

REGIONE SARDEGNA

Provincia di Sassari (SS)

COMUNI DI NULE E BENETUTTI



REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	CONTROL.	APPROV.
1	EMISSIONE PER ENTI ESTERNI	09/03/21	NASTASI M.	FURNO C.	NASTASI A.
0	EMISSIONE PER COMMENTI	02/03/21	NASTASI M.	FURNO C.	NASTASI A.

Committente:

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.



Via Andrea Doria 41/G - 00192 Roma - P.IVA/C.F. 06400370968 - Pec: rwerenewablesitaliasri@legalmail.it

Società di Progettazione:

Ingegneria & Innovazione



Via Pippo Fava, 1 - 96100 Siracusa (SR) Tel. 0931.1813283
Web: www.antexgroup.it e-mail: info@antexgroup.it

Progetto:

PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI

Livello:

DEFINITIVO

Elaborato:

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

Progettista/Resp. Tecnico

Dott. Ing. Furno Cesare

Scala:

NA

Nome DIS/FILE:

C 19023S05-RT-PL-29-01

Allegato:

1/1

F.to:

A4

*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.*



Sommario

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO-IDROGRAFICO.....	5
3.1 Influenza della viabilità sul reticolo idrografico.....	7
3.2 Influenza del cavidotto sul reticolo idrografico	7
3.3 Caratteristiche morfologiche del F. Tirso	7
4. METODO DI STUDIO.....	8
5. RISULTATI DEL CALCOLO	11
5.1 Rapporto sull'elaborazione probabilistica:.....	16
6. POSA DEL CAVIDOTTO	32
CONCLUSIONI.....	34
Figura 1 - Corografia della zona in scala, foglio 132, Benetutti, 1:25000	4
Figura 2 - Mappa dei vari siti degli impianti presenti	5
Figura 3 Area interessata dagli impianti con reticolo idrografico presente	6
Figura 4 – Bacino di nostro interesse del fiume Tirso	8
Figura 5 - Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna	11

ALLEGATO 1: COROGRAFIA 1:25000

ALLEGATO 2: CARTA IDROGRAFICA 1:25000

	REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO E RIPRISTINO DEI LUOGHI	 Ingegneria & Innovazione	
		27/05/2020	REV: 1

1. PREMESSA

Su incarico di RWE, la società ANTEX GROUP Srl ha redatto il progetto definitivo relativo alla realizzazione di un impianto eolico nei comuni di Nule e Benetutti, nella provincia di Sassari.

Il progetto prevede l'installazione di n. 11 nuovi aerogeneratori con potenza unitaria di 5,7 MW, per una potenza complessiva di impianto di 62,7 MW.

Nel dettaglio il progetto prevede l'installazione di n.7 aerogeneratori nei terreni del Comune di Nule (SS) e di n.4 aerogeneratori nei terreni del Comune di Benetutti (SS).

Gli aerogeneratori saranno collegati alla nuova Stazione di trasformazione Utente, posta nel comune di Buddusò (SS), tramite cavidotti interrati con tensione nominale pari a 30 kV.

La stazione di trasformazione utente riceverà l'energia proveniente dall'impianto eolico a 30 kV e la eleverà alla tensione di 150 kV.

Tutta l'energia elettrica prodotta verrà ceduta alla rete tramite collegamento in antenna a 150 kV su una nuova Stazione Elettrica (SE) della RTN a 150 kV, in GIS denominata "Buddusò", già in iter nel Piano di Sviluppo di Terna.

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.

Sia ANTEX che RWE pongono a fondamento delle attività e delle proprie iniziative, i principi della qualità, dell'ambiente e della sicurezza come espressi dalle norme ISO 9001, ISO 14001 e ISO 18001 nelle loro ultime edizioni.

Difatti, le Aziende citate, in un'ottica di sviluppo sostenibile proprio e per i propri clienti e fornitori, posseggono un proprio Sistema di Gestione Integrato Qualità-Sicurezza-Ambiente.

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, per un intorno utile a definire le caratteristiche sopra menzionate.

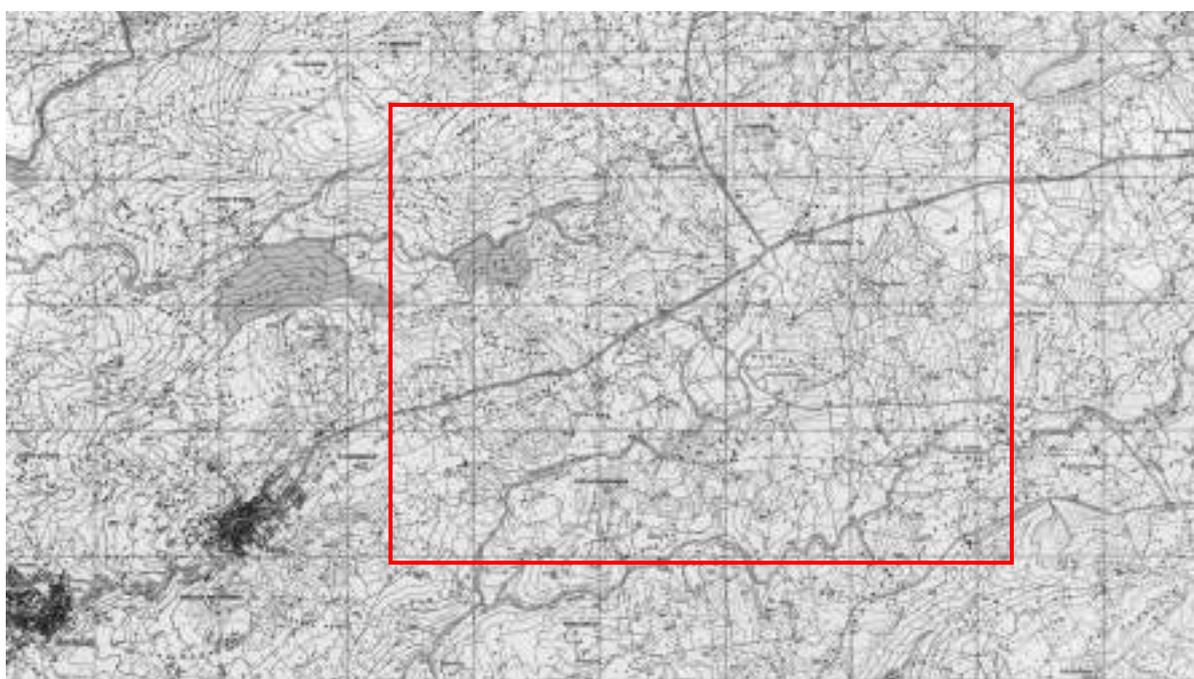


Figura 1 - Corografia della zona in scala, foglio 132, Benetutti, 1:25000

L'area sulla quale verranno installate le turbine ricade nel Foglio 481 sez. II Benetutti (fig.1) all'interno dei Comuni di Nule e Benetutti, entrambi in provincia di (SS), mentre la sottostazione ricade nel territorio di Buddusò sempre in provincia di (SS).

Le quote relative all'impianto eolico vanno dai 624 m.s.l.m ai 718 m.s.l.m., esso si trova a circa 4 km ad est degli abitati di Nule e Benetutti.

Le aree interessate dall'impianto e dai cavidotti sono meglio evidenziate nella fig. 2 sottostante

Poiché i settori indagati sono rappresentati dai rilievi costituenti le testate dei bacini idrografici presenti, l'idrografia superficiale della zona è poco sviluppata: i bacini idrografici che alimentano i corpi idrici sono di modeste dimensioni e non sono presenti corsi d'acqua che non siano a carattere torrentizio, soprattutto nella zona dove saranno ubicate le turbine.

Gli impluvi presenti nell'area circostante sono essenzialmente a carattere torrentizio legati principalmente alle piogge stagionali.

Lungo i versanti a maggiore pendenza, ad ovest dell'area indagata, i corsi d'acqua assumono un potere erosivo più cospicuo, mentre solamente a valle, in corrispondenza di aste di ordine intermedio sono evidenti fenomeni di deposizione interessanti coltri alluvionali di spessore rilevante (Riu Minore e Riu Beranosusule).

Il cavidotto in progetto percorre un tratto di circa 13 km che si estende verso Nord dall'area del parco fino alla stazione di Buddusò.

Lungo questo percorso incontra diversi impluvi, torrenti e fiumi tra i quali il più importante è il Fiume Tirso, fig.3, il quale lo attraversa lungo la SS 389 di Buddusò e Correboi.

