

REGIONE SICILIA
Provincia di Trapani
COMUNE DI CASTELVETRANO

PROGETTO

POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO



PROGETTO ESECUTIVO

COMMITTENTE



PROGETTISTA:

HE Hydro Engineering s.s.
di Damiano e Mariano Galbo
via Rossotti, 39
91011 Alcamo (TP) Italy

OGGETTO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE IDRAULICA

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO				
					IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROG.	REV.
	05/2023		1 di 47	A4	CSV	EXE	REL	0004	00

NOME FILE: CSV-EXE-REL-0004_00.doc

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	2
CSV	EXE	REL	0004	00		

Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Maaggio 2023	Prima emissione	VC	VF	MG

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	3
CSV	EXE	REL	0004	00		

INDICE

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO	5
2.1. RIFERIMENTI CARTOGRAFICI	5
2.2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	7
3. INFORMAZIONE IDROLOGICA	9
3.1. MODELLO TCEV SICILIA.....	9
3.2. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO	14
3.3. CALCOLO DELLA C.P.P.....	14
3.4. PIOGGE BREVI	16
3.5. SUPERFICI DI INFLUENZA	17
4. MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI	18
4.1. INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA	18
4.2. IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO	19
4.3. IL CALCOLO DELLE PORTATE.....	22
5.3.1 Fossi di guardia.....	22
5.3.2 Attraversamenti idraulici (AT).....	24
5. PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA	25
5.1. APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE	25
5.2. INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	26
5.3. OPERE IDRAULICHE.....	27
6. VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE	33
6.1. PRE-DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA	34
6.2. VERIFICA FOSSI DI GUARDIA.....	35
6.3. VERIFICA ATTRAVERSAMENTI IN CORRISPONDENZA DEL RETICOLO IDROGRAFICO.....	37
6.3.1 Caratteristiche del bacino e modello A/D.....	39
6.3.2 Calcolo idraulico.....	41

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	4
CSV	EXE	REL	0004	00		

1. PREMESSA

La società Erg Wind Energy a r.l., avente sede legale presso Torre WTC, Via De Marini 1, 16149 Genova è stata autorizzata ai sensi dell'art.12, comma3 del D.lgs. 29/12/2003 n.387 e s.m.e.i , allo smantellamento dei 20 aerogeneratori esistenti e alla realizzazione e all'esercizio di un nuovo impianto eolico di potenza complessiva pari a 58,50 MW, da realizzarsi nel Comune di Castelvetro (TP) , costituito da tredici nuovi aerogeneratori aventi potenza ciascuno di 4,50 MW (contraddistinti dalle sigle R-CV01, R-CV02, R-CV03, R-CV04, R-CV05, R-CV06, R-CV07, R-CV08, R-CV09, R-CV10, R-CV11, R-CV12 e R-CV13) e dalle opere connesse e le infrastrutture indispensabili alla costruzione e all'esercizio dell'impianto stesso tra cui anche le opere per la connessione alla rete elettrica.

La relazione idraulica in oggetto, oltre il presente capitolo, è composta da ulteriori n°5 capitoli, di cui di seguito un breve riepilogo:

- *Capitolo 2 – Inquadramento territoriale ed idrografico:* riporta le informazioni necessarie per l'individuazione cartografica del sito e illustra la posizione dell'impianto rispetto ai bacini idrografici esistenti.
- *Capitolo 3 – Informazione idrologica:* analisi dei dati esistenti per la stima della curva di probabilità pluviometrica di progetto.
- *Capitolo 4 – Modello afflussi-deflussi:* calcolo delle portate di progetto.
- *Capitolo 5 – 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 6 – Verifica delle opere progettate:* il capitolo fornisce la descrizione dei calcoli effettuati per il dimensionamento delle opere idrauliche (canalizzazioni).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	5
CSV	EXE	REL	0004	00		

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO

2.1. RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Il nuovo impianto insisterà nel territorio del Comune di Castelvetro. In particolare, saranno installati tredici nuovi aerogeneratori da 4,50 aventi le seguenti sigle, R-CV01, R-CV02, R-CV03, R-CV04, R-CV05, R-CV06, R-CV07, R-CV08, R-CV09, R-CV10, R-CV11, R-CV12 e R-CV13. Dal punto di vista cartografico, le opere in progetto ricadono in agro dei Comuni di Castelvetro e Partanna, in provincia di Trapani, all'interno delle seguenti cartografie e Fogli di Mappa:

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche “257_I_SE-Calatafimi; 257_I_SO-Vita; 257_II_NE-S. Ninfa, 257_II_NO-Salemi, 257_II_SE-Partanna, 257_II_SO-Castelvetro”.
- Carta tecnica regionale CTR, scala 1:10.000, fogli n° 606090, n° 606100, n°606110, n°606130, n°606140, n°606150, n°618010, n°618020, n°618030, n°618050, n°618070.
- Fogli di mappa catastale del Comune di Castelvetro n° 2,3,4, 5, 7, 11,12, 13,16, 17,18,19,20,21,28,29e 41
- Fogli di mappa catastale del Comune di Partanna n° 60, 61,63,75 e 76.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV		
CSV	EXE	REL	0004	00	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	6

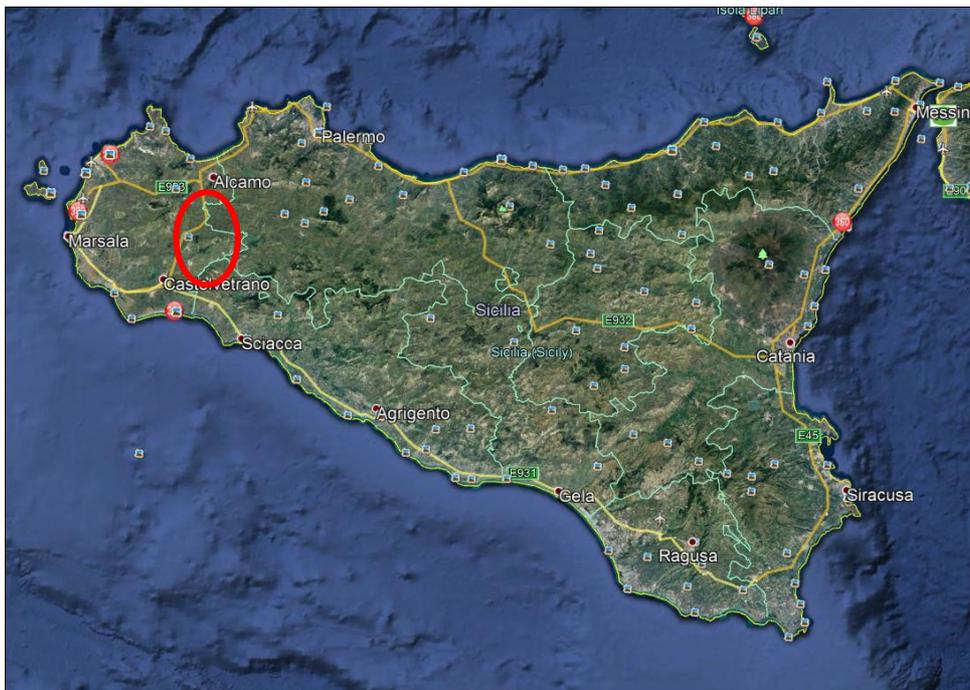


Figura 2.1-Ubicazione area di impianto da satellite.

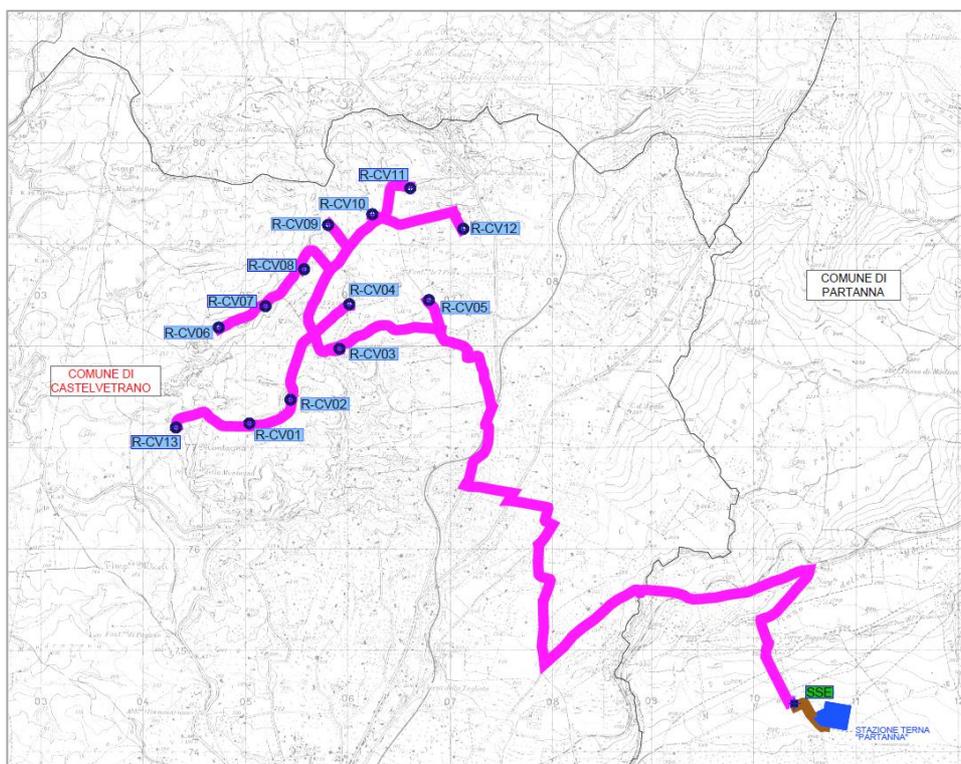


Figura 2.2-Inquadrimento impianto Castelvetrano su IGM 1:25.000.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	7
CSV	EXE	REL	0004	00		

2.2. INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'area interessata dall'impianto si sviluppa nel bacino del fiume Arena che è localizzato nella porzione occidentale della Sicilia e si estende per circa 358 km² interessando il territorio della provincia di Trapani. Il bacino del fiume Arena confina a nord con il bacino del fiume S. Bartolomeo e per un breve tratto, a nord-ovest, con il bacino del fiume Birgi.

Il corso d'acqua di questo bacino è denominato, nel suo tratto di monte Fiume Grande, Fiume Delia invece nel tratto centrale e nel tratto finale Fiume Arena. Gli affluenti principali del Fiume Arena sono in destra orografica il torrente Mendola, il torrente Giardinazzo ed il torrente Gazzera; mentre in sinistra orografica il torrente San Giovanni, il torrente Grandotto ed il torrente Torello di Corleo.

Nell'elaborato grafico CSV-EXE-TAV-0069_00, facente parte del presente progetto, è riportata una planimetria con la perimetrazione dei bacini scolanti interessati dal parco eolico (il cui deflusso superficiale deve essere "smaltito" e "restituito", attraverso le opere idrauliche in progetto, presso i corpi idrici ove naturalmente era convogliato nella condizione *ante operam*).

La definizione dei bacini è avvenuta mediante l'uso del software QGis, a partire dal modello del terreno DTM con maglia 2m (MTD_2013), prodotto dalla Regione Sicilia, e la CTR (Carta Tecnica Regionale – 1: 10.000).

