

Volta Green Energy

REGIONE SICILIA
Provincia di Trapani
COMUNI DI MAZARA DEL VALLO E MARSALA



PROGETTO

PARCO EOLICO CHELBI PROGETTO DEFINITIVO

COMMITTENTE

VGE 03

Piazza Manifattura, 1 - 38068 Rovereto (TN)
Tel. +39 0464 625100 - Fax +39 0464 625101 - PEC vge03@legalmail.it

PROGETTISTA:



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



OGGETTO DELL'ELABORATO:

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

N° Elaborato	DATA	SCALA	FOGLIO	FORMATO	CODICE DOCUMENTO
CH-CE19	Aprile 2021	/	1 di 32	A4	

NOME FILE: CH-CE19-RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA_REV00

Questo elaborato è di proprietà di VGE 03 ed è protetto a termini di legge

Volta g.e.
green energy



Storia delle revisioni del documento

REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
00	Aprile 2021	PRIMA EMISSIONE	FG/VP	VF	MG

INDICE

INDICE.....	3
1 PREMESSA.....	4
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO	5
2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO.....	6
2.3 INTERAZIONE TRA LA VIABILITÀ ED I BACINI IDROGRAFICI	7
3 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE	9
3.1 APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE	9
3.2 INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	9
3.3 OPERE IDRAULICHE	11
4 INFORMAZIONE IDROLOGICA.....	16
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
5 MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	23
5.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA.....	23
5.2 IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO	24
5.3 IL CALCOLO DELLE PORTATE	25
6 VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE	29
6.1 PRE-DIMENSIONAMENTO	29
6.2 VERIFICA.....	30

1 PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato “Chelbi” composto da n°7 aerogeneratori (ciascuno di potenza nominale pari a 6 MW), per una potenza complessiva di 42 MW.

Il parco eolico è ubicato in località Chelbi, nel Comune di Mazara del Vallo, in provincia di Trapani e proposto dalla società VGE 03 S.r.l., appartenente al Gruppo Volta Green Energy. La presente relazione (i) analizza l'interazione tra le opere in progetto ed il reticolo idrografico esistente e (ii) descrive l'approccio utilizzato per la progettazione delle opere idrauliche e gli interventi previsti per il drenaggio e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici stradali e dalle piazzole del parco eolico “Chelbi”, mostrando sia i criteri utilizzati che le risultanze delle analisi. Si anticipa che:

- le scelte progettuali sono state condotte secondo principi di invarianza idraulica (cfr. capitolo 3) così da avere **opere ad “impatto zero”** sull'esistente reticolo idrografico, rispettando il regime idraulico *ante operam* e recapitando le acque superficiali presso gli impluvi ove naturalmente, oggi, sono convogliate;
- il sistema di opere idrauliche previste, in uno con le caratteristiche della viabilità e delle piazzole del parco, non modifica né il reticolo di drenaggio esistente, né la risposta dei bacini per tutti gli aspetti che riguardano i meccanismi di formazione dei deflussi: **non variano le caratteristiche di permeabilità e non si hanno pressoché variazioni della portata Q da scaricare.**

La relazione 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 – 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).

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO

2.1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Gli aerogeneratori (n°7 in totale) dell'impianto sono denominati con le sigle CH01, CH02, [...] e CH07 e saranno ubicati in agro del Comune di Mazara del Vallo (in provincia di Trapani). Da un punto di vista cartografico, le opere in progetto ricadono all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali:

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche "257_III_NE-Baglio Chitarra".
- Carta tecnica regionale CTR, scala 1:10.000, fogli n° 6017030-617040.
- Fogli di mappa catastale del Comune di Mazara del Vallo n° 4-13-14-15-16-17.

Di seguito (figg. 2.1, 2.2 e 2.3) sono riportate un'immagine di inquadramento territoriale, il layout dell'impianto in progetto su IGM 1:25.000 e l'inquadramento su ortofoto.