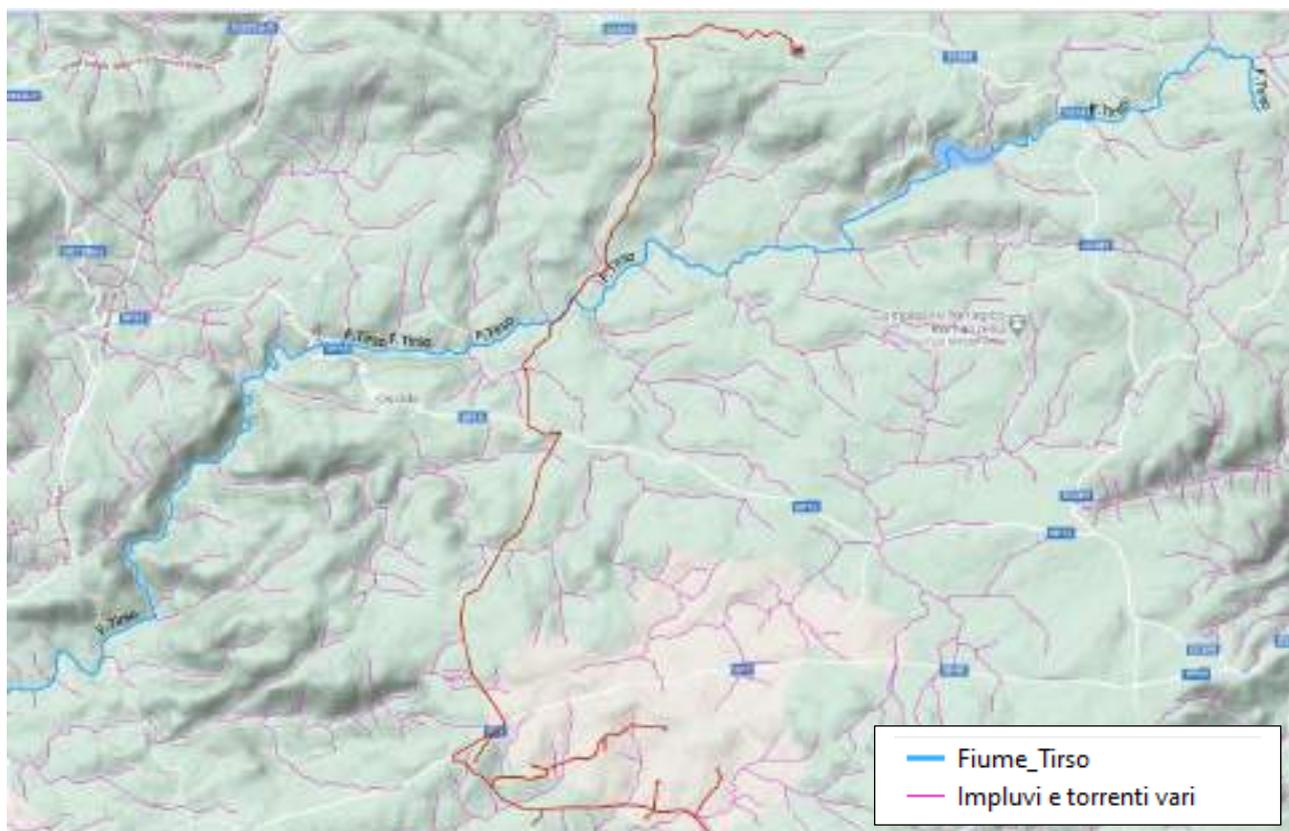


Figura 3 Area interessata dagli impianti con reticolo idrografico presente

	REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO E RIPRISTINO DEI LUOGHI	 Ingegneria & Innovazione	
		27/05/2020	REV: 1

3.1 Influenza della viabilità sul reticolo idrografico

La viabilità interna al parco in progetto si sviluppa principalmente lungo i crinali, per tanto non attraversa nessun impluvio (anche se molto modesti), e le acque raccolte verranno smaltite attraverso le opere idrauliche in progetto.

La viabilità interna va poi ad innestarsi alle strade provinciali 108 e 149, nelle quali sono già presenti opere ingegneristiche in prossimità di impluvi che aiutano a far defluire l'acqua senza conseguenze.

3.2 Influenza del cavidotto sul reticolo idrografico

Il cavidotto in prossimità dell'impianto segue il percorso della viabilità interna per poi continuare verso Nord fino alla sottostazione di Buddusò.

Lungo questo percorso attraversa piccoli impluvi di poca importanza dal punto di vista idraulico, il Riu de Maia affluente del F. Tirso e lo stesso F. Tirso.

3.3 Caratteristiche morfologiche del F. Tirso

(fonte "relazione monografica di bacino idrografico")

Il F.Tirso nasce circa una decina di chilometri ad est di Buddusò, dalla dorsale posta a circa 900 m s.m. di altitudine e compresa tra i monti Madras d'Ingannu e sa Ianna Bassa.

Il bacino di testata è impostato su rocce granitiche o graniodoritiche; solo in prossimità delle sorgenti affiora un modesto lembo di rocce metamorfiche cristalline (micascisti e gneiss).

Il bacino di testata è impostato su rocce granitiche o graniodoritiche; solo in prossimità delle sorgenti affiora un modesto lembo di rocce metamorfiche cristalline (micascisti e gneiss).

Nel settore di nostro interesse (fig.4), la valle del Tirso presenta la classica conformazione a "V" tipica dei corsi d'acqua ancora in uno stato di evoluzione "giovane".

Il letto del fiume scorre pertanto al fondo di un'incisione caratterizzata da versanti generalmente piuttosto acclivi che attraversa un'area rocciosa di media montagna con rilievi che raggiungono talora gli 800-900 m di altitudine.

L'alveo, di tipo monocursale sinuoso, è fisso e, viste caratteristiche del substrato, presenta un bassissimo grado di libertà confermato dal confronto con la cartografia IGM II levata aggiornata agli

anni '50 del secolo scorso, da cui non emerge nessuna differenza significativa di tracciato, come per altro era logico aspettarsi.

Da segnalare la presenza di un piccolo invaso artificiale denominato lago sos Canales (circa 0,24 km² di superficie)

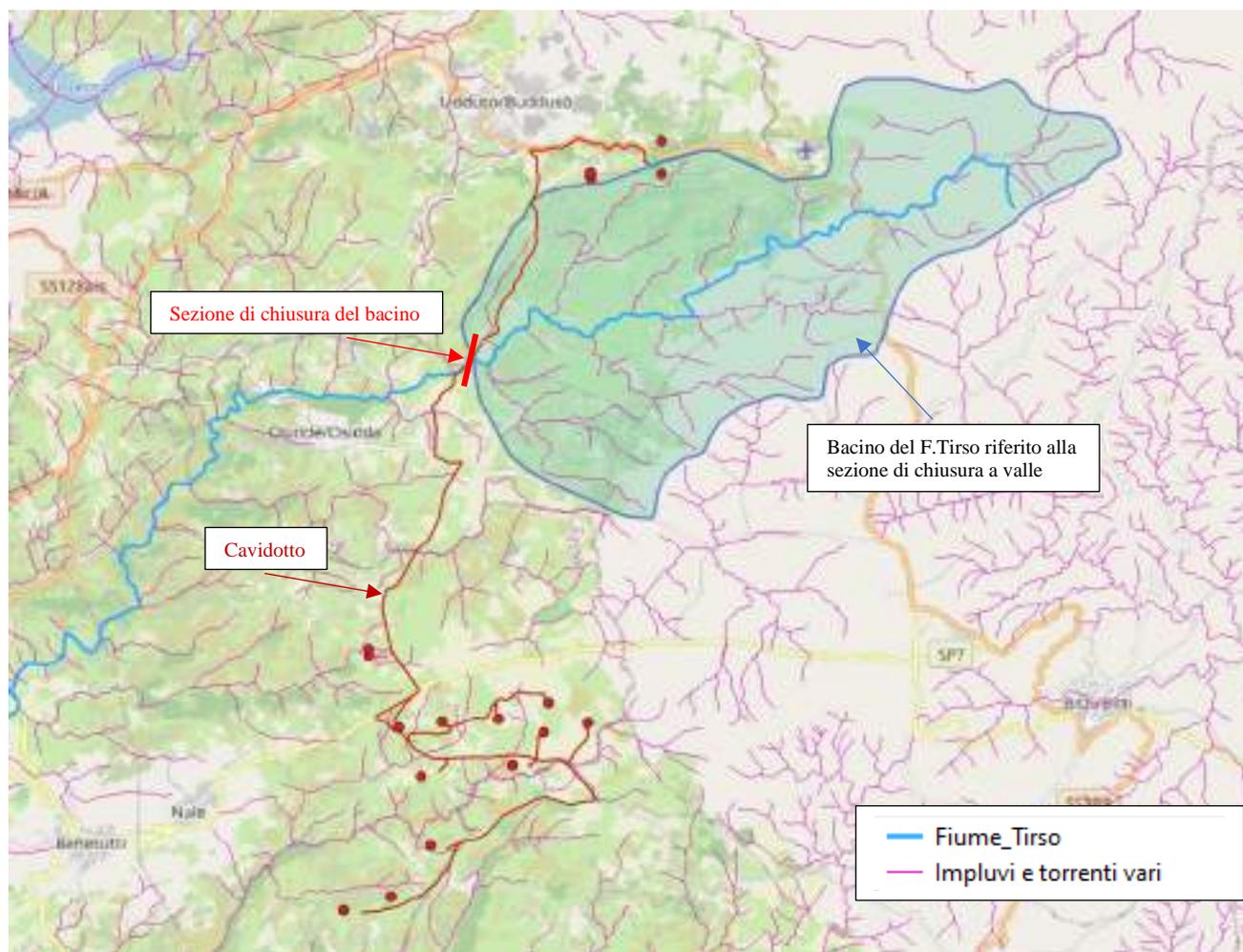


Figura 4 – Bacino di nostro interesse del fiume Tirso

4. METODO DI STUDIO

Visto il grande numero di incisioni presenti si è scelto di procedere al calcolo idraulico del corso fluviale più importante, il F. Tirso e del Riu de Maia.

