



Comune di
Buddusò



Comune di
Alà dei Sardi

Regione Sardegna



PROGETTO PER LA REALIZZAZIONE DEL PARCO EOLICO "BUDDUSO' SUD II" NEL TERRITORIO DEI COMUNI DI BUDDUSO' E ALA' DEI SARDI (SS)

PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

AEI WIND PROJECT XIII S.R.L.

Via Savoia n. 78
00198 - Roma

PEC: aeiwindprojectxiii@legalmail.it



OGGETTO

03. STUDI IDROLOGICI - IDRAULICI

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

TIMBRI E FIRME



**STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI**

VIA ROSOLINO PILO N. 11 - 10143 - TORINO
VIA IS MAGLIAS N. 178 - 09122 - CAGLIARI
TEL. +39 011 43 77 242
studiorosso@legalmail.it
info@sria.it
www.sria.it

dott. ing. Roberto SESENNA
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.8530J
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C

dott. ing. Fabio AMBROGIO
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Torino
Posizione n.23B
Cod. Fisc. MBR FBA 78M03 B594K

dott. ing. Luca DEMURTAS
Ordine degli Ingegneri della Provincia di Cagliari
Posizione n.6062
Cod. Fisc. DMR LCU 77E10 E441L

CONSULENZA

Coordinatore e responsabile delle attività: Dott. ing. Giorgio Efsio DEMURTAS

Consulenza studi ambientali: dott. for. Piero RUBIU

SIATER s.r.l. VIA CASULA N. 7 - 07100 - SASSARI



Studio Gioed
VIA IS MIRRIONIS N. 178 - 09121 - CAGLIARI

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	GEN/2024
COD. LAVORO	630/SR
TIPOL. LAVORO	D
SETTORE	3
N. ATTIVITA'	-
TIPOL. ELAB.	RI
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	01
VERSIONE	0

REDATTO

ing. Gianluca COLOMBO

CONTROLLATO

ing. Luca DEMURTAS

APPROVATO

ing. Roberto SESENNA

ELABORATO

D.3.1

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO GENERALE	3
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO.....	3
2.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO.....	4
2.2.1 <i>Traiettorie delle masse d'aria e rilievi</i>	4
2.2.2 <i>Temperatura</i>	5
2.2.3 <i>Venti e pressione atmosferica</i>	6
2.2.4 <i>Umidità relativa ed evaporazione</i>	7
2.3 INQUADRAMENTO PLUVIOMETRICO.....	8
2.3.1 <i>Precipitazioni intense</i>	10
3. INQUADRAMENTO PIANIFICATORIO	13
3.1 PIANIFICAZIONE DI BACINO.....	13
3.2 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – P.A.I.	13
3.3 PIANO STRALCIO FASCE FLUVIALI – P.S.F.F.....	14
3.4 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI – P.G.R.A.	15
4.1 ARTICOLO 8 DELLE N.A. P.A.I.	17
5. COMPATIBILITÀ CON LE NORME DI ATTUAZIONE DEL PAI	18
6. INTERFERENZE DELLA VIABILITÀ OGGETTO DI INTERVENTO E DEL TRACCIATO DEL CAVIDOTTO CON LA RETE IDROGRAFICA	21
7. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI	27
7.1 BACINI IDROGRAFICI DI RIFERIMENTO.....	27
7.2 TEMPI DI CORRIVAZIONE DEI BACINI.....	28
7.3 DEFINIZIONE DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN.....	30
8. ANALISI IDROLOGICA	33
8.1 APPROCCIO METODOLOGICO.....	33
8.2 DEFINIZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO.....	33
8.2.1 <i>Metodologia PAI – Formula Razionale</i>	33
9. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO PER I DIVERSI BACINI IDROGRAFICI IN ANALISI	38
10. VERIFICA SPEDITIVA DELLE SEZIONI IDRAULICHE DEI NUOVI MANUFATTI	39

1. PREMESSA

Il presente elaborato è parte integrante del progetto definitivo relativo al parco eolico, denominato “BUDDUSÒ SUD II” in Comune di Buddusò e Alà dei Sardi (SS), e ne rappresenta la relazione idrologica – idraulica.

Il Parco Eolico si sviluppa nei territori comunali di Alà dei Sardi e Buddusò, nella provincia di Sassari; parte del cavidotto elettrico e la stazione utente di connessione alla linea elettrica nazionale ricadono nel territorio di Buddusò. Il progetto prevede l’installazione di 9 aerogeneratori del tipo SIEMENS GAMESA DG 6.6 – 170. Gli aerogeneratori hanno potenza nominale di 6,6 MW, per una potenza complessiva del parco eolico di 59,4 MW. L’altezza delle torri sino al mozzo (HUB) è di 155 m, il diametro del rotore è di 170 m, per un’altezza complessiva della struttura pari a 240 m. La Soluzione Tecnica Minima Generale elaborata prevede che la centrale venga collegata in antenna a 36 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) di trasformazione a 380/150/36 kV da collegare tramite un elettrodotto a 380 kV alla futura sezione 380 kV di Taloro e da raccordare alla linea 150 kV della RTN “Buddusò – Siniscola 2.

L’elaborato è finalizzato all’analisi delle interferenze del nuovo parco eolico e della nuova rete stradale di collegamento degli aerogeneratori con la rete idrografica esistente nell’area di intervento oltre che ad eventuali sottoservizi presenti, all’individuazione ed alla verifica idraulica delle necessarie opere di attraversamento.

Il reticolo idrografico considerato è quello reso disponibile dal servizio cartografico della Regione Sardegna. In particolare si precisa che tutti i corsi d’acqua che interessano il territorio su cui insistono le opere, appartengo ad n numero gerarchico di Strahler inferiore o pari a 3.

Ai sensi dell’art 30 ter delle Norme di Attuazione PAI “ *Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia*”, per i singoli tratti dei corsi d’acqua appartenenti al reticolo idrografico dell’intero territorio regionale di cui all’articolo 30 quater, per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall’asse, di profondità in funzione dell’ordine gerarchico del singolo tratto (10 m per ordine 1 e 25 m per ordine 2). Per le opere e per gli interventi da realizzare all’interno della fascia di cui al comma 1, 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 è obbligatorio solo per i tratti di ordine maggiore di due.

In ogni caso, come evidenziato nel dettaglio nel presente elaborato, tutti gli aerogeneratori saranno realizzati al di fuori delle fasce di rispetto dei corsi d’acqua presenti e i tratti di nuova viabilità interna al parco interessano la rete idrografica determinando delle interferenze le quali vengono superate tramite la realizzazione di nuovi attraversamenti adeguati in funzione del corso d’acqua in oggetto o adeguamento di opera esistente.

Tutti i punti di possibile interferenza con la rete idrografica sono stati censiti e riportati nella presente relazione per completezza, oltre che sugli elaborati grafici 3.2 – Carta del reticolo idrografico e delle interferenze idrauliche e 3.3 – Carta delle interferenze idrauliche e delle fasce di salvaguardia.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO

Il Parco eolico in progetto è ubicato nella Provincia di Sassari, all'interno dei territori comunali di Alà dei Sardi e Buddusò, in particolare a metà tra i due centri abitati, sviluppandosi poi verso Est, nel territorio delimitato a Ovest dalla Strada Provinciale 10m e dalla S.S. 389 e ad Est con il Parco di Coiluna, all'interno dell'ampio bacino idrografico del Rio Posada.

In linea generale il territorio è di natura granitica, con una morfologia di alta collina, caratterizzata da forme arrotondate proprie del batolite granitico della Gallura (grigio rosati), da versanti con forti pendenze e da una elevata presenza di roccia affiorante e pertanto si sviluppano negli anni diverse attività estrattive nella zona.

L'ubicazione geografica del Parco è riportata in Figura 1.

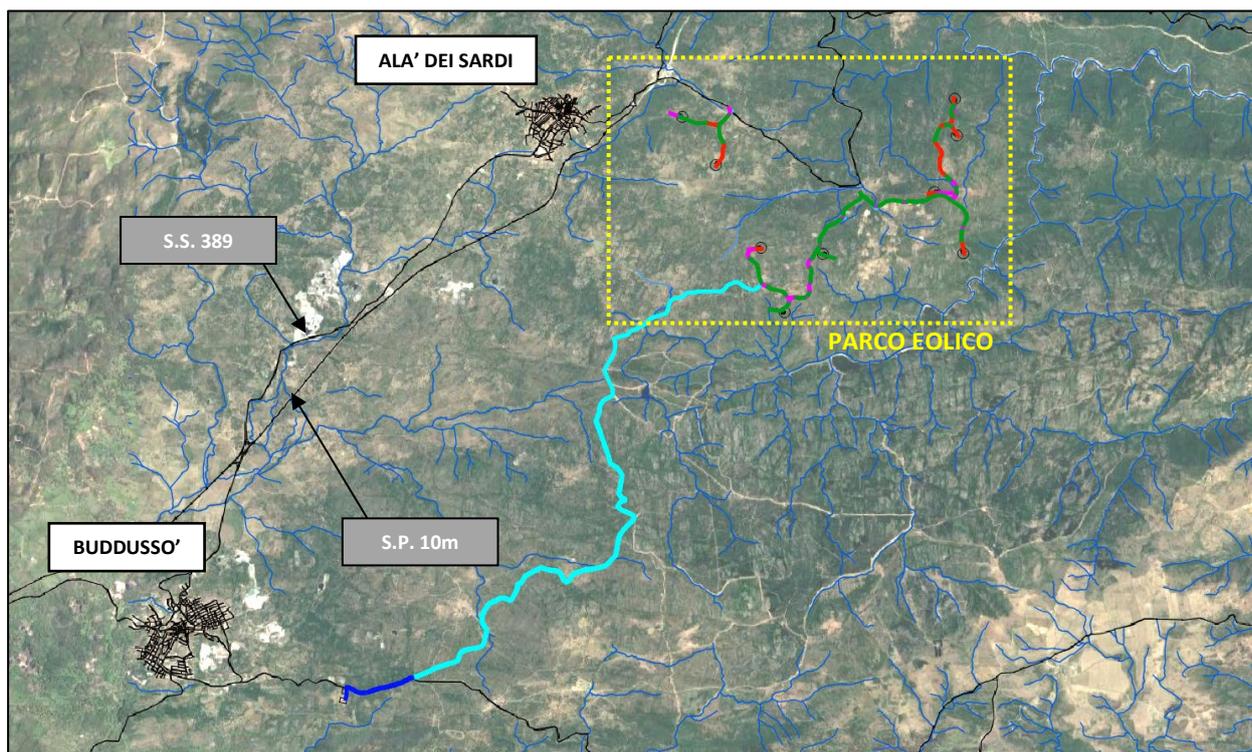


Figura 1 – Ubicazione del Parco Eolico nei territori comunali di Alà dei Sardi e Buddusò (SS).

Dal punto di vista idrogeologico, in questo territorio granitico le uniche manifestazioni idriche sono di tipo sorgentizio per fessura e sono caratterizzate da una scarsa portata media.

Il maggiore rilievo è rappresentato dal nodo di Toccoddele, alto m. 781 s.l.m., dal quale parte una vasta pianura situata ad una quota media di 700 m. s.l.m. La superficie ha comunque un andamento vario, con terreni in piano od in medio e/o forte pendenza con zona fortemente erose lungo le rive di corsi d'acqua.

Il posizionamento degli aerogeneratori, 9 in tutto, segue la disposizione riportata in Figura 1 e copre una distanza massima in linea d'aria tra la WGT 1 e la WGT 6 di ≈ 5 km. Il Parco eolico è costituito da 9 aerogeneratori, dalle relative pertinenze e dalla viabilità di accesso per la realizzazione e per la gestione del Parco, costituita da strade asfaltate comunali e piste/strade bianche, per lo più esistenti (da adeguare), e di nuovi tracciati necessari per consentire gli accessi ad alcuni aerogeneratori altrimenti non raggiungibili.

Nel dettaglio fanno parte dell'impiantistica i 8 aerogeneratori tipo SIEMENS GAMESA DG 6.6 – 170, con una potenza nominale di 6,6 MW, costituiti da rotore, navicella e sistemi elettromeccanici annessi, torre di supporto e relativi sistemi accessori. Ad essi, quali sistemi ausiliari e accessori, sono da aggiungere stelli, trasformatore principale, trasformatori ausiliari, pozzetti, cavidotti e fossa settica. Sono poi parte del Parco i fabbricati della stazione elettrica e degli uffici, la recinzione della stazione elettrica, la piattaforma di fondazione delle torri, le strade interne al parco, l'edificio di controllo e la cabina di media tensione.

2.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO

Il principale fattore di influenza sul clima della Sardegna è costituito dalla posizione geografica. L'isola si trova in piena area climatica mediterranea, tra il dominio dei venti occidentali e quello delle masse d'aria calda tropicali. Dal punto di vista climatico il bacino occidentale mediterraneo presenta condizioni particolari sia per la posizione, per la cintura di terre e rilievi che lo circondano ed infine per il contatto con l'Oceano e col deserto.

La Sardegna, la Corsica e le Baleari lo dividono in tre aree distinte, ciascuna delle quali possiede un proprio sistema di correnti marine, il cui ritmo d'insieme è regolato dal flusso delle acque oceaniche che si spostano da Gibilterra verso il Mediterraneo orientale, con spessore peraltro limitato dall'esigua profondità dello stretto. L'area nord-occidentale, compresa tra il massiccio sardo-corso, il rilievo pirenaico-catalano e le Alpi marittime, subisce l'influenza dell'Oceano e parimenti quella delle masse di aria fredda continentale attraverso le basse terre francesi. L'area meridionale, invece, riceve il flusso dell'aria oceanica attraverso lo stretto di Gibilterra e dell'aria tropicale attraverso l'Algeria e il deserto Libico. Delle tre aree, quella ligure-tirrenica appare la più chiusa e interna; protetta a Nord dalla catena alpina, comunica col settore meridionale del Mediterraneo attraverso il canale di Sicilia e lo stretto calabro-siculo. Gli scambi di masse d'aria vi si svolgono prevalentemente nel senso dei meridiani, tra il Mar Ligure e l'Africa del Nord.

2.2.1 Traiettorie delle masse d'aria e rilievi

Nel quadro climatico generale, è oltremodo considerato importante valutare la posizione della Sardegna in rapporto alle traiettorie dei cicloni e delle masse d'aria, i cui spostamenti stagionali determinano i tipi di tempo caratteristici del Mediterraneo occidentale. Quando in autunno e per tutto l'inverno, l'anticiclone siberiano ricopre la Regione balcanica e le alte pressioni si estendono sull'Africa dell'Atlante e sulla Spagna, sul bacino occidentale del Mediterraneo si originano, per l'elevata temperatura delle acque, delle aree di bassa pressione con minimi sul Tirreno, sul Mar Ligure e sul Mar di Sardegna. Richiamate da queste depressioni, masse di aria intermedia dall'Atlantico centro-settentrionale invadono il bacino occidentale del Mediterraneo, giungendo sulla Sardegna. Queste masse fredde subiscono però profonde trasformazioni nell'attraversare l'ampio tratto di mare

che circonda l'Isola: si accresce il loro contenuto di vapore acqueo, si eleva la temperatura negli strati più bassi e si attenua il loro carattere di masse organizzate; soltanto quando le incursioni perdurano per diversi giorni conservano il loro carattere di aria fredda e determinano un sensibile abbassamento della temperatura. L'aria fredda si riversa sulla Sardegna con prevalente direzione Sud. L'aria intermedia può anche affluire sull'isola da Sud-Ovest, attraverso lo stretto di Gibilterra. Altre masse fredde possono giungere sulla Sardegna da Est e da Nord-Est, propaggini dell'anticiclone dei Balcani.

