

**REGIONE SICILIA**  
**Provincia di Trapani**  
**COMUNE DI MAZARA DEL VALLO**

**PROGETTO**

**IMPIANTO EOLICO " RACASALE" NEL COMUNE DI MAZARA DEL VALLO (TP) DI POTENZA PARI A 37,2 MW E RELATIVE OPERE DI CONNESSIONE ALLA RTN**



**PROGETTO DEFINITIVO**

**COMMITTENTE**

**LIMES 22 S.r.l.**

Via Giuseppe Giardina 22 - 96018 Pachino (SR), Italia  
Tel. +39 0236516713



**LIMES**  
RENEWABLE ENERGY

**SVILUPPATORE**

**IBS ENERGY S.r.l.**

Via Sardegna, 32, 20146, Milano-Italia  
Tel. +39 348 -info@ibsenergy.it



**PROGETTISTA**



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



**OGGETTO DELL'ELABORATO**

**RELAZIONE IDROLOGICA E IDRAULICA**

REV.	DATA	ATTIVITA'	REDATTO	VERIFICATO	APROVATO
0	Agosto 2023	PRIMA EMISSIONE	VC	MG	EG

CODICE PROGETTISTA	DATA	SCALA	FORMATO	FOGLIO	CODICE COMMITTENTE
REC-PD-R16	Agosto 2023	/	A4	1 di 35	

NOME FILE: REC-PD-R16\_Relazione Idrologica e idraulica.dwg

LIMES 22 S.r.l. si riserva tutti i diritti su questo documento che non può essere riprodotto neppure parzialmente senza la sua autorizzazione scritta.

## INDICE

<b>INDICE</b> .....	<b>2</b>
<b>1   PREMESSA</b> .....	<b>3</b>
<b>2   INQUADRAMENTO TERRITORIALE</b> .....	<b>5</b>
2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI .....	5
<b>3   PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE</b> .....	<b>10</b>
3.1 APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE.....	10
3.2 INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO .....	11
3.3 OPERE IDRAULICHE .....	12
<b>4   INFORMAZIONE IDROLOGICA</b> .....	<b>16</b>
4.1 METODO TCEV SICILIA.....	16
4.2 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO.....	20
4.3 CALCOLO DELLA C.P.P. ....	20
4.4 PIOGGE BREVI .....	22
4.5 SUPERFICI DI INFLUENZA .....	22
<b>5   MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI</b> .....	<b>23</b>
5.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA .....	23
5.2 IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO.....	24
5.3 IL CALCOLO DELLE PORTATE .....	25
<b>6   VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE</b> .....	<b>27</b>
6.1 PRE-DIMENSIONAMENTO .....	27
6.2 VERIFICA.....	28
<b>7   PROGETTO ATTRAVERSAMENTI</b> .....	<b>31</b>
7.1 CALCOLO IDRAULICO.....	31
7.1.1 <i>Tabulati di calcolo attraversamenti idraulici</i> .....	32

## 1 PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata, dalla società Limes 22 S.r.l., di redigere il progetto definitivo relativo alla costruzione di un parco eolico, composto da n. 6 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,20 MW, per una potenza complessiva di 37,20 MW, da ubicarsi in località “Racasale” del Comune di Mazara del Vallo (TP).

Il modello tipo di aerogeneratore scelto avrà potenza nominale di 6,2 MW con altezza mozzo pari a 115 m, diametro rotore pari a 170 m e altezza massima al top della pala pari a 200 m. Questa tipologia di aerogeneratore è allo stato attuale quella ritenuta più idonea per il sito di progetto dell’impianto.

Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori ricadono nelle contrade Racasale (WTG01-WTG02), Fontanelle Racasale (WTG03-WTG04), Trinità (WTG05) e Berlingieri (WTG06) nel comune di Mazara del Vallo in provincia di Trapani

I terreni sui quali si intende realizzare l’impianto sono tutti di proprietà privata ed a destinazione agricola. Il territorio è caratterizzato da un’orografia prevalentemente collinare, le posizioni delle macchine vanno da un’altitudine di 50.00 m. slm. a 110,00 m. slm.

Oltre che degli aerogeneratori, il progetto si compone dei seguenti elementi:

- un elettrodotto interrato con cavi a 36 kV, di collegamento tra gli aerogeneratori;
- un edificio di consegna;
- Stazione satellite per l’ampliamento a 36 kV della Stazione Elettrica di Terna 220 “Partanna 3” (progetto in capo ad un altro proponente).
- Nuova stazione RTN di smistamento a 220 KV “Partanna 3” da inserire in entra-esce sulla linea RTN 220 KV “Fulgatore-Partanna” (progetto in capo ad un altro proponente autorizzato in PAUR con D.A. n. 156 /GAB del 28/06/2022);
- 2 raccordi in entra-esce a 220 kV fra la suddetta SE RTN “Partanna 3” e la 220 kV “Fulgatore-Partanna” progetto in capo ad un altro proponente autorizzato in PAUR con D.A. n. 156 /GAB del 28/06/2022);
- Nuovo elettrodotto di RTN a 220 kV di collegamento fra la nuova SE “Partanna 3” e la esistente SE RTN 220 kV Partanna (progetto in capo ad un altro proponente autorizzato in PAUR con D.A. n. 156 /GAB del 28/06/2022);
- Ampliamento della esistente SE RTN 220 KV Partanna con nuovo montante a 220 KV (progetto in capo ad un altro proponente autorizzato in PAUR con D.A. n. 156 /GAB del 28/06/2022).
- Nuovo elettrodotto di RTN a 220 kV di collegamento fra la SE “Partanna 2” e la futura SE RTN 220 kV Partanna 3 (progetto in capo ad un altro);
- Un nuovo elettrodotto RTN a 220 kV di collegamento della SE “Partanna 2” con la stazione 220/150 kV di Fulgatore, previo ampliamento della stessa (progetto in capo

ad un altro proponente).

- Stazione satellite per l'ampliamento a 36 kV della Stazione Elettrica di Terna 220/150KV "Fulgatore" (progetto in capo ad un altro proponente).

Il presente documento si propone di fornire una descrizione tecnica del Progetto definitivo dell'impianto eolico, volto al rilascio da parte delle Autorità competenti, delle autorizzazioni e concessioni necessarie alla sua realizzazione in merito alle opere idrauliche di parco.

La relazione in oggetto, oltre il presente capitolo, è composta da ulteriori n°6 capitoli, di cui di seguito un breve riepilogo:

- *Capitolo 2 – Inquadramento territoriale:* riporta le informazioni necessarie per l'individuazione cartografica del sito.
- *Capitolo 3 – Progetto delle opere idrauliche:* illustra i criteri e le linee guida utilizzate per gli interventi in progetto e descrive le opere idrauliche previste.
- *Capitolo 4 – Informazione idrologica:* analisi dei dati esistenti per la stima della curva di probabilità pluviometrica di progetto;
- *Capitolo 5 – Modello afflussi-deflussi:* calcolo delle portate di progetto.
- *Capitolo 6 – Verifica delle opere progettate:* il capitolo fornisce la descrizione dei calcoli effettuati per il dimensionamento delle opere idrauliche (canalizzazioni).
- *Capitolo 7– Progetto attraversamenti:* il capitolo fornisce la descrizione della progettazione in verifica degli attraversamenti di parco.