Così facendo prendiamo in considerazione i due “corsi d’acqua” che hanno una estensione del bacino idrografico più grande rispetto a tutti gli impluvi presenti.

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 e 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 1 ora 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 5 - Sottozone pluviometriche omogenee SZO per la regione Sardegna

5. RISULTATI DEL CALCOLO

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

Superficie del Bacino	S =	46,50	Km ²
Lunghezza percorso idraulico principale	L =	15,00	Km
Altitudine max percorso idraulico	Hmax =	902,00	m (s.l.m.)
Altitudine min percorso idraulico	H0 =	575,00	m (s.l.m.)
Pendenza media percorso idraulico	P =	0,02	(m/m)
Altitudine max bacino	Hmax =	902,00	m (s.l.m.)
Altitudine sezione considerata	H0 =	575,00	m (s.l.m.)
Altitudine media bacino	Hm =	738,50	m (s.l.m.)
Dislivello medio bacino	Hm - H0 =	163,50	m



REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI
**RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO
E RIPRISTINO DEI LUOGHI**



27/05/2020

REV: 1

Pag.12

Per le analisi statistiche si è presa come riferimento la stazione di Osidda 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 1999 al 2018, con registrazione delle massime precipitazioni annue per durate di 1, 3, 6, 12 e 24 ore.

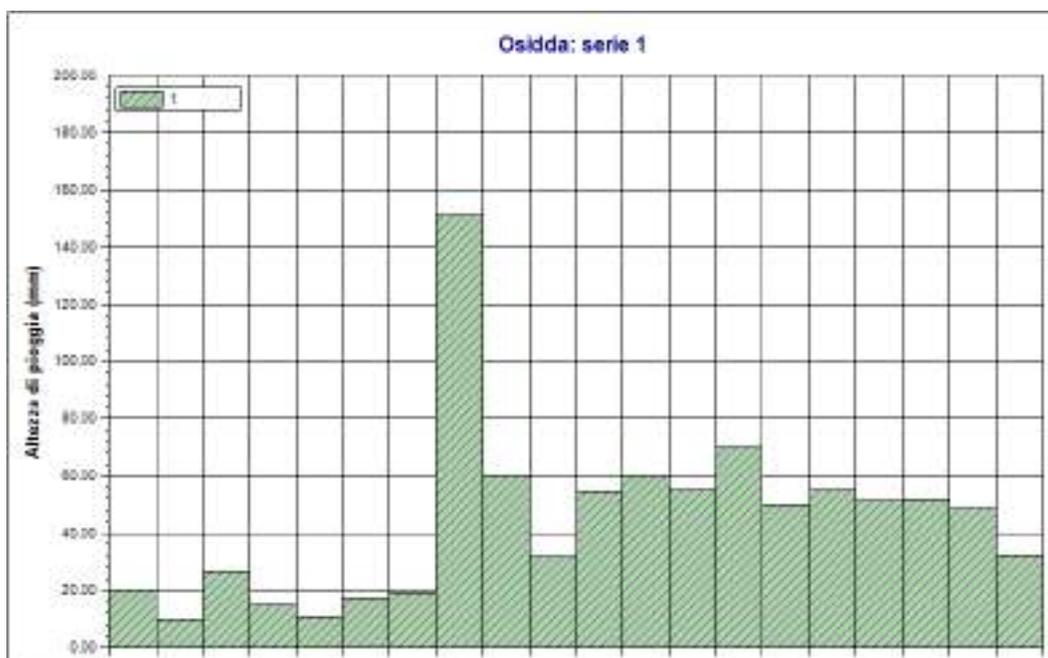
Serie osservazioni

n	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
1	20.1	21.0	30.0	50.0	88.4
2	9.8	16.0	24.6	38.4	47.4
3	26.6	40.0	66.6	77.0	80.0
4	14.8	26.0	33.0	37.8	48.6
5	10.4	14.2	18.8	22.8	32.4
6	17.6	25.2	33.8	55.8	56.2
7	19.4	24.2	26.6	43.0	48.4
8	151.0	157.8	163.0	163.2	164.0
9	59.8	72.4	77.0	79.8	87.0
10	31.6	49.0	64.0	69.0	76.0
11	54.2	57.0	57.0	67.2	82.2
12	60.0	65.0	75.0	75.0	75.0
13	55.0	62.0	67.0	75.0	79.0
14	70.0	120.0	132.0	137.0	152.0
15	50.0	63.0	82.8	106.2	120.8
16	55.0	60.0	90.0	90.0	95.0
17	51.2	60.6	76.0	80.2	80.2
18	51.6	67.6	67.6	71.8	71.8
19	48.4	53.8	59.6	78.2	93.8
20	32.0	57.0	69.0	84.0	85.0