Pertanto se la circolazione atmosferica sulla Sardegna è data da masse d'aria temperata umida africana, alle quali si accompagna sempre un lieve aumento della temperatura, si ha un peggioramento del tempo e un periodo di piogge più o meno lungo. All'afflusso di masse d'aria fredda settentrionali si collegano invece i periodi di bel tempo, durante i quali con atmosfera tersa e nebulosità minima si abbassa la media diurna della temperatura. Se poi la circolazione è data da masse d'aria mediterranea, cioè da masse di diversa origine che per aver sostato a lungo sul mare hanno acquistato caratteri mediterranei di umidità e di temperatura, si hanno giorni nuvolosi di moderata umidità e mite temperatura.

L'isola è manifestamente interessata dai cicloni che si spostano dalle Baleari al basso Tirreno seguendo la via del 40° parallelo, ma questa è la meno frequentata delle tre grandi traiettorie cicloniche del Mediterraneo occidentale. Ne consegue la relativa scarsità di precipitazioni di cui soffre la Sardegna, ove si pensi che le piogge vi sono portate quasi esclusivamente da queste perturbazioni del Mediterraneo settentrionale e neppure è interessata dalla importante via meridionale che attraversa l'Africa del Nord. Durante l'estate, mentre l'anticiclone si sposta verso Nord, l'aria tropicale invade il Mediterraneo portando elevate temperature e pressioni relativamente alte e livellate. Favorita dal forte riscaldamento del terreno, l'aria calda giunge sull'Isola con caratteristiche diverse di umidità e di temperatura a seconda della sua origine oceanica o continentale. L'aria tropicale continentale, di gran lunga prevalente, determina le punte massime della temperatura e quindi una notevole escursione tra il giorno e la notte.

Altri importanti fattori climatici sono legati alla insularità della regione ed alla breve distanza dal mare di tutti i punti del territorio, mentre la distanza dai continenti circostanti è notevole. La presenza e la distribuzione dei gruppi montuosi principali hanno pure notevole influenza; metà del territorio dell'Isola si trova compreso tra le isoipse di 0 e 300 metri e l'altitudine media è di soli 364 m s.l.m.

Si osserva ancora che, mentre si ha una diminuzione notevole della temperatura media per l'influenza dell'altitudine, altrettanto non si può dire per l'aumentare della latitudine. La posizione geografica e l'insularità sono i fattori generali del clima della Sardegna; all'orografia invece, che crea le diverse condizioni di esposizione, si devono i differenti valori che gli elementi climatici assumono nelle singole zone.

2.2.2 Temperatura

L'andamento annuo della temperatura dell'aria in Sardegna non presenta caratteri originali rispetto a quello di altri paesi mediterranei. L'isola risente appieno dell'evoluzione termica delle acque del Mediterraneo che, raggiungendo la temperatura massima nelle prime settimane dell'autunno e la minima in primavera, temperano

i freddi dell'inverno e mitigano i calori estivi. L'elevata temperatura della stagione invernale è la caratteristica più importante del clima: l'isoterma 10 °C in gennaio che taglia l'estremità di tutte le grandi penisole mediterranee, tocca pure la parte meridionale della Sardegna. In estate la temperatura è elevata e nei mesi di luglio e agosto tutta la Sardegna meridionale si trova compresa entro l'isoterma di 25 °C. Le temperature estive, nelle contrade costiere della Sardegna, eguagliano quelle che si registrano nella Penisola.

L'azione moderatrice del mare è ben manifestata nell'andamento delle temperature medie. Si verifica infatti il perdurare delle basse temperature invernali, ancora nei mesi di marzo e aprile nelle stazioni interne e montane, mentre in quelle costiere la media di questi mesi si approssima già ai 15 °C. Alla fine della primavera (giugno) si ha invece un incremento verso gli alti valori estivi, più spiccato nelle zone interne e più moderato lungo le coste.

L'escursione termica annua rivela la diversa entità dell'influenza del mare sulle singole zone: essa infatti, ha valori piuttosto bassi lungo le fasce costiere (13°-15°) e relativamente elevati nelle zone interne di sfavorevole esposizione (18-19°), ma, al di sopra dei 1000 m anche l'ampiezza dell'escursione termica annua diminuisce (a circa 15°). Come media generale per le zone costiere si può assumere il valore di 14.8° che si presenta come uno degli indici più bassi in tutto il Mediterraneo occidentale.

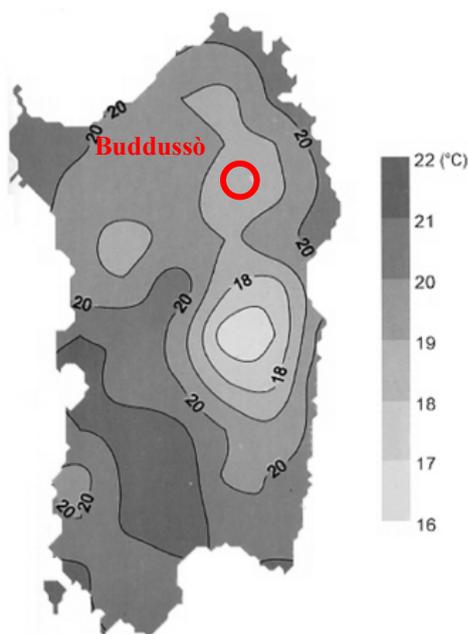


Figura 2 - Valore medio annuale della temperatura massima.

2.2.3 Venti e pressione atmosferica

Nell'ambiente climatico della Sardegna il vento ha una parte assai importante. Esso soffia infatti con altissima frequenza per il fatto che l'isola si trova lungo la traiettoria delle correnti aeree occidentali, che spirano dalle zone anticicloniche dell'Atlantico e dell'Europa di Sud-Ovest verso i centri di bassa pressione mediterranei. È di

notevole interesse constatare che la distribuzione dei valori di frequenza nei diversi settori d'orizzonte non presenta apprezzabili variazioni nei singoli anni; ciò è tanto più degno di nota se si tengono presenti i notevoli scarti dalla media che invece si registrano nell'andamento di altri elementi del clima, e in particolare nel regime delle precipitazioni. La predominanza dei venti occidentali in tutte le stagioni, la velocità media del vento quasi eguale in tutti i mesi, l'affermarsi del sistema di brezza lungo le coste regolarmente alla fine della primavera sono i fatti salienti di questo uniforme regime anemometrico.

Poiché la distribuzione della pressione nel Mediterraneo occidentale comporta la presenza di aree cicloniche costantemente centrate sui mari intorno alla Sardegna, la pressione si mantiene per tutto l'anno su valori molto bassi e non presenta variazioni mensili notevoli.

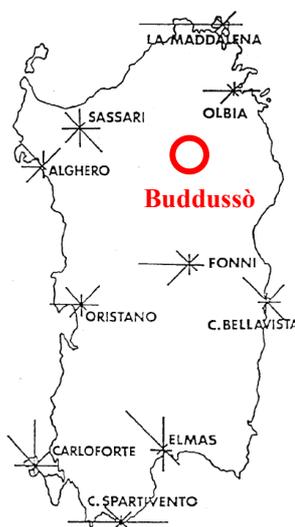


Figura 3 - Direzione di prevalente provenienza dei venti nelle varie località dell'Isola.

2.2.4 Umidità relativa ed evaporazione

Lo studio dell'umidità relativa si presenta di notevole interesse in quanto essa è determinata da un rapporto tra quantità di vapore e temperatura. Essa presenta dei valori notevolmente diversi nelle varie regioni e in periodi più brevi ha delle forti oscillazioni a seconda della natura e della provenienza delle masse d'aria che interessano l'isola. Per il basso indice di umidità e la notevole frequenza del vento, rare sono nell'isola le nebbie. Nelle stagioni piovose tuttavia si hanno delle nebbie nelle ore notturne in alcune zone di pianura, data la notevole irradiazione termica del terreno e lungo le coste, specie in prossimità degli stagni e dei fiumi. La formazione di queste nebbie è dovuta all'incontro di aria fredda incanalata dalle foci fluviali con aria calda stazionante sul mare. Al grado di umidità è collegato poi il valore dell'evaporazione. Sulla evaporazione dal terreno e dagli specchi d'acqua, come sulla traspirazione delle piante, ha inoltre grande influenza il vento, particolarmente in Sardegna, dove esso è assai frequente, e in misura tanto maggiore quanto più è secco e violento.

2.3 INQUADRAMENTO PLUVIOMETRICO

Le precipitazioni in Sardegna sono costituite quasi esclusivamente dalle piogge cicloniche che le depressioni barometriche apportano al loro passaggio; si verificano pertanto quando l'isola è interessata da tali perturbazioni, con punte massime nei periodi in cui le traiettorie cicloniche presentano la maggior frequenza lungo il 40° parallelo.

La Sardegna si trova sulla traiettoria dei cicloni una prima volta tra la fine dell'autunno e l'inizio dell'inverno (prima fase delle precipitazioni) ed una seconda volta tra la fine dell'inverno e l'inizio della primavera (seconda fase). Ne consegue una certa differenza tra la Sardegna e le regioni mediterranee meridionali riguardo all'andamento delle precipitazioni, appunto perché le depressioni attraversano il settore centrale e quello meridionale del Mediterraneo in periodi diversi dell'anno e con diversa frequenza.

La piovosità presenta le seguenti caratteristiche generali:

- notevoli scarti dalla media nei singoli totali annui;
- un elevato indice di intensità;
- una irregolare distribuzione stagionale.

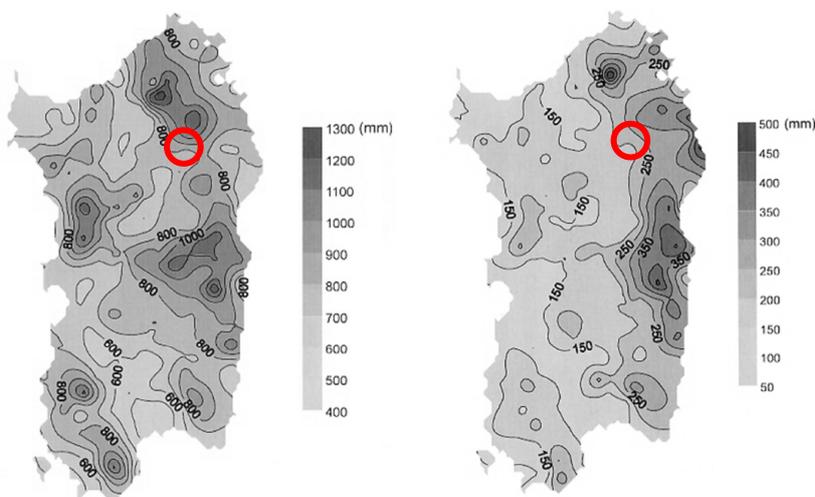


Figura 4 - Distribuzione spaziale (Valore medio annuale) della precipitazione e deviazione standard.

Gli scostamenti dalla media sono tali che la quantità di pioggia di qualche anno può superare il doppio della media o esserne inferiore della metà. Se scostamenti di tale entità non sono frequenti, scarti del 25% e del 30% si verificano in tutte le località e devono essere considerati come normali per il regime pluviometrico della Sardegna. Dallo studio della piovosità in rapporto all'altitudine risulta che nell'isola l'aumento delle precipitazioni con l'altezza del rilievo non obbedisce ad alcuna legge definita.

Dall'esame dei dati appare che la piovosità media annua segna un aumento costante ma non regolare dal livello del mare, dove le stazioni costiere registrano una media di 565 mm, fino ai 400 metri; nella fascia di 3-400 m la media è di 807 mm e tra le due zone di 2-300 m e 3-400 m si verifica l'incremento maggiore: 129 mm in 100 m.

A quote superiori a 1100 m si hanno anche abbondanti precipitazioni nevose: la copertura di neve ha durata media di 3 mesi nelle zone comprese tra 1200 e 1500 metri, di 5 mesi per quelle tra 1500 e 1800 metri. A quote inferiori, da 400 m (altitudine minima alla quale la neve cade in ogni singolo anno) fino a 1000 m, il manto di neve ha durata di pochi giorni o poche settimane. Non si hanno però dei dati precisi sulla durata e l'estensione della copertura nevosa.

La distribuzione spaziale media delle piogge nell'intera superficie dell'isola è indicata dalla carta delle isoiete costruita con le medie delle osservazioni disponibili. Ben chiaro appare dalla carta il contrasto fra le zone orientali e quelle occidentali. Nel versante occidentale un'ampia zona con piovosità inferiore ad 1 m all'anno si allunga da Nord a Sud, nel settore orientale in corrispondenza del Gennargentu si registrano livelli di piovosità compresi tra un metro ed un metro e mezzo l'anno, ed una ampia fascia con piovosità pari a circa 1 m l'anno. Poiché l'apporto delle precipitazioni non presenta apprezzabili aumenti tra i 500 e gli 800 m di altitudine, una notevole estensione presentano le zone comprese tra le isoiete di 750 e 1000 m.

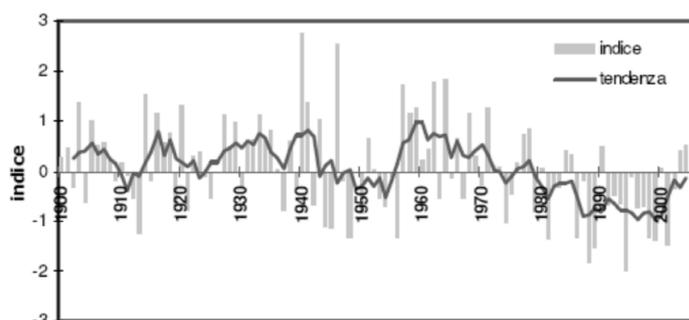


Figura 5 - Precipitazione in Sardegna dal 1900 al 2006 (SAR).

Riguardo agli eventi estremi, nella Tabella 1 si vede come sia interessante il dato di Uta ove, a dispetto della scarsa altitudine, ove è stato registrato nel 1961 un evento con una precipitazione totale di circa 400 mm.

Tabella 1 - Precipitazioni più intense registrate in Sardegna fra il 1951 e il 1971 (cumulata giornaliera).

STAZIONE	QUOTA [m]	DATA	PREC [mm]
Sicca d'Erba (Arzana)	825	16 ottobre 1951	544
Flumendosa (1° salto)	658	15 ottobre 1951	451
Monte Acuto	55	26 settembre 1971	450
Talana	682	17 ottobre 1970	434
Sa Teula Centrale	251	30 novembre 1968	432
Bau Mela	812	16 ottobre 1951	430
Muravera	19	26 settembre 1971	420
Genna Cresia	272	16 ottobre 1951	417
Sicca d'Erba (Arzana)	825	17 ottobre 1951	417
Genna Cresia	272	15 ottobre 1951	416
Pira Onni	870	17 ottobre 1951	408
Arzana	525	16 ottobre 1951	400
Uta	20	23 novembre 1961	400

2.3.1 Precipitazioni intense

Lo studio dei fenomeni intensi di precipitazione può considerarsi un argomento a parte rispetto a quelli fin qui citati, sia per la rilevanza che esso assume tra le altre caratteristiche climatiche della Regione che per i riscontri che implica in ambito ingegneristico nella funzionalità delle opere di interesse idraulico locale e regionale.