## 2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

### 2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI

Le aree interessate dal posizionamento degli aerogeneratori in numero di sei ricadono nelle Racasale (WTG01-WTG02), Fontanelle Racasale (WTG03-WTG04), Trinità (WTG05) e Berlingieri (WTG06) nel comune di Mazara del Vallo in provincia di Trapani

Di seguito cartografie e fogli di mappa catastali interessati dalle opere:

IGM 25 K:

- 257\_II\_SO-Castelvetrano
- 257\_III\_SE-Borgata Costiera
- 265\_I\_NO-Campobello di Mazara
- 265\_IV\_NE-Mazara del Vallo

CTR 10K:

- 618090
- 618100

Catastali

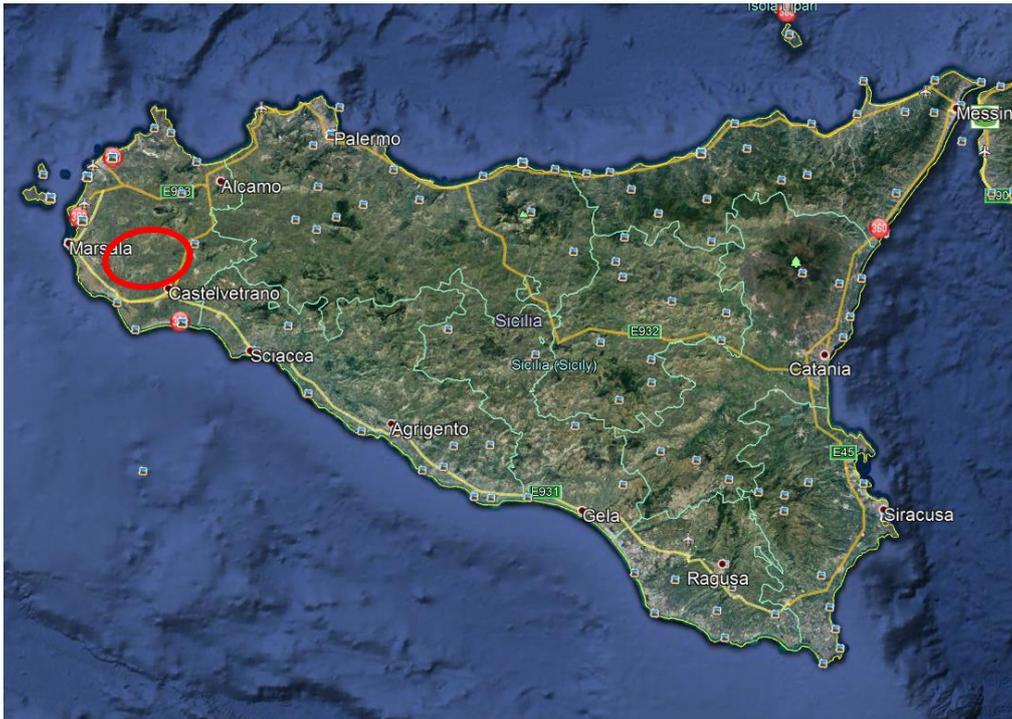
Comune di Mazara del Vallo fogli:

- 145, 147, 148, 166, 167, 182, 183, 184, 207.

Di seguito le coordinate assolute nel sistema UTM 33 WGS84 degli aerogeneratori:

WTG	EST	NORD	Quota m. slm	Riferimenti catastali
WTG - 01	298584.99	4171248.12	53,60	Mazara del Vallo, Foglio 166, p.lle: 401, 431, 433
WTG - 02	298904.59	4170715.98	57,90	Mazara del Vallo, Foglio 166, p.lla: 320
WTG - 03	300310.63	4170485.16	107,10	Mazara del Vallo, Foglio 167, p.lla: 218
WTG - 04	300602.69	4170922.43	108,15	Mazara del Vallo, Foglio 167, p.lla: 140
WTG - 05	299949.26	4171751.10	98,60	Mazara del Vallo, Foglio 148, p.lla: 101
WTG - 06	299306.14	4171788.45	58,50	Mazara del Vallo, Foglio 147, p.lla: 150, 428, 429