Nella Figura 2.3 è individuato il reticolo idrografico su CTR con i bacini scolanti individuati.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV		
CSV	EXE	REL	0004	00	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	8

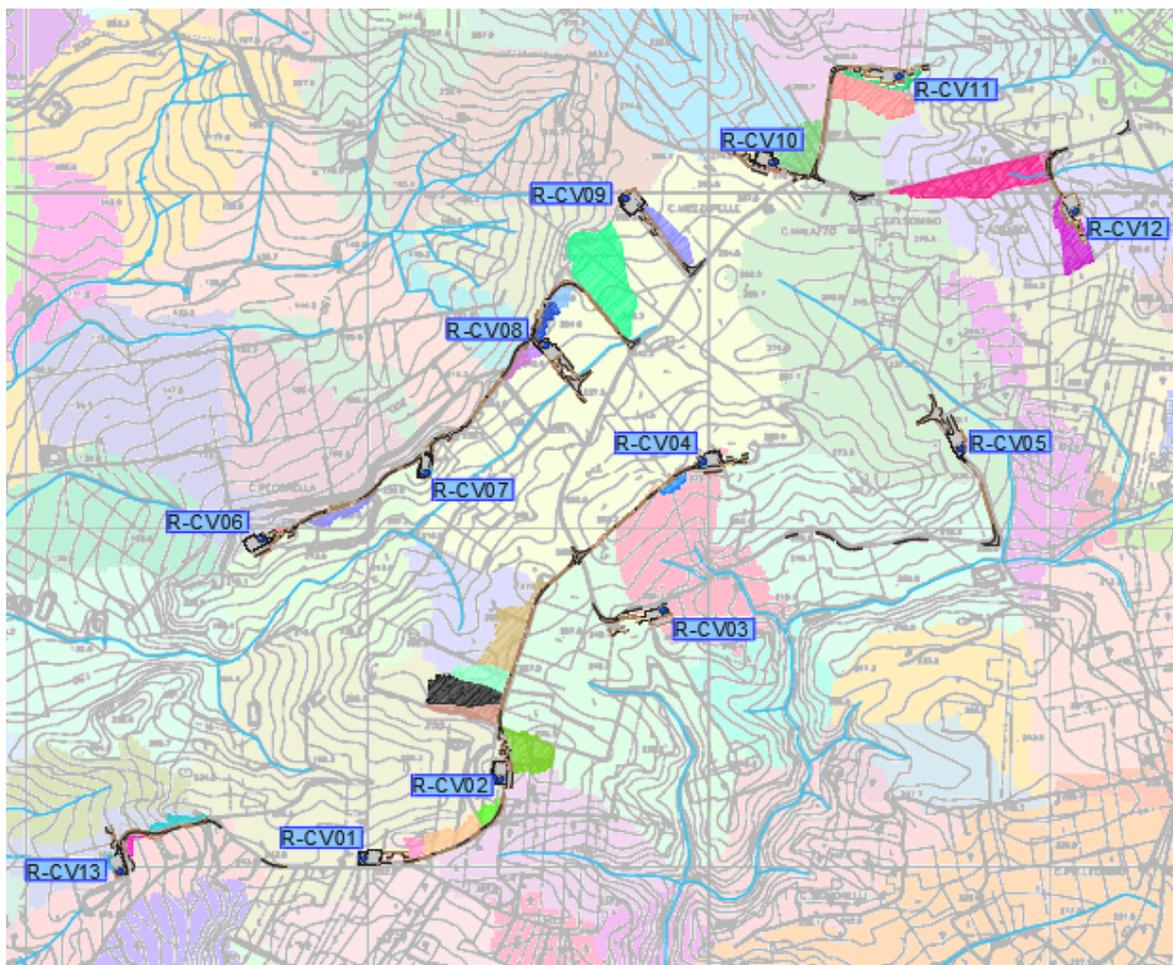


Figura 2.3 - Reticolo idrografico su CTR e bacini con riferimento alle opere oggetto di progettazione esecutiva dell'area di impianto.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	9
CSV	EXE	REL	0004	00		

3. INFORMAZIONE IDROLOGICA

Il presente capitolo ha l'obiettivo di definire la curva di probabilità pluviometrica necessaria alla progettazione delle opere idrauliche per la raccolta e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici stradali e dalle piazzole del parco eolico "Castelvetro".

La pioggia è all'origine del processo di formazione delle portate di piena nei bacini idrografici relativi all'area in esame. I fenomeni meteorologici che generano le precipitazioni sono talmente complessi da non potere essere trattati come un processo deterministico a partire da condizioni iniziali e al contorno note. Pertanto, sotto il profilo pratico, lo studio delle piogge si limita ad utilizzare metodologie statistiche basate sulle osservazioni pluviometriche.

Nel caso in esame, la risposta idrologica dei bacini è condizionata da brevi tempi di corrivazione e, pertanto, le precipitazioni rilevanti sono quelle d'intensità elevata e breve durata.

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 "Castelvetro".

In particolare, volendo stimare eventi di piena di dato tempo di ritorno, bisogna prima ricostruire l'evento di pioggia di pari tempo di ritorno (assumendo come vera l'ipotesi che un evento di pioggia di tempo di ritorno T genera un evento di piena con la stessa probabilità di non superamento).

3.1. MODELLO TCEV SICILIA

Il modello TCEV (*Two Component Extreme Value Distribution*) permette di determinare le altezze di pioggia b e le relative intensità i , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	10
CSV	EXE	REL	0004	00		

pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI¹.

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 VAPI Sicilia (*Ferro e Cannarozzo*, 1993) utilizzando la modellazione introdotta da Conti et al., 2007.

La procedura gerarchica di regionalizzazione si articola su tre livelli successivi in ognuno dei quali è possibile ritenere costanti alcuni statistici.

Nel *primo livello di regionalizzazione* si ipotizza che il coefficiente di asimmetria teorico G_t delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t sia costante per la regione Sicilia. La Sicilia si può pertanto ritenere una zona pluviometrica omogenea ed i valori dei parametri $\Theta^* = 2.24$ e $\Lambda^* = 0.71$ sono costanti ed indipendenti dalla durata t .

Il *secondo livello di regionalizzazione* riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risulti costante, oltre al coefficiente di asimmetria, anche il coefficiente di variazione della legge teorica. Al secondo livello di regionalizzazione la Sicilia è suddivisa in cinque sottozone pluviometriche omogenee: Z_0-Z_5 , Z_1 , Z_2 , Z_3 , Z_4 (Figura 3.1). A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro λ_1 (parametro della

¹ 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.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	11
CSV	EXE	REL	0004	00		

TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo Λ_1 (Tabella 3.1), che risulta indipendente dalla durata. Le sottozone Z_0 e Z_5 , possono anche essere “unite” e considerate come una sottozona unica, visti i valori pressoché identici del parametro Λ_1 .

In ogni sottozona la variabile adimensionale $h'_{t,T} = h_t/\mu$ (valore dell'altezza di pioggia di fissata durata t e tempo di ritorno T rapportata alla media μ della legge TCEV) assume la seguente espressione:

$$h'_{t,T} = K_T = a \cdot \ln(T) + b$$

In tale relazione i coefficienti a e b sono stati tarati in funzione della particolare sottozona (tabella 4.1).

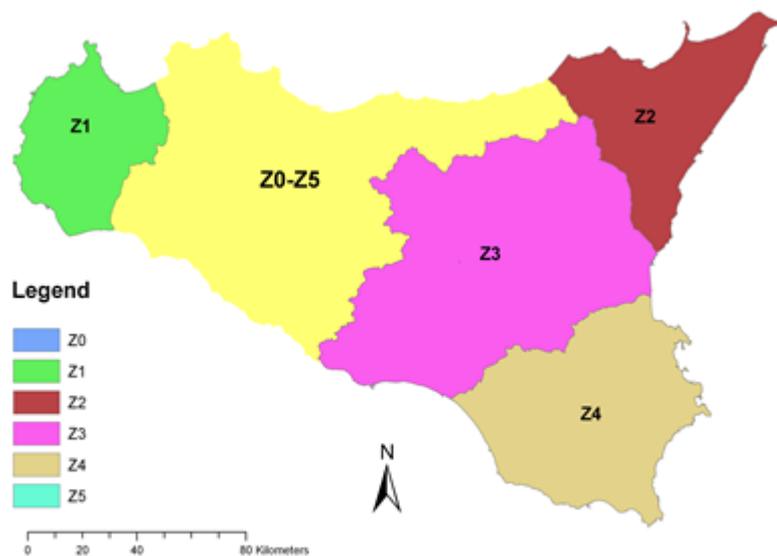


Figura 3.1- Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

K_T è definito *fattore di crescita* e misura la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze. Esso è dunque indipendente dalla durata della precipitazione e funzione della collocazione geografica del sito per il quale si vogliono calcolare le altezze di pioggia (a mezzo dei coefficienti a e b) e del tempo di ritorno T dell'evento meteorico.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	12
CSV	EXE	REL	0004	00		

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	Z ₀	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅
Λ₁	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Tabella 3.1- Valore del parametro Λ₁ per ogni sottozona in cui è stata suddivisa la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

<i>Sottozona</i> <i>Parametro</i>	Z ₀ -Z ₅	Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
a	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
b	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 3.2- Valori, per la regione Sicilia, dei coefficienti a e b per la definizione del fattore di crescita (Lo Conti et al, 2007).

Il terzo livello di regionalizzazione prevede, infine, la ricerca di relazioni regionali tra il parametro centrale della distribuzione di probabilità μ e le grandezze - prevalentemente geografiche (altitudine, distanza dal mare, superficie del bacino idrografico) - relative al sito di misura.

Pertanto, l'espressione della curva di probabilità pluviometrica sarà:

$$h_{t,T} = K_T \cdot \mu(t)$$

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di assegnata durata t e fissato tempo di ritorno T .

Per le stazioni pluviografiche siciliane la media teorica μ risulta coincidente con quella campionaria; per ciascuna delle 172 stazioni siciliane che vantano almeno 10 anni di funzionamento è stato riconosciuto il seguente legame di tipo potenza tra la media campionaria e la durata t :

$$\mu(t) = a \cdot t^n$$

Per ogni stazione pluviografica i valori dei coefficienti a ed n sono tabellati. Per i siti sprovvisti di stazioni di misura i coefficienti a ed n possono essere stimati sulla base della carta delle iso- a e delle iso- n (Cannarozzo et al, 1995). Nella Figura 3.2 e Figura 3.3 è possibile vedere la variazione dei coefficienti a ed n per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	13
CSV	EXE	REL	0004	00		

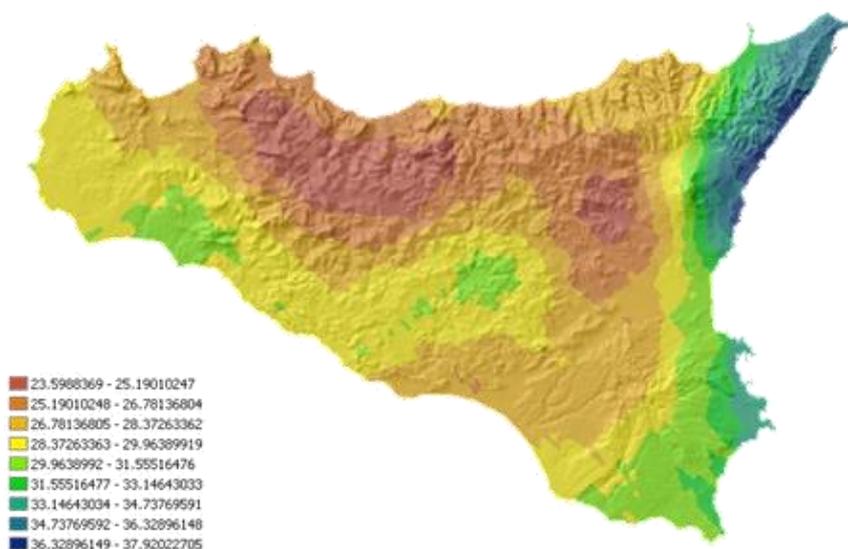


Figura 3.2- Valori dei coefficienti a per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

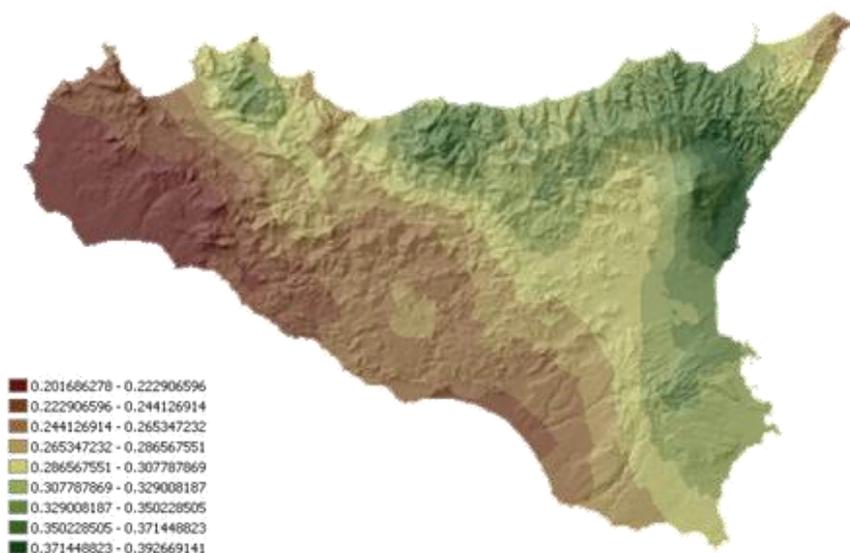


Figura 3.3- Valori dei coefficienti n per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007).

Sono quindi stati calcolati, per il tempo di ritorno di interesse ($T = 30$ e 200 anni) i valori delle altezze di pioggia massima di assegnata durata $h_{t,T}$ e la legge di probabilità pluviometrica.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	14
CSV	EXE	REL	0004	00		

3.2. SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO

Il tempo di ritorno, per la sua definizione, è un parametro legato alla vita utile dell'opera e al potenziale rischio (e conseguente danno) relativo al verificarsi di eventi con probabilità di accadimento superiori. Il tempo di ritorno T adottato per il dimensionamento delle opere idrauliche è stato considerato pari a 30 anni per i fossi di guardia e di 200 anni per gli attraversamenti in corrispondenza del reticolo idrografico.

3.3. CALCOLO DELLA C.P.P.

I bacini oggetto del presente studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea Z1: il fattore di crescita è calcolato attraverso la seguente espressione, utilizzando gli appropriati valori dei coefficienti a e b (in base ai valori della Tabella 3.2):

$$K_T = 0.4695 \cdot \ln(T) + 0.4889$$

Fissato il tempo di ritorno della sollecitazione meteorica di progetto ed individuata la stazione pluviometrica più vicina al sito in esame, è quindi possibile calcolare le altezze di pioggia di data frequenza di accadimento e di fissata durata.

