fatto dell'area di progetto.

3.1.1 Inquadramento catastale impianto

L'impianto fotovoltaico in oggetto, con riferimento al Catasto Terreni del Comune di Carbonia (CI), sarà installato nelle aree di cui alla Tabella 3.1.

Tabella 3.1: Particelle catastali

FOGLIO	PARTICELLA
12	223, 220, 66, 215, 219, 194, 189, 190, 232, 192, 218, 213, 199, 202, 14, 6, 47, 77, 157, 230, 88, 193, 197, 200, 211, 216, 226, 51, 191, 184, 212, 198, 201, 233, 107, 105, 103, 149, 144, 143, 104, 186, 181
21	1, 139, 141, 143, 2, 3, 7, 8, 140, 142, 144, 138

Si riporta di seguito uno stralcio dell'inquadramento catastale Rif. "2983_5376_CA_VIA_T06_Rev0_Inquadramento Catastale Impianto".



Figura 3.3: Inquadramento catastale

3.1.2 Inquadramento urbanistico territoriale

Come anticipato nei paragrafi precedenti, il sito ricade nel comune di Carbonia.

Il Piano Urbanistico Generale del Comune di Carbonia è stato adottato con Deliberazione di Consiglio Comunale. n. 88 del 20/10/2005 e approvato definitivamente con D.C.C. n. 13 del 08/02/2006.



Il Sito oggetto del seguente Studio risulta essere localizzato in “Zona E – Agricola”.

La Zona Omogenea E comprende le parti del territorio destinate all’agricoltura, alla pastorizia, alla zootecnia, alla itticoltura, alle attività di conservazione e trasformazione dei prodotti aziendali, all’agriturismo, alla silvicoltura e alla coltivazione industriale del legno.

In particolare tali aree comprendono rimboschimenti artificiali a scopi produttivi, oliveti, vigneti, mandorleti, agrumeti e frutteti in genere, coltivazioni miste in aree periurbane, coltivazioni orticole, colture erbacee incluse le risaie, prati sfalciabili irrigui, aree per l’acquicoltura intensiva e semi-intensiva ed altre aree i cui caratteri produttivi dipendono da apporti significativi di energia esterna.

Rientrano tra le aree ad utilizzazione agro-forestale le seguenti categorie:

- Colture arboree specializzate;
- Impianti boschivi artificiali;
- Colture erbacee specializzate.

In queste aree sono vietate trasformazioni per destinazioni e utilizzazioni diverse da quelle agricole di cui non sia dimostrata la rilevanza pubblica economica e sociale e l’impossibilità di localizzazione alternativa, o che interessino suoli ad elevata capacità d’uso, o paesaggi agrari di particolare pregio o habitat di interesse naturalistico, fatti salvi gli interventi di trasformazione delle attrezzature, degli impianti e delle infrastrutture destinate alla gestione agro-forestale o necessarie per l’organizzazione complessiva del territorio.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione di riferimento “2983_5376_CA_VIA_R01_Rev0_Studio di impatto ambientale”.

3.2 COPERTURA DEL SUOLO

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 colture permanenti quali mandorleti, ovvero arboricoltura da legno.

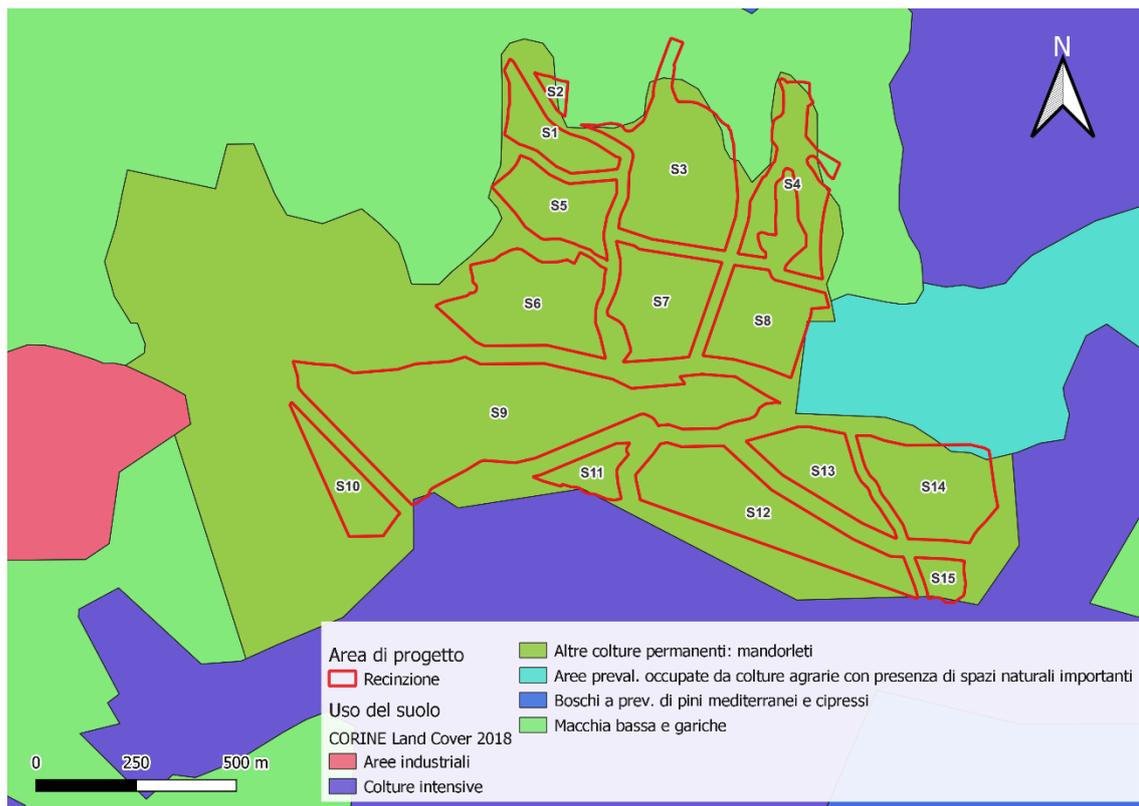


Figura 3.4: Stralcio carta uso del suolo, CORINE Land Cover (2018). In rosso il perimetro della recinzione dell'impianto fotovoltaico.

3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO, GEOLOGICO E IDROGEOLOGICO

3.4 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area del comune di Carbonia è sostanzialmente divisa in due grandi blocchi il primo appartenente alla successione cambriana che si estende da N-NW sino a S-SE mentre il secondo blocco appartenente alle successioni eoceniche e recenti, in discordanza con il primo blocco, e copre in linee generali, il settore che va da N-NW a S-SE.

Nel grande blocco cambriano, affiorano i terreni più antichi, essi sono costituiti dai termini del Cambriano e dell'Ordoviciano Il secondo grande blocco che caratterizza l'area del Comune di Carbonia inizia con uno strato di base appartenente alla cosiddetta Formazione del Miliolitico per continuare verso l'alto con la nota formazione del produttivo a cui si sovrappongono la formazione del Cixerri e quindi la grande copertura vulcanica che ricopre gran parte dei comuni limitrofi a quello di Carbonia da NW a S.

Dal punto di vista lito-stratigrafico il settore in esame s'inserisce nel contesto geologico della Sardegna meridionale nel quale sono presenti in parte litologie sedimentarie dell'oligocene, quelle vulcaniche e sedimentarie del miocene e quelle del quaternario antico e recente.

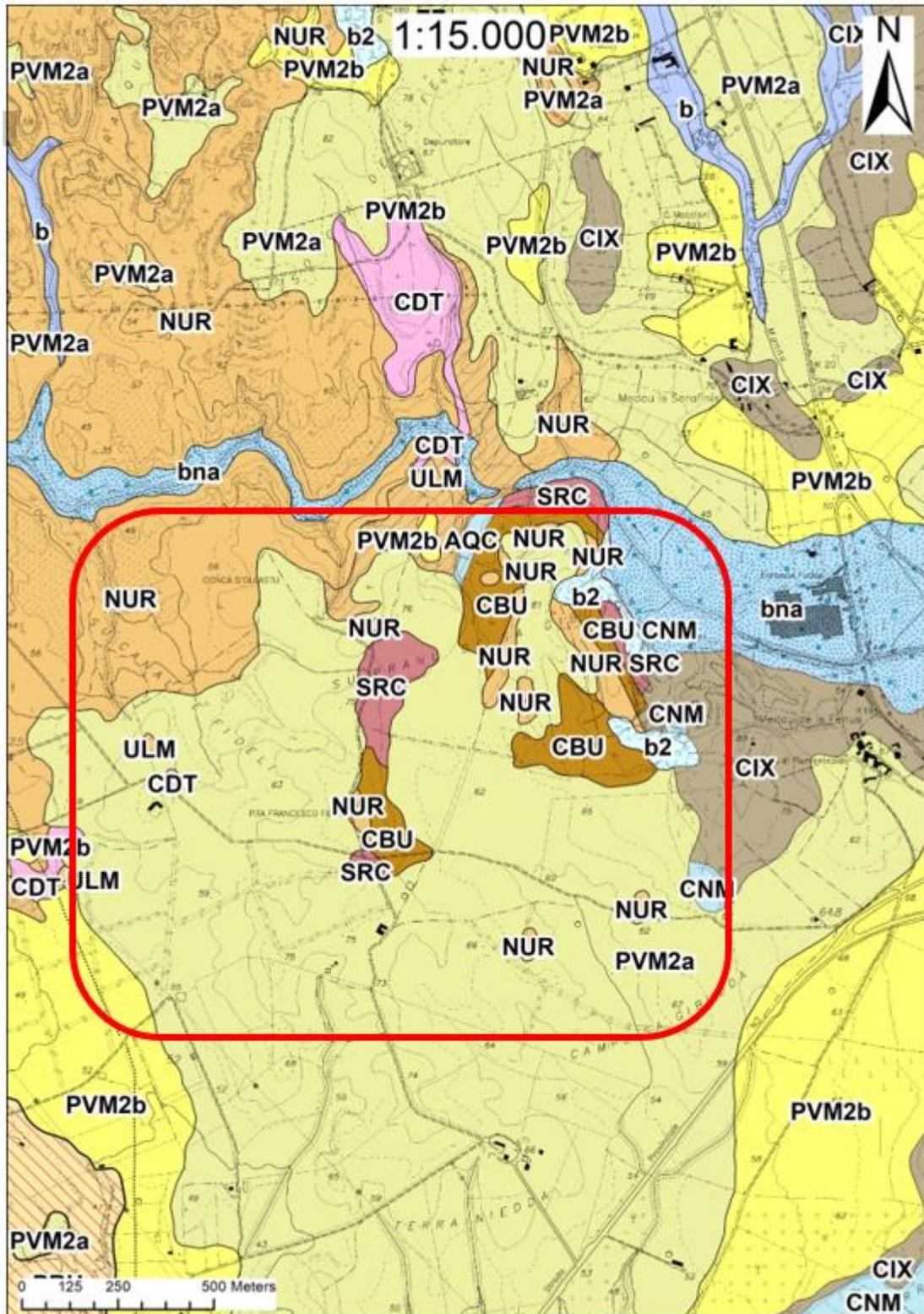


Figura 3.5: Stralcio della Carta Geologica di base della Sardegna in scala 1:25.000, curata dalla RAS

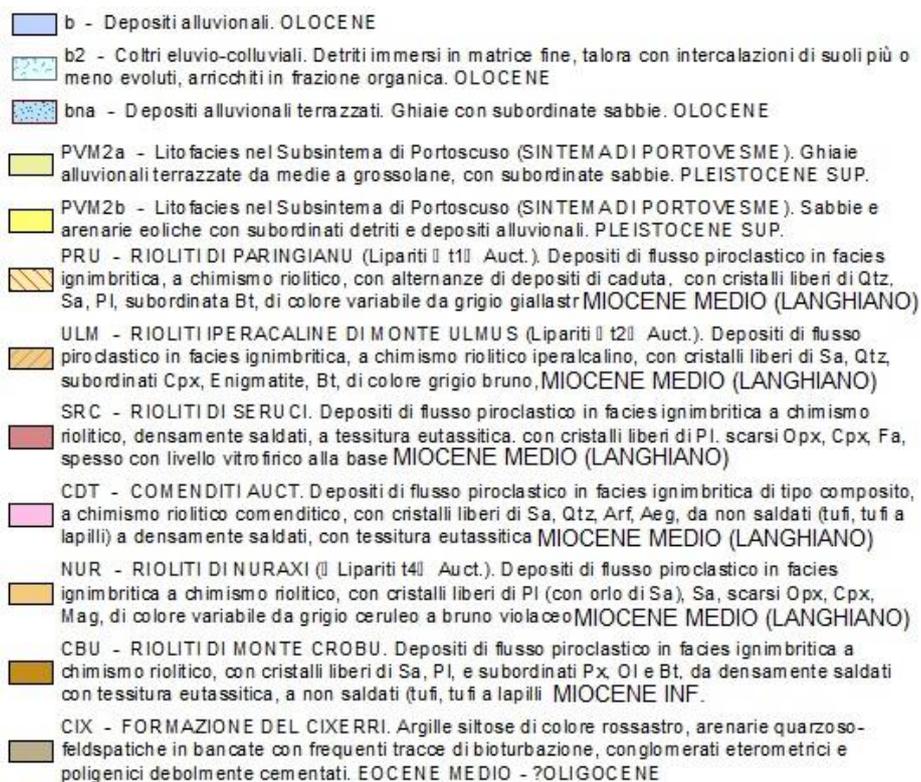


Figura 3.6: Legenda dello stralcio della Carta Geologica

A livello locale la gran parte del sito in studio è costituito da coltri alluvionali pleistoceniche attribuite al subsistema di Portoscuso, in particolare si ritiene che nel sito siano presenti depositi di ambiente alluvionale (PVM_{2a}) con a tratti una sottile copertura di sabbie alluvionali rimaneggiate dal vento, quindi di ambiente eolico (PVM_{2b}).

L'età pleistocenica superiore del subsistema è stata confermata da tre determinazioni radiometriche effettuate nell'ambito del Progetto CARG con il metodo 14 C. A Portoscuso (coord.: 4976-3835) la determinazione 14 C, effettuata su molluschi polmonati di un livello sabbioso-siltoso di interduna, ha dato un'età di 11.420±40 anni BP.

I depositi alluvionali sono in genere grossolani (ghiaie grossolane sino a blocchi), con clasti a spigoli da sub-angolosi a sub-arrotondati. Questi sedimenti localmente presentano stratificazioni incrociate concave, in genere di limitata ampiezza e profondità. Ai livelli ghiaiosi sono intercalati lenti e livelli di sedimenti fini (sabbie e silt). Questi caratteri sono riferibili a corsi d'acqua a canali intrecciati.

Questi depositi alluvionali rappresentano i residui di estese conoidi alluvionali variamente incise e terrazzate. La base dei depositi modellata sul substrato è spesso lievemente inclinata verso la pianura, a testimoniare che prima della fase di aggradazione sono stati modellati glaciai più o meno estesi, come peraltro segnalato anche in altre parti della Sardegna (Barca et alii, 1981b).

Nel sito in studio questi corpi alluvionali sono formati da alternanze di livelli sabbiosi, con ciottoli più o meno abbondanti con dimensioni da centimetriche a decimetriche, piuttosto elaborati. Sono estremamente addensati e hanno nel complesso eccellenti caratteristiche geotecniche.

Sono ricoperti da suoli sabbiosi con scarso contenuto di materiale organico.



3.5 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

I caratteri morfologici che si evidenziano nel Sulcis sono essenzialmente riconducibili alla presenza di un grande espandimento vulcanico di natura generalmente ignimbratica con giacitura in prevalenza tabulare, oggi smembrato in zolle disposte a varia altezza, le quali presentano un generale sbandamento verso SW ed una pendenza media intorno all'8-10%.

Quest'espandimento ignimbratico che è stato suddiviso in varie unità principali, (Assorgia et Al., 1992), ed è stato oggetto nel tempo degli agenti del modellamento del rilievo (acqua, vento, variazioni termiche) e, soprattutto, delle forze endogene che smembrandolo e dislocandolo hanno accentuato i processi erosivi. Testimoni di questo fatto sono le due principali direttrici tettoniche in direzione N-S ed E-W. Lungo queste direttrici si sono impostate delle incisioni, decisamente pronunciate che consentono di seguire le successioni degli episodi ignimbratici così come avviene negli acrocori formati in corrispondenza degli alti strutturali (horst tettonici) come il Monte Sinni ed il Monte Sirai.

Lungo le suddette incisioni affiora, al di sotto delle vulcaniti la formazione sedimentaria del Cixerri.

Infatti, a causa della nota faglia detta di "Cortoghiana", la predetta formazione affiora sul lato Est del bacino Sulcitano, ove il paesaggio, si presenta caratterizzato da rilievi "mammellonari" che determinano una generale morfologia collinare.

La zona a E del Comune di Carbonia presenta una morfologia più aspra dovuta a rilievi appartenenti al basamento paleozoico. Mentre nella zona a Sud della città di Carbonia, essa si

presenta formata da vulcaniti di natura andesitica caratterizzata da corpi lavici di forma cupoliforme che danno origine ad una morfologia decisamente più accidentata di tipo montuoso - collinare.

A causa della morfologia ondulata, questi sedimenti, per quanto notevolmente addensati, possono essere soggetti ad un dilavamento diffuso, talora concentrato, dal ruscellamento delle acque piovane.

3.6 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

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 infila 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.

Nel territorio in esame si possono individuare diversi complessi idrogeologici costituiti dalle litologie mioceniche ignimbratiche e alluvionali pleistoceniche. I litotipi vulcanici dell'area possono essere mediamente permeabili per fratturazione e consentono l'instaurarsi di falde idriche anche ad elevata profondità nei settori tettonicamente più fratturati.

L'elevato grado di addensamento delle coperture alluvionali pleistoceniche, nonché la scarsa permeabilità della Formazione del Cixerri, presente nell'area, fanno sì che gli acquiferi superficiali sia poco diffusi e poco consistenti.

Accorpendo le unità geologiche aventi in comune caratteri di permeabilità omogenei, sui cui insistono le opere in progetto è possibile distinguere le seguenti "Unità Idrogeologiche" principali:

- Unità delle alluvioni oloceniche
- Unità delle alluvioni plio-quadernarie

3.7 UNITÀ DELLE VULCANITI OLIGO-MIOCENICHEIDROGRAFIA DEL TERRITORIO

3.7.1 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 num. 01 Sulcis.

Il Sub-bacino si estende per 1640 Km², pari a circa il 7% dell'intero territorio sardo, ed è interessato da due invasi in esercizio. Dal punto di vista idrografico, i corsi d'acqua più rilevanti sono i seguenti:

- Rio Palmas, alimentato dalla confluenza del Rio Mannu di Narcao, del rio Gutturu de Ponti e del Rio Mannu di Santadi; il suo bacino imbrifero ricopre il territorio per la maggior parte.
- Rio Santu Milanu, attraversante la zona meridionale dell'abitato di Carbonia.
- Rio Cannas, attraversante la zona settentrionale dell'abitato di Carbonia.
- Rio Flumentepido, compreso fra Carbonia e Gonnese.
- Rio Mannu di Fluminimaggiore, che riceve i contributi del Rio Bega, del Rio Antas e del Rio is Arrus.

L'inquadramento dei sette sub bacini della regione Sardegna è mostrato in Figura 3.7.

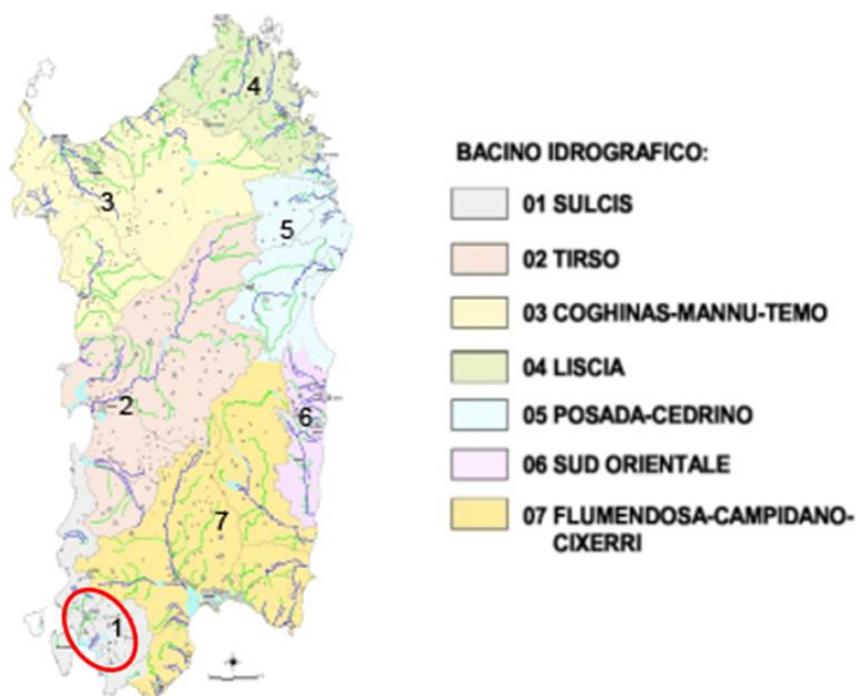


Figura 3.7: Inquadramento dell'area di progetto (cerchio rosso) e individuazione dei sette sub-bacini della Regione Sardegna. Fonte: Autorità di bacino della Regione Sardegna



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).

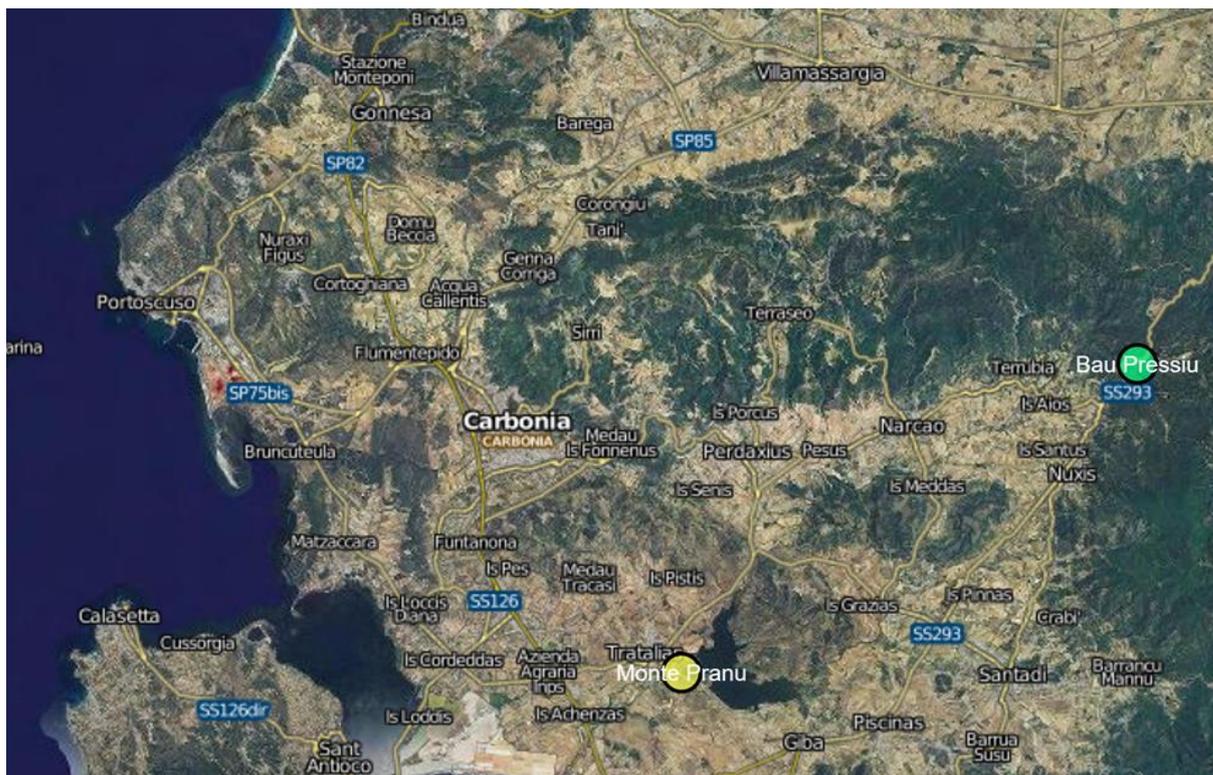
Inoltre, è stata eseguita una simulazione del modello digitale del terreno, ottenuto dal portale dell’INGV dal progetto Tinality. Lo studio del DEM ha permesso di identificare le principali informazioni idrologiche a scala di bacino nello stato di fatto. La simulazione è stata condotta mediante algoritmi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

3.8 INQUADRAMENTO QUALITA’ DELLE ACQUE

3.8.1 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 (giugno 2023) rappresentato in Figura 3.9 riporta lo stato di sorveglianza dell’invaso di monte Pranu. L’invaso è in uno stato di vigilanza.



