

REGIONE SARDEGNA

Provincia del Sulcis Iglesiente

COMUNI DI CARBONIA E IGLESIAS



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	27/05/22	NASTASI M.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	20/05/22	NASTASI M.	FURNO C.	NASTASI A.

Committente:				
IBERDROLA RENOVABLES ITALIA S.p.A.				
Sede legale in Piazzale dell'Industria, 40, 00144, Roma Partita I.V.A. 06977481008 - PEC: iberdrolarenovablesitalia@pec.it				
Società di Progettazione:			<i>Ingegneria & Innovazione</i>	
		Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409 Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it		
Progetto:			Progettista/Resp. Tecnico:	
PARCO EOLICO DI "CARBONIA"			Dott. Ing. Cesare Furno Ordine degli Ingegneri della Provincia di Catania n° 6130 sez. A	
Elaborato:			Geologo:	
RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA			Dott. Geol. Milko Nastasi Ordine Regionale dei Geologi di Sicilia n° 3139 sez. A	
Scala:	Nome DIS/FILE:	Allegato:	F.to:	Livello:
NA	C20033S05-PD-RT-05-01	1/1	A4	DEFINITIVO
<small>Il presente documento è di proprietà della ANTEX GROUP srl. È vietato la comunicazione a terzi o la riproduzione senza il permesso scritto della suddetta. La società tutela i propri diritti a rigore di Legge.</small>				
			 	

Indice

1. Premessa.....	3
2. Inquadramento geografico.....	3
3. Inquadramento geomorfologico-idrografico	5
3.1 geomorfologia.....	5
3.2 idrologia e idrogeologia	6
3.3 influenza della viabilità sul reticolo idrografico	8
3.4 influenza del cavidotto sul reticolo idrografico	8
4. Metodo di studio.....	10
5. Risultati del calcolo.....	12
5.1 elaborazioni di gumbel	15
5.2 elaborazioni di tcev secondo livello (two components extreme value).....	21
6. Posa del cavidotto	35
7. Opere idrauliche.....	36
conclusioni	37

<i>Figura 1 - Corografia della zona in scala 1:25000.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 2 - Mappa dei vari siti dell'impianto in progetto.....</i>	<i>4</i>
<i>Figura 3 - Immagina rappresentativa delle strutture geomorfologiche presenti sovrapposte al DTM.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 4 - schema idrogeologico del foglio 555 "Iglesias"</i>	<i>7</i>
<i>Figura 5 - Foto dell'impluvio Gutturu Longu nella sezione di chiusura del bacino studiato.....</i>	<i>9</i>
<i>Figura 6 - Bacini di nostro interesse di circa 25 km² il bacino 1 e circa 37 km² il bacino 2</i>	<i>9</i>
<i>Figura 5 - Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna</i>	<i>12</i>

ALLEGATO 1: COROGRAFIA 1:25000

ALLEGATO 2: CARTA IDROGRAFICA 1:25000

ALLEGATO 3: CARTA DELLE INTERFERENZE 1:25000

1. PREMESSA

Su incarico di IBERDROLA Renovables Italia S.p.A., la società ANTEX GROUP Srl ha redatto il progetto definitivo per la realizzazione di un impianto di produzione di energia elettrica da fonte eolica, denominato Parco Eolico "Carbonia", con potenza nominale installata pari a 66 MW, da realizzarsi nei territori dei Comuni di Carbonia e Iglesias nella Provincia di Sulcis Iglesiente. Il numero totale di turbine eoliche che saranno installate è pari a 11 con una potenza nominale pari a 6 MW per ogni aerogeneratore.

Gli aerogeneratori saranno collegati alla nuova Stazione di trasformazione Utente, posta nel comune di Gonnessa, tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 33 kV.

La stazione di trasformazione utente riceverà l'energia proveniente dall'impianto eolico a 33 kV e la eleverà alla tensione di 220 kV. Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 220 kV sulla futura Stazione Elettrica (SE) di Smistamento 220 kV della RTN da inserire in entra – esce alla linea RTN a 220 kV "Sulcis - Oristano".

Le attività di progettazione definitiva e di studio di impatto ambientale sono state sviluppate dalla società di ingegneria Antex Group Srl.

Antex Group Srl è una società che fornisce servizi globali di consulenza e management ad Aziende private ed Enti pubblici che intendono realizzare opere ed investimenti su scala nazionale ed internazionale.

È costituita da selezionati e qualificati professionisti uniti dalla comune esperienza professionale nell'ambito delle consulenze ingegneristiche, tecniche, ambientali, gestionali, legali e di finanza agevolata e pone a fondamento delle attività, quale elemento essenziale della propria esistenza come unità economica organizzata ed a garanzia di un futuro sviluppo, i principi della qualità, come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e OHSAS 18001 nelle loro ultime edizioni.

Antex Group in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti, è in possesso di un proprio Sistema di Gestione Qualità certificato ISO 9001:2015 per attività di "Servizi tecnico-professionali di ingegneria multidisciplinare".

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Al fine di verificare la fattibilità del progetto in esame e definire al meglio il modello geologico in fase di progetto definitivo, è stato eseguito uno studio geologico, geomorfologico e idrogeologico delle aree in esame, spinte fino ad un intorno utile a definire le caratteristiche sopra menzionate.

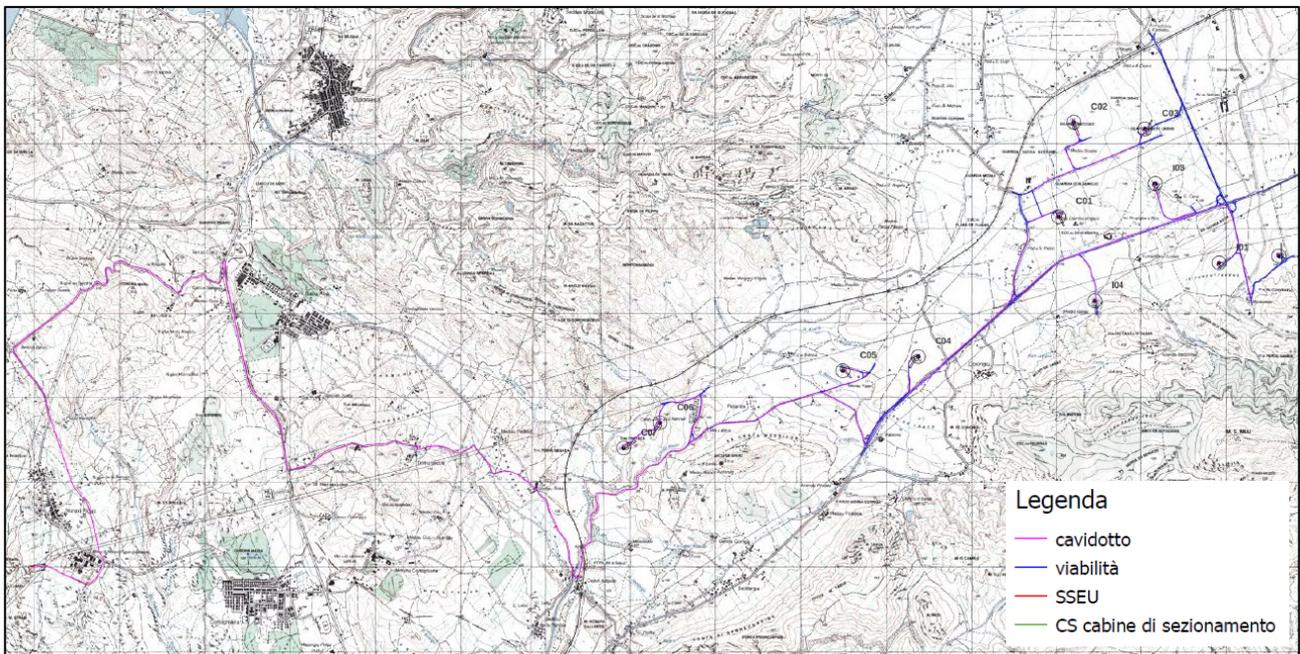


Figura 1 - Corografia della zona in scala 1:25000

L'area sulla quale verranno installate le turbine e relativa viabilità ricade nei fogli 555 II Villamassargia, 555 III Portoscuso della Carta Topografica d'Italia in scala 1: 25.000 dell'IGMI (fig.1).

Le turbine sono ubicate nel territorio comunale Carbonia e Iglesias in provincia del Sulcis Iglesiente in un'area scarsamente antropizzata con un utilizzo prettamente agricolo.

Il cavidotto invece è previsto che segua per lo più la viabilità interna al parco per poi proseguire nel territorio

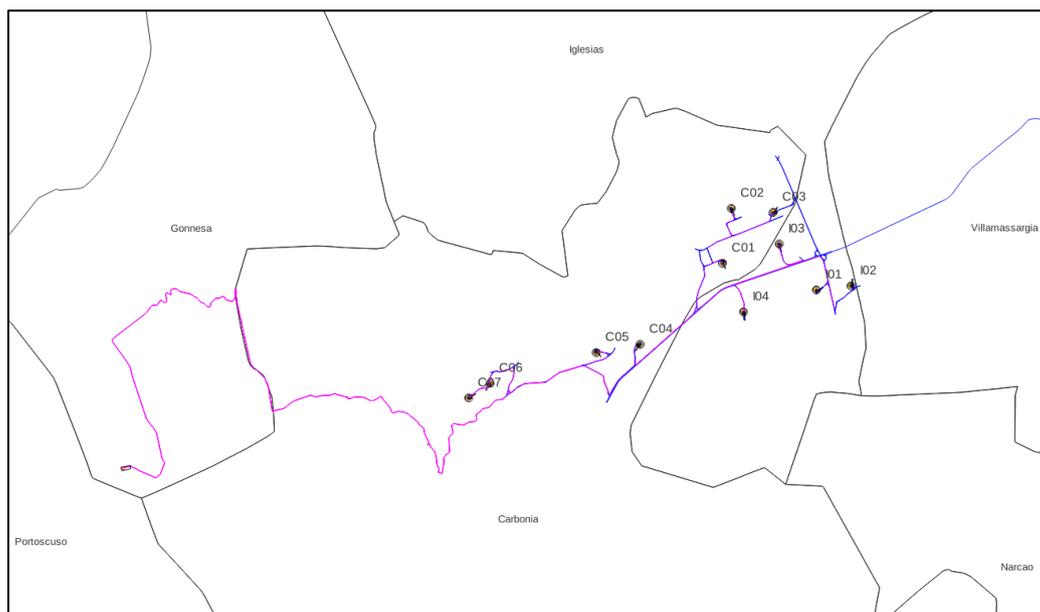


Figura 2 - Mappa dei vari siti dell'impianto in progetto

3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO-IDROGRAFICO

3.1 geomorfologia

La morfologia del Foglio 555 "Iglesias" è fortemente controllata sia dalle caratteristiche litologiche, giaciture e strutturali delle rocce affioranti, sia dai movimenti tettonici più recenti che hanno interessato questa parte dell'Isola. La grande eterogeneità litologica ed il complesso assetto tettonico dell'area hanno generato una molteplice variabilità di forme che caratterizzano l'insieme del paesaggio del Foglio Iglesias.

In generale, le caratteristiche morfologiche e fisiografiche del Foglio possono essere suddivise principalmente in tre aree differenti, ad ognuna delle quali corrisponde la prevalenza di un determinato assetto strutturale e di un certo litotipo rispetto ad altri. Queste tre zone sono caratterizzate dall'affioramento predominante dei seguenti litotipi: rocce metamorfiche paleozoiche intensamente deformate dalla tettonica ercinica, rocce vulcaniche terziarie blandamente deformate dalla tettonica terziaria, infine, i depositi quaternari. A queste aree principali se ne aggiungono altre due di minore importanza: quella dei plutoni granitici e quella dei sedimenti mesozoici.

Il basamento paleozoico del Foglio Iglesias è costituito prevalentemente da metarenarie (formazione di Nebida), da rocce carbonatiche (formazione di Gonnesa) e da metamorfiti prevalentemente pelitico-arenacee (formazioni cambriano-ordoviciane) (cfr. § IV - 1.). Questi tre gruppi affiorano con estensioni simili e sono caratterizzate da morfologie sensibilmente diverse. L'interferenza tra diverse fasi deformative ha determinato una distribuzione degli affioramenti carbonatici ("Anello metallifero") attorno al nucleo delle "Arenarie".

In generale, le aree carbonatiche costituiscono i rilievi più elevati, come le due cime più alte del Foglio: P.ta Campu Spina (m 939 s.l.m.) e P.ta S. Michele (m 939 s.l.m.), mentre le metarenarie (formazione di Nebida) e soprattutto le formazioni silicoclastiche cambriano-ordoviciane costituiscono spesso i fondovalle (ad es. la valle di Cabitza, di Acquaresi, di Reigraxius, di Malacalzetta, etc.). Poche sono le eccezioni: ad es., nell'entroterra di Nebida o nei rilievi tra Villamassargia e Terraseo, dove sia la formazione di Nebida che la formazione di Cabitza si elevano sulle aree carbonatiche (rispettivamente ad Arcu Su Filixi e P.ta Baretta). Inoltre, sia l'abitato di Iglesias che quello di Terraseo sono costruiti su superfici di erosione impostate sulla formazione di Gonnesa e depresse rispetto alle aree circostanti, costituite dalle formazioni di Nebida e Cabitza. I rilievi in corrispondenza delle rocce carbonatiche cambriane sono il risultato di una forte erosione differenziale, legata alla giacitura quasi sempre sub-verticale e all'azione morfogenetica del clima e soprattutto dell'acqua, che svolge la sua attività erosiva in superficie per quanto riguarda le rocce terrigene poco permeabili, e principalmente in profondità per quanto riguarda i carbonati, interessati da carsismo (cfr. § VII - 1.). La morfologia delle rocce carbonatiche risulta quindi caratterizzata da rilievi generalmente dolci, con reticoli idrografici poco diffusi e poco sviluppati e con andamento spesso ortogonale rispetto alla direzione del

rilievo. Nella zona tra Acquaresi, Nebida ed Iglesias ed in quella tra Corongiu ed Astia, ad es., dove i rilievi carbonatici hanno un andamento arcuato legato a strutture plicative, i corsi d'acqua hanno un andamento tipicamente radiale. In corrispondenza di questi corsi d'acqua sono localmente presenti valli sospese (valle di Acquaresi, o tratti di costa a falesia). Nell'area tra Buggerru ed Acquaresi e nel massiccio del Marganai, dove gli affioramenti carbonatici cambriani sono molto diffusi, le sommità dei versanti presentano morfologie dolci ed arrotondate, bruscamente intersecate da profonde incisioni (Barraxiutta, Sa Duchessa, etc.). La più famosa è il canyon fluvio-carsico di Riu Gutturu Cardaxius, disposto in direzione E-W e più aperto nella parte a valle, dove affiorano litotipi non carbonatici, mentre tende a restringersi, con pareti verticali e strapiombanti alte fino a circa 200 m, dove affiorano i calcari cambriani in giacitura subverticale.