La stazione pluviometrica di riferimento è la seguente:

- o **Castelvetro**

Anni di funzionamento: **35**

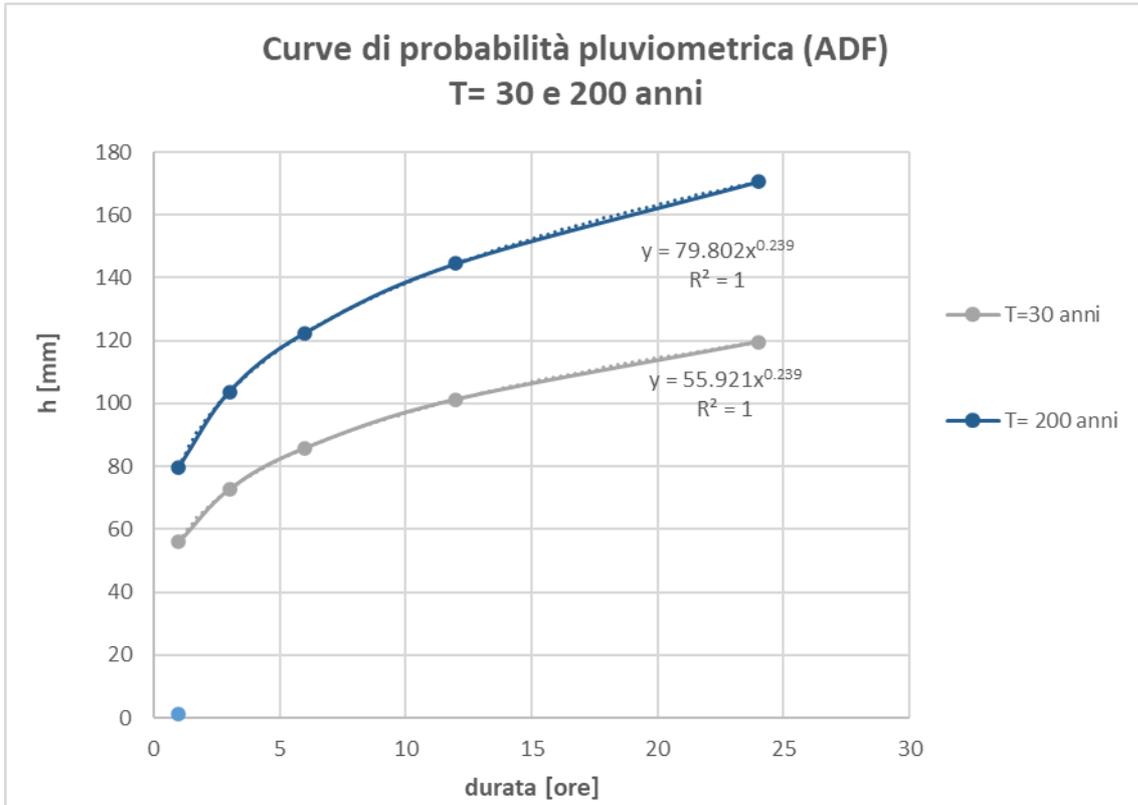
Sensori presenti: **Pluviometro**

Altitudine: **190 m.s.l.m.**

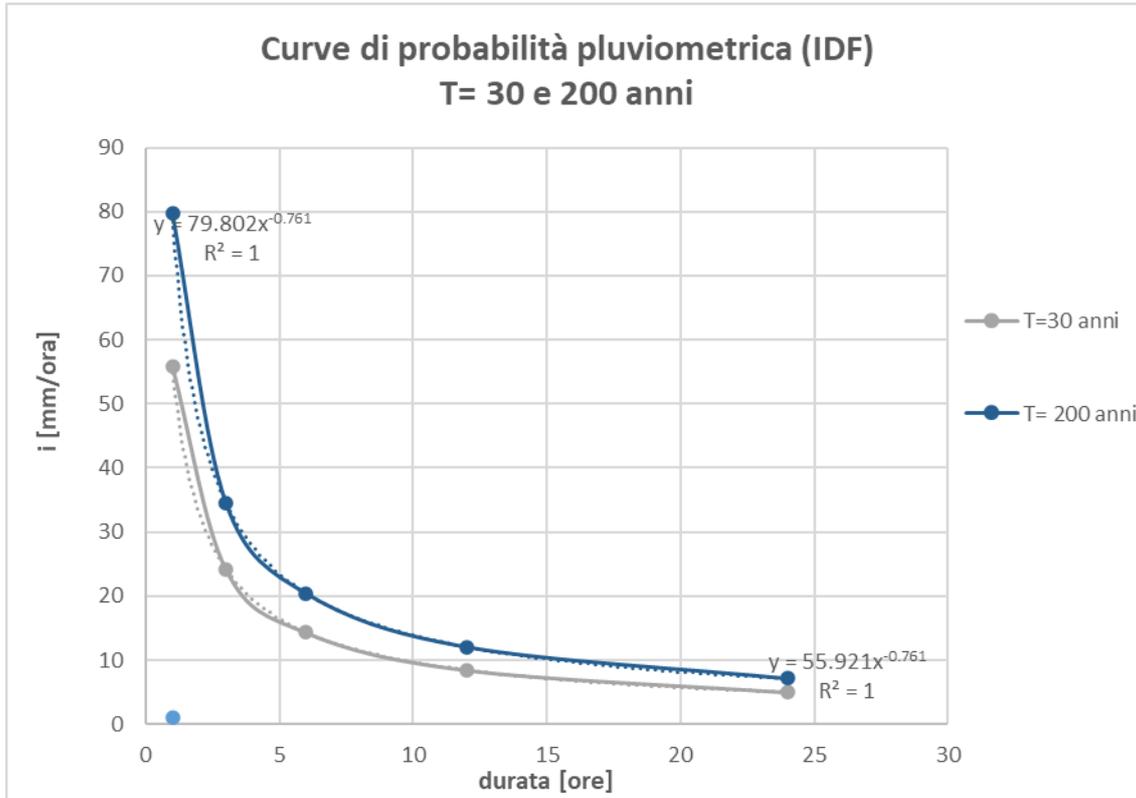
Per essa, come per le restanti stazioni pluviometriche siciliane, i valori di a ed n risultano tabellati. Per tale stazione sono individuati i seguenti valori: a = 26,811 ed n = 0,239.

È quindi possibile individuare la curva di probabilità pluviometrica per il sito in esame, corrispondente ai tempi di ritorno T=30 e 200 anni.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	15
CSV	EXE	REL	0004	00		



CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	16
CSV	EXE	REL	0004	00		



L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica (espressa in termini di altezza di pioggia), per ciascun T, è la seguente:

T = 30 anni $h(t) = 55.921 t^{0.239}$
T = 200 anni $h(t) = 79.802 t^{0.239}$

ore	$h_{d,T30}$	$h_{d,T200}$
1	55.92	79.80
3	72.71	103.76
6	85.81	122.46
12	101.27	144.52
24	119.52	170.56

3.4. PIOGGE BREVI

È necessario inoltre osservare che poiché gli eventi di pioggia brevi e quelli lunghi seguono differenti dinamiche meteorologiche, dai campioni di altezze h_t aventi durate $1 \div 2 \text{ ore} \leq t \leq 24$

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	17
CSV	EXE	REL	0004	00		

non può essere tratta alcuna informazione inerente agli eventi brevi.

La curva di probabilità pluviometrica, costruita con riferimento alle piogge aventi durata compresa tra 1 e 24 ore, non può essere pertanto estrapolata per valori della durata t inferiore ad un'ora. È stato però dimostrato che il rapporto tra l'altezza di pioggia $h_{t,T}$ con t minore di 60 minuti, e l'altezza di pioggia $h_{60,T}$ di durata pari a 60 minuti e pari tempo di ritorno T è relativamente poco dipendente dalla località e dipendente solo dalla durata t espressa in minuti. Il legame funzionale, per la regione Sicilia, può essere pertanto espresso nella forma seguente, utilizzando la formula di Ferreri-Ferro, in cui il coefficiente s è stato opportunamente calibrato da Ferro e Bagarello (*"Rainfall depth-duration relationship for South Italy"*, 1996).

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^{0.386}$$

3.5. SUPERFICI DI INFLUENZA

La principale caratteristica delle misure di precipitazione è di essere *puntuali*, cioè di riferirsi al punto in cui è posizionato lo strumento. La quantità di precipitazione che affluisce in un fissato intervallo di tempo in una data *area* deve essere valutata, in linea di principio, a partire dalle misure puntuali effettuate dalle stazioni di misura ricadenti nell'area o in essa limitrofe.

Tuttavia, data la vicinanza della stazione considerata ai bacini scolanti e le ridotte dimensioni di tali bacini, non si individuano le superfici di influenza nell'ipotesi che le caratteristiche di precipitazione all'interno del bacino siano legate esclusivamente a quelle della stazione pluviometrica *"Castelvetrano"*.

Inoltre, date le ridotte dimensioni dei bacini ($S < 10 \text{ km}^2$), non verrà effettuato il ragguaglio spaziale delle precipitazioni (ARF=1).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	18
CSV	EXE	REL	0004	00		

4. MODELLO AFFLUSSI DEFLUSSI

Le portate di progetto sono state calcolate attraverso *metodi indiretti*, che consentono la determinazione delle portate di piena a partire dalle precipitazioni che si abbattano sui diversi bacini. Nello specifico, si è valutata la portata di piena con la *formula razionale*.

La *formula razionale* consente la valutazione della portata di piena di assegnato tempo di ritorno T mediante la seguente relazione:

$$Q_T = \frac{\varphi \cdot i_T \cdot S}{3,6}$$

ove:

- Q_T è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno T ed è espressa in m³/s;
- φ è il coefficiente di afflusso, adimensionale;
- i_T è l'intensità critica della precipitazione di assegnato tempo di ritorno (corrispondente al tempo di corrivazione) in mm/h;
- S è la superficie del bacino espressa in km²;
- 3,6 è un fattore di conversione delle unità di misura.

La modellazione matematica dei fenomeni idrologico-idraulici, innescati dalle precipitazioni sull'area di progetto, segue il processo descritto nei paragrafi seguenti.

4.1. INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA

Dopo avere ricostruito le relazioni intensità-durata-frequenza (IDF, espresse dalla c.p.p.) è necessario individuare la *l'intensità critica* della precipitazione, cioè l'intensità costante di quella pioggia, supposta anche uniformemente distribuita sul bacino, che determina la portata massima nell'idrogramma di piena di tempo di ritorno T.

La pioggia critica è quella di intensità pari al tempo di corrivazione o di concentrazione τ_c , definito come segue:

- il tempo di corrivazione di un bacino è quello necessario alla goccia di pioggia che cade nel punto idraulicamente più lontano per raggiungere la sezione di chiusura del bacino;
- il tempo di corrivazione è quel tempo che, una volta eguagliato dalla durata della precipitazione (precipitazione *critica*, ovvero che mette in crisi la rete idrografica), determina il raggiungimento del valore più elevato di portata nella sezione di chiusura del bacino.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	19
CSV	EXE	REL	0004	00		

Esso può essere calcolato tramite diverse formule; nel caso in esame, e cioè per piccoli bacini (aventi estensione inferiore a 1 km²), il tempo di corrivazione è calcolato attraverso la formula di Ventura:

$$t_c = 0,127 \sqrt{\frac{A}{I}}$$

dove t_c è espresso in ore, A è l'area del bacino idrografico espressa in km² ed I è la pendenza media dell'asta principale (m/m).

4.2. IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO

L'infiltrazione costituisce il fenomeno di maggiore rilevanza per la determinazione del bilancio tra pioggia sul bacino e pioggia efficace ai fini del deflusso nei bacini scolanti. Nell'applicare un modello afflussi-deflussi risulta pertanto necessario quantificare le perdite per infiltrazione allo scopo di potere valutare la pioggia netta, ovvero quella che dà effettivamente luogo al deflusso. Nel presente studio, all'interno della formula razionale, è stato utilizzato il *metodo del coefficiente di afflusso* Φ . Tale coefficiente rappresenta il rapporto tra il volume totale di deflusso e il volume totale di pioggia caduto sull'area sottesa ad una data sezione, e il suo uso comporta considerare le perdite proporzionali all'intensità media di pioggia.