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 3.9: 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 area di studio, corrispondente indicativamente al cerchio rosso)

I parametri relativi allo Stato Ecologico e Chimico delle acque superficiali sono riassunti nel seguente schema.

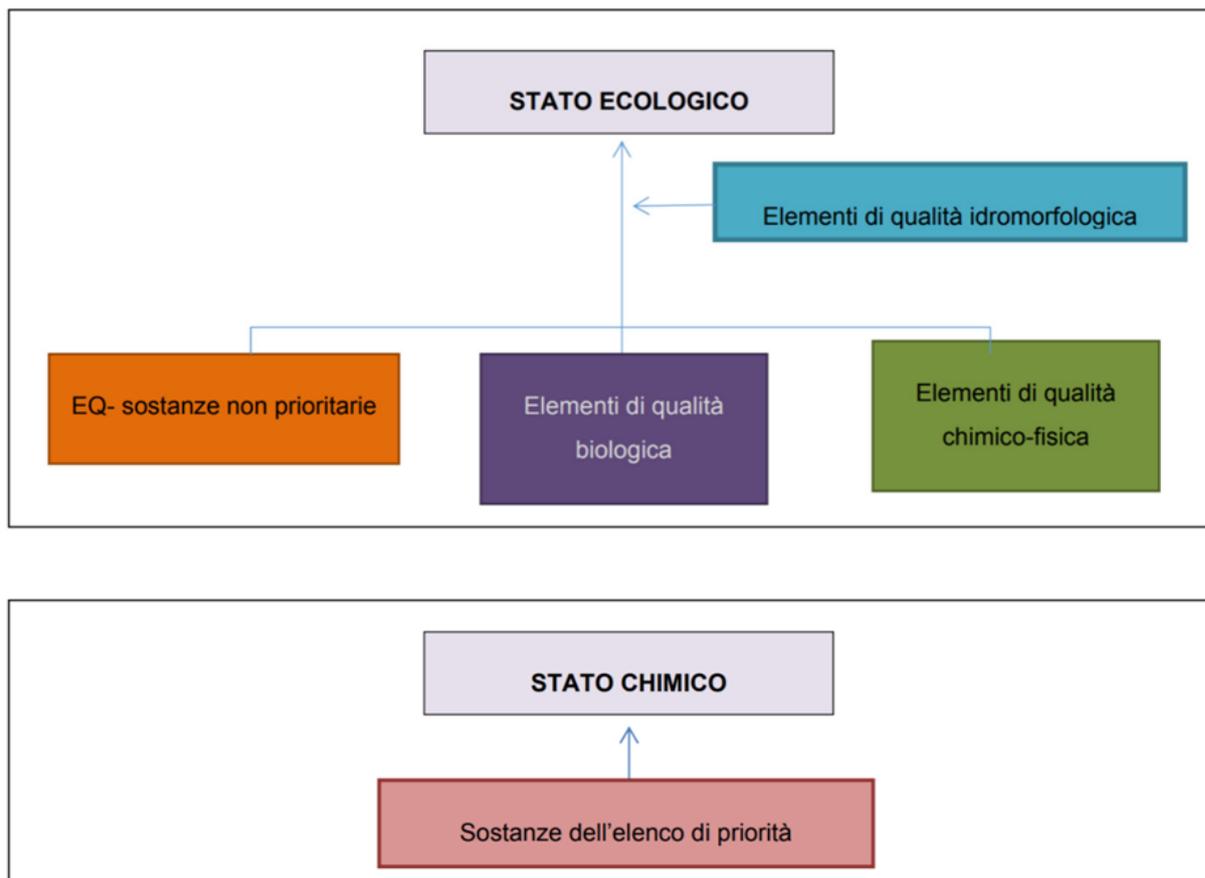


Figura 3.10: Parametri relativi allo stato ecologico e chimico

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.

Lo Stato Ecologico delle acque superficiali nell'intorno dell'area di progetto relativo all'intervallo temporale più aggiornato (terzo ciclo di pianificazione 2021-2027) è mostrato nella Figura 3.11 ed evidenzia come il Riu Flumentepido sia in uno stato ecologico SCARSO. I valori risultano essere tali a causa delle elevate concentrazioni di nutrienti.

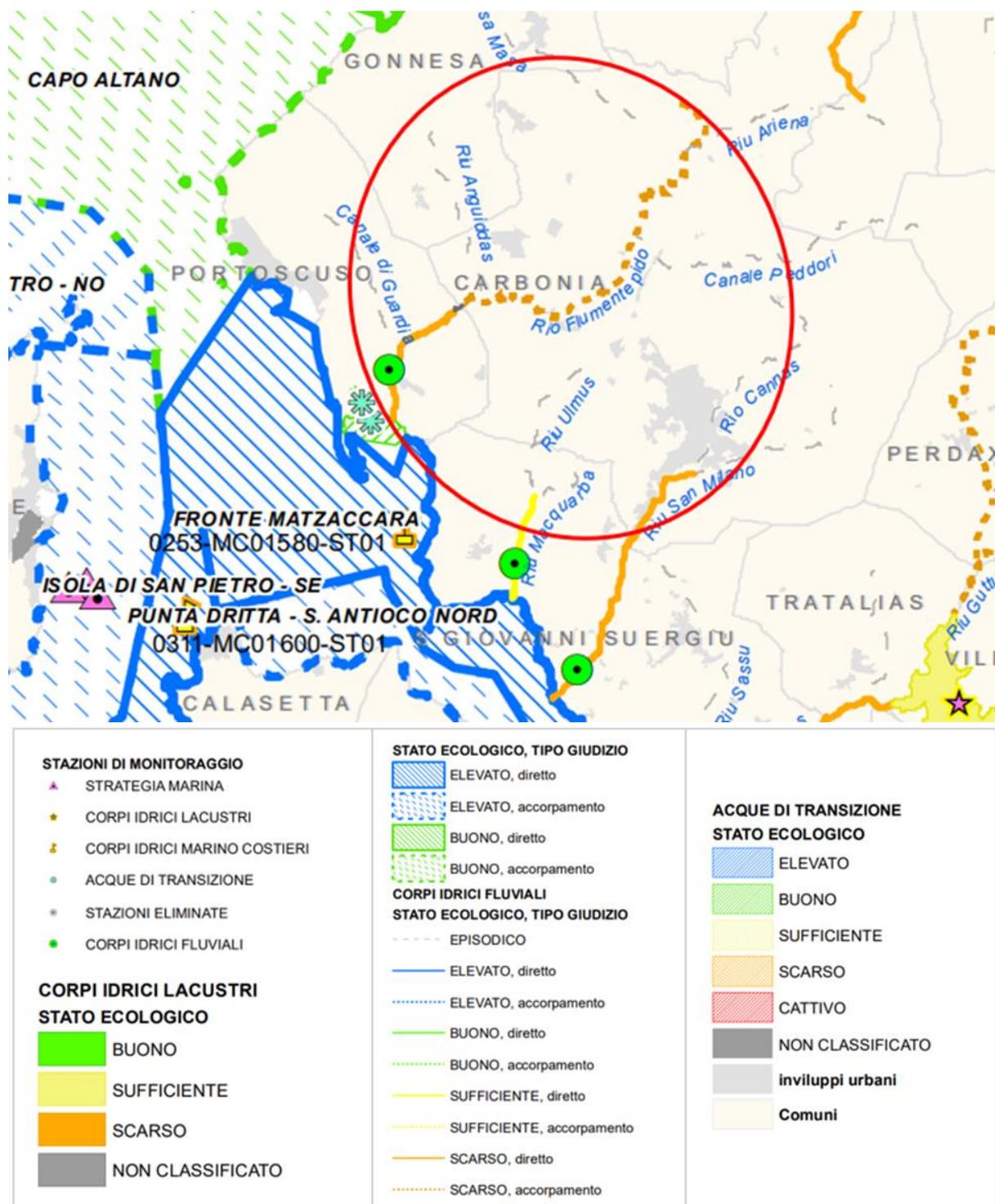


Figura 3.11: Riesame e aggiornamento del piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sardegna 2021-2027 – Classificazione corpi superficiali: stato ecologico (Allegato n°6, tavola n°1)

Per quanto riguarda la classificazione dello Stato Chimico, nel nuovo ciclo di pianificazione 2021-2027, è stato considerato il giudizio derivante dalla valutazione del superamento della concentrazione media annuale (SQA-MA), per ogni parametro monitorato. Il monitoraggio operativo avvenuto tra il 2016 e il 2021 ha rilevato un BUONO stato chimico del Rio Flumentepido nel 2016, mentre negli anni successivi lo stato chimico è stato SCARSO.



Figura 3.12: Riesame e aggiornamento del piano di Gestione del Distretto Idrografico della Sardegna 2021-2027 –
 Classificazione corpi superficiali: stato chimico (Allegato n°6, tavola n°2)

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 a dicembre 2022.

Come si evince dalla Figura 4.1, il Piano di Assetto Idrologico della Sardegna non interferisce con alcuna parte dell'area di impianto fotovoltaico e della Stazione Elettrica (SE). Contrariamente, il tracciato del cavidotto di connessione interferisce in diversi punti con aree a pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1), mappate dal PAI.

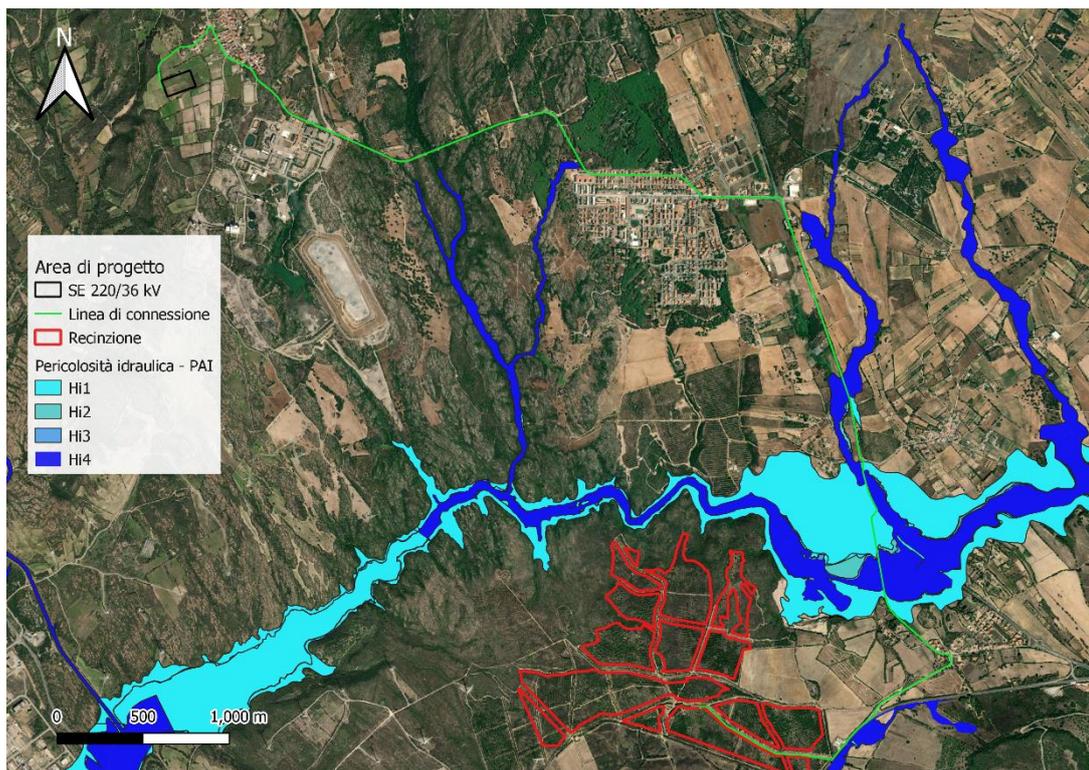


Figura 4.1: PAI, fasce di pericolosità idraulica, agg. dicembre 2022. In rosso l'area di impianto, in verde la linea di connessione e in nero la SE.

4.2 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.

Le mappe della pericolosità idraulica identificano le tre classi seguenti:

- P3, ovvero aree a pericolosità elevata, con elevata probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore o uguale a 50 anni
- P2, ovvero aree a pericolosità media, con media probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 50 anni e minore o uguale a 200 anni;
- P1, ovvero aree a pericolosità bassa, con bassa probabilità di accadimento, corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 200 anni e minore o uguale a 500 anni.

La cartografia riportata in seguito è riferita all'ultimo aggiornamento delle perimetrazioni delle aree caratterizzata de fasce di pericolo idraulico del secondo ciclo, datato nell'anno 2021. Come si evince

dalla Figura 4.2, il Piano di gestione del rischio di alluvioni non interferisce con alcuna parte dell'area di impianto fotovoltaico e della Stazione Elettrica (SE); vi sono però interferenze tra la fascia a bassa probabilità P1 del PGRA e la linea di connessione.

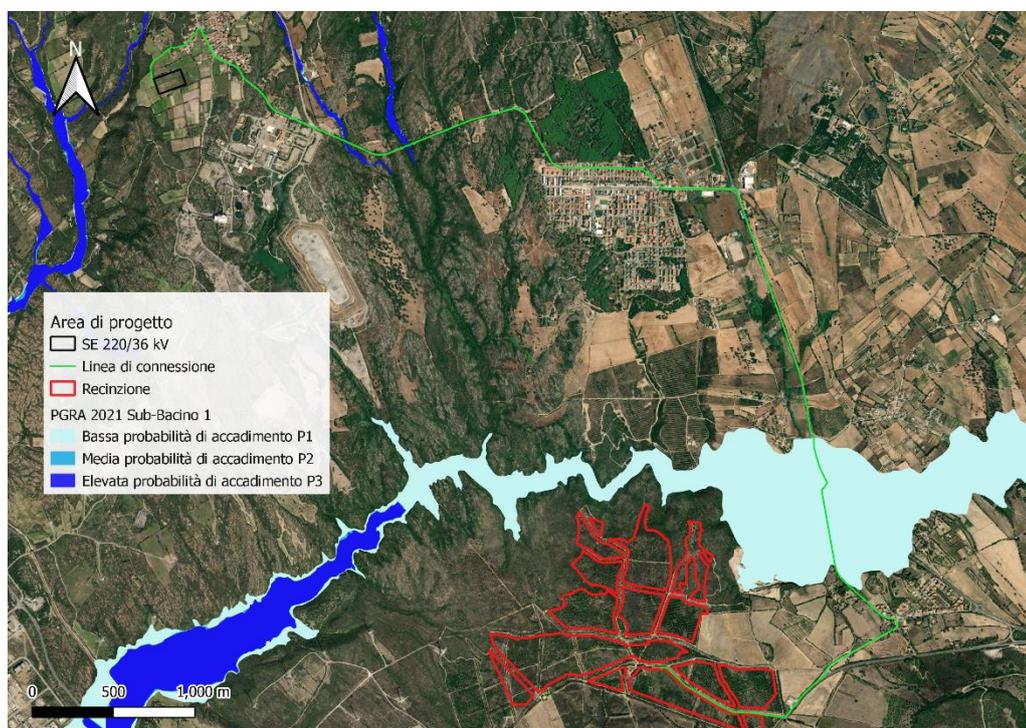


Figura 4.2: PGRA, fasce di pericolosità idraulica, agg.2021. In rosso l'area di impianto, in verde la linea di connessione e in nero la SE.

4.3 PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (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 2022, 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 con alcuna parte dell'area di impianto fotovoltaico e della Stazione Elettrica (SE). Contrariamente, il tracciato del cavidotto di connessione interferisce in diversi punti con la Fascia C e le aree storiche.

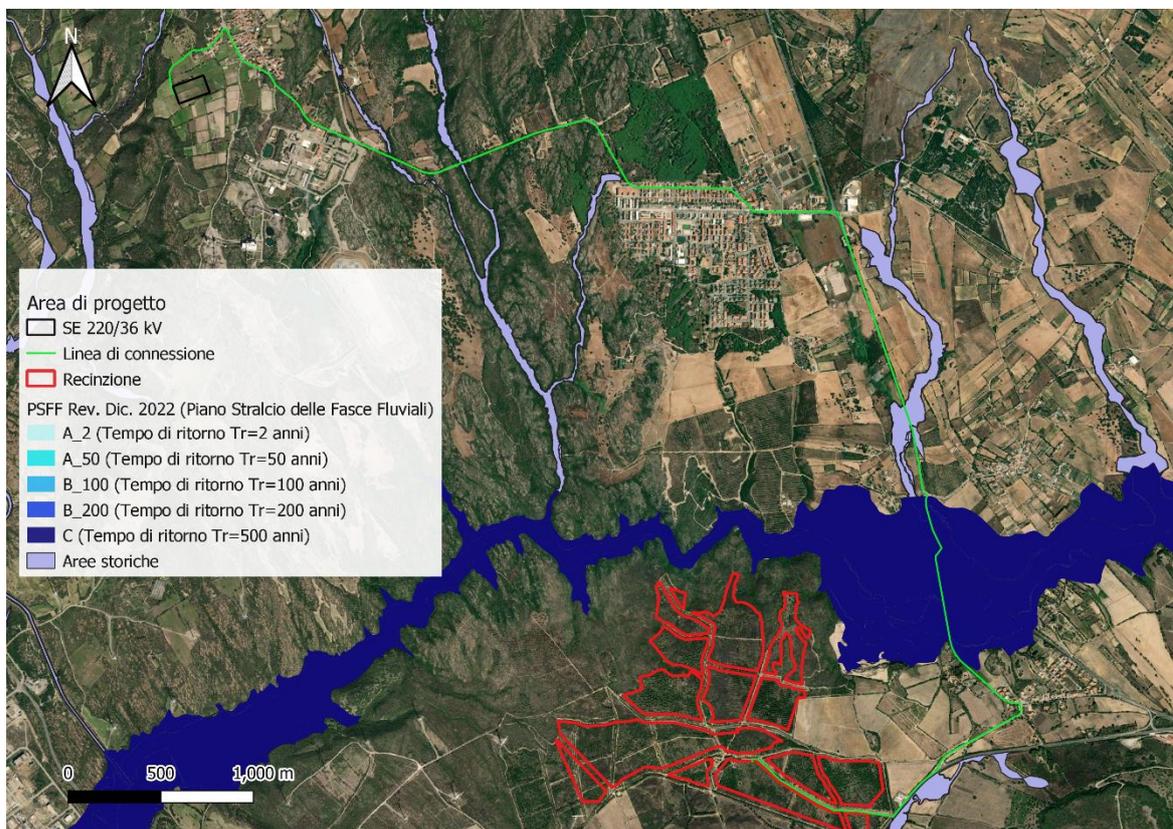


Figura 4.3: PSFF, fasce di inondabilità, aggiornamento 2022. In rosso l'area di impianto, in verde la linea di connessione e in nero la SE.

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 0.2 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 nella versione della NA del PAI del 2020 (Allegato B alla Delib.G.R. n. 43/2 del 27.8.2020).

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 DI HORTON-STRAHLER	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'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 4.4 le aree di installazione dell'impianto e la linea di connessione. Non vi sono dirette interferenze del reticolo di Strahler con le aree di progetto, ma sono presenti interferenze tra reticolo di Strahler e tracciato della linea di connessione. La Figura 4.5 mostra il tracciato della linea di connessione e il layout di progetto rispetto al reticolo di Strahler con le corrispettive fasce di prima salvaguardia. Come si evince dalla figura, le fasce sono rispettate laddove il reticolo idrografico è presente nell'area dell'impianto.

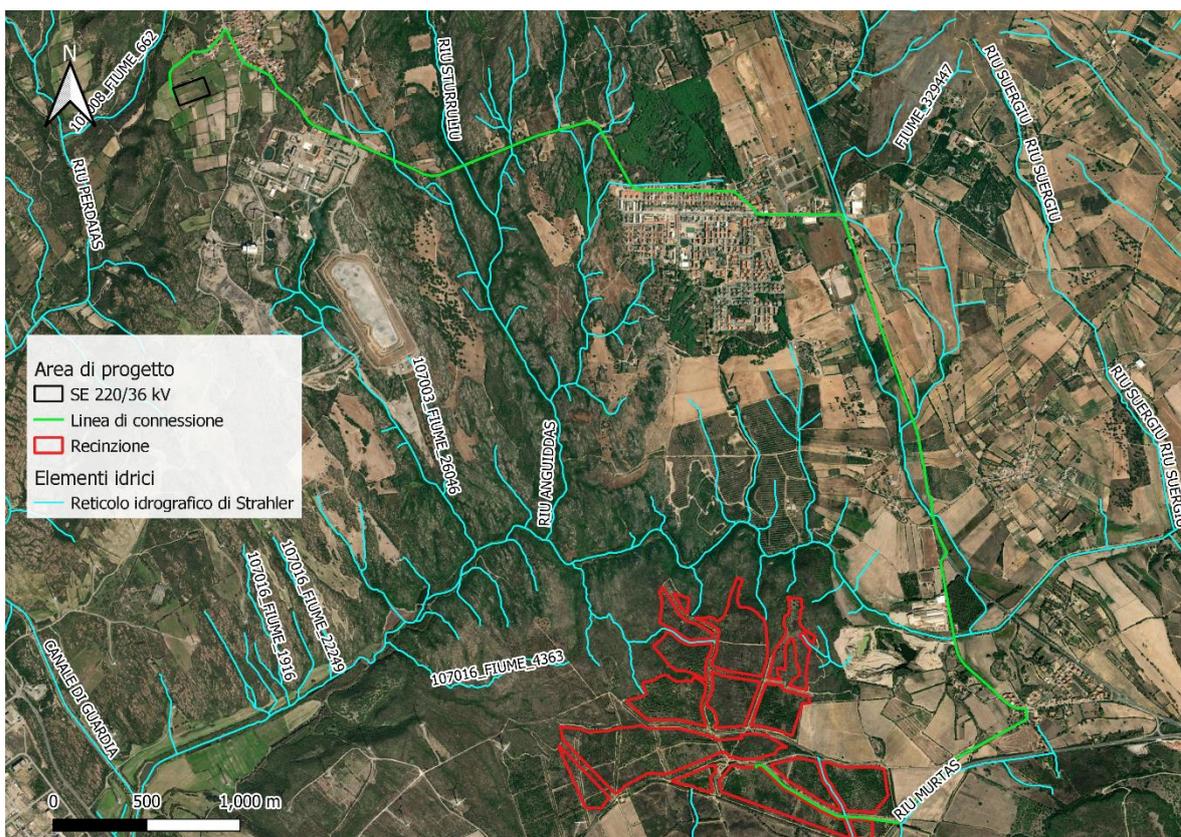


Figura 4.4: Reticolo idrografico di Strahler. In rosso l'area di impianto, in verde la linea di connessione e in nero la SE.