In generale, l'intensità oraria delle precipitazioni raggiunge in Sardegna punte ragguardevoli, legata al fatto che le precipitazioni sono spesso provocate da perturbazioni del fronte mediterraneo che si abbattano sulla Sardegna accompagnate da venti assai forti e le precipitazioni, generalmente in relazione col fronte freddo, hanno perciò carattere temporalesco e durata relativamente breve. Piogge violente a carattere di rovesci sono frequenti soprattutto nella prima fase della stagione piovosa (ottobre), quando possono verificarsi dei nubifragi che in poche ore danno non di rado 100-150 mm di pioggia, quantità che può rappresentare quindi una frazione cospicua delle precipitazioni dell'intera stagione invernale e del totale annuo.

La caratterizzazione dei regimi di precipitazione in orientale e occidentale è stata introdotta al fine di sintetizzare l'andamento delle piogge nell'Isola. Essa conseguentemente si riflette anche nel regime delle portate nei corsi d'acqua e tende a comprendere anche in zone limitate della regione che dal punto di vista geografico non sono necessariamente dislocate ad oriente o a occidente ma subiscono l'effetto dell'esposizione dei versanti del proprio territorio.

Tale classificazione, introdotta nel 1969 (Puddu) sulla base delle piogge intense registrate dalla rete pluviometrica dal 1922 al 1968, raggruppa le stazioni pluviometriche e dunque le località ricadenti nel territorio di influenza, in quattro distinti gruppi che si distinguono in relazione ad un assegnato intervallo di valori attribuiti alle medie e agli scarti delle varie durate di pioggia. Per ciascun gruppo è stata calcolata una equazione di possibilità climatica la quale esprime l'altezza di precipitazione probabile in relazione alla durata della pioggia. Nella classificazione le stazioni del terzo gruppo pluviometrico sono disposte nella fascia centro orientale dell'Isola ad eccezione di due casi nei quali le stazioni sono dislocate nelle zone montuose del Sulcis, mentre nel quarto gruppo sono comprese solo stazioni che giacciono nella fascia orientale, dove si verificano gli eventi più intensi.

Il 1951 fu un anno funesto per tutta l'Isola così come nel resto dell'Italia (nello stesso anno gli eventi tragici del Po e nel Polesine, allagamenti nelle Murge, nella regione alpina valanghe immense si abbattano su case e villaggi, l'Arno e il Reno in piena; nella Campania, l'Ofanto straripa con il Crati nel Cosentino, il Sinni e l'Agri in Basilicata mentre la Lucania è sepolta da 2 metri di neve). Se in Sardegna in quei giorni a Sicca d'Erba (in comune di Arzana) caddero circa 1500 mm, va segnalato che gli inverni dal 2004 al 2007 sono stati eccezionali per quanto concerne sia il numero che l'intensità degli eventi:

- nel 2004 a Villanova Strisaili, con 700 mm di pioggia
- nel Capoterrese si sono avuti 441 mm in 12 ore il 22 ottobre 2008.
- In Comune di Uta nel 2018 si sono registrate complessivamente precipitazioni pari a 465 mm nelle 24h.

Tali eventi sono stati innescati da piogge di intensità estrema aventi periodi di ritorno plurimillennari.

La media annuale, eseguita utilizzando i dati rilevati nella stazione pluviografica meteorologica di Alà dei Sardi, sita nelle vicinanze della zona di interesse, è eseguita dalle medie di 90 anni di osservazione (1920-2010), raggiunge i 846,6 mm.

Tabella 2 - Dati pluviometrici relativi alla stazione di Nuoro nel periodo 1920-2010

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Tot.
Media pluviometria (mm)	68	89.8	172.6	64.6	26.8	60.4	18.2	—	40.6	18.4	213	74.2	846.6

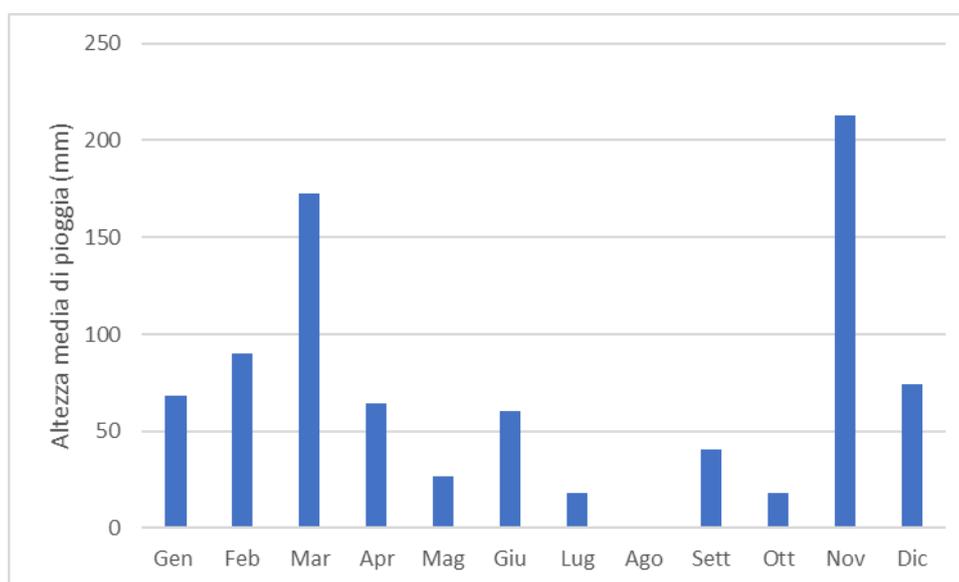


Figura 6 - Andamento medio mensile delle precipitazioni registrate in corrispondenza della stazione di Alà dei Sardi nel periodo 1920 - 2010.

I valori della temperatura minima, riferiti alla medesima stazione di Alà dei Sardi, mostrano valori minimi nei mesi di gennaio e febbraio, rispettivamente pari a 1 °C (cfr. Tabella 3).

Tabella 3 – Temperature minime relative alla stazione di Alà dei Sardi

	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic	Media
T minime mensili °C	9	10	13	16	21	26	29	29	25	20	14	10	18.5

Infine, nella tabella a seguire si riportano i valori delle temperature massime, riferiti alla medesima stazione pluviografica meteorologica di Nuoro.

Tabella 4 - Temperature massime relative alla stazione di Alà dei Sardi

	<i>Gen</i>	<i>Feb</i>	<i>Mar</i>	<i>Apr</i>	<i>Mag</i>	<i>Giu</i>	<i>Lug</i>	<i>Ago</i>	<i>Set</i>	<i>Ott</i>	<i>Nov</i>	<i>Dic</i>	Media
T massime mensili °C	1	1	3	5	9	13	15	15	13	9	5	2	7.6

3. INQUADRAMENTO PIANIFICATORIO

3.1 PIANIFICAZIONE DI BACINO

Nell'ambito della pianificazione del territorio la documentazione di riferimento è la seguente:

- *“Piano di Assetto Idrogeologico – Perimetrazione delle aree a rischio Idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”* relativo al sub-bacino n. 5 *“Posada - Cedrino”*, predisposti da specifico gruppo di lavoro rappresentato dall'ing. Roberto Chessa e guidato dal gruppo di coordinamento costituito dal dott. geol. Dovera, dal prof. ing. Marco Mancini e dal prof. ing. Marco Salis;
- *“Studi, indagini, elaborazioni attinenti all'ingegneria integrata, necessari alla redazione dello studio denominato progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF)”* – Sub Bacino 05: POSADA - CEDRINO.
- *“Piano di gestione del rischio di alluvioni – Relazione sulle mappe di pericolosità e rischio idraulico”*, aggiornamento per il secondo ciclo di pianificazione, approvato con Decreto del Presidente del Consiglio dei Ministri del 1° dicembre 2022.
- *Studio di compatibilità idraulica dell'intero territorio comunale ai sensi dell'art. 8 c. 2 delle Norme di Attuazione (N.A.) del P.A.I. previgenti al DPGR n.35 del 27.04.2018 approvato con Deliberazione del Comitato istituzionale dell'Autorità di bacino, n. 6 del 26.2.2021 (pubblicata sul B.U.R.A.S n. 12 del 12/03/2020), datato ottobre 2020.*

3.2 PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO – P.A.I.

Il Piano di Assetto Idrogeologico (PAI) ha individuato le aree a rischio per fenomeni di piena e di frana, secondo quanto previsto dalla Legge 267/98. Esso è parte costituente, insieme con gli altri Piani Stralcio, del più ampio Piano di Bacino secondo quanto previsto dalla legge 183/89.

Il P.A.I. è il risultato delle seguenti fasi:

- Predisposizione della *“Proposta di Piano”* nel giugno del 2001,
- Pubblicazione presso gli Enti Locali coordinata dal Genio Civile delle diverse Province;
- Conferenze programmatiche (ai sensi art. 1bis L. 365/2000) per la raccolta delle osservazioni al piano;
- Analisi e controdeduzioni delle osservazioni e loro integrazione nella stesura definitiva del Piano.
- Redazione del Piano.

Il Piano è stato redatto con la sinergia di sette gruppi di lavoro e di una commissione di coordinamento, i cui nominativi sono stati riportati in precedenza, con il supporto dei funzionari e tecnici dell'Assessorato ai Lavori Pubblici. Esso presenta le caratteristiche di approfondimento e di rappresentazione coerenti con l'ambito informativo territoriale e con gli indirizzi e prescrizioni della normativa a cui fa riferimento.

I singoli gruppi, ciascuno per ogni sub-bacino, hanno svolto quanto indicato nell'Atto di Indirizzo e Coordinamento di cui al DPCM del 29/09/1998, secondo le seguenti fasi:

- Fase 1: individuazione delle aree a rischio idrogeologico;
- Fase 2: perimetrazione delle aree a rischio e definizione dei criteri di salvaguardia;
- Fase 3: programmazione delle misure di mitigazione del rischio.

La Commissione di Coordinamento, allo scopo di rendere omogeneo il lavoro dei Gruppi, ha dapprima redatto il volume delle Linee Guida, in cui sono state indicate le metodologie e i criteri per svolgere le attività previste, e, successivamente, con un'azione di coordinamento continua, ha cercato di rendere omogenea l'attività di sub-bacino, sia nella fase di analisi della pericolosità idraulica e di frana, sia nella sintesi, consistita nella definizione delle aree a rischio e nella individuazione e quantificazione degli eventuali interventi di mitigazione.

Una metodologia di approccio omogeneo ha consentito un'analisi complessiva delle cause di pericolosità e un confronto dei risultati, rendendo possibile un utilizzo futuro, proprio nell'ottica del possibile aggiornamento delle aree a rischio in seguito alla realizzazione di interventi di mitigazione. Per tale motivo gli elaborati grafici redatti alla scala della Cartografia Tecnica Regionale sono stati preparati in formati digitali compatibili al sistema informativo esistente presso la Regione Sardegna (IFRAS).

Tra i risultati prodotti, oltre a quelli espressamente richiesti dal DL 180/98, è stata definita in maniera distinta anche la perimetrazione delle aree pericolose, nella convinzione che queste non solo fossero il passaggio nella definizione delle aree a rischio, bensì servissero come indicazioni guida ad interventi futuri. In questo modo, mentre la carta rappresentativa del tema "rischio" fornisce il quadro dell'attuale livello di rischio esistente sul territorio, la carta del tema "aree pericolose per fenomeni di piena o di frana" consente di evidenziare il livello di pericolosità che insiste sul territorio anche se non attualmente occupato da insediamenti antropici. Ciò allo scopo di prevenire un uso improprio del territorio in aree non sicure come ad esempio nuove aree di espansione dei centri abitati, attività turistiche in aree attualmente non occupate, nuove infrastrutture che purtroppo costituiscono la maggioranza di casi a rischio nell'attuale censimento.

3.3 PIANO STRALCIO FASCE FLUVIALI – P.S.F.F.

Il Piano Stralcio delle Fasce Fluviali è stato 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 PSFF 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.

Il Servizio del Suolo dell'Assessorato dei LL.PP. ha redatto le Linee Guida per la redazione del Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali approvate con Delibera di Giunta Regionale n.48/11 del 30.12.2003.

Il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 31.03.2011, ha adottato in via preliminare, ai sensi degli artt. 8 c.3 e 9 c.2 della L.R. n.19 del 6.12.2006, il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.), costituito dagli elaborati elencati alla delibera di adozione medesima.

Con Delibera n.1 del 23.06.2011, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna ha revocato la deliberazione del C.I. n. 1 del 31.03.2011, di adozione preliminare del P.S.F.F. e definito una nuova procedura per l'adozione e l'approvazione finale.

A seguito dello svolgimento delle conferenze preliminari istruttorie, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 03.09.2012 e con Delibera n.1 del 31.10.2012, ha adottato preliminarmente il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

A seguito dello svolgimento delle conferenze programmatiche, tenute nel mese di gennaio 2013, il Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino della Regione Sardegna, con Delibera n.1 del 20.06.2013, ha adottato in via definitiva il Progetto di Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.

La viabilità oggetto di intervento per la realizzazione del parco eolico in progetto non interessa corsi d'acqua fasciati nell'ambito del Piano Stralcio Fasce Fluviali.

3.4 PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO DI ALLUVIONI – P.G.R.A.

“Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni della Sardegna individua principalmente le misure gestionali e organizzative e gli interventi strutturali da realizzare nel breve termine, finalizzati a ridurre le conseguenze negative derivanti dalle alluvioni sulla salute umana, il territorio, i beni, l'ambiente, il patrimonio culturale e le attività economiche e sociali.

Il PGRA individua strumenti operativi e di governance (quali linee guida, buone pratiche, accordi istituzionali, modalità di coinvolgimento attivo della popolazione) finalizzati alla gestione del fenomeno alluvionale in senso ampio, ovvero nelle diverse fasi della prevenzione, della protezione e della preparazione, al fine di ridurre quanto più possibile gli effetti negativi cagionati dal verificarsi dell'evento.

Vengono considerati dal PGRA sia interventi strutturali (realizzazione di opere di mitigazione del rischio) sia misure non strutturali, e sono individuate le sinergie interrelazionali con le politiche di pianificazione del territorio e di conservazione della natura. In particolare, il PGRA è orientato al coordinamento delle politiche relative agli usi idrici e territoriali, in quanto tali politiche possono avere importanti conseguenze sui rischi di alluvioni e sulla gestione dei medesimi. In questo senso il PGRA costituisce uno strumento trasversale di raccordo tra diversi strumenti, di carattere pratico e operativo ma anche informativo, conoscitivo e divulgativo, per la gestione dei diversi aspetti organizzativi e pianificatori correlati con la gestione degli eventi alluvionali in senso lato.”