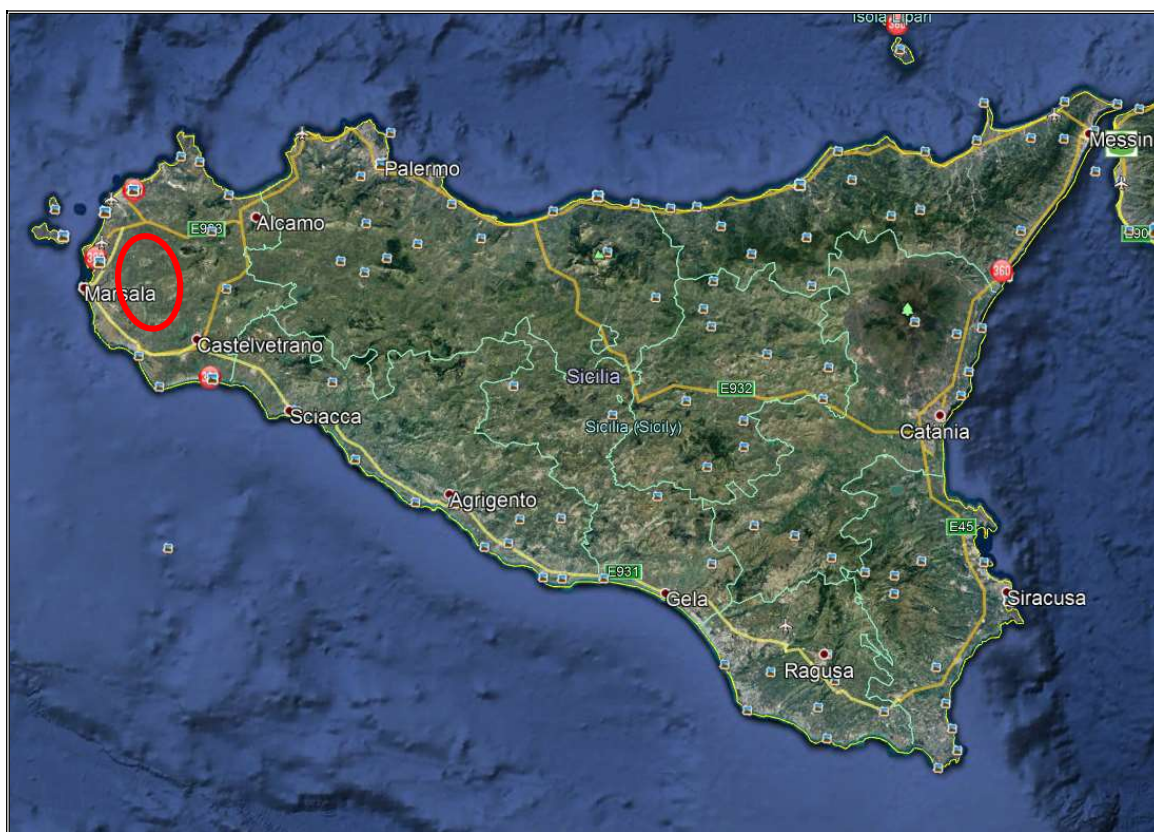


Figura 2.1: Individuazione da satellite dell'area di impianto.