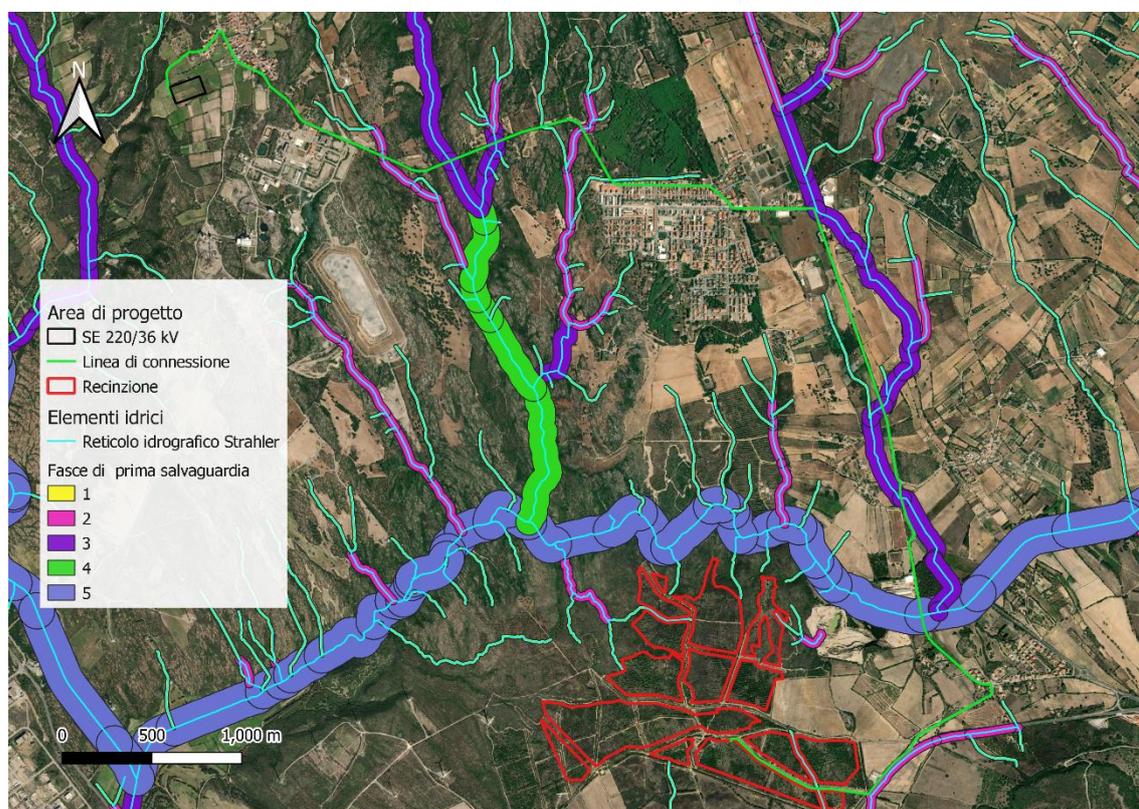


Figura 4.5: Fasce di prima salvaguardia nei pressi dell'area di progetto. In rosso l'area di impianto, in verde la linea di connessione e in nero la SE.

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 2022), nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, aggiornato al 2022) e nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni (PGRA, aggiornato al 2021).

Lo studio dei sopracitati Piani, non ha individuato interferenze con l'impianto di progetto e con la SE, ma si sono individuate interferenze con:

- **la linea di connessione secondo il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico PAI, il Piano Stralcio Fasce Fluviali PSFF, Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni PGRA e il reticolo di Strahler;**

Per lo studio di compatibilità idraulica, si faccia riferimento al capitolo 5.1.

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 dei vincoli sulla base degli ultimi aggiornamenti 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.

La proponente ha richiesto la soluzione tecnica minima generale (STMG) di connessione a Terna S.p.A.; tale soluzione emessa da Terna con Codice Pratica 202202053 è stata accettata dalla proponente e prevede l'allaccio dell'impianto alla rete di Distribuzione con tensione nominale di 36 kV.

La soluzione tecnica prevede il collegamento in antenna a 36 kV con la sezione a 36 kV di una futura Stazione Elettrica (SE) di Trasformazione RTN 220/36 kV da inserire in entra-esce alla linea RTN 220 kV "Sulcis-Oristano". La linea di connessione sarà realizzata in cavo interrato con tensione 36 kV e con lunghezza pari a circa 8,60 km.

È stata richiesta una STMG integrativa per sopperire alla potenza richiesta con la STMG sopra riportata.

5.1 DESCRIZIONE DELL'IMPIANTO FOTOVOLTAICO

L'area dedicata all'installazione dei pannelli fotovoltaici è suddivisa in 15 sezioni, il layout dell'impianto è stato progettato considerando le seguenti specifiche:

- Larghezza massima struttura in pianta: 5,168 m;
- Altezza massima palo struttura: 2,830 m;
- Altezza massima struttura: 4,926 m;
- Altezza minima struttura: 0,65 m;
- Pitch (distanza palo-palo) tra le strutture: 12 m;
- Larghezza viabilità del sito: 4,00 m;
- Disposizione dei moduli fotovoltaici sulle strutture di sostegno in 2 file;

L'impianto fotovoltaico con potenza nominale di picco pari a 56,55 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.



All'interno della cabina saranno presenti i dispositivi generali DG, di interfaccia DDI e gli apparati SCADA e telecontrollo;

- n.1 Cabina di Raccolta. Tale cabina è presente all'interno dell'impianto fotovoltaico, sezione S14, ed è il punto di partenza della connessione verso la Cabina di Connessione. La Cabina di Raccolta ha la funzione di raccogliere le terne provenienti dalle cabine di Smistamento, presenti nel campo fotovoltaico, per immetterne un numero inferiore. Nella stessa area all'interno della cabina sarà presente il quadro QMT1 contenente i dispositivi generali DG di interfaccia DDI e gli apparati SCADA e telecontrollo;
- n.1 Cabine di Smistamento di connessione. Le Cabine di Smistamento hanno la funzione di raccogliere le terne provenienti dalle Power Station, presenti nei vari sottocampi, per immetterne un numero inferiore verso la Cabina di Raccolta. La cabina sarà posizionata in maniera strategica all'interno dell'impianto;
- n.1 Cabina Generale BESS. Le Cabine Generali BESS ha la funzione di raccogliere le terne provenienti dalle Isole BESS, presenti nell'area di installazione dei sistemi di accumulo. La cabina sarà posizionata in maniera strategica all'interno dell'impianto, in particolare nella sezione S9;
- n. 15 Power Station (PS). Le Cabine di Campo (Power Station) avranno la duplice funzione di convertire l'energia elettrica da corrente continua a corrente alternata ed elevare la tensione da bassa a 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 dalle String Box che a loro volta raccoglieranno i cavi provenienti dai raggruppamenti delle stringhe dei moduli fotovoltaici collegati in serie;
- n.9 Uffici e n.9 Magazzini ad uso del personale, installati in coppie (ufficio + magazzino) in ogni sezione dell'impianto fatta eccezione per le sezioni S1, S2, S4, S7, S11 e S15;
- i moduli fotovoltaici saranno installati su apposite strutture metalliche di sostegno tipo tracker fondate su pali infissi 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;
 - intervento agronomico;
 - opere a verde di mitigazione.

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 Wp, della marca CanadianSolar 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 una struttura metallica di tipo tracker con fondazione su pali infissi nel terreno ed in grado di esporre il piano ad un angolo di tilt pari a +55° -55°.

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 +55° -55°
- Esposizione (azimut): 0°
- Altezza min: 0,650 m (rispetto al piano di campagna)
- Altezza max: 2,769 m (rispetto al piano di campagna)

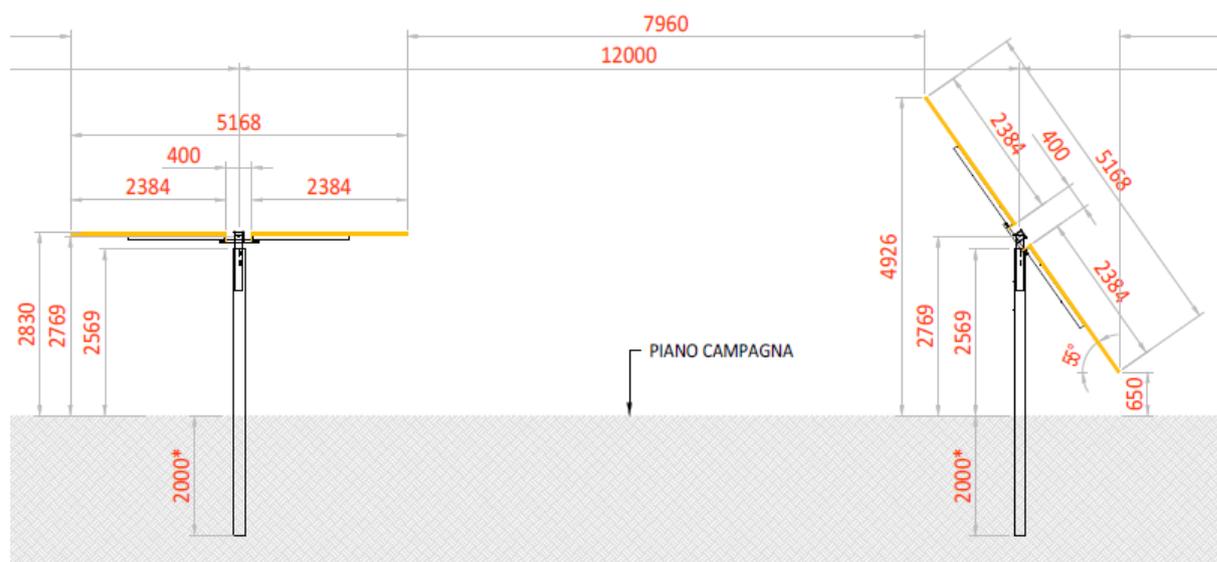


Figura 5.1: Particolare costruttivo strutture mobili (tracker)

In via preliminare sono state previste due tipologie di portali, costituiti specificatamente da 28 moduli (tipo 1) e 14 moduli (tipo 2), montati con una disposizione su due file in posizione verticale (2P). Tale configurazione potrà variare in conseguenza della scelta definitiva del tipo di modulo fotovoltaico.

Saranno installate in totale:

- n. 75.880 strutture con configurazione 14x2;
- n. 2.548 strutture con configurazione 7x2;

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, sulla base della struttura tracker scelta saranno nuovamente definite le fondazioni e scelta la soluzione tecnologica di realizzazione più adatta.

5.1.3 Cabine di campo

Le Power Station hanno la duplice funzione di convertire l'energia elettrica dal campo fotovoltaico da corrente continua (CC) a corrente alternata (CA) e di elevarne il livello di tensione da bassa (BT) a media tensione (MT).

I componenti delle Power Station saranno trasportabili su camion, in un unico blocco già assemblato pronto al collegamento (inclusi inverter e trasformatore). Le Power Station, tipo marca Sungrow, avranno le dimensioni indicative riportate nell'elaborato grafico dedicato e saranno posate su un basamento in calcestruzzo di adeguate dimensioni.

Trattandosi di una soluzione "outdoor", tutti gli elementi costituenti le Power Station sono adatti per l'installazione all'esterno, non risulta quindi necessario alcun tipo di alloggiamento.

5.1.4 Inverter

Il componente principale delle Power Station è l'inverter. Tali elementi 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 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.

Trasformatore elevatore AT/BT

All'interno delle Power Station saranno presenti i trasformatori di tensione, che trasformano la corrente a bassa tensione (BT) in corrente in media tensione (AT), necessari per l'immissione in rete dell'energia prodotta.

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) in opzione ONAF (Oil Natural Air Forced).

Quadri BT e AT

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.

5.2 SISTEMA BESS

All'interno dell'impianto, in particolare nella sezione S9, è presente il sistema di accumulo BESS (Battery Energy Storage Systems).

Il BESS è un impianto di accumulo elettrochimico di energia, ovvero un impianto costituito da sottosistemi, apparecchiature e dispositivi necessari all'immagazzinamento dell'energia ed alla conversione bidirezionale della stessa in energia elettrica in media tensione.

La tecnologia di accumulatori elettrochimici (batterie) è composta da celle agli ioni di litio (litio-ferro fosfato).

Di seguito è riportata la lista dei componenti principali del sistema BESS:

- Celle agli ioni di litio assemblati in moduli e armadi (Assemblato Batterie)
- Sistema bidirezionale di conversione DC/AC (PCS)
- Trasformatori di potenza AT/BT
- Quadro Elettrico di potenza AT
- Sistema di gestione e controllo locale di assemblato batterie (BMS)
- Sistema locale di gestione e controllo integrato di impianto (SCI) - assicura il corretto funzionamento di ogni assemblato azionato da PCS
- Sistema Centrale di Supervisione (SCCI)
- Servizi Ausiliari



- Sistemi di protezione elettriche
- Cavi di potenza e di segnale
- Container equipaggiati di sistema di condizionamento ambientale, sistema antincendio e rilevamento fumi.

La Cabina generale BESS sarà collegata alla cabina di smistamento, attraverso una linea a 36 kV.

La configurazione del sistema BESS, in termini di numero di PCS e di numero di moduli batteria, containers, contenenti i sistemi di accumulo elettrochimico, dipenderà dal fornitore dello stesso. Indicativamente l'impianto sarà costituito da unità aventi una potenza unitaria di circa 4,0 MW. Le singole unità combinate tra loro attraverso una distribuzione interna di impianto a 36kV costituiranno l'intero impianto BESS.



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

Nel presente capitolo sono stati individuati i possibili punti/tratti di interferenza tra le opere in progetto e aree a pericolosità idraulica.

Per la classificazione delle aree si è fatto riferimento al PAI (aggiornato al 2022), al PSFF (aggiornato al 2022), PGRA (aggiornato al 2021) e alle fasce di prima salvaguardia legate alla gerarchizzazione di Horton-Strahler, definendo il grado di pericolosità idraulica. In aggiunta, per l'identificazione di canali minori, è stata consultato il reticolo idrografico ufficiale DBGT reso disponibile dalla Regione Sardegna. La presenza di eventuali rigagnoli è stata verificata dalla visione di ortofoto.

6.1 IDENTIFICAZIONE INTERFERENZE – IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Come precedentemente illustrato nel capitolo 3.8, relativamente ai piani PAI, PSFF e PGRA lo studio non ha individuato interferenze con l'impianto di progetto.

6.2 IDENTIFICAZIONE INTERFERENZE – CAVO DI CONNESSIONE

Lo studio illustrato nel capitolo 3.8 ha individuato interferenze con la linea di connessione secondo il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico PAI, il Piano Stralcio Fasce Fluviali PSFF, Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni PGRA e il reticolo di Strahler.

Le soluzioni adottate sono "cavo interrato" o "trenchless", ovvero una tipologia di interrimento del cavo che non prevede il tradizionale scavo a cielo aperto. Tra le tipologie di *trenchless* vi sono: TOC, microtunnel, spingitubo, ecc.

Per le aree allagabili si ritiene sufficiente interrare il cavo ad una profondità prevista dalle normative CEI.

Nel caso dei piccoli fossi o canali esistenti, verrà valutata in sede di posa della condotta se il pacchetto stradale è sufficientemente profondo da permettere la posa del cavo oppure se è necessaria la TOC. Inoltre, verrà chiesto al gestore dei canali secondari la preferenza tra la posa *trenchless* o interrata.

Il cavo ad alta tensione sarà posizionato ai sensi della normativa vigente. È stata verificata la profondità di rinterro tale per cui l'opera in progetto risulta non interferente con la dinamica fluviale.

Nei casi in cui non è necessaria la tecnologia *trenchless* e la profondità di interro da normativa risulta più restrittiva rispetto a quella dei calcoli idraulici, si potrà adottare la soluzione di interrimento.

Nelle successive fasi progettuali si valuterà il metodo migliore da impiegare per il superamento delle interferenze coi corsi d'acqua.

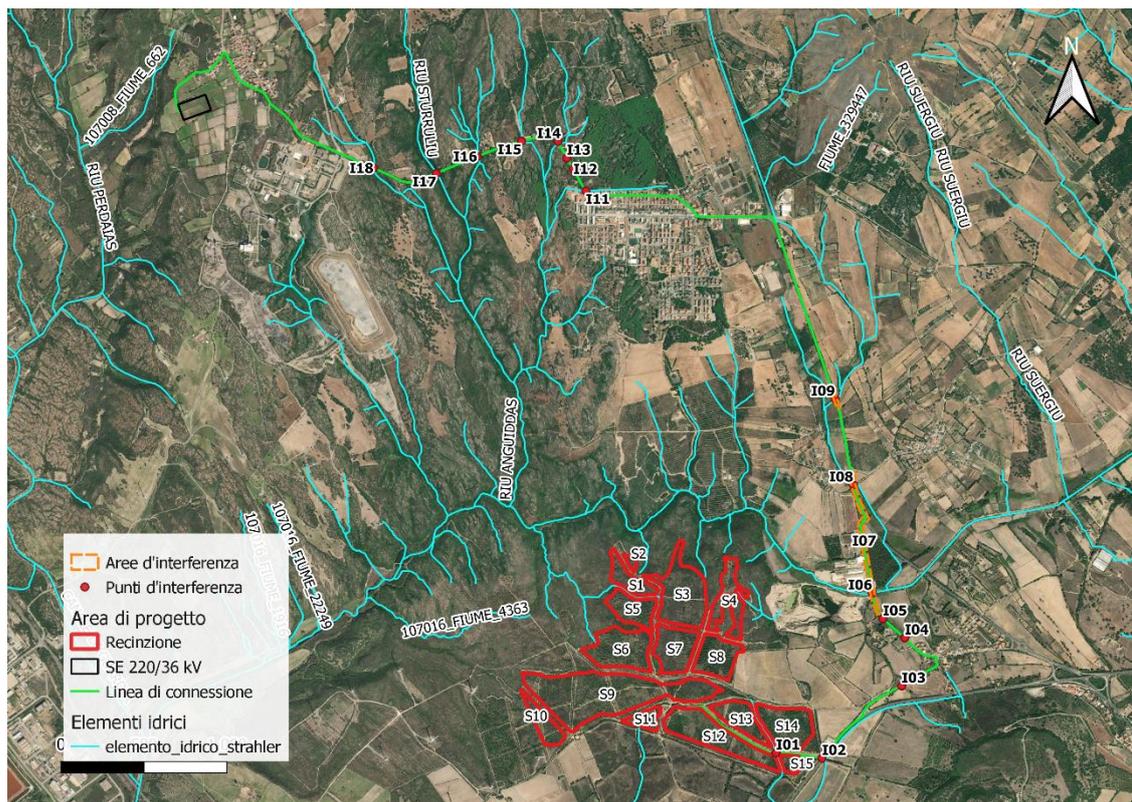


Figura 6.1: Identificazione punti di interferenza e aree allagabili col tracciato del cavo di connessione (in verde).

La tabella di seguito riporta un riepilogo per i vari punti analizzati lungo il percorso di connessione, indicando il livello di pericolosità individuato e la tecnologia prevista per la risoluzione dell'interferenza ove presente. Il paragrafo 6.3 riporta la metodologia di analisi qualitativa e quantitativa per la definizione della minima profondità di posa.

Tabella 6.1: Interferenze con il percorso di connessione

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I01	Fiume 6137	Interferenza elemento idrico - Strahler Ordine 1	Cavo interrato/trenchless
I02	Riu Murtas	-	Cavo interrato
I03	Elemento idrico 46256	-	Cavo interrato
I04	Elemento idrico 46256	-	Cavo interrato/trenchless
I05	Elemento idrico 46236	-	Cavo interrato/trenchless
I06	Riu Flumentepido	Interferenza elemento idrico - Strahler Ordine 5 PAI: molto elevata (Hi4) PGRA: Bassa probabilità di accadimento	TOC



ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
		PSFF: fascia C	
I07	Area allagabile	PAI: molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) PGRA: Bassa probabilità di accadimento PSFF: fascia C	Cavo interrato
I08	Rigagnolo Sa Benazzu Mannu	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3 PAI: molto elevata (Hi4) PGRA: Bassa probabilità di accadimento PSFF: fascia C	TOC
I09	Rigagnolo Sa Benazzu Mannu	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3 PAI: molto elevata (Hi4) PSFF: Aree storiche	TOC
I10	Area allagabile	PAI: molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) PSFF: Aree storiche	Cavo interrato
I11	Fiume 20991	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 1	Cavo interrato/trenchless
I12	Fosso di scolo	-	Cavo interrato
I13	Fosso di scolo	-	Cavo interrato
I14	Fiume 32064	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 2	TOC
I15	Fiume 18118	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 1	Cavo interrato/trenchless



ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I16	S'Acqua Sa Stoia	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3	TOC
I17	Riu Sturruliu	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3 PGRA: Elevata probabilità di accadimento PSFF: Aree storiche	TOC
I18	Riu Pescinas	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 2 PGRA: Elevata probabilità di accadimento PSFF: Aree storiche	TOC

6.3 METODOLOGIA DI VERIFICA PROFONDITÀ DI SICUREZZA POSA TOC

6.3.1 Analisi qualitativa

In seguito all'identificazione dei punti di interferenza, per gli attraversamenti di 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 multicriteria al quale corrisponde una categoria di stabilità dell'alveo: eccellente, buono, moderato, cattivo stato.

Gli indicatori di stabilità considerati sono stati:

1. Caratteristiche e attività del bacino e delle golene: è stato valutato il grado di interferenze dovuto all'esercizio di attività come pascoli, allevamenti, costruzioni, infrastrutture, ecc.
2. Periodicità caratteristica: periodicità e frequenza del flusso (effimero, regolare, flash flood, ecc) e clima (umido, semiarido, arido);
3. Classificazione geomorfologica del canale;
4. Presenza e tipologia di aree golenali. Grado di confinamento, quindi se il canale è delimitato da argini, infrastrutture;
5. Materiale di fondo e granulometria tipologica;
6. Presenza delle barre e caratteristiche dell'asta (pendenza longitudinale, il rapporto tra larghezza/altezza della sezione di interesse);
7. Potenziali ostruzioni;
8. Caratteristiche dello stato delle golene e delle sponde;
9. Pendenza media delle sponde;
10. Grado di protezione delle sponde sulla base della copertura vegetale o di opere di ingegneria;
11. Valutazione del livello di frastagliamento della sponda;
12. Segni di cedimenti delle golene ed eventuali evidenze di trasporto di materiale;
13. Allineamento di eventuali ponti e pile rispetto al flusso.

6.3.2 Analisi quantitativa

L'analisi quantitativa è stata effettuata in corrispondenza di tutte le interferenze.

L'analisi quantitativa ha seguito 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 strato 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.

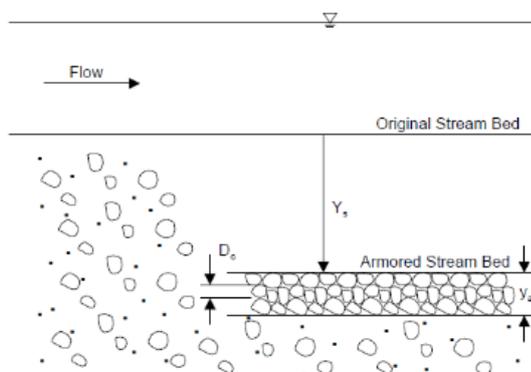


Figura 6.2: Dinamica erosione a lungo termine per corazzamento (fonte FHWA).

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):

- Portata ad alveo pieno (bankfull discharge);
- 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);
- 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 riportata dallo "Studio per la definizione delle opere necessarie alla messa in sicurezza del reticolo idraulico pugliese, con particolare riferimento alle aree del Gargano, delle coste joniche e salentine della Regione Puglia" nelle sezioni.

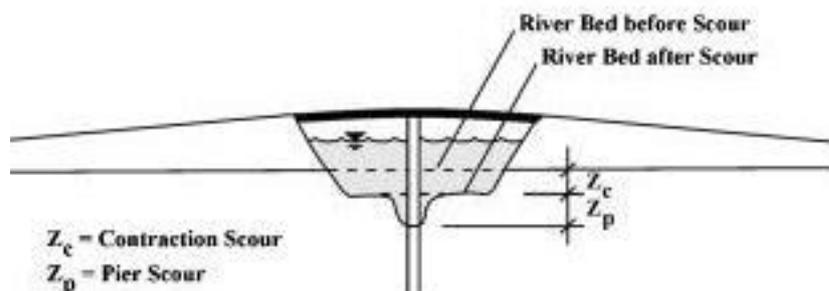


Figura 6.3: Erosioni assunte in corrispondenza di un ponte di attraversamento stradale (fonte FHWA).