"La redazione delle mappe di pericolosità e rischio si basa, essenzialmente, sul lavoro ad oggi svolto dalle Autorità di Bacino valorizzando quanto contenuto nei vigenti PAI eventualmente integrati con successivi studi di aggiornamento. Le attività previste si possono così sintetizzare:

- 1. aggiornamento e/o revisione degli studi per la determinazione delle condizioni di **pericolosità idraulica** sui corsi d'acqua e gli ambiti territoriali che siano già contenuti nei vigenti PAI delle Autorità di Bacino afferenti ai corrispettivi Distretti Idrografici o che siano stati oggetto di approfondimenti/segnalazioni depositati presso gli enti istituzionalmente preposti;*
- 2. aggiornamento e/o revisione degli studi per la determinazione delle condizioni di **rischio idraulico** sui corsi d'acqua e gli ambiti territoriali che siano già contenuti nei vigenti PAI delle Autorità di Bacino afferenti ai corrispettivi Distretti Idrografici o che siano stati oggetto di approfondimenti/segnalazioni depositati presso gli enti istituzionalmente preposti;*
- 3. omogeneizzazione e organizzazione delle conoscenze sulla pericolosità e sul rischio idraulico dei corsi d'acqua e degli ambiti territoriali contenuti nei vigenti PAI delle Autorità di Bacino afferenti ai corrispettivi Distretti Idrografici;*
- 4. integrazione dei PAI vigenti per i corsi d'acqua e gli ambiti territoriali, ad oggi ancora non studiati o perimetrati, per i quali si è a conoscenza di conclamate situazioni di squilibrio idraulico. [...]*

Gli ambiti di studio e il reticolo idrografico di riferimento, faranno capo essenzialmente a quanto già riportato nei vigenti PAI, ovvero ai corsi d'acqua già oggetto di studi ed indagini e per i quali si è proceduto alla perimetrazione della pericolosità e del rischio, eventualmente ampliati con l'aggiunta di ulteriori tratti sede di recenti e documentati fenomeni di dissesto idraulico. [...]

Obiettivo del PGRA è rappresentare le aree potenzialmente interessate da alluvioni secondo scenari prestabiliti (così come previsto dal D.Lgs. 49/2010) indicando, laddove possibile ed in relazione al livello sviluppato a questo stato, le informazioni relative alla portata di piena, tiranti idrici e velocità di deflusso delle correnti.

Le problematiche principali risultano per lo più legate alla mancata coerenza dei tempi di ritorno adottati nell'ambito dei PAI già predisposti dalle varie Autorità di Bacino con gli intervalli di riferimento individuati dal D.Lgs. 49/2010 e nella mancata uniformità di rappresentazione di tiranti e velocità. Pertanto è necessario procedere per uniformare la rappresentazione delle classi di pericolosità, in relazione agli scenari riportati nell'art.6 del D.lg.49/2010, ai fini della redazione delle mappe in oggetto.

Al fine di giungere alla definizione di criteri omogenei , cui riferirsi per la rappresentazione delle classi di pericolosità, occorre ricordare che la stessa è funzione principalmente delle seguenti grandezze:

- tempo di ritorno ovvero il tempo medio tra due eventi calamitosi (cioè di intensità maggiore di un valore prefissato);*
- tirante idrico (h espresso in m) e velocità (v espresso in m/s).*

*Rispetto al **Tempo di ritorno** come è noto, il D.Lgs. 49/2010 considera tre scenari:*

- $20 \leq T \leq 50$ anni (alluvioni FREQUENTI – elevata probabilità di accadimento, P3);
- $100 \leq T \leq 200$ anni (alluvioni POCO FREQUENTI – media probabilità di accadimento, P2);
- $200 < T \leq 500$ anni (alluvioni RARE DI ESTREMA INTENSITA' – bassa probabilità di accadimento, P1)''.

4.1 ARTICOLO 8 DELLE N.A. P.A.I.

Conformemente a quanto disposto nell'articolo 6, comma 2, nel quadro di una attività continua di verifica, già all'avvio degli studi o delle istruttorie preliminari devono essere resi compatibili con il PAI, con le sue varianti adottate e con le sue norme di attuazione tutti gli atti di pianificazione, di concessione, autorizzazione, nulla osta ed equivalenti di competenza di Province, Comuni, Comunità montane ed altre pubbliche amministrazioni dell'ordinamento regionale della Sardegna relativi ad aree perimetrate con pericolosità idrogeologica.

Indipendentemente dall'esistenza di aree perimetrate dal PAI e tenuto conto delle prescrizioni contenute nei piani urbanistici provinciali e nel piano paesaggistico regionale relativamente a difesa del suolo, assetto idrogeologico, riduzione della pericolosità e del rischio idrogeologico, i Comuni, con le procedure delle varianti al PAI, assumono e valutano le indicazioni di appositi studi comunali di assetto idrogeologico concernenti la pericolosità e il rischio idraulico, in riferimento ai soli elementi idrici appartenenti al reticolo idrografico regionale, e la pericolosità e il rischio da frana, riferiti a tutto il territorio comunale o a rilevanti parti di esso, anche in coordinamento con gli altri Comuni confinanti. Gli studi comunali di assetto idrogeologico considerano, inoltre, il fenomeno delle inondazioni costiere, definiscono gli interventi di mitigazione e contengono anche le valutazioni afferenti agli studi dei bacini urbani di cui al comma 5 bis seguente.

Gli studi comunali di assetto idrogeologico sono redatti, in ogni caso, in sede di adozione di nuovi strumenti urbanistici generali e di varianti generali agli strumenti urbanistici generali vigenti non ancora dotati di studio di assetto. Le conseguenti valutazioni, poste a corredo degli atti di piano e oggetto di adozione preliminare della variante al PAI di cui al successivo articolo 37, costituiscono presupposto per sottoporre lo strumento urbanistico e la variante generale alla verifica di coerenza di cui all'articolo 31, comma 5 della legge regionale 22.4.2002, n. 7 (legge finanziaria 2002 e successive modificazioni e integrazioni)6 . Il presente comma trova applicazione anche nel caso di varianti automatiche agli strumenti urbanistici, espressamente previste dalla normativa di settore, regionale e statale, conseguenti all'approvazione di progetti [...].

5. COMPATIBILITÀ CON LE NORME DI ATTUAZIONE DEL PAI

In merito alla compatibilità degli interventi in progetto funzionali al superamento delle interferenze idrauliche, si riportano alcuni estratti delle N.A. del P.A.I. per quanto concerne le aree di pericolosità idraulica, in particolare, considerato che tutti gli attraversamenti previsti in progetto sono assimilabili alla “*categoria tombini*” (per gli aspetti di cui punti 5.1.2.3 e 5.2.1.2 “*compatibilità idraulica*”):

- Art. 21 – c.3 - Indirizzi per la progettazione, realizzazione e identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture

*nel rispetto della Circolare 21 gennaio 2019, n.7 C.S.LL.PP., per la tipologia dei tombini non è richiesta la redazione dello studio di compatibilità idraulica di cui al successivo articolo 24 e **PERTANTO NON È NECESSARIO IL PARERE DELL’AUTORITÀ DI BACINO.***

Inoltre:

- Art. 27 – c.3 - Disciplina delle aree di pericolosità idraulica molto elevata (Hi4)

In materia di infrastrutture a rete o puntuali pubbliche o di interesse pubblico, comprese le opere provvisorie temporanee funzionali agli interventi, nelle aree di pericolosità idraulica molto elevata sono consentiti esclusivamente:

(...)

***ebis.** gli interventi di ampliamento della piattaforma viaria di attraversamenti esistenti, a seguito di realizzazione di opere quali allargamento delle corsie e della banchina, realizzazione di marciapiedi e di corsie ciclabili anche in aggetto, con la prescrizione che non vi sia riduzione della sezione idraulica, che sia verificato il fatto che le nuove opere non determinino sul ponte possibili effetti negativi di tipo idrostatico e dinamico indotti dalla corrente e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di interventi di sostituzione totale e/o adeguamenti straordinari dell’attraversamento esistente; tali interventi sono ammissibili nel rispetto delle Norme tecniche per le costruzioni (NTC) di cui all’art. 52 del D.P.R. n. 380/2001 e delle relative circolari applicative, a condizione che sia redatta una relazione asseverata avente i contenuti tecnici di cui alla “Direttiva per lo svolgimento delle verifiche di sicurezza delle infrastrutture esistenti di attraversamento viario o ferroviario del reticolo idrografico della Sardegna né delle altre opere interferenti” 72 73 74;*

[...]

***h.** allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi a rete interrati lungo tracciati stradali esistenti, ed opere connesse compresi i nuovi attraversamenti; nel caso di condotte e di cavidotti **NON È RICHIESTO LO STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA** di cui all’articolo 24 delle presenti norme a condizione che, con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato, venga dimostrato che gli scavi siano effettuati a profondità limitata ed a sezione ristretta, comunque compatibilmente con le situazioni locali di*

pericolosità idraulica e, preferibilmente, mediante uso di tecniche a basso impatto ambientale; che eventuali manufatti connessi alla gestione e al funzionamento delle condotte e dei cavidotti emergano dal piano di campagna per una altezza massima di un metro e siano di ingombro planimetrico strettamente limitato alla loro funzione; che i componenti tecnologici, quali armadi stradali prefabbricati, siano saldamente ancorati al suolo o agli edifici in modo da evitare scalzamento e trascinarsi, abbiano ridotto ingombro planimetrico e altezza massima strettamente limitata alla loro funzione tecnologica e comunque siano tali da non ostacolare in maniera significativa il deflusso delle acque; che, nelle situazioni di parallelismo, le condotte e i cavidotti non ricadano in alveo né in area golenale; che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di opere di mitigazione del rischio idraulico;

altresì, non è richiesto lo studio di compatibilità idraulica di cui all'articolo 24 delle presenti norme qualora i suddetti interventi di allacciamenti a reti principali e nuovi sottoservizi utilizzino infrastrutture esistenti di attraversamento per le quali non è garantito il franco idraulico; i predetti interventi sono ammissibili a condizione che con apposita relazione asseverata del tecnico incaricato **venga dimostrato che non vi è riduzione della sezione idraulica**, che sia verificato il fatto che il posizionamento del cavidotto non determini sul ponte possibili effetti negativi di tipo idrostatico e dinamico indotti dalla corrente e che il soggetto attuatore provveda a sottoscrivere un atto con il quale si impegna a rimuovere a proprie spese tali elementi qualora sia necessario per la realizzazione di interventi di sostituzione totale e/o adeguamenti straordinari dell'attraversamento esistente.

➤ **Art. 30 ter – Identificazione e disciplina delle aree di pericolosità quale misura di prima salvaguardia**

1. Per i singoli tratti dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico dell'intero territorio regionale di cui all'articolo 30 quater, per i quali non siano state ancora determinate le aree di pericolosità idraulica, con esclusione dei tratti le cui aree di esondazione sono state determinate con il solo criterio geomorfologico di cui all'articolo 30 bis, quale misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, è istituita una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse, di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

ordine gerarchico (numero di Horton- Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50

2. Per le opere e per gli interventi da realizzare all'interno della fascia di cui al comma 1, 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.*
4. *Gli studi di cui al comma 2, laddove le aree da essi individuate siano più estese delle fasce di cui al comma 1, sono approvati con le procedure ordinarie di cui all'art. 51, comma 2, lett. a.5. delle presenti Norme e per le aree a pericolosità idraulica così determinate si applicano le relative norme di salvaguardia di cui all'art. 65, comma 7 del Decreto Legislativo n. 152/2006. Gli studi di cui al comma 2, laddove le aree da essi individuate siano inferiori delle fasce di cui al comma 1, sono approvati con le procedure specifiche di cui all'art. 51, comma 2, lett. c) delle presenti Norme e per le aree a pericolosità idraulica così determinate si applicano le relative norme del PAI.*
5. *Per le parti del territorio comunale diverse da quelle che possiedono significativa pericolosità idraulica ai sensi degli articoli 22 e 26 delle NA (quali a titolo esemplificativo le aree edificate, gli agglomerati industriali, commerciali e turistici e le aree con presenza di infrastrutture), gli studi previsti dall'articolo 8, commi 2, 2bis e 2 ter, possono prescindere dalle analisi idrauliche, confermando le sole aree di pericolosità di prima salvaguardia istituite ai sensi del precedente comma 1 e dalla redazione delle carte del rischio.*
6. *L'Autorità di bacino provvede, con sola funzione ricognitiva, a pubblicare sul sito istituzionale la rappresentazione cartografica dell'ordine gerarchico di cui al comma 1, rispetto alla quale i Comuni possono presentare al Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino, motivate proposte, previa deliberazione del Consiglio Comunale, di correzione e/o integrazione del reticolo idrografico e/o di riclassificazione del suddetto ordine gerarchico, in presenza nel reticolo idrografico di documentati errori cartografici, di elementi idrici non significativi quali gli effimeri, di situazioni di carsismo, di canali adduttori e/o di bonifica disconnessi dal sistema idrografico nonché di canali afferenti a sistemi stagnali e lagunari e delle saline. Le relazioni con cui i Comuni, nei casi previsti dalle presenti norme, asseverano l'assenza dei requisiti di significatività di elementi idrici del reticolo idrografico sono trasmesse, a fini ricognitivi, all'Autorità di Bacino.*

Nel caso in esame sono previsti 3 attraversamenti su corsi d'acqua di ordine gerarchico superiore a 2 (pari a 3 – interferenza V.2 – V.3 e V.5), tuttavia nel rispetto dell'art. 21 c.3 (Indirizzi per la progettazione, realizzazione e identificazione delle misure di manutenzione delle nuove infrastrutture) non è richiesta la redazione dello studio di compatibilità idraulica (attraversamento del tipo tombino con $Q_{200} < 50 \text{ m}^3/\text{s}$).

6. INTERFERENZE DELLA VIABILITA' OGGETTO DI INTERVENTO E DEL TRACCIATO DEL CAVIDOTTO CON LA RETE IDROGRAFICA

Nel presente paragrafo si analizzeranno le interferenze del tracciato stradale oggetto di interesse e del tracciato del cavidotto in progetto con la rete idrografica. A ciascuna interferenza è stato associato un codice alfanumerico identificativo così costituito:

Indicazione sulla tipologia di viabilità interessata:

- **C:** Interferenza con il reticolo idrografico lungo il tracciato del cavidotto in progetto;
- **V:** Interferenza con il reticolo idrografico lungo viabilità oggetto di adeguamento;
- **ACQ:** interferenza lungo la viabilità in progetto od al tracciato del cavidotto con il percorso della condotta dell'acquedotto.

ID univoco INTERFERENZA

C . 01

Con riferimento all'immagine riportata a seguire si analizzano le interferenze progredendo da ovest verso est inizialmente in relazione al tracciato del cavidotto in progetto. Le immagini seguenti fanno riferimento alla legenda riportata nella sottostante figura:

LEGENDA IDRAULICA

Simbologia	Descrizione delle opere
	A50: Tr = 2 - 50 ANNI - AREA PERICOLOSITA' H 4
	B100: Tr = 50 - 100 ANNI - AREA PERICOLOSITA' H 3
	B200: Tr = 100 - 200 ANNI - AREA PERICOLOSITA' H 2
	C: FASCIA GEOMORFOLOGICA - AREA PERICOLOSITA' H 1
	INTERFERENZA IDRAULICA RELATIVA AL TRACCIATO DEL CAVIDOTTO
	INTERFERENZA IDRAULICA RELATIVA ALLA VIABILITA' O VIABILITA' E CAVIDOTTO
	INTERFERENZA IDRAULICA RELATIVA ALLA VIABILITA' O VIABILITA' E CAVIDOTTO CON IL TRACCIATO DELLA CONDOTTA DELL'ACQUEDOTTO
	RETE IDROGRAFICA

Il tracciato di progetto del cavidotto è previsto inizialmente lungo la S.S. 389 dal lato della SSE, per poi proseguire lungo strade bianche sino all'ingresso nel parco eolico all'altezza della WTG 5 e WTG 6.