Le quote vanno dai 95 m ai 186 m c.a s.l.m. e dai sopralluoghi, dalla analisi del DTM con risoluzione 10 metri e dalla carta geomorfologica 1:500000 fornito dalla Regione Sardegna, sono stati segnati in carta (all.4) cresta, vallecola a V, vallecole a U e ruscellamento, con l'intera area che ha una leggera pendenza, intorno al 3 %, verso SW. Fig.4.

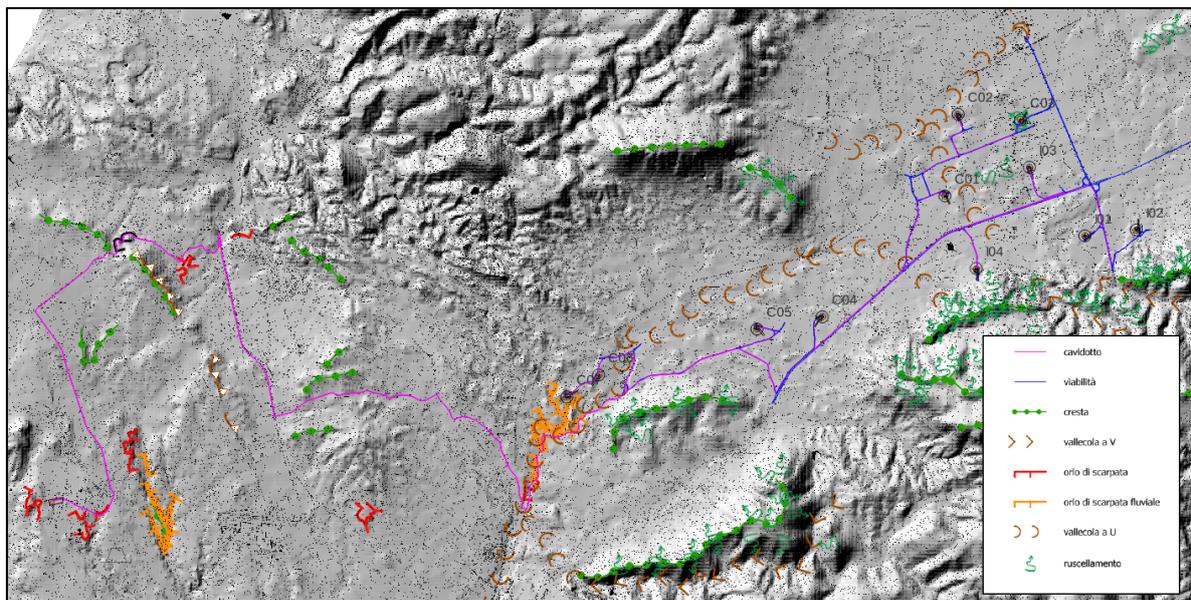


Figura 3 - Immagina rappresentativa delle strutture geomorfologiche presenti sovrapposte al DTM

3.2 Idrologia e idrogeologia

Il Sulcis-Iglesiente si estende per 1640 Km², pari a circa il 7% dell'intero territorio sardo, ed è interessato da due invasi in esercizio. I corsi d'acqua più rilevanti sono costituiti dai seguenti rii:

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

La rete idrografica è completata da alcuni rii minori, di breve corso sviluppatissimi, in genere, perpendicolarmente alla linea di costa.

Il territorio occupato dal layout si trova tra i bacini del Sulcis e del Flumini Mannu, infatti le acque di ruscellamento confluiscono all'interno del Rio Cixerri (Bacino Flumini Mannu) e Rio Flumentipido che appartiene al bacino del Sulcis.

L'idrogeologia del Foglio Iglesias, ed in particolare quella del settore centro-occidentale, ha risentito per un lungo periodo delle attività minerarie.

Infatti, l'eduzione dalla miniera di Monteponi e la galleria di scolo Umberto I hanno modificato fortemente il chimismo e la naturale distribuzione delle acque nel sottosuolo.



Figura 4 - schema idrogeologico del foglio 555 "Iglesias"

3.3 Influenza della viabilità sul reticolo idrografico

La viabilità interna al parco in progetto si sviluppa principalmente in terreni per lo più pianeggianti con pendenze minime che fanno confluire le acque negli impluvi prima e nelle incisioni principali presenti dopo. Gli impluvi presenti sono numerosi e interferiscono in diversi punti con la viabilità, anche se in questi punti esistono già opere ingegneristiche (ponti ecc.) e in alcuni casi opere di regimentazione delle acque per evitare tracimazioni durante le eventuali piogge torrenziali.

Per quanto riguarda le interferenze con la viabilità, l'accesso alla turbina C02 con strada da realizzare, attraversa un modesto impluvio.

Per mantenere il deflusso dell'acqua e mantenere l'invarianza idraulica dell'area dovrà essere prevista un'opera di ingegneria idraulica, come ad esempio una tubazione di diametro adeguato da inserire lungo il fossato e sotto la strada per far sì che si possa operare in sicurezza e mantenendo intatto l'equilibrio idraulico.

3.4 Influenza del cavidotto sul reticolo idrografico

Il cavidotto in prossimità dell'impianto segue il percorso della viabilità interna per poi continuare verso Sud-Ovest fino alla sottostazione in progetto nel territorio di Gonnese.

Lungo questo percorso attraversa piccoli impluvi ed il canale Riu Flumentepido in più punti, in base al tipo di impluvio o torrente o fiume saranno fatte delle scelte ad hoc per l'attraversamento degli stessi.

Le interferenze più rilevanti sono principalmente due e si trovano entrambe sul Riu Flumentepido, mettendo in evidenza due grandi Bacini idrografici relativi alle due sezioni di chiusura.



Figura 5 - Foto dell'impervio Gutturu Longu nella sezione di chiusura del bacino studiato

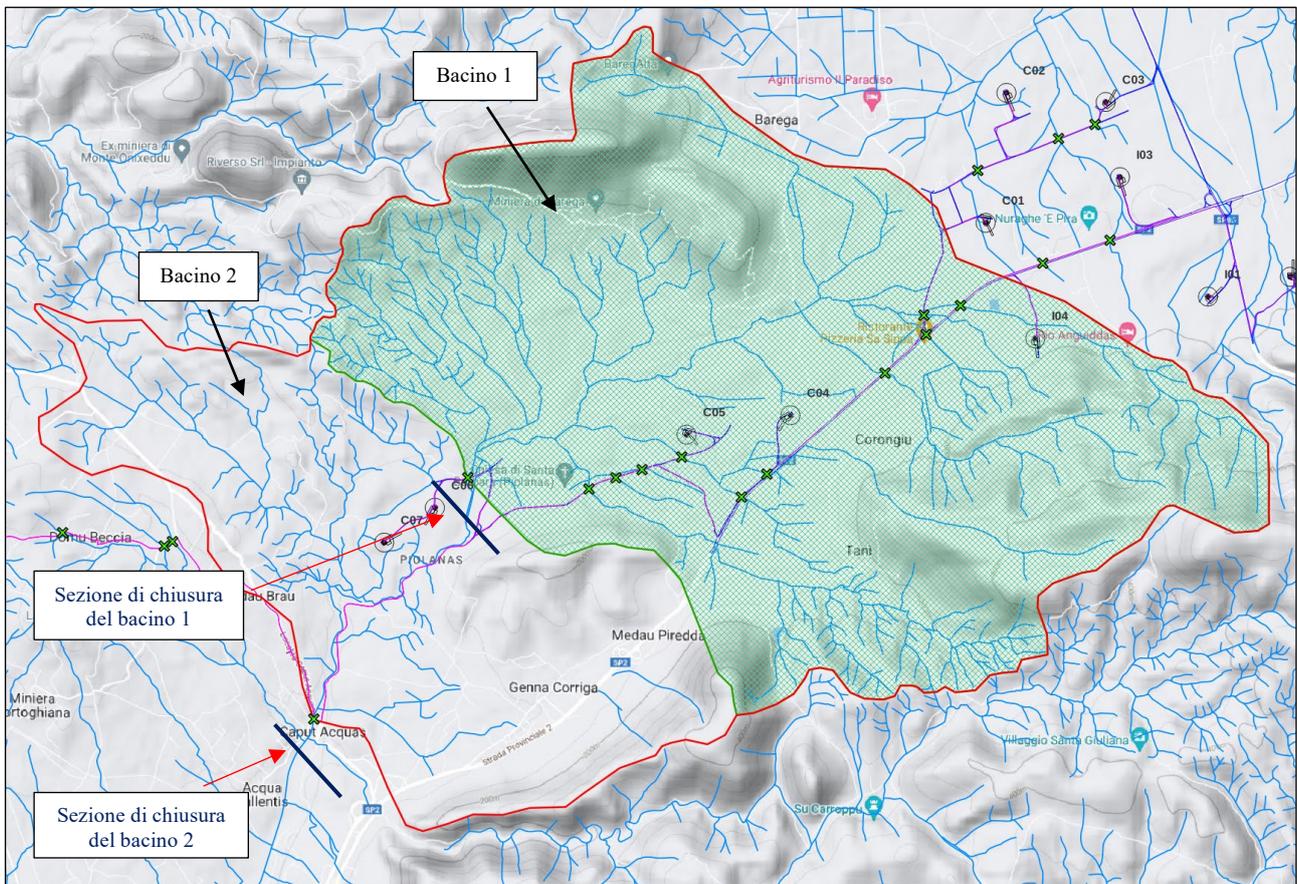


Figura 6 - Bacini di nostro interesse di circa 25 km² il bacino 1 e circa 37 km² il bacino 2

4. METODO DI STUDIO

Viste le incisioni modeste presenti e la fase progettuale definitiva è stato fatto uno studio di massima sul Riu Flumentepido con il quale interferisce in due punti con il cavidotto in progetto e dal quale sono stati individuati due sottobacini dai quali sono stati eseguiti i vari studi idraulici e idrologici descritti in seguito.

I dati, ricavati negli annali idrologici dal 2008 al 2019 della regione con registrazione delle massime precipitazioni annue per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore sono presenti solo per il periodo sopra detto, e attraverso il metodo di Gumbel e alla formula del metodo razionale si ottengono le portate massime a diversi tempi di ritorno.

L'approccio utilizzato per affrontare e risolvere le problematiche oggetto del presente studio contempla un'analisi a scala di bacino dei processi idrologici ed idraulici determinati dagli eventi meteorici estremi i cui effetti al suolo sono fortemente influenzati dallo stato dei luoghi, sia sotto l'aspetto della geomorfologia degli stessi sia dal punto di vista della loro destinazione d'uso.

La base di partenza per l'ottenimento dei bacini idrografici, grazie alle moderne tecnologie disponibili, è sicuramente il modello digitale del terreno.

Quanto più il modello digitale del terreno approssima il reale andamento morfologico dei luoghi, tanto più simile alle situazioni reali saranno le situazioni determinate dall'analisi morfologica.

Dall'analisi del modello digitale del terreno, determinato attraverso l'applicazione di software di elaborazione tipo GIS così come descritto nel paragrafo precedente, è stato possibile determinare il bacino idrografico afferente alla sezione di chiusura, vedi fig.4.

Altro parametro importante è il tempo di corrivazione (t_c) valutato in un determinato punto di una rete di drenaggio naturale.

Il T_c è il tempo che occorre alla generica goccia di pioggia caduta nel punto idraulicamente più lontano a raggiungere la sezione di chiusura del bacino in esame.

Esso varia in funzione delle caratteristiche topografiche, pedologiche e geologiche del bacino e degli usi del suolo attuati sullo stesso.

Il tempo di corrivazione t_c , espresso in ore, si determina essenzialmente con l'utilizzo di diverse formule empiriche, quella utilizzata nella seguente applicazione è la:

Formula di Giandotti

$$t_c = \frac{4 \cdot A^{0.5} + 1.5 \cdot L}{0.8 \cdot (Q_{med} - Q_{min})^{0.5}}$$

L'intensità di precipitazione, [] , , TR i Θ , che determina la massima portata di piena (intensità critica) è ottenuta dalla curva di possibilità pluviometrica che, com'è noto, esprime la legge di variazione dei massimi

annuali di pioggia in funzione della durata della precipitazione, d, ad assegnata frequenza di accadimento o periodo di ritorno T. Tale curva è riportata dalla letteratura tecnica come:

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

Recenti studi per la Sardegna⁸ mostrano che il modello probabilistico TCEV ben interpreta le caratteristiche di frequenza delle serie storiche motivo per il quale è stato adottato nella procedura VAPI per la derivazione delle curve di possibilità pluviometrica.

“Il Progetto VAPI (Valutazione Piene) sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo Nazionale per la Difesa dalle Catastrofi Idrogeologiche, ha come obiettivo quello di predisporre una procedura uniforme sull'intero territorio nazionale per la valutazione delle portate di piena naturali e delle piogge intense secondo criteri omogenei.”

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

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

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

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

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

dove i parametri della curva, a(T) ed n(T), vengono definiti per tre Sotto Zone Omogenee della Sardegna (SZO) (Figura 5), per durate minori e maggiori di 1ora e per tempi di ritorno maggiori di 10 anni (Tabella 8).

Tabella 8 - Parametri della curva di possibilità climatica

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

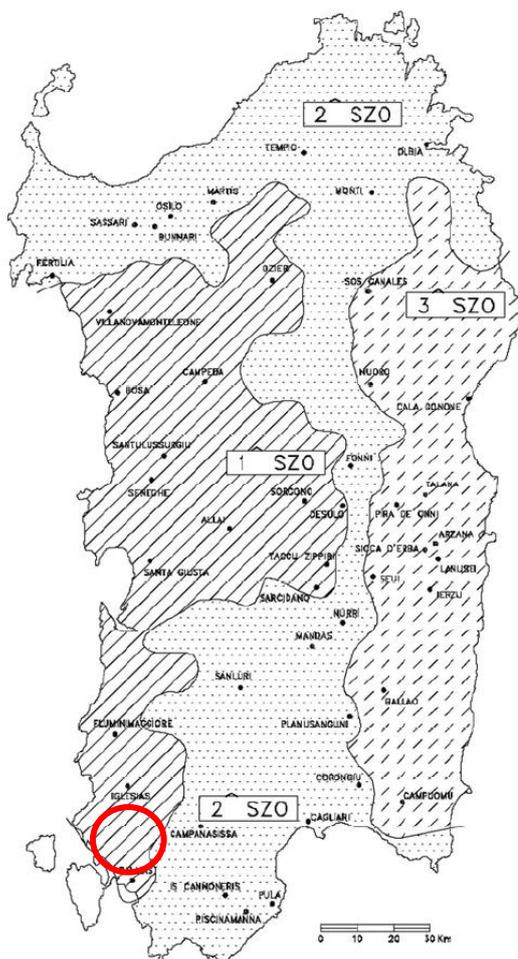


Figura 7 - Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna

5. RISULTATI DEL CALCOLO

Per le analisi statistiche si è presa come riferimento la stazione di Flumentepido e Segariu che, per la quantità di dati di registrazione di eventi estremi con durate inferiori al giorno, e per la sua ubicazione, può essere ritenuta significativa.