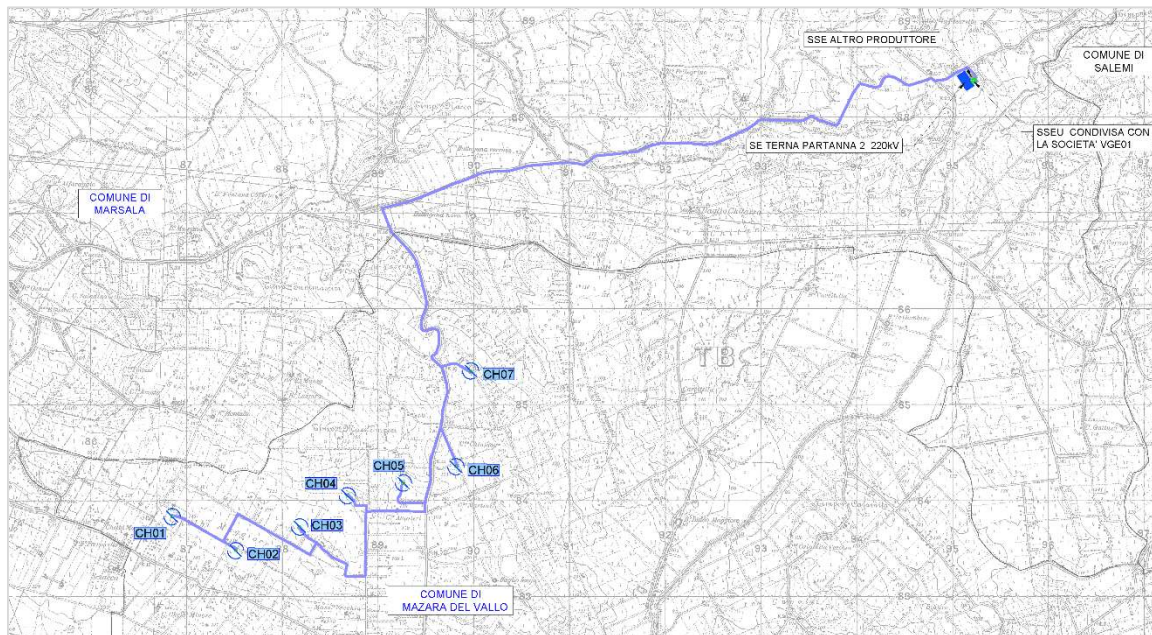


Figura 2.2: Inquadramento dell'impianto su IGM 1: 25.000

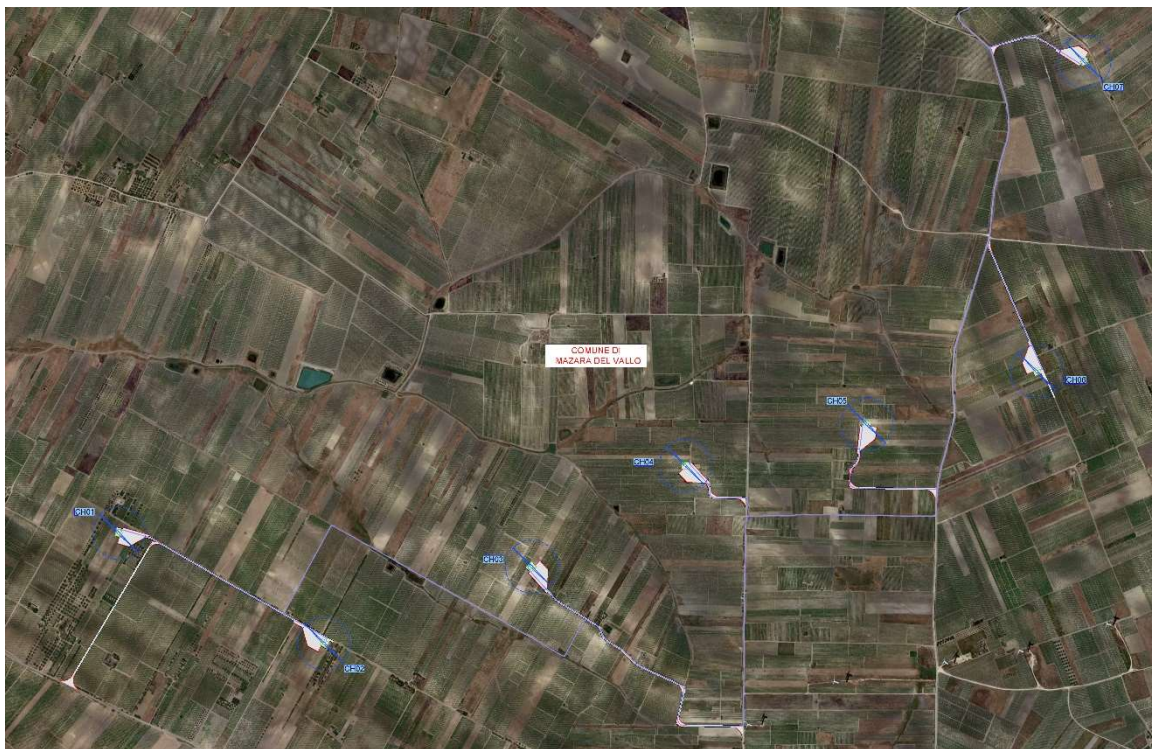


Figura 2.3: Inquadramento dell'impianto su ortofoto.

2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'area interessata dall'impianto si sviluppa prevalentemente lungo alcune, modeste, displuviali in prossimità dello spartiacque superficiale tra il bacino idrografico del fiume *Mazara* (che si estende verso sud) ed i bacini afferenti all'*Area territoriale tra il Bacino Idrografico del Fiume Birgi e del Fiume M̀azara* (verso sud-ovest). In particolare, l'impianto si trova al confine tra i bacini

idrografici relativi alla *Fiumara di Marsala*, al *Fiume di Chinisia* e del *Torrente Iudeo* (affluente del *Fiume Mâzaro*).

Immediatamente a valle degli aerogeneratori CH01, CH02, CH03, CH04, CH05 e CH06 il territorio si presenta inciso da alcuni, modesti, impluvi (*Canale Mazz'Imperi*, *Canale Lazzaro*, etc.) che convogliano le acque meteoriche verso il *Fosso di Piraneo* (affluente della *Fiumara di Marsala*). Immediatamente a valle della torre CH07 ha invece origine una piccola incisione che, verso valle, giunge alla *Fiumara Pellegrino* (verso Nord-Ovest). Nell'immagine 2.4 è individuato il reticolo idrografico su CTR.



Figura 2.4: Reticolo idrografico su CTR, con riferimento alle opere oggetto di progettazione definitiva.

2.3 INTERAZIONE TRA LA VIABILITÀ ED I BACINI IDROGRAFICI

L'impianto, come detto nel paragrafo precedente, si sviluppa prevalentemente lungo alcune modeste dislivellazioni, in un territorio prevalentemente collinare/pianeggiante: tale posizionamento implica che i bacini scolanti "intercettati" dalla viabilità in progetto siano di piccola estensione, con pendenze inferiori all'8% e con percorsi di corrivazione spesso dipendenti dal percorso dei fossi di guardia.

Nell'elaborato grafico CE-CH20, 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 Global Mapper[®], in uno con il modello tridimensionale del terreno e la CTR (Carta Tecnica Regionale – 1: 10.000). L'analisi è stata condotta a partire dal modello del terreno DTM con maglia 2 m, prodotto dalla Regione Sicilia.

Dall'analisi condotta si rileva come, data l'ubicazione dell'impianto, le interferenze delle opere in progetto con il reticolo idrografico esistente siano nulle.

3 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

3.1 APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

La durabilità delle strade e delle piazzole del parco eolico “Chelbi” 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.
- **drenare il sito efficacemente**, attraverso la regimazione ed il controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità del parco in progetto, mediante una adeguata rete di drenaggio 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 interessati dalle opere in progetto nonché le caratteristiche plano-altimetriche dei tracciati.