La stima del valore di φ è stata condotta a partire da un'analisi del "Corine Land Cover 2012 – IV Livello". Le aree in corrispondenza delle quali saranno ubicate le opere in progetto sono caratterizzate prevalentemente da superfici agricole utilizzate (*seminativi in aree non irrigue e colture permanenti (vigneti)*).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	20
CSV	EXE	REL	0004	00		

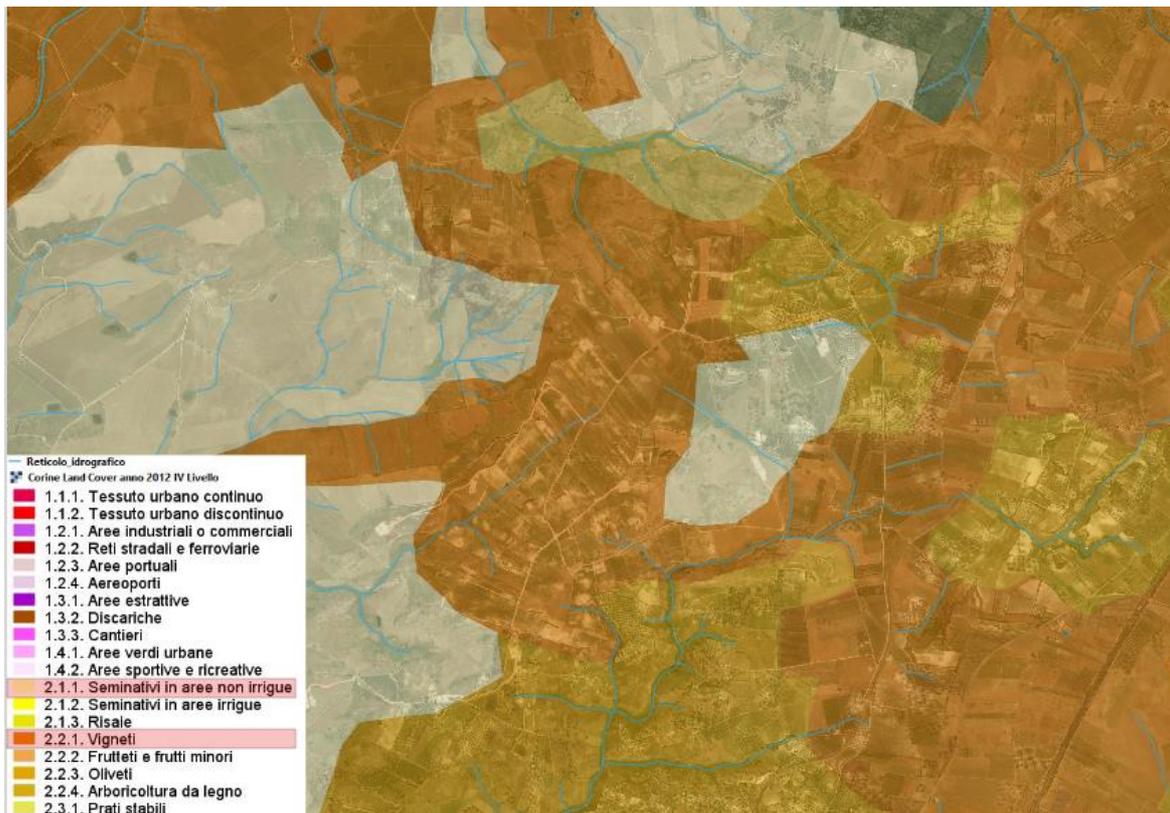


Figura 4.1- Corine Cover Land IV Livello – per l’area aggetta di intervento

È stata anche analizzata la carta geolitologica dalla quale è emerso (in uno con gli approfondimenti dello studio geologico, cui si rimanda) che tutta la zona di ubicazione dell’impianto è caratterizzata prevalentemente da argille e marne e dalla formazione Gessoso-solfifera.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	21
CSV	EXE	REL	0004	00		

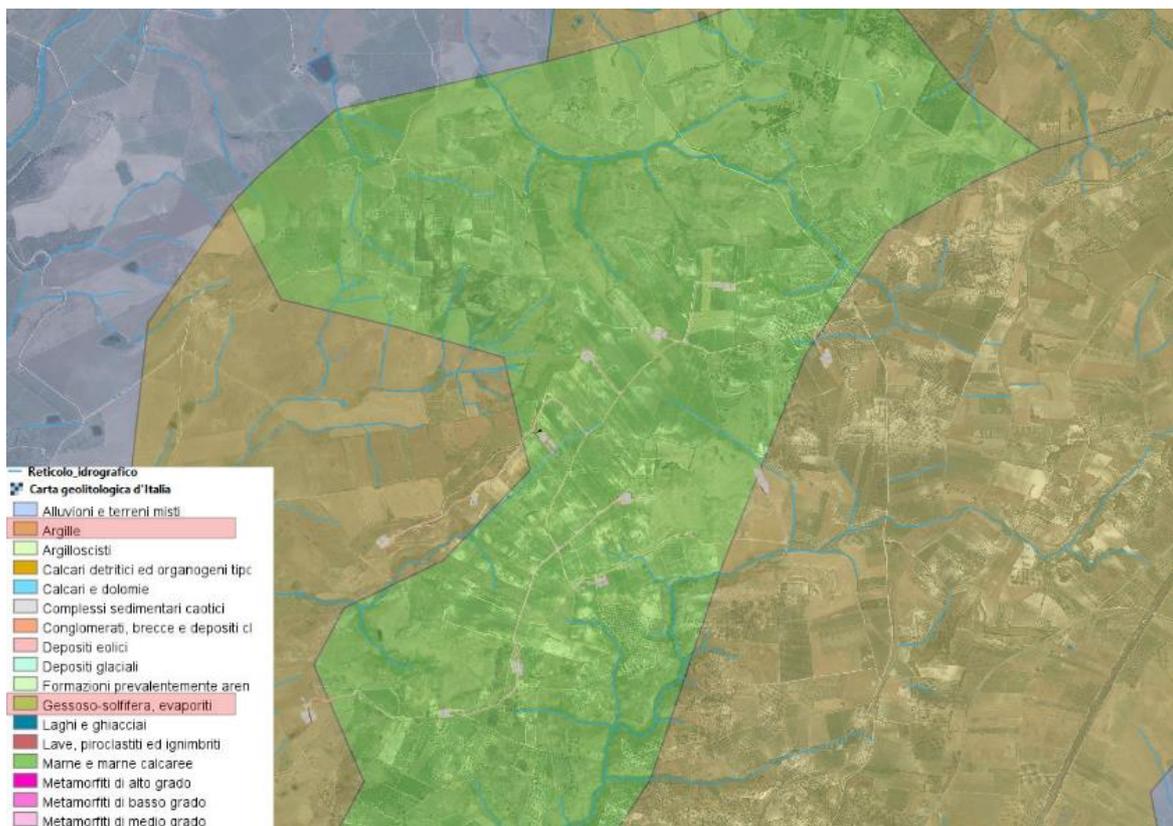


Figura 4.2- Carta Geolitologica per l'area oggetto di intervento

Pertanto, relativamente a ciascuna superficie omogena (tipo di suolo, tessitura, caratteristiche locali di permeabilità) il coefficiente di afflusso è stato definito facendo riferimento ai valori tabellati da Benini (*Sistemazioni idraulico-forestali*, 1990) riportati di seguito in Figura 4.3.

Tipo di suolo	Copertura del bacino		
	Coltivazioni	Pascoli	Boschi
Molto permeabile (sabbioso o ghiaioso)	0.20	0.15	0.10
Mediamente permeabile (Terreni di medio impasto, Terreni senza strati di argilla)	0.40	0.35	0.30
Poco Permeabili (Suoli argillosi, con strati di argilla in prossimità della superficie, suoli poco profondi su substrato roccioso impermeabile)	0.50	0.45	0.40

Figura 4.3- Valori del coefficiente ϕ del metodo razionale per diversi tipi di superficie, in funzione della tipologia di suolo e della copertura del bacino (Benini, 1990 e Ferro, 2006).

Per ciascun bacino, ai fini del calcolo della portata di progetto, il coefficiente di afflusso è stato calcolato secondo la formula seguente:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	22
CSV	EXE	REL	0004	00		

$$\varphi = \frac{\sum_{i=1}^n \varphi_i \cdot A_i}{A_{tot}}$$

ove φ_i è il coefficiente di afflusso dell'area elementare A_i ed A_{tot} è la superficie complessiva del bacino. In questa maniera, il valore del coefficiente di afflusso (per ogni bacino) è dato dalla media pesata dei coefficienti di ciascuna area elementare in cui il bacino è divisibile.

In particolare, per l'area di interesse il coefficiente di afflusso ϕ è stato posto pari a 0.35.

4.3. IL CALCOLO DELLE PORTATE

Per ciascun bacino sono stati analizzati i valori delle portate Q per il tempo di ritorno di interesse ($T=30$ e 200 anni), insieme agli altri parametri posti alla base del calcolo che sono riassunti nelle tabelle sottostanti. Nello specifico, le grandezze caratteristiche poste a base dei calcoli, insieme alle rispettive U.M. sono:

ID Bacino delle varie aree dell'impianto eolico "La Montagna";

- Superficie del bacino drenante S (sia in m^2 che in km^2);
- Lunghezza dell'asta principale L (in m);
- Quota massima dell'asta principale, H_{max} (m);
- Quota minima dell'asta principale, H_{min} (m);
- Dislivello geodetico tra gli estremi dell'asta, (Differenza tra quota massima e quota minima dell'asta principale) Δh (m);
- Pendenza media del percorso i (%);
- Durata dell'evento pluviometrico critico, pari al tempo di corrvazione t_c (in minuti);
- Coefficiente di afflusso φ ;
- Valore dell'intensità critica i_T (mm/h);
- Portata al colmo della piena, Q , (in m^3/s);

Nei paragrafi che seguono verranno mostrate le tabelle relative al calcolo della portata di progetto (relativa a ciascuno dei bacini analizzati) causata da un evento pluviometrico critico di fissati tempi di ritorno T .

5.3.1 Fossi di guardia

Per la verifica dei fossi di guardia Tipo A, B e C sono stati selezionati tutti i bacini contribuenti; per tali bacini i valori delle portate corrispondenti al tempo di ritorno di interesse ($T=30$ anni), insieme agli altri parametri posti alla base del calcolo, sono riassunti nella tabella sottostante.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	23
CSV	EXE	REL	0004	00		

ID Bacino	Superficie S			Lunghezza asta L	H max	H min	Δh	Pendenza media i	Tempo di corrivazione tc	Intensità critica (h<1 ora)	Coefficiente di afflusso φ _A	Portata Q _A
	[m ²]	[ha]	[km ²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[min]	[mm/h]	[-]	[m ³ /s]
BV1	2385	0.24	0.002385	87.7	194.6	181.8	12.81	14.61%	0.9736	702.27	0.35	0.16
BV2	4112	0.41	0.004112	112.6	233.8	196.9	36.89	32.76%	0.8537	761.28	0.35	0.30
BV3	2984	0.30	0.002984	65.9	262.5	251.2	11.33	17.20%	1.0038	689.22	0.35	0.20
BV4.1	8930	0.89	0.00893	99.1	260.0	249.3	10.68	10.78%	2.1927	426.59	0.35	0.37
BV4.2	3044	0.30	0.003044	94.2	262.3	249.2	13.05	13.86%	1.1295	641.07	0.35	0.19
BV5	14034	1.40	0.014034	120.4	275.2	263.8	11.40	9.47%	2.9335	356.77	0.35	0.49
BV6.1	6901	0.69	0.006901	140.6	265.4	257.5	7.83	5.57%	2.6820	376.95	0.35	0.25
BV6.2	14034	1.40	0.014034	151.4	266.3	256.9	9.38	6.20%	3.6266	313.21	0.35	0.43
BV6.3	7807	0.78	0.007807	122.8	267.0	256.7	10.23	8.33%	2.3327	410.67	0.35	0.31
BV6.4	17687	1.77	0.017687	154.8	274.1	256.8	17.37	11.22%	3.0251	350.10	0.35	0.60
BV7	2367	0.24	0.002367	67.6	279.1	271.6	7.51	11.10%	1.1127	646.98	0.35	0.15
BV8	4505	0.45	0.004505	58.0	238.8	226.1	12.71	21.93%	1.0922	654.41	0.35	0.29
BV9	2709	0.27	0.002709	31.0	248.8	238.3	10.48	33.79%	0.6823	873.61	0.35	0.23
BV10	1539	0.15	0.001539	28.1	248.8	238.5	10.35	36.83%	0.4926	1067.06	0.35	0.16
BV11.1	4066	0.41	0.004066	62.4	251.8	239.3	12.44	19.94%	1.0882	655.89	0.35	0.26
BV11.2	2886	0.29	0.002886	77.3	252.2	244.3	7.93	10.25%	1.2787	594.03	0.35	0.17
BV12	38121	3.81	0.038121	204.2	277.9	240.2	37.63	18.43%	3.4654	322.07	0.35	1.19
BV13	8000	0.80	0.008	355.1	277.7	251.5	26.26	7.39%	2.5064	392.96	0.35	0.31
BV14.1	19360	1.94	0.01936	132.8	288.7	277.9	10.78	8.12%	3.7201	308.35	0.35	0.58
BV14.2	4924	0.49	0.004924	82.8	286.1	277.9	8.12	9.80%	1.7082	497.26	0.35	0.24
BV15.1	16882	1.69	0.016882	240.7	295.2	288.8	6.41	2.66%	6.0652	228.40	0.35	0.37
BV15.2	10053	1.01	0.010053	194.6	293.9	288.8	5.09	2.62%	4.7229	266.32	0.35	0.26
BV16.1	28816	2.88	0.028816	288.9	282.4	229.6	52.79	18.27%	3.0259	350.04	0.35	0.98
BV16.2	14089	1.41	0.014089	193.7	252.6	234.5	18.10	9.34%	2.9594	354.85	0.35	0.49

Per l'individuazione dei bacini “*rappresentativi*”², utilizzati per il dimensionamento delle opere idrauliche previste nel presente progetto, si rimanda all’elaborato grafico di riferimento (CSV-

² I bacini “*rappresentativi*” (BV) sono quelli, tra i bacini afferenti alla viabilità di progetto, che determinano il valore maggiore di portata di deflusso, in funzione della loro superficie/pendenza; con riferimento a tale portata, ogni fosso di guardia risulta idraulicamente e tecnicamente compatibile.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	24
CSV	EXE	REL	0004	00		

EXE-TAV-0068_00).