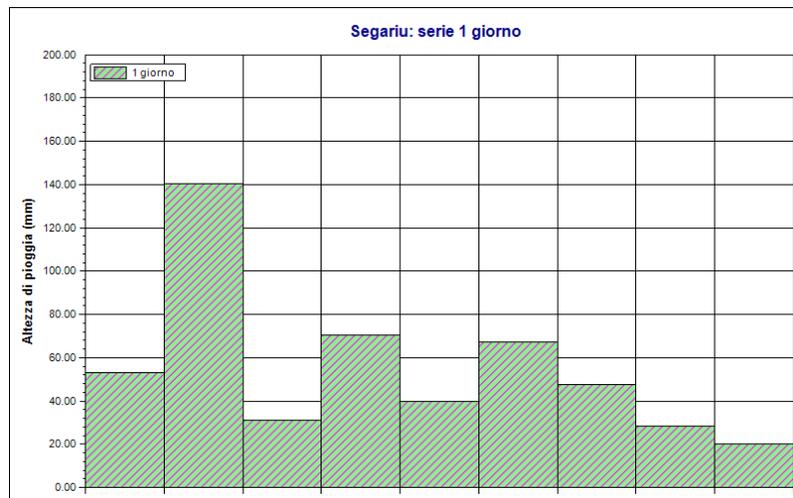
I dati, ricavati negli annali idrologici della regione si riferiscono al periodo dal 2008 al 2019, con registrazione delle massime precipitazioni annue per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

Serie osservazioni

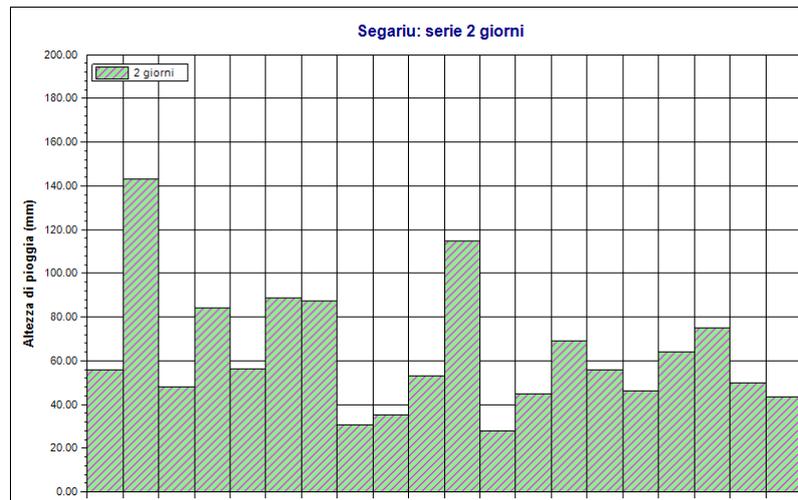
Anno	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)	h (mm)
2020	12,20	16,20	27,60	29,60	32,80
2019	46,00	46,60	46,80	46,80	65,00
2018	31,40	32,80	33,00	45,00	74,20
2017	12,20	16,20	27,60	29,60	32,80
2016	33,80	35,60	35,80	37,00	46,60
2014	17,80	26,80	31,00	32,80	33,20
2013	42,20	42,40	54,80	55,20	73,40
2012	16,80	26,00	33,40	34,60	36,80
2011	22,50	30,10	37,30	41,10	40,00
2010	47,00	87,20	87,20	87,20	87,20
2009	28,20	30,60	41,00	43,80	45,80
2008	11,20	15,20	26,60	28,60	31,00
2007	13,20	17,20	28,60	30,60	34,00
2006	11,00	15,10	25,90	27,60	31,00
2005	35,20	37,50	37,80	42,10	49,00
2004	17,80	26,80	31,00	32,80	33,20
2003	10,80	15,20	20,20	23,10	25,00
2002	12,20	16,20	27,60	29,60	32,80
2001	10,10	14,50	25,30	27,20	30,40
2000	49,00	64,00	66,00	48,00	50,00

Dati Statistici

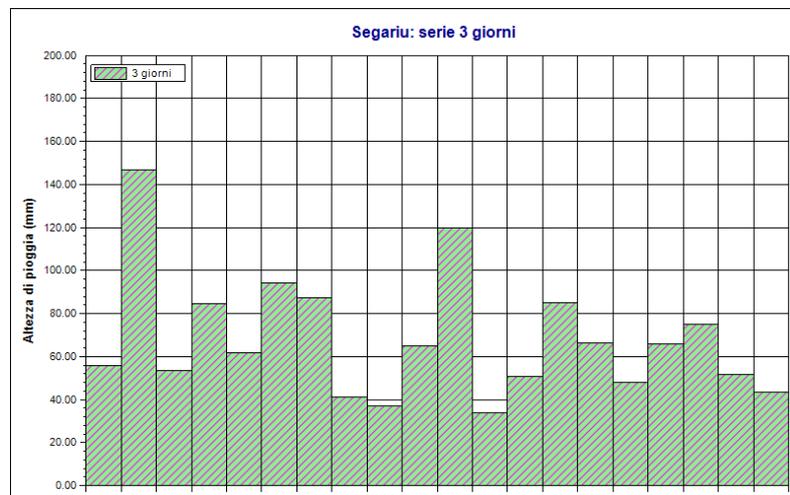
Parametro	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
Dimensione campione	25	25	25	25	25
Somma dei dati	1237.6	1512.0	1630.2	1770.2	1849.2
Valore minimo	20.0	28.0	34.0	39.0	41.0
Valore massimo	140.4	143.2	146.6	153.2	156.0
Valore medio	49.50	60.48	65.21	70.81	73.97
Dev. standard	23.78	26.79	26.65	26.25	25.98
Coeff. variazione	0.480	0.443	0.409	0.371	0.351
Coeff. asimmetria	2.410	1.581	1.525	1.514	1.479



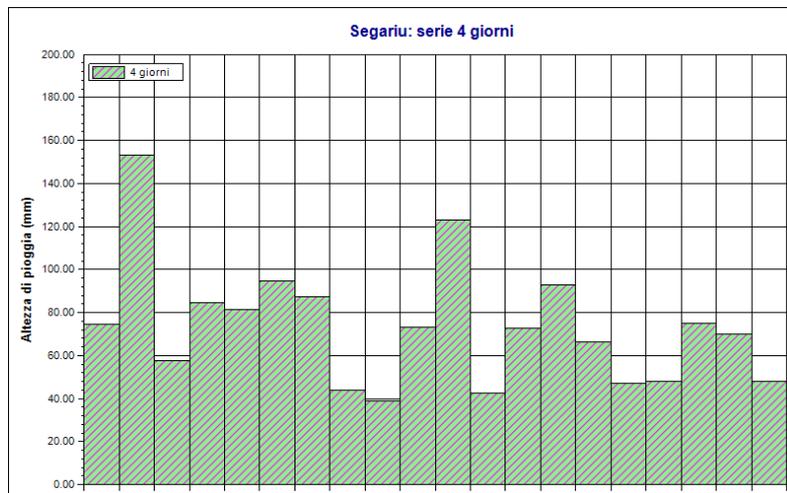
Segariu. 1 giorno. Durata 24 ore



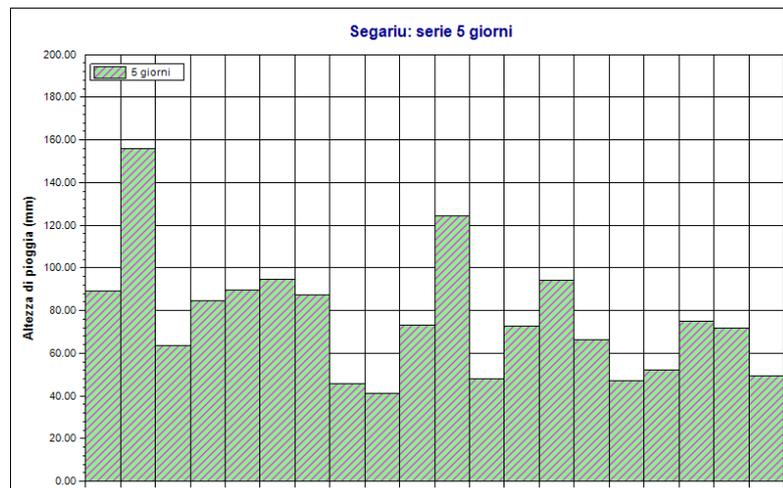
Segariu. 2 giorni. Durata 48 ore



Segariu. 3 giorni. Durata 72 ore



Segariu. 4 giorni. Durata 96 ore



Segariu. 5 giorni. Durata 120 ore

5.1 Elaborazioni di Gumbel

L'insieme dei valori x assunti da una generica grandezza idrologica può essere considerato una variabile casuale X la cui popolazione è costituita dall'insieme di tutti i valori che la x ha assunto per il passato o potrà assumere in futuro.

La serie statistica costituita dagli n valori $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ assunti dalla x in una determinata stazione di misura, può essere considerato come un campione di dimensione n tratto a caso dalla popolazione della X .

Ci si propone di risalire dalla composizione nota del campione a quella incognita della popolazione, tenendo però bene in conto che, per difetto di campionatura, la composizione del primo può scostarsi, più o meno, da quella della seconda.

All'interno di una generica variabile casuale Z , definita variabile originaria, si considera un campione di dimensione k di osservazioni tratte a caso dalla popolazione della z e si assume come variabile il massimo valore $x=z_k$ assunto da z fra le osservazioni del campione.

Posto che dalla popolazione della z possono pensarsi tratti infiniti campioni di dimensione k e posto che z_k assume di volta in volta valori diversi, alla distribuzione della variabile originaria z si può associare quella del valore massimo in un campione di dimensione k .

Ciò premesso, la funzione di ripartizione $F(x)$ del massimo valore $x=z_k$, raggiunto dalla variabile originaria z in un campione di dimensione k , misura la probabilità che x risulti inferiore o al più eguale a un assegnato valore.

Se fosse nota la funzione di ripartizione $F(z)$ della z , $F(x)$, in base al quinto assioma del calcolo delle probabilità, sarebbe definito a mezzo della relazione:

$$\Phi(x = z_k) = [\Phi(z)]^k$$

se le k osservazioni che costituiscono il campione sono indipendenti una dall'altra.

In effetti la $F(z)$ raramente è nota. Quando però si considerino campioni di grande dimensione, sicché i valori massimi z_k risultano spostati nel campo dei valori più grandi della x , ai fini applicativi è sufficiente conoscere l'andamento della $F(z)$ in prossimità dei valori massimi e dedurre da questo l'andamento assunto dalla $F(x)$ per diversi valori di k , in particolare esaminando se essa tende a una forma asintotica al crescere di k all'infinito.

Nel campo dell'idrologia la $F(z)$ risulta generalmente di tipo esponenziale.

Sia e il valore di z che ci si deve attendere che venga superato una volta su k (estremo atteso), per cui:

$$k[1 - \Phi(z = e)] = 1$$

considerando il parametro $a = kF(z = e)$ che misura la rapidità con cui e varia al variare di k (intensità di funzione) e sviluppando in serie di Taylor la funzione $F(z)$ in prossimità di e si può dimostrare che per grandi valori di z , quale che sia $F(z)$, risulta:

$$\Phi(z) = 1 - \frac{1}{k} e^{-\alpha(x-e)}$$

$$\Phi(x) = \left[1 - \frac{1}{k} e^{-\alpha(x-e)} \right]^k$$

che tende, per k tendente ad infinito, alla funzione asintotica:

$$\Phi(x) = e^{-e^{-\alpha(x-e)}}$$

che viene perciò definita legge asintotica del massimo valore, o legge doppio esponenziale o legge di **Gumbel**.

I parametri e ed a sono legati alla media h e allo scarto quadratico medio s della x dalle relazioni:

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\sqrt{6}}{\pi} \sigma = \frac{\sigma}{1,28255}$$

$$\varepsilon = \eta - 0,450 \sigma$$

Dati Elaborazione

Stazione di misura: Segariu

Distribuzione probabilistica: Gumbel

Metodo di stima dei parametri: Massima verosimiglianza

Elaborazioni presenti: 5 (24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore)

Elaborazioni valide: 5 (72 ore, 24 ore, 48 ore, 96 ore, 120 ore)

Stima parametri

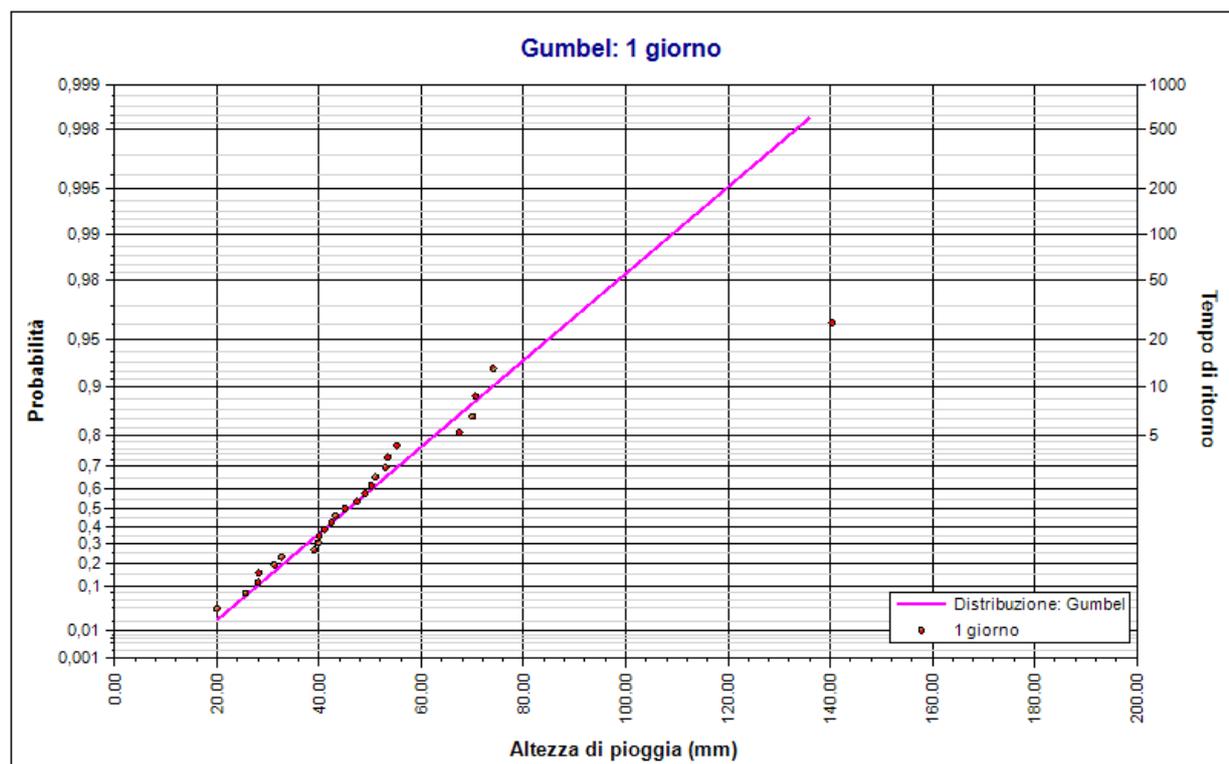
Parametro	Durate				
	72 ore	24 ore	48 ore	96 ore	120 ore
Dimensione campione	25	25	25	25	25
Valore medio	65.21	49.50	60.48	70.81	73.97
Dev. standard	26.65	23.78	26.79	26.25	25.98
Alfa	0.0569	0.0668	0.0569	0.0556	0.0548
Epsilon	54.095	40.275	49.395	59.742	62.929