- **C. 1:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06050573 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.2:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (RIU SERCHE - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.

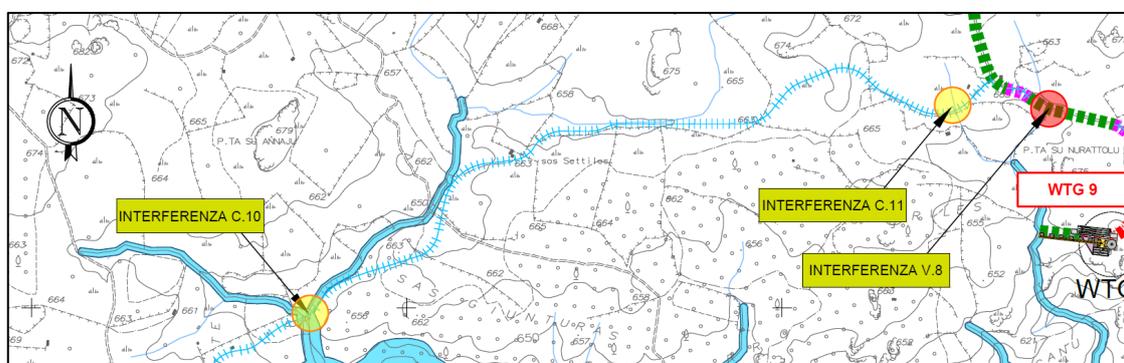
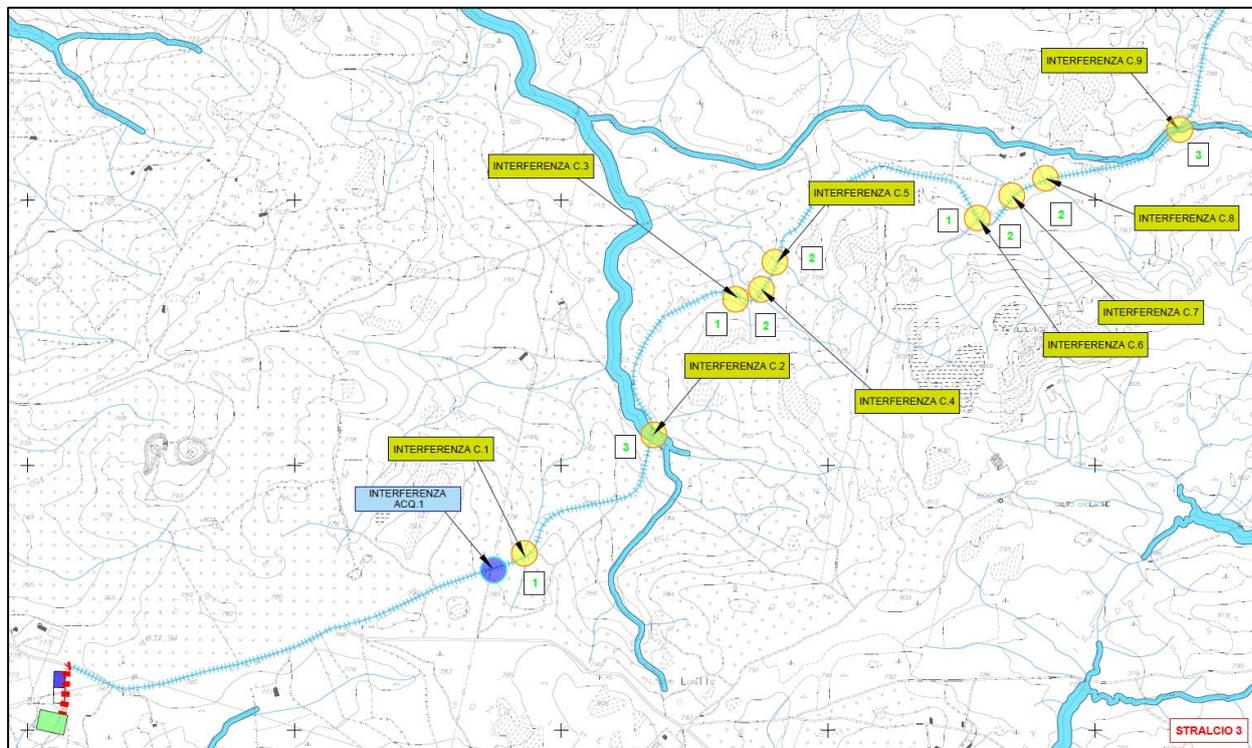


Figura 7 – Interferenze con la rete idrografica lungo il tracciato del cavidotto.

- **C.3:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06051174 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.4:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06051175 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.5:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06051292 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.6:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06051546 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.

- **C.7:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06051547 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.8:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06051702 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.9:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06051837 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.10:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06057236 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.11:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06058344 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.
- **C.12:** interferenza del tracciato del cavidotto con il reticolo idrografico secondario (FIUME_06061364 - numero di Strahler: 1). È previsto l'attraversamento in sub-alveo.

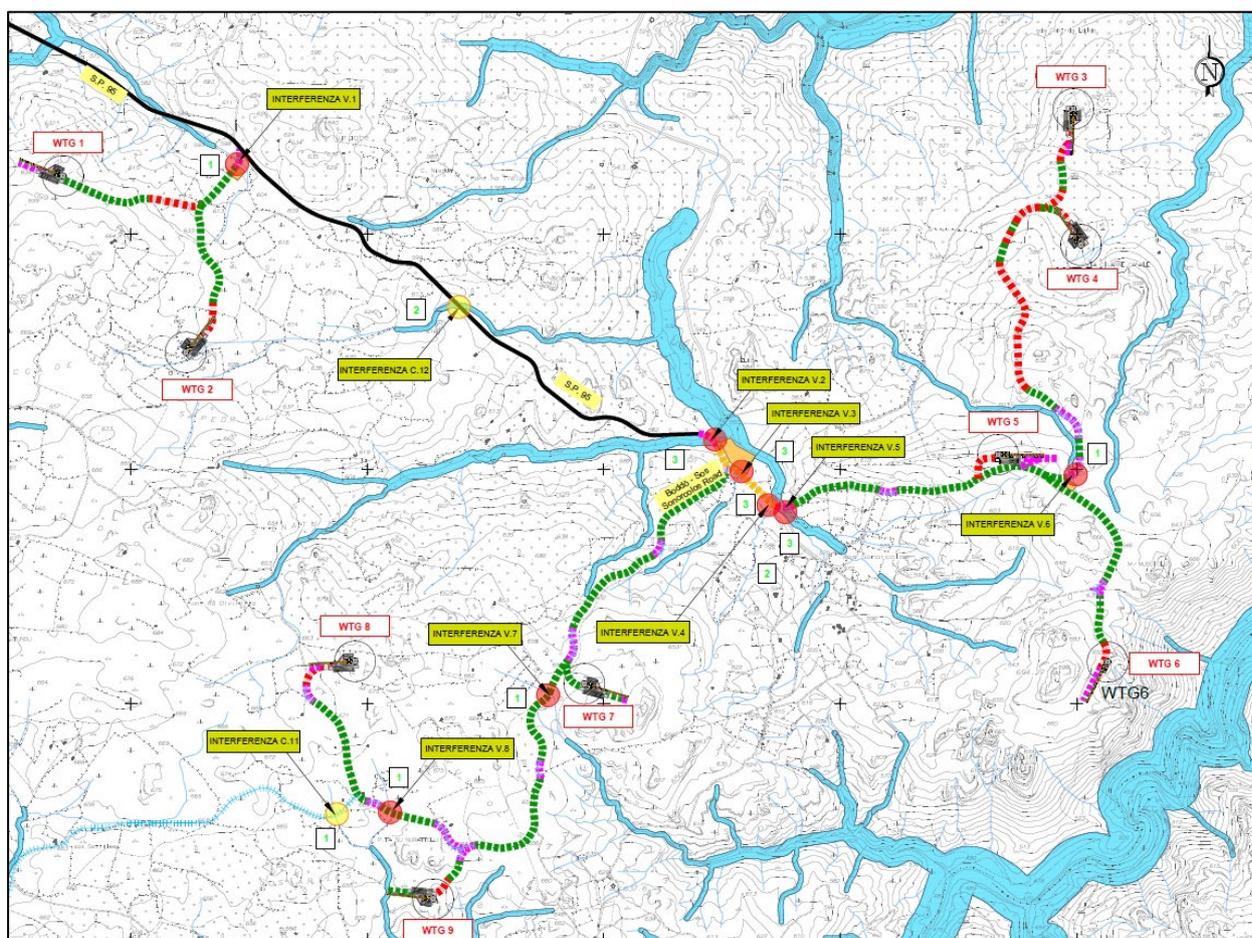


Figura 8 - Interferenze con la rete idrografica lungo la viabilità in progetto.

- **V.1:** Interferenza lungo viabilità di svincolo tra la S.P. 95 e la viabilità di collegamento con le WTG 1 e WTG 2 con reticolo idrografico secondario: FIUME_06062366 (Numero di Strahler: 1) il quale non risulta fasciato nel punto di interferenza.

Pertanto, in tale tratto di strada si prevede la realizzazione di un nuovo attraversamento asseribile alla classe di “tombino” di dimensioni adeguate (§ 10) ed il passaggio del cavidotto in sub-alveo.

- **V.2:** Interferenza lungo viabilità di svincolo tra la S.P. 95 e Boodò – Sos Sonorcolos Road con reticolo idrografico secondario: FIUME_06060458 (Numero di Strahler: 3) il quale non risulta fasciato nel punto di interferenza.

Pertanto, in tale tratto di strada si prevede il prolungamento temporaneo dell’attraversamento esistente mantenendo inalterata la sezione dello stesso ed il passaggio del cavidotto in sub-alveo.

- **V.3:** Interferenza lungo viabilità superato lo svincolo per la strada Boodò – Sos Sonorcolos Road con reticolo idrografico secondario: FIUME_06060339 (Numero di Strahler: 3) il quale non risulta fasciato nel punto di interferenza.

Pertanto, in tale tratto di strada si prevede la realizzazione di un nuovo attraversamento asseribile alla classe di “tombino” di dimensioni adeguate (§ 10) ed il passaggio del cavidotto in sub-alveo.

- **V.4:** Interferenza lungo viabilità superato lo svincolo per la strada Boodò – Sos Sonorcolos Road con reticolo idrografico secondario: FIUME_06060034 (Numero di Strahler: 2) il quale non risulta fasciato nel punto di interferenza.

Pertanto, in tale tratto di strada si prevede la realizzazione di un nuovo attraversamento asseribile alla classe di “tombino” di dimensioni adeguate (§ 10) ed il passaggio del cavidotto in sub-alveo.

- **V.5:** Interferenza lungo viabilità di accesso all’aerogeneratore WTG 5 per poi procedere verso il WGT 4 e WTG 3 con reticolo idrografico secondario: FIUME_06060035 (Numero di Strahler: 3) il quale risulta fasciato solamente nel tronco a cavallo dell’attraversamento, e pertanto si intende che lo stesso non risulti verificato idraulicamente.

Pertanto, In tale tratto di strada si prevede la realizzazione di un nuovo attraversamento asseribile alla classe di “tombino” di dimensioni adeguate (§ 10) ed il passaggio in sub – alveo del cavidotto.

- **V.6:** Interferenza lungo viabilità sterrata di accesso all’aerogeneratore WTG 4 sulla medesima viabilità di collegamento con il WGT 3, con reticolo idrografico secondario: FIUME_06060670 (Numero di Strahler: 1) il quale non risulta fasciato nel punto di interferenza individuato ed inoltre l’asta idrografica del reticolo ufficiale non viene intercettata direttamente poiché dalla cartografia risulta seppur di poco più a valle, tuttavia per continuità idraulica viene previsto in progetto un nuovo attraversamento.

In tale tratto di strada sono previsti lavori di adeguamento della viabilità esistente da mantenere anche durante le fasi successive al cantiere ed in particolare è prevista la realizzazione di una nuova viabilità.

Pertanto si prevede comunque la realizzazione di un nuovo attraversamento asseribile alla classe di “tombino” di dimensioni adeguate (§ 10).

- **V.7:** Interferenza lungo viabilità di collegamento con le WTG 9 e WTG 8 poco dopo lo svincolo per la WTG 7, con reticolo idrografico secondario: FIUME_06059063 (Numero di Strahler: 1) il quale non risulta fasciato nel punto di interferenza.

Pertanto, in tale tratto di strada si prevede la realizzazione di un nuovo attraversamento asseribile alla classe di “tombino” di dimensioni adeguate (§ 10) ed il passaggio del cavidotto in sub-alveo.

- **V.8:** Interferenza lungo viabilità di collegamento con la WTG 8 poco dopo lo svincolo per la WTG 9, con reticolo idrografico secondario: FIUME_06058511 (Numero di Strahler: 1) il quale non risulta fasciato nel punto di interferenza.

Pertanto, in tale tratto di strada si prevede la realizzazione di un nuovo attraversamento asseribile alla classe di “tombino” di dimensioni adeguate (§ 10) ed il passaggio del cavidotto in sub-alveo.

Infine, il tracciato del cavidotto presenta una intersezione con il tracciato di una condotta acquedottistica esistente la quale presenta indicativamente direzioni N-S.

In via cautelativa e preventiva, si segnala qui il punto interessato dalla suddetta intersezione, la cui interferenza però sarà da valutare in fase esecutiva verificando effettivamente la profondità reale della suddetta condotta e adottando di conseguenza l'ideale soluzione progettuale.

In particolare si prevede il superamento di tale interferenza tramite scavo in trincea o TOC in funzione dell'effettiva profondità della suddetta condotta. Il punto individuato è così identificato:

- **ACQ.1:** Interferenza lungo il tracciato del cavidotto su strada bianca esistente verso la SSE.

Riassumendo, non sono previsti interventi sugli attraversamenti che vadano a modificare l'interferenza con i corpi idrici esistenti, laddove non esiste un manufatto ed in progetto è prevista la realizzazione di una nuova viabilità, viene previsto contestualmente la realizzazione di una nuova opera di attraversamento di sezione adeguata e del tipo “tombino” (con portata di piena TR 200 < 50 mc/s date le piccole dimensioni dei bacini idrografici di ordine 1 o 2), caratterizzato da un tubolare o da uno scatolare.

La sezione minima da adottare relativamente alla suddetta opera è discussa al successivo capitolo (cfr. §10).

Per quanto concerne il cavidotto elettrico che si sviluppa lungo il tracciato delle strade, come specificato dalla Norma di Attuazione PAI art. 27, non sono previsti studi di compatibilità idraulica, in quanto si garantisce un ricoprimento minimo di un metro tra il piano campagna e l'estradosso del cavidotto.

Nella tabella a seguire si riporta un quadro riassuntivo della totalità delle interferenze individuate:

Tabella 5 – Quadro riassuntivo delle interferenze individuate con la rete idrografica.

