

REGIONE
CALABRIA



PROVINCIA DI
COSENZA



Committente: **Kosmo Wind s.r.l.**
via Sardegna 40
00187 Roma(RM)
P.IVA/C.F. 16799741000

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "SAN COSMO"

Elaborato:

Relazione idraulica

ID PROGETTO:	DISCIPLINA:	CAPITOLO:	TIPO:	REVISIONE:	SCALA:	FORMATO:
IT-VesScO-Gem	CW	HYD	TR	0	-	A4
NOME FILE:	IT-VesScO-Gem-CW-HYD-TR-01-Rev.0_Relazione idraulica					

Progettazione:



Ing. Saverio Pagliuso

Ing. Mario Francesco Perri

Ing. Giorgio Salatino

Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
00	Giugno 2023	PRIMA EMISSIONE	GEMSA	GEMSA	Kosmo Wind S.r.l.

Sommario

1	PREMESSA	2
2	AREA DI INTERVENTO	2
3	PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA	4
3.1	FOSSI DI GUARDIA.....	5
3.2	TOMBINI CIRCOLARI.....	6
3.3	ATTRAVERSAMENTI RETICOLO IDROGRAFICO	9
4	ANALISI IDROLOGICA	9
4.1	ELABORAZIONE DELLE PRECIPITAZIONI.....	10
4.2	MODELLO PROBABILISTICO DI GUMBEL.....	11
4.3	MODELLO PROBABILISTICO TCEV-VAPI.....	13
4.4	MODELLI REGIONALI.....	14
5	CONCLUSIONI.....	21

1 Premessa

La presente relazione descrive gli interventi per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle aree interessate dalla realizzazione del Parco Eolico “San Cosmo” in progetto situato nei territori dei Comuni di San Cosmo Albanese (CS), Vaccarizzo Albanese (CS) e San Giorgio Albanese (CS).

Il progetto di costruzione del Parco eolico prevede la realizzazione di n. 8 aerogeneratori Vestas per una potenza complessiva del parco pari a 49,6 MW.

All'interno del presente elaborato verranno analizzati i criteri utilizzati per il dimensionamento delle principali opere previste dal progetto definitivo. Le scelte progettuali sono state condotte in modo da favorire il recapito delle acque meteoriche convogliate dai fossi di guardia presso gli impluvi ed i solchi di erosione naturali.

La relazione in oggetto, oltre il presente capitolo, è composta da ulteriori n°3 capitoli, di cui di seguito si riporta un breve riepilogo:

- *Capitolo 2 – Area d'intervento:* vengono riportate le informazioni necessarie per l'individuazione cartografica del sito.
- *Capitolo 3 – Progetto delle opere di regimazione idraulica:* illustra i criteri e le linee guida utilizzate per gli interventi in progetto e descrive le opere idrauliche previste.
- *Capitolo 4 – Analisi idrologica:* analisi dei dati esistenti per la stima della curva di probabilità pluviometrica di progetto.

2 Area di intervento

Il parco eolico in progetto ricade in un'area localizzata a nord dei Comuni di San Cosmo Albanese (CS), Vaccarizzo Albanese (CS) e San Giorgio Albanese (CS). La Stazione Terna e la cabina di utenza a 36 kV sono previste invece nel Comune di Terranova da Sibari.