Espressioni delle CDF della distribuzione

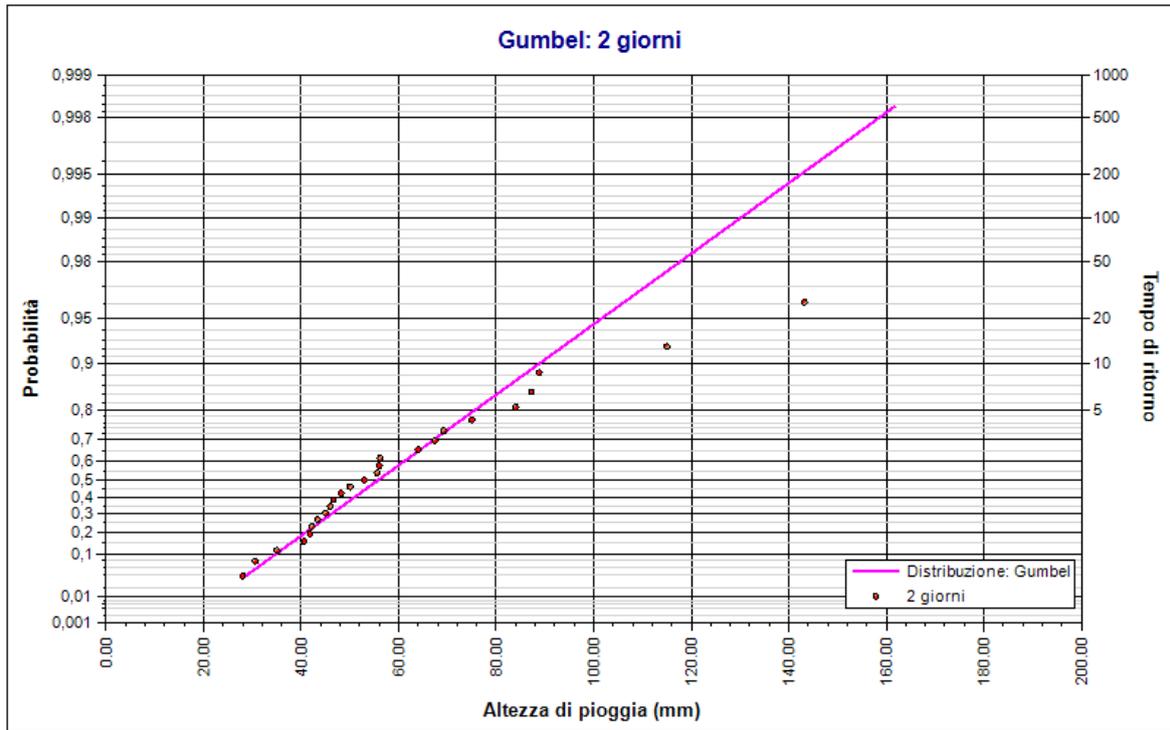
Gumbel: 3 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,051 (x - 56,221) \right) \right]$
Gumbel: 1 giorno	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,059 (x - 41,107) \right) \right]$
Gumbel: 2 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,050 (x - 51,463) \right) \right]$
Gumbel: 4 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,049 (x - 61,417) \right) \right]$
Gumbel: 5 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-\exp \left(-0,049 (x - 63,979) \right) \right]$

Frattili distribuzioni probabilistiche

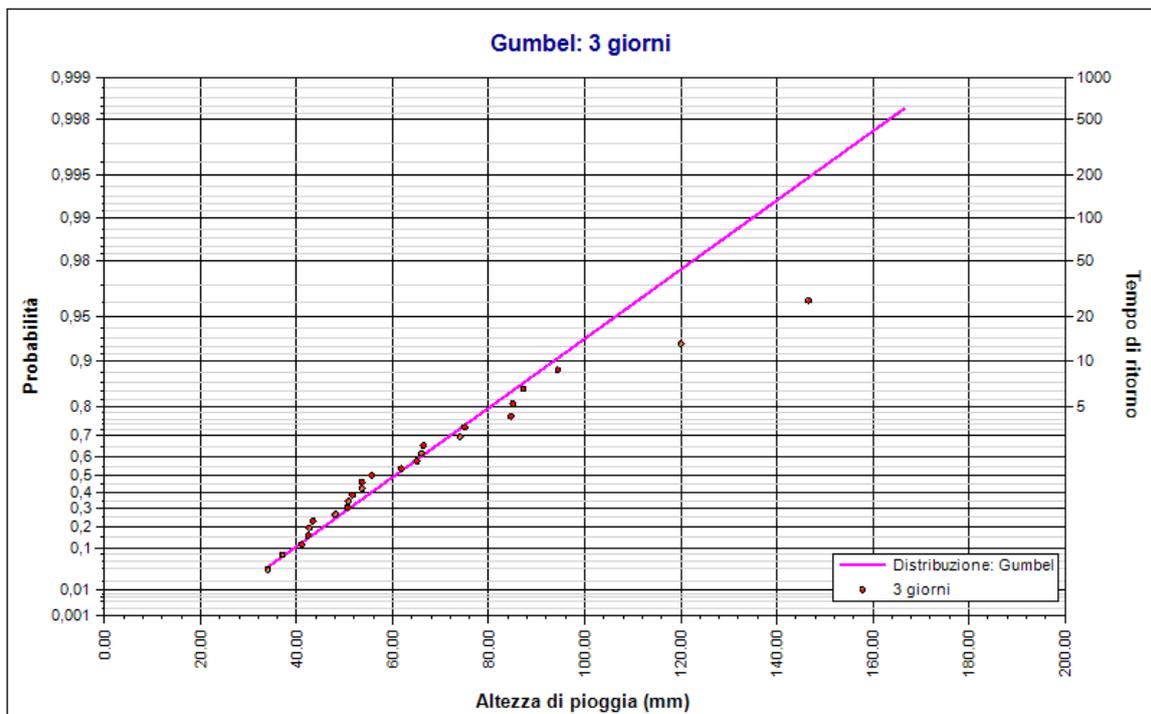
Tempi di ritorno	Durate				
	72 ore	24 ore	48 ore	96 ore	120 ore
2 anni	60.54	45.76	55.83	66.33	69.61
5 anni	80.48	62.73	75.74	86.72	90.28
10 anni	93.68	73.97	88.92	100.22	103.97
20 anni	106.34	84.74	101.56	113.17	117.10
50 anni	122.73	98.69	117.93	129.93	134.09
100 anni	135.01	109.14	130.19	142.49	146.83
200 anni	147.25	119.56	142.41	155.00	159.51
500 anni	163.39	133.30	158.53	171.51	176.25
1000 anni	175.59	143.69	170.71	183.99	188.90



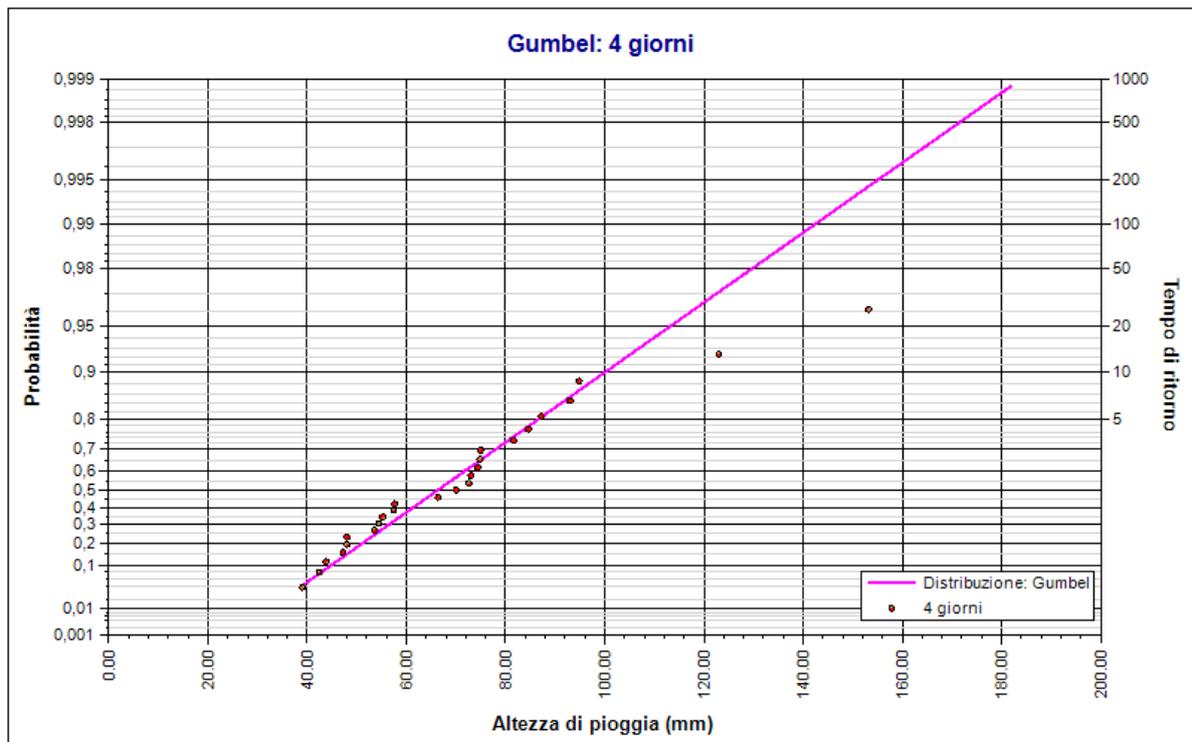
Elaborazione Gumbel 1 giorno. Durata 24 ore



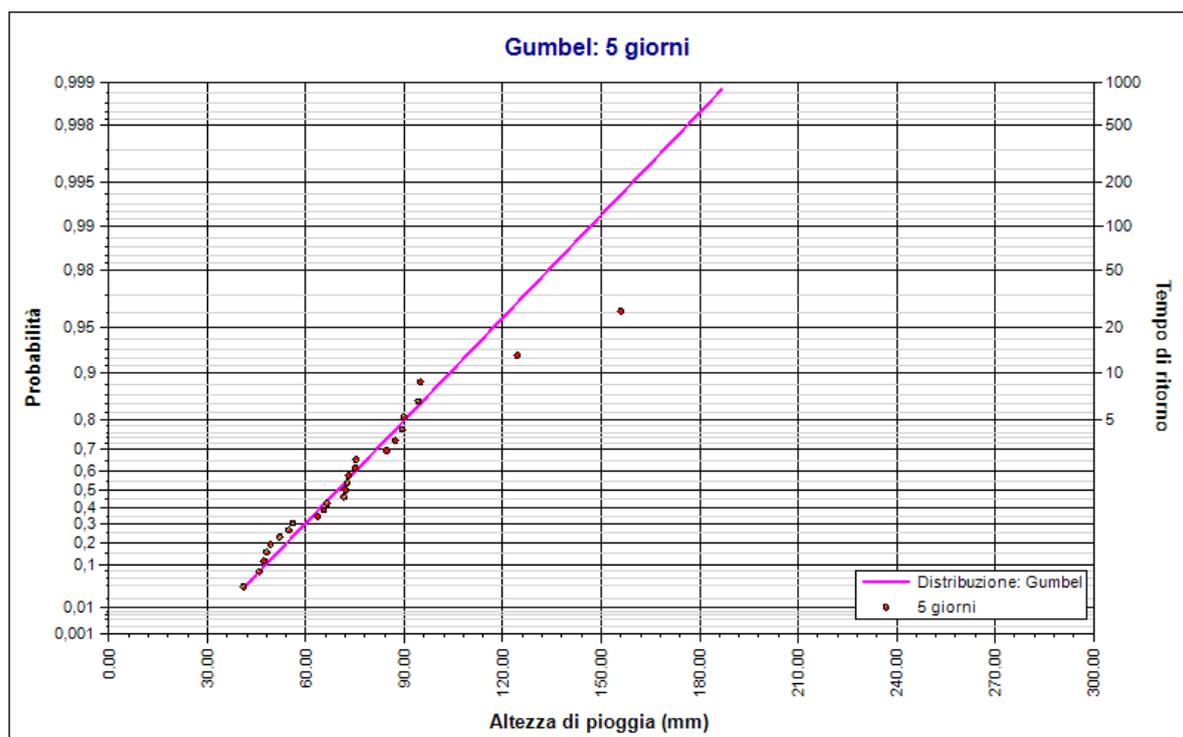
Elaborazione Gumbel 2 giorni. Durata 48 ore



Elaborazione Gumbel 3 giorni. Durata 72 ore



Elaborazione Gumbel 4 giorni. Durata 96 ore



Elaborazione Gumbel 5 giorni. Durata 120 ore

5.2 Elaborazioni di TCEV secondo livello (Two Components Extreme Value)

La stima x_T del valore assunto da una grandezza idrologica in corrispondenza di un assegnato periodo di ritorno si effettua sulla base della serie campionaria della variabile x nel punto di interesse, se disponibile, oppure utilizzando l'informazione fornita dalle serie storiche disponibili nella regione in cui si trova il punto di interesse.

Nel primo caso si ha una stima *puntuale*, nel secondo caso una stima *regionale*. Nel caso si combinino l'informazione puntuale e quella regionale si giungerà ad una stima *mista*.

L'insieme delle operazioni che conducono ad una stima di x_T si definisce stimatore e si costruisce utilizzando un modello probabilistico ad uno o più parametri. La stima di questi ultimi si effettua in base ai dati storici puntuali e/o regionali.

Il modello probabilistico adottato per l'analisi dei valori estremi delle precipitazioni è il modello a doppia componente denominato TCEV (two components extreme value). Tale modello è in grado di riprodurre i principali caratteri statistici delle serie storiche delle piogge.

Il modello a doppia componente TCEV ipotizza che i valori estremi di una grandezza idrologica (portata, pioggia) facciano parte di due differenti popolazioni legate a differenti fenomeni meteorologici.

Alla base di questa ipotesi c'è il fatto che molte serie di massimi annuali presentano uno o più valori nettamente maggiori degli altri e tali da sembrare non provenienti dalla stessa popolazione degli altri dati.

L'espressione della CDF della distribuzione TCEV è data da:

$$F_x(x) = \exp\left[-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{g_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{g_2}\right)\right]; \quad x \geq 0$$

Nell'espressione precedente si sono indicati con il pedice 1 i parametri riguardanti la *componente base* e con il pedice 2 i parametri relativi alla *componente straordinaria*.

I parametri L_1 e L_2 rappresentano il numero medio annuo di eventi indipendenti delle due componenti, mentre J_1 e J_2 esprimono il loro valore medio annuo.

La distribuzione TCEV equivale al prodotto di due distribuzioni di Gumbel, con la quale viene a coincidere se si pone $L_2=0$.