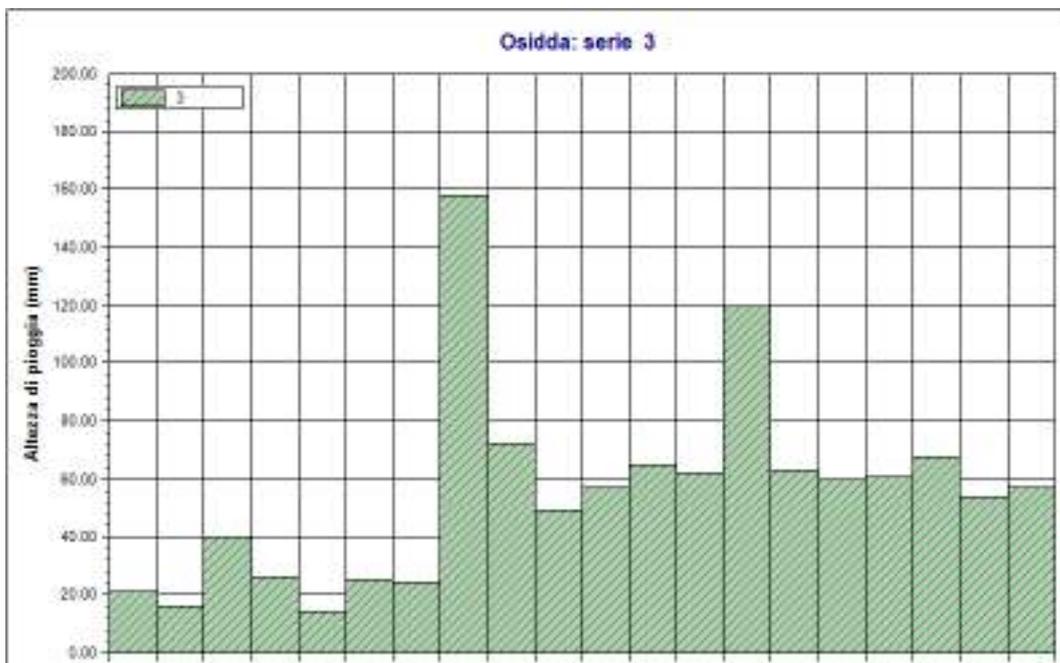


Dati Statistici

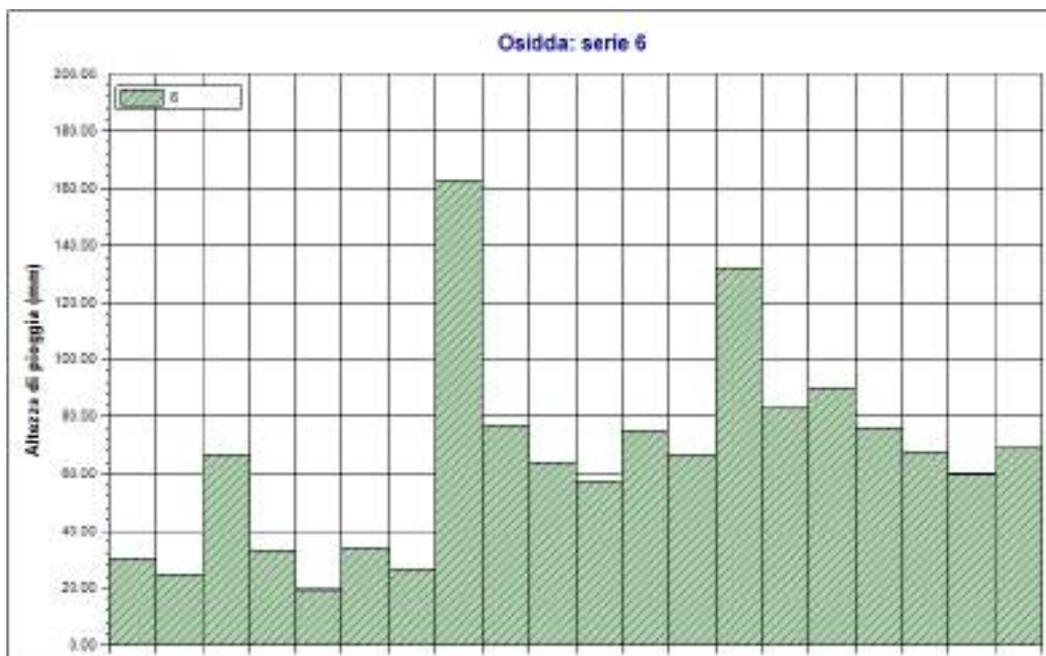
Parametro	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Dimensione campione	20	20	20	20	20
Somma dei dati	888.5	1111.8	1313.4	1501.4	1663.2
Valore minimo	9.8	14.2	18.8	22.8	32.4
Valore massimo	151.0	157.8	163.0	163.2	164.0
Valore medio	44.42	55.59	65.67	75.07	83.16
Dev. standard	31.43	34.65	35.52	32.88	32.65
Coeff. variazione	0.707	0.623	0.541	0.438	0.393
Coeff. asimmetria	2.022	1.518	1.163	1.079	1.057



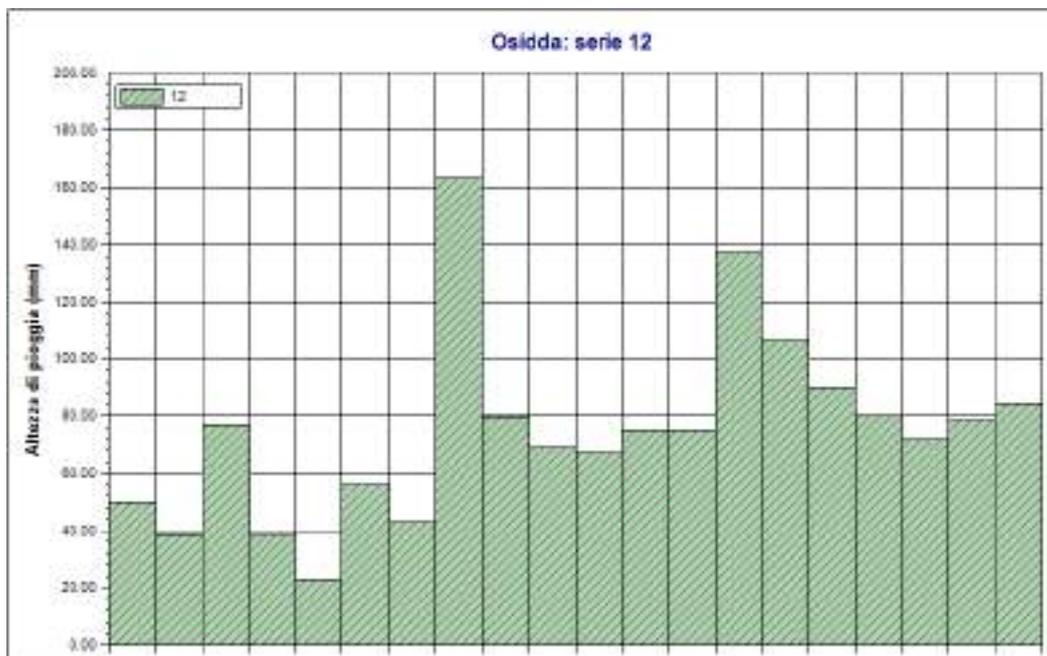
Osidda. 1. Durata 1 ora



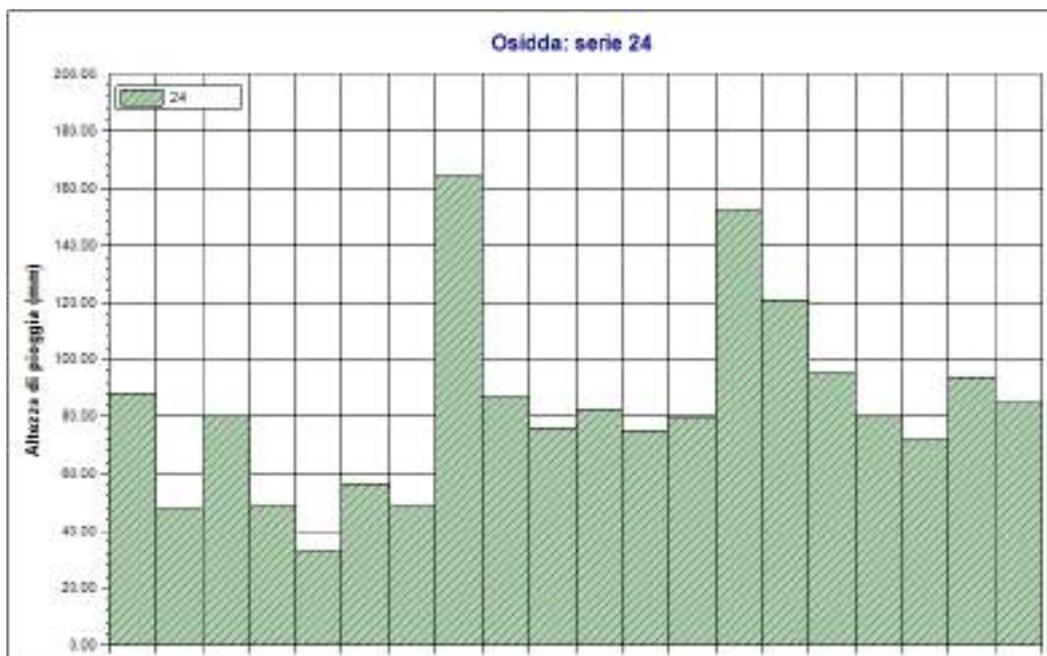
Osidda. 3. Durata 3 ore



Osidda. 6. Durata 6 ore



Osidda. 12. Durata 12 ore



Osidda. 24. Durata 24 ore

5.1 Rapporto sull'elaborazione probabilistica:

Elaborazione TCEV secondo livello

Modello TCEV (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 Λ_1 e Λ_2 rappresentano il numero medio annuo di eventi indipendenti delle due componenti, mentre \mathcal{G}_1 e \mathcal{G}_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 $\Lambda_2=0$.

Riferendosi alla variabile standardizzata:

$$y = \frac{x}{\mathcal{G}_1} - \ln \Lambda_1$$

si ha che la CDF di y è data da:

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

avendo posto:

$$\mathcal{G}_* = \frac{\mathcal{G}_2}{\mathcal{G}_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*}}$$

La media della distribuzione TCEV è data dall'espressione:

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

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

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

Il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ_1 , Λ^* e \mathcal{G}^* ed è quindi indipendente da \mathcal{G}_1 .

Il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ^* e \mathcal{G}^* ed è quindi indipendente da Λ_1 e \mathcal{G}_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 Λ^* e \mathcal{G}^* e delle sottoregioni di queste, più limitate, in cui sia costante pure il coefficiente di variazione e, quindi, il parametro Λ_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 Λ^* e \mathcal{G}^* 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 Λ^* , \mathcal{G}^* e Λ_1 . Λ_1 può quindi essere stimato in base a tutte le serie storiche ricadenti nella sottozona.