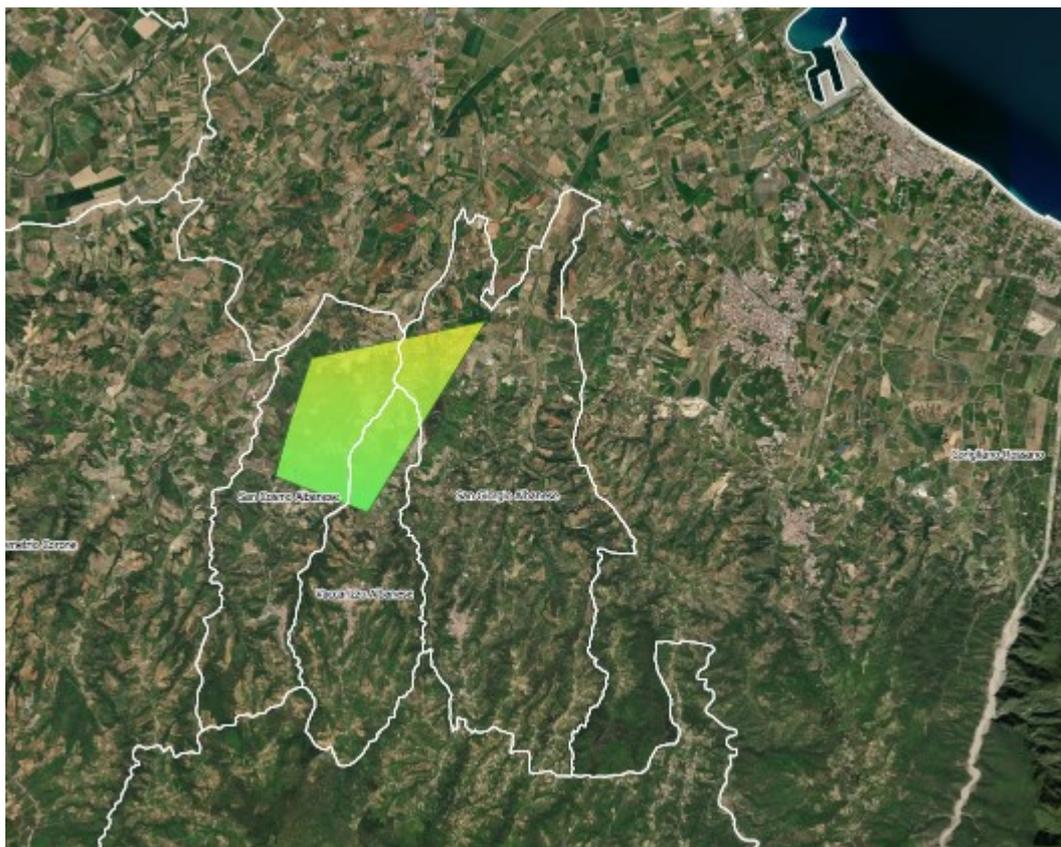


Figura 1-Localizzazione geografica

Il territorio oggetto di intervento si trova sul versante settentrionale della Sila Greca, il lembo nord-orientale dell’altopiano silano. Il suo territorio è caratterizzato da un’ampia eterogeneità morfologica, con un paesaggio dominato dalle montagne dell’altopiano silano a cui si contrappone, nella zona a nord, una successione di colline che degradano verso la pianura costiera bagnata dal Mar Ionio. L’area vasta è interessata dalla presenza del fiume Trionto, il cui regime idrico soggetto a forti variazioni, passando dalle piene dell’inverso all’aridità quasi totale dell’estate.

Nel territorio di intervento vi è una discreta presenza di corsi d’acqua ricadenti all’interno del reticolo idrografico, oltre a numerosi altri fossi naturali creatisi nel tempo e riportati nella Carta Tecnica Regionale della Regione Calabria nonché riportata all’interno della cartografia formato GIS della Regione Calabria.

È stata preliminarmente effettuata una sovrapposizione, su interfaccia GIS, fra le opere previste per la realizzazione del parco eolico in progetto ed il reticolo idrografico della cartografia ufficiale del Geoportale Nazionale e di quella Regionale.

3 Progetto delle opere di regimazione idraulica

Gli interventi da realizzarsi nell’area in esame sono stati sviluppati per perseguire i seguenti obiettivi:

- i. mantenimento delle condizioni di “equilibrio idrogeologico” preesistenti (ante realizzazione del parco);
- ii. regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo le opere previste dal parco eolico, attraverso la realizzazione di una adeguata rete drenante, volta a proteggere le opere civili presenti nell’area.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito a partire dalla progettazione del layout dell’impianto, individuando le vie preferenziali di deflusso, gli impluvi (ed i solchi di erosione) presenti nell’area nonché le caratteristiche plano-altimetriche delle diverse aree di impianto.

Il sistema di drenaggio in progetto è costituito da un insieme di fossi di guardia in terra e tombini idraulici che captano le acque e le convogliano nel reticolo idrografico esistente.

I fossi di guardia rappresentano un’importante opera a difesa del corpo stradale; essi servono per convogliare negli impluvi naturali le acque superficiali che, per la naturale conformazione del terreno, verrebbero altrimenti a raccogliersi ai piedi del rilevato od a invadere le trincee provocando, così, cedimenti dei rilevati o delle scarpate delle trincee.

Il parco eolico in progetto prevede la realizzazione di 8 aerogeneratori e della viabilità necessaria per la costruzione degli stessi e per la futura manutenzione e dismissione. L’orografia delle aree di intervento sia degli aerogeneratori che della viabilità è per lo più caratterizzato da pendenze dolci che consentono il naturale deflusso delle acque verso recapiti già esistenti su strade provinciali o comunali, oppure per alcune piazzole si è pensato di realizzare tubazioni interrato che terminano poi verso corsi d’acqua esistenti. Si è pensato a tubazioni interrato al fine di minimizzare la consistenza di opere idrauliche da realizzare garantendo nel contempo interferenze nulle sulla componente paesaggio.

Ai lati di ciascuna piazzola per la posa della torre, nonché lungo le strade di accesso, vengono realizzati dei fossi di guardia stradali laterali per canalizzare le

acque provenienti dalle porzioni di terreno a monte del tracciato e per raccogliere le acque ricadenti all'interno della piazzola e delle strade di accesso.

In generale, la sezione di un fosso di guardia ha forma trapezia, e in taluni casi, triangolare. Di norma, i fossi di guardia stradali in progetto verranno realizzati mediante scavo a sezione obbligata sul terreno esistente realizzando una sagoma trapezoidale inferiore di almeno 40 cm e base superiore almeno di 80 cm.

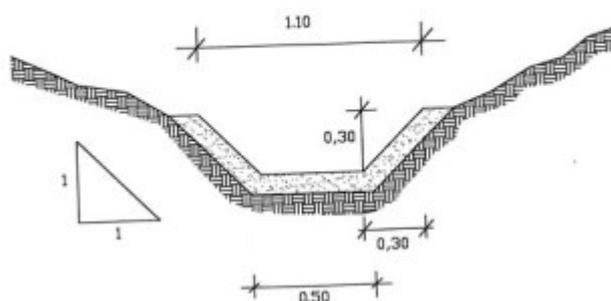


Figura 2-Particolare costruttivo - fossi di guardia

Tali fossi di guardia stradali, anche mediante la posa di opportuni tombini circolari prefabbricati in cls e pozzetti prefabbricati in cls, scaricheranno la portata in una rete idraulica secondaria.

La rete idraulica secondaria è composta sia da fossi di guardia che raccolgono le portate stradali, sia da fossi realizzati per proteggere dall'erosione dovuta allo scorrimento delle acque superficiali.

I fossi appartenenti alla rete idraulica secondaria scaricheranno a loro volte le portate all'interno di fossi naturali esistenti.

3.1 Fossi di guardia

Per il dimensionamento idraulica delle opere d'arte a servizio del corpo stradale, è di fondamentale importanza l'individuazione delle portate massime che queste devono essere capaci di smaltire.

Ciascun fosso viene dimensionato in base alla portata che viene stimata in considerazione del bacino dove il fosso insiste e dell'aliquota di portata del bacino in esso transitante nonché da eventuali scarichi derivanti da altri fossi di guardia e/o tombini.

Il dimensionamento di tali fossi tiene anche conto della scabrezza delle pareti e del fondo, della pendenza e dell'effettivo tirante durante le massime portate.