Riferendosi alla variabile standardizzata:

$$y = \frac{x}{g_1} - \ln \Lambda_1$$

Si ha che la CDF di y è data da:

$$F_y(y) = \exp\left[-\exp(-y) - \Lambda_* \exp\left(-\frac{y}{g_*}\right)\right]$$

avendo posto:

$$g_* = \frac{g_2}{g_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/g_*}}$$

La media della distribuzione TCEV è data dall'espressione:

$$\mu = g_1 (\ln \Lambda_1 + \gamma_e) - g_1 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{g_*}\right)$$

con $\gamma_e=0,5772$, costante di Eulero. Con il simbolo G si è indicata la funzione gamma:

$$\Gamma(x) = \int_0^{\infty} x^{t-1} e^{-t} dx$$

Il coefficiente di variazione teorico dipende da L_1, L^* e J^* ed è quindi indipendente da J_1 .

Il coefficiente di asimmetria teorico dipende da L^* e J^* ed è quindi indipendente da L_1 e J_1 .

Modelli regionali

Il modello TCEV consente di costruire un modello regionale articolato in una struttura gerarchica.

Infatti si può assumere che esistano delle regioni in cui è costante il solo coefficiente di asimmetria e quindi siano costanti i parametri L^* e J^* e delle sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante pure il coefficiente di variazione e, quindi, il parametro L_1 .

Più precisamente esiste un primo livello di regionalizzazione che consiste nell'individuare zone omogenee (zo) nelle quali si può assumere che il coefficiente di asimmetria teorico delle serie dei massimi annuali sia costante. I parametri L^* e J^* possono essere stimati utilizzando tutte le serie storiche disponibili nella zona, riducendo in modo consistente l'incertezza della stima.

Al secondo livello di regionalizzazione si individuano delle sottozone omogenee (szo), con estensione minore rispetto alle precedenti, nelle quali oltre al coefficiente di asimmetria risulta costante anche il coefficiente di variazione. In una sottozona risultano quindi costanti i tre parametri L^*, J^* e L_1 . L_1 può quindi essere stimato in base a tutte le serie storiche ricadenti nella sottozona.

In una sottozona rimane costante la CDF di x/m . Infatti dall'espressione della CDF della TCEV, introducendo i parametri L^* e J^* si ha:

$$F_x(x) = \exp\left[-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{g_1}\right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/g_*} \exp\left(-\frac{x}{g_1 g_*}\right)\right]$$

poiché si può scrivere:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = \frac{x}{\mu} \cdot \frac{\mu}{\mathcal{G}_1}$$

e cioè:

$$\frac{x}{\mathcal{G}_1} = x' \cdot \eta$$

avendo posto (variabile indice):

$$x' = \frac{x}{\mu}$$

e

$$\eta = \frac{\mu}{\mathcal{G}_1} = \ln \Lambda_1 + \gamma_\varepsilon - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\mathcal{G}_*}\right) = f(\Lambda_1, \Lambda_*, \mathcal{G}_*)$$

si ottiene

$$F_{x'}(x') = \exp\left[-\Lambda_1 \exp(-\eta x') - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*} \exp\left(-\frac{\eta x'}{\mathcal{G}_*}\right)\right]$$

Alla precedente espressione si dà il nome di **curva di crescita**.

Al terzo livello di regionalizzazione si individuano all'interno della sottozona omogenea le relazioni che intercorrono tra x_m e le caratteristiche fisiche o climatiche dei bacini.

In definitiva la stima x_T di una grandezza idrologica ad un prefissato tempo di ritorno può essere effettuata, in base al modello TCEV, in quattro modi diversi:

a) Al livello di regionalizzazione zero, in cui tutti i parametri del modello sono stimati dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1; \mathcal{G}_*; \Lambda_*)$$

b) Al livello di regionalizzazione uno, in cui i parametri L^* e J^* sono stimati a livello regionale e L_1 e J_1 dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

c) Al livello di regionalizzazione due, in cui i parametri L^* , J^* e L_1 sono stimati a livello regionale e J_1 dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1; \Lambda_1^R; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

d) Al livello di regionalizzazione tre, in cui tutti i parametri sono stimati con tecniche di analisi regionale:

$$x_T = f(T; \mathcal{G}_1^R; \Lambda_1^R; \mathcal{G}_*^R; \Lambda_*^R)$$

Dati Elaborazione

Stazione di misura: Segariu

Distribuzione probabilistica: TCEV secondo livello

Metodo di stima dei parametri: Massima verosimiglianza

Elaborazioni presenti: 5 (24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore)

Elaborazioni valide: 5 (24 ore, 48 ore, 72 ore, 96 ore, 120 ore)

Stima parametri

Parametro	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
Dimensione campione	25	25	25	25	25
Valore medio	49.50	60.48	65.21	70.81	73.97
Dev. standard	23.78	26.79	26.65	26.25	25.98
Parametri regionali					
Descrizione	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: 24 ore	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: Unica
Lambda*	0.57170	0.57170	0.57170	0.57170	0.57170
Teta*	2.20700	2.20700	2.20700	2.20700	2.20700
Lambda 1	27.12000	21.20000	21.20000	21.20000	21.20000
Parametri stimati					
Teta 1	10.13181	13.22674	14.52380	16.10111	16.98583
Lambda 2	2.55033	2.28106	2.28106	2.28106	2.28106
Teta 2	22.36090	29.19141	32.05402	35.53515	37.48772

Espressioni delle CDF della distribuzione

TCEV secondo livello: 1 giorno	$F_x(x) = \exp \left[-27,12 \exp \left(-\frac{x}{10,132} \right) - 2,55 \exp \left(-\frac{x}{22,361} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 2 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,20 \exp \left(-\frac{x}{13,227} \right) - 2,28 \exp \left(-\frac{x}{29,191} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 3 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,20 \exp \left(-\frac{x}{14,524} \right) - 2,28 \exp \left(-\frac{x}{32,054} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 4 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,20 \exp \left(-\frac{x}{16,101} \right) - 2,28 \exp \left(-\frac{x}{35,535} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 5 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,20 \exp \left(-\frac{x}{16,986} \right) - 2,28 \exp \left(-\frac{x}{37,488} \right) \right]$

Espressioni delle Curve di crescita

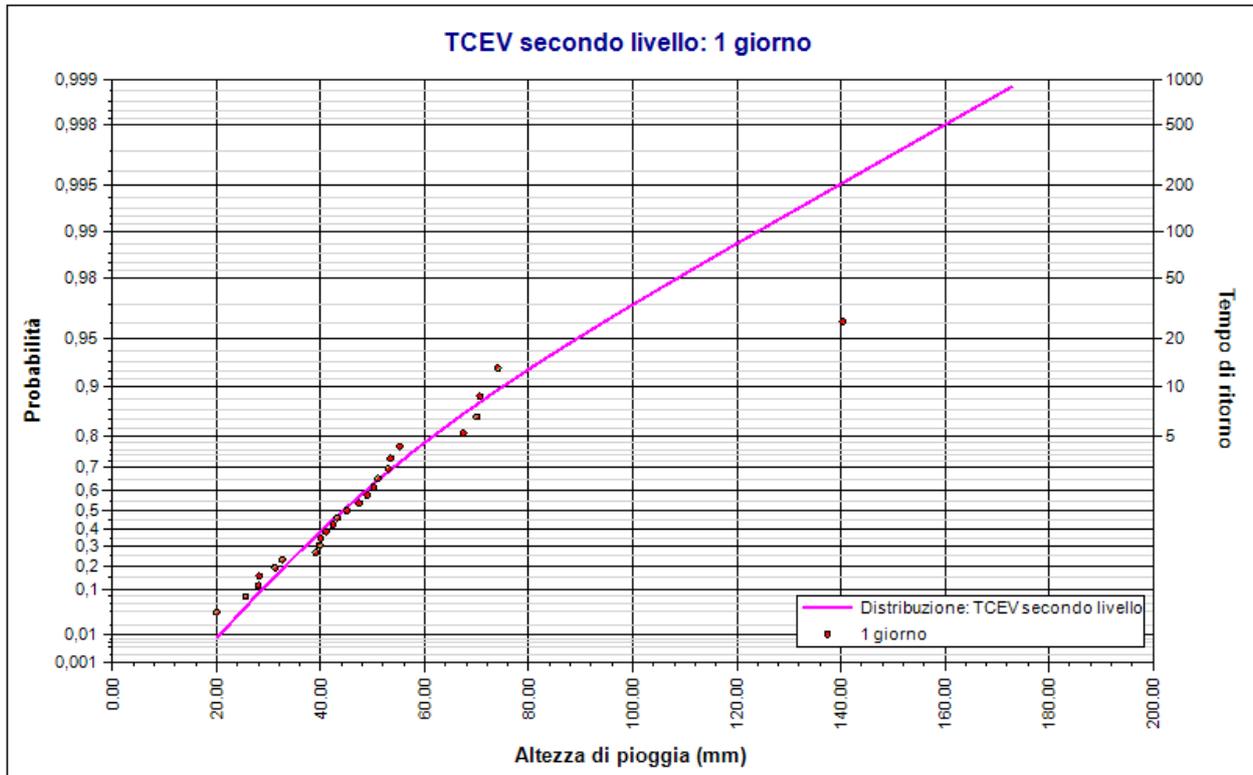
TCEV secondo livello: 1 giorno	$F_x(x) = \exp \left[-27,120 (127,126)^{-x} - 2,550 (8,983)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 2 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 3 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 4 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 5 giorni	$F_x(x) = \exp \left[-21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$

Frattili distribuzioni probabilistiche

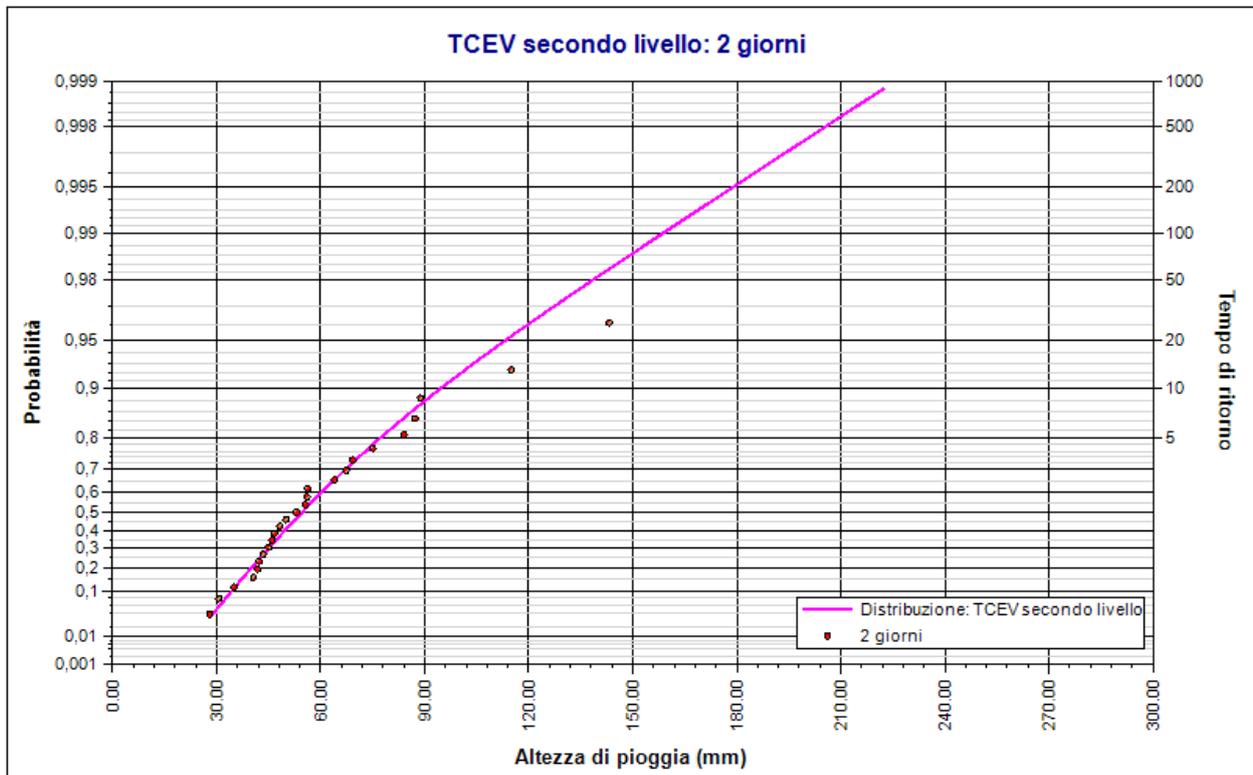
Tempi di ritorno	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
2 anni	44.32	54.60	59.95	66.46	70.11
5 anni	61.69	77.27	84.85	94.07	99.24
10 anni	75.05	94.72	104.01	115.30	121.64
20 anni	89.20	113.19	124.29	137.79	145.36
50 anni	108.84	138.83	152.45	169.01	178.29
100 anni	124.09	158.74	174.30	193.23	203.85
200 anni	139.48	178.83	196.37	217.69	229.66
500 anni	159.92	205.51	225.66	250.17	263.92
1000 anni	175.41	225.73	247.86	274.78	289.88