In una sottozona rimane costante la CDF di x/μ . Infatti dall'espressione della CDF della TCEV, introducendo i parametri Λ^* e \mathcal{G}^* si ha:

$$F_x(x) = \exp \left[-\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\mathcal{G}_1} \right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\mathcal{G}_*} \exp \left(-\frac{x}{\mathcal{G}_1 \mathcal{G}_*} \right) \right]$$

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 Λ^* e \mathcal{G}^* sono stimati a livello regionale e Λ_1 e \mathcal{G}_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 Λ^* , \mathcal{G}^* e Λ_1 sono stimati a livello regionale e \mathcal{G}_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: Osidda

Distribuzione probabilistica: TCEV secondo livello

Metodo di stima dei parametri: Massima verosimiglianza

Elaborazioni presenti: 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)

Elaborazioni valide: 5 (1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore)

Stima parametri

Parametro	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
Dimensione campione	20	20	20	20	20
Valore medio	44.42	55.59	65.67	75.07	83.16
Dev. standard	31.43	34.65	35.52	32.88	32.65
Parametri regionali					
Descrizione	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: 1 ora	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: 3 ore	Parametri zona: Sardegna - Sottozona: 2 - Durata: 6 ore	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	20.85000	27.40000	29.16000	21.20000	21.20000
Parametri stimati					
Teta 1	8.00255	9.56377	11.68152	16.26019	18.53407
Lambda 2	2.26391	2.56223	2.63554	2.28106	2.28106
Teta 2	17.66163	21.10724	25.78112	35.88625	40.90470

Espressioni delle CDF della distribuzione

TCEV secondo livello: 1	$F_x(x) = \exp \left[-20,85 \exp \left(-\frac{x}{8,003} \right) - 2,26 \exp \left(-\frac{x}{17,662} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 3	$F_x(x) = \exp \left[-27,40 \exp \left(-\frac{x}{9,564} \right) - 2,56 \exp \left(-\frac{x}{21,107} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 6	$F_x(x) = \exp \left[-29,16 \exp \left(-\frac{x}{11,682} \right) - 2,64 \exp \left(-\frac{x}{25,781} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 12	$F_x(x) = \exp \left[-21,20 \exp \left(-\frac{x}{16,260} \right) - 2,28 \exp \left(-\frac{x}{35,886} \right) \right]$
TCEV secondo livello: 24	$F_x(x) = \exp \left[-21,20 \exp \left(-\frac{x}{18,534} \right) - 2,28 \exp \left(-\frac{x}{40,905} \right) \right]$

Espressioni delle Curve di crescita

TCEV secondo livello: 1	$F_x(x) = \exp \left[-20,850 (97,735)^{-x} - 2,264 (7,974)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 3	$F_x(x) = \exp \left[-27,400 (128,439)^{-x} - 2,562 (9,025)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 6	$F_x(x) = \exp \left[-29,160 (136,689)^{-x} - 2,636 (9,283)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 12	$F_x(x) = \exp \left[-21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$
TCEV secondo livello: 24	$F_x(x) = \exp \left[-21,200 (99,376)^{-x} - 2,281 (8,035)^{-x} \right]$



REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI
**RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO
 E RIPRISTINO DEI LUOGHI**



27/05/2020

REV: 1

Pag.21

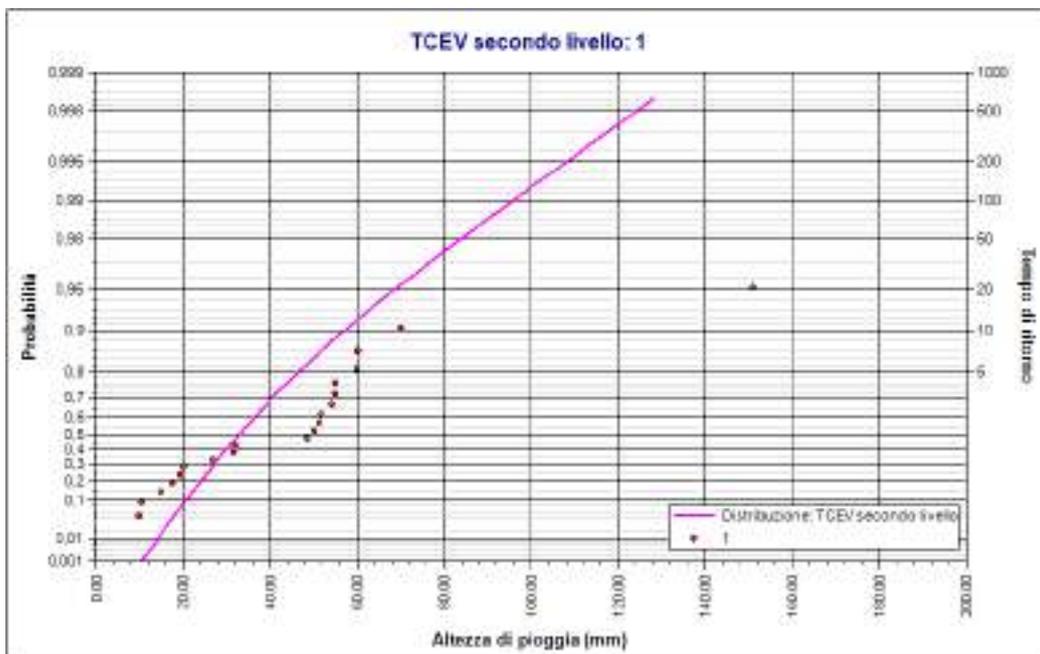
Fratili distribuzioni probabilistiche

Tempi di ritorno	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2 anni	32.90	41.93	51.94	67.12	76.51
5 anni	46.62	58.33	71.97	95.00	108.28
10 anni	57.18	70.94	87.38	116.44	132.73
20 anni	68.35	84.30	103.69	139.15	158.61
50 anni	83.87	102.84	126.34	170.68	194.54
100 anni	95.91	117.23	143.92	195.14	222.43
200 anni	108.06	131.76	161.66	219.84	250.59
500 anni	124.21	151.05	185.23	252.64	287.97
1000 anni	136.44	165.67	203.08	277.50	316.30

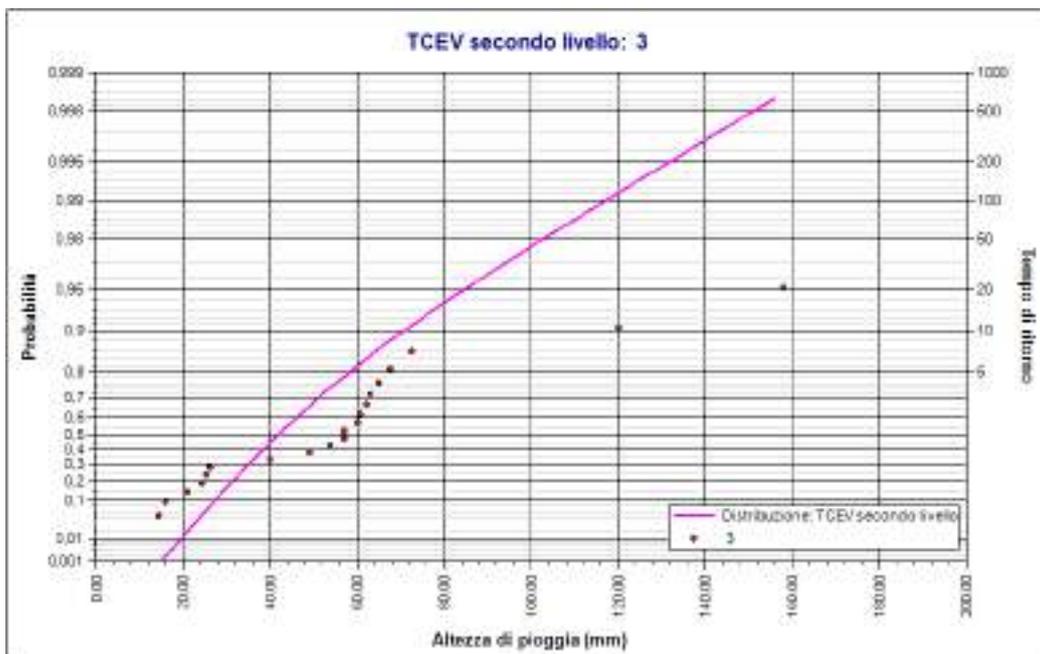
Fattori di crescita

Tempi di ritorno	Durate				
	1 ora	3 ore	6 ore	12 ore	24 ore
2 anni	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90
5 anni	1.27	1.26	1.25	1.27	1.27
10 anni	1.56	1.53	1.52	1.56	1.56
20 anni	1.86	1.82	1.81	1.86	1.86
50 anni	2.29	2.21	2.20	2.28	2.28
100 anni	2.62	2.52	2.51	2.61	2.61
200 anni	2.95	2.84	2.81	2.94	2.94
500 anni	3.39	3.25	3.22	3.38	3.38
1000 anni	3.72	3.57	3.54	3.71	3.71

