



Comuni di Ozieri e Chiaramonti

Provincia di Sassari

Regione Sardegna



PARCO EOLICO "ISCHINDITTA" PROGETTO DEFINITIVO

PROPONENTE

GRVDEP Energia S.r.l.

Via Nazario Sauro 9 - 09123 Cagliari
PEC: grvdepennergiasrl@legalmail.it
C.F. e P.IVA 03857060929

GR/alue



OGGETTO

2 - STUDI IDROLOGICI - IDRAULICI

RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA

TIMBRI E FIRME



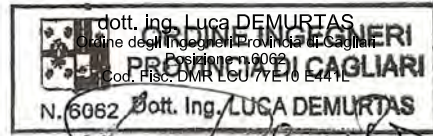
**STUDIO ROSSO
INGEGNERI ASSOCIATI**

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

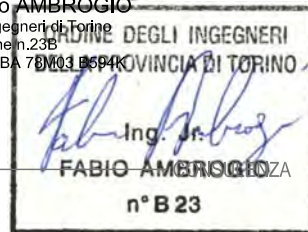


dott. ing. Roberto SESENNA
Ordine degli Ingegneri Provincia di Torino
Posizione n.8530J
Cod. Fisc. SSN RRT 75B12 C665C



dott. ing. Luca DEMURTAS
Ordine degli Ingegneri Provincia di Cagliari
Posizione n.6062
Cod. Fisc. DMR LGU 77E10 E441L
N. 6062 Dott. Ing. LUCA DEMURTAS

dott. ing. Fabio AMBROGIO
Ordine degli Ingegneri di Torino
Posizione n.23B
Cod. Fisc. MBR FBA 78M01 B594K



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

CONTROLLO QUALITA'

DESCRIZIONE	EMISSIONE
DATA	MAG/2020
COD. LAVORO	409/SR20
TIPOL. LAVORO	D
SETTORE	G
N. ATTIVITA'	03
TIPOL. ELAB.	RI
TIPOL. DOC.	E
ID ELABORATO	01
VERSIONE	0

REDATTO

ing. Gianluca COLOMBO

CONTROLLATO

ing. Fabio AMBROGIO

APPROVATO

ing. Roberto SESENNA

ELABORATO

3.1

INDICE

1. PREMESSA	2
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE GENERALE	3
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE EIDROGRAFICO	3
2.2 INQUADRAMENTO CLIMATICO	5
2.2.1 <i>Traiettorie delle masse d'aria e rilievi</i>	5
2.2.2 <i>Temperatura</i>	6
2.2.3 <i>Venti e pressione atmosferica</i>	7
2.2.4 <i>Umidità relativa ed evaporazione</i>	8
2.3 INQUADRAMENTO PLUVIOMETRICO	8
2.3.1 <i>Precipitazioni intense</i>	10
3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO	11
3.1 BACINO IDROGRAFICO COMPLESSIVO DI RIFERIMENTO	11
3.2 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE	12
3.3 CALCOLO DEL NUMERO DI CURVA ADIMENSIONALE CN	13
4. ANALISI IDROLOGICA	17
4.1 APPROCCIO METODOLOGICO	17
4.2 DEFINIZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO	17
4.2.1 <i>Metodologia PAI</i>	17
5. ANALISI IDRAULICA	21
5.1 DEFINIZIONE PRELIMINARE DELLE ZONE DI INTERFERENZA IDRAULICA	21
5.2 MODELLO DI DEFLUSSO IDRAULICO	22
5.2.1 <i>HEC-RAS bidimensionale</i>	22
5.2.2 <i>Geometria di riferimento</i>	24
5.2.1 <i>Parametri di scabrezza</i>	26
5.2.2 <i>Attraversamenti esistenti</i>	26
5.2.3 <i>Condizioni al contorno</i>	27
5.2.4 <i>Scenari simulati</i>	28
5.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE	28
5.3.1 <i>PLAN 01 – STATO DI FATTO</i>	28
5.3.1.1 <i>Definizione sottobacini sottesi al tracciato stradale in progetto</i>	31
5.3.2 <i>PLAN 02 – STATO PRE-PROGETTO</i>	32
5.3.2.1 <i>Portate di progetto</i>	34
5.3.3 <i>PLAN 03 – STATO DI PROGETTO</i>	35
5.3.4 <i>VERIFICA IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI</i>	38
6. CONCLUSIONI	39

ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Carta dei bacini idrografici interessati dalla viabilità in progetto

1. PREMESSA

La presente relazione idrologico – idraulica è parte integrante del progetto definitivo affidato agli scriventi per la realizzazione del nuovo Parco Eolico "Ischinditta" inserito nel territorio comunale di Ozieri, Chiaramonti, Erula e Tula. L'elaborato è finalizzato all'analisi delle interferenze della nuova rete stradale di collegamento degli aerogeneratori con la rete idrografica esistente nell'area di intervento, all'individuazione e alla verifica idraulica delle necessarie opere di attraversamento idraulico; queste ultime hanno la finalità di rendere il rilevato stradale in progetto idraulicamente trasparente ai deflussi idrici superficiali, per non comportare sostanziali alterazioni al deflusso delle acque meteoriche rispetto alla situazione esistenti.

A valle dell'inquadramento territoriale e climatico, finalizzato alla conoscenza del territorio, all'idrografia locale e in particolar modo alla pluviometria che caratterizza l'area in studio, viene affrontata l'analisi idrologica finalizzata all'individuazione della permeabilità del suolo e delle piogge caratteristiche per tempi di ritorno variabili da 10 a 500 anni.

Successivamente si procede all'allestimento di un modello di deflusso bi-dimensionale tramite il software HEC-RAS, il quale permette di effettuare simulazioni di trasformazione afflussi-deflussi direttamente sul DTM dell'area di intervento, ricostruendo così la dinamica del deflusso allo stato di fatto e i bacini idrografici che il tracciato stradale in progetto sottende, calcolando gli idrogrammi di piena in alcune sezioni caratteristiche.

Analizzato il deflusso idraulico lungo la rete idrografica esistenti, si procede all'individuazione e al dimensionamento delle opere utili allo smaltimento delle acque meteoriche intercettate dalla nuova strada, verificando la loro compatibilità con il deflusso idrico legato ad un tempo di ritorno di 200 anni.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE GENERALE

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE EIDROGRAFICO

L'intervento in progetto di realizzazione del tracciato stradale e delle piazzole di ubicazione delle pale eoliche relative al parco eolico "Ischinditta" si sviluppa sul crinale caratterizzante la testata di bacino di alcuni rii principali, Riu Filighesos e Riu Cannalza ed in particolare interessano i rii minori Traino de Ferulas e Longu Idanu. Tale intervento ricade all'interno dei territori comunali di Erula, Chiaramonti, Ozieri e Tula.

I bacini idrografici suddetti sono compresi nel sub-bacino n. 3 Coghinas Mannu Temo, secondo la suddivisione della Regione Sardegna ai sensi della D.G.R. n. 45/57 del 1990.

Cartograficamente la porzione dei bacini idrografici interessati dall'intervento in progetto è individuata:

- nella Tavoletta 460 sez. I della Cartografia dell'Istituto Geografico militare in scala 1:25.000;
- nelle Sezioni n. 460-030, 460-040, 460-070, 460-080 della Cartografia Tecnica Regionale in scala 1:10.000;
- al foglio 481 "Ozieri" della Carta geologica d'Italia in scala 1:50.000.

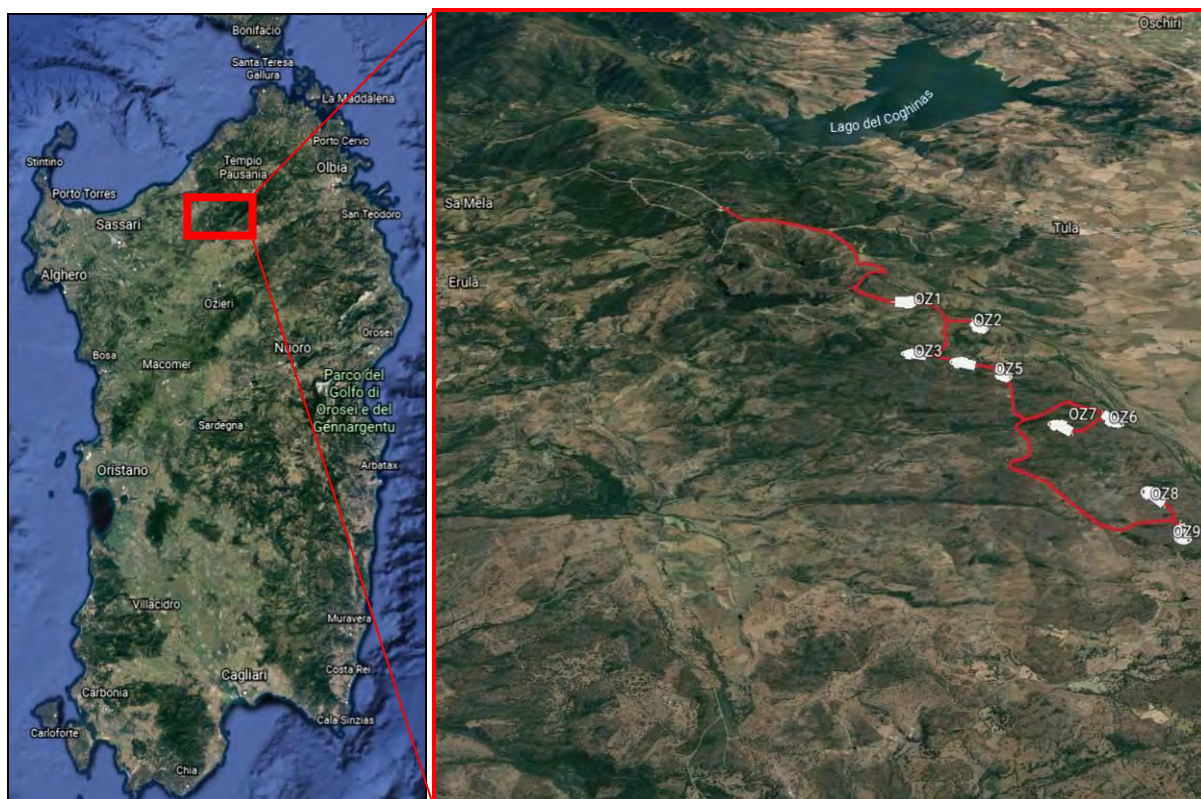


Figura 1 – Inquadramento territoriale generale e vista aerea del tracciato relativo all'intervento in progetto sul parco eolico "Ischinditta" nel comune di Erula, Tula, Chiaramonti ed Ozieri.

L'analisi idrologica è stata estesa sull'insieme dei due bacini idrografici maggiori suddetti, chiusi in prossimità della SP 75 sul fondo valle di Erula. L'obiettivo è stato quello di ricostruire per tale area l'entità delle precipitazioni critiche al variare del tempo di ritorno, con la finalità di simulare tramite l'ausilio di un modello di calcolo idraulico, il manifestarsi di un evento pluviometrico intenso (pioggia di progetto – TR 200 anni) ed osservare le modalità di deflusso nella parte superiore del bacino idrografico, zona interessata dagli interventi in progetto.

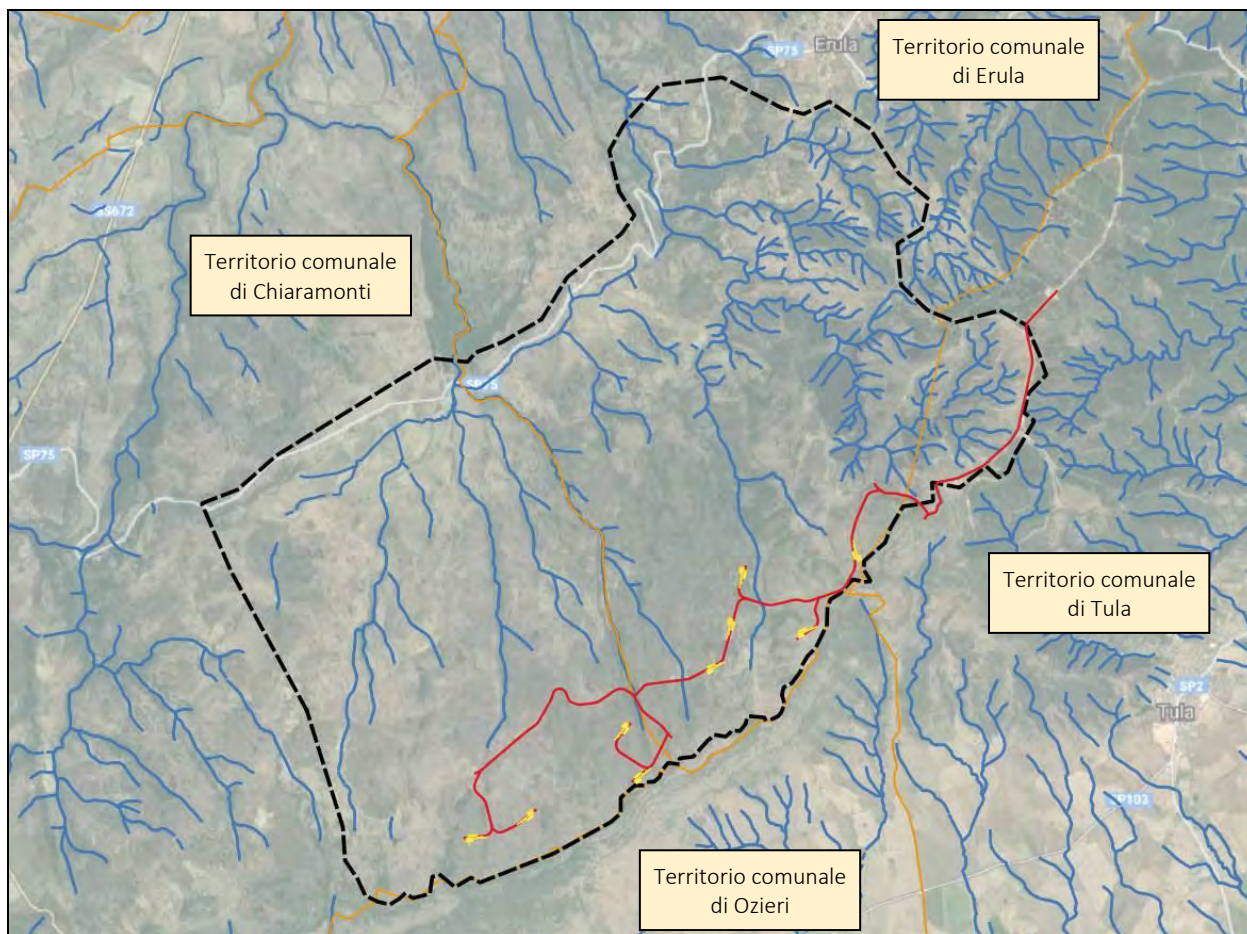


Figura 2 - Inquadramento generale territoriale dell'intervento in progetto relativo al parco eolico "Ischinditta"; In rosso è riportato il tracciato stradale di collegamento, in giallo sono segnate le piazzole relative agli aerogeneratori, in nero è tratteggiato il contorno del bacino idrografico considerato nell'analisi idrologica.

In tale maniera è stato possibile individuare le zone di accumulo conseguenti al riscellamento superfiale, a ridosso del rilevato stradale in progetto, causate dall'ostacolo generato dello stesso nei confronti del libero deflusso delle acque meteoriche, e di conseguenza predisporre le necessarie opere di attraversamento (ponticelli, tubolari...) finalizzate a garantire il deflusso attraverso il rilevato stradale nei nuovi tratti di viabilità in progetto per il collegamento degli aerogeneratori.