*Coordinate aerogeneratori nel sistema UTM 33 WGS84*



*Fig.1 Ubicazione area di impianto da satellite*

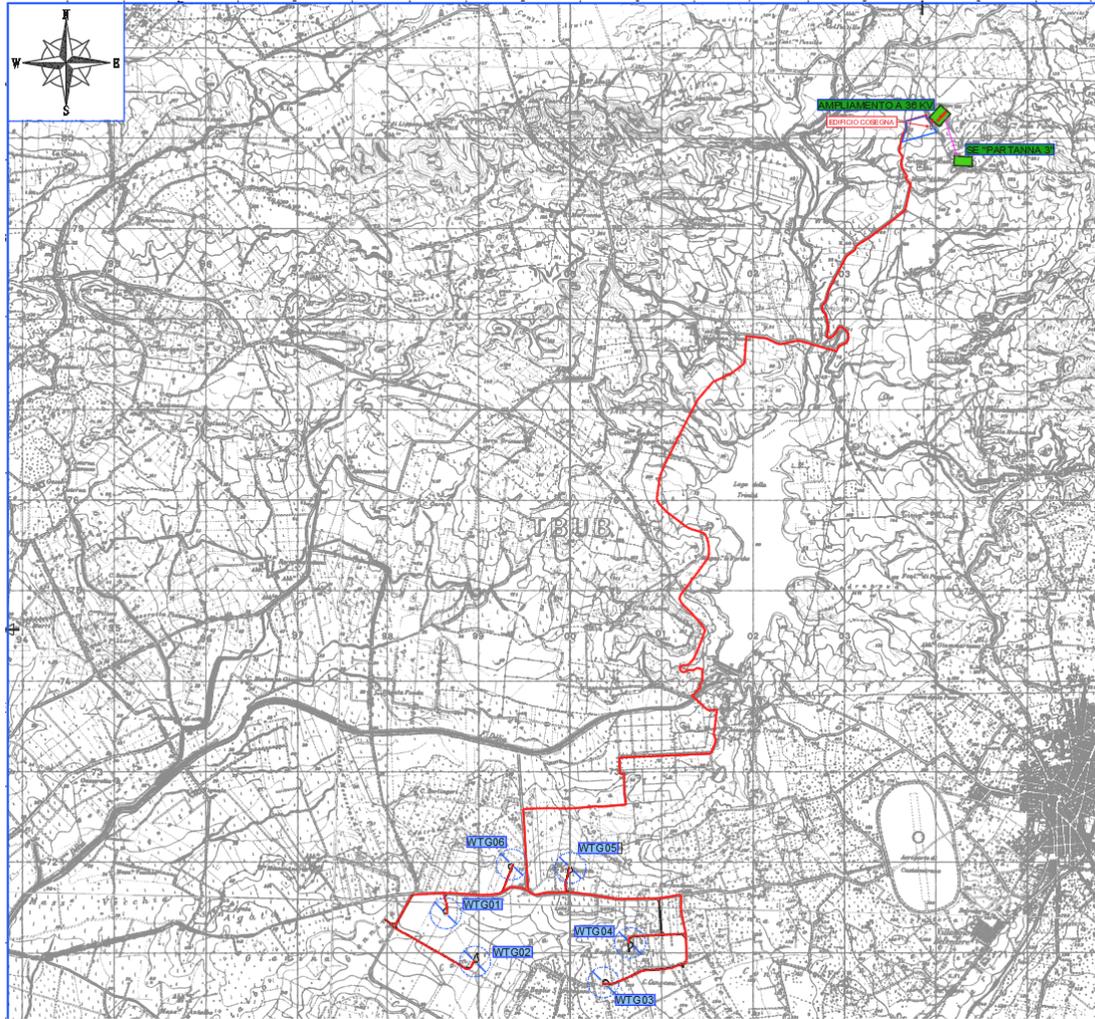


Fig. 2 Inquadramento impianto su IGM 1:25.000

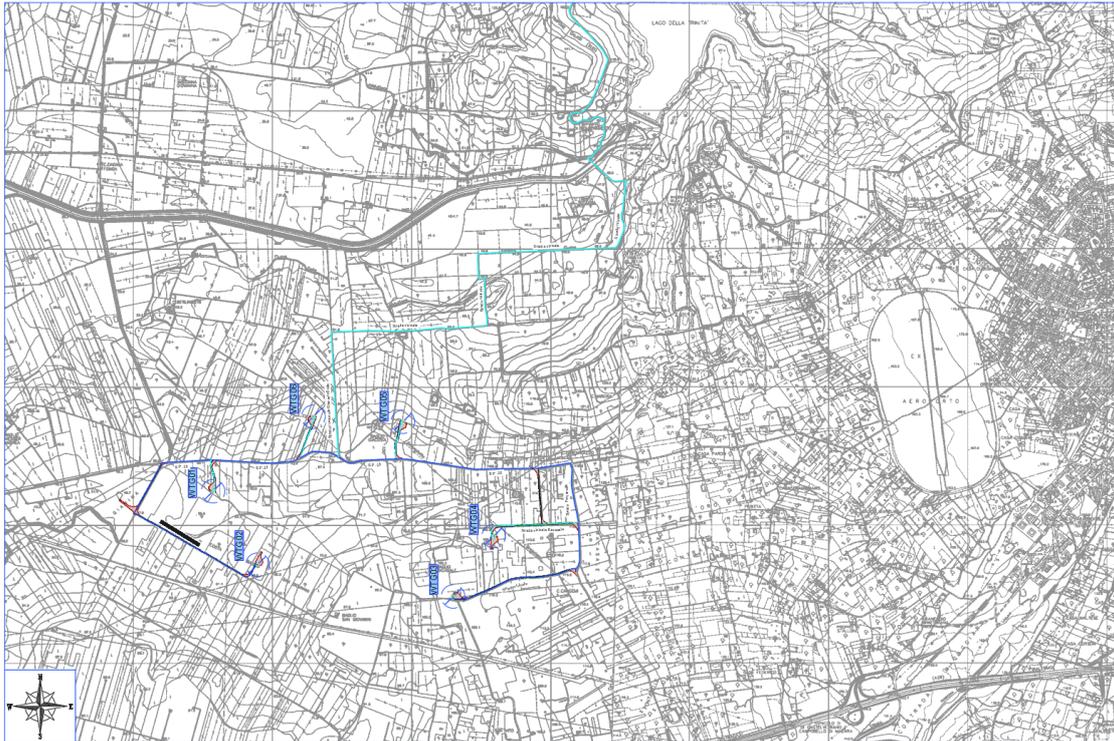


Fig.3 Inquadramento impianto su CTR 1:10.000

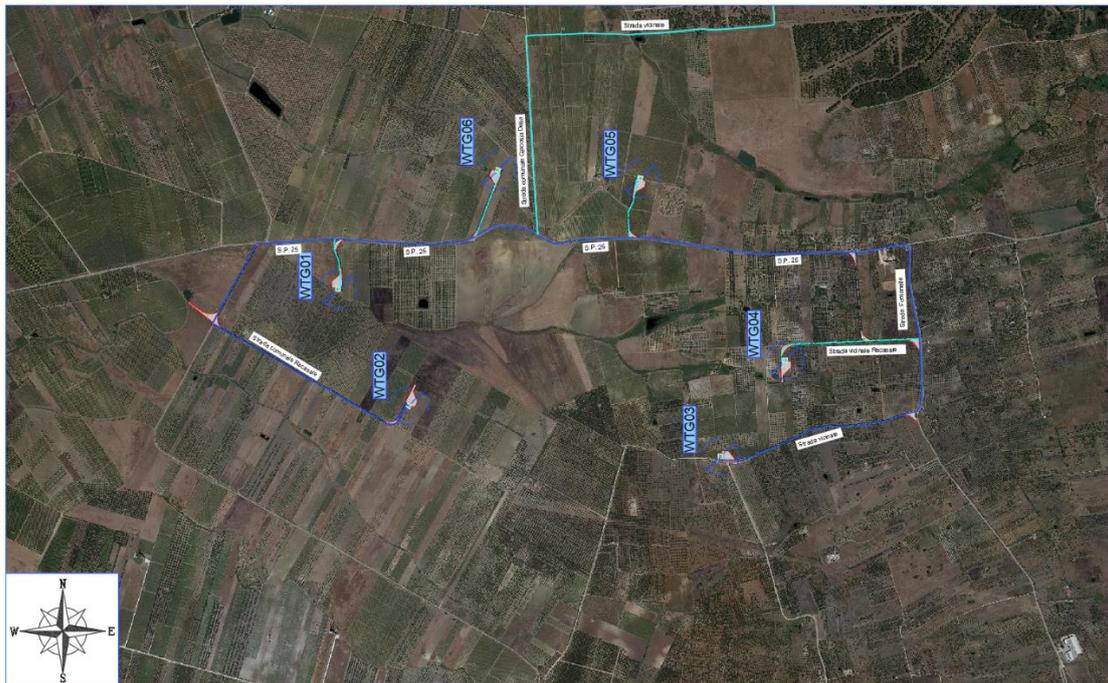


Fig.4 Inquadramento impianto su ortofoto

La scelta di potenziare l'impianto esistente discende da una approfondita analisi di

producibilità, nonché dall’attenzione che la Società proponente riservano per l’ambiente. Ci si riferisce, in particolare, allo sfruttamento massimo delle aree già interessate dalla presenza del parco eolico esistenti e della viabilità e dei servizi ausiliari esistenti, a servizio del parco tuttora in esercizio, che verranno semplicemente adeguati al passaggio dei mezzi di trasporto eccezionali.

### 3 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

#### 3.1 APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

La durabilità delle strade e delle piazzole del “Parco eolico Reacasale” 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 i 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, in accordo alla normativa vigente in materia D.D.G. 102 2021.
- **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 dal DTM con maglia 2 m (prodotto dalla Regione Sicilia) 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.

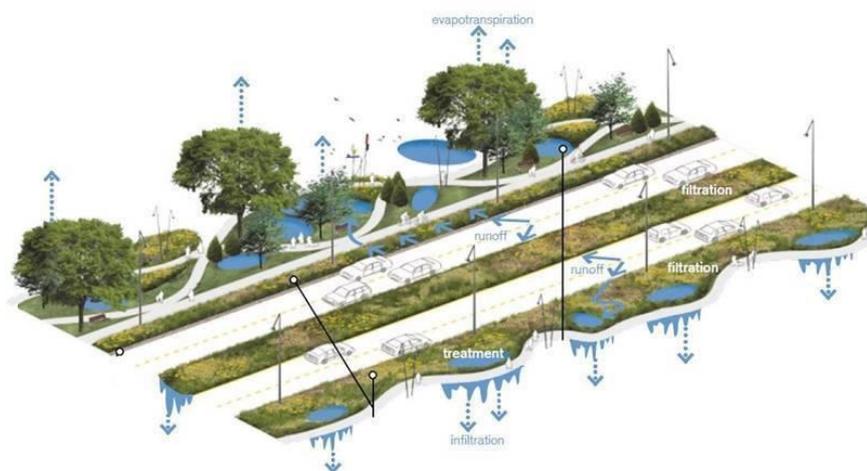


Figura 3.1- Esempio progettazione stradale in ottica SuDS (Sustainable Drainage Systems), ripensata secondo i principi di invarianza idraulica. Fonte: Huber, J., 2010. *Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas.*

### 3.2 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 (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 interventi<sup>1</sup>.
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,  $\Delta Q$ , 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 orografiche<sup>2</sup>.