Contrazione

L'erosione da 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 strato 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 da una diminuzione naturale dell'area di flusso 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 di 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 rappresentato dalle correnti non lineari create dall'interazione tra flusso di monte e pila.

Il vortice a ferro di cavallo creato è il risultato dell'accumulo di acqua sulla superficie a monte dell'ostruzione con prima importante escavazione e della successiva accelerazione del flusso con creazioni 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 un'erosione. Con l'aumento della profondità dell'escavazione, la forza del vortice a ferro di cavallo si riduce, riducendo così il tasso di trasporto dalla regione di base.

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

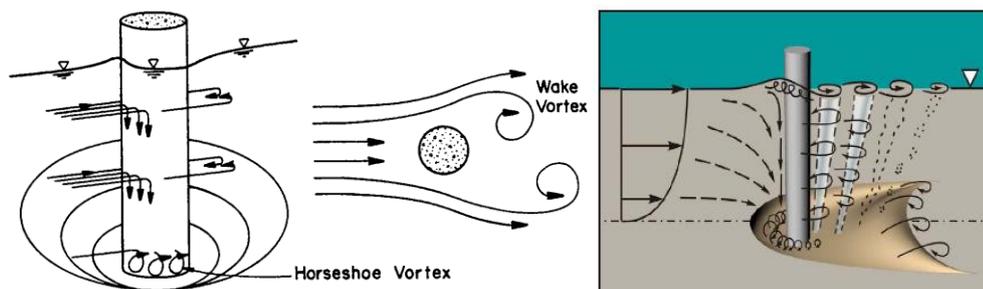


Figura 6.4: Dinamica di erosione in corrispondenza di pile strette (fonte FWHA).

6.4 RISOLUZIONE INTERFERENZE CAVO DI CONNESSIONE

Per quanto riguarda la linea di connessione, questa risulta ricadere in aree a pericolosità idraulica, sulla base delle mappe di rischio consultate.

Lungo il percorso di connessione dall’impianto alla Stazione Elettrica (SE), sono state individuate 18 interferenze: 16 interferenze con canali-fossi esistenti e 2 interferenze con aree rientranti entro una fascia di pericolosità idraulica secondo il PAI, il PSFF e il PGRA.

6.4.1 I01

Identificazione

L’interferenza I01 è situata all’incrocio tra i lotti S12, S13, S14 e S15, a circa 300 m a ovest della Strada Provinciale n.2 – Via Pedemontana (SP2). In questo punto la linea di connessione interferisce con il fiume identificato come “Fiume 6137” secondo il reticolo idrografico di Strahler e il DBGT. L’area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

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

Tabella 6.2: Riepilogo interferenza I01.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I01	Fiume 6137	Interferenza elemento idrico - Strahler Ordine 1	Cavo interrato/trenchless



Figura 6.5: Ortofoto interferenza IO1. In verde la linea di connessione, in rosso il layout di progetto e in azzurro il reticolo idrografico.

Osservazioni

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di modeste dimensioni, vegetato e senza 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante cavo interrato/trenchless.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **2 metri**.

6.4.2 IO2

L'interferenza IO2 interessa l'elemento idrico identificato come “Riu Murtas” secondo il reticolo idrografico di Strahler e il DBGT ed è situato sulla Strada Provinciale n.2 – Via Pedemontana (SP2), a circa 290 m a est dell'interferenza precedente. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

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

Tabella 6.3: Riepilogo interferenza I02.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I02	Riu Murtas	-	Cavo interrato



Figura 6.6: Ortofoto interferenza I02. In verde la linea di connessione, in rosso il layout di progetto e in azzurro il reticolo idrografico.

Osservazioni

In corrispondenza del passaggio del canale è presente un attraversamento che consente la continuità del deflusso al di sotto del manto stradale.

Inoltre, dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

Dato il carattere episodico dell'elemento idrico e le dimensioni ridotte e considerando la localizzazione effettiva della posa di cavo, in accordo con il gestore si può optare per l'interramento dal fondo alveo, come da normativa, senza necessariamente ricorrere a metodi trenchless.

6.4.3 I03

L'interferenza I03 interessa l'elemento idrico identificato come "46256" secondo il DBGT ed è situato lungo Via degli Abeti, a circa 270 m a sud-ovest della chiesa Madonna di Flumentepido. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo e un'immagine del canale nel punto d'interesse.

Tabella 6.4: Riepilogo interferenza I03.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I03	Elemento idrico 46256	-	Cavo interrato

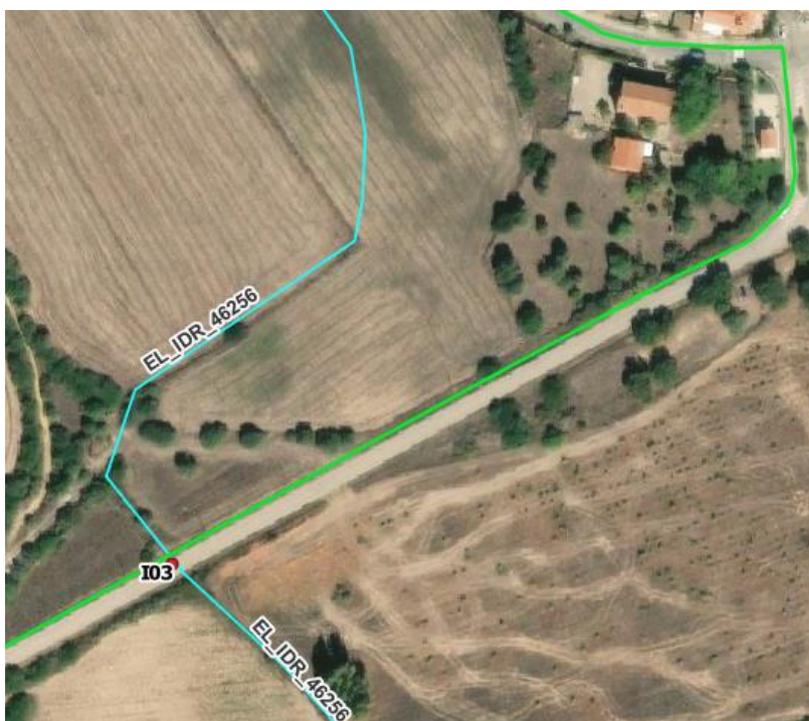


Figura 6.7: Ortofoto interferenza I03. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.



Figura 6.8: Immagine dell'interferenza della connessione con l'elemento idrico 46256, vista verso monte.

Osservazioni

In corrispondenza del passaggio del canale è presente un attraversamento che consente la continuità del deflusso al di sotto del manto stradale.

Inoltre, dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di modeste dimensioni, vegetato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

Dato il carattere episodico dell'elemento idrico e le dimensioni ridotte e considerando la localizzazione effettiva della posa di cavo, in accordo con il gestore si può optare per l'interramento ad almeno 1,5 metri di profondità dal fondo alveo senza necessariamente ricorrere a metodi trenchless.

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

6.4.4 I04

L'interferenza I04 interessa l'elemento idrico identificato come "46256" secondo il DBGT ed è situato lungo Località Sirai, tratto viabile asfaltato, a circa 225 m a nord-ovest della chiesa Madonna di Flumentepido. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo e un'immagine del canale nel punto d'interesse.

Tabella 6.5: Riepilogo interferenza I04.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I04	Elemento idrico 46256	-	Cavo interrato/trenchless

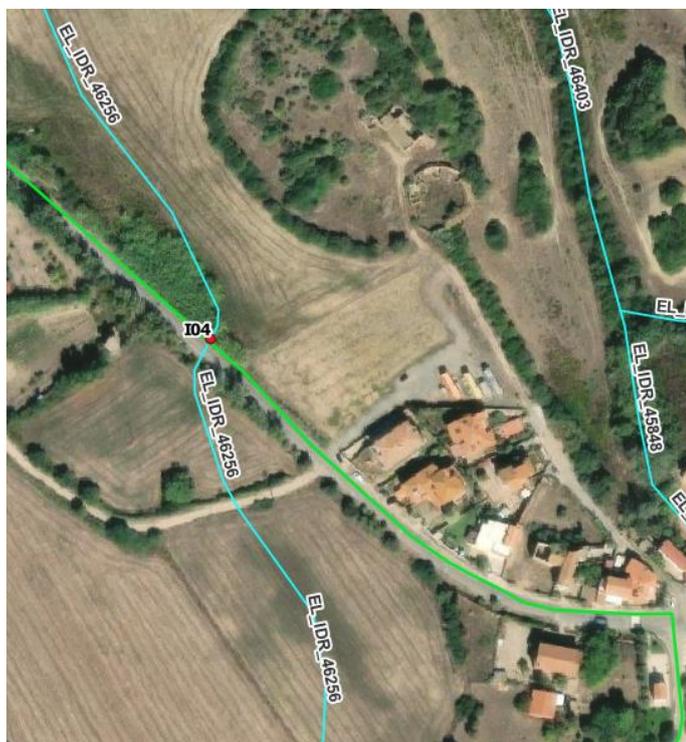


Figura 6.9: Ortofoto interferenza I04. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

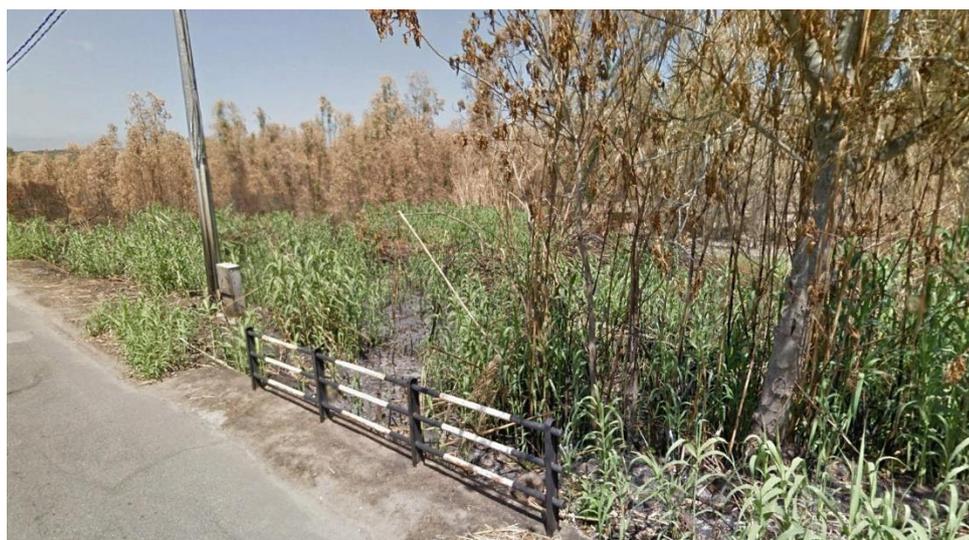


Figura 6.10: Immagine dell'interferenza della connessione con l'elemento idrico 46256, vista verso monte.

Osservazioni

In corrispondenza del passaggio del canale è presente un attraversamento che consente la continuità del deflusso al di sotto del manto stradale.

Inoltre, dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di modeste dimensioni, vegetato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell’interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante cavo interrato/trenchless.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **2 metri**.

6.4.5 I05

L’interferenza I05 interessa l’elemento idrico identificato come “46236” secondo il DBGT ed è situato lungo Località Sirai, tratto viabile asfaltato, a circa 170 m a nord-ovest dall’interferenza precedente e a circa 37 m a sud-est dell’incrocio con Località is Fenus. L’area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo e un’immagine del canale nel punto d’interesse.

Tabella 6.6: Riepilogo interferenza I05.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I05	Elemento idrico 46236	-	Cavo interrato/trenchless



Figura 6.11: Ortofoto interferenza I05. In verde la linea di connessione, in rosso il layout di progetto e in azzurro il reticolo idrografico.

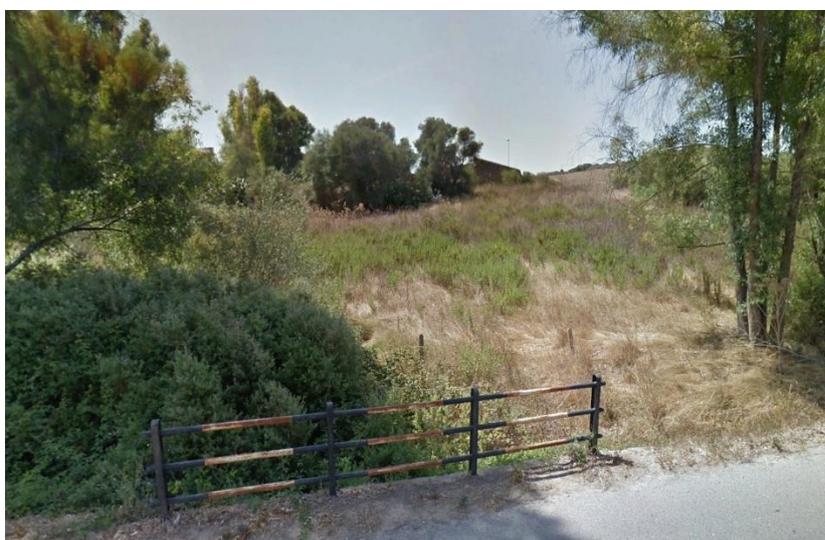


Figura 6.12: Immagine dell'interferenza della connessione con l'elemento idrico 46236, vista verso monte.

Osservazioni

In corrispondenza del passaggio del canale è presente un attraversamento che consente la continuità del deflusso al di sotto del manto stradale.

Inoltre, dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di modeste dimensioni, vegetato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell’interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante cavo interrato/trenchless.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **2 metri**.

6.4.6 I06

L’interferenza I06 interessa l’elemento idrico identificato come “Riu Flumentepido” secondo il reticolo idrografico di Strahler e il DBGT, ed è situato lungo Località Sirai, tratto viabile asfaltato, a circa 180 m a nord-ovest dell’interferenza precedente e a circa 150 m a nord-ovest dell’incrocio con Località is Fenus. L’area è classificata con pericolosità di allagamento secondo il PAI molto elevata (Hi4), secondo il PGRA con bassa probabilità di accadimento e secondo il PSFF ricade all’interno della fascia fluviale C.

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo, un’immagine del canale nel punto d’interesse e stralcio PAI, PGRA e PSFF.

Tabella 6.7: Riepilogo interferenza I06.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I06	Riu Flumentepido	Interferenza elemento idrico - Strahler Ordine 5 PAI: molto elevata (Hi4) PGRA: Bassa probabilità di accadimento PSFF: fascia C	TOC



Figura 6.13: Ortofoto interferenza I06. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.



Figura 6.14: Immagine dell'interferenza della connessione con il Riu Flumentepido, vista verso valle.



Figura 6.15: Ubicazione I06 e stralcio PAI – pericolosità molto elevata (Hi4). In verde la linea di connessione.

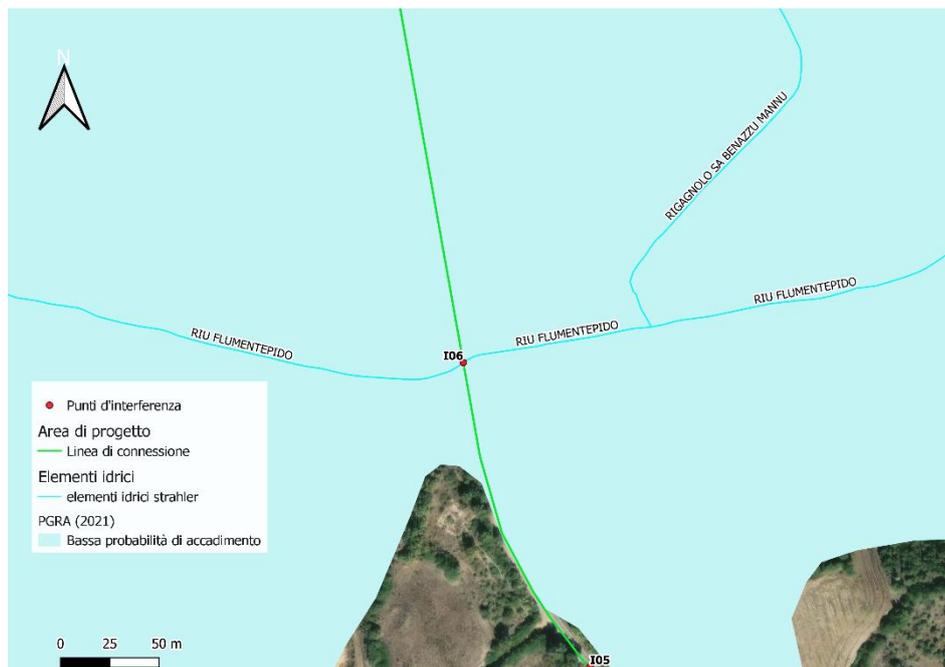


Figura 6.16: Ubicazione I06 e stralcio PGRA – bassa probabilità di accadimento. In verde la linea di connessione.



Figura 6.17: Ubicazione I06 e stralcio PSFF – fascia fluviale C. In verde la linea di connessione.

Osservazioni

In corrispondenza del passaggio del canale è presente un ponte che consente la continuità del deflusso al di sotto del manto stradale.

Inoltre, dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta ben vegetato, incassato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell’interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante perforazione TOC.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **4 metri**.

La TOC si svilupperà per 10 metri prima e dopo la fascia di allagamento.

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

6.4.7 I07

Per un’estensione di circa 905 m, il tracciato del cavo di connessione attraversa un’area allagabile di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) secondo il PAI, a bassa probabilità di accadimento secondo il PGRA e che ricade all’interno della fascia fluviale C secondo il PSFF.

L’interferenza si estende per 600 m lungo località Sirai, tratto viabile asfaltato, e per 305 m lungo la Strada Statale n.126 Sud Occidentale Sarda (SS126).

Di seguito uno stralcio dell’ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo e stralcio PAI, PGRA e PSFF.

Tabella 6.8: Riepilogo interferenza I07.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I07	Area allagabile	PAI: molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) PGRA: Bassa probabilità di accadimento PSFF: fascia C	Cavo interrato



Figura 6.18: Ortofoto interferenza I07. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

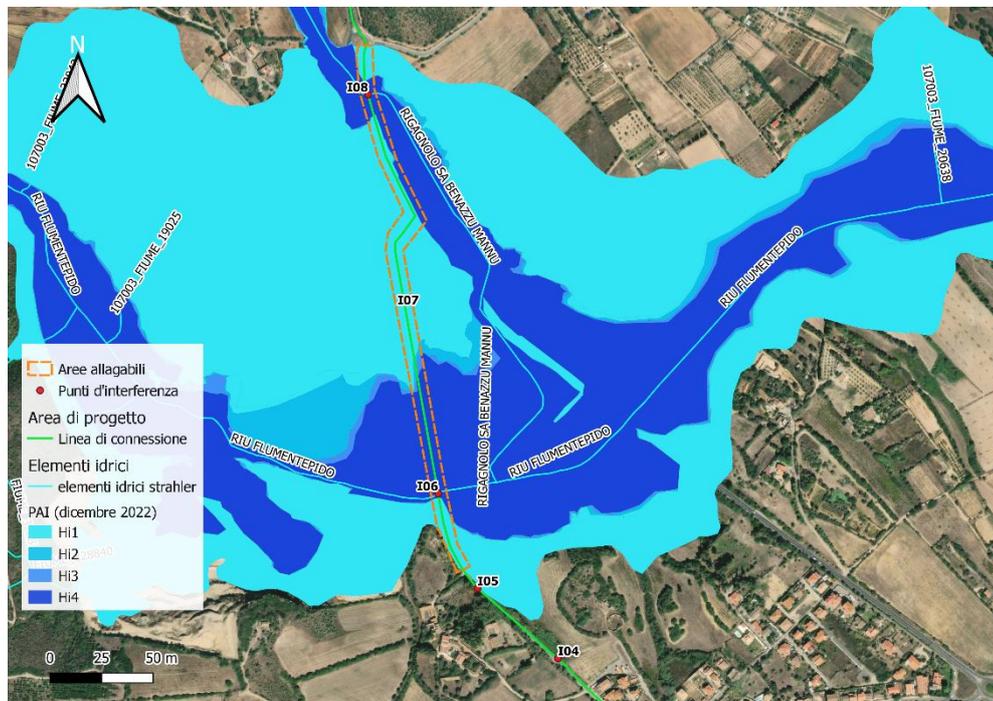


Figura 6.19: Stralcio PAI. In arancione tratteggiato il tratto della linea di connessione in area I07 con probabilità molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1). In verde la linea di connessione.

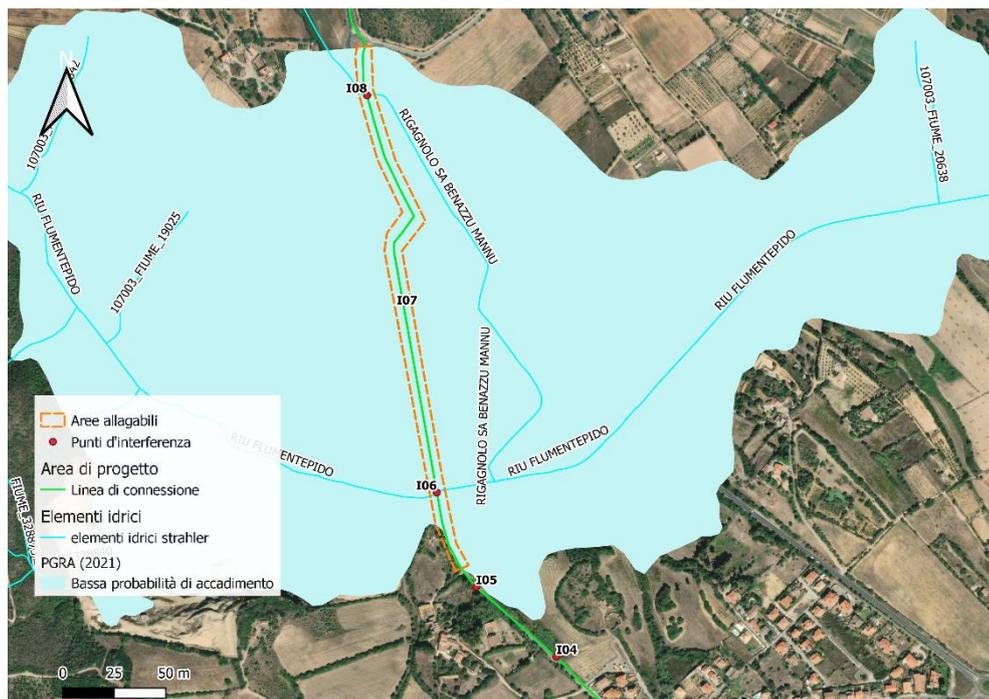


Figura 6.20: Stralcio PGRA. In arancione tratteggiato il tratto della linea di connessione in area I07 con bassa probabilità di accadimento. In verde la linea di connessione.