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 che esso ha 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.

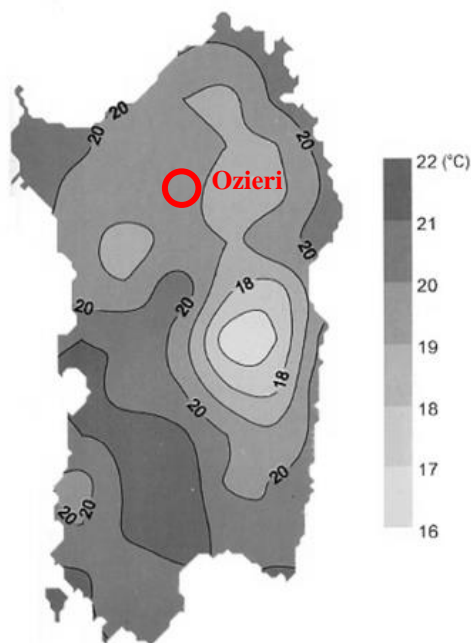


Figura 3 - Valore medio annuale della temperatura massima.

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.

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.



Figura 4 - Direzione di prevalente provenienza dei venti nelle varie località dell'Isola.

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.

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.

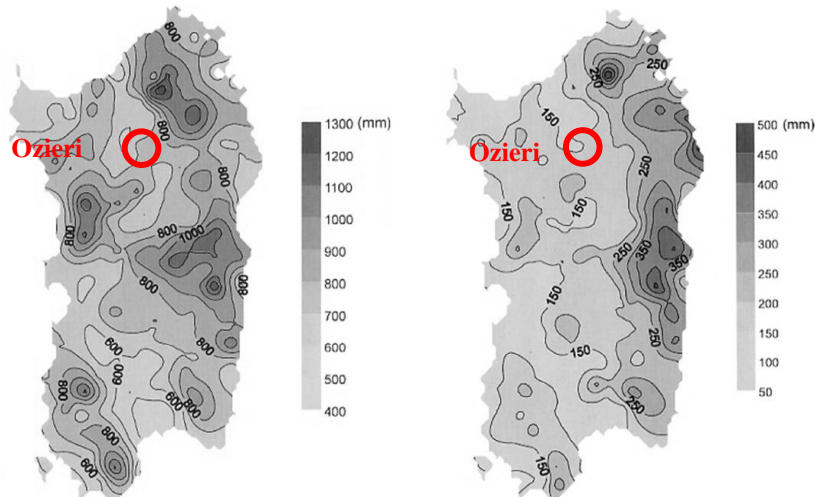


Figura 5 - Distribuzione spaziale (Valore medio annuale) della precipitazione e deviazione standard.

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.

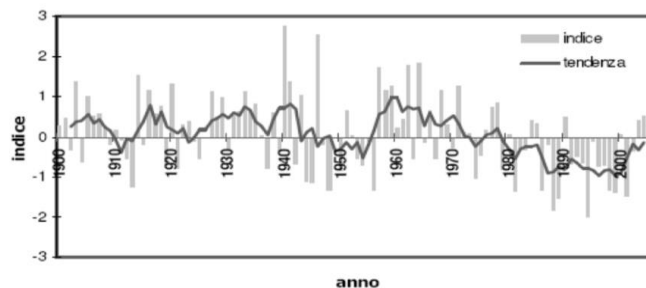


Figura 6 - Precipitazione in Sardegna dal 1900 al 2006 (SAR).

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.

2.3.1 Precipitazioni intense

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.

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

3. PRINCIPALI CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

3.1 BACINO IDROGRAFICO COMPLESSIVO DI RIFERIMENTO

Il bacino idrografico preso in considerazione nel presente studio comprende la parte superiore di 2 bacini idrografici principali, relativi ai rii maggiori denominati **Riu Filighesos** e **Riu Cannalza**, la cui sezione di chiusura è stata considerata nei pressi della strada provinciale S.P. 75 (v. Figura 7), secondo le condizioni geomorfologiche locali e mediante i criteri esposti nel § 2.1.

I parametri relativi all'estensione areale ed alla forma del bacino idrografico complessivo non assumono, in realtà, grande importanza nei confronti dell'analisi idrologica di dettaglio, poiché come meglio illustrato nei capitoli successivi, si procederà alla definizione di ulteriori sottobacini in corrispondenza delle interferenze con la viabilità in progetto. Tuttavia, l'analisi alla scala del bacino idrografico complessivo ha la finalità di definire il tempo di pioggia caratteristico per tutta l'area in esame, per ricostruire i valori di precipitazione che possono manifestarsi sull'area in esame secondo differenti probabilità di accadimento annua (TR 10, 20, 50, 100, 200 e 500 anni) per ogni singolo sottobacino.

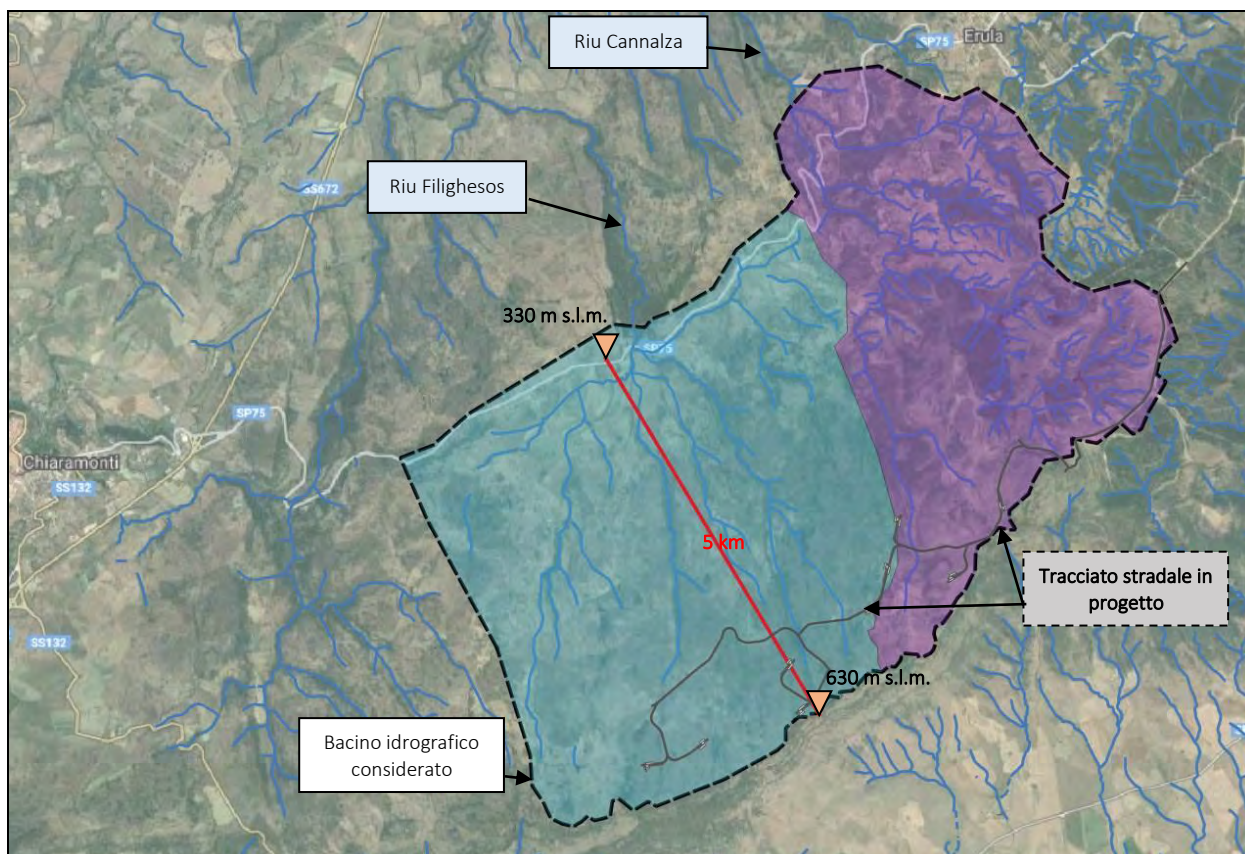


Figura 7 - Rappresentazione grafica delle principali caratteristiche del bacino idrografico considerato.

Le principali caratteristiche individuate per le successive analisi sono riportate in Tabella 1:

Tabella 1 - Principali caratteristiche individuate per l'analisi idrologica relativa al bacino idrografico considerato.

BACINO	Lunghezza asta	Quota testa bacino	Quota sezione chiusura	Quota media bacino	Differenza di quota asta	Pendenza asta
	[km]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m s.l.m.]	[m]	[m/m]
	5.0	630.0	330.0	480.0	300.0	0.06

Per il calcolo del tempo di corrivazione, la lunghezza dell'asta considerata è stata cautelativamente assunta pari alla lunghezza della retta che collega la testata del bacino con la SP 75, situata ai piedi dello stesso, secondo il criterio di massima pendenza.

3.2 CALCOLO DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

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, è 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*.

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

1. La formulazione proposta Pezzoli (per bacini < 20 km²):

$$T_c = 0,055 \frac{L}{\sqrt{i_f}}$$

dove:

T_c = tempo di corrivazione (ore);

L = lunghezza dell'asta principale (Km);

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

2. La formulazione proposta da Kirpich (per bacini < 10 km²):

$$T_c = 0.066 \cdot L^{0.77} \cdot \left(\frac{1000 \cdot L}{h_{\max} - h_{\min}} \right)^{0.385}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore);

L = lunghezza dell'asta (Km²);

h_{\min} = altezza minima del bacino;

h_{\max} = altezza massima del bacino.

3. La formulazione proposta da Puglisi (per bacini $43 \leq A \leq 94$ km²):

$$T_c = 6 \frac{L^{0,667}}{\Delta H^{0,333}}$$

T_c = tempo di corrivazione (ore);

L = lunghezza dell'asta (Km);

ΔH = dislivello dell'asta principale (m)

Il tempo di corrivazione del bacino complessivo è stato assunto pari alla media dei tre valori calcolati e risulta pari a 1,5 ore.

3.3 CALCOLO 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.

Per il calcolo di tale parametro si farà riferimento alla carta del Curve Number (CN) sviluppata e prodotta dal Dipartimento Geologico dell'ARPAS per la Regione Sardegna. Tale carta è stata costruita a partire dalle carte al 25.000 relative all'uso del suolo – 2008 e alla permeabilità dei substrati e rappresenta l'adeguamento della carta regionale adottata nell'ambito del Piano Stralcio Fasce Fluviali (PSFF) della Regione Sardegna (DGR n. 2 del 17/12/2015).

Si riporta in Figura 8 l'estratto della carta del CN relativo al bacino idrografico in analisi:

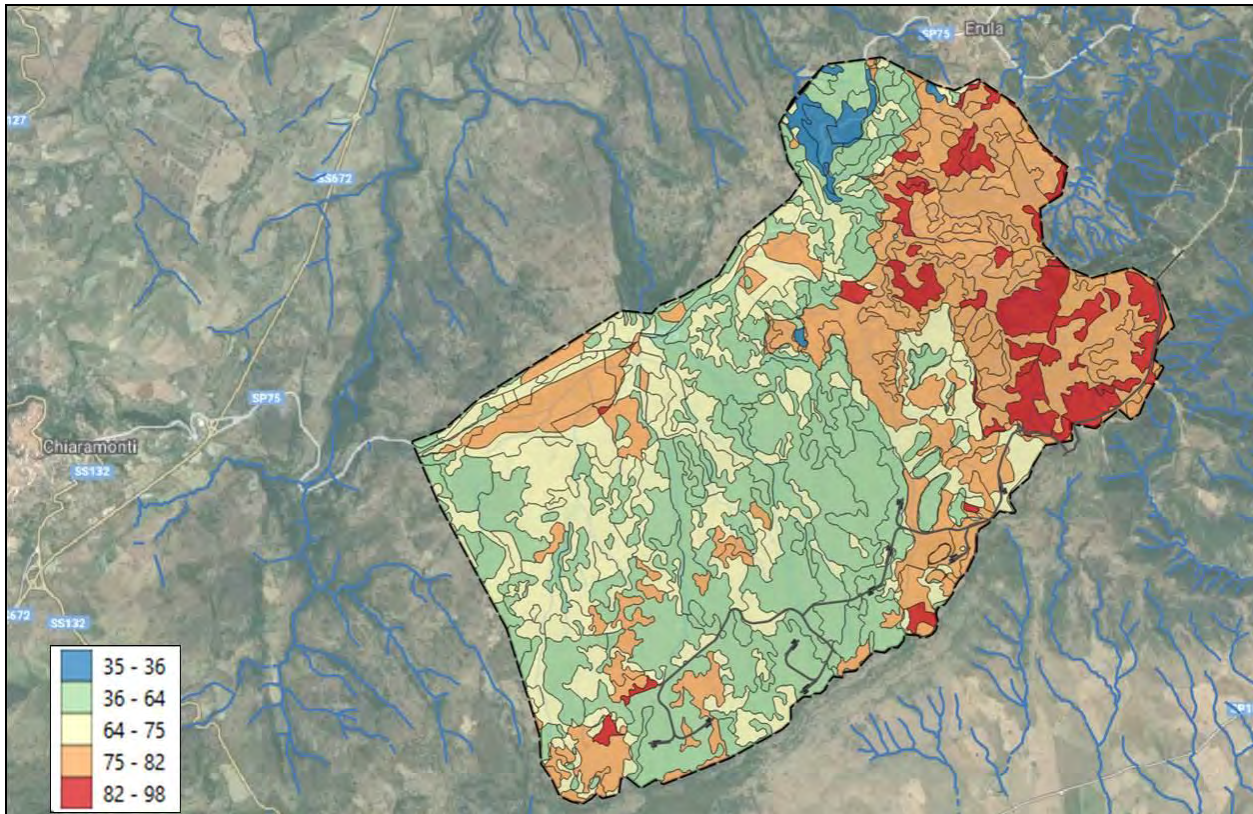


Figura 8 - Carta del Curve Number prodotta dall'ARPAS relativa al bacino idrografico in studio.

Dalla carta si evince come i due bacini idrografici relativi al Riu Filighesos e Riu Cannalza abbiamo una distribuzione del parametro CN differente; in particolare il bacino del Riu Filighesos è mediamente caratterizzato da un CN inferiore, e dunque una permeabilità maggiore rispetto al bacino confinante relativo al Riu Cannalza, che invece presenta mediamente dei valori maggiori di CN, e dunque una permeabilità inferiore.

Infatti, da un'attenta analisi delle carte Geologica, Litologica e della permeabilità dei substrati della Regione Sardegna, si evidenzia che i terreni costituenti il bacino del Riu Filighesos fanno parte del distretto vulcanico di Osilo-Castelsardo, per i quali si può dare la generica classificazione di depositi di flusso piroclastico caratterizzati da una permeabilità media per fratturazione. Dall'altro lato invece, per ciò che concerne il bacino del Riu Cannalza, si hanno dei terreni con affioramenti di micascisti e paragneiss, il che comporta una minore permeabilità che viene classificata infatti come bassa per fratturazione.

È evidente che il tracciato stradale in progetto, idraulicamente parlando, sottende aree maggiori all'interno del bacino relativo al Riu Filighesos rispetto al limitrofo bacino in destra. È altresì vero però che quest'ultimo presenta alcune aree di scolo verso la sede stradale in progetto che possono portare dei deflussi idrici non trascurabili. Dunque si ritiene significativo attribuire come valore di CN del bacino in analisi la media della distribuzione dei CN pesata sulle aree estrapolata dalla Carta riportata in Figura 8.