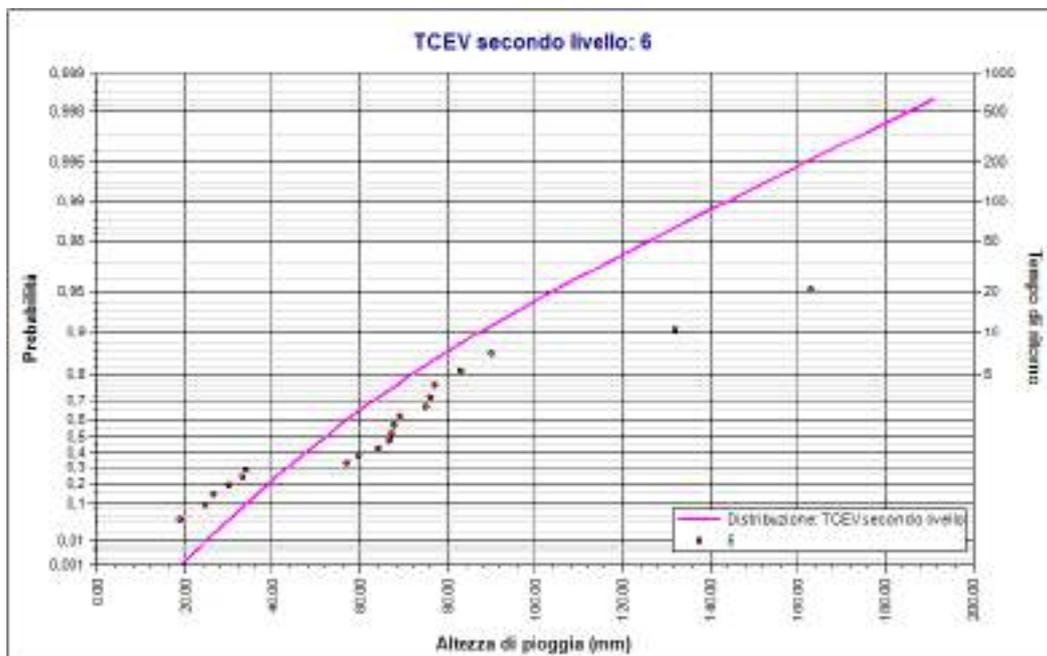




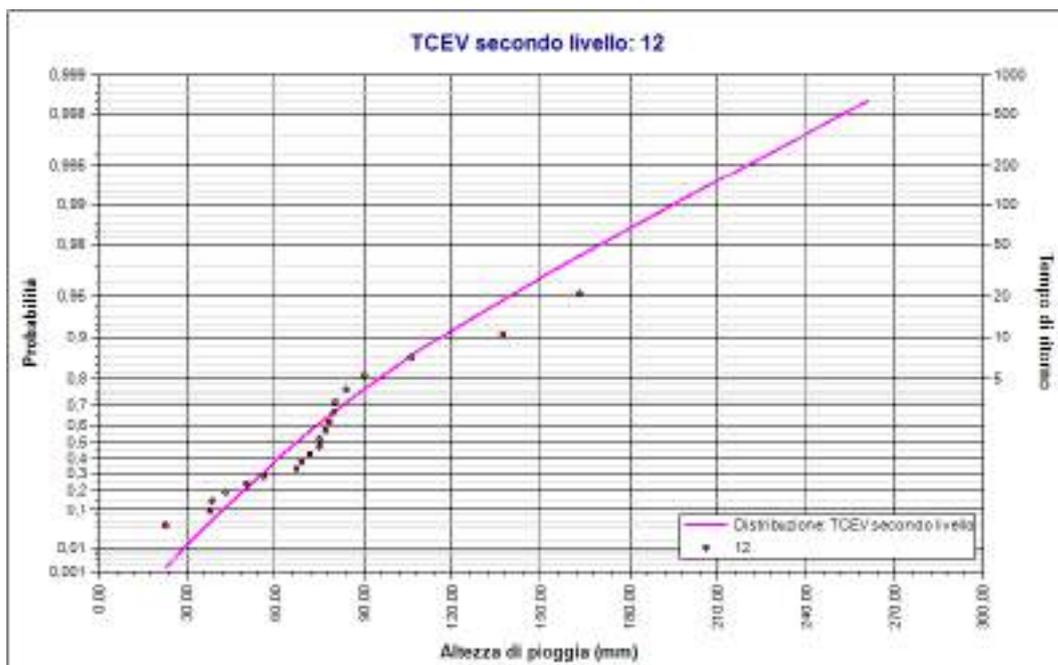
Elaborazione TCEV secondo livello. TCEV secondo livello: 1. Durata 1 ora



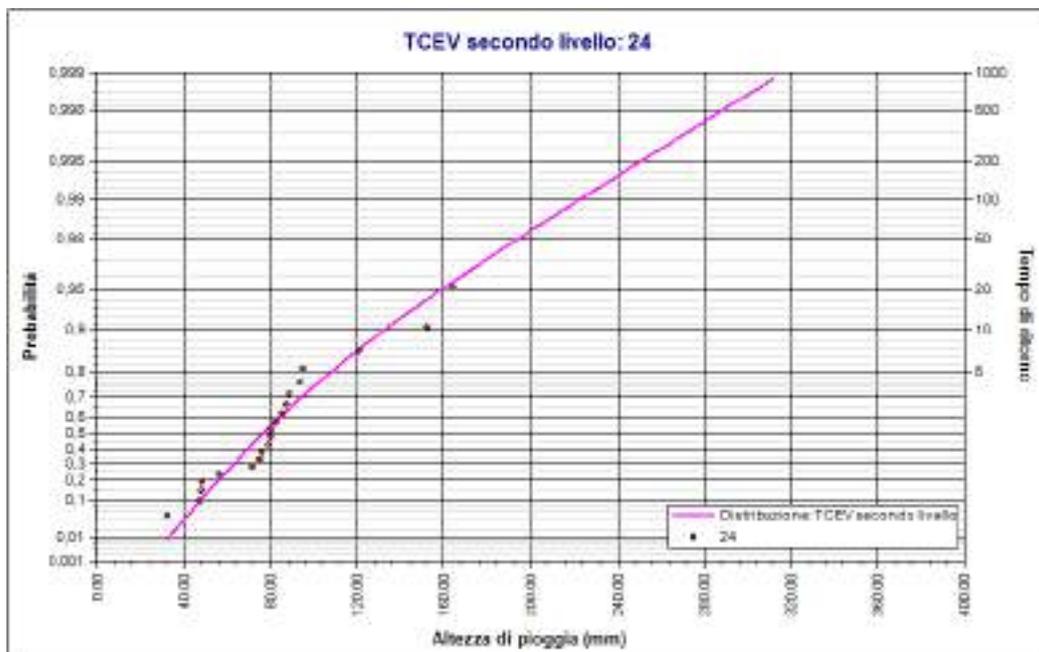
Elaborazione TCEV secondo livello. TCEV secondo livello: 3. Durata 3 ore



Elaborazione TCEV secondo livello . TCEV secondo livello: 6. Durata 6 ore



Elaborazione TCEV secondo livello . TCEV secondo livello: 12. Durata 12 ore



Elaborazione TCEV secondo livello . TCEV secondo livello: 24. Durata 24 ore

Rapporto sulla curva di pioggia:

Curva pioggia calcolata

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia calcolata

Elaborazione probabilistica: Elaborazione TCEV secondo livello 4

Tempo di ritorno: 50.00 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Tabella punti di calcolo

n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.00	60	83.866
2	3.00	180	102.840
3	6.00	360	126.339
4	12.00	720	170.675
5	24.00	1440	194.543

Risultati interpolazione

Coefficients curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
80.19	0.28	0.99	$h(t) = 80,2 t^{0,279}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	80.189	9	148.161	17	176.973
2	97.325	10	152.587	18	179.822
3	109.000	11	156.705	19	182.559
4	118.123	12	160.562	20	185.194
5	125.722	13	164.193	21	187.736
6	132.292	14	167.628	22	190.192
7	138.114	15	170.891	23	192.569
8	143.365	16	174.000	24	194.872



Curva pioggia calcolata 1



REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI
**RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO
 E RIPRISTINO DEI LUOGHI**



27/05/2020

REV: 1

Pag.26

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia calcolata

Elaborazione probabilistica: Elaborazione TCEV secondo livello 4

Tempo di ritorno: 100.00 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Tabella punti di calcolo

n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.00	60	95.907
2	3.00	180	117.231
3	6.00	360	143.917
4	12.00	720	195.143
5	24.00	1440	222.432

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
91.54	0.28	0.99	$h(t) = 91,5 t^{0,280}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	91.535	9	169.197	17	202.125
2	111.111	10	174.256	18	205.381
3	124.449	11	178.962	19	208.510
4	134.872	12	183.369	20	211.522
5	143.555	13	187.519	21	214.427
6	151.063	14	191.445	22	217.234
7	157.716	15	195.174	23	219.951
8	163.716	16	198.728	24	222.584





Curva pioggia calcolata 1

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia calcolata

Elaborazione probabilistica: Elaborazione TCEV secondo livello

Tempo di ritorno: 200.00 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Tabella punti di calcolo

n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.00	60	108.065
2	3.00	180	131.760
3	6.00	360	161.663
4	12.00	720	219.845
5	24.00	1440	250.588