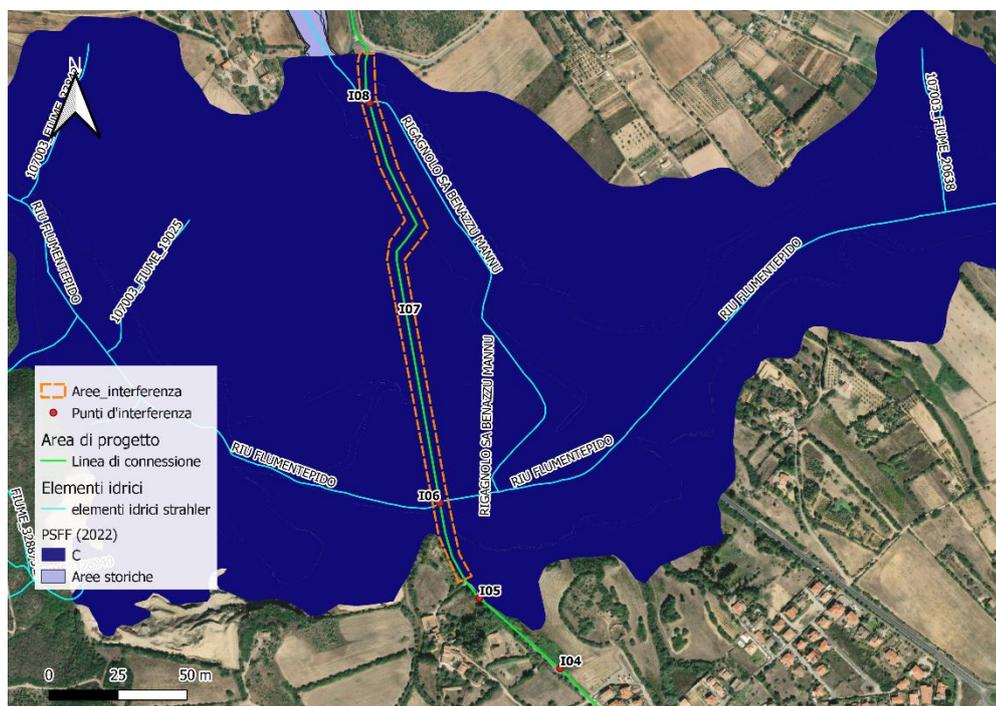


Figura 6.21: Stralcio PSFF. In arancione tratteggiato il tratto della linea di connessione in area I07- fascia fluviale C. In verde la linea di connessione.

Osservazioni

La pericolosità è dovuta alla presenza del Riu Flumentepido e del rigagnolo Sa Benazzu Mannu che interferiscono con la linea di connessione del progetto. All'interno dell'area ricadono infatti le interferenze I06 e I08.



Verifica di compatibilità idraulica

Il cavo di connessione sarà interrato al di sotto del piano campagna, come da normativa, per l'intera estensione dell'area allagabile.

6.4.8 I08

L'interferenza I08 interessa l'elemento idrico identificato come "Rigagnolo Sa Benazzu Mannu" secondo il reticolo idrografico Strahler e il DBGT ed è situato lungo la Strada Statale n.126 Sud Occidentale Sarda (SS126), a circa 85 m a sud della rotonda per Località Medau Desogus. L'area è classificata con pericolosità di allagamento secondo il PAI molto elevata (Hi4), secondo il PGRA con bassa probabilità di accadimento e secondo il PSFF ricade all'interno della fascia fluviale C.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo e stralcio PAI, PGRA e PSFF.

Tabella 6.9: Riepilogo interferenza I08.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I08	Rigagnolo Sa Benazzu Mannu	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3 PAI: molto elevata (Hi4) PGRA: Bassa probabilità di accadimento PSFF: fascia C	TOC

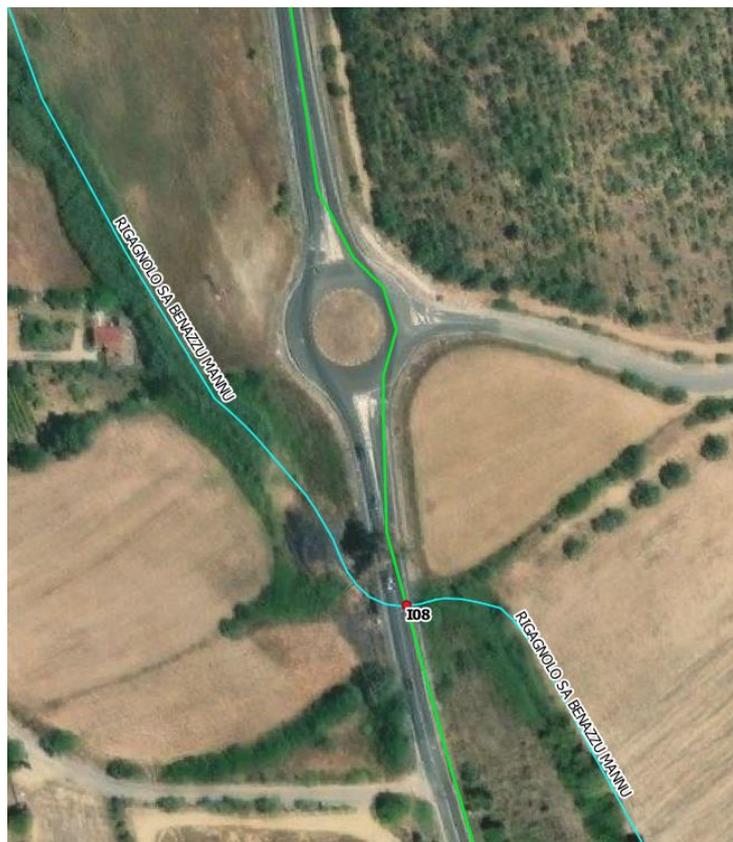


Figura 6.22: Ortofoto interferenza I08. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

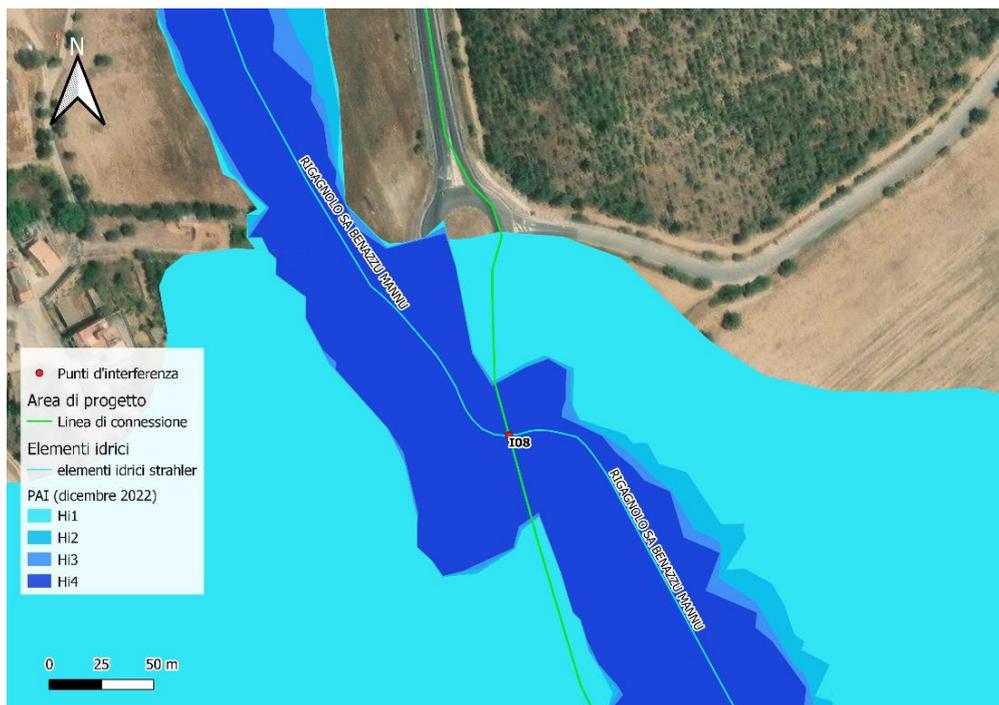


Figura 6.23: Ubicazione I08 e stralcio PAI – pericolosità molto elevata (Hi4). In verde la linea di connessione.



Figura 6.24: Ubicazione I08 e stralcio PGRA – bassa probabilità di accadimento. In verde la linea di connessione.

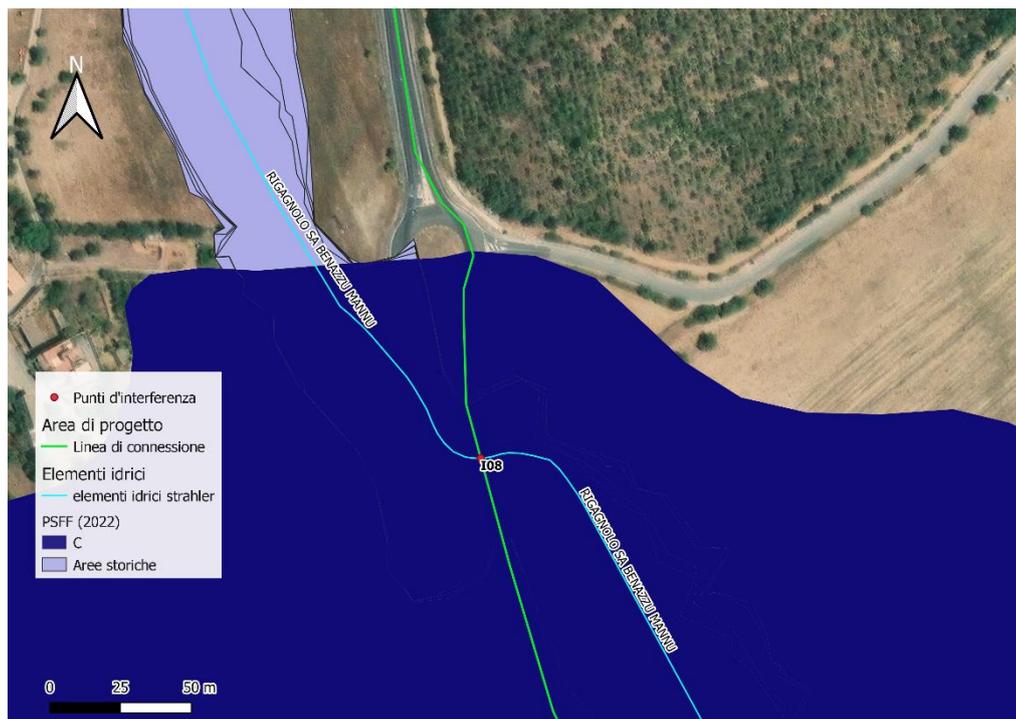


Figura 6.25: Ubicazione I08 e stralcio PSFF – fascia fluviale C. In verde la linea di connessione.

Osservazioni

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di ridotte dimensioni, vegetato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante perforazione TOC.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **3 metri**.

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

6.4.9 I09

L'interferenza I09 interessa l'elemento idrico identificato come “Rigagnolo Sa Benazzu Mannu” secondo il reticolo idrografico Strahler e il DBGT ed è situato lungo la Strada Statale n.126 Sud Occidentale Sarda (SS126), a circa 405 m a nord della rotonda per Località Medau Desogus. L'area è classificata con pericolosità di allagamento secondo il PAI molto elevata (Hi4) e secondo il PSFF ricade all'interno delle aree storiche.

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

Tabella 6.10: Riepilogo interferenza I09.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I09	Rigagnolo Sa Benazzu Mannu	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3 PAI: molto elevata (Hi4) PSFF: Aree storiche	TOC

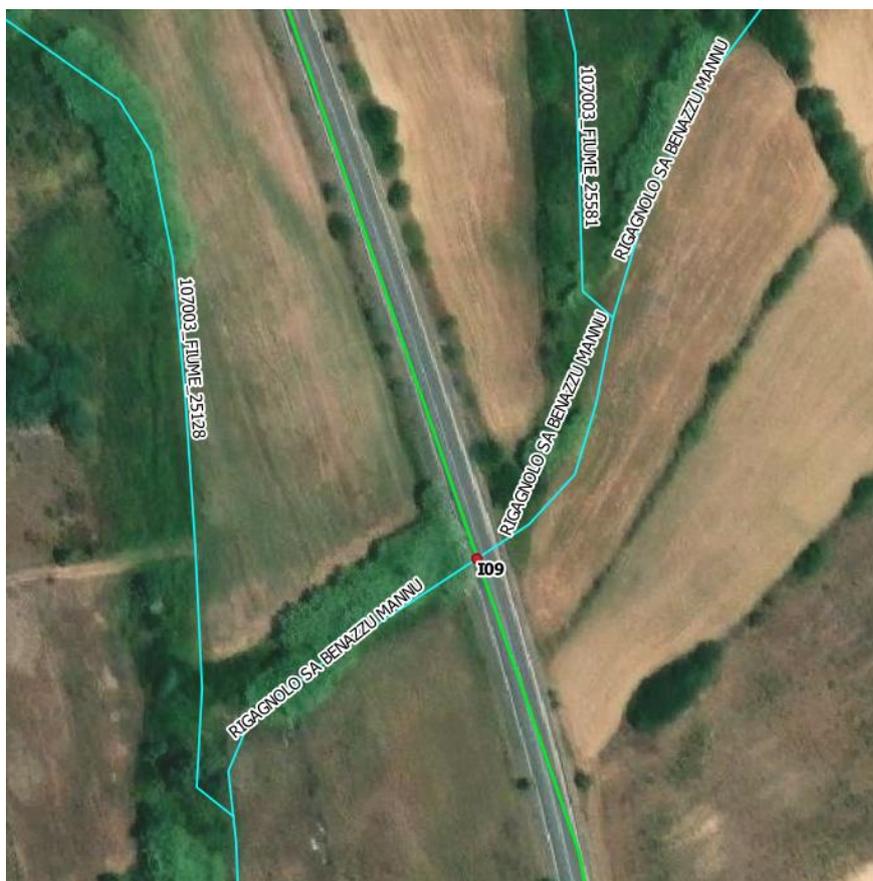


Figura 6.26: Ortofoto interferenza I09. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

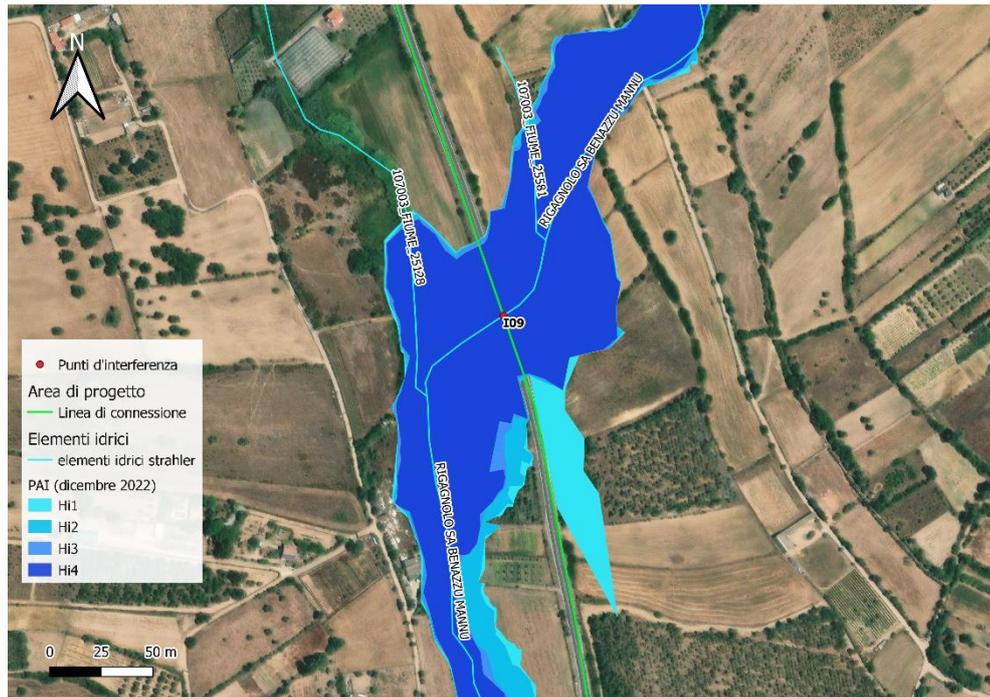


Figura 6.27: Ubicazione I08 e stralcio PAI – pericolosità molto elevata (Hi4). In verde la linea di connessione.

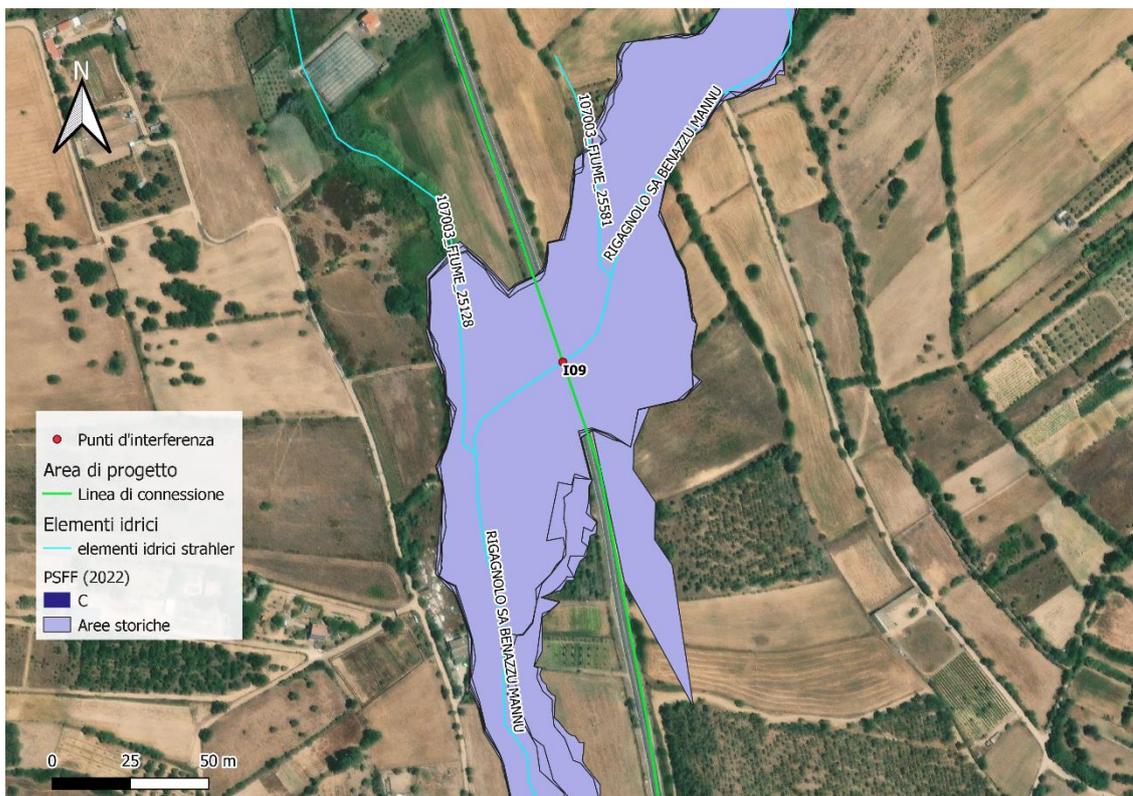


Figura 6.28: Ubicazione I09 e stralcio PSFF – aree storiche. In verde la linea di connessione.

Osservazioni

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta ben vegetato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante perforazione TOC.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **3 metri**.

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

6.4.10 I10

Per un'estensione di circa 120 m, il tracciato del cavo di connessione attraversa un'area allagabile di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) secondo il PAI e che ricade all'interno delle aree allagabili secondo il PSFF.

L'interferenza si estende lungo la Strada Statale n.126 Sud Occidentale Sarda (SS126), a circa 380 m a nord della rotonda per Località Medau Desogus.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo e stralcio PAI, PGRA e PSFF.

Tabella 6.11: Riepilogo interferenza I10.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I10	Area allagabile	PAI: molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1) PSFF: Aree storiche	Cavo interrato

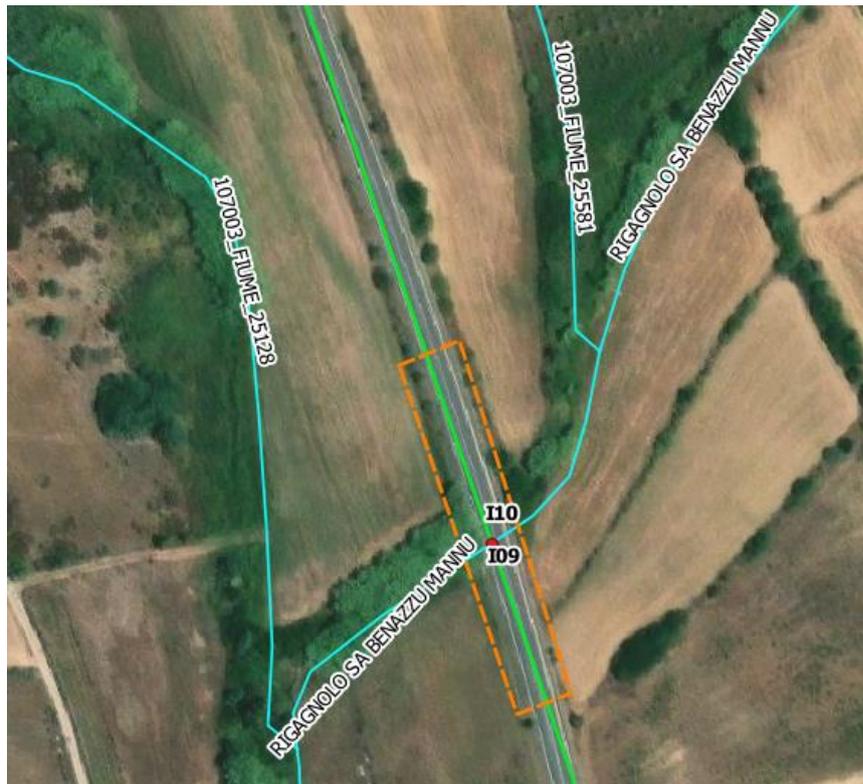


Figura 6.29: Ortofoto interferenza I10. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

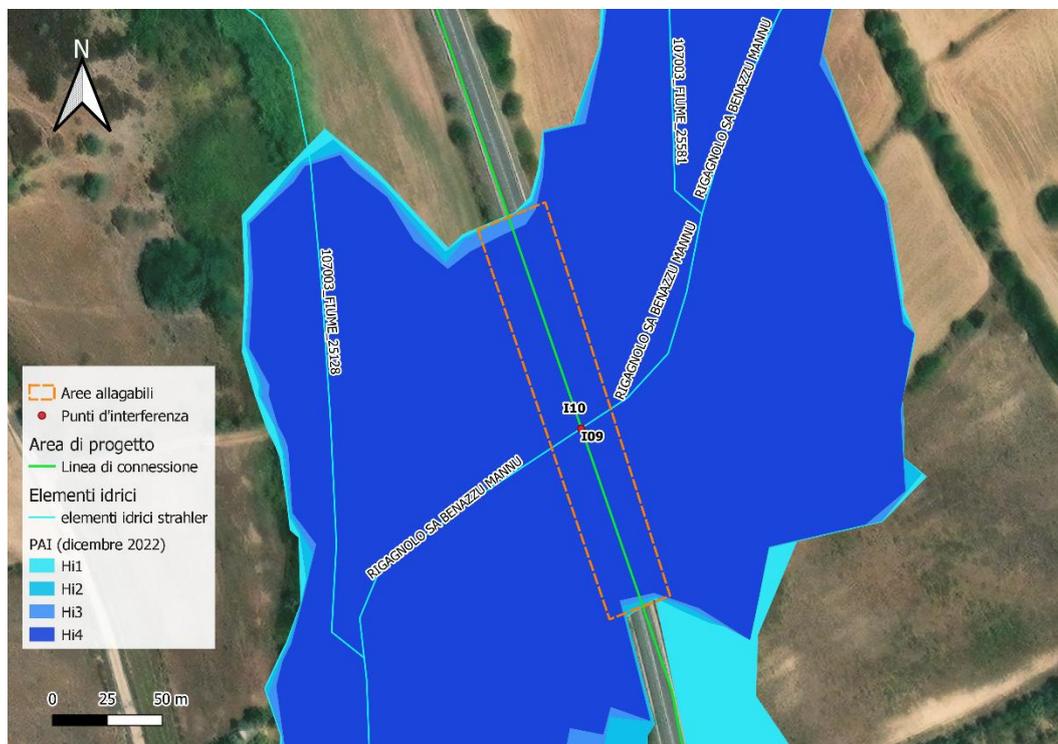


Figura 6.30: Stralcio PAI. In arancione tratteggiato il tratto della linea di connessione in area I10 con probabilità di accadimento molto elevata (Hi4), elevata (Hi3), media (Hi2) e moderata (Hi1). In verde la linea di connessione.