Secondo la metodologia CN del SCS i terreni che costituiscono il bacino in esame devono essere ricondotti ad una delle quattro classi litologiche (Tabella 2).

Tabella 2 - 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

Effettuando la media pesata sulle aree dei gruppi idrogeologici riportati sulla carta del CN otteniamo un terreno che mediamente risulta all'interno della categoria B, dunque con un grado di permeabilità medio.

Infine, i valori del CN, come si è detto, dipendono anche dal grado di saturazione del suolo relativo al momento nel quale si manifesta un dato evento pluviometrico. In questi termini la distinzione che si fa è relativa a tre distinte classi di saturazione del suolo:

- 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.

Il valore di CN nella carta della Regione Sardegna è stato determinato per ciascuna tipologia di uso del suolo ed in condizioni di AMC II e dunque in una condizione media di saturazione del suolo. 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 3 - 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:

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

Nell'ambito delle simulazioni idrauliche finalizzate alla determinazione della distribuzione delle portate che interessano il tracciato stradale in progetto si è fatto cautelativamente riferimento alla condizione AMCIII, rappresentativa di una situazione di sostanziale saturazione del terreno: tale ipotesi risulta essere più cautelativa in quanto ipotizza una ridotta capacità di assorbimento della pioggia che va ad alimentare il deflusso superficiale.

I valori di CN ottenuti in definitiva e caratterizzanti il bacino in esame sono riportati in Tabella 4:

Tabella 4 - Valori del CN del bacino in analisi in condizioni di differente saturazione del terreno.

AMC I	AMC II	AMC III
49	69	84

4. ANALISI IDROLOGICA

4.1 APPROCCIO METODOLOGICO

L'analisi idrologica è mirata alla definizione delle piogge di progetto utilizzate nelle analisi e nelle verifiche idrauliche. Per la definizione delle piogge di progetto ad assegnati tempi di ritorno, si è fatto riferimento a formulazioni 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. Sulla base dei risultati ottenuti, è stato implementato un modello idraulico di deflusso di tipo bidimensionale tramite l'ausilio del software HEC-RAS, inserendo come condizione al contorno direttamente la pioggia netta di progetto e finalizzato all'individuazione delle interferenze tra le traiettorie di deflusso delle acque scolanti e l'opera stradale in progetto. Noti i punti di interferenza, il modello ha permesso di ricostruire gli idrogrammi di piena in tali sezioni di interesse e sono stati utilizzati per il dimensionamento delle opere idrauliche necessarie a impedire che il rilevato stradale rappresenti un ostacolo al deflusso nei confronti di un evento pluviometrico intenso caratterizzato da TR 200 anni.

4.2 DEFINIZIONE DELLA PIOGGIA DI PROGETTO

4.2.1 Metodologia PAI

La **valutazione della pioggia critica** è stata effettuata nell'ipotesi che il tempo di ritorno di un certo evento di pioggia si possa attribuire anche alla portata che essa genera. 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 a recenti studi di Deidda et al. (1997, etc...) 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). Tali studi infatti mostrano come il modello probabilistico TCEV ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche disponibili sul territorio della Regione Sardegna.

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 (Figura 9).

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

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

dove:

$$a = a_1 a_2$$

$$n = n_1 + n_2$$

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

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:

$$a_1 = \frac{\bar{h}(g)}{0,886 \cdot 24^{n_1}}$$

$$n_1 = -0,493 + 0,476 \log(\bar{h}(g))$$

In particolare nel caso in studio si ha:

$$\bar{h}(g) = 50 \text{ mm}$$

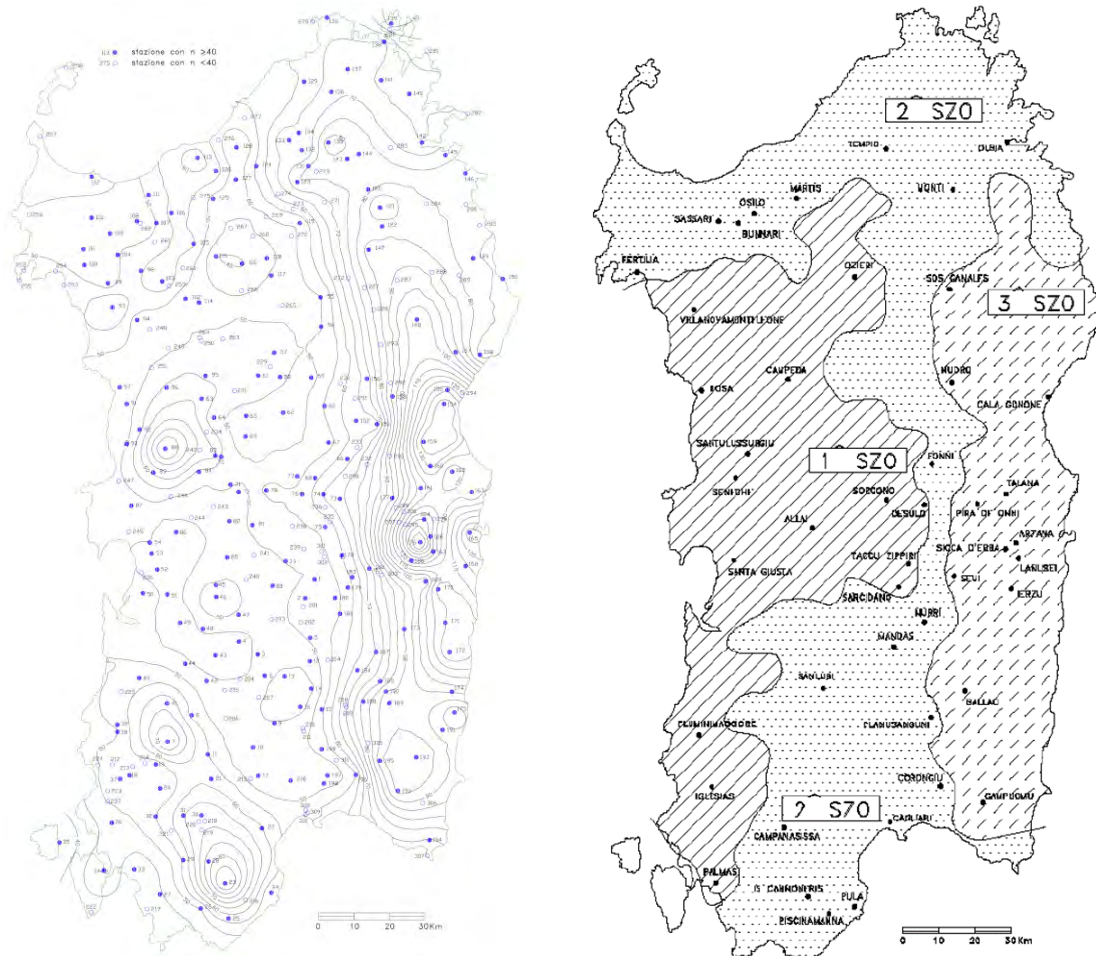


Figura 9 - Distribuzione spaziale dell'altezza di pioggia giornaliera in Sardegna (da Deidda ed Al., Quad. Ricerca n°9 dell'Università di Cagliari, 1997) e sottozone omogenee.

Tenendo conto che l'intero territorio in analisi ricade nella sottozona omogenea I della distribuzione TCEV, che i tempi di ritorno di interesse sono superiori al limite fissato di 10 anni e che la durata di pioggia di progetto è superiore all'ora (pari al tempo di corrivazione del bacino), si ricavano i parametri α_2 ed n_2 tramite le relazioni riportate in Tabella 5, così come descritto nelle *linee guida*.

Tabella 5 – Parametri della curva di possibilità pluviometrica per TR > 10 anni.

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

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:

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

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 parametro che da letteratura risulta pari a 0,2. Inoltre, cautelativamente si è assunto un valore CN(III) che esprime le condizioni di maggior saturazione del terreno e dunque la minor capacità stimata di assorbimento della precipitazione da parte del suolo. Il CN(III) risulta pari a 84.

Noti tali parametri si è calcolato il valore di pioggia netta che effettivamente contribuisce al deflusso superficiale. In funzione del rapporto tra l'altezza di pioggia lorda e la pioggia netta stessa si sono ricavati i valori del coefficiente di deflusso, variabile in funzione del TR (tempo di ritorno dell'evento).

I risultati sono riassunti nella Tabella 6:

Tabella 6 – Parametri della distribuzione TCEV per il calcolo della pioggia netta di progetto-

PARCO EOLICO - OZIERI - SOTTOZONA OMOGENEA 1							
		Pioggia Indice giornaliera			50	mm	
		Tempo di corrivazione			1.5	ore	
		Capacità massima assorbimento			48.98	mm	
Tempo di ritorno [anni]	Coefficienti metodo TCEV				Pioggia Lorda [mm]	Pioggia netta [mm]	C _{D scs - CN} [-]
	a1	n1	a2	n2			
10	20.6914	0.3157	1.5018	-0.0183	35.1	8.6	0.25
20	20.6914	0.3157	1.8141	-0.0207	42.3	13.0	0.31
50	20.6914	0.3157	2.2271	-0.0238	51.9	19.4	0.37
100	20.6914	0.3157	2.5394	-0.0262	59.1	24.7	0.42
200	20.6914	0.3157	2.8517	-0.0285	66.3	30.3	0.46
500	20.6914	0.3157	3.2647	-0.0317	75.8	37.9	0.50

Si 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).

Nel seguito si riportano le altezze di pioggia netta calcolate sull'intero bacino idrografico per TR 200 e per TR 50 anni con la metodologia PAI della Regione Sardegna ed assunto come input nelle successive analisi di simulazione idraulica finalizzate ad individuare le portate afferenti alle zone di interferenza idraulica, e al dimensionamento delle opere idrauliche necessarie alla trasparenza idraulica dell'opera stradale in progetto.

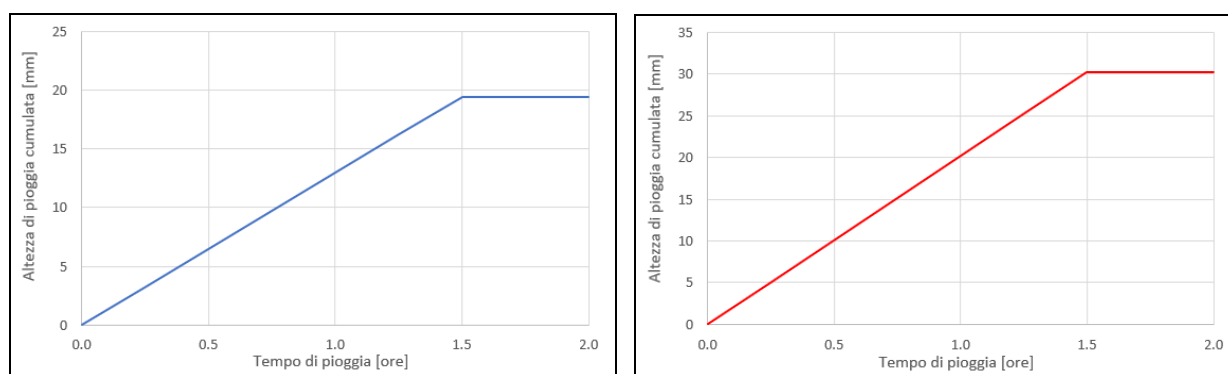


Figura 10 - Altezza cumulata dell'evento pluviometrico per TR 50 anni e 200 anni.

5. ANALISI IDRAULICA

L'obiettivo dell'analisi idraulica è quello di individuare le possibili zone di interferenza idraulica tra la strada in progetto e il reticolo idrografico, le portate afferenti alle zone di interferenza, ed infine il posizionamento e il dimensionamento degli attraversamenti necessari per garantire la trasparenza idraulica dell'opera stradale in progetto.

Con tali finalità, si è proceduto all'identificazione preliminare delle zone di potenziale interferenza con la rete idrografica locale e successivamente è stato implementato un modello di deflusso idraulico bidimensionale in grado di simulare la trasformazione dalla pioggia netta in deflusso superficiale, permettendo così di identificare i principali impluvi o avvallamenti localizzati di scolo e quantificare la portata defluente nelle sezioni in corrispondenza del tracciato stradale.

5.1 DEFINIZIONE PRELIMINARE DELLE ZONE DI INTERFERENZA IDRAULICA

L'operazione preliminare effettuata è stata riconoscere le potenziali zone di interferenza su base CTR 1:10.000 sovrapponendo al reticolo idrografico riportato sulla carta tecnica, il tracciato stradale in progetto:

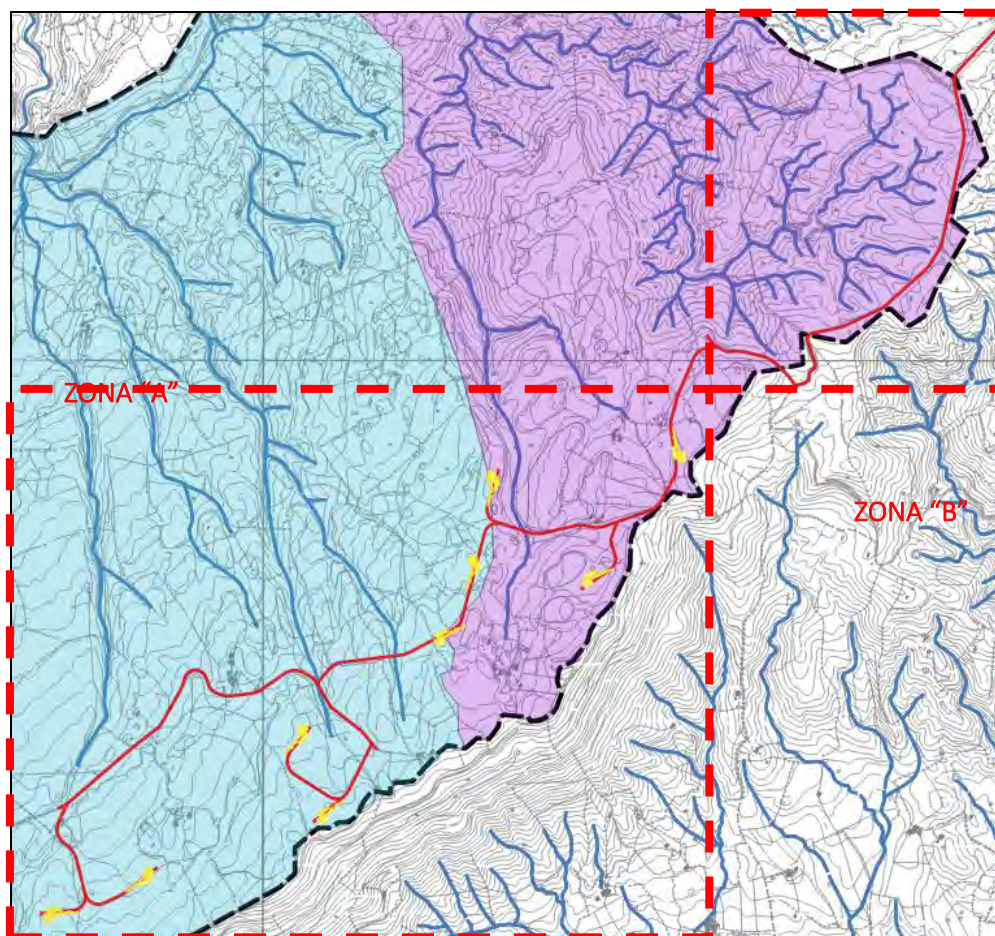


Figura 11 - Inquadramento preliminare delle aree di interferenza idraulica principale e secondaria.