La verifica idraulica viene condotta nell'ipotesi di moto uniforme, implementando le formule prima illustrate su foglio di calcolo elettronico.

La formula pratica utilizzata per il dimensionamento è la nota espressione di Gaukler-Strikler:

$$Q = K * A * R^{\frac{2}{3}} * i^{0.5}$$

Dove:

- K è il coefficiente di Strickler che tiene conto della scabrezza, assunto pari a 40 per i fossi in terra e quelli rivestiti in geocomposito [$m^{1/3}/s$];
- A è l'area della sezione idraulica [m^2];
- i è la pendenza del canale;
- R è il raggio idraulico [m];

I canali trapezoidali vengono realizzati mediante con uno scavo a sezione obbligata sul terreno esistente, la sezione di alcuni fossi viene rivestita in geocomposito per limitare fenomeni erosivi dovuti a forti pendenze e/o elevate portate.

La verifica del corretto funzionamento idraulico dei canali è stata eseguita nelle ipotesi di portata massima di progetto, verificato che il grado di riempimento medio della sezione non superi il 75% e che la velocità non sia superiore a 8,00 m/s per le differenti sezioni.

3.2 Tombini circolari

Al fine di garantire le diverse connessioni fra i fossi di guardia in progetto all'interno del parco è stata prevista l'installazione di diversi tombini circolari prefabbricati in cls vibocompresso posati ad un'adeguata profondità.

Ogni tombino si dirama da un pozzetto prefabbricato in cls e scarica la propria portata in un ulteriore pozzetto prefabbricato garantendo così una

continuità idraulica e ridistribuendo le portate secondo le caratteristiche orografiche e le pendenze delle aree in progetto.

Il progetto prevede la posa di tombini idraulici per consentire il deflusso delle acque meteoriche, raccolte a monte, al di sotto della sede stradale. Tali pozzetti avranno una classe di carico pari ad almeno D400., mentre i tombini circolari avranno dei diametri nominali dell'ordine minimo di 1000 mm

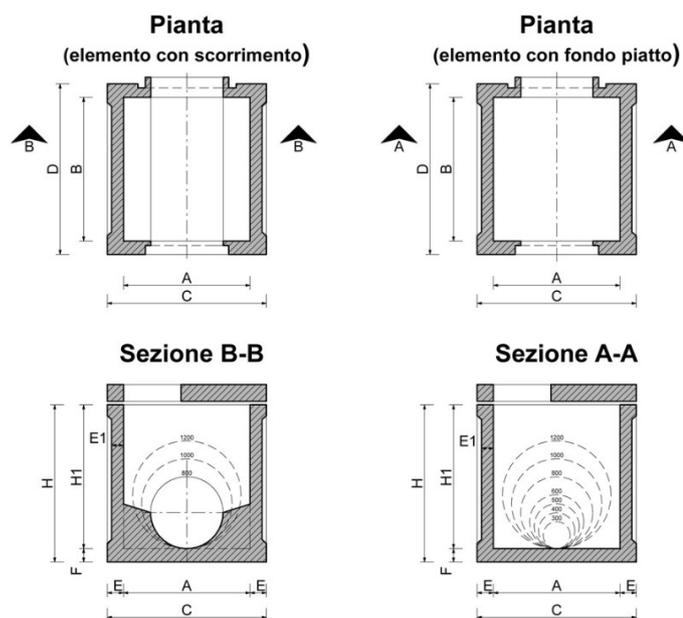


Figura 3-Particolare pozzetto

Il dimensionamento dei tombini circolari è stato effettuato in funzione di due verifiche:

- 1) Alla sezione di imbocco mediante la seguente legge di portata:

$$Q = CA\sqrt{2gD}$$

con la quale è possibile definire un deflusso a superficie libera all'interno dell'elemento circolare e dove compare il coefficiente C, che tiene conto del tipo di sagomatura all'imbocco. In fase di progettazione si può utilizzare un coefficiente C pari a 0.57-0.60, vista la possibilità di poter definire una tipologia di raccordo (canale – tombino) ottimale.

Viene imposta una pendenza longitudinale del tombino variabile fra l'1% ed il 2% al fine di permettere un deflusso delle acque tale da poter ottenere un riempimento della sezione inferiore al 75%, in condizioni del colmo di piena. Essendo la sezione circolare, la portata massima si ha per un'altezza pari ad $h=0.94 D$; per valori di altezze maggiori, la portata

diminuisce gradualmente e raggiunge il valore di $Q = 0.93 Q_{max}$ quando la sezione è piena (fig.2).

Per assicurare il funzionamento a superficie libera occorre prevedere, in sede di calcolo, un opportuno franco tra il pelo libero e la sommità della sezione. Solitamente, esso, per le opere stradali viene assunto pari al 20 ÷ 30 % dell'altezza della sezione.