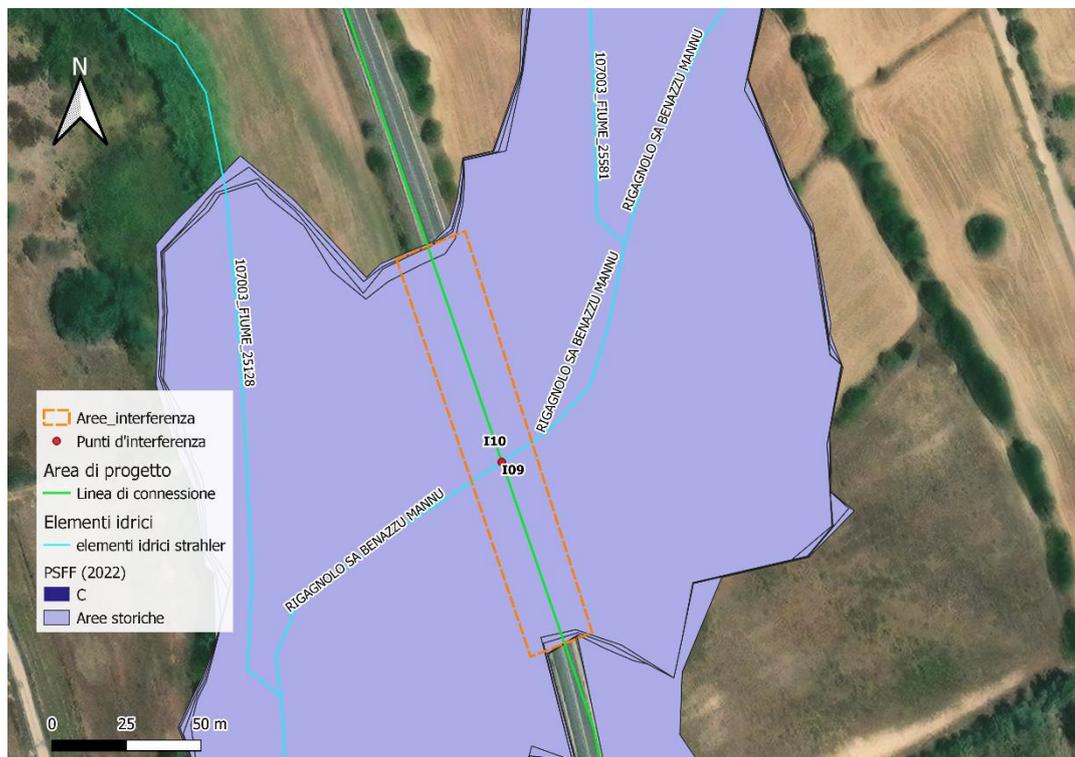


Figura 6.31: Stralcio PSFF. In arancione tratteggiato il tratto della linea di connessione in area I10 – aree storiche. In verde la linea di connessione.

Osservazioni

La pericolosità è dovuta alla presenza del rigagnolo Sa Benazzu Mannu che interferisce con la linea di connessione del progetto. All'interno dell'area ricadono infatti l'interferenza I09.

Verifica di compatibilità idraulica

Il cavo di connessione sarà interrato al di sotto del piano campagna, come da normativa, per l'intera estensione dell'area allagabile.

6.4.11 I11

L'interferenza I11 interessa l'elemento idrico identificato come "Fiume 20991" secondo il reticolo idrografico Strahler ed è situato lungo Via Rinaldo Loi, a nord-ovest di Cortoghiana. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo, e un'immagine del canale nel punto d'interesse.

Tabella 6.12: Riepilogo interferenza I11.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I11	Fiume 20991	Interferenza elemento idrico - Strahler Ordine 1	Cavo interrato/trenchless

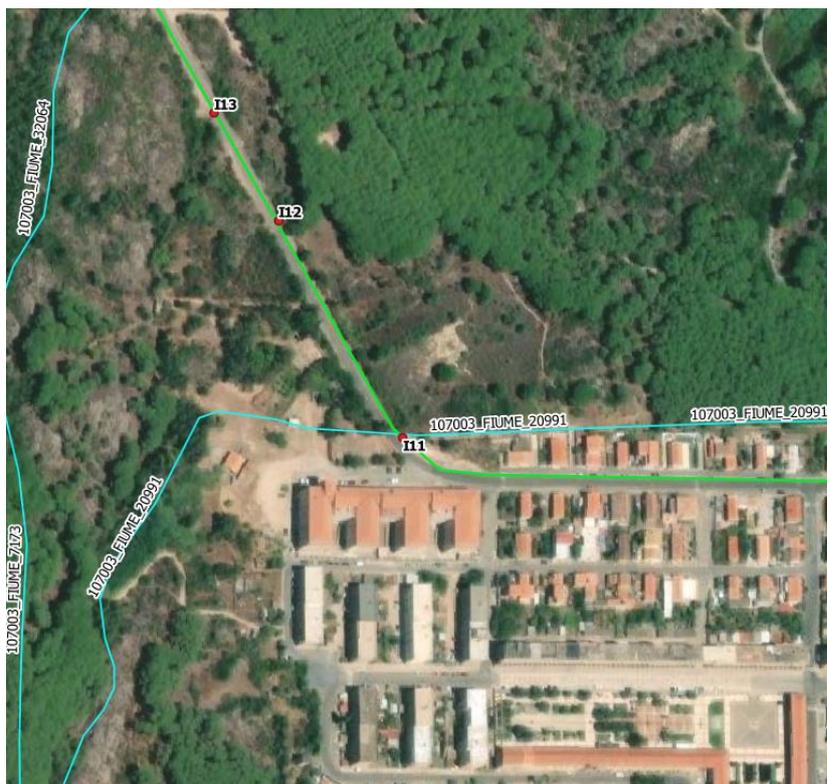


Figura 6.32: Ortofoto interferenza I11. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.



Figura 6.33: Immagine dell'interferenza della connessione con l'elemento idrico Fiume 20991, vista verso monte.

Osservazioni

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di discrete dimensioni, rivestito in calcestruzzo e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante cavo interrato/trenchless.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **2,5 metri**.

6.4.12 I12

L'interferenza I12 è situata a circa 185 m a nord ovest di Cortoghiana, lungo un tratto di strada viabile, ed è costituita da un fosso di scolo. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo, e un'immagine del canale nel punto d'interesse.

Tabella 6.13: Riepilogo interferenza I12.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I12	Fosso di scolo	-	Cavo interrato

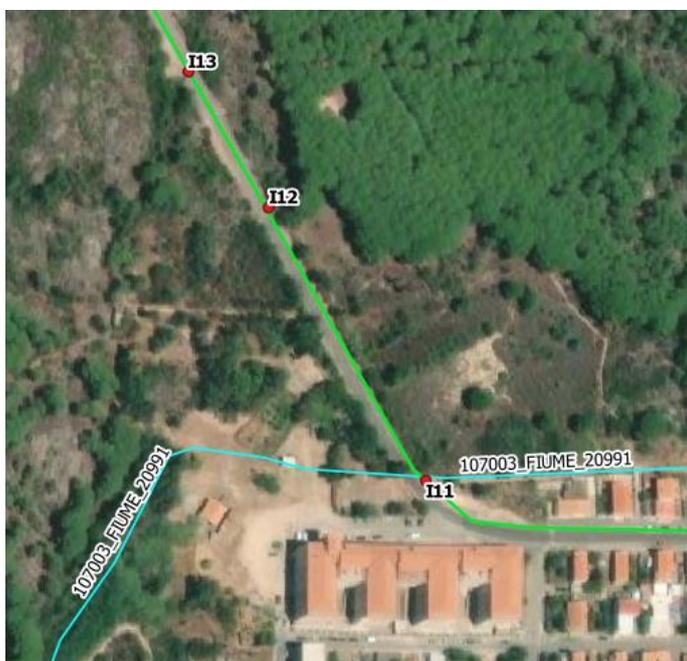


Figura 6.34: Ortofoto interferenza I12. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.



Figura 6.35: Immagine dell'interferenza della connessione con i fossi di scolo.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

Considerando la localizzazione effettiva della posa di cavo, in accordo con il gestore si può optare per l'interramento ad almeno 1,5 metri di profondità dal fondo alveo senza necessariamente ricorrere a metodi trenchless.

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

6.4.13 I13

L'interferenza I13 è situata a circa 230 m a nord ovest di Cortoghiana, lungo lo stesso tratto di strada viabile dell'interferenza precedente, ed è costituita da un fosso di scolo. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

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

Tabella 6.14: Riepilogo interferenza I13.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I13	Fosso di scolo	-	Cavo interrato

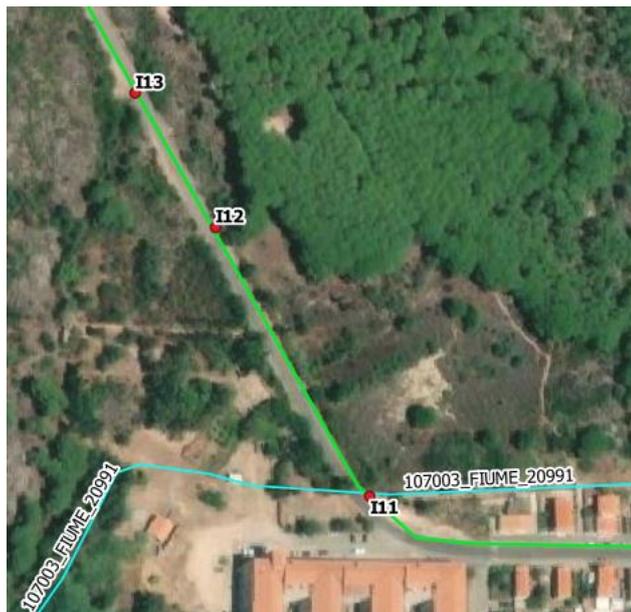


Figura 6.36: Ortofoto interferenza I13. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

Analisi qualitativa stabilità

Secondo il metodo HEC-20 di Stream Stability at Highway Structures proposto da FHWA, come descritto nel paragrafo 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

Considerando la localizzazione effettiva della posa di cavo, in accordo con il gestore si può optare per l'interramento ad almeno 1,5 metri di profondità dal fondo alveo senza necessariamente ricorrere a metodi trenchless.

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

6.4.14 I14

L'interferenza I14 interessa l'elemento idrico identificato come “Fiume 32064” secondo il reticolo idrografico Strahler ed è situata a circa 360 m a nord-ovest di Cortoghiana, lungo lo stesso tratto di strada viabile delle due interferenze precedenti. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

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

Tabella 6.15: Riepilogo interferenza I14.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I14	Fiume 32064	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 2	TOC

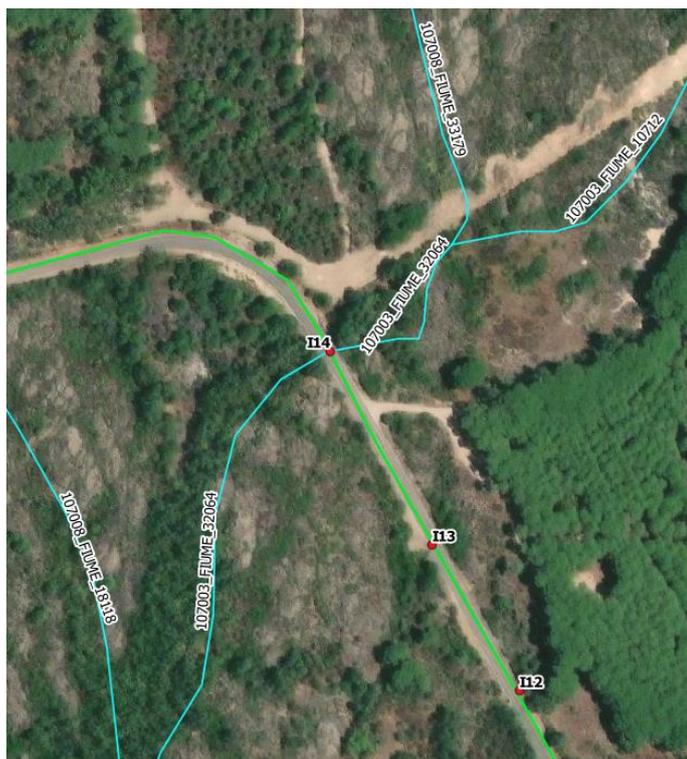


Figura 6.37: Ortofoto interferenza I14. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

Osservazioni

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di dimensioni apprezzabili, ben vegetato, incassato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante perforazione TOC.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **3 metri**.

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

6.4.15 I15

L'interferenza I15 interessa l'elemento idrico identificato come “Fiume 18118” secondo il reticolo idrografico Strahler ed è situata a circa 490 m a nord-ovest di Cortoghiana, lungo lo stesso tratto di strada viabile dell'interferenza precedente, e a circa 60 m a ovest della Riserva forestale Nuraxi Figus. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

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

Tabella 6.16: Riepilogo interferenza I15.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I15	Fiume 18118	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 1	Cavo interrato/trenchless

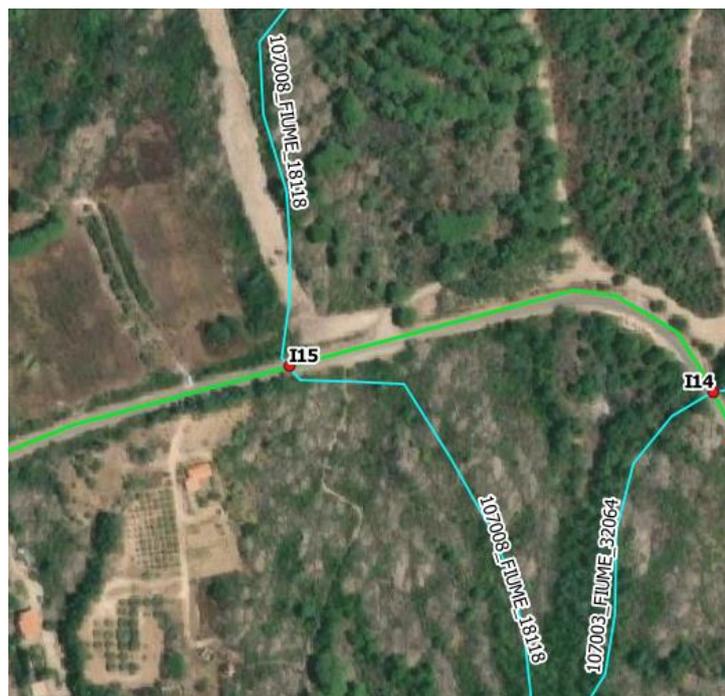


Figura 6.38: Ortofoto interferenza I15. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

Osservazioni

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di modeste dimensioni e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante cavo interrato/trenchless.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **2,5 metri**.

6.4.16 I16

L'interferenza I16 interessa l'elemento idrico identificato come "S'Acqua Sa Stoia" secondo il reticolo idrografico Strahler ed è situata a circa 270 m a ovest dell'interferenza precedente, lungo lo stesso tratto di strada viabile dell'interferenza precedente. L'area non è classificata con nessuna pericolosità di allagamento.

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

Tabella 6.17: Riepilogo interferenza I16.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I16	S'Acqua Sa Stoia	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3	TOC

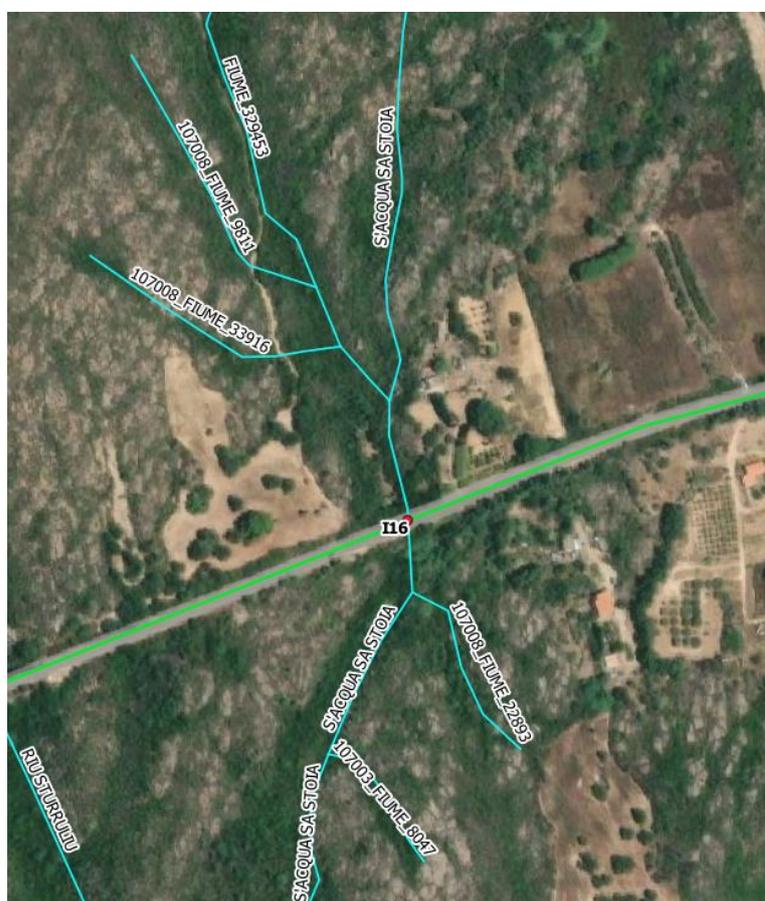


Figura 6.39: Ortofoto interferenza I16. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.

Osservazioni

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, il canale si presenta di dimensioni apprezzabili, ben vegetato, incassato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria “buono”. Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell’interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante perforazione TOC.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **3,5 metri**.

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

6.4.17 I17

L’interferenza I17 interessa l’elemento idrico identificato come “Riu Sturruliu” secondo il reticolo idrografico di Strahler e il DBGT, ed è situato a circa 600 m a est di Via Roma, lungo lo stesso tratto viabile asfaltato dell’interferenza precedente. L’area è classificata con pericolosità di allagamento secondo il secondo il PGRA con elevata probabilità di accadimento e secondo il PSFF ricade all’interno delle aree storiche.

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

Tabella 6.18: Riepilogo interferenza I17.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I17	Riu Sturruliu	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 3 PGRA: Elevata probabilità di accadimento PSFF: Aree storiche	TOC



Figura 6.42: Stralcio PSFF. In arancione tratteggiato il tratto della linea di connessione in area I17 – aree storiche. In verde la linea di connessione.

Osservazioni

In corrispondenza del passaggio del canale è presente un ponte che consente la continuità del deflusso al di sotto del manto stradale.

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, l'elemento idrico si presenta di dimensioni notevoli, ben vegetato, incassato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante perforazione TOC.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **4,5 metri**.

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

6.4.18 I18

L'interferenza I18 interessa l'elemento idrico identificato come "Riu Pescinas" secondo il reticolo idrografico di Strahler e il DBGT, ed è situato a circa 475 m a est di Via Roma, lungo lo stesso tratto viabile asfaltato dell'interferenza precedente. L'area è classificata con pericolosità di allagamento

secondo il secondo il PGRA con elevata probabilità di accadimento e secondo il PSFF ricade all'interno delle aree storiche.

Di seguito uno stralcio dell'ubicazione su ortofoto, dove è evidenziato in verde il tracciato di connessione e in azzurro il reticolo, un'immagine del canale nel punto d'interesse e stralcio PGRA e PSFF.

Tabella 6.19: Riepilogo interferenza I18.

ID	INTERFERENZA	PERICOLOSITÀ	RISOLUZIONE
I18	Riu Pescinas	Interferenza elemento idrico – Strahler Ordine 2 PGRA: Elevata probabilità di accadimento PSFF: Aree storiche	TOC

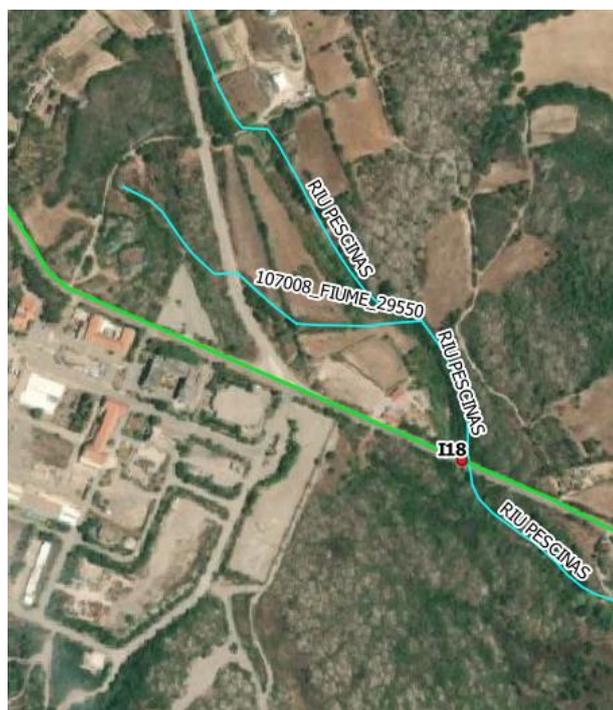


Figura 6.43: Ortofoto interferenza I18. In verde la linea di connessione e in azzurro il reticolo idrografico.



Figura 6.44: Immagine dell'interferenza della connessione con l'elemento idrico Riu Pescinas, vista verso monte.

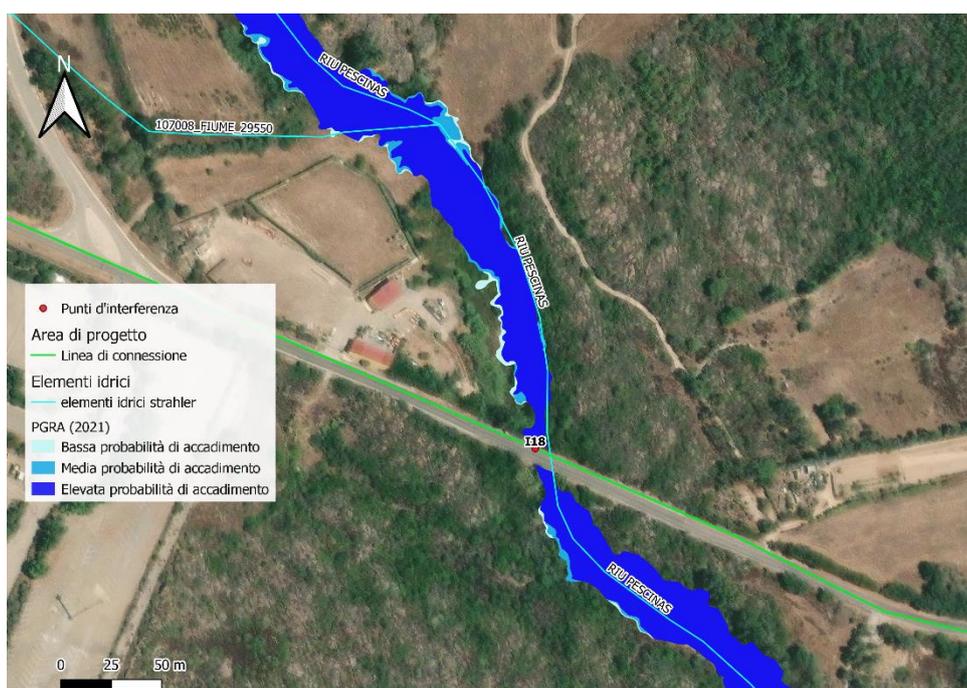


Figura 6.45: Ubicazione I18 e stralcio PGRA – elevata probabilità di accadimento. In verde la linea di connessione.



Figura 6.46: Stralcio PSFF. In arancione tratteggiato il tratto della linea di connessione in area I18 – aree storiche. In verde la linea di connessione.

Osservazioni

In corrispondenza del passaggio del canale è presente un ponte che consente la continuità del deflusso al di sotto del manto stradale.

Dalla visione delle ortofoto storiche, nel periodo compreso tra il 2004 e il 2022, l'elemento idrico si presenta di dimensioni apprezzabili, ben vegetato e non si riscontrano 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 6.3.1, al tratto in oggetto è possibile assegnare un valore nella categoria "buono". Il tratto risulta quindi caratterizzato da una **buona stabilità**.