5.3.2 Attraversamenti idraulici (AT)

Per ognuno dei bacini relativi agli attraversamenti idraulici individuati (nel complesso 2) (cfr. paragrafo 6.3) è stata calcolata la portata di progetto, insieme agli altri parametri posti alla base del calcolo, riassunti nella tabella sottostante.

ID Bacino	Superficie S			Lunghezza asta L	H max	H min	Δh	Pendenza media i	Tempo di corrivazione tc	Intensità critica (h<1 ora)	Coefficiente di afflusso φ _A	Portata Q _A
	[m ²]	[ha]	[km ²]									
B_AT01	236014	23.60	0.236014	665.2	288.88	239.6	49.30	7.41%	13.5978	198.54	0.35	4.56
B_AT02	166964	16.70	0.166964	330.2	295.224	227.7	67.56	20.46%	6.8841	301.55	0.35	4.89

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	25
CSV	EXE	REL	0004	00		

5. PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA

5.1. APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

La durabilità delle strade e delle piazzole del parco eolico “Salemi-Trapani” è garantita da un efficace sistema idraulico di drenaggio delle acque meteoriche. Gli interventi da realizzarsi nell’area in esame sono stati sviluppati secondo due differenti linee di obiettivi:

- **garantire l’invarianza idraulica**, attraverso il mantenimento delle condizioni di “equilibrio idrogeologico” esistenti ante operam: le opere in progetto determineranno un incremento trascurabile o nullo della portata di piena dei corpi idrici riceventi e deflussi superficiali originati dalle aree interessate dagli interventi. Tale approccio consentirà di preservare e proteggere i sistemi idrologici naturali nel sito e di garantire la resilienza del sistema per far fronte ai cambiamenti climatici futuri.
- **drenare il sito efficacemente**, attraverso la regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità del parco in progetto, mediante una adeguata rete drenante, volta a proteggere le infrastrutture del parco eolico.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito a partire dalla CTR della Regione Sicilia e del rilievo drone condotto dallo scrivente e dalla progettazione della viabilità del parco, individuando le vie preferenziali di deflusso, gli impluvi (ed i solchi di erosione) interessati dalle opere in progetto nonché le caratteristiche plano-altimetriche dei tracciati.

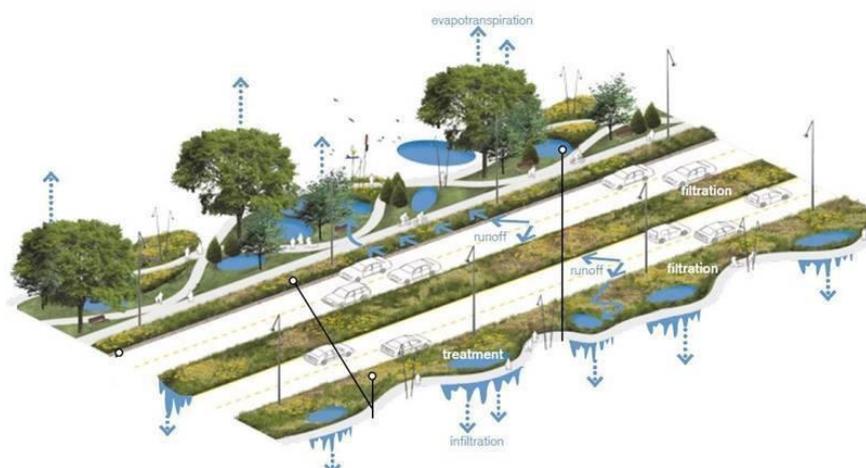


Figura 5.1- Esempio progettazione stradale in ottica SuDS (Sustainable Drainage Systems), ripensata secondo i principi di invarianza idraulica. Fonte: Huber, J., 2010. *Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas*.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	26
CSV	EXE	REL	0004	00		

5.2. INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Come anticipato, la realizzazione delle opere in progetto mantiene **inalterata, a scala globale, l'equilibrio tra afflussi e deflussi dei bacini sottesi ai punti di immissione nei corpi idrici ricettori**. Le nuove opere a servizio del parco eolico “Castelvetrano” (nuova viabilità e nuove piazzole) rispettano infatti i principi dell’invarianza idraulica; in particolare:

1. le caratteristiche di permeabilità dei diversi bacini interessati dalle opere subiscono modifiche pressoché nulle e, pertanto, la variazione tra la situazione *ante* e *post* interventi è irrilevante e trascurabile. Il coefficiente di afflusso dei bacini (con il quale determinare l'aliquota di afflussi infiltrati) si mantiene infatti sostanzialmente invariato, data la minima (o nulla) variazione della permeabilità delle aree in seguito alla realizzazione degli interventi³.
2. La realizzazione dell'impianto non prevede elementi impermeabili sul terreno ma opere con inerti, altamente permeabili, in corrispondenza delle piazzole e della viabilità di servizio. In ogni caso, si sottolinea come le aree occupate da strade e piazzole hanno dimensioni trascurabili rispetto ai bacini ove esse scolano (0,2%-4%).
3. Dal momento che la viabilità di progetto non sottende di norma alcun bacino scolante di dimensioni apprezzabili - e considerando che la nuova viabilità presenta dei punti di minimo che coincidono con punti di minimo orografici del terreno - si può affermare che le infrastrutture viarie di parco non modificano la risposta di ciascun bacino per tutti gli aspetti che riguardano i meccanismi di formazione dei deflussi (morfometria, percorsi di corrivazione, permeabilità, etc.) e non determinano alcun aumento di portata, ΔQ , sui corpi idrici ricettori.
4. Le opere idrauliche previste in progetto rispettano il regime idraulico *ante operam*: le acque meteoriche, infatti, vengono sempre recapitate presso gli impluvi naturali ove esse erano già precedentemente e naturalmente convogliate per ragioni orografiche⁴.
I punti di scarico dei fossi di guardia saranno realizzati, ove necessario, in uno con opere di dissipazione finalizzate al rallentamento della corrente idraulica ed alla limitazione dei

³ Per effetto della presenza di misto stabilizzato compattato, utilizzato come strato di finitura per la nuova viabilità, e le piazzole il coefficiente di afflusso ϕ_p è compreso in un range 0.30-0.35 (strato drenante, da letteratura). **Le caratteristiche di permeabilità delle nuove aree risultano pressoché identiche a quelle del terreno naturale esistente.**

⁴ Si evidenzia che tali scarichi delle acque meteoriche negli impluvi naturali sono di modesta entità in riferimento agli apporti dell'intero bacino scolante.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	27
CSV	EXE	REL	0004	00		

fenomeni erosivi. Lungo la viabilità di progetto, non si verranno a creare interferenze con impluvi demaniali esistenti o con affluenti di impluvi demaniali esistenti: gli scarichi avverranno in corrispondenza di impluvi naturali (di modesta entità e non censiti).

Come detto, tali immissioni saranno dotate di sistemi di dissipazione che consentiranno puntualmente l'annullamento dei rischi di fenomeni erosivi nel rispetto dell'equilibrio idrogeologico esistente: verrà garantito il convogliamento delle acque di scarico, prestando attenzione che l'immissione in piccoli impluvi esistenti e/o piccoli solchi di erosione esistenti avvenga con angoli inferiori o uguali ai 30°.

A tal uopo, nell'elaborato grafico CSV-EXE-TAV-0071_00, facente parte del presente progetto definitivo, è riportata una planimetria con l'individuazione dei punti di scarico e del reticolo idrografico esistente da CTR.

Le opere in progetto, pertanto, non alterano in nessun modo né il reticolo idrografico esistente né le portate che dagli impluvi esistenti arrivano verso i “canali naturali” presenti a valle.

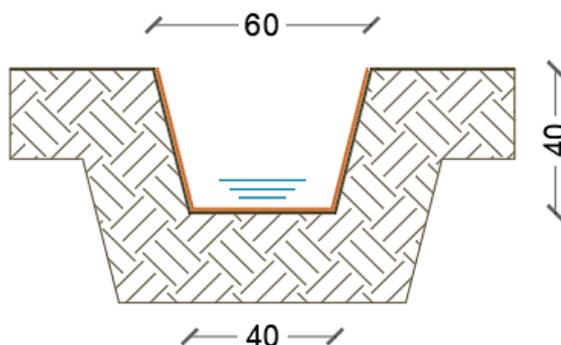
5.3. OPERE IDRAULICHE

Le opere idrauliche applicabili in progetto sono le seguenti; per i particolari costruttivi ed ulteriori dettagli si rinvia all'elaborato grafico CSV-EXE-TAV-0070_00.

Fosso di guardia “Tipo A”, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

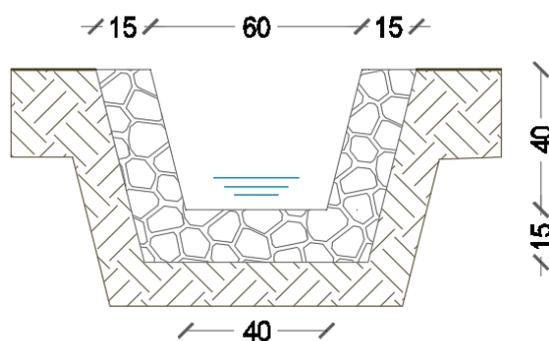
<i>Sezione trapezia</i>	
Larghezza base [m]	0,40
Larghezza in superficie [m]	0,60
Altezza [m]	0,40

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	28
CSV	EXE	REL	0004	00		



La geostuoia di rivestimento è ad alto indice di vuoti, in monofilamenti di polipropilene fissati termicamente nei punti di contatto (con spessori variabili).

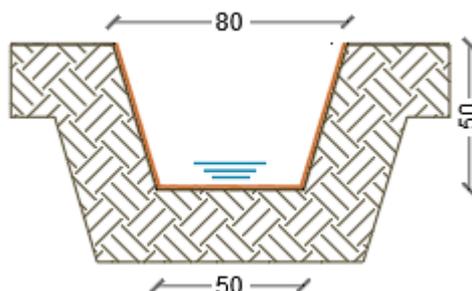
Nei tratti con **pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%** tali fossi di guardia in terra non sono rivestiti con geostuoia, ma presentano il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura ($d=5-10$ cm), per uno spessore di 15 cm, al fine di ridurre l'azione erosiva della corrente idrica. Tale tipologia è identificata con la denominazione “**fosso di guardia tipo AP**”.



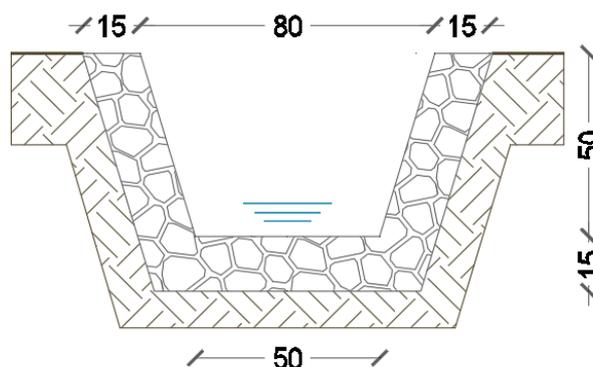
Fosso di guardia “Tipo B”, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

<i>Sezione trapezia</i>	
Larghezza base [m]	0,50
Larghezza in superficie [m]	0,80
Altezza [m]	0,50

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	29
CSV	EXE	REL	0004	00		



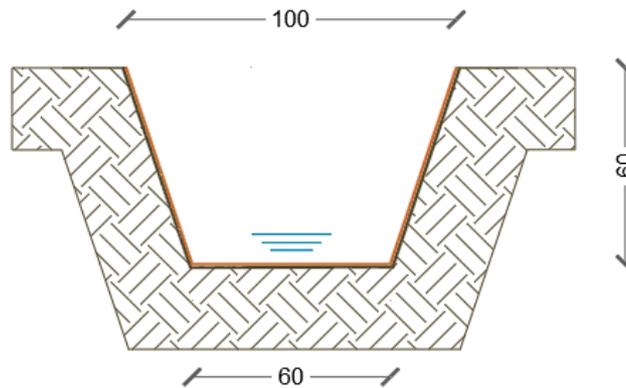
Anche il fosso di guardia “Tipo B”, nei tratti con pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%, non è rivestito con geostuoia ma presenta il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura (d=5-10 cm), per uno spessore complessivo di 15 cm, ed assume la denominazione “**fosso di guardia tipo BP**”.