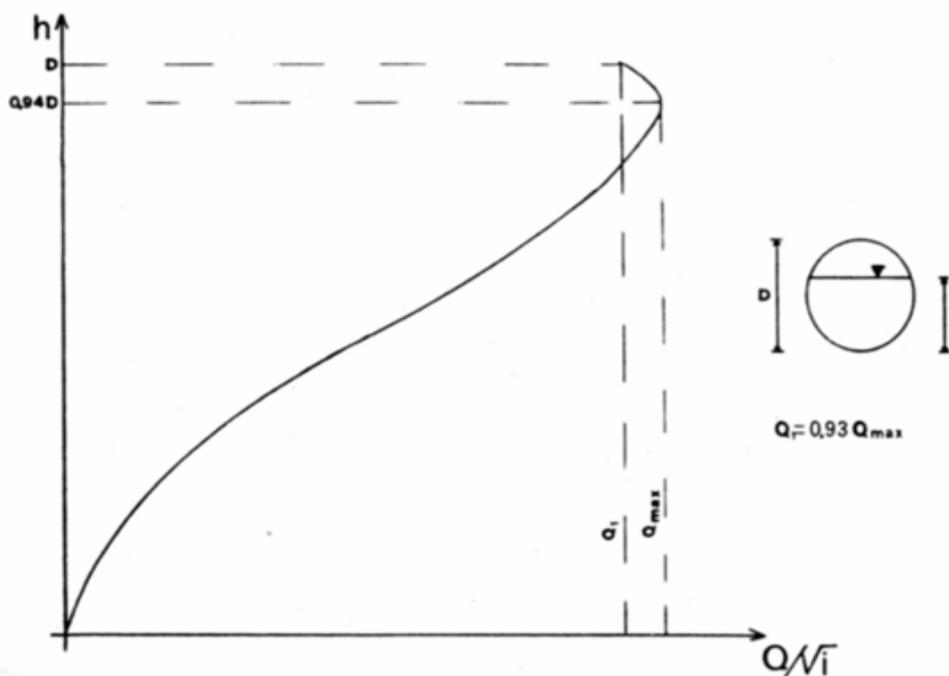


Figura 3 – Scala della portata per sezione circolare.

- 2) Lungo lo sviluppo longitudinale del manufatto, mediante la formula di moto uniforme di Gaukler-Strickler per sezione circolare.

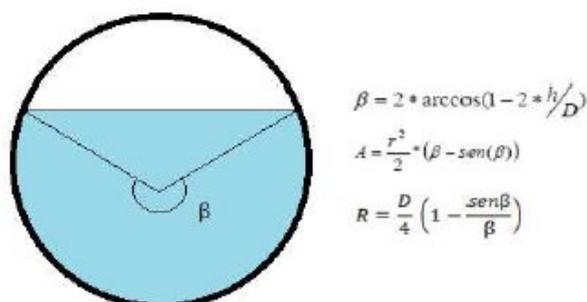


Figura 4-Scala di deflusso circolare

3.3 Attraversamenti reticolo idrografico

In corrispondenza delle intersezioni fra il tracciato del cavidotto ed il reticolo idrografico si prevede di realizzare delle Trivellazioni Orizzontali Controllate (TOC) al fine di non alterare il normale deflusso delle acque.

Gli attraversamenti a mezzo TOC saranno tali da garantire che i relativi punti di inizi e fine perforazione siano esterni alle aree allagabili.

Viene inoltre garantito un franco di 1,50 metri fra il fondo dell'alveo attraversato ed la relativa sottostante trivellazione.

4 Analisi Idrologica

L'Obiettivo dello studio è quello di fornire gli elementi idrologici e idraulici necessari per il mantenimento della continuità della rete di drenaggio naturale sul territorio e il dimensionamento di tutti i manufatti dell'asse stradale.

Il progetto per la realizzazione del parco eolico prevede la realizzazione della viabilità all'interno dell'area di intervento esistente. La progettazione deve includere, pertanto, la definizione ed il dimensionamento di una rete di drenaggio delle acque meteoriche a protezione della viabilità dalle acque di scorrimento superficiali e per lo smaltimento delle acque di piattaforma stradale.

La maggior parte dei metodi che l'idrologia propone per ricostruire eventi di piena sono metodi indiretti, ossia metodi che stimano l'idrogramma di piena utilizzando un modello di trasformazione piogge-portate che prevede, come input, la definizione di un particolare evento di pioggia.

Nel caso in esame, infatti, non sono disponibili dati di registrazione delle portate; né, tantomeno, potrebbero essere utilizzati, dal momento che l'obiettivo dell'analisi non è studiare il comportamento idrologico/idraulico dei corsi d'acqua presenti nel territorio, ma approfondire le tematiche idrologiche per il dimensionamento di tutte le opere idrauliche del parco eolico "San Cosmo".

Il dimensionamento delle opere idrauliche da progettare verrà effettuata a valle della analisi idrologica della zona oggetto di intervento che consentirà di definire i valori di portata di progetto attraverso la definizione della curva di possibilità pluviometrica nonché della definizione dei bacini idrografici afferenti.

A tal proposito si rimanda al progetto esecutivo per tale studio e dimensionamento delle opere.

L'analisi idrologica terrà conto, pertanto, delle caratteristiche morfologiche dei bacini idrografici individuati nonché dei tempi di ritorno scelti e della metodologia utilizzata nel corso dello studio.

4.1 Elaborazione delle precipitazioni

Per la ricostruzione degli eventi di pioggia di progetto si ricorre alla curva di probabilità pluviometrica. Essa fornisce, per fissati tempo di ritorno T e durata t , l'altezza di pioggia, h , caduta su un bacino. Tale curva può essere determinata attraverso la scelta della legge di distribuzione di probabilità che meglio si adatta a una serie storica di dati pluviometrici (ad esempio la legge di Gumbel per le altezze di pioggia massime annuali), oppure (nei casi in cui si abbiano scarsi dati storici di precipitazione) attraverso il metodo di regionalizzazione proposto dal progetto VAPI, , in conformità alle Linee Guida emanate nell'ambito del P.A.I della Regione Calabria, basato sul modello TCEV. Nel presente studio, per la determinazione delle altezze di pioggia massime si utilizzerà il metodo TCEV.

Il modello TCEV (*Two Component Extreme Value Distribution*) permette di determinare le altezze di pioggia h e le relative intensità i , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI.

La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni. La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata componente base, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (componente straordinaria) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia meteorologica). La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui

difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto. Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel progetto TCEV-VAPI Calabria (Versace P., Ferrari E. Fiorentino M., Gabriele S., Rossi F., 1989).