attori di crescita

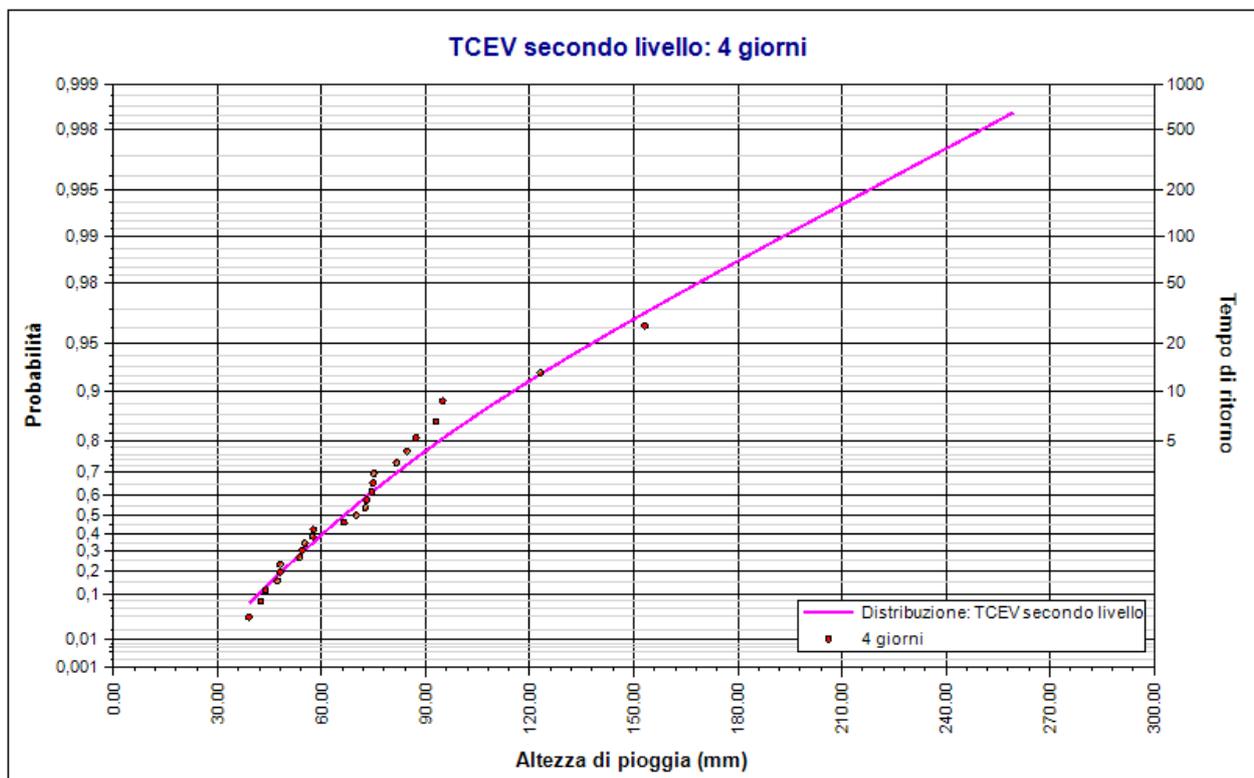
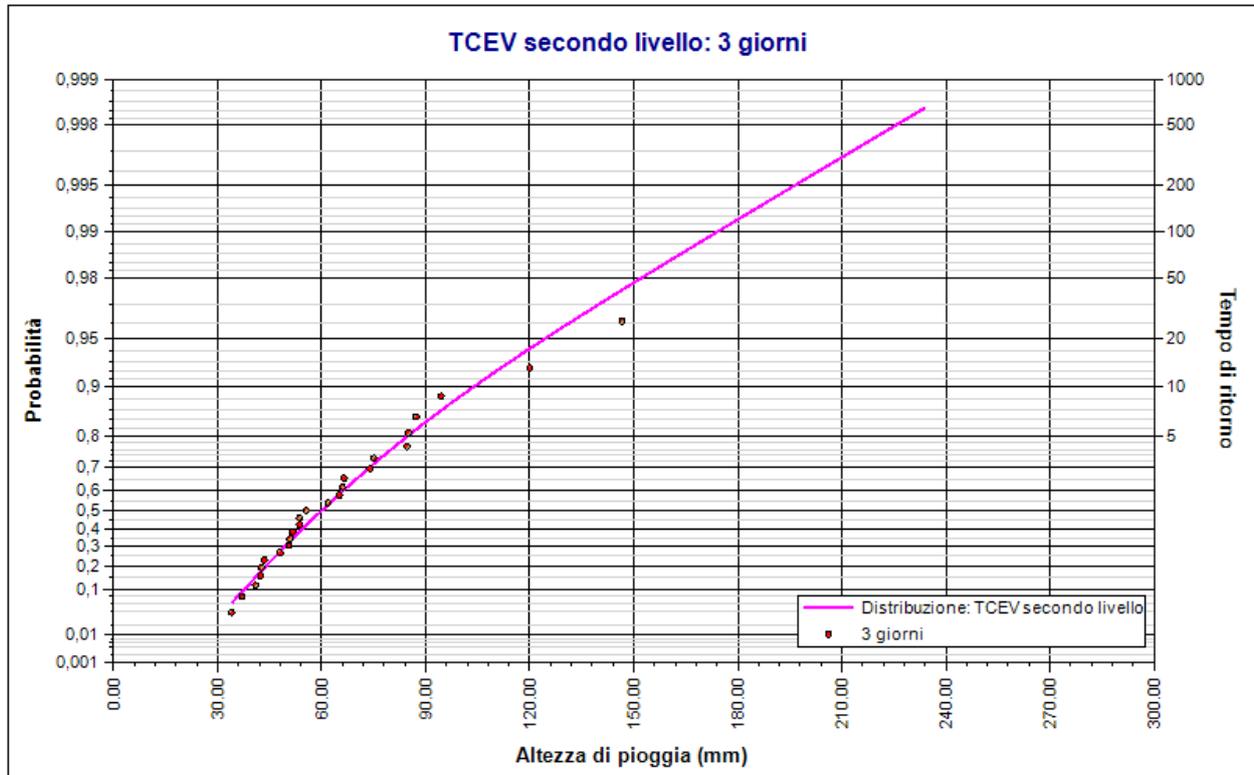
Tempi di ritorno	Durate				
	24 ore	48 ore	72 ore	96 ore	120 ore
2 anni	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
5 anni	1.26	1.27	1.27	1.27	1.27
10 anni	1.53	1.56	1.56	1.56	1.56
20 anni	1.82	1.86	1.86	1.86	1.86
50 anni	2.22	2.28	2.28	2.28	2.28
100 anni	2.53	2.61	2.61	2.61	2.61
200 anni	2.84	2.94	2.94	2.94	2.94
500 anni	3.26	3.38	3.38	3.38	3.38
1000 anni	3.57	3.71	3.71	3.71	3.71

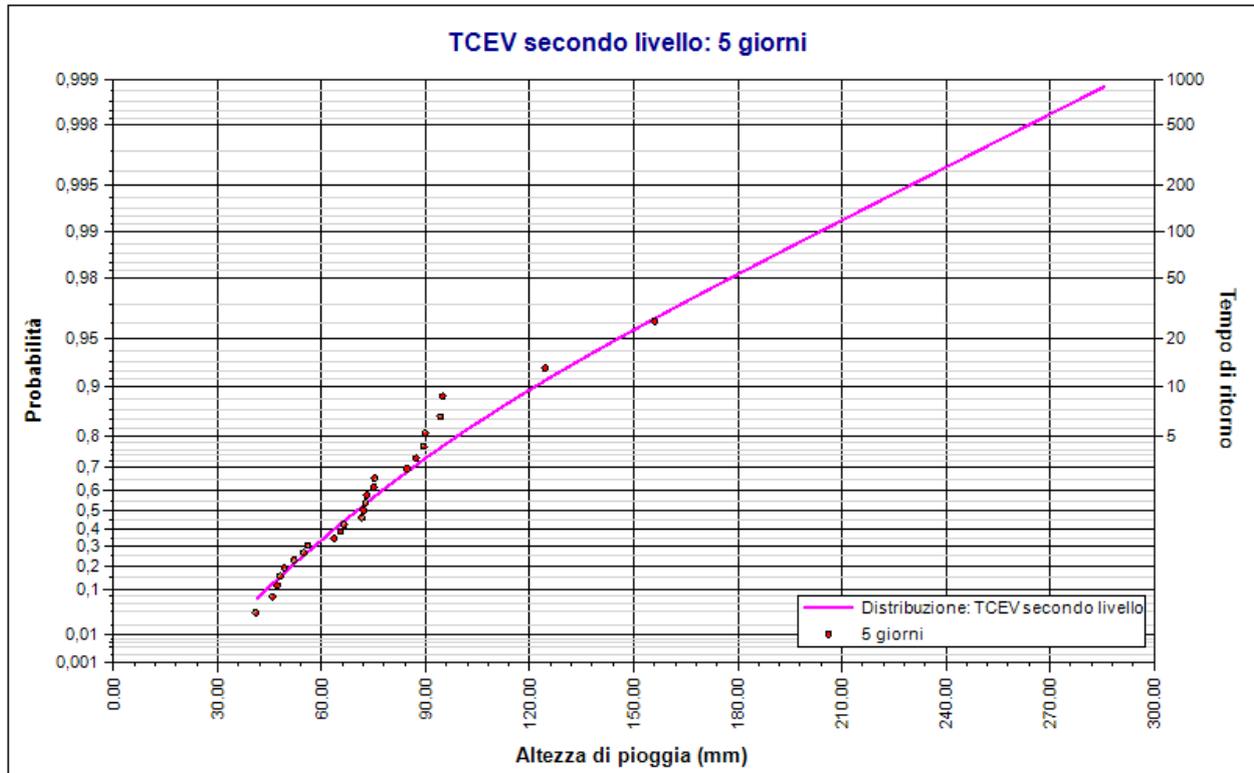


Elaborazione TCEV secondo livello 1 giorno. Durata 24 ore



Elaborazione TCEV secondo livello 2 giorni. Durata 48 ore





Elaborazione TCEV secondo livello: 5 giorni. Durata 120 ore

Bacino 1:

Il bacino oggetto di studio si trova nella sottozona 2 ed ha le seguenti caratteristiche geometriche:

Superficie del Bacino	S =	25,00	Km ²
Lunghezza percorso idraulico principale	L =	5,70	Km
Altitudine max percorso idraulico	H_{max} =	180,00	m (s.l.m.)
Altitudine min percorso idraulico	H₀ =	94,00	m (s.l.m.)
Pendenza media percorso idraulico	Pi =	0,04	(m/m)
Altitudine max bacino	H_{max} =	600,00	m (s.l.m.)
Altitudine sezione considerata	H₀ =	94,00	m (s.l.m.)
Altitudine media bacino	H_m =	489,00	m (s.l.m.)
Dislivello medio bacino	H_m - H₀ =	95,00	m

La formula razionale, conosciuta anche come metodo razionale o metodo delle sole piogge [1], è una formula che, sotto alcune ipotesi, permette la stima della portata al colmo di piena che un evento di pioggia di determinato tempo di ritorno può produrre in una data sezione di chiusura di un bacino idrografico; viene utilizzata nella progettazione dei collettori fognari e dei canali artificiali, oltre che nella verifica della capacità idraulica degli alvei fluviali.

L'idrogramma di piena viene approssimato da un triangolo. Viene inoltre assunta l'ipotesi che la durata t_p della precipitazione di progetto P sia pari al tempo di corrivazione t_c . All'istante t_c , quando tutta la superficie del bacino concorre alla produzione del deflusso alla sezione di chiusura, la precipitazione cessa e la portata inizia a diminuire. Quindi anche t_a , (tempo di accumulo o di concentrazione) risulta esattamente uguale a t_c e t_p .

La scelta di un idrogramma simmetrico (triangolo isoscele) rende infine la durata della fase di esaurimento t_e esattamente pari alle altre grandezze.

$$Q_p = \frac{CPA}{3.6t_c}$$

La soluzione è geometrica, tenendo conto che l'area dell'idrogramma corrisponde al volume di deflusso V in m^3 ed esprimendo l'area A in km^2 , la precipitazione P in mm e i tempi t in ore. La portata al picco Q_p viene ovviamente espressa in m^3s^{-1} mentre il coefficiente di deflusso C è adimensionale.

Il concetto di **tempo di corrivazione (Tc)** è stato formulato ben prima dell'avvento delle tecniche di analisi distribuita del DEM con tecniche GIS. Secondo la definizione classica il tempo di corrivazione – t_c è il tempo che impiega una "goccia d'acqua" caduta nel punto idraulicamente più lontano del bacino per giungere alla sezione di chiusura.

Nelle formule successive t_c è espresso in ore.

Formula di Giandotti
A > 170 km²

$$t_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}}$$

Formula di Tournon
30 < A < 170 km²

$$t_c = 0.396 \frac{L}{\sqrt{i}} \left(\frac{A}{L^2} \frac{\sqrt{i}}{\sqrt{Y}} \right)^{0.72}$$

Formula di Pezzoli
bacini piccoli

$$t_c = 0.055 \frac{L}{\sqrt{i}}$$

L'area del bacino è inferiore a 30 km^2 ma si è deciso di utilizzare la formula di Pezzoli visto che va dai 30 a 170 km^2 .

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA		TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c (ore)
Superficie del Bacino	$S = 25,00$ Km ²	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m \cdot H_0}} =$ Kirpich, Watt- $\Rightarrow t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P}} \right)^{0.8} = 1,41$ Chow, Pezzoli Toumon $\Rightarrow T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{P_i}} \left(\frac{S}{L^2} \sqrt{\frac{P_i}{P_b}} \right)^{0.72} =$
Lunghezza percorso idraulico principale	$L = 5,70$ Km	
Altitudine max percorso idraulico	$H_{max} = 180,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine min percorso idraulico	$H_0 = 94,00$ m (s.l.m.)	
Pendenza media percorso idraulico	$P_i = 0,04$ (m/m)	
Altitudine max bacino	$H_{max} = 600,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine sezione considerata	$H_0 = 94,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine media bacino	$H_m = 489,00$ m (s.l.m.)	
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 = 95,00$ m	
Pendenza media bacino	$P_b = \#DIV/0!$ (m/m)	
Lunghezza da Qmax bacino - sezione	0 m	

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO
 (FORMULA del METODO RAZIONALE)

$$Q_{max} = \frac{c h_{(t,T)} S}{3.6 t_c}$$

- c = coefficiente di deflusso
- $h_{(t,T)}$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm)
- S = superficie del bacino (km²)
- t_c = tempo di corrivazione (ore)
- 3,6 = fattore di conversione che permette di ottenere la Qmax in m³/sec

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	Coltivi	Pascoli	Boschi
Molto permeabile sabbioso o ghiaioso	0,20	0,15	0,10
Mediamente permeabili; medio impasto o simili	0,40	0,35	0,30
Poco permeabili; fortemente argillosi; poco profondi sopra roccia impermeabile	0,50	0,45	0,40

RISULTATI

Deflusso $c =$	0,20	S (km ²) =	25,00	t_c (ore) =	1,41
----------------	-------------	--------------------------	--------------	---------------	-------------

T_r (anni)	a	n	t_c (ore)	$h_{(T)}$ (mm)	Q_{max} (m ³ /sec)
10	44,2711	0,1295	1,41	46,27	45,72
30	57,5574	0,1096	1,41	59,75	59,04
50	63,6273	0,1031	1,41	65,90	65,12
100	71,8176	0,0958	1,41	74,20	73,32
200	79,9806	0,0899	1,41	82,47	81,49

**ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOGRAFICI
 (Metodo di Gumbel)**

Tabella 1 - Valori per ciascuna durata t , della media $\mu(h_t)$, dello scarto quadratico medio $\sigma(h_t)$ e dei due parametri α_t e u_t della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1")

N =	20	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h_t)$		24,03	30,61	37,23	38,62	44,21
$\sigma(h_t)$		13,82	18,66	16,02	14,26	17,49
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0,09	0,07	0,08	0,09	0,07
$u_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		17,81	22,21	30,01	32,20	36,34

Tabella 2 - Altezze massime di pioggia regolarizzate (mm)

Tr		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	42,05	54,95	58,12	57,21	67,02
30 anni	$h_{max} =$	54,26	71,44	72,28	69,81	82,48
50 anni	$h_{max} =$	59,84	78,97	78,75	75,57	89,54
100 anni	$h_{max} =$	67,36	89,13	87,47	83,33	99,06
200 anni	$h_{max} =$	74,85	99,24	96,15	91,06	108,55

Tabella 3 -

Tr		LEGGE DI PIOGGIA	$h = a \times t^n$
10 anni	→		$h=44,271xt^{0,1295}$
30 anni	→		$h=57,557xt^{0,1096}$
50 anni	→		$h=63,627xt^{0,1031}$
100 anni	→		$h=71,818xt^{0,0958}$
200 anni	→		$h=79,981xt^{0,0899}$

Bacino 2:

Superficie del Bacino	S =	37,00	Km ²
Lunghezza percorso idraulico principale	L =	9,20	Km
Altitudine max percorso idraulico	H_{max} =	180,00	m (s.l.m.)
Altitudine min percorso idraulico	H₀ =	70,00	m (s.l.m.)
Pendenza media percorso idraulico	P_i =	0,04	(m/m)
Altitudine max bacino	H_{max} =	600,00	m (s.l.m.)
Altitudine sezione considerata	H₀ =	70,00	m (s.l.m.)
Altitudine media bacino	H_m =	489,00	m (s.l.m.)
Dislivello medio bacino	H_m - H₀ =	95,00	m

L'area del bacino è circa 37 km² ma si è deciso di utilizzare la formula di Pezzoli visto che va dai 30 a 170 km.