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 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

---

<sup>1</sup> Per effetto della presenza di misto stabilizzato compattato, utilizzato come strato di finitura per la nuova viabilità, e le piazzole il coefficiente di afflusso  $\phi_p$  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.**

<sup>2</sup> Si evidenzia che tali scarichi delle acque meteoriche negli impluvi naturali sono di modesta entità in riferimento agli apporti dell'intero bacino scolante.

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 scopo, nell'elaborato grafico REC-PD-T50, facente parte del presente progetto definitivo, è riportata una planimetria con l'individuazione dei punti di scarico, dei bacini idrografici interessati dalle opere 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.

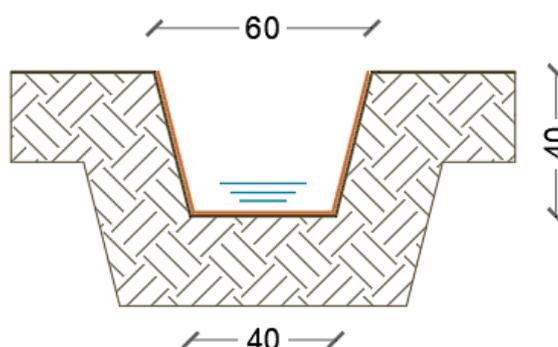
### 3.3 OPERE IDRAULICHE

Le opere idrauliche previste in progetto sono di seguito elencate; per i particolari costruttivi ed ulteriori dettagli si rinvia agli elaborati grafici dedicati.

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

*Sezione trapezia*

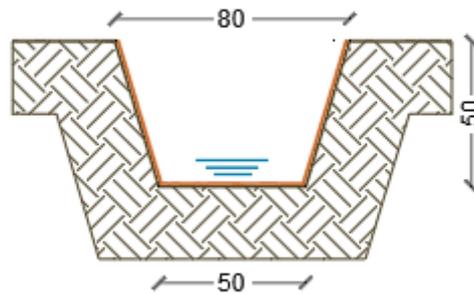
Larghezza base [m]	0,40
Larghezza in superficie [m]	0,60
Altezza [m]	0,40



**Fosso di guardia “Tipo B”**, in terra, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

*Sezione trapezia*

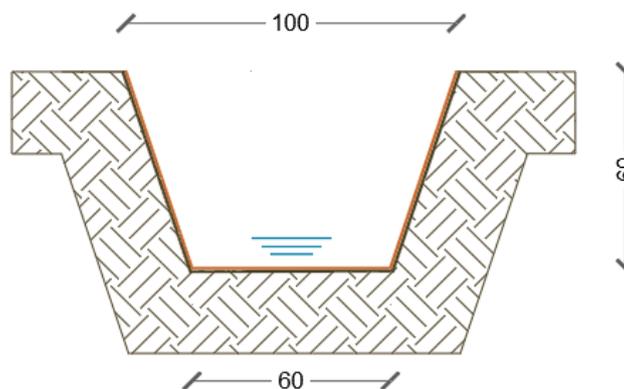
Larghezza base [m]	0,50
Larghezza in superficie [m]	0,80
Altezza [m]	0,50



**Fosso di guardia “Tipo C”**, in terra, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

*Sezione trapezia*

Larghezza base [m]	0,60
Larghezza in superficie [m]	1,00
Altezza [m]	0,60

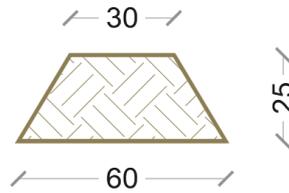


**Opere di dissipazione:** tali opere sono poste al termine degli scarichi, in modo tale da ridurre l'energia della corrente idrica reimpressa negli impluvi naturali e limitare quindi l'erosione dei versanti. Sono previste opere di dissipazione con pietrame di grandi dimensioni ( $D > 40$  cm), con differente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

**Arginelli in terra** aventi le seguenti caratteristiche geometriche:

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.

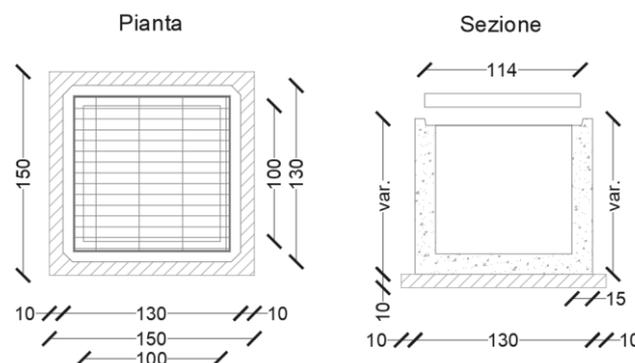
Gli attraversamenti sono realizzati con tubazioni in HDPE CRG SN8 (DE 700) e PEAD Spiralato Circolare (DN 1500) e prevedono (i) *in ingresso* un pozzetto per ispezione e raccordo con il fosso di guardia ed (ii) *in uscita* lo scarico diretto presso gli impluvi esistenti (od un altro pozzetto), previa opera di dissipazione in pietrame.

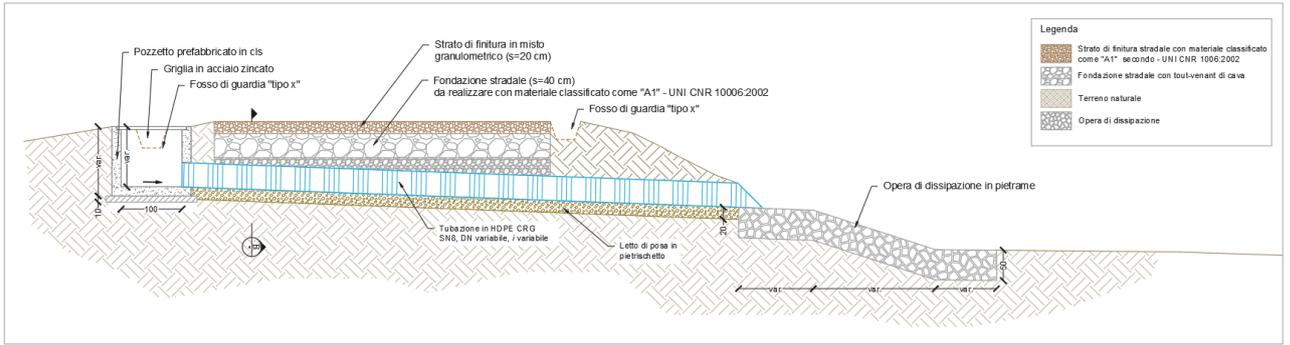
Di seguito (Figura 3.2) si riportano le sezioni longitudinali e trasversali dell’*attraversamento tipo* ed una pianta dello stesso attraversamento.

**Attraversamenti “Tipo AT” in corrispondenza di interferenze con reticolo idrografico:**

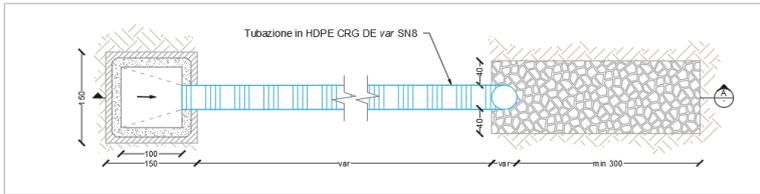
tale tipologia è necessaria per risolvere l’interferenza tra la viabilità e il reticolo idrografico esistente. Gli attraversamenti sono realizzati, tubazione in HDPE CRG SN8 e PEAD Spiralato circolare. Per maggiori dettagli si rimanda ai paragrafi successivi sugli attraversamenti e agli elaborati grafici REC-PD-T50 e REC-PD-T51.

**Pozzetti in cls prefabbricato,** aventi dimensioni interne 100x100 cm e spessore delle pareti pari a 0,15 m; l’altezza sarà variabile in funzione delle peculiarità delle quote dei fossi di guardia (o delle tubazioni in HDPE CRG/ PEAD Spiralato) in ingresso e uscita.