La Figura 11 evidenzia i punti in cui il tracciato stradale in progetto attraversa la rete idrografica; in particolare si individuano due macro zone:

- **ZONA "A" – Interferenze principali:** zona principalmente interessata dal deflusso in concomitanza di eventi pluviometrici particolarmente intensi, in quanto i sottobacini che possono essere sottesi dal tracciato stradale sono maggiori rispetto alle aree sottese dal tracciato stradale (che inoltre è già esistente) nella ZONA "B". All'interno della ZONA "A" si sono identificati inizialmente n. 3 interferenze riscontrate nei punti stessi di intersezione tra i rii presenti nell'area (*Riu Traino de Ferulas e Riu Longu Idanu*) e il tracciato stradale così come riportato in Figura 11.
- **ZONA "B" – Interferenze secondarie:** zona interessata in misura minore da possibili deflussi di ruscellamento superficiale, in quanto il tracciato stradale è spostato verso il crinale dell'altopiano, interessando la parte sommitale del bacino idrografico; le aree scolanti che possono essere sottese dalla strada sono modeste e non si riscontrano interferenze con il reticolo idrografico tracciato sulla carta tecnica regionale: possono quindi essere presenti linee di deflusso secondarie, localizzate.

Dall'implementazione del modello di calcolo e dai risultati ottenuti dalle simulazioni idrauliche, si possono individuare pertanto con maggiore precisione le singole interferenze idrauliche all'interno delle due macro-aree individuate.

5.2 MODELLO DI DEFLUSSO IDRAULICO

Per le simulazioni è stato utilizzato il software HEC-RAS, sviluppato dall'Hydrologic Engineering Center, River Analysis System dell'US Army Corps of Engineers, in particolare è stata utilizzata la recente versione 5.0.7, rilasciata nel corrente anno, quale aggiornamento della versione precedente.

A partire dalle ultime versioni HEC ha aggiunto la capacità di eseguire uno schema di modellazione bidimensionale ammettendo come condizione al contorno iniziale, relativa ad un'area 2D, uno ietogramma di pioggia netta. Gli utenti possono quindi eseguire una modellazione di deflusso in moto vario nato dalla trasformazione della sola parte di precipitazione concorrente alla formazione del deflusso di piena, in quanto il software non permette la valutazione delle infiltrazioni o delle perdite generali relative al bacino idrografico che dunque sono già state affrontate al §4.2.

5.2.1 HEC-RAS bidimensionale

Le nuove funzionalità di simulazione della propagazione dei deflussi in HEC-RAS sono state sviluppate per permettere all'utente di eseguire la modellazione 1D/2D combinato. L'algoritmo di modellazione del moto bidimensionale in HEC-RAS ha le seguenti caratteristiche, che rappresentano le potenzialità e l'innovazione del codice di calcolo non solo rispetto alla modellazione monodimensionale, ma anche rispetto ai più datati codici bidimensionali esistenti.

1. **Modellazione combinata 1D e 2D:** La possibilità di eseguire una modellazione combinata 1D e 2D all'interno dello stesso modello in regime di moto vario permette all'utente di lavorare su schemi fluviali più complessi,

utilizzando la modellazione 1D per l'asta fluviale principale, e la modellazione 2D nelle zone esterne che lo richiedono per modellare in modo fedele la propagazione dei deflussi.

2. **Equazioni complete di Saint Venant o di diffusione dell'onda in 2D:** Il programma risolve sia le equazioni 2D di diffusione dell'onda o quelle complete di Saint Venant. Questa opzione è selezionabile dall'utente, offrendo quindi una maggiore flessibilità. In generale, le equazioni di diffusione dell'onda in 2D consentono al software di funzionare più velocemente garantendo una maggiore stabilità. Le equazioni 2D in forma completa di Saint Venant sono applicabile a una gamma più ampia di problemi, ma la grande maggioranza delle situazioni può essere modellata con sufficiente precisione con le equazioni di diffusione dell'onda.
3. **Algoritmo di soluzione ai volumi finiti:** Il risolutore delle equazioni di moto bidimensionale utilizza un algoritmo implicito ai Volume finiti. L'algoritmo di soluzione consente di utilizzare passi temporali di calcolo maggiori rispetto ai metodi espliciti. L'approccio ai volumi finiti fornisce un miglioramento della stabilità e robustezza rispetto alle tradizionali tecniche differenziali di soluzione basate su metodi a elementi finiti.
4. **Algoritmo per la soluzione accoppiata dei modelli 1D e 2D:** Gli algoritmi di soluzione 1D e 2D sono strettamente accoppiati nello stesso passo temporale di calcolo. Questo permette una perfetta coerenza a ogni passo temporale tra i modelli 1D e 2D. Ad esempio, se un fiume è modellato in 1D, ma l'area dietro un argine è modellata in 2D, il deflusso al di sopra dell'argine o eventualmente attraverso una breccia nell'argine è valutato utilizzando come carico di monte il livello nel fiume 1D e come carico di valle il livello nell'area 2D. L'equazione dello stramazzo è utilizzata per calcolare il deflusso al di sopra l'argine o attraverso la breccia.
5. **Maglie computazionali strutturate e non strutturate:** Il software è stato progettato per utilizzare mesh computazionali strutturate o non strutturate. Ciò significa che le celle di calcolo possono essere triangoli, quadrati, rettangoli o anche elementi a cinque e sei facce. La maglia può essere una miscela di forme e dimensioni delle celle. Il contorno esterno della maglia computazionale è definito con un poligono.
6. **Tabella dettagliata delle proprietà idrauliche per le celle di calcolo:** ogni cella e ogni faccia della cella per tutta la maglia di calcolo è pretrattata al fine di sviluppare dettagliate tabelle di proprietà idrauliche basate sul DTM utilizzato nel processo di modellazione.

Nella Figura 12 a sinistra è illustrato un esempio di maglia di calcolo sovrapposta ai dati del terreno. Le celle computazionali sono rappresentate dalle linee nere spesse. I centri di calcolo di ogni cella sono rappresentati dai nodi neri e sono i luoghi dove sono calcolati il livello idrico e la portata. La curva altezza/volume per ogni cella si basa sui dati del terreno sottostante. Ogni faccia della cella è una sezione trasversale dettagliata basata anch'essa sul terreno sottostante.

Questo metodo di rappresentazione delle celle permette all'acqua di spostarsi tra le celle in base ai dati del terreno sottostante. Pertanto un piccolo canale che attraversa le celle e le cui dimensioni sono molto più piccole della dimensione delle celle viene comunque rappresentato tramite la curva altezza/volume delle celle oltre che dalle proprietà idrauliche delle facce tra le celle. Ciò significa che l'acqua scorre tra le celle più grandi ma comunque il deflusso è condizionato dalle caratteristiche del canale. Un esempio di un piccolo canale che attraversa celle della griglia molto più grandi è illustrato nella Figura 12 che presenta diversi

canali che sono molto più piccoli della dimensione media della cella utilizzata per modellare la zona. Tuttavia, come illustrato nella figura medesima a destra, il deflusso avviene attraverso i piccoli canali in funzione delle proprietà idrauliche del canale. Il deflusso rimane nei canali fino a quando la portata non è tale da causare la tracimazione delle sponde e quindi il deflusso si riversa nelle aree adiacenti.

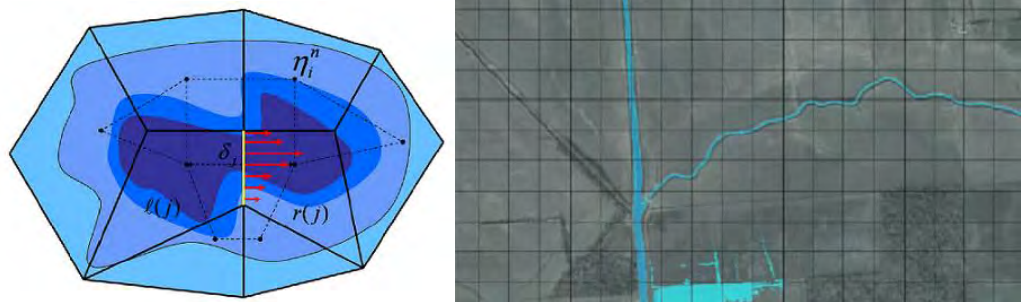


Figura 12 – Rete di calcolo non strutturata con i dati dettagliati del modello digitale del terreno ed esempio che mostra i vantaggi di utilizzare un approccio basato sulla variabilità del DTM all'interno della cella.

7. **Dettagliata mappatura dello scenario degli allagamenti con animazioni:** La perimetrazione delle aree allagabili così come le animazioni dello scenario degli allagamenti in funzione del tempo può essere fatta all'interno di HEC-RAS utilizzando le funzionalità di RAS - Mapper. La mappatura delle aree allagate si basa sul DTM, ciò significa che la reale superficie bagnata sarà basata sui dettagli della morfologia del terreno sottostante e non sulla dimensione della cella di calcolo.
8. **Algoritmo di calcolo basato su sistemi Multi-Processore:** Il modello di calcolo 2D è stato programmato per sfruttare i sistemi multi-processore presenti sui computer moderni (architettura parallela). In questo l'algoritmo di soluzione presenta una maggiore velocità e quindi i computer dotati di più processori sono in grado di eseguire la modellazione 2D più velocemente rispetto ai computer a singolo processore.

5.2.2 Geometria di riferimento

Il modello 2D implementato nella presente fase progettuale ed adottato nelle simulazioni rappresentative dello stato di fatto e di pre-progetto (ipotesi di rilevato stradale senza attraversamenti), utilizza come base topografica il modello digitale del terreno (DTM) della Regione Sardegna, con risoluzione a terra di 10 m.

Per ciò che concerne la simulazione relativa allo stato di progetto, è stato riportato sulla base DTM a 10 m il modello digitale del tracciato stradale in progetto con risoluzione 0,25 x 0,25 esportato dal software Civil 3D di Autodesk, e il DTM risultante è stato adottato come base geometrica per la simulazione suddetta.

Si riporta una vista di insieme del DTM di progetto ed alcuni estratti di dettaglio nelle successive figure:

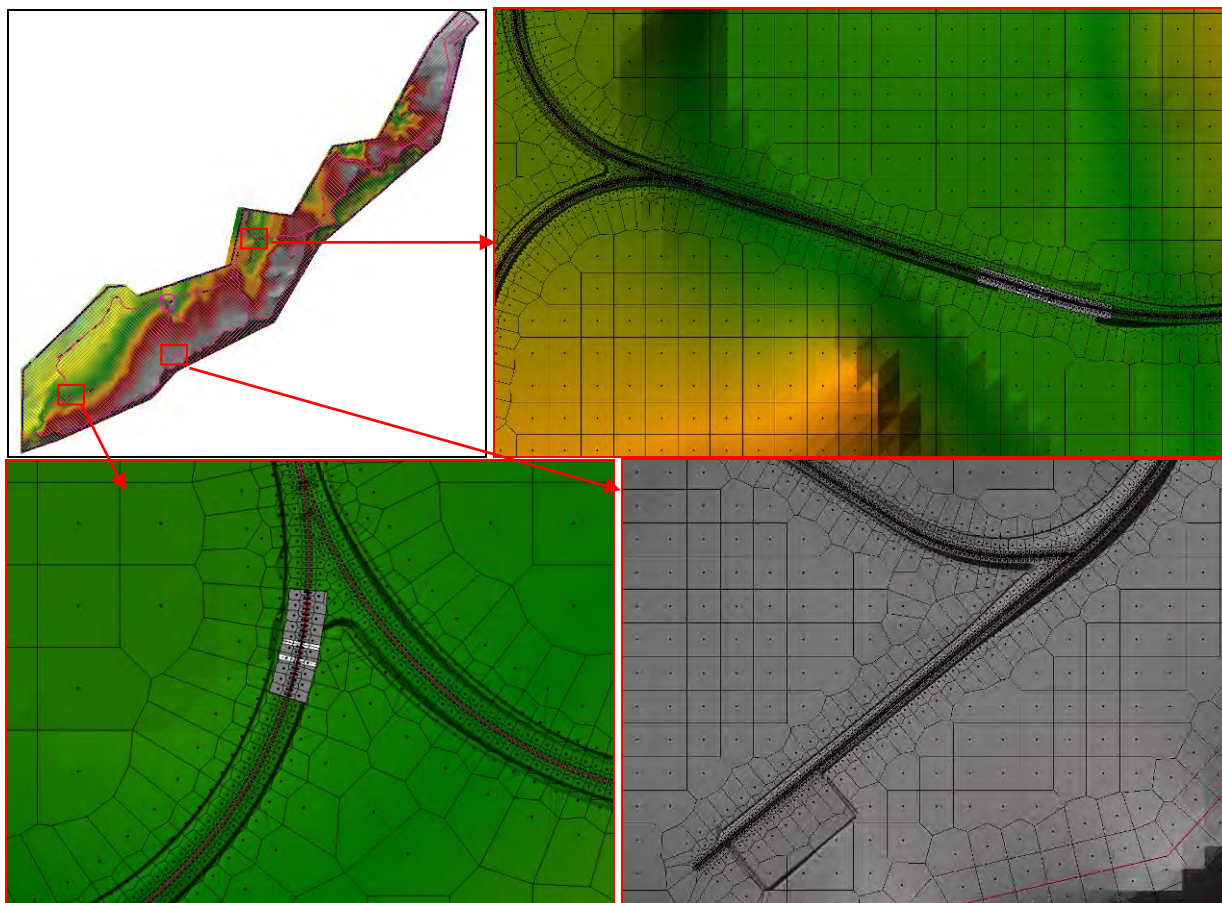


Figura 13 – In alto a sinistra la vista complessiva del DTM adottato come base geometrica per la simulazione 2D allo stato di progetto; dettagli delle maglie di calcolo del DTM rappresentante la condizione geometrica di progetto delle opere; esempi di attraversamento inserito nel modello di calcolo.

Il dominio di calcolo è stato sufficientemente esteso in modo:

- da contenere interamente il tracciato stradale principale e secondario in progetto, compreso il tratto di collegamento già esistente;
- da rendere trascurabili le imprecisioni di calcolo che si manifestano nell'intorno delle interfacce su cui sono applicate le condizioni al contorno;
- da comprendere trasversalmente le aree interessate dai deflussi di piena sia sul versante interessato direttamente dalla realizzazione della strada in progetto (territorio comunale di Chiaramonti ed Erula) sia su quello opposto (territorio comunale di Ozieri e Tula).

In particolare, l'area di calcolo comprende circa 55'500 celle e si estende per una area approssimativa di 9 km².

Si riporta in Figura 14 la rappresentazione generale del dominio di calcolo, con la distribuzione areale del parametro di scabrezza n di Manning.