INTERFERENZA	INTERVENTI PREVISTI
C.1	Attraversamento in sub-alveo
C.2	Attraversamento in sub-alveo
C.3	Attraversamento in sub-alveo
C.4	Attraversamento in sub-alveo
C.5	Attraversamento in sub-alveo
C.6	Attraversamento in sub-alveo
C.7	Attraversamento in sub-alveo
C.8	Attraversamento in sub-alveo
C.9	Attraversamento in sub-alveo
C.10	Attraversamento in sub-alveo
C.11	Attraversamento in sub-alveo
C.12	Attraversamento in sub-alveo
V.1	Realizzazione di nuovo tombino di attraversamento e cavidotto in sub - alveo
V.2	Prolungamento attraversamento esistente e cavidotto in sub - alveo
V.3	Realizzazione di nuovo tombino di attraversamento e cavidotto in sub - alveo
V.4	Realizzazione di nuovo tombino di attraversamento e cavidotto in sub - alveo
V.5	Realizzazione di nuovo tombino di attraversamento e cavidotto in sub - alveo
V.6	Realizzazione di nuovo tombino di attraversamento e cavidotto in sub - alveo
V.7	Realizzazione di nuovo tombino di attraversamento e cavidotto in sub - alveo
V.8	Realizzazione di nuovo tombino di attraversamento e cavidotto in sub - alveo
ACQ.1	Scavo in trincea o TOC in funzione dell'effettiva profondità della condotta

7. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEI BACINI IDROGRAFICI

7.1 BACINI IDROGRAFICI DI RIFERIMENTO

L'analisi idrologica è finalizzata alla stima delle portate di progetto in merito ai bacini rappresentati in Figura 9.

L'estensione di ciascun bacino è stata tracciata sulla base della più aggiornata base cartografica possibile (DBGT 10K) e tramite l'ausilio del DTM a maglia 10m x 10m messo a disposizione dalla Regione Sardegna.

Le sezioni di chiusura sono state imposte nei punti di interferenza relativi alla viabilità, sia temporanea che permanente, per la quale è prevista la realizzazione di un nuovo attraversamento, e sono così individuati:

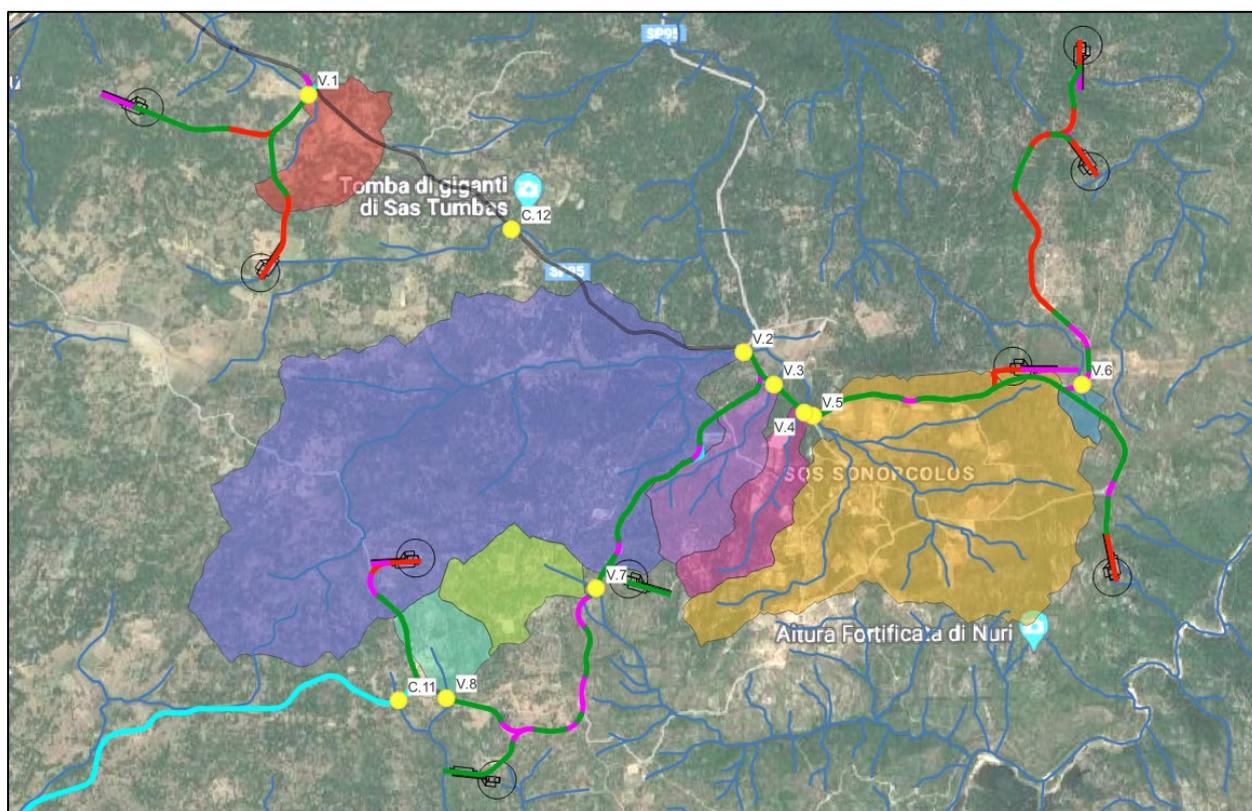


Figura 9 – Rappresentazione dei bacini idrografici in analisi oggetto di studio su scala territoriale generale;

I bacini idrografici in analisi si sviluppano nella zona forestale di Crastazza e del Parco di Coiluna tra pianori e rilievi collinari posti su altitudini comprese mediamente tra 600 e 700 m s.l.m. circa. Di architettura sostanzialmente boschiva, l'area è circondata da querce da sughero, lecci, roverelle e formazioni granitiche.

L'area appartiene al bacino idrografico del Rio Altana e del Rio Mannu affluente del fiume Coghinas.

Si sono preliminarmente calcolate le estensioni dei 3 bacini rappresentati e successivamente si è proceduto all'approfondimento idrologico del maggiore tra gli stessi, analizzando la superficie dal punto di vista

geomorfologico e litologico andando a definire i parametri necessari alla stima delle portate di piena ad assegnato tempo di ritorno. Nello specifico, le superfici relative ai suddetti bacini sono le seguenti:

Tabella 6 - Bacini idrografici sottesi ai punti di interferenza individuati.

IDENTIFICATIVO CORPO IDRICO	CODICE INTERFERENZA	SUPERFICIE BACINO SOTTESO [kmq]
FIUME_06062366	V.1	0.22
FIUME_06060458	V.2	2.57
FIUME_06060339	V.3	1.63
FIUME_06060034	V.4	0.19
FIUME_06060035	V.5	1.42
FIUME_06060670	V.6	0.04
FIUME_06059063	V.7	0.21
FIUME_06058511	V.8	0.13

Tra i suddetti si è proceduto all'analisi idrologica del bacino sotteso al punto di interferenza denominato V.3, maggiore per estensione, le cui caratteristiche geomorfologiche principali sono le seguenti:

Tabella 7 – Principali caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici oggetto di studio.

BACINO	Superficie	Perimetro	Lunghezza asta	Quota iniziale	Quota testa bacino	Quota sezione chiusura	Quota media bacino	Differenza di quota asta	Pendenza asta	Pendenza versanti
	[kmq]	[km]	[km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m]	[m/m]	[m/m]
FIUME_204244 - V.1	2.57	8.2	2.7	667.07	680.0	555.00	617.5	112.1	0.041	0.04

7.2 TEMPI DI CORRIVAZIONE DEI BACINI

In molte schematizzazioni delle trasformazioni afflussi-deflussi s'introduce l'ipotesi che il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino scorrendo in superficie sia una costante che dipende soltanto dalla posizione del punto in cui è caduta e dalle caratteristiche morfologiche del bacino.

Pur essendo un'assunzione che presenta notevoli limiti, risulta comunque molto utile nella pratica progettuale in quanto, a prescindere dal metodo scelto per la determinazione della portata di piena, fornisce con calcoli relativamente semplici un'indicazione sul comportamento idrologico del bacino in studio.

Il tempo di corrivazione è il tempo impiegato da una particella d'acqua per raggiungere la sezione di chiusura del bacino, per cui ad ogni punto della zona esaminata corrisponde un valore del tempo di corrivazione. Un punto particolare è quello idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, che rappresenta il contributo "ultimo" del deflusso superficiale. Il tempo di corrivazione di questo punto, che è il tempo impiegato da una particella d'acqua per percorrere l'intera superficie del bacino, dall'origine alla sezione di chiusura, e che risulta il maggiore tra quelli dei diversi punti del bacino, prende il nome di *tempo di corrivazione del bacino*.

Quindi, per il bacino esaminato si può determinare il tempo di corrivazione T_c corrispondente, tenendo conto che dipende da numerosi fattori che possono essere elencati nel modo seguente:

- parametri relativi alla topografia e alle caratteristiche planimetriche del bacino, come la superficie, la lunghezza e la pendenza dell'asta principale, la larghezza media del bacino, la distanza del baricentro del bacino dal punto idraulicamente più lontano dalla sezione di chiusura, la pendenza media dei versanti;
- parametri che definiscono le caratteristiche della rete idrografica quali la densità della rete, la capacità d'invaso nella rete e in bacini naturali e artificiali, le scabrezze degli alvei;
- parametri relativi alla copertura vegetale che definiscono la maggiore o minore presenza di boschi, pascoli, seminativi o altra destinazione d'uso del suolo;
- parametri relativi alle caratteristiche geologiche e fisiche del suolo quali la permeabilità e la capacità di trattenuta dell'acqua.

Vista la notevole difficoltà a considerare tutti questi parametri, il tempo di corrivazione si stima in genere utilizzando formule che derivano dall'analisi di molti casi reali e che esprimono il legame mediamente esistente tra il tempo di corrivazione e alcune altre grandezze caratteristiche del bacino e di facile determinazione.

Nel seguito si riportano le formulazioni utilizzate dagli scriventi per il calcolo del tempo di corrivazione maggiormente rappresentative dei bacini idrografici in esame.

1. La formulazione di *Pasini* per bacini di superficie < 40 km²:

$$T_c = 0,108 \cdot \frac{\sqrt[3]{S \cdot L}}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

S = superficie del sottobacino (Km²);

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

i_f = pendenza caratteristica dell'asta principale (m/m);

2. La formulazione di *Giandotti* modificata da *Aronica e Paltrinieri* (per bacini < 10 km²):

$$T_c = \frac{1}{0.8 \cdot \sqrt{H_m}} \cdot \sqrt{S} + 1.5 \cdot L$$

dove:

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

S = superficie del sottobacino (Km²);

H_m = quota media sulla sezione di chiusura (m);

e dove M e d sono costanti numeriche che assumono i valori riportati in funzione del tipo di suolo e della permeabilità dei terreni, in questo caso si sono adottati rispettivamente i valori M = 0,667 e d = 0,96.

3. La formulazione proposta da *Ventura* (per bacini < 40 km²):

$$T_c = 0,1272 \cdot \sqrt{\frac{S}{i_f}}$$

S = superficie del sottobacino (Km²);

i_f = pendenza caratteristica dell’asta principale (m/m);

4. La formulazione proposta dal *Soil Conservation Service*:

$$T_c = 0,0027 \cdot 1000L^{0,8} \cdot \left[\left(\frac{1000}{CN} \right) - 9 \right]^{0,7} i_v^{-0,5}$$

L = lunghezza dell’asta (Km);

i_v = Pendenza dei versanti (m/m)

Le formulazioni utilizzate, vista l’estensione dei bacini in analisi sono le seguenti:

Tabella 8 - Tempi di corrvazione [ore] calcolati per i bacini idrografici in studio

Bacino	Tc (Pezzoli)	Tc (SCS)	Tc (GIANDOTTI modificata)	Tc (PASINI)	Tc (VENTURA)	Valore assunto (MEDIA)
FIUME_204244 - V.1	0.73	1.47	1.93	1.01	1.00	1.23

Per i successivi calcoli dei valori di portata al colmo di piena si è assunto il valore medio delle diverse stime.

7.3 DEFINIZIONE DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN

Il numero di curva adimensionale CN (runoff curve number) è un indice di ritenzione potenziale del suolo, che dipende dalla pedologia, dal tipo e grado di copertura del suolo e dal grado di umidità iniziale del terreno. Tale indice ha un valore compreso tra 0 e 100 e, per la sua determinazione, il Soil Conservation Service propone delle classificazioni, in modo da far rientrare la zona esaminata in una determinata categoria e ricavare da opportune tabelle il valore di CN corrispondente.

I terreni che costituiscono i bacini idrografici in esame devono essere ricondotti ad una delle quattro classi litologiche riportate in Tabella 9.

Tabella 9 - Gruppi idrogeologici assegnabili ai diversi litotipi

Classe	Tipologia di terreno
A	Accumuli di frana da crollo
B	Depositi da debris flow, alluvioni antiche, depositi colluviali, depositi gravitativi di falda e conoide, depositi glaciali di ablazione e indifferenziati
C	Depositi colluviali, prodotti colluviali
D	Calcarei dolomitici, serpentiniti, calcescisti, micascisti, gneiss indifferenziati, metabasiti

Il territorio appartenente ai bacini idrografici in analisi, dal punto di vista litologico, risulta differente in funzione dell'ubicazione territoriale ed altimetrica dello stesso, variando in conseguenza anche la permeabilità).

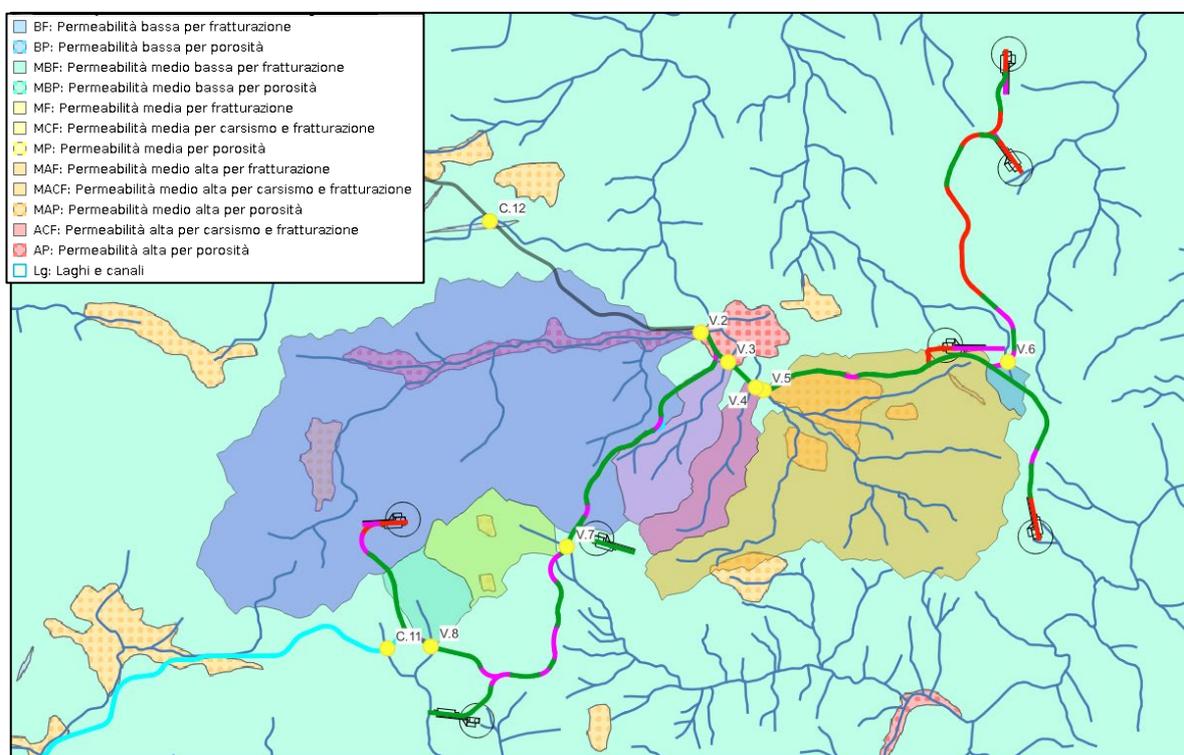


Figura 10 – Carta della permeabilità dei substrati della Sardegna per il territorio in analisi

Come si evidenzia Figura 10 dal punto di vista della permeabilità il bacino in analisi ricade principalmente in un'area caratterizzata da bassa permeabilità per fratturazione e pertanto si deve considerare una discreta potenzialità di deflusso superficiale.