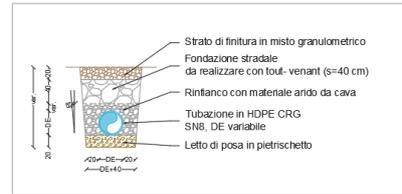




Attraversamento tipo con tubazione in HDPE CRG SN8  
Sezione longitudinale AA - Scala 1:50



Attraversamento tipo con tubazione in HDPE CRG SN8  
Pianta - Scala 1:50



Attraversamento tipo  
Sezione trasversale AA - Scala 1:50

Figura 3.2- Sezioni longitudinali, trasversali e pianta dell'attraversamento tipo.

## 4 INFORMAZIONE IDROLOGICA

Il presente capitolo ha l'obiettivo di definire la curva di probabilità pluviometrica necessaria alla progettazione delle opere idrauliche a servizio della viabilità e delle piazzole del parco eolico denominato “Reacasale”.

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 oggetto, 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.

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).

### 4.1 METODO TCEV SICILIA

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<sup>3</sup>.

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

---

<sup>3</sup> 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.

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 4.1). A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro  $\lambda_1$  (parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo  $\Lambda_1$  (Tabella 4.1), 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  $\Lambda_1$ .

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  $\mu$  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 4.2).

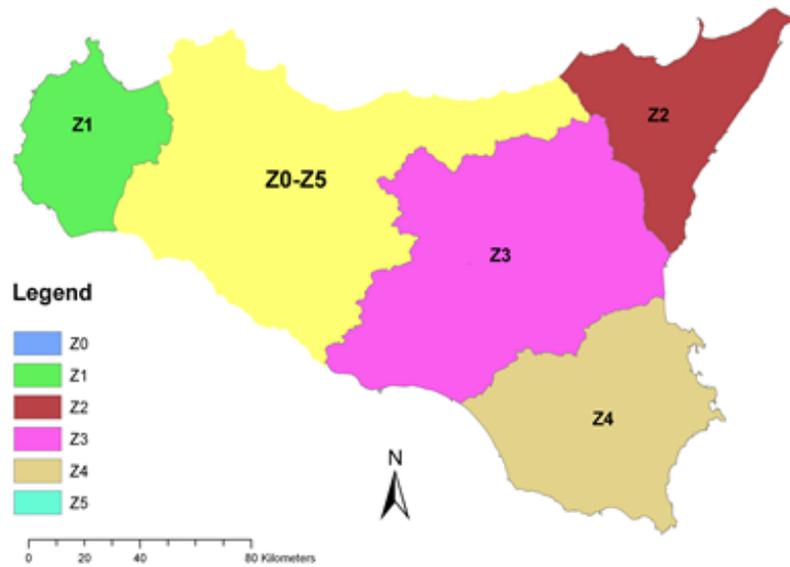


Figura 4.1- Sottozona pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

$K_T$  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.

Sottozona \ Parametro	$Z_0$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$	$Z_5$
$\Lambda_1$	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Tabella 4.1- Valore del parametro  $\Lambda_1$  per ogni sottozona in cui è stata suddivisa la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

Sottozona \ Parametro	$Z_0 - Z_5$	$Z_1$	$Z_2$	$Z_3$	$Z_4$
$a$	0.4485	0.4695	0.4799	0.5011	0.4946
$b$	0.5117	0.4889	0.4776	0.4545	0.4616

Tabella 4.2- 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  $\mu$  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  $\mu$  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). Nelle Figure 4.2 e 4.3 è possibile vedere la variazione dei coefficienti  $a$  ed  $n$  per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

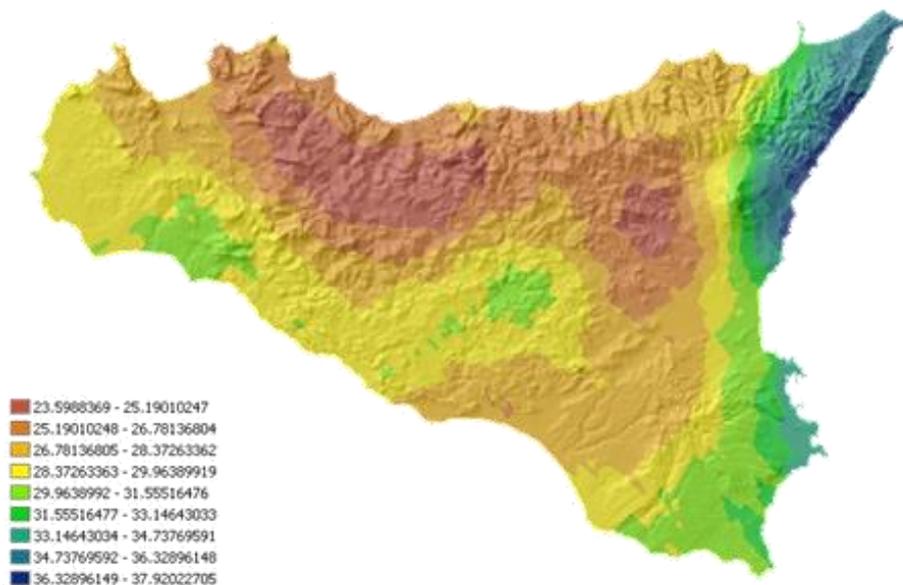


Figura 4.2- Valori dei coefficienti  $a$  per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007).

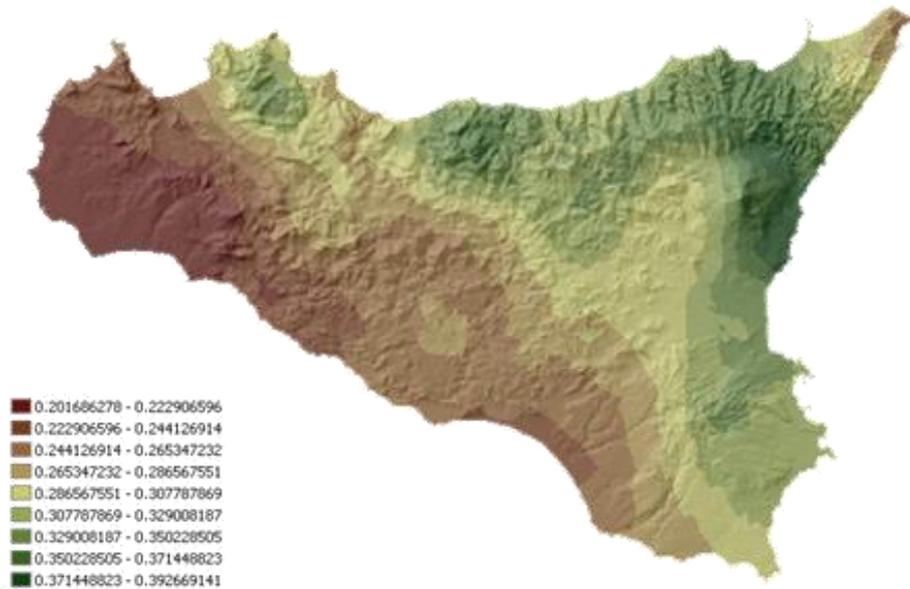


Figura 4.3- Valori dei coefficienti  $n$  per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007).

Sono quindi stati calcolati, per il tempo di ritorno di interesse ( $T = 50$  e  $200$  anni) i valori delle altezze di pioggia massima di assegnata durata  $h_{t,T}$  e la legge di probabilità pluviometrica.

## 4.2 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, in riferimento alla normativa vigente in tema di attraversamenti idraulici.