4.2 Modello probabilistico di Gumbel

Il metodo di Gumbel prevede l'applicazione della distribuzione doppio-esponenziale (o di Gumbel, appunto) al campione di dati di precipitazione intesi come variabili indipendenti. La funzione di probabilità cumulata che la definisce è:

$$F(x) = P(X \leq x) = e^{-e^{-\alpha(x-u)}}$$

Introducendo la variabile ridotta y :

$$y = \alpha(x - u)$$

si ha la forma canonica:

$$F(y) = e^{-e^{-y}}$$

I parametri α e u sono legati alla media e alla varianza della popolazione. Sfruttando le informazioni contenute nel campione a disposizione si procede alla loro stima seguendo diversi metodi. Si otterranno parametri diversi per ogni durata di precipitazione.

Per una data durata di precipitazione, si ordinano le N altezze di precipitazione in ordine crescente e si numerano da 1 ad N . Ad ogni altezza di precipitazione si associa la relativa frequenza cumulata di non superamento, calcolata con la formula di plotting position di Weibull:

$$F_i = \frac{i}{N+1}$$

A denominatore si ha $N+1$ in luogo di N per evitare che il più grande evento verificatosi sia caratterizzato da una frequenza cumulata di non superamento pari a 1: valore che rappresenta l'evento impossibile da superare.

Il metodo di Gumbel per la stima dei parametri della distribuzione si fonda sull'ipotesi di confondere la probabilità di non superamento di una certa altezza di precipitazione (relativa ad una popolazione) con la sua frequenza cumulata di non superamento (che si riferisce, invece ad un campione della popolazione suddetta), cioè

$$F(h_i) \cong F_i$$

La variabile ridotta da associare ad ogni altezza di precipitazione viene quindi calcolata come:

$$F(h_i) = F_i = F(y) = e^{-e^{-y}} \quad \text{e} \quad F_i = \frac{i}{N+1} \Rightarrow y_i = -\ln\left[-\ln\left(\frac{i}{N+1}\right)\right]$$

Con questa assunzione, la variabile ridotta y dipende solamente da h con la relazione lineare:

$$y = \alpha(h - u)$$

La stima dei parametri α e u si ottiene sfruttando il metodo dei momenti, in base al quale i parametri della distribuzione vengono ottenuti eguagliando la media campionaria alla media della distribuzione della popolazione. Otteniamo quindi per α e u le espressioni:

$$\alpha = \frac{1.283}{S_h} \quad u = m_h - \frac{0.577}{\alpha}$$

Introducendo ora il concetto di tempo di ritorno, T_r , cioè il tempo che mediamente trascorre tra la realizzazione di un evento e di un altro di entità uguale o superiore, si riesce ad ottenere l'espressione che esprime le altezze di precipitazione in funzione del tempo di ritorno:

$$T_r(h) = \frac{1}{1 - F(h)} \Rightarrow F(h) = \frac{T_r - 1}{T_r}$$

$$e^{-e^{-\alpha(h-u)}} = \frac{T_r - 1}{T_r} \Rightarrow h = u - \frac{1}{\alpha} \ln\left[-\ln\left(\frac{T_r - 1}{T_r}\right)\right]$$

Grazie al metodo di Gumbel è stata ricavata un'espressione analitica della funzione $h(T_r, \tau)$ che fornisce il valore di h in funzione del tempo di ritorno per una prefissata durata di precipitazione. Si vuole ora trovare un'espressione analitica che, per un dato tempo di ritorno, fornisca l'altezza di precipitazione in funzione della durata.

A questo scopo, si assegna alla funzione $h(T_r, \tau)$ la seguente forma:

$$h(T_r, \tau) = a(T_r) \tau^n$$

Queste equazioni, una per ogni prefissato tempo di ritorno, sono dette curve di possibilità pluviometrica (o climatica).

L'intensità di precipitazione è definita come l'altezza di precipitazione per unità di tempo ed ha la forma:

$$j(T_r, \tau) = \frac{h(T_r, \tau)}{\tau} = a \tau^{n-1}$$

Passando alla notazione logaritmica, l'equazione della curva di possibilità pluviometrica assume la forma lineare, e viene ottenuta interpolando i valori per regressione lineare ai minimi quadrati. Gli scarti da minimizzare sono quelli verticali, in quanto la misura di h soffre di maggiori incertezze rispetto a quella del tempo di precipitazione.

$$\log h = \log a + n \log \tau$$

4.3 Modello probabilistico TCEV-VAPI

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 Component Extreme Value), proposto da Rossi e Versace (1982). 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 funzione di probabilità cumulata (CDF) della distribuzione TCEV è data da:

$$F_x(x) = \exp\left[-\Lambda_1 \exp\left(-\frac{x}{\vartheta_1}\right) - \Lambda_2 \exp\left(-\frac{x}{\vartheta_2}\right)\right]; \quad x \geq 0$$

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 ϑ_1 e ϑ_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:

$$y = \frac{x}{\vartheta_1} - \ln \Lambda_1$$

si ha che la CDF di y è data da:

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

avendo posto:

$$\vartheta_* = \frac{\vartheta_2}{\vartheta_1} \quad \text{e} \quad \Lambda_* = \frac{\Lambda_2}{\Lambda_1^{1/\vartheta_*}}$$

La media della distribuzione TCEV è data dall'espressione:

$$\mu = \vartheta_1 (\ln \Lambda_1 + \gamma_e) - \vartheta_1 \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma\left(\frac{j}{\vartheta_*}\right)$$

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

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

Il coefficiente di variazione teorico dipende da Λ_1 , Λ^* e ϑ^* ed è quindi indipendente da ϑ_1

Il coefficiente di asimmetria teorico dipende da Λ^* e ϑ^* ed è quindi indipendente da Λ_1 e ϑ_1 .