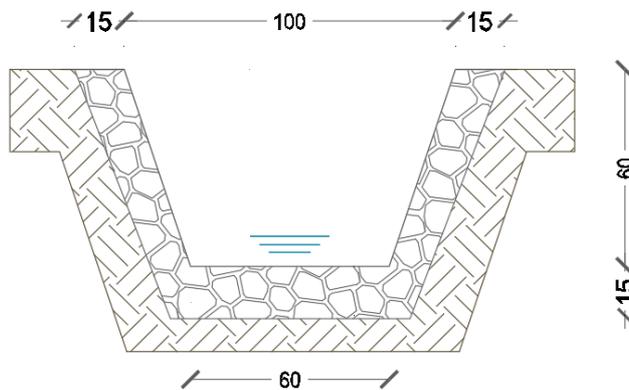
Fosso di guardia “Tipo C”, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

<i>Sezione trapezia</i>	
Larghezza base [m]	0,60
Larghezza in superficie [m]	1,00
Altezza [m]	0,60

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	30
CSV	EXE	REL	0004	00		



Analogamente ai precedenti, il fosso di guardia “tipo C”, nei tratti con pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%, presenta il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura ($d=5-10$ cm), per uno spessore complessivo di 15 cm, ed assume la denominazione “**fosso di guardia tipo CP**”.

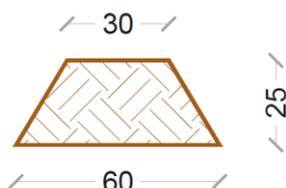


Opere di dissipazione: tali opere sono poste al termine degli scarichi, in modo tale da ridurre l'energia della corrente idrica reimpressa negli impluvi naturali e limitare quindi l'erosione dei versanti. Sono previste opere di dissipazione con pietrame di grandi dimensioni ($D > 40$ cm), con differente geometria in funzione delle caratteristiche della corrente in uscita e del corpo idrico ricettore.

Arginelli in terra aventi le seguenti caratteristiche geometriche:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	31
CSV	EXE	REL	0004	00		

Larghezza base [m]	0,60
Larghezza in superficie [m]	0,30
Altezza [m]	0,25



Attraversamenti “Tipo A” in corrispondenza dei punti di scarico: tale tipologia di attraversamento è necessaria per lo scarico delle acque meteoriche (di piattaforma ed eventualmente provenienti dai versanti) intercettate dai fossi di guardia.

Gli attraversamenti (n°28 in tutto) sono realizzati con tubazioni in PEAD CRG SN8 (DE variabile) e prevedono (i) in ingresso un pozzetto per ispezione e raccordo con il fosso di guardia ed (ii) in uscita lo scarico diretto presso gli impluvi esistenti (od un altro pozzetto o fosso esistente), previa opera di dissipazione in pietrame.

Di seguito (Figura 5.2) si riportano le sezioni longitudinali e trasversali dell’attraversamento tipo ed una pianta dello stesso attraversamento.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV		
CSV	EXE	REL	0004	00	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	32

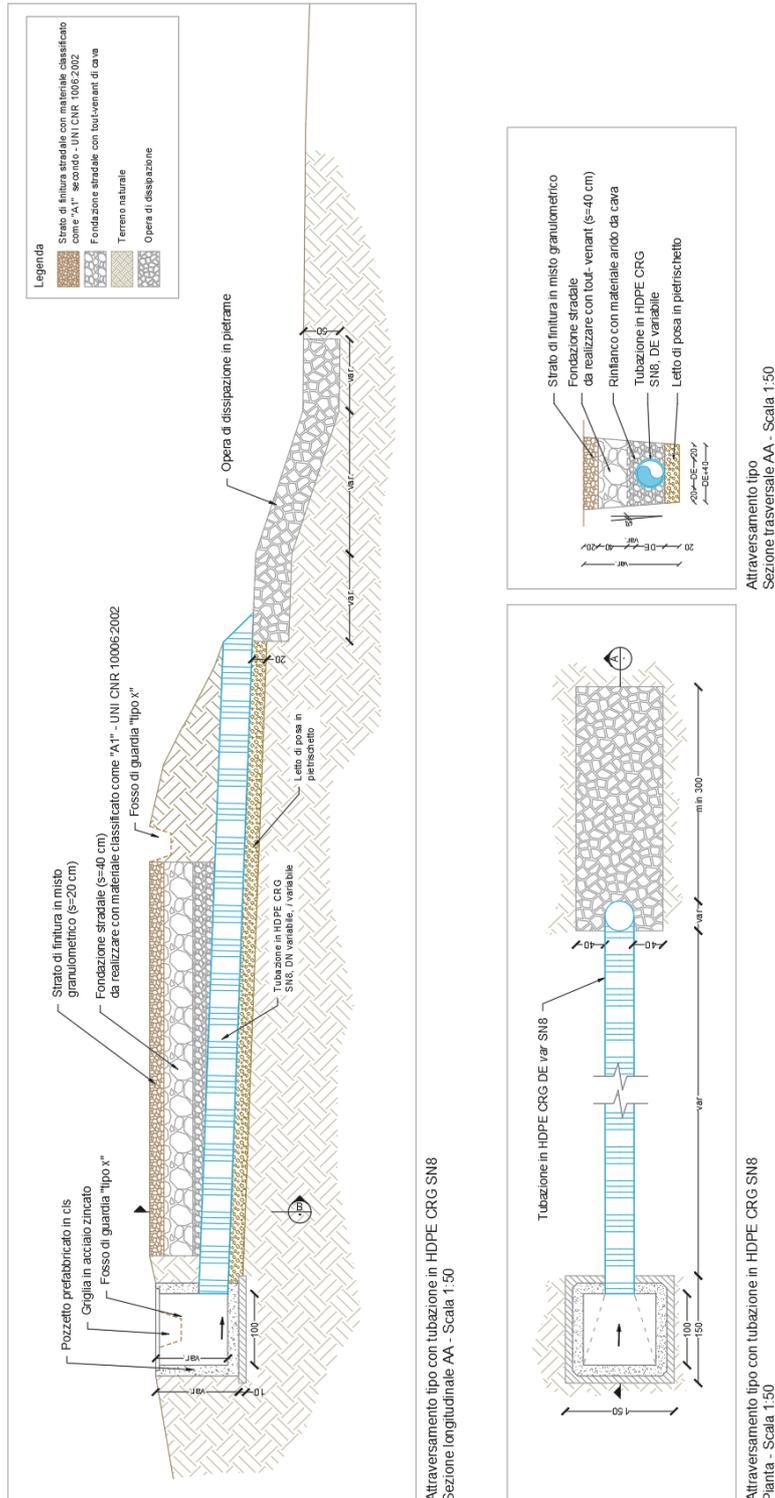


Figura 5.2- Sezioni longitudinali, trasversali e pianta dell'attraversamento tipo.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	33
CSV	EXE	REL	0004	00		

Attraversamenti “Tipo AT” in corrispondenza di impluvi: tale tipologia è necessaria per risolvere l'interferenza tra la viabilità e gli impluvi esistenti. Per il parco in esame sono stati necessari due attraversamenti di questa tipologia. Essi sono stati individuati e dimensionati nel paragrafo 6.3 e si rimanda agli elaborati grafici per i particolari costruttivi.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	34
CSV	EXE	REL	0004	00		

6. VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE

6.1. PRE-DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA

Il dimensionamento delle opere idrauliche è stato condotto in due differenti fasi: una prima fase di pre-dimensionamento e una seconda di verifica.

Nella fase di pre-dimensionamento è stata assegnata una sezione “tipo” a ciascuna opera idraulica, in funzione dell’orografia, della pendenza, delle necessità tecniche e della estensione delle superfici scolanti sottese alla sezione di scarico. Tale assegnazione è stata effettuata anche grazie a un grafico $Q(i)$ (Figura 6.1) nel quale, in funzione della superficie del bacino drenato (S) e della pendenza i del fosso di guardia, è possibile individuare la sezione tipo dell’opera idraulica da prevedere (dimensioni, caratteristiche del rivestimento e presenza di salti di fondo).

Per il caso in studio, tale grafico è stato definito tenendo in considerazione le caratteristiche dei bacini scolanti e la geometria dei fossi di guardia selezionati, ed è riportato in Figura 6.2.

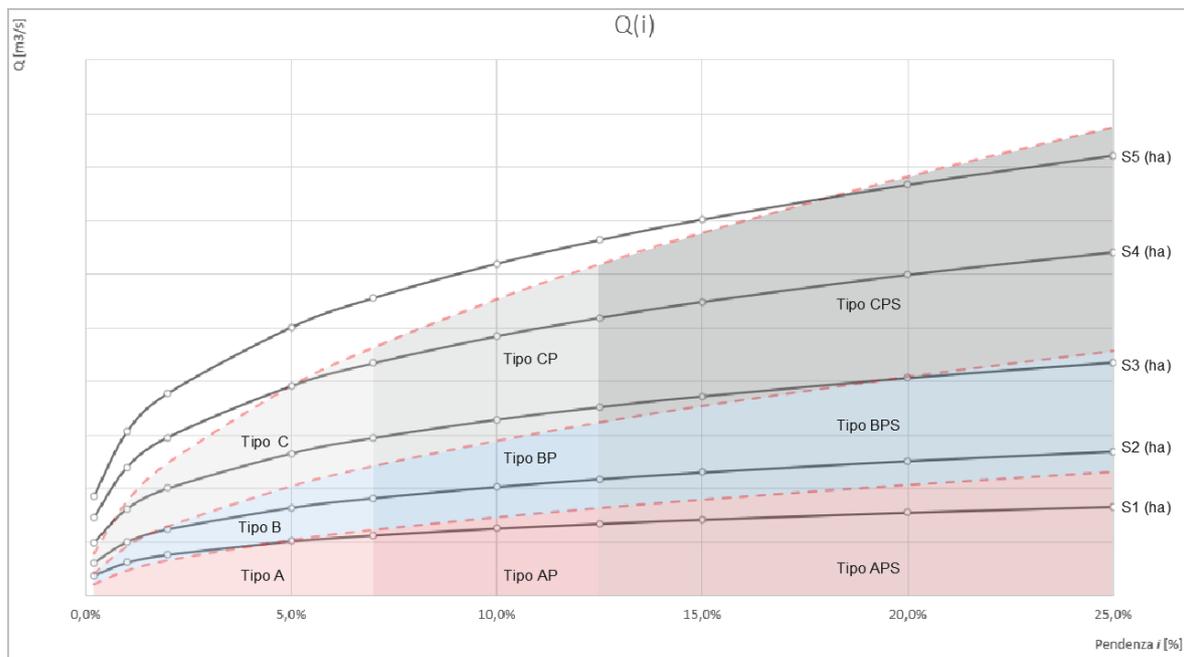


Figura 6.1- Tipologia di grafico $Q(i)$ con individuazione delle zone omogenee per il pre-dimensionamento dei fossi di guardia.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV.	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	35
CSV	EXE	REL	0004	00		

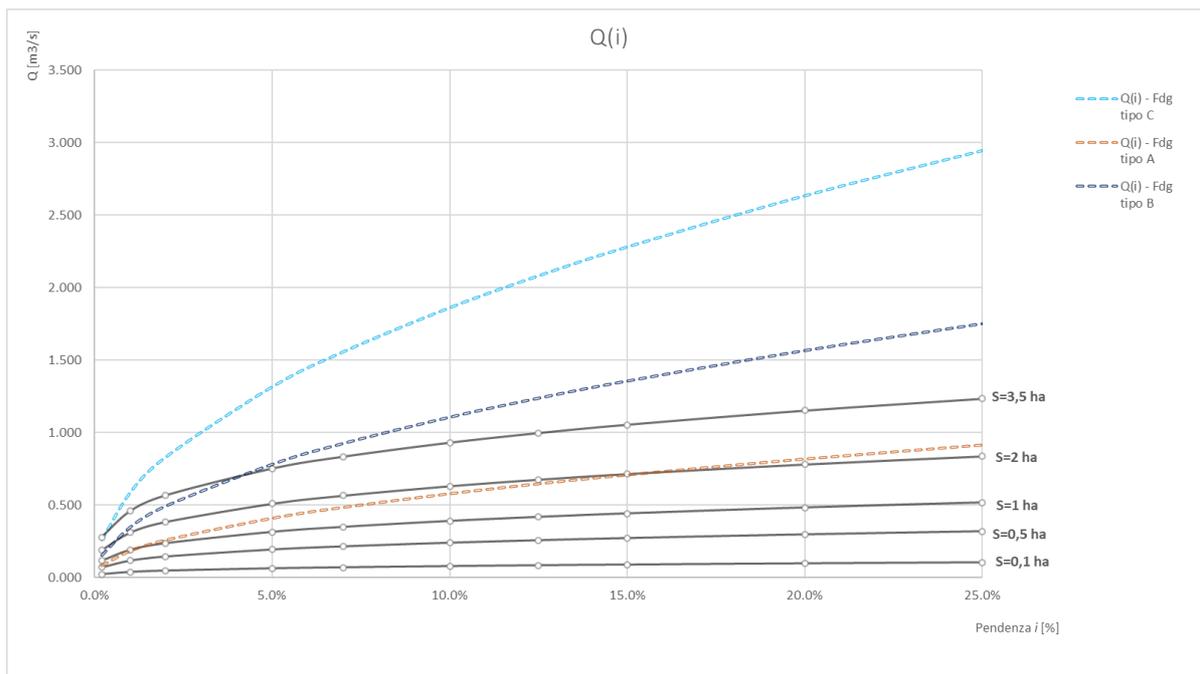


Figura 6.2- Definizione del grafico $Q(i)$ per il caso in studio, con riferimento ad un tempo di ritorno T pari a 30 anni.