5.2.1 Parametri di scabrezza

Per quanto riguarda la scabrezza è stato attribuito un parametro n di Manning in funzione della distribuzione delle singole classi d'uso del suolo, come riportato in Figura 14:

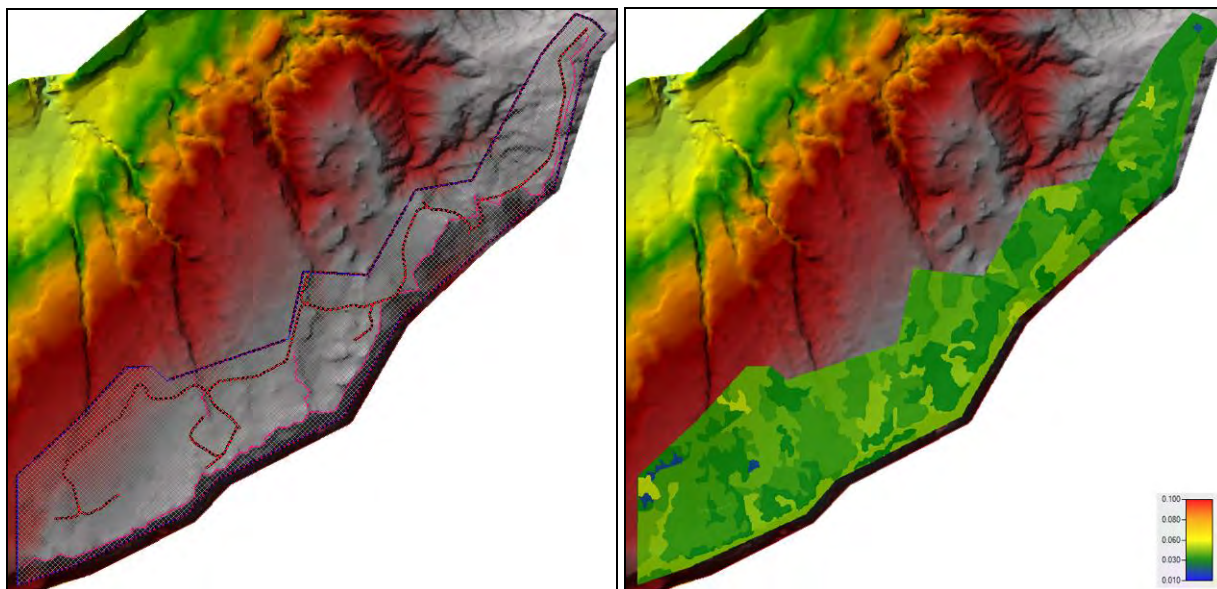


Figura 14 - Dominio di calcolo - rappresentazione delle maglie di calcolo su base DTM, disposizione delle break lines utili a modificare localmente la geometria delle maglie quadrate nonché del tracciato stradale principale e secondario in progetto; Distribuzione del coefficiente n di Manning relativo alla scabrezza.

5.2.2 Attraversamenti esistenti

Sono stati rilevati in sede di sopralluogo n. 5 attraversamenti esistenti realizzati sul tratto asfaltato della strada Comunale Sassu Artu, in particolare, facendo riferimento alla Figura 15:

- P_01: Ponticello esistente con larghezza 1 m e altezza 2,2 m;
- P_02: Ponticello esistente con larghezza 1,9 m e altezza 1,0 m;
- P_03: Ponticello esistente con larghezza 2 m e altezza 1,0 m;
- P_04: Tubolare esistente da \varnothing 800;
- P_05: Ponticello esistente con larghezza 1 m e altezza 2 m.

Tali attraversamenti sono stati inseriti all'interno del modello di deflusso in modo da valutare dal punto di vista idraulico la compatibilità idraulica o l'insufficienza nei confronti dell'evento pluviometrico di progetto.

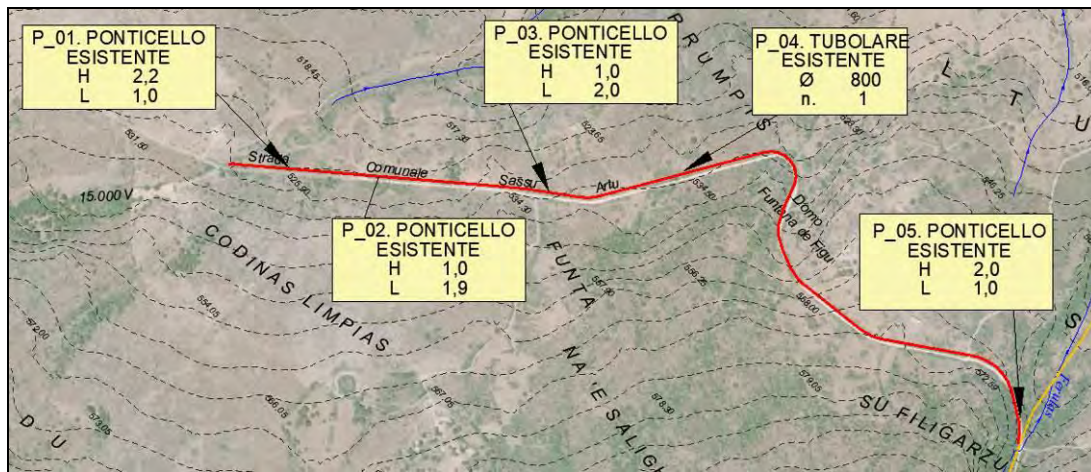


Figura 15 - Ubicazione e caratteristiche degli attraversanti esistenti rilevati in sede di sopralluogo.

5.2.3 Condizioni al contorno

Le condizioni al contorno si distinguono tra condizioni di ingresso e condizioni di uscita. Riprendendo la Figura 14 è possibile osservare che per le condizioni in uscita dei deflussi sono state disposte lungo il perimetro dell'area di calcolo numerose linee di calcolo; la condizione in ingresso è invece distribuita su tutte le celle di calcolo facenti parte dell'area 2D, poiché è rappresentata dagli afflussi pluviometrici.

Le condizioni al contorno di uscita rappresentando le uniche uscite all'area di calcolo per il deflusso superficiale: è stato quindi indispensabile disporre in maniera opportuna e in numero sufficiente per evitare accumuli non realistici ai bordi dell'area di calcolo. Inoltre, i dati registrati in uscita durante le simulazioni sono fondamentali per valutare lo stato di stabilità del modello di calcolo allo stato attuale, prima di passare alle simulazioni di progetto.

La condizioni al contorno di ingresso è la pioggia di progetto con TR 200 anni identificata al §4.2; si riporta lo ietogramma di progetto così come inserito all'interno del modello di calcolo:

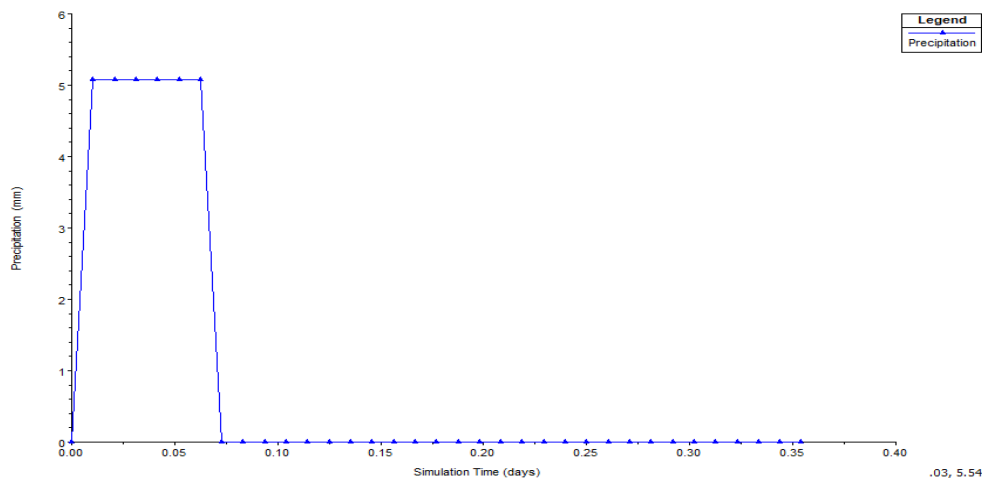


Figura 16 - Ietogramma di progetto inserito come condizione in entrata in HEC-RAS.

5.2.4 Scenari simulati

Gli scenari implementati nel modello di calcolo sono i seguenti:

- **PLAN 01 – Deflusso superficiale allo STATO DI FATTO del versante.** Tale modello, che utilizza come base esclusivamente il DTM regionale a passo 10 m ha permesso di effettuare le operazioni di taratura e successivamente di identificare i percorsi di deflusso naturale sul versante, riconoscendo le possibili zone di interferenza con il tracciato stradale in progetto, permettendo inoltre di suddividere in maniera opportuna diversi sottobacini afferenti a ciascun tratto stradale interferente.
- **PLAN 02 – Deflusso superficiale PRE-PROGETTO.** Tale modello ha la finalità di evidenziare tutte le zone di depressione e le linee di impluvio, che possono determinare un accumulo idrico a ridosso del rilevato stradale in progetto. La simulazione ipotizza la presenza di un rilevato lungo la sede stradale, ad una quota tale per cui si possa ritenere insormontabile: risultato mostra in tal modo l'accumulo idrico che si potrebbe formare a fine evento pluviometrico, causato dalla presenza del rilevato, senza la presenza di adeguate opere di attraversamento.
- **PLAN 03 – Deflusso superficiale allo stato di PROGETTO.** Tale modello, sulla scorta dei risultati ottenuti dalla simulazione PRE-PROGETTO (PLAN 02), prevede l'inserimento di un numero adeguato di tubazioni di attraversamento trasversale del rilevato stradale, al fine di impedire la formazione di accumuli idrici (individuati nella simulazione PRE-PROGETTO) e dunque garantire la trasparenza idraulica dell'opera.

5.3 RISULTATI DELLE SIMULAZIONI NUMERICHE

Nei paragrafi a seguire vengono analizzati i risultati delle simulazioni idrauliche per i diversi scenari di simulazione.

5.3.1 PLAN 01 – STATO DI FATTO

La simulazione relativa allo stato di fatto mette in luce la dinamica attuale di deflusso naturale del versante interessato dalla realizzazione dell'infrastruttura in progetto, tenendo conto della viabilità e degli attraversamenti esistenti. In particolare, si riportano per la ZONA "A" in Figura 17 i massimi battenti idrici registrati durante la simulazione dell'evento pluviometrico di progetto caratterizzato da TR 200 anni e da una precipitazione cumulata di poco più di 30 mm in 1,5 ore (§4.2), riferita alla sola componente netta di pioggia.

Dalla figura si può notare come le aree localizzate dove si trovano battenti superiori a 1 m (colore blu) siano alcune depressioni morfologiche identificanti un'incisione d'alveo verso la quale si indirizzano le acque di ruscellamento sull'area in esame. Infatti, in tali aree, si possono riconoscere bene i solchi morfologici che canalizzano il deflusso delle acque; le intersezioni tra questi e il tracciato della strada di collegamento (cerchi gialli 3-4-5) verificano fundamentalmente le interferenze idrauliche già riconosciute in precedenza al §5.1, ciascuna delle quali rappresenta la sezione di chiusura di un sottobacino che convoglia il deflusso delle acque di pioggia proprio in tali punti.

Spostandosi in sinistra (ellissi gialle 1-2) si possono invece riconoscere due aree di interferenza caratterizzate da una maggiore estensione rispetto alle precedenti, in quanto non si evidenzia un'incisione principale sulla porzione di versante afferente a tali aree e la precipitazione diffusa su tale sottobacino determina allo stato di fatto un deflusso diffuso, con traiettorie parallele tra loro per un'estensione di circa 1,5 km, che vanno poi a convogliarsi nell'incisione principale, ma solo a valle del tracciato stradale asfaltato esistente.

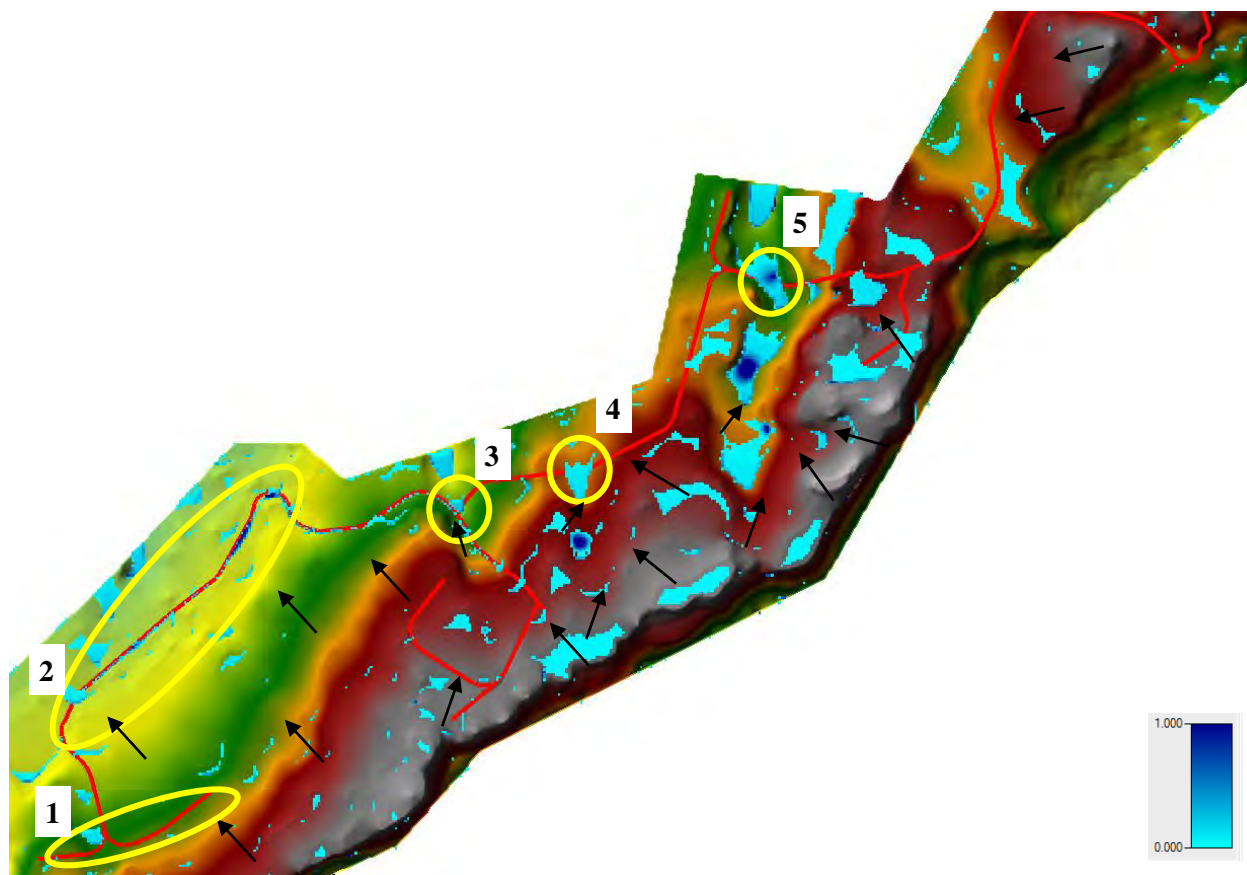


Figura 17 – ZONA "A" - Massimi battenti idrici registrati durante l'evento pluviometrico di progetto TR 200 anni; traiettorie di deflusso (freccie nere) e localizzazione delle principali interferenze con la viabilità in progetto; con linea rossa è riportato il tratto della strada comunale Sassu Artu asfaltato lungo il quale sono presenti ponticelli.

Lungo questo tratto sono presenti alcune opere di attraversamento rilevate in sede di sopralluogo ed elencate al § 5.2.2; si riportano nella tabella sottostante i principali risultati ottenuti relativi a ciascun attraversamento esistente. Come si evince dai risultati riportati in Tabella 7 il ponticello di attraversamento denominato P_02 esistente ed il tubolare Ø800 denominato P_04 non risultano compatibili con la modalità di deflusso allo stato di fatto, relative ad un evento di pioggia con tempo di ritorno di 200 anni.

Tabella 7 - Principali caratteristiche dei ponticelli di attraversamento esistenti e risultati relativi alla simulazione allo stato di fatto con TR 200.