4.4 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 ϑ^* 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 ϑ^* 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^* , ϑ^* e Λ_1 , ϑ_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 ϑ^* si ha:

$$F_x(x) = \exp \left[-\Lambda_1 \exp \left(-\frac{x}{\vartheta_1} \right) - \Lambda_* \Lambda_1^{1/\beta} \exp \left(-\frac{x}{\vartheta_1 \vartheta_*} \right) \right]$$

poiché si può scrivere:

$$\frac{x}{\vartheta_1} = \frac{x}{\mu} \cdot \frac{\mu}{\vartheta_1} \quad \text{e cioè} \quad \frac{x}{\vartheta_1} = x' \cdot \eta \quad \text{avendo posto (variabile indice)} \quad x' = \frac{x}{\mu} \quad \text{e}$$

$$\eta = \frac{\mu}{\vartheta_1} = \ln \Lambda_1 + \gamma_\epsilon - \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(-1)^j \Lambda_*^j}{j!} \Gamma \left(\frac{j}{\beta} \right) = f(\Lambda_1, \Lambda_*, \beta)$$

si ottiene:

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

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:

$$x_T = f(T; \vartheta; \Lambda; \vartheta_*; \Lambda_*)$$

- b) Al livello di regionalizzazione uno, in cui i parametri Λ^* e ϑ^* sono stimati a livello regionale e Λ_1 e ϑ_1 dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \vartheta; \Lambda_1; \vartheta_*^R; \Lambda_*^R)$$

- c) Al livello di regionalizzazione due, in cui i parametri Λ^* , ϑ^* e Λ_1 sono stimati a livello regionale e ϑ_1 dalla singola serie:

$$x_T = f(T; \vartheta; \Lambda_1; \vartheta_*^R; \Lambda_*^R)$$

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

$$x_T = f(T; \vartheta^R; \Lambda_1^R; \vartheta_*^R; \Lambda_*^R)$$

La struttura gerarchica adottata per il modello regionale della Calabria considera la suddivisione nel seguente numero di Zone, Sottozone e Aree pluviometriche omogenee.

- ZONE: 1
- SOTTOZONE: 3
- AREE PLUVIOMETRICHE OMOGENEE: 13

Primo livello

Nel caso in esame è stata verificata l'ipotesi che l'intera Regione ricada in un'unica Zona omogenea, caratterizzata, quindi, da una coppia di parametri Λ^* e ϑ^* costante. La stima di questi valori, eseguita con il metodo della massima verosimiglianza utilizzando le serie dei massimi annuali delle piogge con durata indicata nella seguente, ha permesso di ottenere:

Durata	Zona Unica	
	Λ^*	ϑ^*
1 ora	0,19970	2,07360
3 ore	0,26140	2,41000
6 ore	0,28340	2,31030
12 ore	0,29150	2,21480
24 ore	0,36100	1,94200
giornaliera	0,41800	2,15400

Figura 5-Valori Λ^* e ϑ^* per la Zona Omogenea della Calabria

Secondo livello

Il secondo livello di regionalizzazione è finalizzato ad individuare, all'interno di una zona omogenea, le sottozone pluviometricamente omogenee caratterizzate da un valore costante di Λ_1 . La Calabria può essere suddivisa in tre sottozone omogenee, denominate : Tirrenica, Centrale e Ionica e caratterizzate dai seguenti parametri:

$$\vartheta^* = 2,154;$$

$$\Lambda^* = 0,418;$$

I valori del parametro Λ_1 , stimati utilizzando le serie dei massimi annuali delle piogge con durata indicata nella tabella seguente, hanno permesso di ottenere:

Durata	Λ_1		
	Tirrenica	Centrale	Ionica
1 ora	13,03000	12,84000	12,28000
3 ore	21,28000	17,77000	14,02000
6 ore	25,17000	18,97000	14,17000
12 ore	31,85000	17,60000	12,91000
24 ore	31,54000	13,42000	10,28000
giornaliera	48,91400	22,87800	10,98700

Figura 6- Valori del parametro Λ_1 per le sottozone

Piogge giornaliere

Il rapporto VAPI ha individuato nella Regione Calabria 13 aree pluviometriche omogenee per le quali esiste una relazione tra i valori x_m e la quota sul mare h:

$$\log \bar{x} = ch + d$$

in cui c e d sono parametri variabili da area ad area.

Il passaggio dall'informazione puntuale a quella areale può essere ottenuto assumendo che la media areale sia pari alla media dei valori medi puntuali. I risultati sono tanto più sovrastimati quanto più grande è l'area considerata.

Una ulteriore approssimazione nella stima della precipitazione areale si ha introducendo nella precedente espressione h pari alla quota media ipsografica del bacino, che equivale a considerare lineare il legame tra x_m e h . Tale assunzione consente di non appesantire l'indagine con la costruzione dell'integrale ipsografico.

Nel caso di bacino ricadente in più aree omogenee la legge di probabilità pluviometrica è ottenuta come media pesata tra le curve relative alle diverse aree.

Piogge orarie

Il legame tra le altezze medie di pioggia $x_m(t)$ e le durate t , per t compreso tra 1 e 24 ore è del tipo:

$$\bar{x}_t = at^n$$

Inoltre il rapporto tra le medie delle piogge giornaliere $x_{m(G)}$ e le piogge di durata 24 ore, $x_{m(24)}$, varia poco passando da una stazione all'altra e può assumersi pari a 0,875:

$$\alpha = \frac{\bar{x}_G}{\bar{x}_{24}} = 0,875$$

Assumendo che $x_m(1)$, e quindi a , sia costante in ciascuna area omogenea e pari alla media pesata rispetto agli anni di funzionamento e ricordando la relazione valida per le piogge giornaliere:

$$\log \bar{x}_G = ch + d$$

si ottiene:

$$\bar{x}_t = at^{\frac{ch+d-\log \alpha - \log a}{\log 24}}$$

in cui poiché c , d ed a sono noti per ciascuna area e $\alpha=0,875$, risulta che $x_{m(t)}$ dipende solo dalla quota h e dalla durata t . Si ottengono così i valori seguenti:

Area omogenea	a	c	d	alfa
T1 (Pollino)	27,790	0,000140	1,9070	0,8750
T2 (Sila Grande)	23,750	0,000210	1,6830	0,8750
T3 (Alto e Medio Tirreno)	26,610	0,000220	1,7690	0,8750
T4 (Stretto)	26,730	0,000280	1,7360	0,8750
C1 (Basso Crati)	21,730	0,000490	1,6900	0,8750
C2 (Sila Grande)	23,750	0,000210	1,6830	0,8750
C3 (Sila Greca)	31,020	0,000160	1,9510	0,8750
C4 (Sila Piccola)	33,220	0,000320	1,8400	0,8750
C5 (Serre Orientali)	34,990	0,000360	1,8150	0,8750
I1 (Alto Ionio)	24,370	0,000260	1,7780	0,8750
I2 (Marchesato)	30,970	0,000250	1,9220	0,8750
I3 (Medio e Basso Ionio)	39,580	0,000430	1,9530	0,8750
I4 (Aspromonte Meridionale)	34,130	0,000270	1,8170	0,8750

In realtà, a priori, non è nota quale delle distribuzioni statistiche descriva al meglio l'andamento dei punti misurati, per cui è necessario provvedere ad analizzare il set di dati a disposizione con tutte le distribuzioni e poi scegliere quella che si adatta meglio al campione. Un ulteriore passo in avanti può essere fatto, e in questo studio è stato fatto, scegliendo per ciascun tempo di ritorno, il valore massimo dell'altezza di pioggia riferita a ciascuna durata delle precipitazioni e, poi, descrivere una curva di pioggia con questi valori massimi calcolati.

Una volta determinate le curve di possibilità pluviometrica caratteristiche degli eventi per ciascun tempo di ritorno considerato e per ciascun modello previsionale (Gumbel e TCEV), sono stati determinati i valori dell'altezza di pioggia per ciascuna durata caratteristica (1,3,6,12 e 24 ore). Una volta calcolate queste altezze di pioggia sono stati selezionati i valori massimi per ciascuna durata, determinando un nuovo set di dati che rappresentano le altezze di pioggia massime ricavate da ciascuna modellazione considerata. Utilizzando questo nuovo set di dati, per ciascuna durata di pioggia e per ciascun tempo di ritorno, sono state costruite nuove curve di pioggia utilizzate per la determinazione delle portate di piena. Una tale procedura garantisce che vengano considerati i massimi valori di pioggia e, quindi, di portata per ciascun'altezza di pioggia in ogni tempo di ritorno.

Per quanto riguarda, nello specifico, i parametri della distribuzione TCEV, l'area oggetto di studio si trova nella sottozona "Centrale", della Regione Calabria. Collocata tra i bacini idrografici del Torrente San Mauro e il Torrente Malfrancato.