6.2. VERIFICA FOSSI DI GUARDIA

La seconda fase prevede la verifica della capacità idraulica dei canali, prevedendo un franco minimo di 4 cm per ragioni di sicurezza. La verifica della capacità idraulica delle opere è stata effettuata in condizioni di moto uniforme, utilizzando la formula di Chezy:

$$Q = \chi \cdot A \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove:

- Q è la portata che defluisce nel fosso di guardia (m^3/s);
- χ è il coefficiente di scabrezza;
- A è l'area della sezione bagnata (in m^2);
- R è il raggio idraulico (in m), dato dal rapporto tra la sezione idrica e perimetro bagnato P ;
- i è la pendenza del canale.

Per il valore del coefficiente χ , si è scelto di usare la formula di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

in cui k_s è l'indice di scabrezza di *Gauckler-Strickler*, (in $m^{1/3} \cdot s^{-1}$); in questo caso l'espressione della scala delle portate di moto uniforme si semplifica, risultando particolarmente adeguata ai problemi di progetto:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	36
CSV	EXE	REL	0004	00		

$$Q = k_s \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

La scelta della formula per il calcolo del coefficiente χ ha un'importanza marginale rispetto alla possibilità di scegliere un valore adeguato dell'indice di scabrezza che vi figura; i valori sono stati desunti da Chow W.T. (*Applied hydrology*, 1988).

Per i fossi di guardia in terra è stato scelto un indice di scabrezza k_s pari a $37 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$ (corrispondente a canali in terra poco inerbiti).

Le verifiche sono risultate positive, rispettando gli opportuni franchi di sicurezza; le tipologie di opere idrauliche individuate in fase di pre-dimensionamento sono risultate aderenti alle necessità di controllo e di smaltimento delle acque meteoriche verso gli impluvi naturali del sito in esame⁵.

Di seguito, per ciascun bacino, si riporta una tabella di riepilogo con i seguenti elementi:

- Tipologia del fosso di guardia adottato;
- Bacino scolante;
- Tirante idrico h (m), sezione idrica A (m^2), contorno bagnato P (m), raggio idraulico R (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Pendenza i dell'opera idraulica (%)
- Portata di progetto per ciascuna opera $Q_{max,T}$ in m^3/s ;
- Velocità con cui defluisce la portata di progetto (m/s);
- Grado di riempimento del fosso di guardia, dato dal rapporto tra il tirante idrico di progetto e l'altezza della sezione;
- Franco (espresso in m) dato dalla differenza tra l'altezza della sezione ed il tirante corrispondente alla portata di progetto.

⁵ Si evidenzia che la scelta delle tipologie di opere, sia in termini di geometria che di materiali, non è legata ad un mero dimensionamento di tipo idraulico. Sono state tenute in considerazione infatti, anche se non direttamente esplicitate nei calcoli, caratteristiche come (i) l'interrimento fisiologico delle opere idrauliche (benché mantenute con regolarità), (ii) il carattere delle precipitazioni in accordo al *climate changing* (precipitazioni di notevole intensità e breve durata con tempi di ritorno elevati) e (iii) le dimensioni "minime" legate alle effettive funzioni alle quali le opere devono assolvere (indipendentemente, quindi, dal tirante idrico di moto uniforme derivante dal calcolo).

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICOCASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	37
CSV	EXE	REL	0004	00		

Caratteristiche del canale

Verifica/Progetto

Parametri di verifica

Tipologia sezione	Bacino scolante	Pendenza del canale, <i>i</i>	Portata di progetto, <i>Q_p</i>	Tirante idrico <i>h</i>	Area <i>A</i>	Perimetro bagnato <i>P</i>	Raggio idraulico <i>R</i>	Portata in condizioni di moto uniforme <i>Q_{max}</i>	Velocità <i>v</i>	Grado di riempimento <i>h/H</i>	Franco <i>f</i>
		[%]	[m ³ /s]								
A	BV1	4.41%	0.163	<u>0.20</u>	0.09	0.82	0.11	0.163	1.80	0.50	0.20
AP	BV2	11.15%	0.304	<u>0.26</u>	0.12	0.93	0.13	0.305	2.55	0.64	0.14
A	BV3	4.43%	0.200	<u>0.23</u>	0.11	0.88	0.12	0.200	1.90	0.58	0.17
B	BV4.1	1.80%	0.370	<u>0.38</u>	0.23	1.29	0.18	0.371	1.59	0.76	0.12
AP	BV4.2	9.77%	0.190	<u>0.20</u>	0.09	0.81	0.11	0.190	2.15	0.49	0.20
B	BV5	6.50%	0.487	<u>0.30</u>	0.18	1.13	0.16	0.488	2.75	0.60	0.20
AP	BV6.1	7.77%	0.253	<u>0.26</u>	0.12	0.93	0.13	0.253	2.13	0.64	0.14
C	BV6.2	0.57%	0.427	<u>0.52</u>	0.40	1.69	0.24	0.427	1.07	0.86	0.08
C	BV6.3	0.57%	0.312	<u>0.42</u>	0.32	1.50	0.21	0.312	0.99	0.71	0.18
BP	BV6.4	6.96%	0.602	<u>0.39</u>	0.24	1.30	0.18	0.602	2.54	0.77	0.11
A	BV7	5.51%	0.149	<u>0.18</u>	0.08	0.76	0.10	0.149	1.90	0.44	0.22
A	BV8	6.30%	0.287	<u>0.26</u>	0.12	0.94	0.13	0.287	2.37	0.65	0.14
A	BV9	5.96%	0.230	<u>0.23</u>	0.10	0.87	0.12	0.230	2.20	0.57	0.17
A	BV10	2.69%	0.160	<u>0.23</u>	0.11	0.88	0.12	0.160	1.49	0.59	0.17
A	BV11.1	4.35%	0.259	<u>0.27</u>	0.13	0.97	0.13	0.259	2.01	0.69	0.13
A	BV11.2	6.49%	0.167	<u>0.18</u>	0.08	0.77	0.10	0.167	2.08	0.45	0.22
C	BV12	5.42%	1.194	<u>0.49</u>	0.37	1.63	0.23	1.195	3.22	0.81	0.11
AP	BV13	7.15%	0.306	<u>0.30</u>	0.14	1.02	0.14	0.306	2.16	0.75	0.10
C	BV14.1	5.61%	0.580	<u>0.31</u>	0.21	1.24	0.17	0.581	2.71	0.51	0.29
A	BV14.2	3.60%	0.238	<u>0.28</u>	0.13	0.97	0.13	0.238	1.84	0.69	0.12
C	BV15.1	1.17%	0.375	<u>0.38</u>	0.28	1.40	0.20	0.376	1.35	0.64	0.22
B	BV15.2	1.00%	0.260	<u>0.37</u>	0.22	1.26	0.18	0.260	1.16	0.73	0.13
CP	BV16.1	9.47%	0.981	<u>0.41</u>	0.30	1.47	0.21	0.981	3.23	0.69	0.19
B	BV16.2	4.21%	0.486	<u>0.35</u>	0.21	1.22	0.17	0.487	2.34	0.69	0.15

6.3. VERIFICA ATTRAVERSAMENTI IN CORRISPONDENZA DEL RETICOLO IDROGRAFICO

Dall'analisi dell'interazione della nuova viabilità in progetto, dell'impianto Castelvetro, con il reticolo idrografico esistente è emersa la necessità di progettare due attraversamenti, denominati AT01 e AT02.

Per il dimensionamento di tale opera si fa riferimento al capitolo 6 del DSG 71/2022 "Approvazione delle Direttive per la verifica di compatibilità idraulica di ponti e attraversamenti".

Per dimensionare idraulicamente i nuovi attraversamenti dei corsi d'acqua si è quindi fatto riferimento al D.M. 17/01/2018 (NTC 2018) ed alla Circolare esplicativa del 11/02/2019 – Punto

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	38
CSV	EXE	REL	0004	00		

C5.1.2.3 “Compatibilità idraulica”.

I disposti normativi appena citati prevedono che il tombino abbia un tirante idrico, con riferimento ad evento con Tempo di ritorno pari a 200 anni, non superiore ai 2/3 dell'altezza della sezione, con un franco minimo pari a 0.5 m.

L'obiettivo è quello di dimostrare che l'attraversamento di natura idraulica non vada ad alterare le normali condizioni di deflusso del corso d'acqua, a seguito di azioni di tombinamento delle sezioni degli impluvi interessati.

Nel caso in esame, si prevede di realizzare due attraversamenti idrici con tubazione PEAD spiralata, a sezione circolare e con diametro pari a 1000 mm.



Figura 6.3- Attraversamento AT01.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	39
CSV	EXE	REL	0004	00		



Figura 6.4- Attraversamento AT02.

6.3.1 Caratteristiche del bacino e modello A/D

Nelle immagini seguenti sono riportati i bacini idrografici sottesi alla sezione del rispettivo attraversamento in progetto. Le principali caratteristiche dei bacini (estensione, perimetro, etc.) sono elencate nella Tabella al paragrafo 5.3.2.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	40
CSV	EXE	REL	0004	00		



Figura 6.5- Individuazione bacino idrografico sotteso alla sezione di attraversamento – B AT01.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	41
CSV	EXE	REL	0004	00		

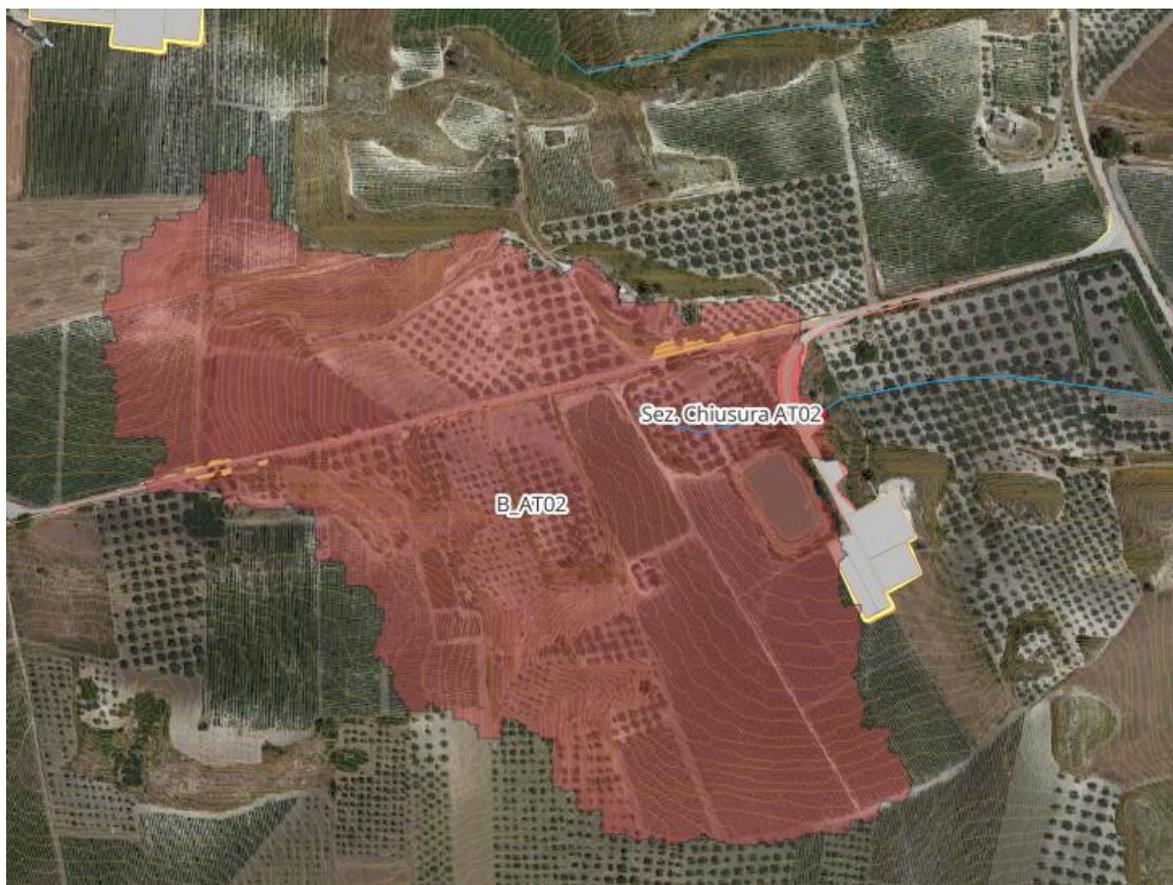


Figura 6.6- Individuazione bacino idrografico sotteso alla sezione di attraversamento – B AT02.

La portata di progetto, con riferimento ad un tempo di ritorno $T=200$ anni, è stata calcolata attraverso *metodi indiretti* (cfr. formula razionale, descritta adeguatamente nel capitolo 4).

6.3.2 Calcolo idraulico

Il dimensionamento delle sezioni di attraversamento consiste nel determinare le dimensioni da assegnare alle sezioni (nel caso specifico per entrambi gli attraversamenti una tubazione PEAD spiralata) in modo tale che la portata di progetto Q_T possa transitare con un tirante idrico h in grado di assicurare un adeguato franco di sicurezza.