Verifica di compatibilità idraulica

A causa dell'interferenza con la rete idrografica esistente, la posa del cavo verrà eseguita mediante perforazione TOC.

La profondità di posa, tra cielo tubazione dal punto più depresso della sezione idraulica attraversata, sarà al minimo pari a **3 metri**.

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

7. SISTEMA DI GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE – BESS

Il presente paragrafo descrive la filosofia del sistema di gestione delle acque meteoriche per l'impianto BESS in progetto nella sezione S9.

Nel corso dell'esercizio dell'impianto è previsto lo scarico di sole acque meteoriche non soggette al trattamento di prima pioggia.

La filosofia di drenaggio del progetto prevederà l'utilizzo di sistemi di drenaggio sostenibili per gestire le acque meteoriche scolanti da coperture.

Al fine di garantire la messa in sicurezza dell'impianto da eventi di piena, la rete delle acque meteoriche dei cabinati sarà costituita da trincee drenanti distribuite ed indipendenti, e sarà in grado di ricevere le portate meteoriche scolanti.

Le trincee drenanti renderanno ogni cabinato indipendente dal punto di vista idrologico idraulico.

Tali opere sono dimensionate con un tempo di ritorno pari a 30 anni ed hanno dimensioni diverse a seconda della tipologia di cabinato, ad eccezione per i trasformatori, per i quali non si prevede uno scarico e saranno dotati di vasche di contenimento a tenuta anti spandimento dell'olio di adeguate capacità e sistema di gestione e raccolta delle acque piovane nella vasca di contenimento.

La larghezza, la profondità e la lunghezza per tutte le trincee varieranno a seconda delle aree scolanti servite. L'opera prevede l'uso di geotessuto filtrante tra ghiaia e terra, con l'obiettivo di evitare intasamenti e garantire una migliore efficienza nel tempo.

Il geotessuto sarà risvoltato anche superiormente, ma coperto da uno strato di 10 cm di ghiaia in modo da assicurare l'anti-intrusione del fango nel corpo drenante e al tempo stesso la compatibilità con l'estetica del territorio (Figura 7.1).

Nella successiva fase di progettazione sarà valutata per le trincee drenanti una rete di tubazioni drenanti e pozzetti di ispezione.

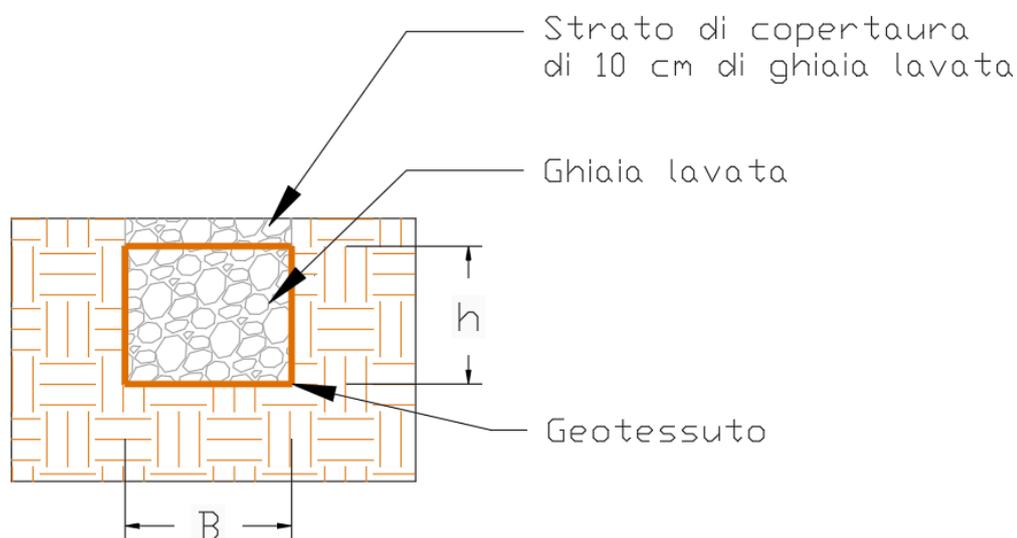


Figura 7.1: Sezione tipo trincea drenante

Si prevedono strade di servizio non in rilevato e non asfaltate. Le dinamiche di drenaggio delle aree permeabili, che rimarranno immutate, continueranno a scolare le proprie acque come nella situazione ante-operam.



8. 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, 50 e 100 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.

8.1 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.

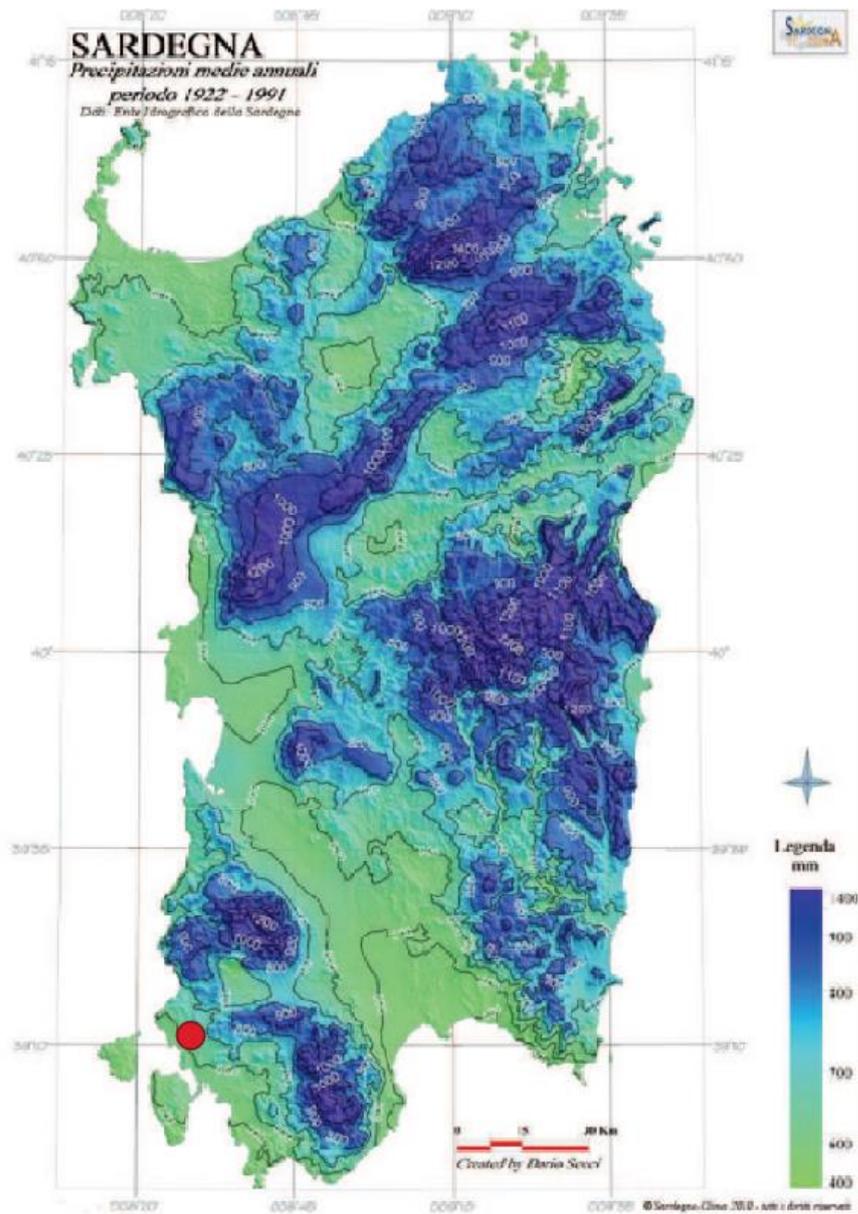


Figura 8.1: Precipitazioni medie annuali, periodo 1922-1991

8.2 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.

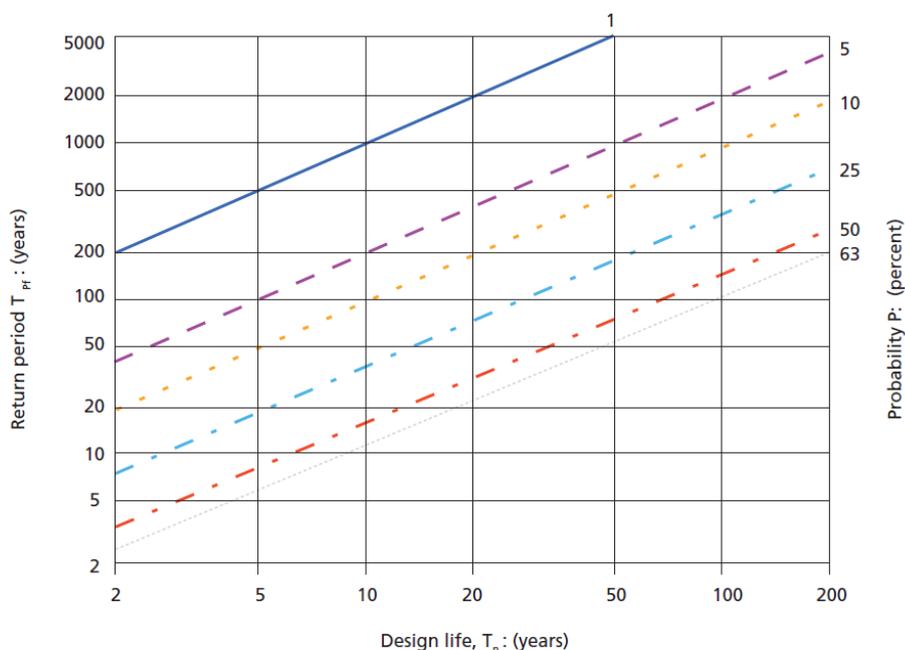


Figura 8.2 - Probabilità che un evento con determinati Tempi di ritorno si verifichi in N anni

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**.

8.3 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 Sardegna¹ 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:

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

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 8.1 - 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:

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

¹ DEIDDA R., PIGA E., SECHI G.M. - Studio regionale delle massime precipitazioni giornaliere in Sardegna, Quaderni ricerca, 9, 30 pp.c, 1997;

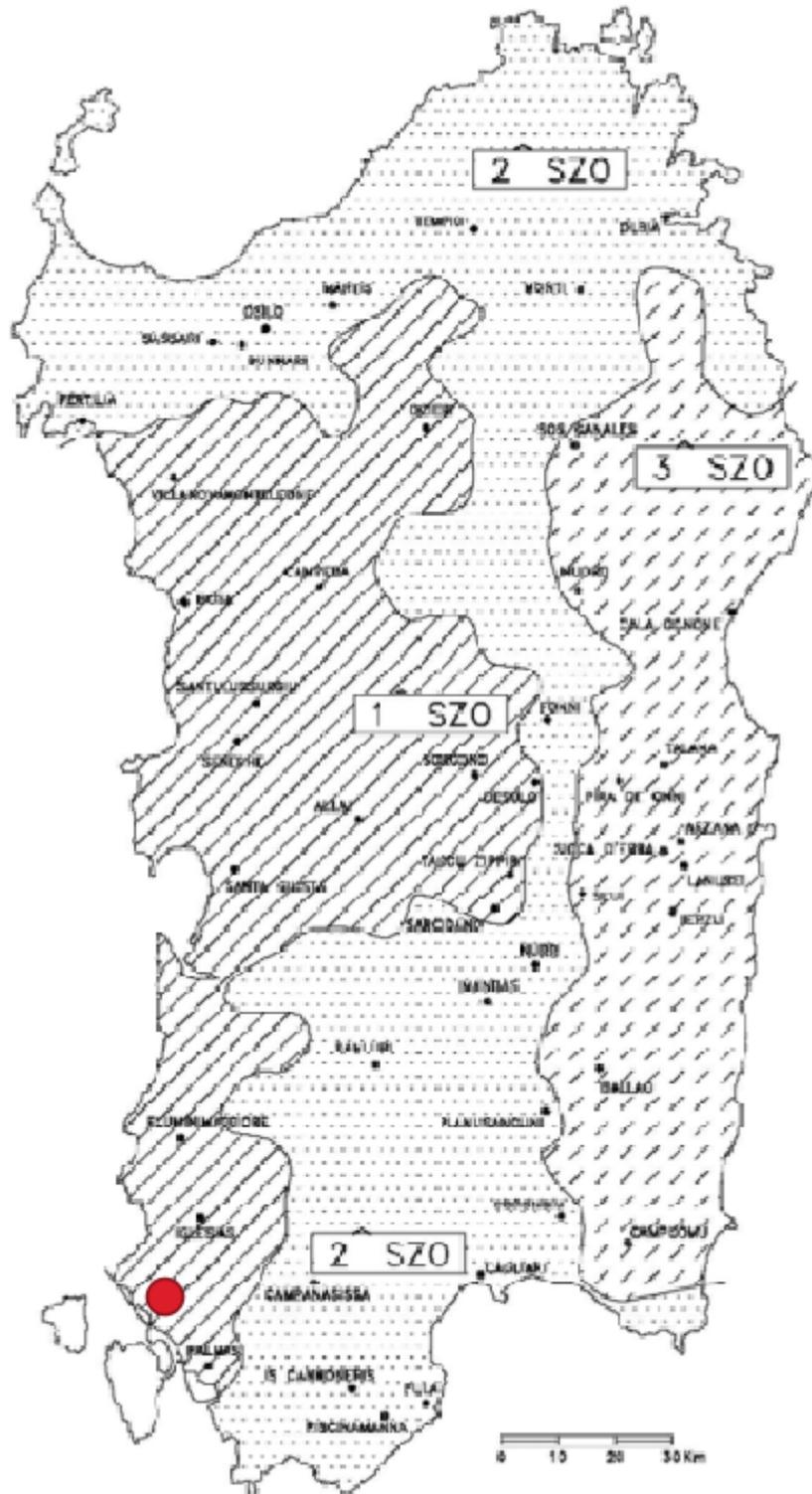


Figura 8.3: Zonizzazione del PAI – Stralcio carta Sotto Zone Omogenee per le piogge brevi e intense.

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.

Assumendo μ_g pari a 47 mm (Figura 8.4), nella tabella sottostante sono riportati i valori di $h(T)$ e K_T relativi al tempo di ritorno stabilito.

Tabella 8.2: Altezza di pioggia giornaliera.

	ALTEZZA DI PIOGGIA GIORNALIERA					
	Tr 2 [anni]	Tr 5 [anni]	Tr 10 [anni]	Tr 30 [anni]	Tr 50 [anni]	Tr 100 [anni]
K_T [-]	0,91	1,21	1,44	1,83	2,01	2,52
$h(T)$ [mm]	43	57	68	86	94	106

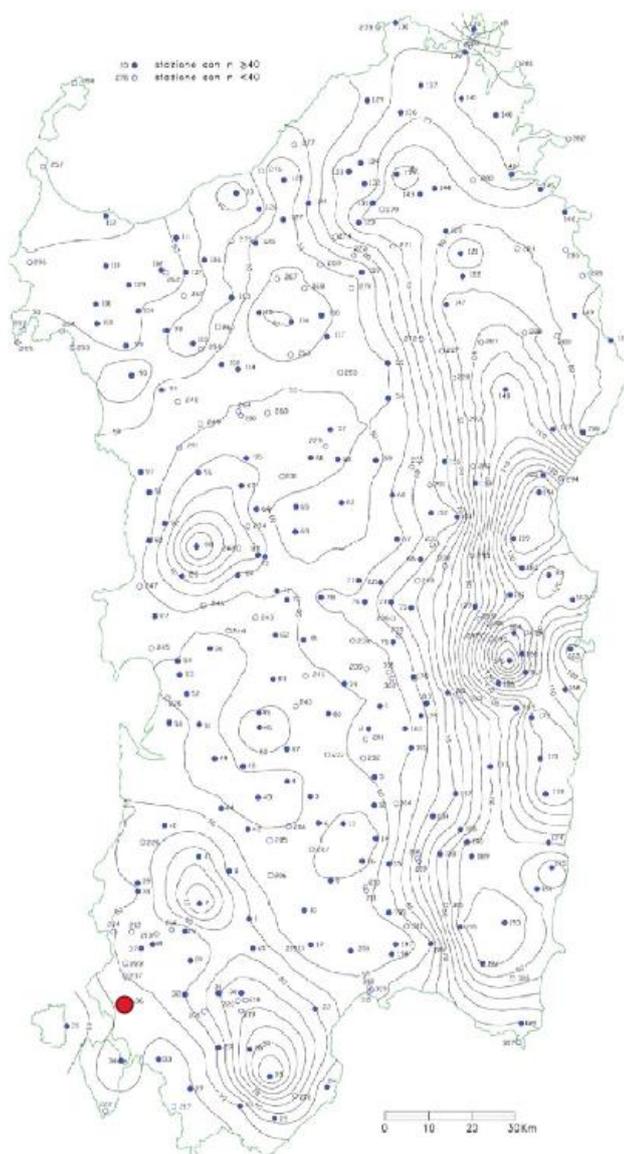


Figura 8.4: Zonizzazione PAI Regione Sardegna - Stralcio carta delle isoiete (pioggia indice giornaliera).



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

$$a_2 = 0,66105 + 0,85994 \text{ Log}_{10} T$$

$$n_2 = -1,3558 \cdot 10^{-4} + 1,3660 \cdot 10^{-2} \text{ Log}_{10} T$$

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

$$a_2 = 0,46378 + 1,0386 \text{ Log}_{10} T$$

$$n_2 = -0,18449 + 0,23032 \text{ Log}_{10} T - 3,3330 \cdot 10^{-2} (\text{Log}_{10} T)^2 \quad (\text{per } t \leq 1 \text{ ora})$$

$$n_2 = -1,0563 \cdot 10^{-2} - 7,9034 \cdot 10^{-3} \text{ Log}_{10} T \quad (\text{per } t \geq 1 \text{ ora})$$

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 8.3: Parametri delle curve di possibilità pluviometrica.

PARAMETRI CPP						
$\mu_g = 50,0$ [mm]						
Tempo di ritorno [anni]	a_1	n_1	a_2	$n_2(t > 1h)$	$n_2(t \leq 1h)$	$n_2(T \leq 10 \text{ anni})$
2	20,26	0,30	0,92	-0,013	-0,118	-0,00425
5	20,26	0,30	1,26	-0,016	-0,040	-0,00968
10	20,26	0,30	1,52	-0,018	0,013	-0,01380
30	20,26	0,30	2,00	-0,022	0,083	-
50	20,26	0,30	2,23	-0,024	0,111	-
100	20,26	0,30	2,54	-0,026	0,143	-

Di seguito si riportano le Curve di Possibilità Pluviometrica distinte per eventi pluviali di durata superiore o inferiore ad 1h e per tempi di ritorno pari a 2, 5, 10, 30, 50 e 100 anni.

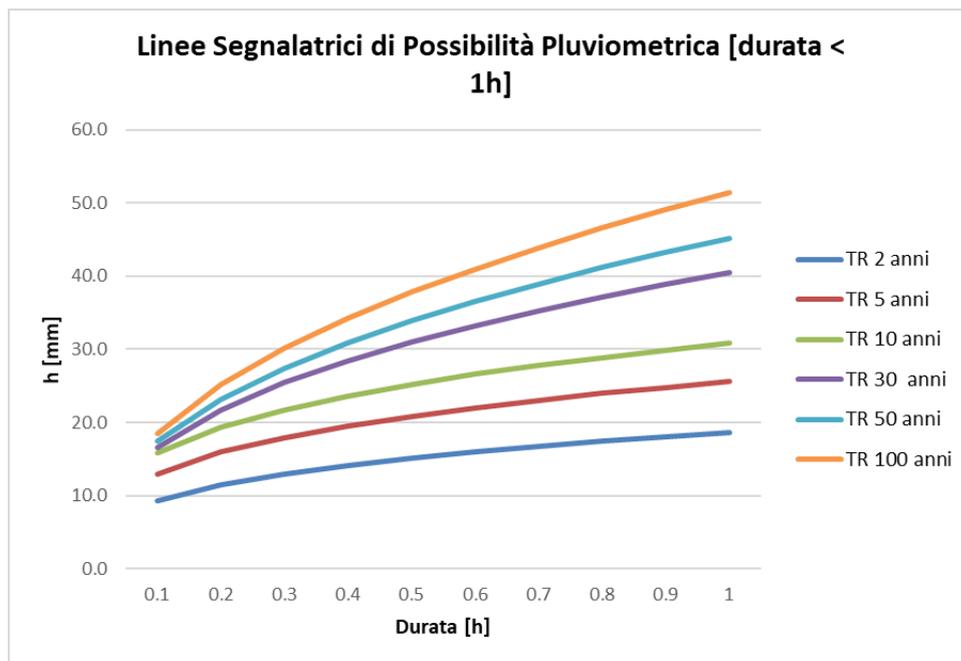
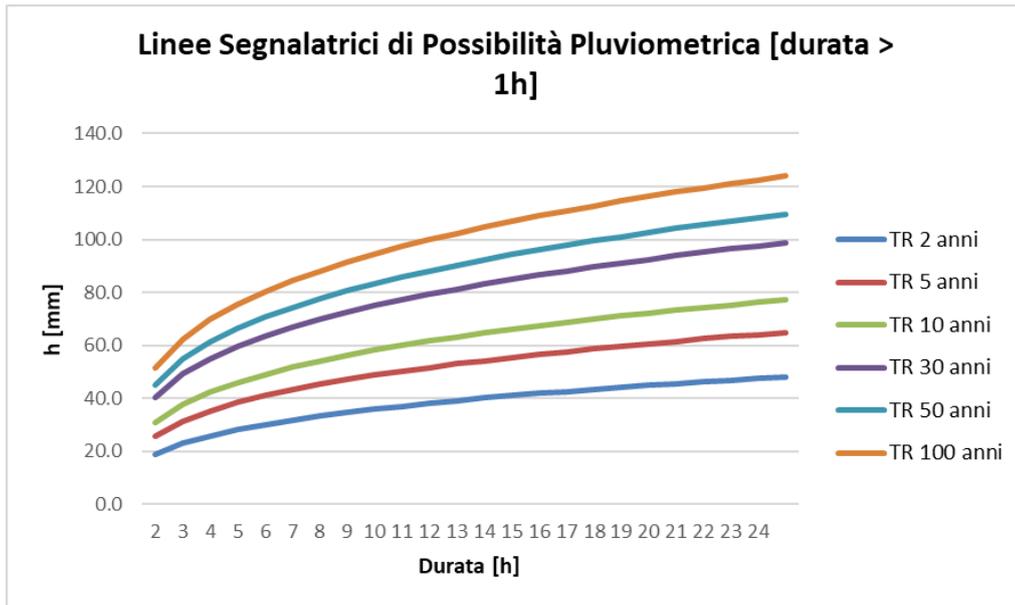


Figura 8.5: Curve di possibilità pluviometrica (CPP) per eventi di durata >1h e <1h.

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 8.4: Altezza di pioggia per le diverse durate per i diversi tempi di ritorno.

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
0,5	15	21	25	31	34	38
1	19	26	31	40	45	51
2	23	31	38	49	55	62
3	26	35	42	55	61	70
4	28	38	46	60	66	76
5	30	41	49	64	71	80
6	32	43	52	67	74	84
7	33	45	54	70	78	88
8	35	47	56	73	81	91
9	36	49	58	75	83	95
10	37	50	60	77	86	97
11	38	52	62	79	88	100
12	39	53	63	81	90	102
13	40	54	65	83	92	105
14	41	55	66	85	94	107
15	42	57	67	87	96	109
16	43	58	69	88	98	111
17	43	59	70	90	99	113
18	44	60	71	91	101	114
19	45	61	72	92	103	116
20	46	62	73	94	104	118
21	46	62	74	95	106	119
22	47	63	75	96	107	121
23	48	64	76	98	108	123
24	48	65	77	99	110	124

8.4 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.

Nella figura seguente sono riportati i bacini individuabili all'interno dell'area di impianto, con relativa denominazione.