Risultati interpolazione

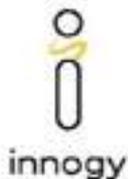
Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
102.99	0.28	0.99	$h(t) = 103,0 t^{0,280}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	102.989	9	190.434	17	227.518
2	125.028	10	196.131	18	231.185
3	140.045	11	201.431	19	234.708
4	151.782	12	206.394	20	238.100
5	161.559	13	211.068	21	241.373
6	170.013	14	215.489	22	244.534
7	177.505	15	219.689	23	247.594
8	184.262	16	223.691	24	250.560



Curva pioggia calcolata Tr 200 anni



REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI
**RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO
 E RIPRISTINO DEI LUOGHI**



27/05/2020

REV: 1

Pag.29

Dati Curva di pioggia

Tipo: Curva di pioggia calcolata

Elaborazione probabilistica: Elaborazione TCEV secondo livello

Tempo di ritorno: 500.00 anni

Numero punti: 5

Durate di calcolo: 1 ora, 3 ore, 6 ore, 12 ore, 24 ore

Tabella punti di calcolo

n	Durata		Altezza (mm)
	(ore)	(minuti)	
1	1.00	60	124.207
2	3.00	180	151.051
3	6.00	360	185.227
4	12.00	720	252.644
5	24.00	1440	287.975

Risultati interpolazione

Coefficienti curva			Espressione
a	n	correlazione (r)	
118.20	0.28	0.99	$h(t) = 118,2 t^{0,280}$

Valori curva di pioggia

t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)	t (ore)	h (mm)
1	118.198	9	218.633	17	261.234
2	143.507	10	225.177	18	265.447
3	160.755	11	231.265	19	269.495
4	174.235	12	236.967	20	273.392
5	185.465	13	242.336	21	277.152
6	195.176	14	247.416	22	280.784
7	203.782	15	252.240	23	284.300
8	211.543	16	256.838	24	287.707





Curva pioggia calcolata Tr 500 anni



REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI
**RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO
 E RIPRISTINO DEI LUOGHI**



27/05/2020

REV: 1

Pag.31

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

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

con :

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 Q_{max} in m³/sec

RISULTATI

Deflusso c =	0,30	S (km ²) =	46,50	t_c (ore) =	4,87
---------------------	-------------	-------------------------------	--------------	------------------------------	-------------

Tr (anni)	a	n	t _c (ore)	h(t,T) (mm)	Q _{max} (m ³ /sec)
10	102,9517	0,0720	4,87	115,38	91,88
30	133,5356	0,0495	4,87	144,43	115,01
50	147,5247	0,0420	4,87	157,66	125,55
100	166,4119	0,0336	4,87	175,50	139,76
200	185,2464	0,0268	4,87	193,26	153,90



6. POSA DEL CAVIDOTTO

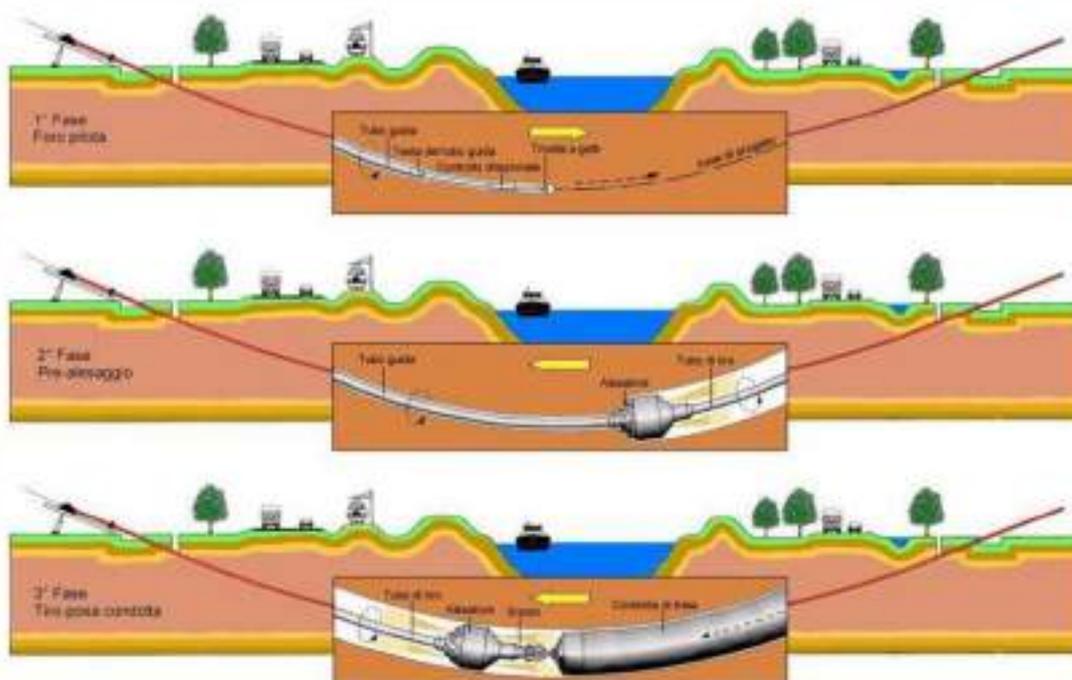
Come già spiegato nei paragrafi precedenti, il tracciato del cavidotto di collegamento con la sottostazione elettrica, interseca in diversi punti il reticolo idrografico riportato nell'allegato 2. L'attraversamento può avvenire, superando una infrastruttura idraulica (tombino, ponte ecc..) oppure "a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



	<p>REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI</p> <p>RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO E RIPRISTINO DEI LUOGHI</p>	 Ingegneria & Innovazione		
		27/05/2020	REV: 1	Pag.33

- 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.

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.

Le turbine in progetto non interferiscono con il reticolo fluviale, mentre il cavidotto interseca diversi impluvi, vedi allegato 2, tra cui il F. Tirso lungo la statale 389 Buddusò-Correboi.

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.

Per cui, è stato messo in evidenza il bacino di nostro interesse del F. Tirso con sezione di chiusura all'intersezione con la statale 389.

Il bacino ha un'estensione di 46,5 km² ed include anche la zona dove è presente la diga di lago sos Canales, i calcoli sono stati fatti non tenendo in considerazione la diga e supponendo che l'acqua piovana non si accumuli nell'invaso ma scorra tutto lungo l'asta principale.

Per i calcoli idrologici sono stati consultati gli annali idrologici regionali e sono stati utilizzati i dati degli ultimi vent'anni, considerando le precipitazioni maggiori in 1,3,6,12,24 ore.

Attraverso il metodo Tcev di secondo livello (considerando i dati della regionalizzazione VAPI) sono state ottenute le curve di pioggia e le altezze critiche per i tempi di ritorno di 50, 100, 200 e 500 anni.

Affinchè 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.

Dal punto di vista erosivo, la litologia presente non subisce fenomeni erosivi importanti durante gli eventi di piena, tant'è vero che il corso fluviale è rimasto intatto negli ultimi 50 anni, come si è visto dalla cartografia IGM II levata aggiornata agli anni '50 del secolo scorso, da cui non emerge nessuna differenza significativa di tracciato, come per altro era logico aspettarsi (*fonte "relazione monografica di bacino idrografico"*).