DATI MORFOMETRICI DEL BACINO IDROGRAFICO SOTTESO ALLA SEZIONE DI CHIUSURA CONSIDERATA		TEMPO DI CORRIVAZIONE t_c (ore)
Superficie del Bacino	$S = 37,00$ Km ²	Giandotti $\Rightarrow t_c = \frac{4\sqrt{S} + 1.5L}{0.8\sqrt{H_m - H_0}} =$
Lunghezza percorso idraulico principale	$L = 9,20$ Km	Kirpich, Watt-Chow & Pezzoli $\Rightarrow t_c = 0.02221 \left(\frac{L}{\sqrt{P_i}} \right)^{0.8} = 2,06$
Altitudine max percorso idraulico	$H_{max} = 180,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine min percorso idraulico	$H_0 = 70,00$ m (s.l.m.)	Toumon $\Rightarrow T_c = \frac{0.396L}{\sqrt{P_i}} \left(\frac{S}{L^2 \sqrt{P_b}} \right)^{0.72} =$
Pendenza media percorso idraulico	$P_i = 0,04$ (m/m)	
Altitudine max bacino	$H_{max} = 600,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine sezione considerata	$H_0 = 70,00$ m (s.l.m.)	
Altitudine media bacino	$H_m = 489,00$ m (s.l.m.)	
Dislivello medio bacino	$H_m - H_0 = 95,00$ m	
Pendenza media bacino	$P_b = \#DIV/0!$ (m/m)	
Lunghezza da Qmax bacino - sezione	0 m	

CALCOLO DELLE PORTATE DI MASSIMA PIENA PER ASSEGNATI TEMPI DI RITORNO (FORMULA del METODO RAZIONALE)

$$Q_{max} = \frac{c h_{(t,T)} S}{3.6 t_c}$$

- c = coefficiente di deflusso
- $h_{(t,T)}$ = altezza critica di pioggia con tempi di ritorno (mm)
- S = superficie del bacino (km²)
- t_c = tempo di corrivazione (ore)
- $3,6$ = fattore di conversione che permetta di ottenere la Q_{max} in m³/sec

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	Coltivi	Pascoli	Boschi
Molto permeabile sabbioso o ghiaioso	0,20	0,15	0,10
Mediamente permeabili; medio impasto o simili	0,40	0,35	0,30
Poco permeabili; fortemente argillosi; poco profondi sopra roccia impermeabile	0,50	0,45	0,40

RISULTATI

Deflusso $c =$	0,20	S (km ²) =	37,00	t_c (ore) =	2,06
----------------	-------------	--------------------------	--------------	---------------	-------------

T_r (anni)	a	n	t_c (ore)	$h_{(t,T)}$ (mm)	Q_{max} (m ³ /sec)
10	44,2711	0,1295	2,06	48,62	48,48
30	57,5574	0,1096	2,06	62,31	62,13
50	63,6273	0,1031	2,06	68,55	68,36
100	71,8176	0,0958	2,06	76,97	76,75
200	79,9806	0,0899	2,06	85,35	85,11

ANALISI STATISTICA DEI DATI PLUVIOGRAFICI
(Metodo di Gumbel)

Tabella 1 - Valori per ciascuna durata t , della media $\mu(h)$, dello scarto quadratico medio $\sigma(h)$ e dei due parametri α_t e u_t della legge di Gumbel (prima legge del valore estremo "EV1")

N =	20	t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
$\mu(h)$		24,03	30,61	37,23	38,62	44,21
$\sigma(h)$		13,82	18,66	16,02	14,26	17,49
$\alpha_t = 1,283/\sigma(h_t)$		0,09	0,07	0,08	0,09	0,07
$u_t = \mu(h_t) - 0,45\sigma(h_t)$		17,81	22,21	30,01	32,20	36,34

Tabella 2 - Altezze massime di pioggia regolarizzate (mm)

Tr		t = 1 ora	t = 3 ore	t = 6 ore	t = 12 ore	t = 24 ore
10 anni	$h_{max} =$	42,05	54,95	58,12	57,21	67,02
30 anni	$h_{max} =$	54,26	71,44	72,28	69,81	82,48
50 anni	$h_{max} =$	59,84	78,97	78,75	75,57	89,54
100 anni	$h_{max} =$	67,36	89,13	87,47	83,33	99,06
200 anni	$h_{max} =$	74,85	99,24	96,15	91,06	108,55

Tabella 3 -

Tr		LEGGE DI PIOGGIA	$h = a \times t^n$
10 anni	→		$h=44,271 \times t^{0,1295}$
30 anni	→		$h=57,557 \times t^{0,1096}$
50 anni	→		$h=63,627 \times t^{0,1031}$
100 anni	→		$h=71,818 \times t^{0,0958}$
200 anni	→		$h=79,981 \times t^{0,0899}$

6. POSA DEL CAVIDOTTO

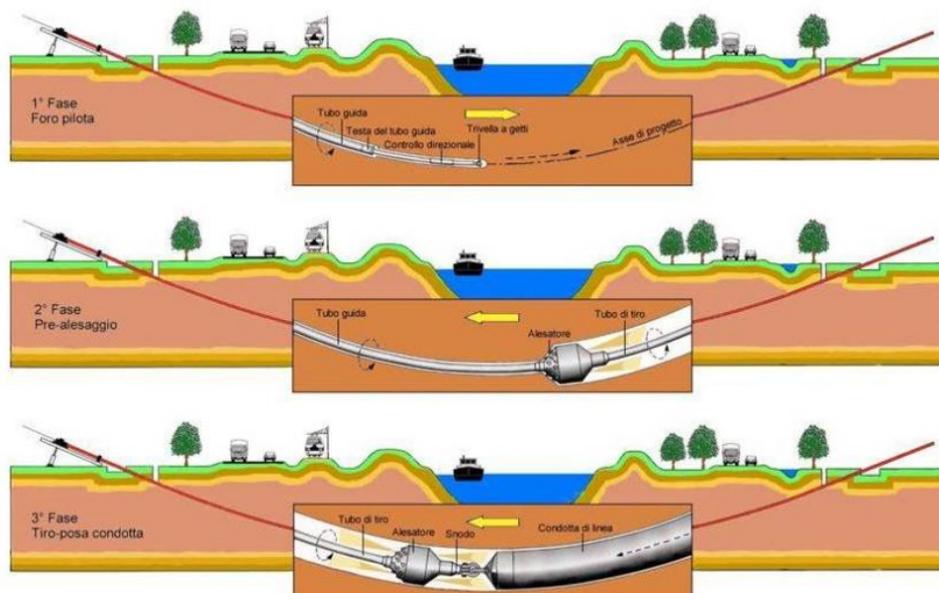
Come già spiegato nei paragrafi precedenti, il tracciato del cavidotto di collegamento con la sottostazione elettrica, interseca in diversi punti il reticolo idrografico riportato nell'allegato 2. L'attraversamento può avvenire, superando una infrastruttura idraulica (tombino, ponte ecc..) oppure "a raso" dove esiste un leggero avvallamento lungo la strada di servizio.

Per tutti gli attraversamenti vale il comune denominatore: tutela delle infrastrutture idrauliche esistenti senza alterare la morfologia del reticolo attuale.

Per questo motivo, si anticipa che:

- il cavidotto viene normalmente interrato lungo la viabilità di servizio ad una profondità di circa 1,50 – 2 m utilizzando lo stesso materiale di scavo per il rinterro (verificando la trincea alle forze di erosione massime);
- nel caso di attraversamento di infrastruttura idraulica, sarà posato al di sotto della stessa, utilizzando la tecnologia NO DIG (TOC o con spingitubo) garantendo un franco di sicurezza di circa 20 – 30 cm dalla fondazione del tombino;

Principali fasi di perforazione



- oppure discostandosi dalla sede stradale verso valle del tombino e attraversare il reticolo con spingitubo ad una profondità di -1,50 - 2 m garantendo la resistenza del rinterro alle azioni di trascinamento delle piene (che saranno verificate in seguito). Una volta attraversato il reticolo il cavo sarà posato in sede stradale sempre alla profondità di -1,50 - 2 m.

La verifica dell'erosione della trincea di rinterro, viene effettuata in base alle forze di trascinamento generate dalla piena nel caso più gravoso. Una volta verificato il rinterro della trincea descritto in progetto nelle condizioni peggiorative, questo viene steso, a vantaggio di sicurezza, a tutti gli attraversamenti.

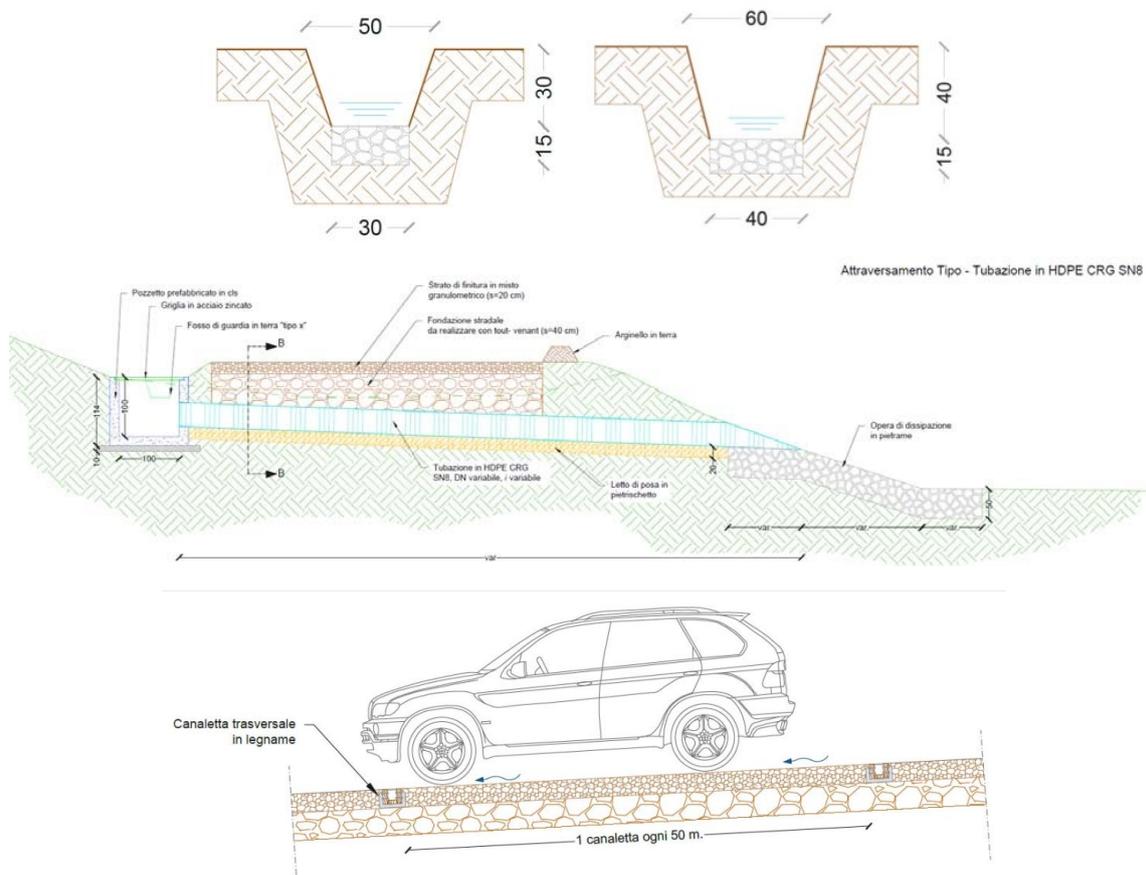
La profondità di 1,50 - 2 m ci mette in sicurezza anche per quanto riguarda l'erosione del letto fluviale, in quanto l'erosione è molto lenta a causa degli apporti sedimentari durante eventi di piena e soprattutto per la natura litologica dei terreni in loco.

7. OPERE IDRAULICHE

La durabilità delle strade e delle piazzole di un parco eolico è garantita da un efficace sistema idraulico di allontanamento e drenaggio delle acque meteoriche.

La viabilità esistente sarà interessata da un'analisi dello stato di consistenza delle opere idrauliche già presenti: laddove necessario, tali opere idrauliche verranno ripristinate e/o riprogettate per garantire la corretta raccolta ed allontanamento delle acque defluenti dalla sede stradale, dalle piazzole o dalle superfici circostanti.

In fase di esecuzione, così come per le opere di bioingegneria, saranno scelte le opere migliori per il drenaggio delle acque meteoriche, come ad esempio:



CONCLUSIONI

Il seguente studio ha portato alle seguenti conclusioni:

È stata visualizzata e studiata la cartografia presente con l'inserimento del reticolo fluviale in formato .shp ottenuto dal geoportale della regione Sardegna.

Dallo studio sulla cartografia PAI l'area risulta scevra da qualsiasi rischio o pericolo idraulico, nonostante ciò si è deciso di individuare le interferenze "più rilevanti" ed eseguirne uno studio idraulico.

Le turbine in progetto non interferiscono con il reticolo fluviale, mentre il cavidotto interseca diversi impluvi di piccole dimensioni, vedi allegato 2, tra i quali si è deciso di studiare le due interferenze nei punti in cui il cavidotto attraversa il Riu flumentepido.

Per lo studio idrologico e idraulico è stato preso in considerazione questo attraversamento, perché gli altri impluvi o torrenti attraversati non avevano un bacino rilevante.

Son stati individuati i due sottobacini alle sezioni di chiusura individuate, corrispondenti con il punto di interferenza con il cavidotto e la viabilità esistente o da adattare.

Il bacino 1 ha un'estensione di circa 25 km² ed il bacino 2 di circa 30 km², i calcoli idrologici sono stati eseguiti consultando gli annali idrologici regionali, utilizzando i dati degli ultimi 20 anni, considerando però le precipitazioni maggiori ottenute in 5 giorni, in quanto non sono presenti sufficienti dati per lo studio statistico sulle massime altezze di pioggia in 1,3,6,12 e 24 ore.

Dall'analisi risulterebbe che le altezze massime per il bacino 1 con Tr di 100 anni sono di 74,20 mm e per il bacino 2 76,97 mm, altezze non particolarmente rilevanti alle sezioni di chiusura indicate.