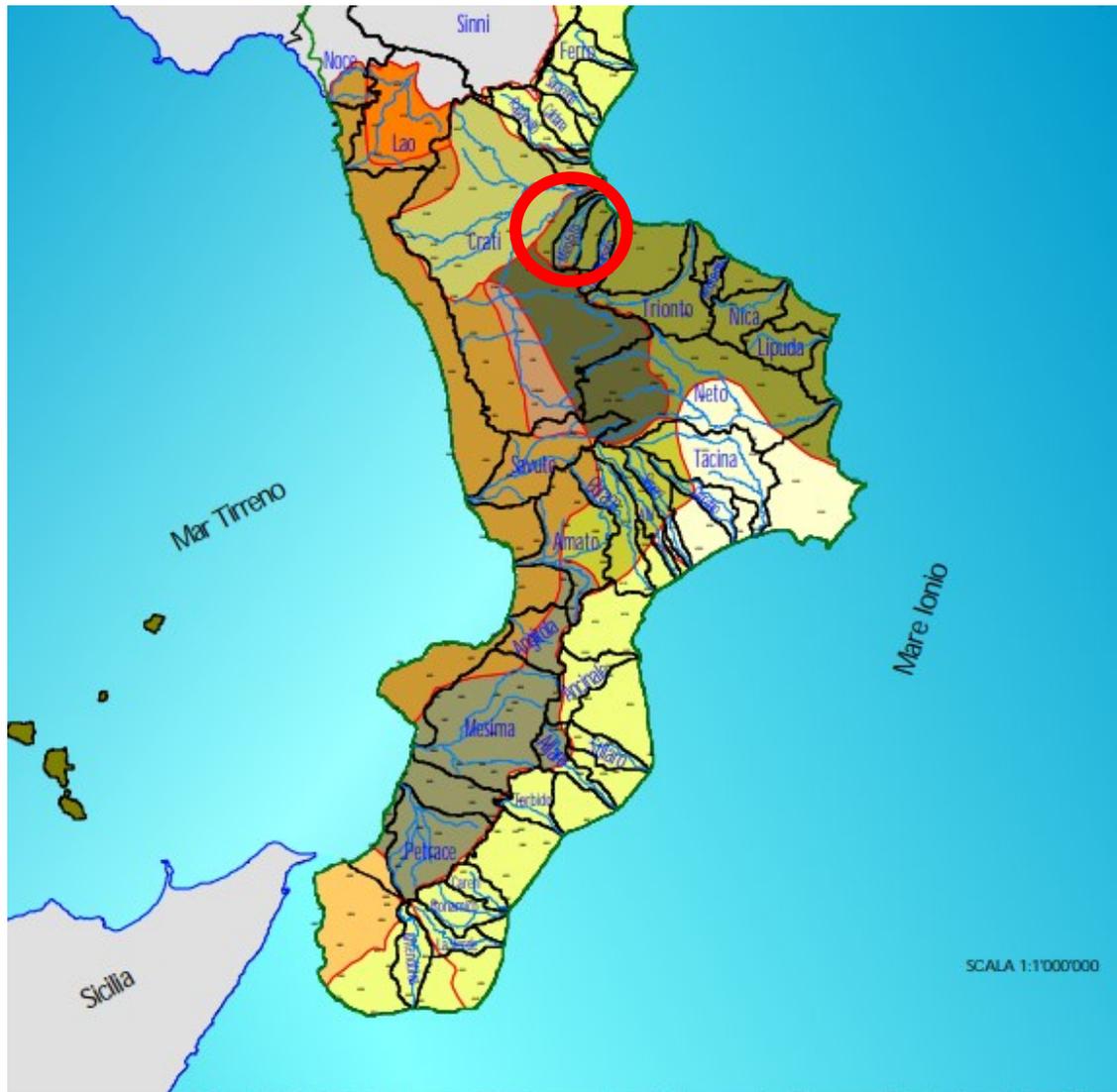


Figura 4-Suddivisione in aree pluviometriche omogenee

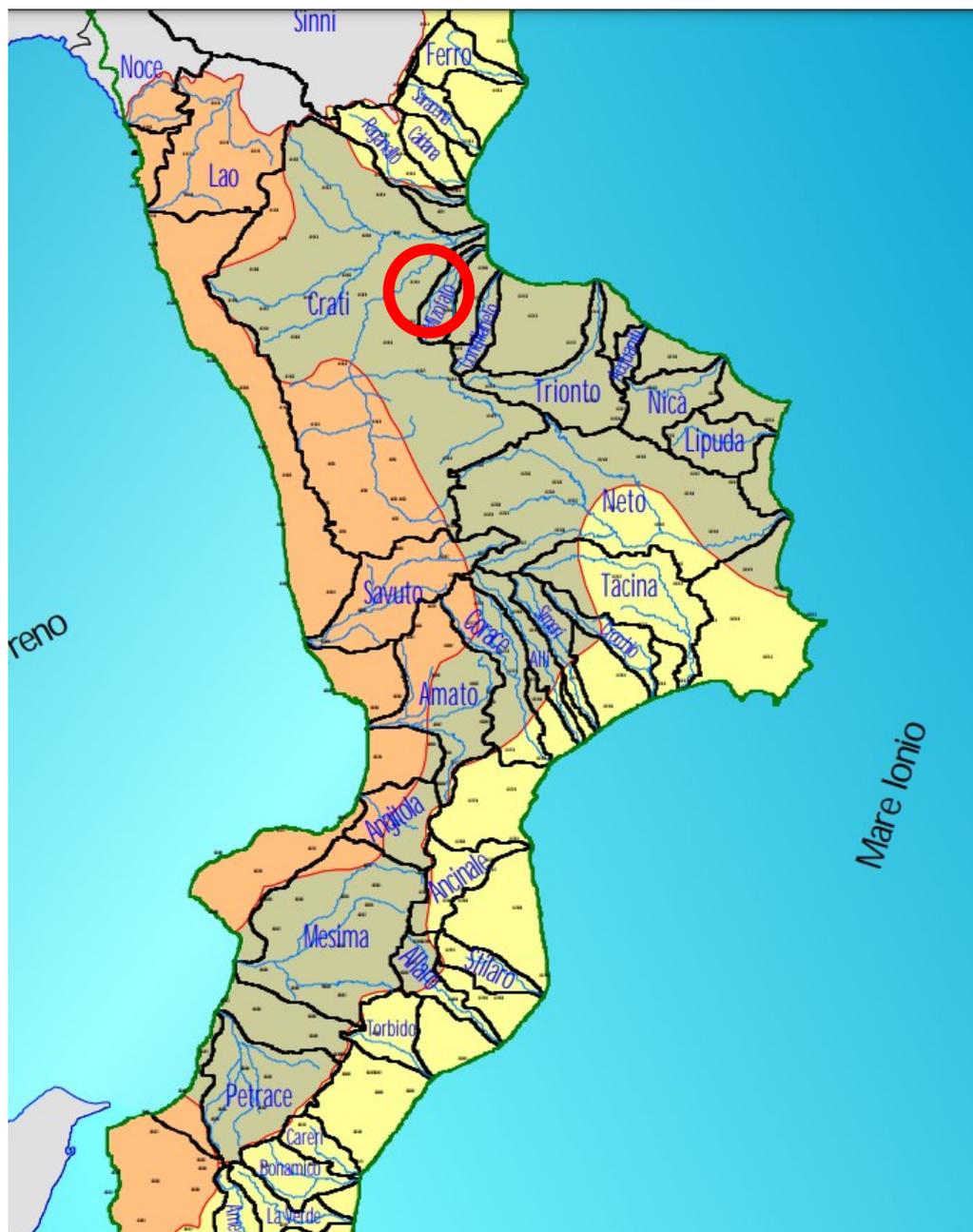


Figura 7-Sottozone pluviometriche omogenee Calabria

5 Conclusioni

Le misure di invarianza idraulica e idrologica fondamentali per compensare interventi che possono comportare una riduzione della permeabilità del suolo (per effetto della riduzione della infiltrazione efficace delle acque a causa della riduzione di permeabilità del terreno), vanno definite in rapporto alle condizioni preesistente al progetto di intervento antropico che si vuole realizzare, in funzione della permeabilità del sito di riferimento e in rapporto alla superficie interessata dall'intervento, mediante

l'utilizzo prioritario di “tecniche di drenaggio antropico sostenibile”, con l'obiettivo di limitare la produzione di deflusso superficiale in sede locale (dove esso si forma), facilitando il ripristino dei processi naturali del ciclo idrologico (infiltrazione ed evapotraspirazione).

Il Progetto del parco eolico San Cosmo grazie alle opere di regimentazione previste (fossi di guardia, tombini, materiale permeabile per le strade) non apporterà un aggravio dell'attuale funzionamento idraulico dell'area di territorio esistente.

Inoltre grazie all'utilizzo delle trivellazioni controllate TOC si garantisce la non influenza fra il funzionamento del reticolo idrografico esistente e la posa dei cavidotti.