ZONA	Diam [m]	B [m]	H [m]	WSE [m s.l.m.]	Battente [m]	Q _{max} [m ³ /s]	GR [%]
P_01 - Ponticello esistente		1	2.2	525.93	0.8	1.0	35
P_02 - Ponticello esistente		1.9	1.0	525.90	1.0	2.6	103
P_03 - Ponticello esistente		2.0	1.0	533.41	0.5	0.9	46
P_04 - Tubolare esistente	0.8			535.30	1.7	1.6	212
P_05 - Ponticello esistente		1.0	2.0	564.97	1.2	0.2	59

Analizzando invece la Figura 18, che riporta il valore dei battenti massimi relativamente alla "ZONA B" – zona di interferenze minori, è evidente che, diversamente "dalla ZONA A", allo stato di fatto non si hanno evidenze di incisioni d'alveo che possano canalizzare le acque meteoriche verso una particolare sezione, in quanto la rete idrografica di deflusso è ben definita solo a valle della strada di collegamento: in tale settore si hanno quindi solo alcune interferenze minori dovute ad un deflusso idrico di tipo distribuito.

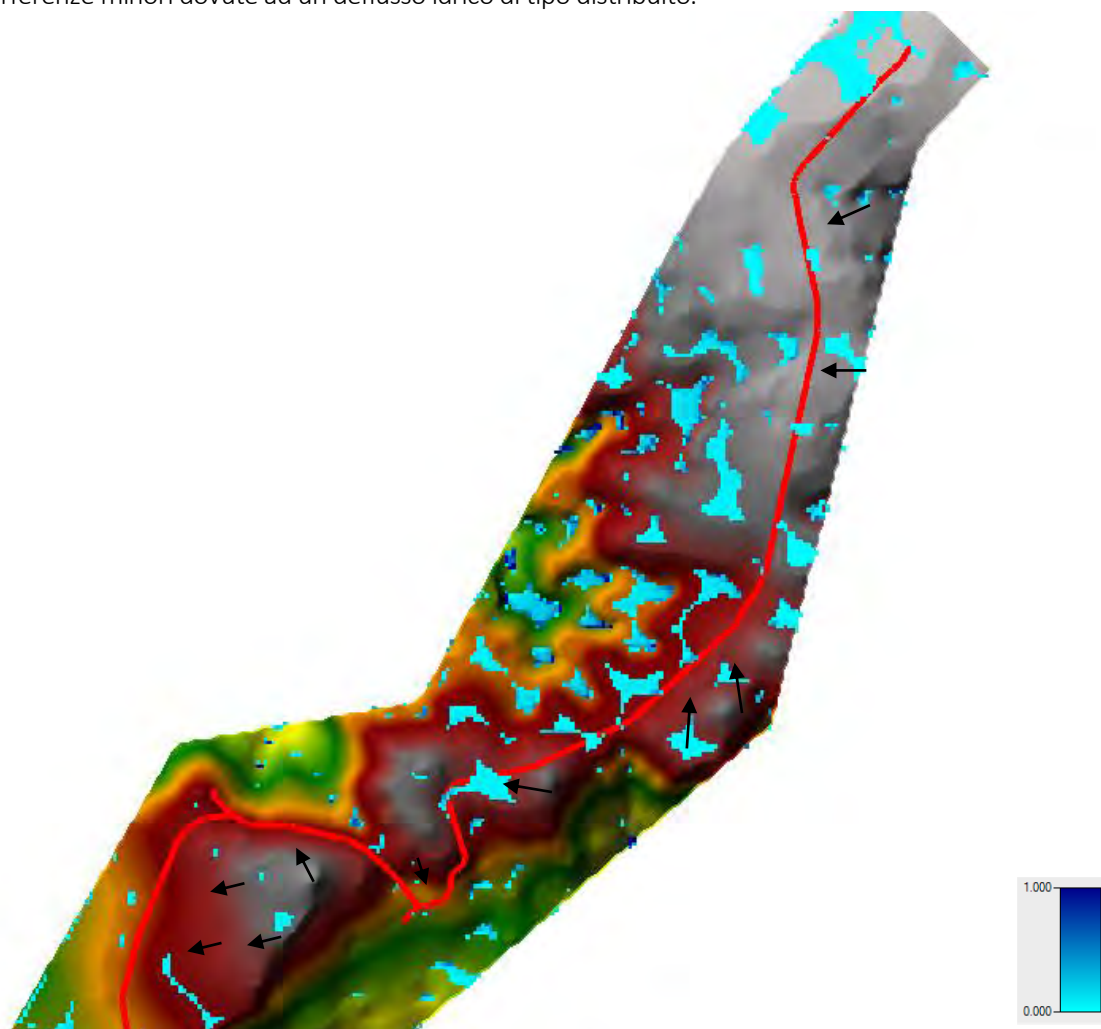


Figura 18 - ZONA "B" - Massimi battenti idrici registrati durante l'evento pluviometrico di progetto TR 200 anni.

Infine, studiando l'andamento delle traiettorie di deflusso (frecche nere - Figura 17 e Figura 18) è stato possibile identificare quali siano le aree relative a ciascun sottobacino suddetto (ALLEGATO 1) ed estrapolare dalla simulazione effettuata la quantità d'acqua che transita nel tempo attraverso tali sezioni, ovvero gli idrogrammi caratteristici di ciascun sottobacino sotteso nei punti di interferenza con il tracciato stradale.

5.3.1.1 Definizione sottobacini sottesi al tracciato stradale in progetto

A valle delle osservazioni suddette, è stato possibile tracciare i contorni dei diversi sottobacini sottesi dal tracciato della viabilità di collegamento ed individuare alcune delle sezioni di chiusura alle quali calcolare le portate di progetto assunte nelle successive simulazioni di verifica idraulica.

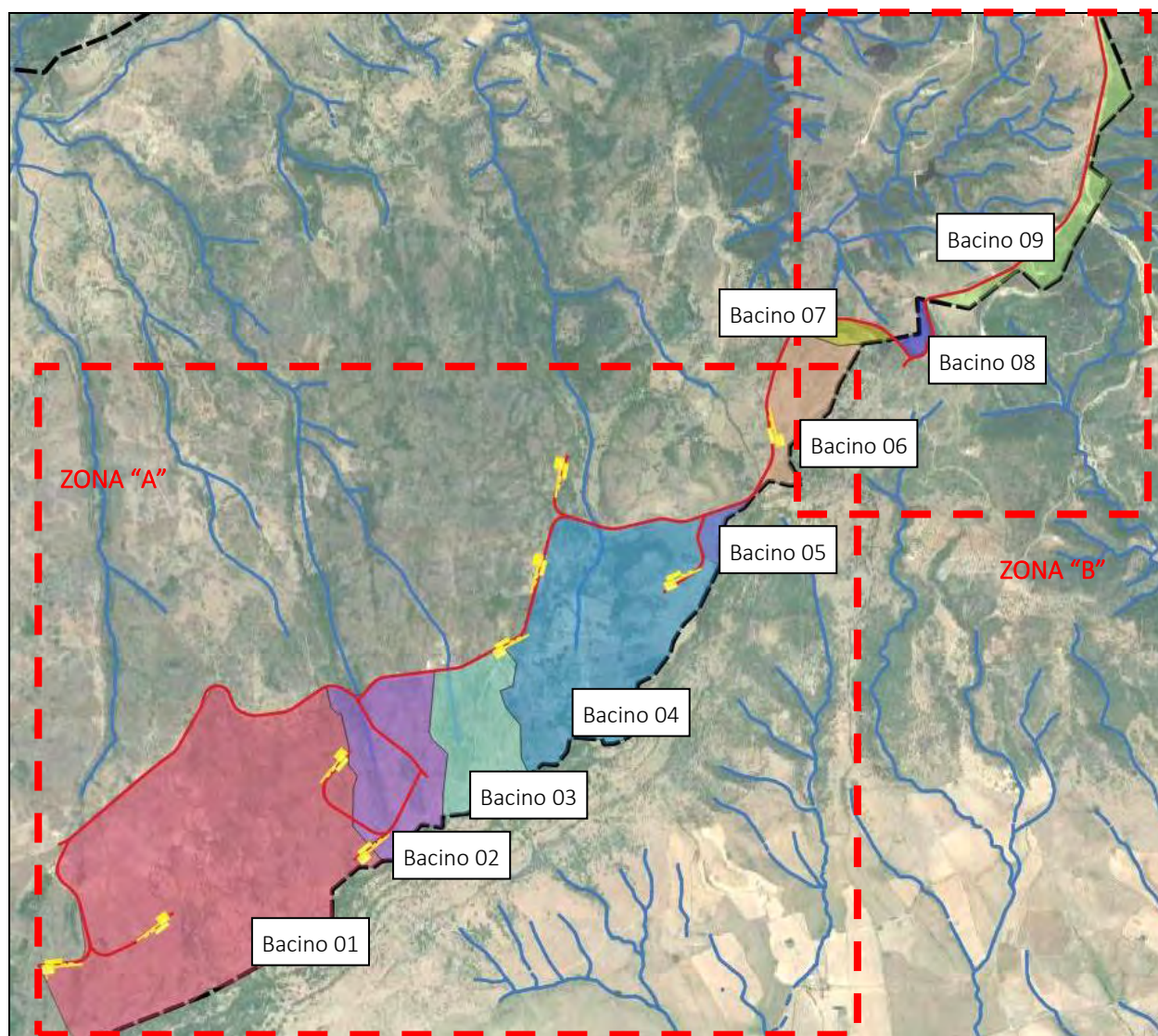


Figura 19 - Suddivisione dell'intero bacino idrografico nei singoli sottobacini sottesi al tracciato stradale di collegamento, ed individuazione delle zone di interferenza principale e secondaria.

Si sono identificati n. 9 sottobacini le cui rispettive aree scolanti sono riportate in Tabella 8. I sottobacini che si ritengono maggiormente critici sono allora il Bacino 01 – 02 – 03 – 04, ovvero quelli ricadenti all'interno dell'area di interferenza principale denominata Zona "A", che presentano le maggiori superfici scolanti.

Tabella 8 - Area scolante [km²] dei sottobacini sottesi dal tracciato stradale in progetto

Bacino 01	Bacino 02	Bacino 03	Bacino 04	Bacino 05	Bacino 06	Bacino 07	Bacino 08	Bacino 09
1.97	0.42	0.30	0.99	0.03	0.21	0.06	0.03	0.18

5.3.2 PLAN 02 – STATO PRE-PROGETTO

Per una migliore identificazione dei punti di interferenza e per il posizionamento delle opere necessarie, è stato necessario sviluppare la simulazione "PLAN 02 – PRE-PROGETTO", che prevede l'inserimento di una struttura che simuli l'ingombro del rilevato stradale e l'eventuale ostacolo alle acque di ruscellamento, ipotizzata insormontabile; si riporta il risultato in termini di massimi battenti nella sottostante Figura 20.

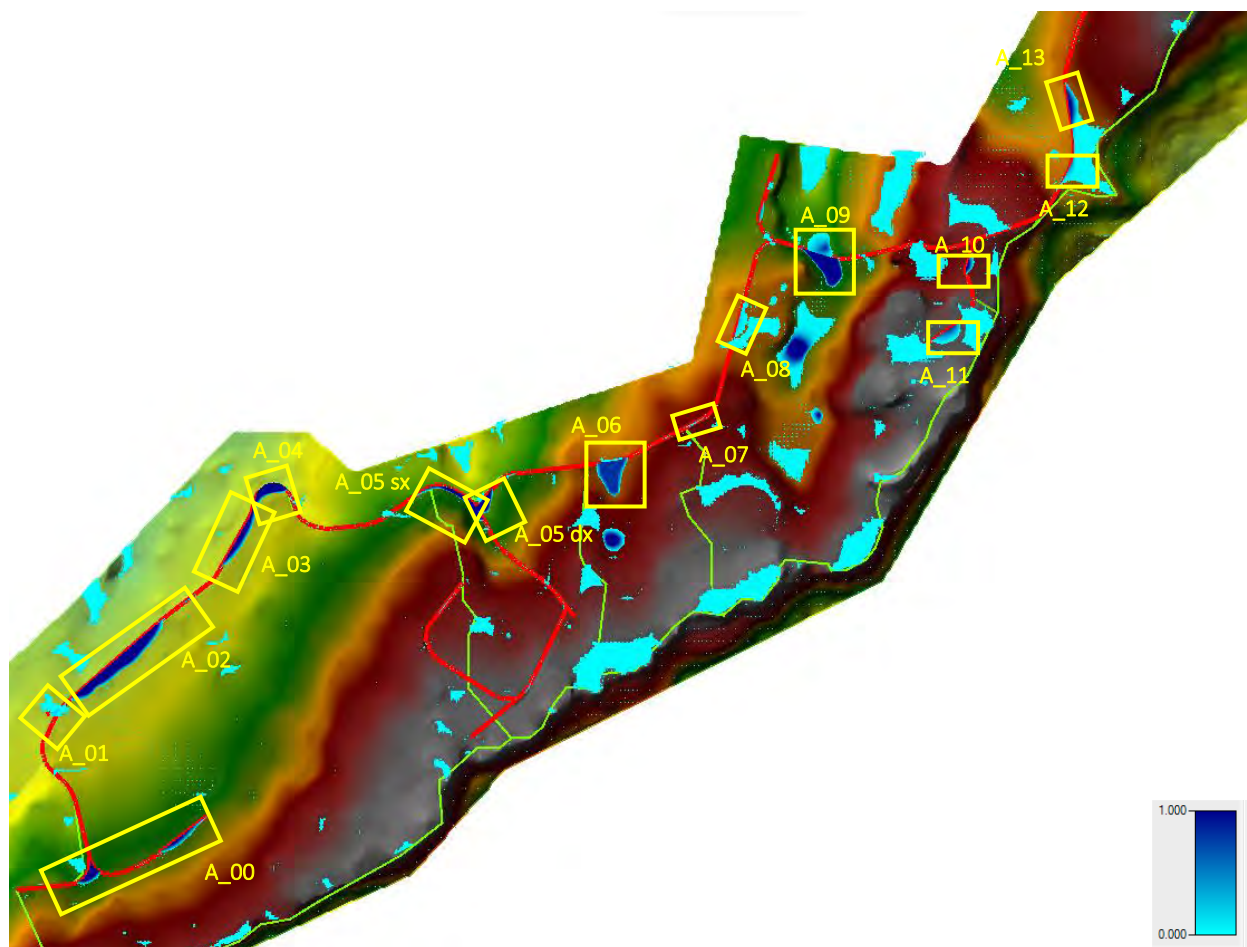


Figura 20 – ZONA "A" – Zone di accumulo idrico dopo 4 ore di simulazione dall'inizio dell'evento pluviometrico TR 200 (durata evento 1,5 ore) e localizzazione delle singole interferenze idrauliche principali