Figura 8.6: Delimitazione bacini scolanti dell'area di progetto e relativa codifica. In giallo i bacini interni, in verde quelli esterni.

Le tabelle seguenti riportano i bacini scolanti individuati e le relative superfici. Per quanto riguarda il lotto S12, data l'idrografia del territorio, sono presenti bacini di scolo con aree di alimentazione esterna al sito di progetto.

Tabella 8.5: Bacini scolanti interni

BACINI INTERNI	
ID Bacino	Area [mq]
S1.1	6905
S1.2	22275
S2	4237
S3.1	49931
S3.2	4796
S3.3	42230
S4.1	5418
S4.2	7406
S4.3	23889



BACINI INTERNI	
S4.4	8019
S4.5	3674
S5	42343
S6.1	11058
S6.2	65855
S7	57605
S8	52126
S9.1	15912
S9.2	149390
S9.3	14308
S9.4	34962
S10.1	2414
S10.2	23329
S10.3	3243
S11.1	15037
S11.2	1458
S12.1	77101
S12.2	2665
S12.3	12761
S13.1	8508
S13.2	32709
S14.1	52380
S14.2	12906
S15	10655

Tabella 8.6: Bacini scolanti esterni

BACINI ESTERNI	
ID Bacino	Area [mq]
S13.1-E	79483
S13.2-E	80547

BACINI ESTERNI	
S13.3-E	33335

8.5 VALUAZIONE 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.

8.5.1 Valutazione ante-operam

Le aree allo stato ante-operam non risultano impermeabilizzate e sono prevalentemente coltivate. Come descritto in precedenza, l'area di progetto si sviluppa su aree di colture permanenti.

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 **38**.

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 **59**.

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

Nella figura di seguito si riporta il grafico di correlazione CN-SCS/coefficiente di deflusso e Altezza di Pioggia/coefficiente di deflusso.

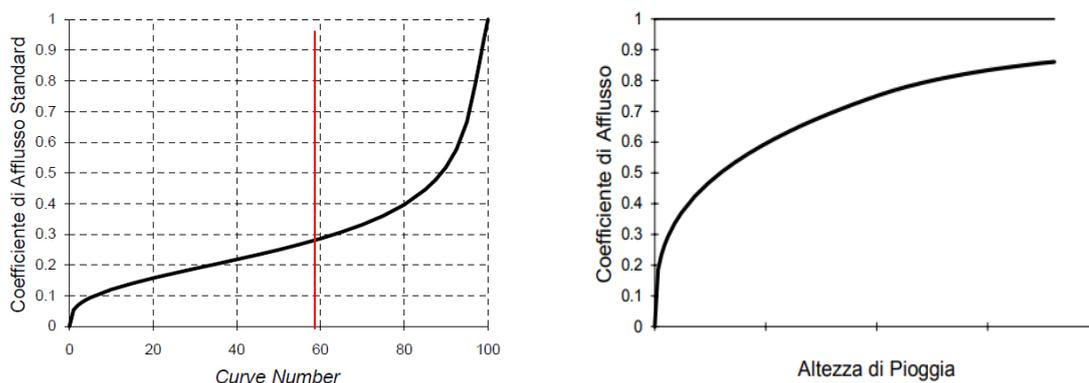


Figura 8.7: A sinistra, correlazione da letteratura SCS-CN vs. coeff. afflusso/deflusso. A destra, correlazione da letteratura Altezza di Pioggia vs. coeff. afflusso/deflusso

Il coefficiente di deflusso ante-operam è stato assunto pari a **0,28**.

8.5.2 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 12 metri. L'altezza in mezzera della struttura sarà di circa 0,65 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.

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 8.8.



Figura 8.8 - 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 0.38 (Tabella 8.7); di conseguenza, l'impermeabilità del sito risulterà incrementata del **37%**.

Tabella 8.7: Aree scolanti e caratteristiche di infiltrazione negli scenari ante-operam/post-operam.

TIPOLOGIA STRUTTURA	STATO DI FATTO	AREA [ha]	AREA MODULI [ha]	PERCENTUALE E MODULI SU AREA NETTA INSTALLAZIONE E PANNELLI	AREA DRY STIMATA DURANTE TILT PARI A 0° [ha]	PERCENTUALE AREA AVENTE EFFETTO POTENZIALMENTE DRY	COEFF. DEFLUSSO ANTE-OPERAM ASSUNTO	COEFF. DEFLUSSO POST-OPERAM STIMATO
TRACKER	Prevalentemente permeabile	87,61	25	0,29	12,73	0,15	0,28	0,38

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.

8.6 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:

$$Q_P = \phi \cdot \frac{i(T_0, t_c) \cdot A}{360}$$

Dove:

Q_P = portata critica (netta) [m³/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 come somma del tempo di entrata in rete più il tempo di rete.

Come mostrato in Tabella 8.8 lo stato post-operam mostra un incremento dei picchi di deflusso pari a direttamente proporzionale all'incremento del **37%** del coefficiente di deflusso nello scenario più critico di terreno saturo e posizione dei tracker orizzontale.

Tabella 8.8: Determinazione delle portate di progetto nello scenario ante- e post- operam.

	BACINO S1.1	BACINO S1.2	BACINO S2	BACINO S3.1	BACINO S3.2	BACINO S3.3	BACINO S4.1
S mq	6905,00	22275,00	4237,00	49931,00	4796,00	42230,00	5418,00
S (ha)	0,69	2,23	0,42	4,99	0,48	4,22	0,54
L_asta (m)	117	152	61	249	206	220	68
t_c (h)	0,28	0,28	0,26	0,30	0,29	0,30	0,26
h(60) (mm)	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47
h(t) (mm)	24,6	24,8	24,2	25,5	25,2	25,3	24,2
Intensità (mm/h)	89,4	88,0	91,9	84,2	85,8	85,3	91,6
coefficiente di deflusso ante operam	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
coefficiente di deflusso post Operam	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Portata al colmo ante-operam Q_{cr} (mc/s)	0,05	0,15	0,03	0,33	0,03	0,28	0,04
Portata al colmo post-operam Q_{cr} (mc/s)	0,07	0,21	0,04	0,45	0,04	0,38	0,05

	BACINO S4,2	BACINO S4,3	BACINO S4,4	BACINO S4,5	BACINO S5	BACINO S6,1	BACINO S6,2
S mq	7406,00	23889,00	8019,00	3674,00	42343,00	11058,00	65855,00
S (ha)	0,74	2,39	0,80	0,37	4,23	1,11	6,59
L_asta (m)	131	152	170	87	236	180	305



t_c (h)	0,28	0,28	0,29	0,27	0,30	0,29	0,32
h(60) (mm)	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47
h(t) (mm)	24,7	24,8	25,0	24,4	25,4	25,0	25,9
Intensità (mm/h)	88,8	88,0	87,3	90,7	84,7	86,8	82,2
coefficiente di deflusso ante operam	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
coefficiente di deflusso post Operam	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s)	0,05	0,16	0,05	0,03	0,28	0,07	0,42
Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s)	0,07	0,22	0,07	0,04	0,38	0,10	0,58

	BACINO S7	BACINO S8	BACINO S9,1	BACINO S9,2	BACINO S9,3	BACINO S9,4	BACINO S10,1
S mq	57605,00	52126,00	15912,00	149390,00	14308,00	34962,00	2414,00
S (ha)	5,76	5,21	1,59	14,94	1,43	3,50	0,24
L_asta (m)	234	315	265	790	311	263	99
t_c (h)	0,30	0,32	0,31	0,42	0,32	0,31	0,27
h(60) (mm)	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47
h(t) (mm)	25,4	26,0	25,6	28,9	26,0	25,6	24,5
Intensità (mm/h)	84,8	81,9	83,6	69,1	82,0	83,7	90,2
coefficiente di deflusso ante operam	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
coefficiente di deflusso post Operam	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s)	0,38	0,33	0,10	0,80	0,09	0,23	0,02
Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s)	0,52	0,46	0,14	1,10	0,13	0,31	0,02

	BACINO S10,2	BACINO S10,2	BACINO S10,3	BACINO S11,1	BACINO S11,2	BACINO S12,1	BACINO S12,2
S mq	23329,00	3243,00	15037,00	1458,00	77101,00	2665,00	23329,00
S (ha)	2,33	0,32	1,50	0,15	7,71	0,27	2,33
L_asta (m)	138	142	129	46	384	126	138
t_c (h)	0,28	0,28	0,28	0,26	0,33	0,28	0,28
h(60) (mm)	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47
h(t) (mm)	24,7	24,8	24,7	24,1	26,4	24,7	24,7
Intensità (mm/h)	88,5	88,4	88,9	92,6	79,6	89,1	88,5



	BACINO S10,2	BACINO S10,2	BACINO S10,3	BACINO S11,1	BACINO S11,2	BACINO S12,1	BACINO S12,2
coefficiente di deflusso ante operam	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
coefficiente di deflusso post Operam	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38
Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s)	0,16	0,02	0,10	0,01	0,48	0,02	0,16
Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s)	0,22	0,03	0,14	0,01	0,66	0,03	0,22

	BACINO S12,3	BACINO S13,1	BACINO S13,2	BACINO S14,1	BACINO S14,2	BACINO S15	BACINO SS13,1-E
S mq	12761,00	8508,00	32709,00	52380,00	12906,00	10655,00	79483
S (ha)	1,28	0,85	3,27	5,24	1,29	1,07	7,95
L_asta (m)	98	242	297	304	304	131	544
t _c (h)	0,27	0,30	0,31	0,31	0,31	0,28	0,35
h(60) (mm)	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	40,47	18,63
h(t) (mm)	24,4	25,5	25,9	25,9	25,9	24,7	13,6
Intensità (mm/h)	90,3	84,5	82,5	82,3	82,3	88,8	39
coefficiente di deflusso ante operam	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28	0,28
coefficiente di deflusso post Operam	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	0,38	[-]
Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s)	0,09	0,06	0,21	0,34	0,08	0,07	0,24
Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s)	0,12	0,08	0,29	0,46	0,11	0,10	[-]

	BACINO S13,2-E	BACINO S13,3-E
S mq	80547	33335
S (ha)	8,05	3,33
L_asta (m)	565,7	406,6
t _c (h)	0,35	0,33
h(60) (mm)	18,63	18,63
h(t) (mm)	13,7	13,3
Intensità (mm/h)	39	41



	BACINO S13,2-E	BACINO S13,3-E
coefficiente di deflusso ante operam	0,28	0,28
coefficiente di deflusso post Operam	[-]	[-]
Portata al colmo ante-operam Qcr (mc/s)	0,24	0,11
Portata al colmo post-operam Qcr (mc/s)	[-]	[-]

9. 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.

9.1 SISTEMA DI DRENAGGIO SUPERFICIALE DELL'AREA DI INTERVENTO

Attraverso l'analisi TauDEM rielaborata in ambiente GIS (come descritto nel paragrafo 8.4) 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.

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 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 9.1).

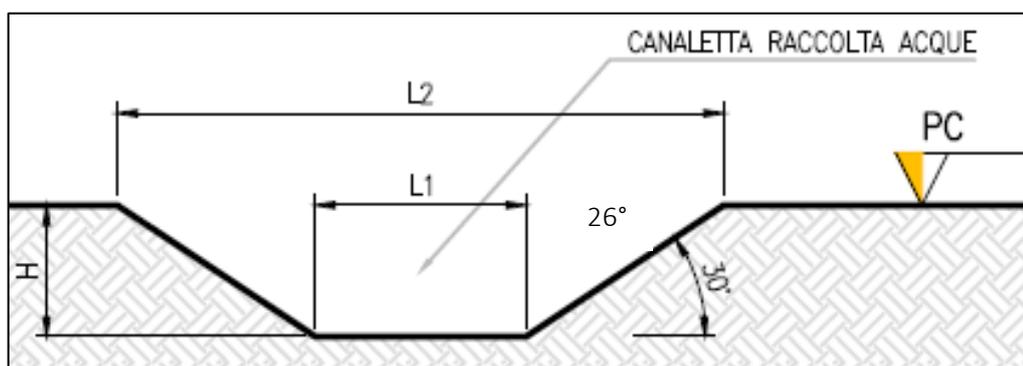


Figura 9.1: Sezione tipologica canaletta di drenaggio realizzata in scavo.

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

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.

9.1.1 Punti di scarico dei canali di drenaggio

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.

9.2 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 rinverdate 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 9.2 si riportano alcune immagini esemplificative dell'opera in oggetto.

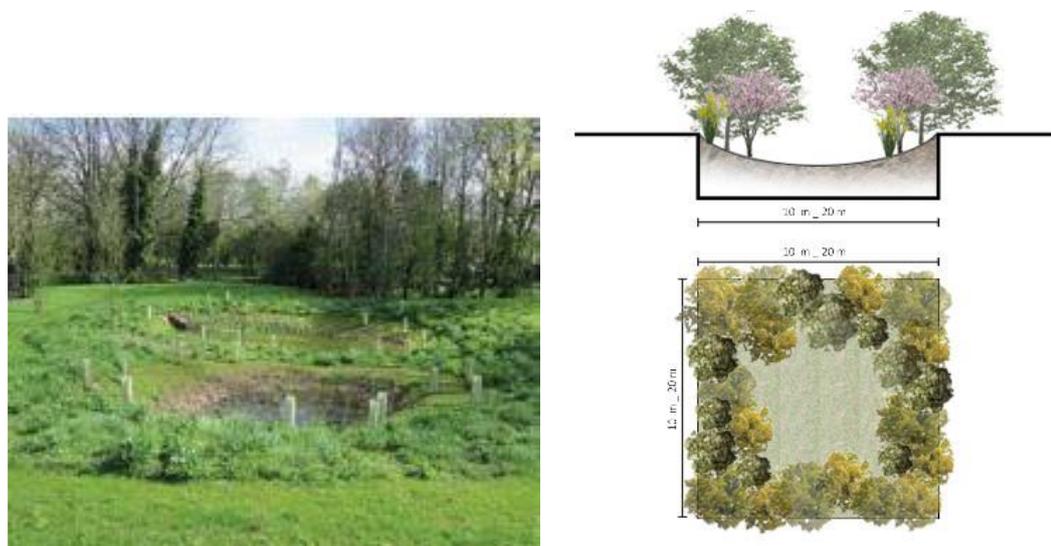


Figura 9.2: Immagini esemplificative di bacini

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 [m²].

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.

9.3 STIMA DEL VOLUME DI LAMINAZIONE E INFILTRAZIONE – BESS

In questo paragrafo si riportano le basi per il dimensionamento del sistema di drenaggio superficiale dell'area di intervento del sistema BESS.

Il dimensionamento si basa sullo studio idrologico delle precipitazioni precedentemente illustrato. Le LSPP sono la base per il calcolo del volume di laminazione e infiltrazione di ogni tipologia di cabinato utilizzato per il dimensionamento dei sistemi di drenaggio sostenibile.

I volumi di laminazione sono calcolati con il metodo delle sole piogge.

La Figura 9.3 riporta sulle ascisse i tempi (min) e sulle ordinate le portate specifiche per ettaro di superficie scolante (l/s ha) corrispondenti alla curva di possibilità pluviometrica prescelta e le portate (l/s) delle curve cronologiche degli afflussi, i cui vertici si collocano sulla curva di possibilità pluviometrica.

La pioggia con durata uguale al tempo di corrivazione t_c del bacino scolante determina un idrogramma triangolare, con portata massima proprio in corrispondenza del tempo t_c ; le piogge con durate inferiori determinano diagrammi di afflusso di forma trapezia, caratterizzati da portate al colmo inferiori, e volumi variabili.

Le aree tratteggiate degli idrogrammi sottese dalla retta orizzontale corrispondente alla portata Q_u ammessa allo scarico, rappresentano i volumi invasati nella vasca di laminazione in funzione della durata dell'evento meteorico.

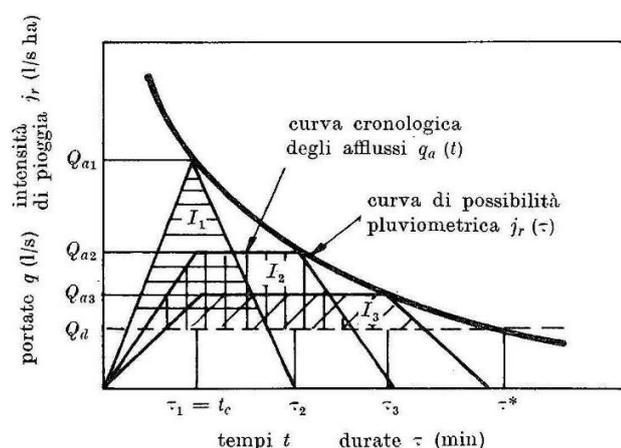


Figura 9.3: Determinazione del massimo invaso in base alle curve cronologiche semplificate degli afflussi e dei deflussi, con piogge di diversa durata

L'evento critico per il volume di invaso non è quindi quello che produce la massima portata al colmo, ma quello che sottende il maggiore volume su tutto lo sviluppo della sua durata.

Per la stima del volume di invaso per la laminazione è stato applicato il “metodo delle sole piogge”, il quale, attraverso le formulazioni analitiche di seguito esposte, consente di calcolare dapprima la durata critica D_w dell'evento che massimizza l'invaso e di conseguenza il volume di laminazione W_0 necessario.

$$D_w = \left(\frac{Q_{u,lim}}{2,78 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot n} \right)^{\frac{1}{n-1}}$$

$$W_0 = 10 \cdot S \cdot \varphi \cdot a \cdot D_w^n - 3,6 \cdot Q_{u,lim} \cdot D_w$$

Dove

W_0 volume di laminazione in [m³]

S è la superficie scolante impermeabile [m²]

a è il coefficiente pluviometrico orario in [mm/oraⁿ]

n è il coefficiente di scala

φ è il coefficiente di deflusso

D_w è la durata critica in [ore]

$Q_{u,lim}$ è la portata limite scaricabile in [l/s]

La portata limite scaricabile è assunta pari alla portata infiltrata nel terreno dalle opere disperdenti di progetto.

In fase preliminare, a vantaggio di sicurezza, si è utilizzato un coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10⁻⁵ m/s che dovrà essere verificato in fase di progettazione esecutiva, durante la quale si dovrà verificare la permeabilità del sito con delle prove in sito di Lefranc in numero adeguato all'area per una progettazione più accurata delle opere di laminazione e dispersione.

Il dimensionamento dei sistemi di infiltrazione/detenzione è stato condotto risolvendo l'equazione di continuità e la legge di Darcy.

Il dimensionamento è stato condotto al fine di garantire un'indipendenza idraulica con il sistema detenzione+infiltrazione per un tempo di ritorno pari a 30 anni.

Il dimensionamento della portata infiltrante è stato condotto secondo le linee progettuali di “Sistemi di Fognatura Manuale di Progettazione – HOEPLI” sulla base della legge di Darcy.

$$Q_f = k * J * A$$

Dove:

Q_f portata d'infiltrazione [m³/s];

k permeabilità (o coefficiente di permeabilità) [m/s];

J cadente piezometrica [m/m];

A superficie netta d'infiltrazione [m²].

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

Le aree scolanti sono state divise in 5 tipologie di cabinati con relativo dimensionamento delle opere di laminazione e dispersione.

L'approccio progettuale ha mirato alla distribuzione e all'inserimento di opere di drenaggio sostenibili al fine di creare un inserimento bilanciato e resiliente. Si è scelto l'utilizzo della trincea drenante come tipologia di opera di drenaggio sostenibile in particolare per la facilità di installazione, la non necessità di manutenzione e l'economicità.

Ogni tipo di cabinato scarica a gravità le acque meteoriche nella relativa trincea drenante che si svilupperà perimetralmente al cabinato stesso.

La trincea drenante prevede l'uso di geotessuto filtrante tra ghiaia e terra, con l'obiettivo di evitare intasamenti e garantire una migliore efficienza nel tempo. Il geotessuto sarà risvoltato anche superiormente, ma coperto da uno strato di 10 cm di ghiaia in modo da assicurare l'anti-intrusione del fine nel corpo drenante e al tempo stesso la compatibilità con l'estetica del territorio.

In Tabella 9.1 si riportano le dimensioni tipo per ogni tipologia di cabinato individuata e in Figura 9.4 si riportano, a titolo di esempio, la planimetria del cabinato BESS con la rispettiva trincea drenante ed una sezione di quest'ultima.

Tabella 9.1: Dimensioni trincee drenanti

TIPO CABINATO	LARGHEZZA TRINCEA, B [m]	ALTEZZA TRINCEA, h [m]
Container BESS	0,2	0,3
Cabina generale BESS	0,5	0,5
Container TAC TRAF0	0,3	0,3
Container PCS	0,2	0,2
Trasformatori MT/BT aux	0,2	0,3

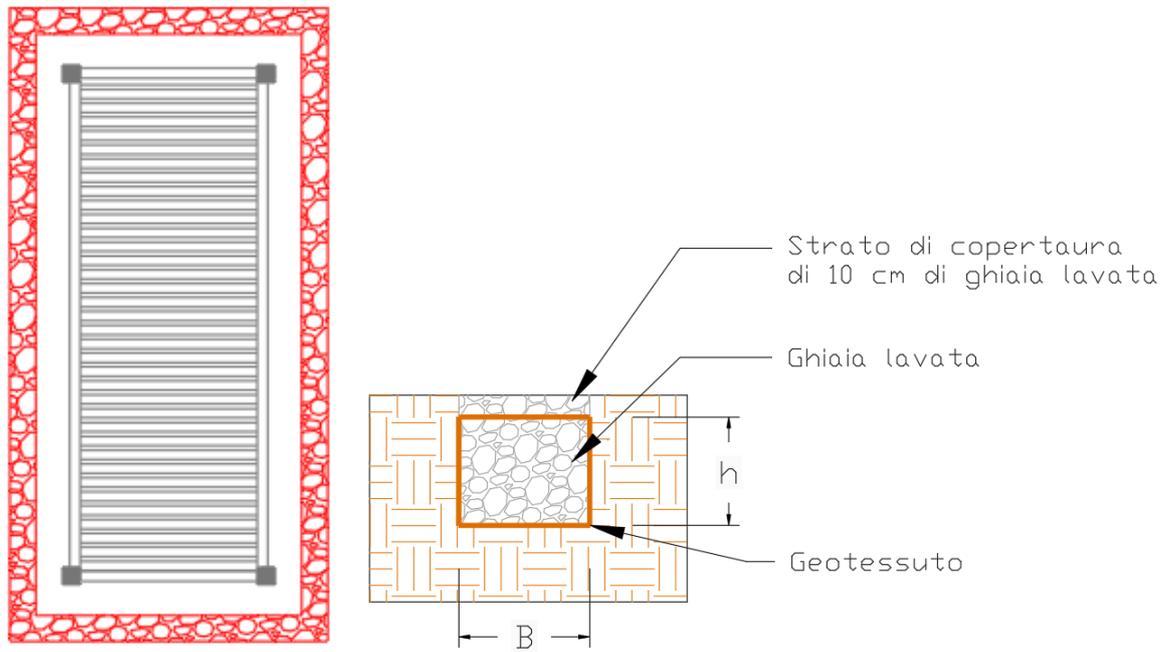


Figura 9.4: Stralcio planimetrico cabina BESS con trincea drenante a sinistra e sezione tipologica della trincea drenante a destra



10. 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 2022), nel Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF, aggiornato al 2022) e nel Piano di Gestione Rischio Alluvioni - PGRA, aggiornato al 2021).

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 del sistema BESS ha escluso la presenza di interferenze con le aree a pericolosità idraulica; sono invece state individuate interferenze con la linea di connessione.

Il presente studio, inoltre, ha messo a confronto lo scenario ante-operam e quello post-operam, ossia a seguito dell'installazione delle strutture, 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 37% .

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'interesse 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 rinverdite 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.

Anche per la gestione delle acque scolanti dalle cabine del sistema BESS si prevede l'utilizzo di opere di drenaggio sostenibile; si posizionano delle trincee drenanti in maniera perimetrale a ciascun cabinato in modo tale da renderlo idraulicamente indipendente.