La tipologia di terreno caratterizzante i diversi siti perciò è stata racchiusa nel gruppo C, caratterizzato da una potenzialità di deflusso moderatamente alta con scarsa capacità di infiltrazione a saturazione.

Noto questo, tramite l'utilizzo della carta dell'uso del suolo è stato possibile calcolare il CN per il bacino in oggetto, pesando il valore del CN attribuito a ciascuna classe d'uso del suolo rispetto all'area relativa alla stessa rispetto all'area complessiva del bacino idrografico in analisi.

I valori calcolati del CN si riferiscono a un grado di umidità iniziale del terreno di tipo II, prima che si verifichi l'evento meteorico, cioè a un terreno umido, e sono relativi alle diverse classi di uso del suolo del bacino idrografico identificate tramite la mappa di uso del suolo della Regione Sardegna (Corine Land Cover RAS – 2008).

È possibile prendere in considerazione anche situazioni di umidità del terreno all'inizio della precipitazione diverse da quella media; il metodo infatti classifica le condizioni di umidità in tre categorie:

- AMC I: potenziale di scorrimento superficiale minimo; i suoli del bacino sono sufficientemente asciutti da permettere un'aratura o coltivazione soddisfacente;
- AMC II: condizione media;
- AMC III: potenziale di scorrimento superficiale massimo; il bacino è stato praticamente saturato dalle piogge precedenti.

La categoria a cui fare riferimento si può individuare in base alla precipitazione totale dei 5 giorni precedenti quello dell'evento di pioggia e in base alla stagione (vegetativa o non vegetativa).

Tabella 10 - Condizioni di umidità in funzione della precipitazione antecedente

AMC	Precipitazione antecedente di 5 gg l'evento	
	Stagione di riposo (mm)	Stagione vegetativa (mm)
I	< 12,7	< 35,6
II	12,7 – 27,9	35,6 – 53,3
III	> 27,9	> 53,3

I valori di CN corrispondenti alla categoria AMC I e AMC III si possono ricavare dal valore di CN che corrisponde alla categoria AMC II per mezzo delle seguenti relazioni (Chow et al., 1988), dove n, m e δ sono dei coefficienti numerici noti:

$$CN(I) = \frac{n \cdot CN(II)}{\delta - 0,058 \cdot CN(II)} \quad CN(III) = \frac{m \cdot CN(II)}{\delta + 0,13 \cdot CN(II)}$$

Nel calcolo della portata di progetto si è fatto cautelativamente riferimento alla condizione AMCIII, rappresentativa di una situazione di sostanziale saturazione del terreno (Tabella 11): tale ipotesi è più cautelativa, in quanto ipotizza una ridotta capacità di assorbimento della pioggia che va ad alimentare il deflusso superficiale.

Tabella 11 - Valori del CN in condizioni di differente saturazione del terreno

ID	Bacino	AMC I	AMC II	AMC III
V.1	FIUME_204244	43	65	81

8. ANALISI IDROLOGICA

8.1 APPROCCIO METODOLOGICO

L'analisi idrologica è mirata alla **definizione delle portate di progetto** utilizzate nelle analisi e nelle verifiche idrauliche. Per la definizione delle portate di piena ad assegnati tempi di ritorno è stata applicata la formulazione proposte dalla Regione Sardegna nelle *“Linee guida per l'individuazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”* valide per il territorio regionale.

In particolare si sono analizzati i bacini sottesi ai punti di interferenza tra la viabilità e/o il tracciato del cavidotto in progetto rispetto ai corpi idrici di interesse, focalizzando l'analisi idrologica sul bacino di estensione maggiore al fine di stimare il contributo unitario nell'area di interesse.

Tramite un processo di similitudine idrologica si è poi proceduto alla stima delle portate di piena di riferimento per gli ulteriori bacini idrografici al fine del dimensionamento corretto degli attraversamenti (cfr. § 10).

8.2 DEFINIZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO

8.2.1 Metodologia PAI – Formula Razionale

Secondo quanto indicato nelle *“Linee guida per l'individuazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”* (Regione Autonoma della Sardegna, Assessorato Lavori Pubblici: *“Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”* - DL. 180 e Legge 267 del 3-08-1998) valide per il territorio regionale, i metodi di stima della portata ad assegnata frequenza dipendono da vari fattori, primi fra tutti la disponibilità di dati osservati e la copertura spaziale della rete idrometeorologica.

In relazione ai dati disponibili, la letteratura evidenzia diverse metodologie che possono essere raccolti in due grandi sottoinsiemi: la prima è nota sotto la generale definizione di Metodi Diretti; la seconda come Metodi Indiretti, in cui l'aggettivo diretto o indiretto specifica se la portata al colmo in qualunque sezione è ricavata direttamente da valori di portate osservate ovvero indirettamente dalla precipitazione meteorica tramite trasformazione afflussi–deflussi (Kottegoda e Rosso, 1997; Moisello, 1998).

Nel caso della Sardegna, la consistenza dei dati di portata disponibili, unitamente alla frequente necessità di dover stimare le portate in sezioni non osservate, suggerisce che la stima della portata di piena ad assegnata frequenza in ciascuna sezione idrologica debba essere determinata attraverso il confronto critico tra metodologie dirette, indirette e metodi empirici e studi specialistici locali, metodologie che dovranno essere confrontate con i dati osservati ove disponibili¹.

¹Fonte: P.A.I. Regione Autonoma Sardegna – *Linee Guida per “Attività di individuazione e di perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia”*

La stima delle portate di piena, necessaria per la determinazione del parametro progettuale di dimensionamento dell'opera, è stata effettuata seguendo le indicazioni derivanti dalle linee guida del PAI regionale, che distingue tra i diversi metodi quelli diretti, indiretti ed empirici.

- i metodi diretti calcolano il valore della portata al colmo in una sezione di interesse a partire dall'analisi di serie storiche osservate;
- i metodi indiretti utilizzano un modello di trasformazione afflussi – deflussi che consente di determinare la portata di progetto tramite un'analisi statistica delle piogge;
- i metodi empirici pongono in relazione i valori di portata al colmo con i parametri geomorfologici del bacino;

Per motivi legati alla carenza di dati di portata osservati nelle sezioni di interesse non risulta possibile adottare la metodologia diretta per la stima del colmo di piena ad assegnata frequenza. Il metodo diretto (calcolo diretto della portata) di distribuzione di probabilità TCEV, basato su una stima regionalizzata dei parametri della distribuzione (bacini occidentali e orientali), fornisce delle portate di colmo per i diversi tempi di ritorno in funzione dell'area di bacini comunque superiori ai 60 km².

La stima della portata di colmo con i metodi indiretti come quello razionale con distribuzione TCEV passa attraverso la **valutazione della pioggia critica** nell'ipotesi che il tempo di ritorno di un certo evento di pioggia si possa attribuire anche alla portata che essa genera.

La formula utilizzata è quella classica del metodo razionale

$$Q_{T_R} = \frac{C_D \cdot i(T_R)_{T_c} \cdot S}{3,6} \left(\frac{m^3}{s} \right)$$

in cui la portata al colmo relativa ad un certo tempo di ritorno risulta determinata una volta nota l'intensità di pioggia netta ragguagliata di durata pari alla durata critica imposta pari allo stesso tempo di corrivazione T_c relativa ad un determinato tempo di ritorno.

L'intensità di pioggia critica viene calcolata a partire dalla curva di possibilità pluviometrica che esprime la legge di variazione dei massimi annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione τ , e di una assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno.

Circa la distribuzione probabilistica delle piogge si fa riferimento allo studio di Deidda e Piga sulle curve di possibilità climatica ottenute dall'analisi dei massimi annui delle piogge brevi e intense interpretati con la distribuzione TCEV (Two Component Extreme Value).

L'applicazione del metodo prevede il calcolo preliminare della pioggia media giornaliera $\bar{h}(g)$ valutabile per interpolazione dalle isoiete della carta della relativa distribuzione spaziale.

Si ricava la pioggia lorda $h(\tau)$ dalla nota formula:

$$h(\tau) = a \cdot \tau^n$$

dove:

$$\begin{cases} a = a_1 \cdot a_2 \\ n = n_1 + n_2 \end{cases}$$

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

dove $\mu(\tau) = a_1 \cdot \tau^{n_1}$ rappresenta la Pioggia Indice, di durata τ , ovvero la media dei massimi annui delle piogge di durata τ , mentre $k(\tau)$ è detto Coefficiente di Crescita.

I parametri a_1 e n_1 sono ricavati in funzione della pioggia media giornaliera, rappresentante la media dei massimi annui di precipitazione giornaliera:

$$a_1 = \frac{\bar{h}(g)}{0,886 \cdot 24^{n_1}} \quad n_1 = -0,493 + 0,476 \log(\bar{h}(g))$$

In particolare, per i bacini idrografici in analisi tale parametro risulta:

$$\bar{h}(g) = 85 \text{ mm}$$

Considerando che i bacini in analisi ricadono nella sottozona omogenea II della distribuzione TCEV, che i tempi di ritorno di interesse sono superiori al limite fissato di 10 anni, si ricavano i parametri a_2 ed n_2 tramite le relazioni riportate in Tabella 12, così come descritto nelle *linee guida: Attività di coordinamento e di perimetrazione delle ree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia "DL 180 e Legge 267 del 3-08-1998"*.

Per passare dalla pioggia lorda a quella netta si deve stimare la quota parte di pioggia che si perde nel bacino per infiltrazione, immagazzinamento e altri fenomeni.

Il PAI indica che la stima delle perdite può essere condotta utilizzando il metodo del Curve Number (Soil Conservation Services) che, attraverso l'attribuzione di un numero indice detto CN dipendente dall'uso e dal tipo di suolo, consente di determinare il coefficiente di deflusso e la pioggia netta in base all'espressione

Tabella 12 - Parametri della curva di possibilità pluviometrica per TR > 10 anni e Tc inferiore all'ora.

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

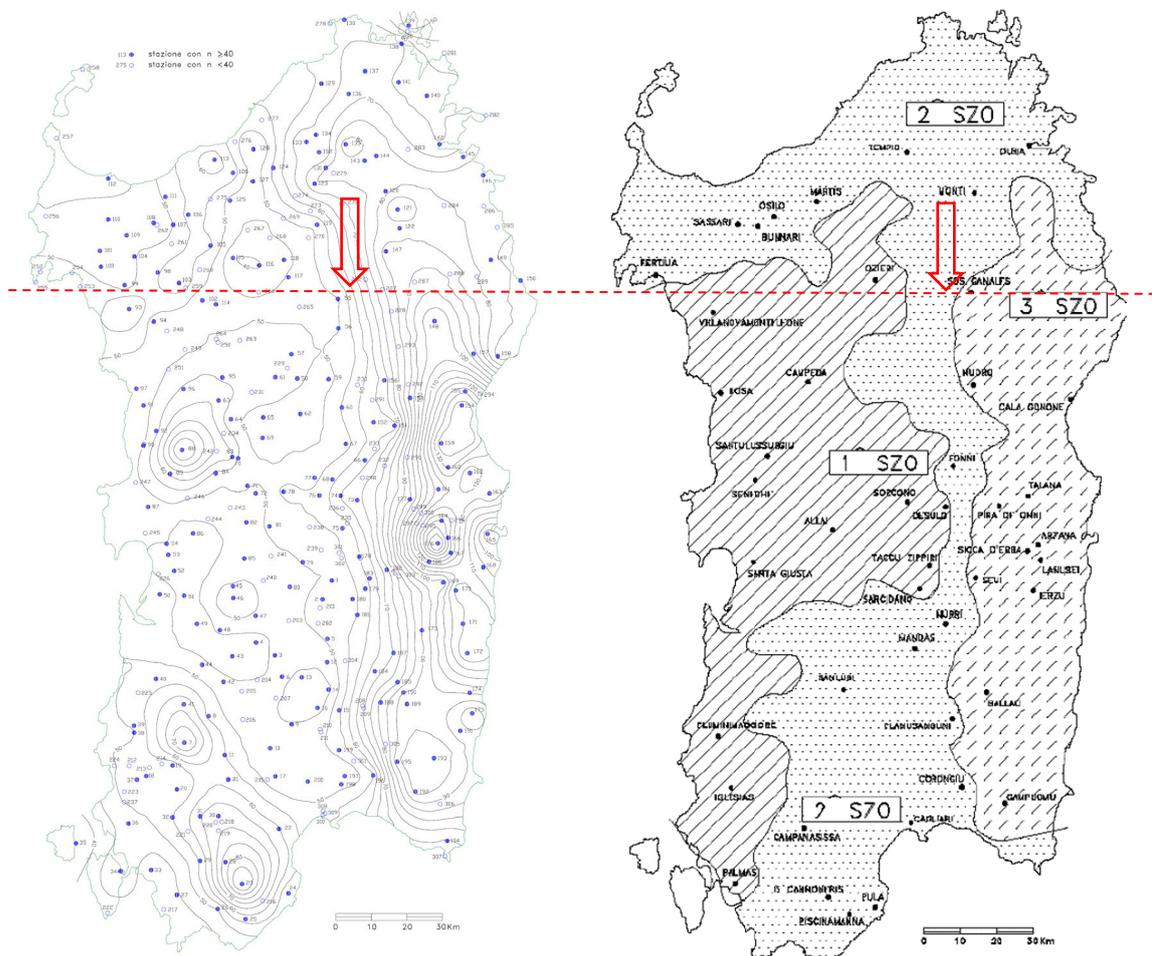


Figura 11 - Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (da Deidda ed Al., Quad.Ricerca n°9 dell'Università di Cagliari, 1997) e sottozone omogenee.

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

dove h_{lorda} è la pioggia stimata per assegnata distribuzione di probabilità, S (in mm) rappresenta l'assorbimento del bacino, espresso dalla relazione

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

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

$$I_a = \alpha \cdot S$$

Con α indicato dal PAI in 0,2.