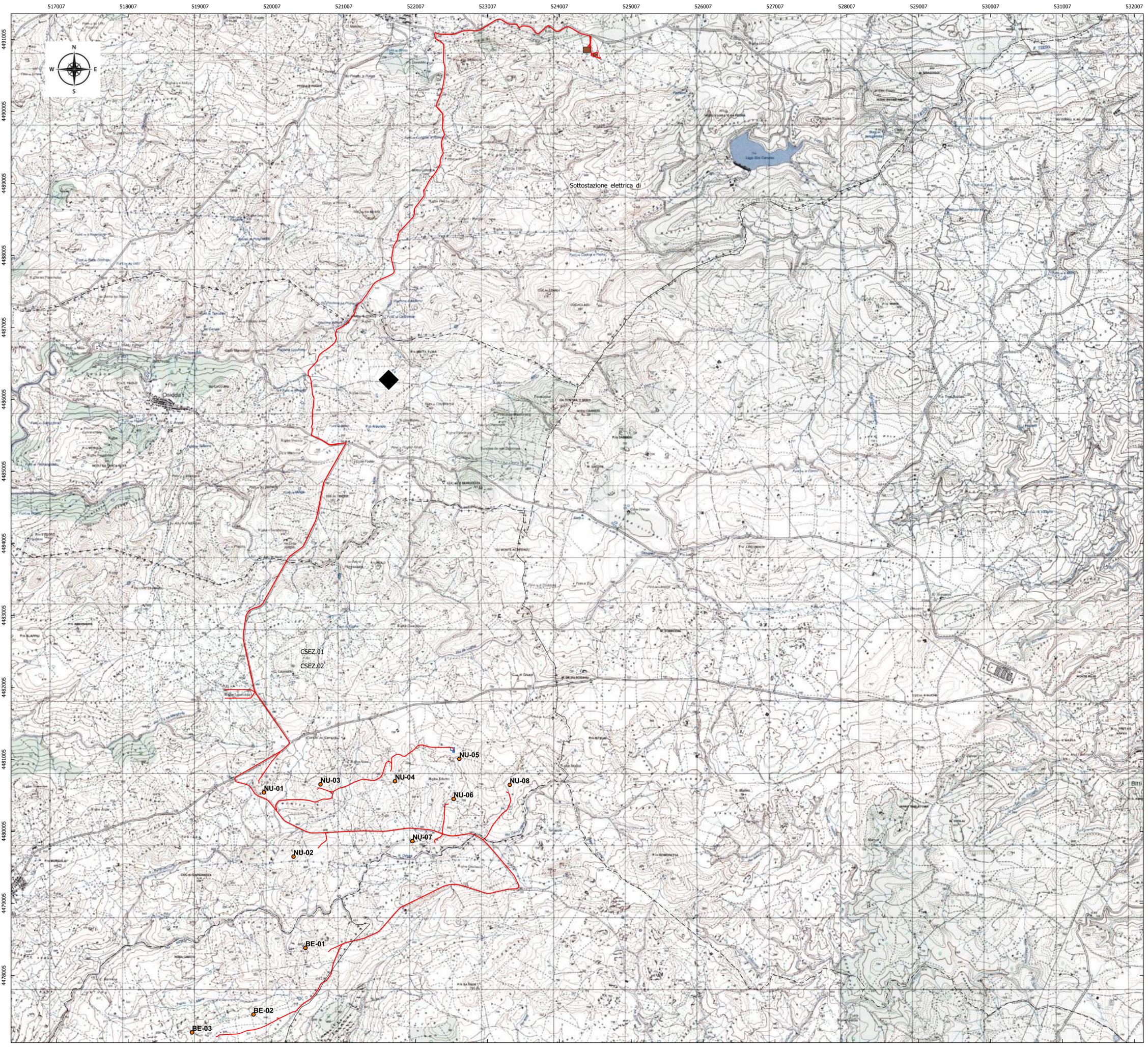
Per quanto esposto precedentemente si può affermare che le turbine sono fuori da qualsiasi interferenza e criticità idraulica presente, il cavidotto allo stesso modo, pur intersecando deversi

	REALIZZAZIONE PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI RELAZIONE SULLA DISMISSIONE DELL'IMPIANTO E RIPRISTINO DEI LUOGHI	 Ingegneria & Innovazione	
		27/05/2020	REV: 1

impluvi ed il F. Tirso non presenta nessuna criticità operativa, in quanto queste interferenze verranno superate con l'uso della tecnologia TOC descritta precedentemente.

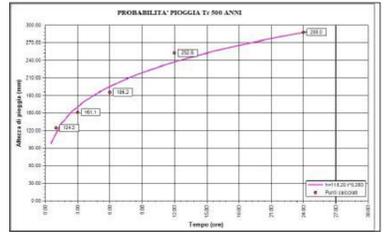
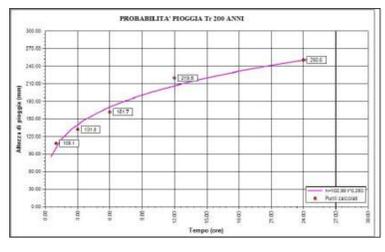
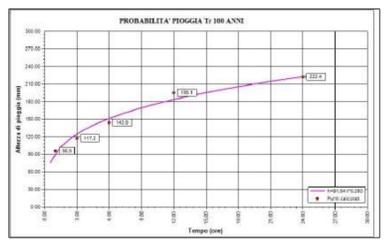
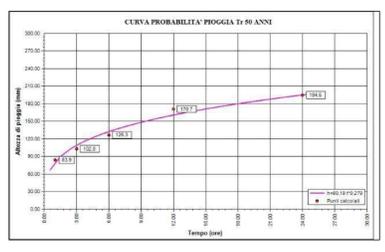
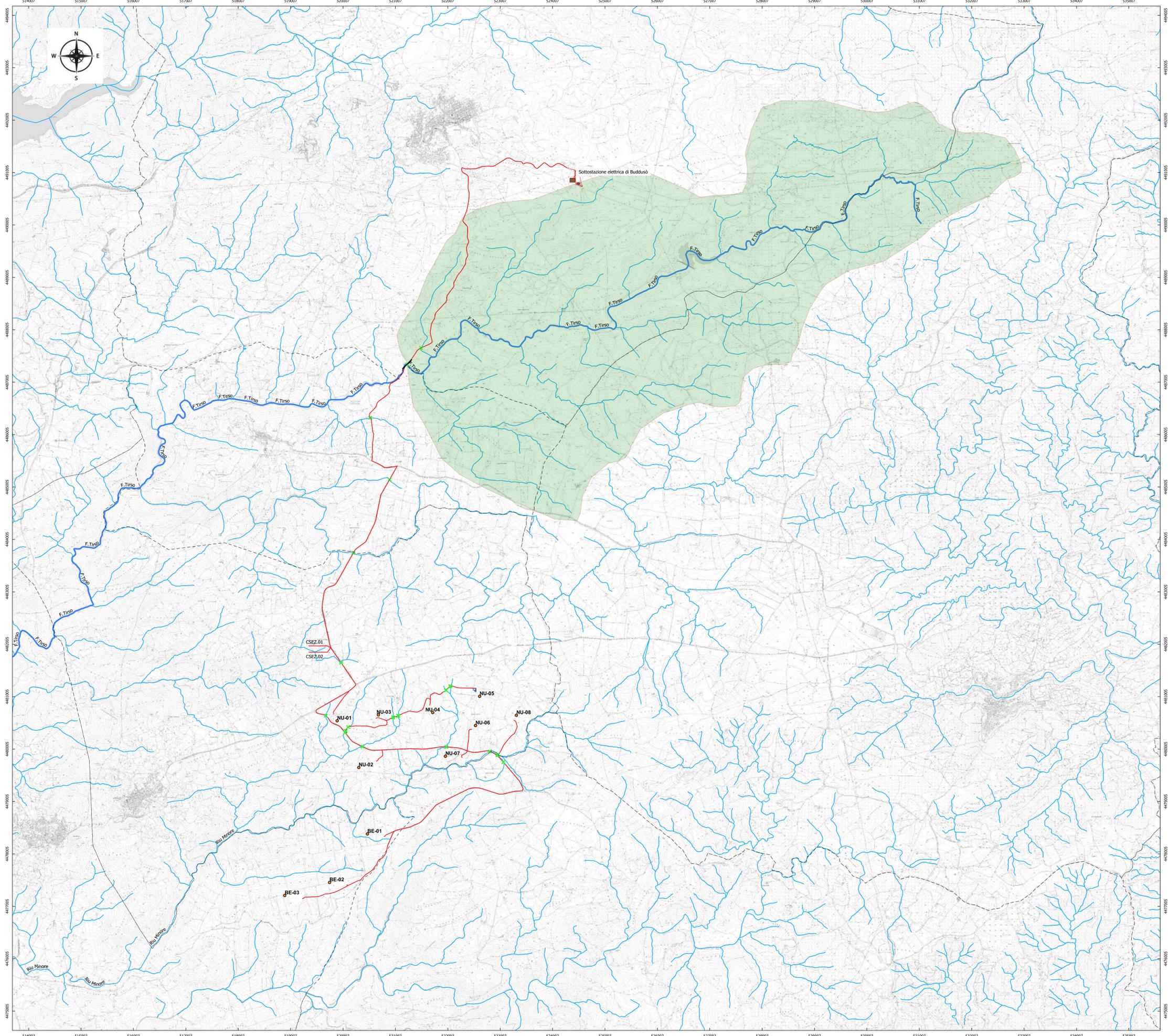
FIRMA





Carta d'Italia IGM
Foglio N° 481 SEZ. I - BUDDUSO'
Foglio N° 481 SEZ. II - BENETUTTI

 PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI		
<i>Corografia</i>		
Allegato: 1	Scala: 1:25000	Rev. 0



- LEGENDA**
- WTG PIAZZOLA
 - Traccia Cavidotto
 - ✕ intersezioni con torrenti e fiumi
 - Fiume Tirso
 - torrenti ed impluvi vari
 - bacini idrografici
 - Confini Comunali
 - Sezione di chiusura del bacino di interesse

Sistema di riferimento:
WGS 84 / UTM zone 32N
Shape fiumi e CTR al 10000, reperiti dal geoportale della Regione
Sardegna

PARCO EOLICO DI NULE E BENETUTTI		
Carta idrografica e idrologica		
Allegato: 2	Scala: 1:25000	 Rev: 0