## 4.3 CALCOLO DELLA C.P.P.

I bacini oggetto del presente studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea  $Z_3$ : 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 4.2):

$$K_T = 0.5011 \ln(T) + 0.4545$$

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:

**Stazione Castelvetro**

Provincia di Trapani

Anni di funzionamento: 34 | 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.

L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per  $T=30$  e 200 anni, è la seguente  $h(t) = a \cdot t^n$ .

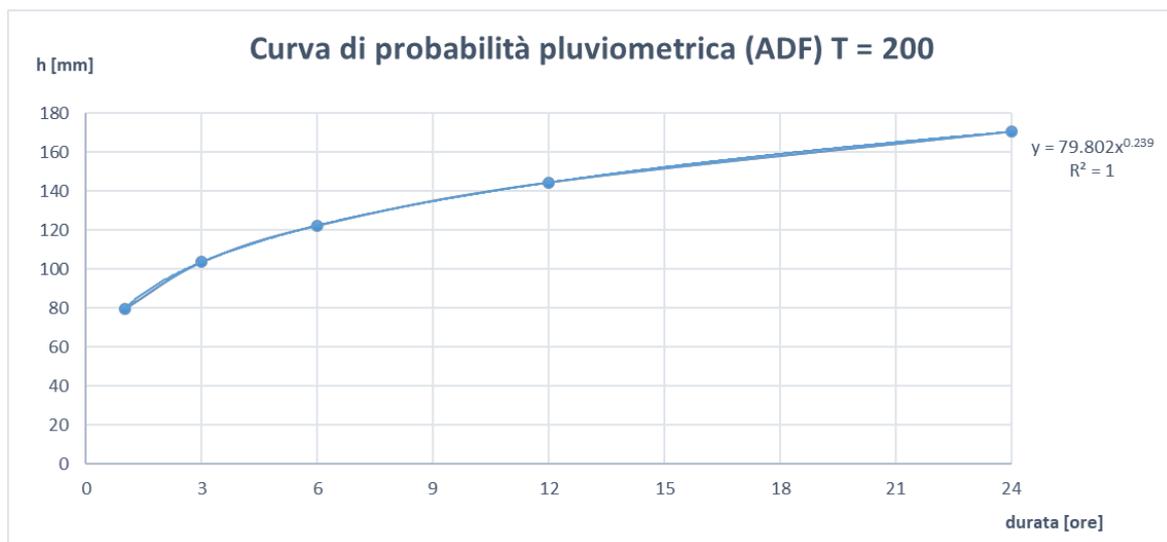
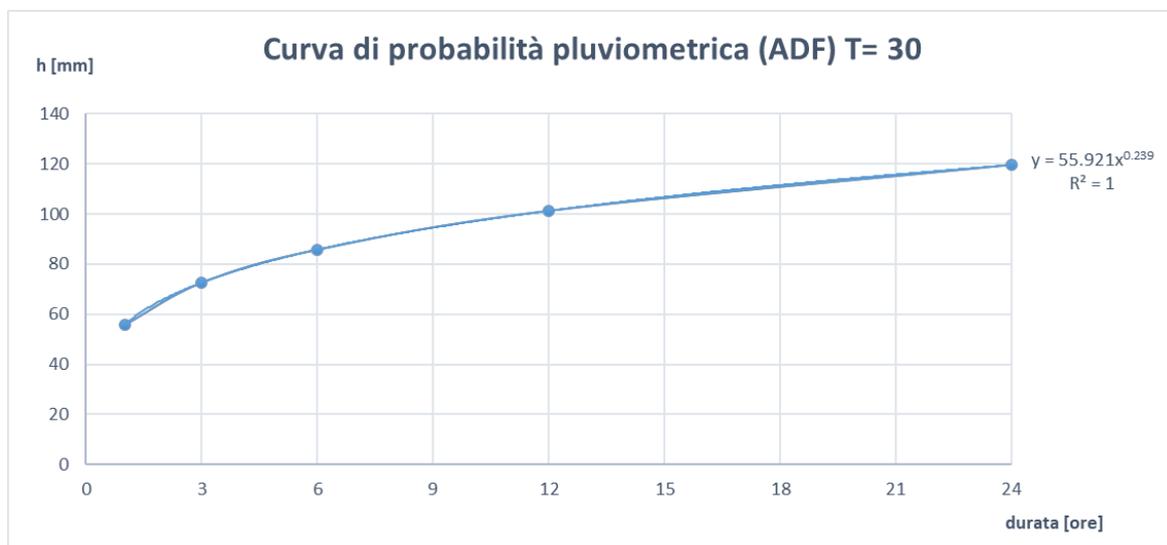


Figura 4.4- Curva di probabilità pluviometrica ADF (Altezza-Durata-Frequenza) relative all'area oggetto di studio e per i tempi di ritorno di progetto ( $T=50$  e 200 anni).

#### 4.4 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  $1 \div 2 \text{ ore} \leq t \leq 24$  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).

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

#### 4.5 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 in esame.

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

## 5 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 m<sup>3</sup>/s;
- $\varphi$  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 km<sup>2</sup>;
- 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.

### 5.1 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  $\tau_c$ , 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.

Esso può essere calcolato tramite diverse formule; nel caso in esame, e cioè per piccoli bacini (aventi estensione inferiore a 1 km<sup>2</sup>), il tempo di corrivazione è calcolato attraverso la formula di Kirpich:

$$t_c = 0.01947 \frac{L^{0.77}}{i^{0.385}}$$

dove  $\tau_c$  è espresso in minuti, L (lunghezza dell’asta principale, a partire dallo spartiacque) è espressa in metri ed  $i$  è la pendenza media del percorso (m/m).

## 5.2 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*  $\Phi$ . 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  $\varphi$  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 da superfici agricole utilizzate (seminativi in aree non irrigue e zone agricole eterogenee).

Pertanto, relativamente a ciascuna superficie omogenea (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) in Figura 5.1.

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

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

ove  $\varphi_i$  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  $\Phi$  è stato posto pari a 0,30.

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 5.1- Valori del coefficiente  $\varphi$  del metodo razionale per diversi tipi di superficie, in funzione della tipologia di suolo e della copertura del bacino (Benini, 1990 e Ferro, 2006).

### 5.3 Il calcolo delle portate

Per la verifica dei fossi di guardia Tipo A e B sono stati selezionati tre bacini *rappresentativi*<sup>4</sup> tra quelli presenti nel progetto, uno per ciascuna tipologia di opera idraulica; 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 nelle tabelle sottostanti.

Nello specifico, le grandezze caratteristiche poste a base dei calcoli, insieme alle rispettive U.M. sono:

- ID Bacino (la perimetrazione ha riguardato i bacini che insistono su viabilità e piazzole del Parco Eolico “Reacasale”);
- 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,  $\Delta h$  (m);
- Pendenza media del percorso  $i$  (%);
- Durata dell’evento pluviometrico critico, pari al tempo di corrivazione  $t_c$  (in minuti);
- Coefficiente di afflusso  $\varphi$ ;
- Valore dell’intensità critica  $i_T$  (mm/h);
- Portata al colmo della piena,  $Q$ , (in  $m^3/s$ );

Le tabelle che seguono sono pertanto relative al calcolo della portata di progetto (relativa a ciascun bacino BV) causata da un evento pluviometrico critico di fissato tempo di ritorno  $T$ .

Ragionamenti analoghi sono stati eseguiti per calcolare le portate di progetto per i bacini sottesi dalle sezioni di chiusura individuate dagli attraversamenti idraulici delle viabilità.

<sup>4</sup> 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.