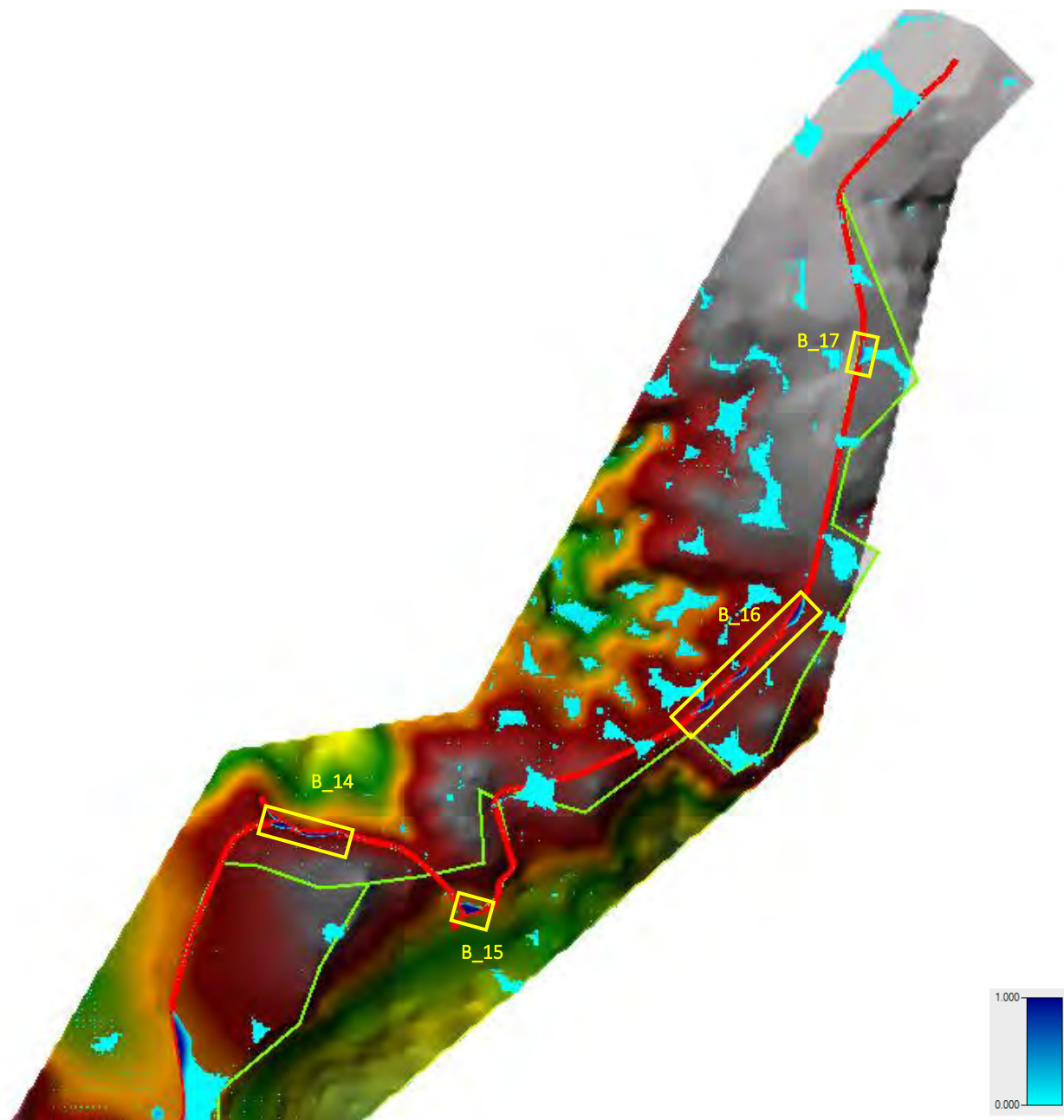


Figura 21 - ZONA "B" - Zone di accumulo idrico dopo 4 ore di simulazione dall'inizio dell'evento pluviometrico TR 200 (durata evento 1,5 ore) e localizzazione delle singole interferenze idrauliche minori.

In Figura 20 e Figura 21 sono state anche indicate le aree relative a ciascun sottobacino individuato precedentemente (§5.3.1.1), in modo tale da attribuire le diverse zone di accumulo individuate all'area scolante del sottobacino di competenza. Le zone di accumulo individuate sono state nominate in ordine progressivo partendo dalla piazzola denominata OZ8 e dunque da Sud – Ovest verso Nord – Est e di queste zone si sono calcolate le portate che potrebbero defluire se non vi fosse presente l'ostacolo del nuovo rilevato stradale in progetto.

5.3.2.1 Portate di progetto

Localizzate le sezioni nelle quali, in presenza dell'ostacolo rappresentato dal tracciato stradale, va a convergere il deflusso idrico concorrendo alla formazione delle zone di accumulo idrico indicate in Figura 20 e Figura 21, le portate defluenti in tali sezioni vengono assunte per il dimensionamento delle opere idrauliche necessarie a garantire il libero deflusso delle acque.

Le portate di progetto vengono calcolate nelle sezioni terminali di valle dei sottobacini indicati in Figura 19, coincidenti con la porzione di tracciato stradale intersecante ciascun sottobacino. La portata così calcolata per il Bacino 01 dovrà essere suddivisa in diversi contributi, facendo riferimento alla suddivisione delle zone di accumulo riportate in Figura 20. Sulla scorta dei risultati della simulazione PLAN 01 - STATO DI FATTO, si sono ottenuti i valori di portata che transitano allo stato di fatto nelle sezioni di interferenza individuate.

Facendo l'ipotesi che il tempo di ritorno legato al colmo di portata registrato in una sezione sia il medesimo di quello caratterizzante l'evento pluviometrico che lo genera, le portate di progetto si riferiscono a TR 200 anni.

La simulazione in moto vario permette di ottenere l'idrogramma di piena registrato in ciascuna delle sezioni suddette; si riportano qui solamente quelli relativi al Bacino 01 (complessivo su tutto il tracciato stradale ricadente all'interno del Bacino 01) e 02 (quello relativo al Riu Trainu de Ferulas), mentre sinteticamente vengono ordinati i colmi di piena per tutti i sottobacini in Tabella 9:

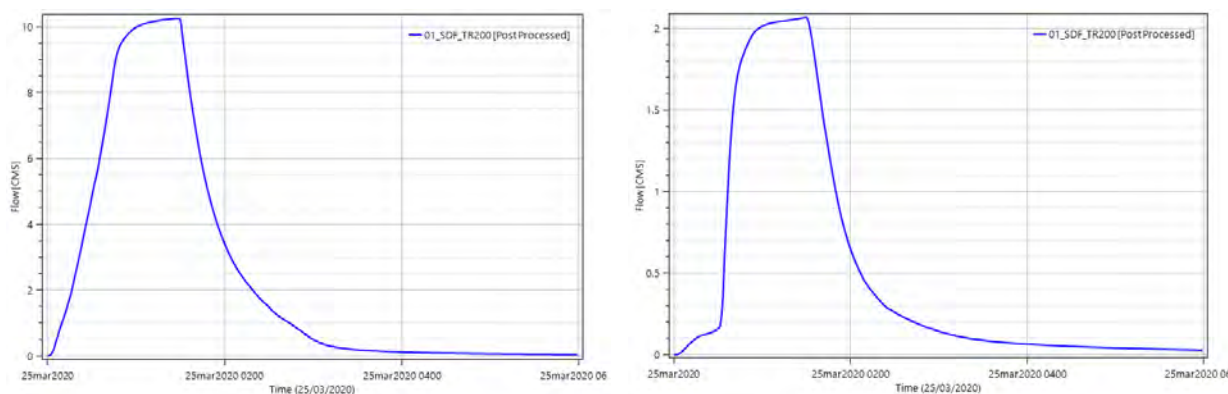


Figura 22 - Idrogrammi per l'evento di piena TR 200; Bacino 01 (sinistra) e Bacino 02 (destra).

Tabella 9 – Portate di progetto [m³/s] TR 200 per ciascun sottobacino sotteso al tracciato stradale in progetto.

Bacino 01	Bacino 02	Bacino 03	Bacino 04	Bacino 05	Bacino 06	Bacino 07	Bacino 08	Bacino 09
10.3	2.2	1.2	2.5	0.2	0.8	0.2	0.2	0.4

5.3.3 PLAN 03 – STATO DI PROGETTO

Individuate le posizioni delle zone di accumulo idrico risultanti dalla simulazione PLAN 02 (§ 0) e note le portate al colmo, per un tempo di ritorno di 200 anni e relative ai sottobacini individuati (v. Figura 19) è stato possibile dimensionare le opere di attraversamento necessarie ai fini di garantire la trasparenza idraulica del nuovo rilevato stradale, non compromettendo così il deflusso libero delle acque meteoriche scolanti sul bacino così come allo stato di fatto.

Nell'immagine seguente si illustra il risultato delle aree di accumulo con battenti massimi per la ZONA A e la ZONA B (per i dettagli si rimanda all'“Elaborato grafico 3.2 – Carta delle interferenze idrauliche e rete idrografica” allegata al presente progetto).

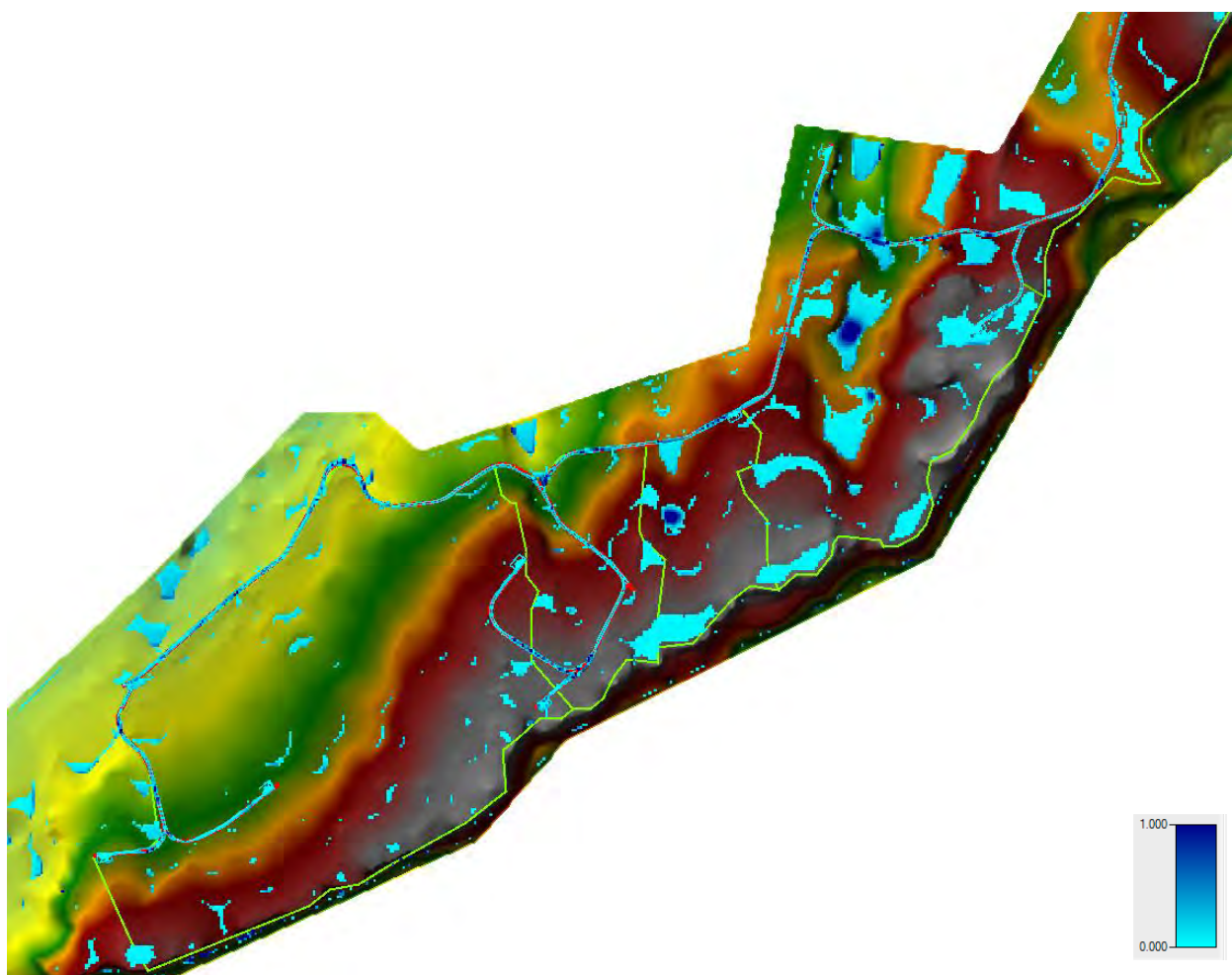
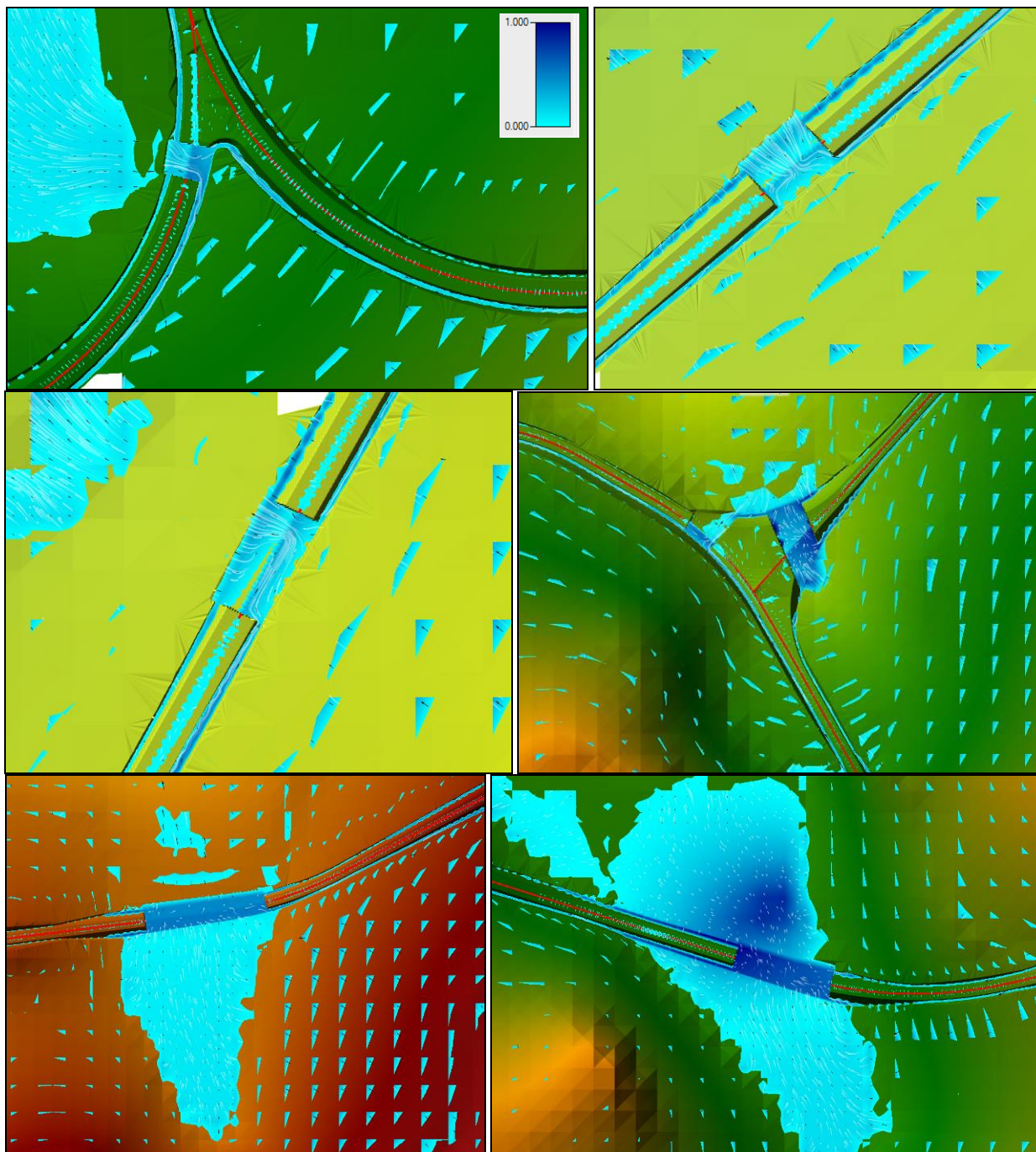


Figura 23 - ZONA "A" - Massimi battenti idrici registrati durante l'evento pluviometrico di progetto TR 200 anni.