Tenendo conto delle caratteristiche dei bacini in analisi elencate finora, e ponendosi in condizioni di cautela, si è assunto un valore **CN(III)** ed i valori conseguenti dei parametri S ed I_a sono riportati in Tabella 13:

Tabella 13 - Parametri S ed I_a dei bacini secondo il metodo CN-SCS

ID	Bacino	CN(III)	S (mm)	I_a (mm)
V.1	FIUME_204244	81	61.1	12.2

Noti tali parametri si è calcolato il valore di pioggia netta che effettivamente contribuisce al deflusso superficiale e per rapporto tra l'altezza di pioggia lorda e la pioggia netta stessa si sono ricavati i valori del coefficiente di deflusso, variabile a questo punto con il TR, indispensabile per il calcolo del colmo di piena secondo la formulazione razionale.

La formula razionale è una delle formulazioni più note e validate in letteratura, basata sul *metodo della corrivazione* e raccomandata anche nella "Direttiva sulla piena di progetto da assumere per le progettazioni e le verifiche di compatibilità idraulica" proposta dall'Autorità di Bacino nelle Norme di Attuazione del PAI, per il calcolo delle portate di piena in bacini idrografici di piccole dimensioni.

Il modello assume che la precipitazione sia uniformemente distribuita nel tempo e nello spazio e si basa sulla curva di massima possibilità climatica.

La portata al colmo dipende essenzialmente dal volume d'acqua affluito sul bacino durante l'evento meteorico e dalle caratteristiche fisiche e morfologiche del bacino stesso. La precipitazione viene ricavata direttamente dalla curva di massima possibilità climatica calcolata secondo la metodologia TCEV precedentemente illustrata con un'intensità costante per tutto l'evento, assumendo una durata pari al tempo di corrivazione del bacino in esame (risulta così garantito che l'intero bacino contribuisca alla formazione dei deflussi alla sezione di chiusura).

Secondo tale metodologia le portate liquide calcolate per i bacini in analisi risultano così sintetizzabili:

Tabella 14 – Portate liquide al colmo di piena calcolate secondo la metodologia PAI

ID	Portata Metodologia PAI - razionale	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
V.1	FIUME_204244	9.6	13.1	18.0	21.9	26.0	31.6

9. DEFINIZIONE DELLE PORTATE DI PROGETTO PER I DIVERSI BACINI IDROGRAFICI IN ANALISI

Avendo calcolato le portate al colmo di piena per il bacino in oggetto relativo al punto di interferenza denominato V.1 si procede al calcolo del contributo unitario di portata, dividendo le stesse per la superficie del bacino e adottando l'ipotesi di similitudine idrologica tra l'area idrografica sottesa al punto V.1 rispetto agli ulteriori punti di interferenza.

I valori ottenuti come contributo unitario di portata sono così riassunti:

Tabella 15 – Contributo di portata unitario al variare del tempo di ritorno.

ID	Contributo unitario [m ³ /s km ²]	TR 10	TR 20	TR 50	TR 100	TR 200	TR 500
V.1	FIUME_204244	3.8	5.1	7.0	8.5	10.1	12.3

Pertanto, moltiplicando i suddetti valori per le superfici relative a tutti i bacini idrografici in analisi, ed in particolare per quanto concerne il valore della portata al colmo relativa al TR 200 anni, si ottiene:

Tabella 16 - Valori della portata al colmo di piena per TR 200 anni relativamente ai diversi bacini idrografici

IDENTIFICATIVO CORPO IDRICO	CODICE INTERFERENZA	SUPERFICIE BACINO SOTTESO [kmq]	PORTATA UNITARIA Q200 [mc/s]	PORTATA DI PROGETTO Q200 [mc/s]
FIUME_06062366	V.1	0.22	10.1	2.3
FIUME_06060458	V.2	2.57	10.1	26.0
FIUME_06060339	V.3	1.63	10.1	16.6
FIUME_06060034	V.4	0.19	10.1	2.0
FIUME_06060035	V.5	1.42	10.1	14.4
FIUME_06060670	V.6	0.04	10.1	0.4
FIUME_06059063	V.7	0.21	10.1	2.1
FIUME_06058511	V.8	0.13	10.1	1.3

I valori così calcolati sono adottati nelle successive verifiche idrauliche al fine del corretto dimensionamento dei manufatti di attraversamento relativamente a tutti i punti di interferenza idraulica individuati in particolare nell'Elaborato grafico 3.2 – *Carta delle interferenze idrauliche e delle Fasce Fluviali* e 3.3 - *Carta delle interferenze idrauliche e delle Fasce di salvaguardia* ai quali si rimanda per approfondimenti.

10. VERIFICA SPEDITIVA DELLE SEZIONI IDRAULICHE DEI NUOVI MANUFATTI

Le analisi idrauliche effettuate in questa fase di progettazione fanno capo ad un'analisi speditiva in moto uniforme relativamente ad una condotta o ad uno scatolare, andando ad individuare le caratteristiche minime progettuali quali la pendenza di posa e la sezione di deflusso minima da adottare.

In particolare, le verifiche delle portate defluenti in alcune sezioni caratteristiche dell'idrografia minore (rii, canali di bonifica, canali irrigui...) sono state condotte sulla base dei dati geometrici e morfologici, facendo riferimento alla nota legge di moto uniforme di Chézy:

$$Q_j = K_s \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2}$$

avendo indicato con:

- Q la portata;
- K_s il coefficiente di Strickler;
- A l'area della sezione;
- R il raggio idraulico della sezione;
- i la pendenza longitudinale del corpo idrico.

In generale, le informazioni sono state utilizzate per evidenziare le criticità idrauliche presenti lungo i corsi d'acqua analizzati e ricavare i parametri necessari alla corretta progettazione degli interventi del presente studio.

La sezione tipologica relativa ai nuovi attraversamenti in merito alle strade di nuova realizzazione è la seguente:

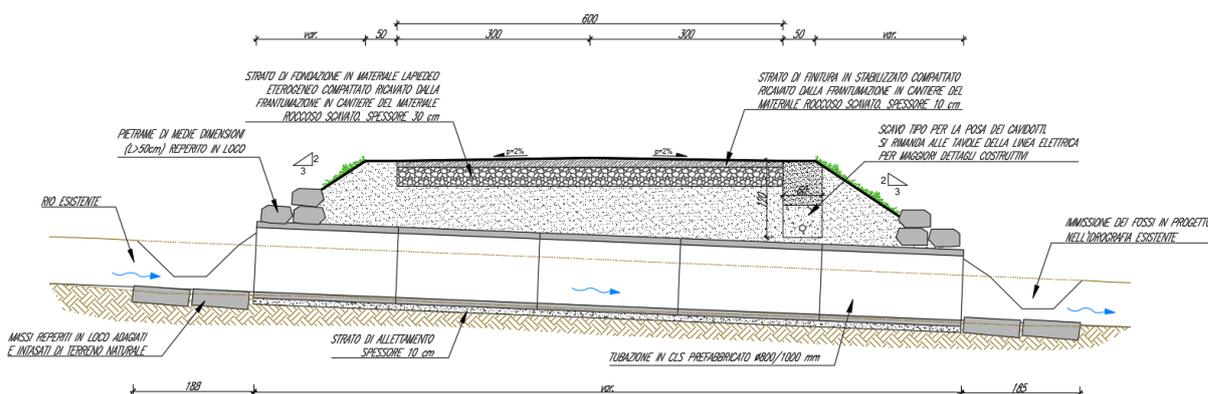


Figura 12 – Sezione tipologica relativa agli interventi di realizzazione di nuova viabilità.

Le dimensioni geometriche individuate per la soluzione progettuale fanno riferimento a tubazioni in c.a. autoportanti di diametro $\geq \varnothing 1200$ ed elementi scatolari prefabbricati o gettati in opera delle dimensioni minime $2,5 \times 1,5$ m (L x H) eventualmente da affiancare per smaltire correttamente le portate di progetto (cfr. Tabella 16).

Le relative scale di deflusso sono riportate nel seguito e fanno riferimento ad una **minima pendenza pari a 1,5%** e ad un **parametro di scabrezza pari a $K_s = 80 \text{ m}^{1/3}\text{s}^{-1}$** , cautelativamente caratteristico di un calcestruzzo grezzo.

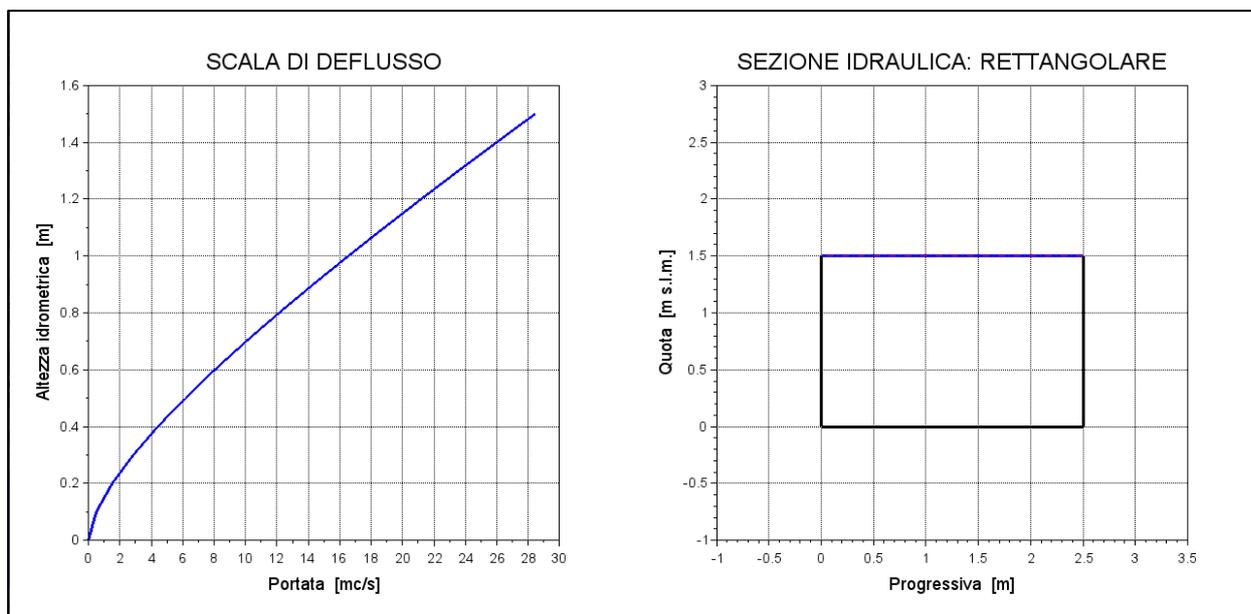


Figura 13 – Scale di deflusso di moto uniforme per gli elementi scatolari di dimensioni 2,5 x 1,5 m.

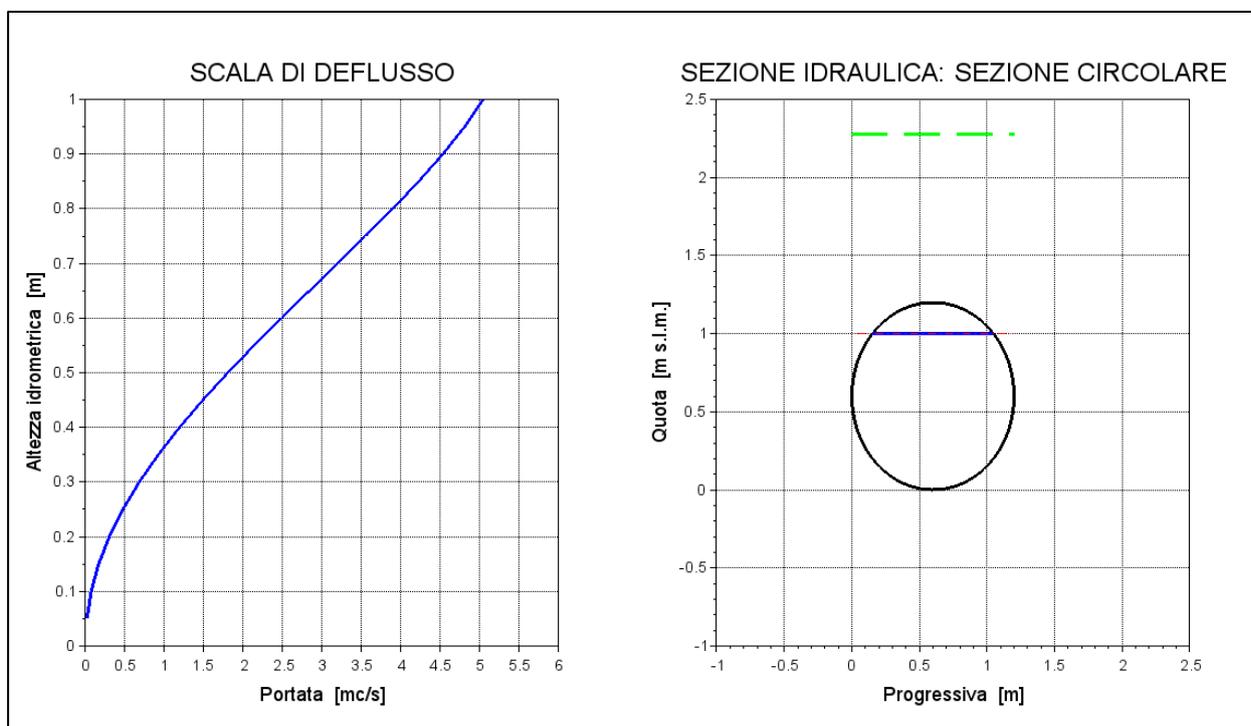


Figura 14 – Scale di deflusso di moto uniforme per una tubazione con $\varnothing 1200$.

Pertanto, le opere di attraversamento relativamente a ciascun punto di interferenza risultano le seguenti:

- **INTERFERENZA V.1: $Q_{200} = 2,3 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Tubazione $\varnothing 1200 \approx 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per un Grado di Riempimento (GR $\approx 60\%$).
- **INTERFERENZA V.2: $Q_{200} = 26,0 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Prolungamento dell'attraversamento esistente senza alterarne la sezione idraulica;
- **INTERFERENZA V.3: $Q_{200} = 16,6 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Scatolare $2,5 \times 1,5 \approx 17 \text{ m}^3/\text{s}$ per un battente di 1,0m (0,5 m per franco idraulico);
- **INTERFERENZA V.4: $Q_{200} = 2,0 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Tubazione $\varnothing 1200 \approx 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per un Grado di Riempimento (GR $\approx 60\%$).
- **INTERFERENZA V.5: $Q_{200} = 14,4 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Scatolare $2,5 \times 1,5 \approx 17 \text{ m}^3/\text{s}$ per un battente di 1,0m (0,5 m per franco idraulico);
- **INTERFERENZA V.6: $Q_{200} = 0,4 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Tubazione $\varnothing 1200 \approx 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per un Grado di Riempimento (GR $\approx 60\%$).
- **INTERFERENZA V.7: $Q_{200} = 2,1 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Tubazione $\varnothing 1200 \approx 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per un Grado di Riempimento (GR $\approx 60\%$).
- **INTERFERENZA V.8: $Q_{200} = 1,3 \text{ m}^3/\text{s}$**
 - Tubazione $\varnothing 1200 \approx 2,5 \text{ m}^3/\text{s}$ per un Grado di Riempimento (GR $\approx 60\%$).