**Caratteristiche del bacino**

ID Bacino	Superficie S		Lunghezza asta L (m)	H max [m]	H min [m]	$\Delta h$ [m]	Pendenza media i [%]	Tempo di corrivazione tc [min]	Intensità critica (h<1 ora) [mm/h]	Coefficiente di afflusso $\Phi_A$ [-]	Portata $Q_A$ [m <sup>3</sup> /s]
	[m <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]									
BV1	92191.9	0.09219	799.1	64.4	46.8	17.55	2.20%	14.55	133.47	0.30	1.025
BV2	9342.49	0.00934	153.4	105.1	101.4	3.72	2.43%	3.93	298.15	0.30	0.232
BV3	22269.1	0.02227	123.6	58.5	50.2	8.32	6.73%	2.25	420.25	0.30	0.780
BV4	42674.7	0.04267	251.5	65.0	52.4	12.63	5.02%	4.34	280.37	0.30	0.997
BV5	193910	0.19391	767.7	63.2	45.9	17.34	2.26%	13.96	136.93	0.30	2.213
BV6	118394	0.11839	463.4	95.9	59.0	36.96	7.98%	5.82	234.26	0.30	2.311
BV7	24039.4	0.02404	593.1	107.9	101.8	6.12	1.03%	15.47	128.53	0.30	0.257

**Attraversamenti AT**

ID Bacino	Superficie S		Lunghezza asta L (m)	H max [m]	H min [m]	$\Delta h$ [m]	Pendenza a media i [%]	Tempo di corrivazione tc [min]	Intensità critica (h<1 ora) [mm/h]	Coefficiente di afflusso $\Phi_A$ [-]	Portata $Q_A$ [m <sup>3</sup> /s]
	[m <sup>2</sup> ]	[km <sup>2</sup> ]									
BA1	2606550.1	2.60655	4249.1	128.9	47.6	81.23	1.91%	55.57	83.65	0.30	18.171
BA2	118394.393	0.118394	528.8	95.6	59.8	35.85	6.78%	6.86	302.22	0.30	2.982

## 6 VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE

### 6.1 PRE-DIMENSIONAMENTO

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.

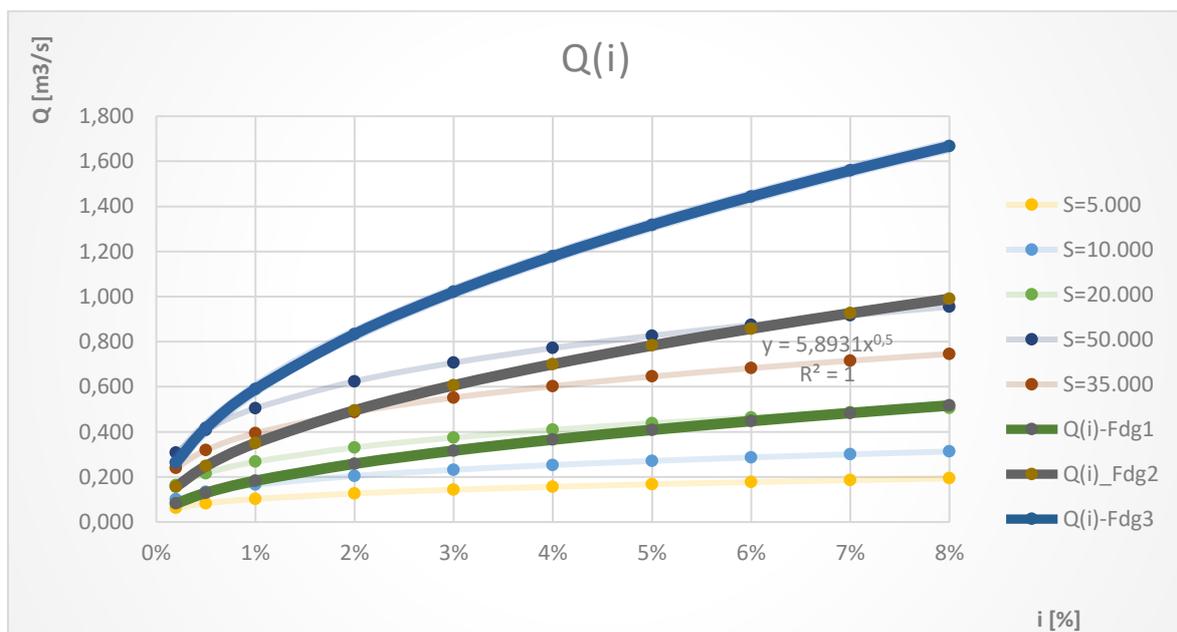


Figura 6.1- Tipologia di grafico  $Q(i)$  con individuazione delle zone omogenee per il pre-dimensionamento dei fossi di guardia.

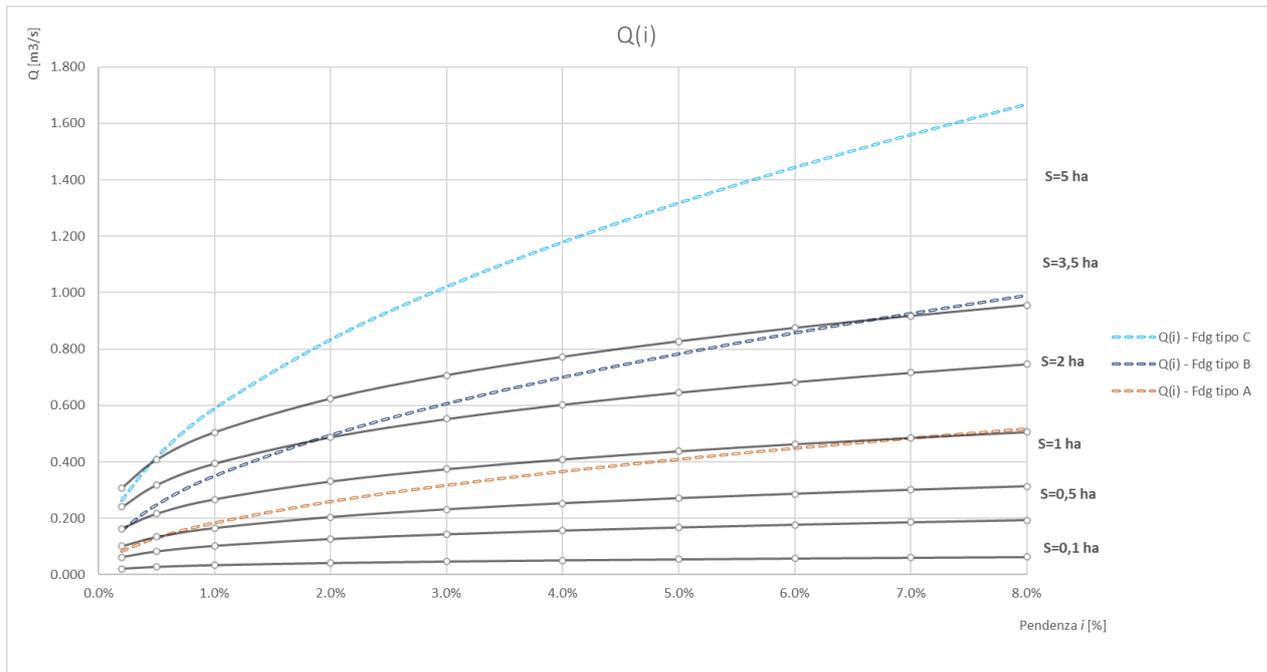


Figura 6.2- Definizione del grafico  $Q(i)$  per il caso in studio, con riferimento ad un tempo di ritorno  $T$  pari a 50 anni.

## 6.2 VERIFICA

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 ( $m^3/s$ );
- $\chi$  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 sezione idrica e perimetro bagnato  $P$ ;
- $i$  è la pendenza del canale.