Dall'analisi dell'area di esondazione rappresentata in Figura 23 a confronto con la stessa allo stato di fatto in Figura 17, si nota come l'interferenza provocata dalla realizzazione dell'opera stradale in progetto non comporti una sostanziale alterazione allo stato di fatto del deflusso superficiale delle acque meteoriche, né un accumulo tale da sormontare il manto stradale nei pressi delle opere idrauliche inserite nel modello (tubazioni,

ponticelli,...). In particolare, si può notare nelle successive figure come i fossi di guardia del rilevato stradale convogliano le acque verso gli attraversamenti in progetto, garantendo l'assenza di accumuli idrici e il deflusso verso valle delle acque provenienti da monte.



**Figura 24 - Inquadramento di dettaglio su di alcuni attraversamenti significativi, in ordine da in alto a sinistra:
P6 - A_00_02 ; P4 - A_02_02 ; P4 - A_04_01 ; P3 - A_05_01 (Riu Trainu de Ferulas);
P3 - A_06_01 ; P3 - A_09_01 (Riu Longu Idanu).**

I battenti idrici che si osservano in Figura 23 e che contornano il tracciato stradale in progetto sono relativi appunto ai fossi di guardia, caratterizzati da una sezione trapezia con base minore 0,5 m, maggiore 1,5 e sponde a 45°; i fossi hanno una pendenza tale da contribuire alla distribuzione delle acque che si accumulano a monte ai piedi del rilevato, in maniera da convogliarle verso gli attraversamenti idraulici in progetto.

Per quanto riguarda la ZONA B, la strada di collegamento in direzione nord-est oltre la piazzola aerogeneratore denominata OZ1 non comporta alcuna modifica altimetrica del tracciato stradale esistente, e dunque non si prevedono opere idrauliche aggiuntive rispetto a quelle già presenti. Si riportano comunque i battenti massimi in Figura 25:

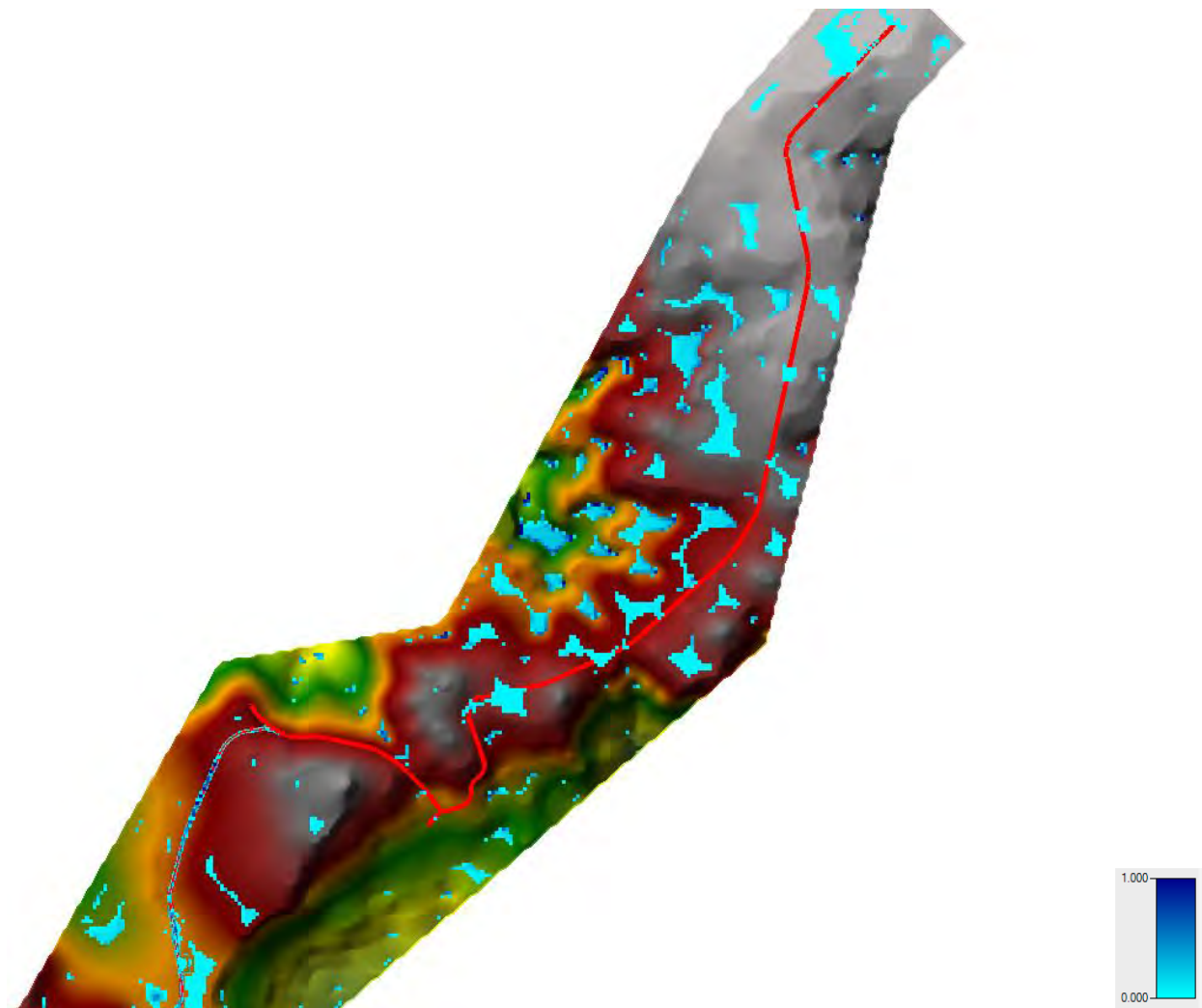


Figura 25 - ZONA "B" - Massimi battenti idrici registrati durante l'evento pluviometrico di progetto TR 200 anni.

5.3.4 VERIFICA IDRAULICA DEGLI ATTRAVERSAMENTI

Al fine di verificare la compatibilità idraulica delle opere di attraversamento in progetto sono stati estrapolati dalla simulazione PLAN 03 – Stato di Progetto gli idrogrammi defluiti tramite ciascuna apertura e le massime altezze idriche raggiunte a monte di ciascun attraversamento. Si possono assumere idonei e dunque compatibili al deflusso di portate eccezionali caratterizzate da eventi con TR 200 anni, gli attraversamenti che garantiscono un grado di riempimento inferiore all'80% riferito alla massima altezza libera disponibile.

Tabella 10 – Risultati della simulazione PLAN 03 – portate e livelli idrici: Verifica attraversamenti.

ZONA	TRACCIATO	∅ [m]	B [m]	H [m]	FS	FS valle	i [%]	WSE [m slm]	Q _{max} [m ³ /s]	GR [%]	VERIFICA?
A_00_01	P6.1	1			576.28	576.2	1%	576.84	0.9	56	SI
		1			576.28	576.2	1%	576.84			
A_00_02	P6	1			570.22	570.18	1%	570.80	0.9	58	SI
		1			570.22	570.18	1%	570.80			
A_01_01		1			529.5	529.48	0%	530.03	0.4	53	SI
A_02_01 - Ponticello esistente	P4		1	2.2	524.56	524.45	2%	525.5	1.2	43	SI
A_02_02 - Ponticello esistente	P4		2	1	524.26	524.16	1%	525.05	1.8	79	SI
A_03_01 - Ponticello esistente	P4		2	1	532.39	532.2	3%	532.85	0.8	46	SI
A_04_01	P4	1			532.91	532.79	2%	533.63	1.3	72	SI
		1			532.91	532.79	2%	533.63			
A_04_02	P4	1			529.34	529.27	1%	530.07	1.5	73	SI
		1			529.34	529.27	1%	530.07			
A_05_01 - Ponticello esistente	P4		1	2	561.41	561.24	2%	562.45	1.4	52	SI
A_05_02	P3	1.5			560	559.7	4%	560.69	0.8	46	SI
A_06_01	P3	1			589.55	589.51	1%	590.07	1.1	52	SI
		1			589.55	589.51	1%	590.07			
A_07_01	P3	0.8			598.26	598.21	1%	598.55	0.2	36	SI
	P3	0.8			598.26	598.21	1%	598.55			
A_08_01	P3	0.8			589.4	589.34	1%	589.58	0.1	23	SI
		0.8			589.4	589.34	1%	589.58			
A_09_01	P3	1			569.35	569.25	1%	570.10	2.3	75	SI
		1			569.35	569.25	1%	570.10			
		1			569.35	569.25	1%	570.10			
		1			569.35	569.25	1%	570.10			
A_10_01	P3.1	0.8			606.03	605.94	1%	606.29	0.2	32	SI
		0.8			606.03	605.94	1%	606.29			
A_11_01	P3.1	0.8			618.85	618.81	1%	619.12	0.2	34	SI
		0.8			618.85	618.81	1%	619.12			
A_12_01	P3	0.8			589.16	589.12	1%	589.47	0.1	39	SI
A_13_01	P3	1			588.1	588.02	1%	588.89	0.8	79	SI

6. CONCLUSIONI

La presente relazione idrologico – idraulica parte integrante del progetto definitivo relativo al Parco Eolico "Ischinditta" è finalizzata all'analisi delle interferenze con la rete idrografica presente nell'area di intervento ed alla disposizione delle necessarie opere di attraversamento idraulico.

Tali opere (ponticelli, tubolari...) hanno la finalità di convogliare il deflusso attraverso il rilevato stradale di collegamento degli aerogeneratori, rendendo idraulicamente trasparente l'opera stradale in progetto, non alterando così il libero deflusso delle acque meteoriche rispetto allo stato di fatto.

Per l'individuazione e il dimensionamento delle opere suddette si è provveduto all'allestimento di un modello di calcolo tramite il software HEC-RAS, che ha permesso di effettuare simulazioni di carattere bi-dimensionale, analizzando in un primo momento la tipologia e dinamica del deflusso superficiale, ricostruendo i bacini idrografici scolanti, successivamente localizzare le zone di accumulo idrico a ridosso del rilevato stradale in progetto e quantificare le portate defluenti relativamente a ciascuno dei sottobacini individuati.

Note le zone di accumulo e le portate da smaltire, sono state dimensionate le opere necessarie. La simulazione relativa allo stato di progetto ha consentito la verifica delle opere di attraversamento idraulico per un deflusso superficiale legato al verificarsi di una pioggia intensa legata ad un tempo di ritorno di 200 anni sull'area di intervento.



IMPRESA DI COSTRUZIONI
ING. RAFFAELLO PELLEGRINI S.R.L.

Comuni di Ozieri e Chiaramonti
Provincia di SASSARI - REGIONE SARDEGNA

PARCO EOLICO "ISCHINDITTA"

Progetto definitivo



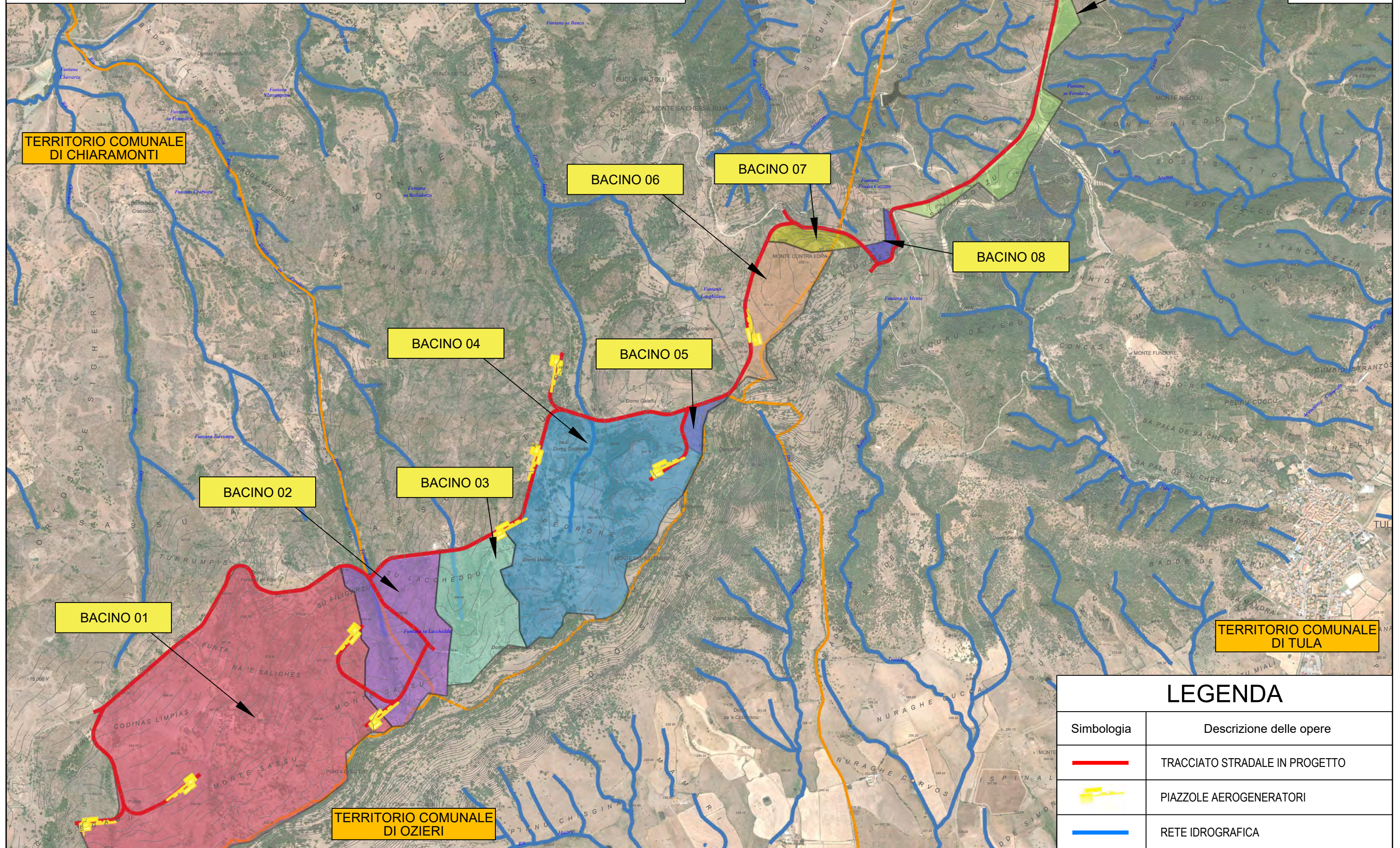
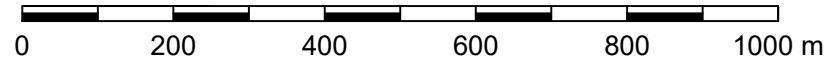
ALLEGATI

ALLEGATO 1 – Carta dei bacini idrografici interessati dalla viabilità in progetto

BACINI IDROGRAFICI

Base carta: ORTOFOTO + CARTA TECNICA PROVINCIALE 1:10.000

Scala 1 : 10.000



LEGENDA

Simbologia	Descrizione delle opere
	TRACCIATO STRADALE IN PROGETTO
	PIAZZOLE AEROGENERATORI
	RETE IDROGRAFICA