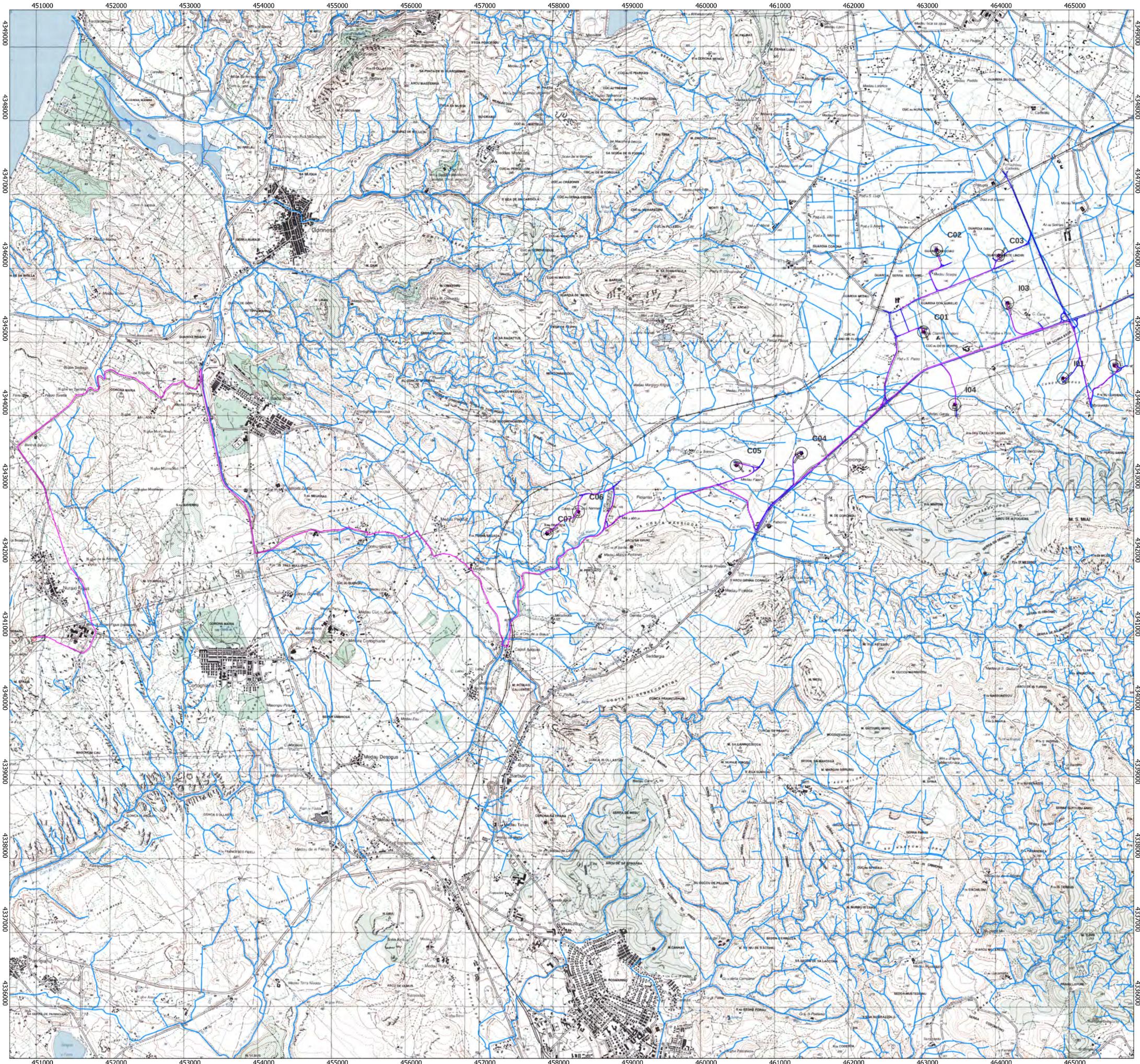
L'alveo nelle zone dove sono presenti le interferenze si presenta geomorfologicamente omogeneo senza particolari incisioni che indicherebbero processi di erosione rilevanti in atto, solo nei giorni di forti piogge si potrebbe verificare una erosione accelerata soprattutto negli impluvi e linee di deflusso delle acque.

Per evitare qualsiasi tipo di problema morfologico in alveo e affinché non si intacchino le opere idrauliche esistenti e si preservi la morfologia esistente, il cavidotto sarà fatto passare tramite tecnologia TOC, spinta ad una profondità tra i 1,50 – 2 metri di profondità, al fine di evitare problemi di erosione fluviale che ne intaccherebbe la funzionalità.

Per quanto esposto precedentemente si può affermare che le turbine sono fuori da qualsiasi interferenza e criticità idraulica presente, il cavidotto allo stesso modo, pur intersecando diversi impluvi non presenta nessuna criticità operativa, in quanto queste interferenze verranno superate con l'uso della tecnologia TOC descritta precedentemente.

FIRMA





Informazioni ottenute dal geoportale Sardegna al sito:
https://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamapae?map=download_raster



0 1 2 m

Sistema di riferimento
 "WGS 84 / UTM zone 32N"

Legenda

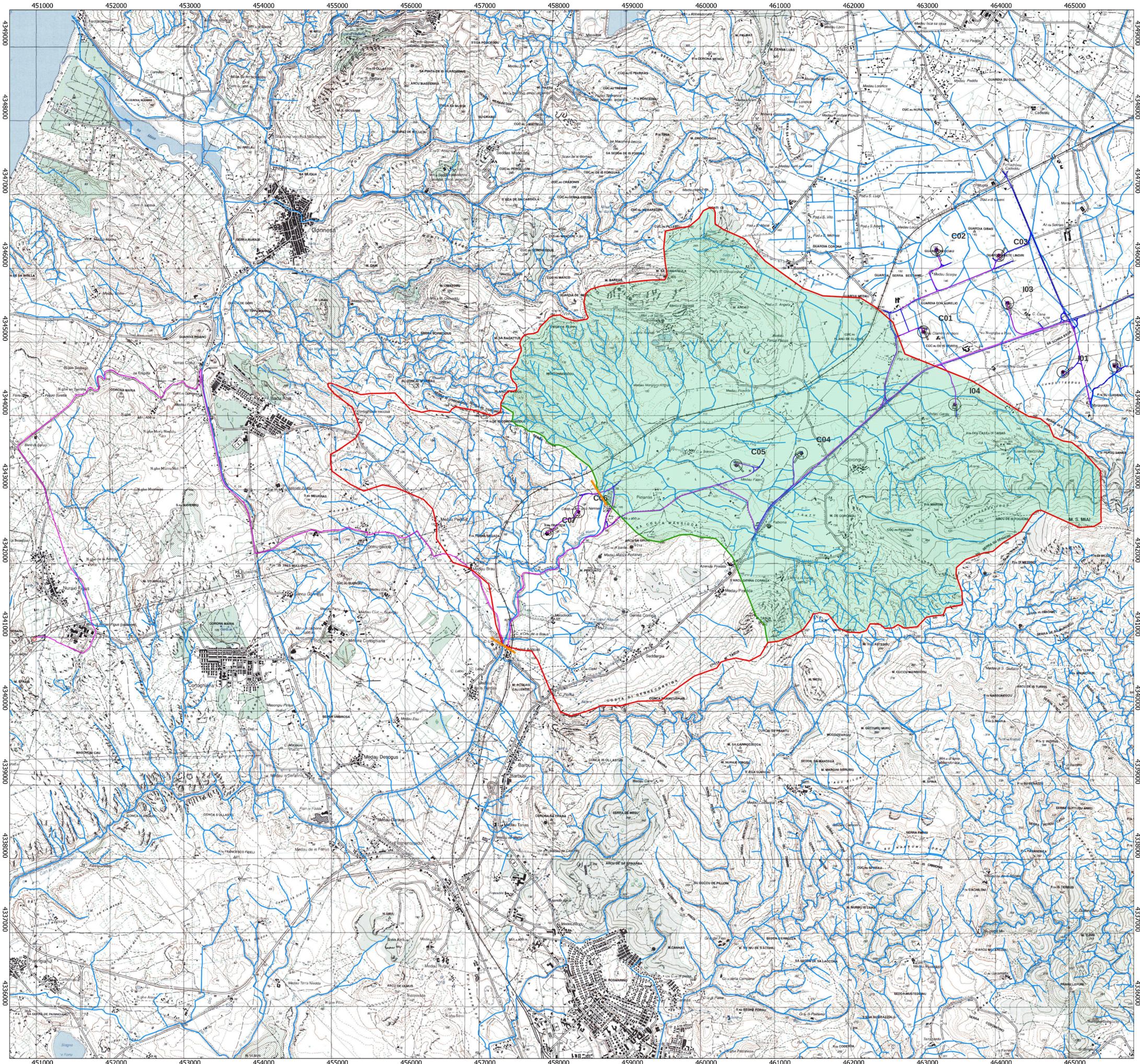
- cavidotto
- viabilità
- SSEU
- CS cabine di sezionamento

Cartografia IGM foglio 555 II Villamassargia
 Cartografia IGM foglio 555 III Portosufuso

REGIONE SARDEGNA
 Provincia del Sulcis Iglesiente
COMUNI DI CARBONIA E IGLESIAS



committente:		IBERDROLA RENEVABLES ITALIA S.p.A.		
Sede legale in Piazzale dell'Industria, 40, 00144, Roma Perita I.V.A. 06977481008 - PEC: iberdrolarenewableitalia@pec.it				
Società di Progettazione:				Ingegneria & Innovazione
Progetto:		PARCO EOLICO DI "CARBONIA"		Livello: DEFINITIVO
Elaborato:		COROGRAFIA		Il geologo
Scala: 1:25000	Nome DIS/FILE:	Allegato: 1	F.to: A1	



Informazioni ottenute dal geoportale Sardegna al sito:
https://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamep/?map=download_raster



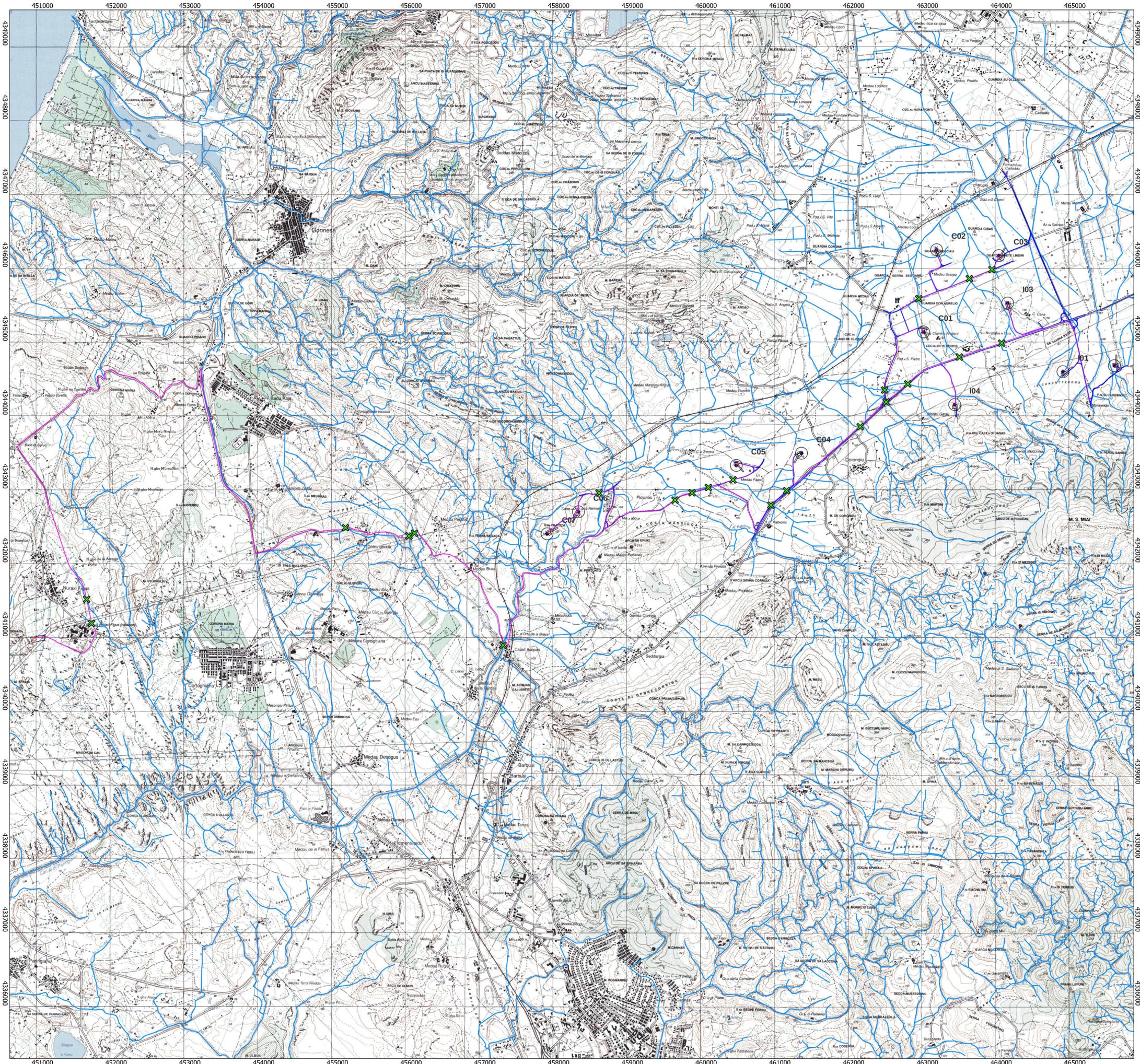
Sistema di riferimento
 "WGS 84 / UTM zone 32N"

- Legenda**
- cavidotto
 - viabilità
 - SSEU
 - CS cabine di sezionamento
 - bacini idrografici
 - 1
 - 2
 - reticolo idrografico

REGIONE SARDEGNA
 Provincia del Sulcis Iglesiente
COMUNI DI CARBONIA E IGLESIAS



committente:		IBERDROLA RENOVABLES ITALIA S.p.A.		
Sede legale in Piazzale dell'Industria, 40, 00144, Roma Perita I.V.A. 06977481008 - PEC: iberdrolarenovablesitalia@pec.it				
Società di Progettazione:				Ingegneria & Innovazione
Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409 Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it				
Progetto:	PARCO EOLICO DI "CARBONIA"	Livello:	DEFINITIVO	
Elaborato:	CARTA IDROGRAFICA	Il geologo:		
Scala:	1:25000	Nome DIS/FILE:	Allegato: 2	F.to: A1



Informazioni ottenute dal geoportale Sardegna al sito:
https://www.sardegnegeoportale.it/webgis2/sardegnamep/?map=download_raster



Sistema di riferimento
 "WGS 84 / UTM zone 32N"

Legenda

- cavidotto
- viabilità
- SSEU
- CS cabine di sezionamento
- reticolo idrografico
- X interferenze

REGIONE SARDEGNA
 Provincia del Sulcis Iglesiente
 COMUNI DI CARBONIA E IGLESIAS



committente:

IBERDROLA RENEWABLES ITALIA S.p.A.



Sede legale in Piazzale dell'Industria, 40, 00144, Roma
 Perita I.V.A. 06977481008 - PEC: iberdroliarenovabitalia@pec.it

Società di Progettazione:



Ingegneria & Innovazione

Via Jonica, 16 - Loc. Belvedere - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1663409
 Web: www.cintexgroup.it e-mail: info@cintexgroup.it

Progetto:	PARCO EOLICO DI "CARBONIA"	Livello:	DEFINITIVO
-----------	-----------------------------------	----------	-------------------

Elaborato:	CARTA DELLE INTERFERENZE IDROLOGICHE	Il geologo:	
------------	---	-------------	--

Scala:	1:25000	Nome DIS/FILE:		Allegato:	3	F.to:	A1
--------	---------	----------------	--	-----------	---	-------	----