Per il valore del coefficiente  $\chi$ , 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:

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

La scelta della formula per il calcolo del coefficiente  $\chi$  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 è stato scelto un indice di scabrezza  $k_s$  pari a  $36 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$  nell'ipotesi di canale in terra con fondo in ciottoli e sponde pulite.

**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 esame<sup>5</sup>. Per far sì che il sistema di fossi di guardia possa raccogliere e scaricare in maniera ottimale le acque di deflusso, alcune delle portate di progetto sono state divise in base al numero di scarichi previsti negli stessi fossi di guardia. Per evitare dunque che i canali veicolassero volumi idrici troppo elevati (che si sarebbero tradotti in dimensioni dei fossi di guardia estremamente elevati) si è dunque deciso di piazzare degli scarichi intermedi durante i vari sviluppi dei fossi di guardia, in accordo con l'andamento topografico del terreno. A scopo esemplificativo, si riportano i calcoli effettuati per le portate relative a tutti i bacini investigati con i quali sono state dimensionate tutte le tipologie (geometriche) di fossi di guardia previste nel presente progetto.

In particolare, per ciascun bacino di riferimento, sono riportati i seguenti elementi:

- Tipologia del fosso di guardia adottato;
- Bacino scolante;
- Tirante idrico  $h$  (m), sezione idrica  $A$  ( $\text{m}^2$ ), contorno bagnato  $P$  (m), raggio idraulico  $R$  (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Pendenza  $i$  dell'opera idraulica (%)
- Portata di progetto  $Q_{max,T}$  in  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

---

<sup>5</sup> 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).

- 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.

Caratteristiche del canale				Verifica/Progetto					Parametri di verifica		
Tipo fdg	Bacino scolante	Pendenza del canale, $i$	Portata di progetto, $Q_p$	Tirante idrico $h$	Area $A$	Perimetro bagnato $P$	Raggio idraulico $R$	Portata in condizioni di moto uniforme $Q_{max}$	Velocità $v$	Grado di riempimento $h/H$	Franco $f$
		[%]	[m <sup>3</sup> /s]	[m]	[m <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	[m <sup>3</sup> /s]	[m/s]	[-]	[m]
C	BV1	0.94%	0.513	0.51	0.39	1.67	0.23	0.513	1.32	0.84	0.09
B	BV2	0.64%	0.232	0.40	0.25	1.33	0.19	0.232	0.94	0.80	0.10
C	BV3	0.94%	0.390	0.43	0.32	1.50	0.21	0.390	1.23	0.71	0.17
C	BV4	2.44%	0.897	0.53	0.41	1.72	0.24	0.898	2.17	0.89	0.07
C	BV5	0.94%	0.553	0.53	0.41	1.72	0.24	0.553	1.34	0.88	0.07
C	BV6	3.32%	0.770	0.44	0.33	1.53	0.21	0.770	2.35	0.73	0.16
A	BV7	2.10%	0.257	0.35	0.17	1.13	0.15	0.257	1.49	0.88	0.05

LEGENDA portata di progetto	
	$Q_p / 4$
	$Q_p / 3$
	$Q_p / 2$
	$Q_p$

Per alcuni bacini (Vedi legenda) è stato necessario prevedere più scarichi, seguendo la morfologia del terreno, per permettere un adeguato grado di riempimento del FdG.

## 7 PROGETTO ATTRAVERSAMENTI

Si premette, in modo analogo a quanto detto per i fossi di guardia, 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* e (iii) le dimensioni “minime” legate alle effettive funzioni alle quali le opere devono assolvere.

### 7.1 Calcolo idraulico

Il dimensionamento delle sezioni di attraversamento consiste nel determinare le dimensioni da assegnare alle sezioni (nel caso specifico, le tubazioni in HDPE CRG SN8 o PEAD Spiralato circolare) 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 0,85 h.

Anche in questo caso, la verifica della capacità idraulica degli attraversamenti è stata effettuata utilizzando la formula di Chezy per la determinazione della scala delle portate di moto uniforme:

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

avendo utilizzato, per la determinazione del coefficiente di scabrezza  $\chi$ , la formula di Gauckler-Strickler. I diversi termini che compaiono nella formula di Chezy sono stati in precedenza esplicitati nel capitolo 6.

Per quanto riguarda l'indice di scabrezza  $k_s$ , per materiali di tipo plastico, esso è posto pari a  $100 \text{ m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$  (valore medio relativo a pareti lisce internamente). Per ciascun attraversamento, nelle tabelle dei paragrafi successivi, sono riportati i seguenti valori:

- Descrizione della condotta;
- Diametro esterno/Diametro interno (mm);
- Pendenza  $i$  [%];
- Tirante idrico  $h$  (m), sezione idrica  $A$  ( $\text{m}^2$ ), contorno bagnato  $P$  (m), raggio idraulico  $R$  (m) con riferimento alla portata di progetto;
- Portata di progetto  $Q_p$  in  $\text{m}^3/\text{s}$ ;
- 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.

In fase di dimensionamento i valori di velocità ottenuti sono stati ritenuti accettabili in merito alla resistenza meccanica e alla corrosione del materiale delle tubazioni. È possibile inoltre prevedere delle opere di dissipazione in pietrame nei tratti a valle delle suddette tubazioni delle interferenze per smorzare la velocità della corrente in uscita. Tali opere contribuiscono alla mitigazione dell'erosione del suolo all'uscita dai suddetti tratti.

### 7.1.1 Tabulati di calcolo attraversamenti idraulici

#### Caratteristiche della sezione 2 (2 x Di 600)

Tipologia sezione	Circolare HDPE CRG SN 8	
Diametro esterno, <b>De</b>	700	[mm]
	0.70	[m]
Diametro interno, <b>Di</b>	600	[mm]
	0.60	[m]
Coefficiente di scabrezza di Strickler <b>ks</b>	100	[m <sup>1/3</sup> /s]
Pendenza, <b>i</b>	4.86%	[%]

#### Verifica/Progetto

Portata di progetto, <b>Q<sub>p</sub></b>	1.49	[m <sup>3</sup> /s]
Tirante idrico, <b>h</b>	0.42	[m]
<b>α</b>	3.99	[rad]
Area, <b>A</b>	0.21	[m <sup>2</sup> ]
Perimetro bagnato, <b>P</b>	1.20	[m]
Raggio idraulico, <b>R</b>	0.18	[m]
Portata in condizioni di moto uniforme <b>Q<sub>max</sub></b>	1.49	[m <sup>3</sup> /s]
Velocità	6.98	[m/s]
Grado di riempimento, <b>h/D</b>	0.71	[-]
Franco <b>f</b>	0.18	[m]

**Caratteristiche della sezione 1 (2 x Spiralato PEAD)**

Tipologia sezione	Circolare PEAD Spiralato	
Diametro nominale, <b>Dn</b>	1500	[mm]
	1.50	[m]
Coefficiente di scabrezza di Strickler <b>ks</b>	100	[m <sup>1/3</sup> /s]
Pendenza, <b>i</b>	1.10%	[%]

**Verifica/Progetto**

Portata di progetto	9.09	[m <sup>3</sup> /s]
Tirante idrico, <b>h</b>	<u>1.16</u>	[m]
<b>α</b>	4.30	[rad]
Area, <b>A</b>	1.47	[m <sup>2</sup> ]
Perimetro bagnato, <b>P</b>	3.22	[m]
Raggio idraulico, <b>R</b>	0.45	[m]
Portata in condizioni di moto uniforme <b>Q<sub>max</sub></b>	9.09	[m <sup>3</sup> /s]
Velocità	6.20	[m/s]
Grado di riempimento, <b>h/D</b>	0.77	[-]
Grado di riempimento, 2/3 h/r	1.03	
Franco <b>f</b>	0.34	[m]