Date le caratteristiche del materiale solido trasportato dalla corrente, per evitare il rischio di occlusione ed interrimento, si prevede un grado di riempimento massimo pari a 0,85h.

Noto il valore di portata di progetto, il dimensionamento è stato effettuato in condizioni di moto uniforme, utilizzando la formula di Chezy:

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	42
CSV	EXE	REL	0004	00		

$$Q = k_s \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

dove:

- Q è la portata di verifica (m³/s);
- χ è il coefficiente di scabrezza;
- A è l'area della sezione bagnata (in m²);
- R è il raggio idraulico (in m), dato dal rapporto tra la sezione idrica e perimetro bagnato P;
- i è la pendenza dell'attraversamento nel tratto di interesse.

Per la determinazione del valore del coefficiente χ , si è scelto di usare la formula di Gauckler-Strickler:

$$\chi = k_s \cdot R^{\frac{1}{6}}$$

in cui k_s è l'indice di scabrezza di Gauckler - Strickler (in m^{1/3}·s⁻¹); in questo caso l'espressione della scala delle portate di moto uniforme si semplifica, risultando particolarmente adeguata ai problemi di progetto:

$$Q = k_s \cdot A \cdot i^{\frac{1}{2}} \cdot R^{\frac{2}{3}}$$

La scelta della formula per il calcolo del coefficiente χ ha un'importanza marginale rispetto alla possibilità di scegliere un valore adeguato dell'indice di scabrezza che vi figura.

Per entrambe le tubazioni utilizzate è stato scelto un indice di scabrezza k_s pari a 100 m^{1/3}·s⁻¹, come indicato dai costruttori ed in modo coerente con Chow W.T. (*Applied hydrology*, 1988).

Per ciascun attraversamento, nelle tabelle dei paragrafi successivi, sono riportati i seguenti valori:

- Descrizione della condotta;
- Diametro (m);
- Pendenza i [%];
- Tirante idrico h (m), sezione idrica A (m²), contorno bagnato P (m), raggio idraulico R (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Portata di progetto Q_p in m³/s;

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	43
CSV	EXE	REL	0004	00		

- *Velocità v* con cui defluisce la portata di progetto (m/s);
- *Grado di riempimento h/D* , dato dal rapporto tra il tirante idrico di progetto e il diametro della sezione circolare;
- *Franco* (espresso in m) dato dalla differenza tra il diametro interno della condotta ed il tirante idrico corrispondente alla portata di progetto;
- *Scala delle portate di moto uniforme.*

6.3.2.1 ATTRAVERSAMENTO AT01

Caratteristiche della sezione

Tipologia sezione	Circolare PEAD Spiralato	
Diametro, D	1000	[mm]
	1.00	[m]
Coefficiente di scabrezza di Strickler ks	100	[m ^{1/3} /s]
Pendenza, i	11.09%	[%]

Verifica/Progetto

Portata di progetto, Q_p	4.56	[m ³ /s]
Tirante idrico, h	<u>0.46</u>	[m]
α	3.00	[rad]
Area, A	0.36	[m ²]
Perimetro bagnato, P	1.50	[m]
Raggio idraulico, R	0.24	[m]
Portata in condizioni di moto uniforme Q_{max}	4.56	[m ³ /s]
Velocità	12.79	[m/s]
Grado di riempimento, h/D	0.46	[-]
Grado di riempimento, 2/3 h/r	0.62	
Franco f	0.54	[m]

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	44
CSV	EXE	REL	0004	00		

Scala delle portate di moto uniforme

α (grad)	α (rad)	h (m)	h/D	A(m ²)	P(m)	R(m)	Q [m ³ /s]	V (m/s)
20	0.35	0.01	1%	0.00	0.17	0.01	0.001	0.980
40	0.70	0.03	3%	0.01	0.35	0.02	0.017	2.439
60	1.05	0.07	7%	0.02	0.52	0.04	0.093	4.104
80	1.40	0.12	12%	0.05	0.70	0.07	0.301	5.853
100	1.75	0.18	18%	0.10	0.87	0.11	0.722	7.597
120	2.09	0.25	25%	0.15	1.05	0.15	1.422	9.261
140	2.44	0.33	33%	0.23	1.22	0.18	2.427	10.783
160	2.79	0.41	41%	0.31	1.40	0.22	3.711	12.115
180	3.14	0.50	50%	0.39	1.57	0.25	5.190	13.217
200	3.49	0.59	59%	0.48	1.75	0.27	6.739	14.067
220	3.84	0.67	67%	0.56	1.92	0.29	8.211	14.654
240	4.19	0.75	75%	0.63	2.09	0.30	9.466	14.981
260	4.54	0.82	82%	0.69	2.27	0.30	10.401	15.066
280	4.89	0.88	88%	0.73	2.44	0.30	10.964	14.938
300	5.24	0.93	93%	0.76	2.62	0.29	11.164	14.637
320	5.59	0.97	97%	0.78	2.79	0.28	11.064	14.213
340	5.93	0.99	99%	0.78	2.97	0.26	10.764	13.720
360	6.28	1.00	100%	0.79	3.14	0.25	10.381	13.217

Tabella 6.1- Calcolo della relazione $Q(h)$ per la sezione in progetto.

Nella tabella precedente sono riportati i seguenti elementi:

- *tirante idrico* h (m);
- *portata totale* Q_{tot} [m³/s] convogliata complessivamente dalla sezione al variare di h;
- *velocità* con cui defluisce la portata Q_{tot} (m/s);
- *grado di riempimento* h/D della sezione, dato dal rapporto tra il tirante idrico h e il diametro della tubazione.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	45
CSV	EXE	REL	0004	00		



Figura 6.7- Scala delle portate di moto uniforme per la sezione PEAD spiralata a sezione circolare.

Come si evince dalla scala delle portate, la portata di progetto $Q = 4,56 \text{ m}^3/\text{s}$ viene convogliata con un tirante pari a 0,46 m, corrispondente ad un grado di riempimento del 46 %.

La verifica è stata pertanto soddisfatta rispettando oltre che il tirante di progetto (minore dei 2/3 di quello massimo ammissibile) anche i valori di velocità, compatibili con quelli in condizione *ante-operam*.

La sezione così dimensionata risulta essere idraulicamente sufficiente.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	46
CSV	EXE	REL	0004	00		

6.3.2.2 ATTRAVERSAMENTO AT02

Caratteristiche della sezione

Tipologia sezione	Circolare PEAD Spiralato	
Diametro, D	1000	[mm]
	1.00	[m]
Coefficiente di scabrezza di Strickler ks	100	[m ^{1/3} /s]
Pendenza, i	12.11%	[%]

Verifica/Progetto

Portata di progetto, Q_p	4.89	[m ³ /s]
Tirante idrico, h	<u>0.47</u>	[m]
α	3.02	[rad]
Area, A	0.36	[m ²]
Perimetro bagnato, P	1.51	[m]
Raggio idraulico, R	0.24	[m]
Portata in condizioni di moto uniforme Q_{max}	4.89	[m ³ /s]
Velocità	13.45	[m/s]
Grado di riempimento, h/D	0.47	[-]
Grado di riempimento, 2/3 h/r	0.63	
Franco f	0.53	[m]

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	47
CSV	EXE	REL	0004	00		

Scala delle portate di moto uniforme

α (grad)	α (rad)	h (m)	h/D	A(m ²)	P(m)	R(m)	Q [m ³ /s]	V (m/s)
20	0.35	0.01	1%	0.00	0.17	0.01	0.001	1.024
40	0.70	0.03	3%	0.01	0.35	0.02	0.018	2.548
60	1.05	0.07	7%	0.02	0.52	0.04	0.097	4.288
80	1.40	0.12	12%	0.05	0.70	0.07	0.315	6.115
100	1.75	0.18	18%	0.10	0.87	0.11	0.755	7.937
120	2.09	0.25	25%	0.15	1.05	0.15	1.486	9.676
140	2.44	0.33	33%	0.23	1.22	0.18	2.536	11.267
160	2.79	0.41	41%	0.31	1.40	0.22	3.877	12.657
180	3.14	0.50	50%	0.39	1.57	0.25	5.423	13.809
200	3.49	0.59	59%	0.48	1.75	0.27	7.041	14.697
220	3.84	0.67	67%	0.56	1.92	0.29	8.579	15.310
240	4.19	0.75	75%	0.63	2.09	0.30	9.890	15.652
260	4.54	0.82	82%	0.69	2.27	0.30	10.867	15.741
280	4.89	0.88	88%	0.73	2.44	0.30	11.455	15.607
300	5.24	0.93	93%	0.76	2.62	0.29	11.665	15.293
320	5.59	0.97	97%	0.78	2.79	0.28	11.560	14.849
340	5.93	0.99	99%	0.78	2.97	0.26	11.246	14.335
360	6.28	1.00	100%	0.79	3.14	0.25	10.846	13.809

Tabella 6.2- Calcolo della relazione $Q(h)$ per la sezione in progetto.

Nella tabella precedente sono riportati i seguenti elementi:

- *tirante idrico* h (m);
- *portata totale* Q_{tot} [m³/s] convogliata complessivamente dalla sezione al variare di h;
- *velocità* con cui defluisce la portata Q_{tot} (m/s);
- *grado di riempimento* h/D della sezione, dato dal rapporto tra il tirante idrico h e il diametro della tubazione.

CODICE COMMITTENTE					OGGETTO DELL'ELABORATO	PAGINA
IMP.	DISC.	TIPO DOC.	PROGR.	REV	POTENZIAMENTO PARCO EOLICO CASTELVETRANO RELAZIONE IDRAULICA	48
CSV	EXE	REL	0004	00		

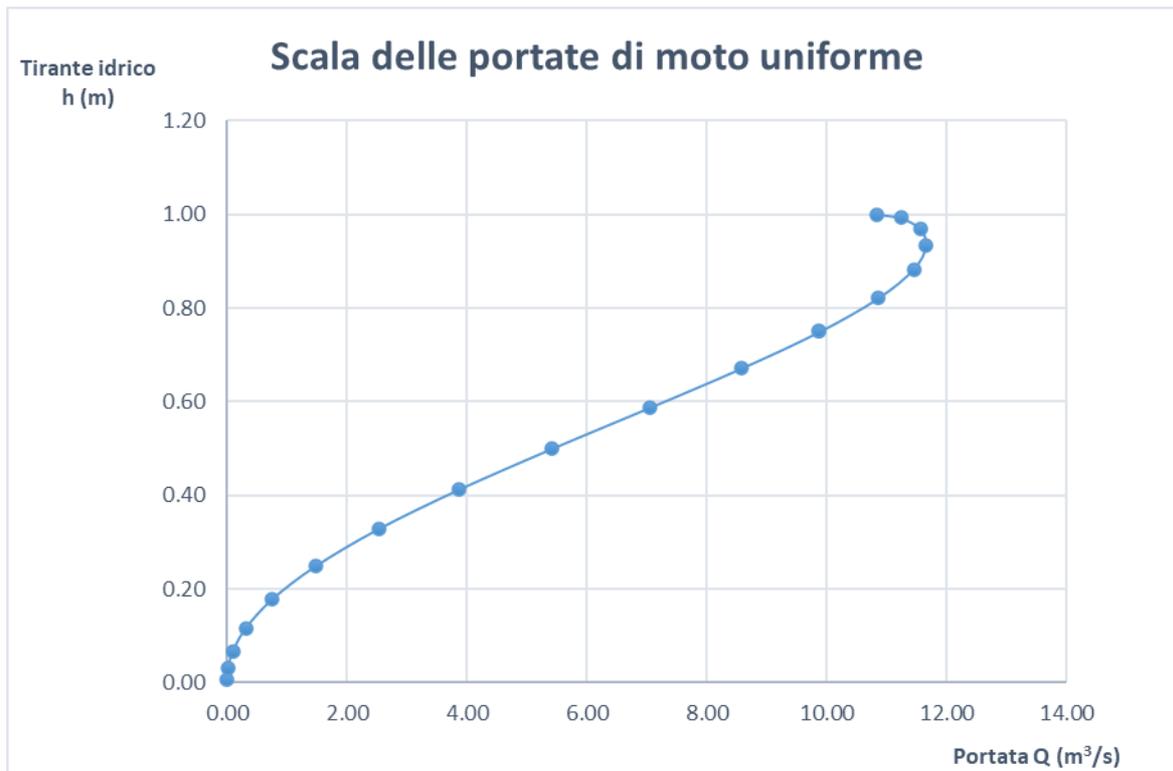


Figura 6.8- Scala delle portate di moto uniforme per la sezione PEAD spiralata a sezione circolare.

Come si evince dalla scala delle portate, la portata di progetto $Q = 4,89 \text{ m}^3/\text{s}$ viene convogliata con un tirante pari a 0,47 m, corrispondente ad un grado di riempimento del 47 %.

La verifica è stata pertanto soddisfatta rispettando oltre che il tirante di progetto (minore dei 2/3 di quello massimo ammissibile) anche i valori di velocità, compatibili con quelli in condizione *ante-operam*.

La sezione così dimensionata risulta essere idraulicamente sufficiente.