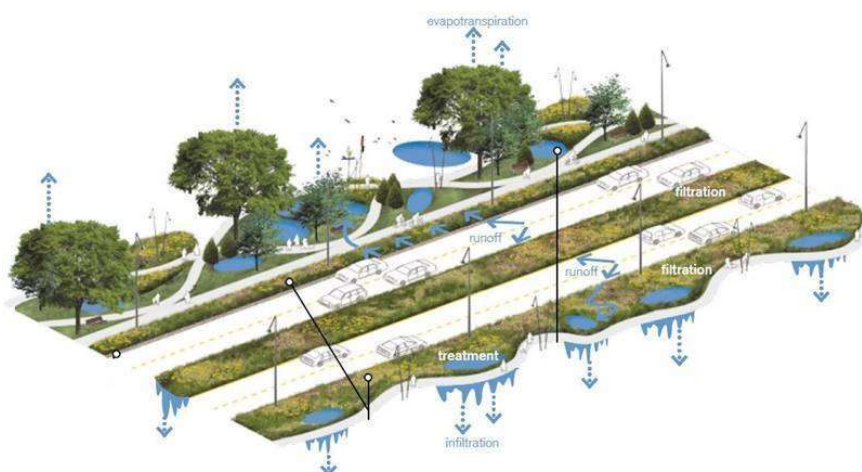


Figura 3.1: Esempio progettazione stradale in ottica SuDS (Sustainable Drainage Systems), ripensata secondo i principi di invarianza idraulica. Fonte: Huber, J., 2010. *Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas*.

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 “Chelbi” (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 interventi¹.
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%-3%).
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 orografiche².

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 avranno 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

¹ 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.**

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

esistenti avvenga con angoli inferiori o uguali ai 30°. Tale condizione, date le caratteristiche delle aree interessate (pressoché pianeggianti), è sempre verificata.

A tal uopo, nell’elaborato grafico CH-20, 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.

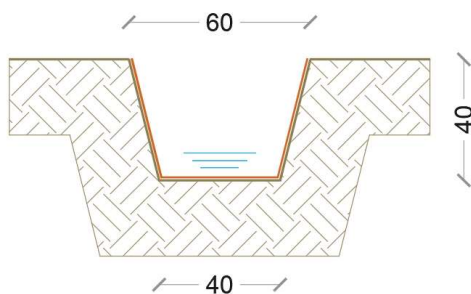
3.3 OPERE IDRAULICHE

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

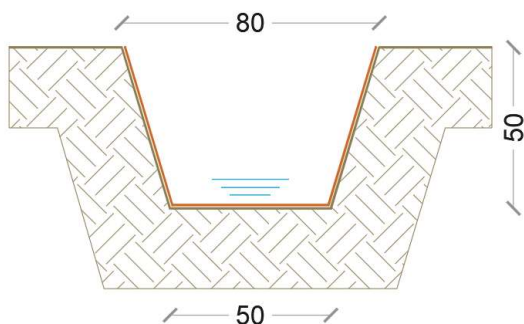


La geostuoia di rivestimento è ad alto indice di vuoti, in monofilamenti di polipropilene fissati termicamente nei punti di contatto (con spessori variabili).

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

Sezione trapezia

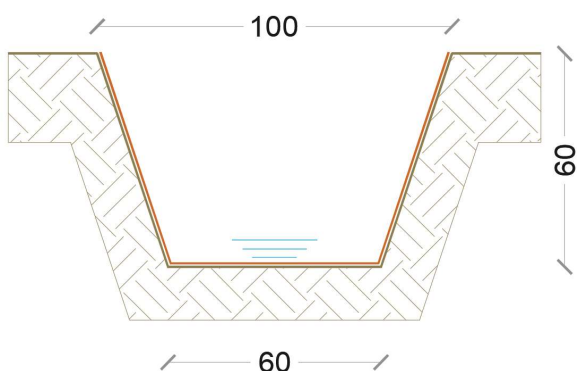
Larghezza base [m]	0,50
Larghezza in superficie [m]	0,80
Altezza [m]	0,50



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

Sezione trapezia

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



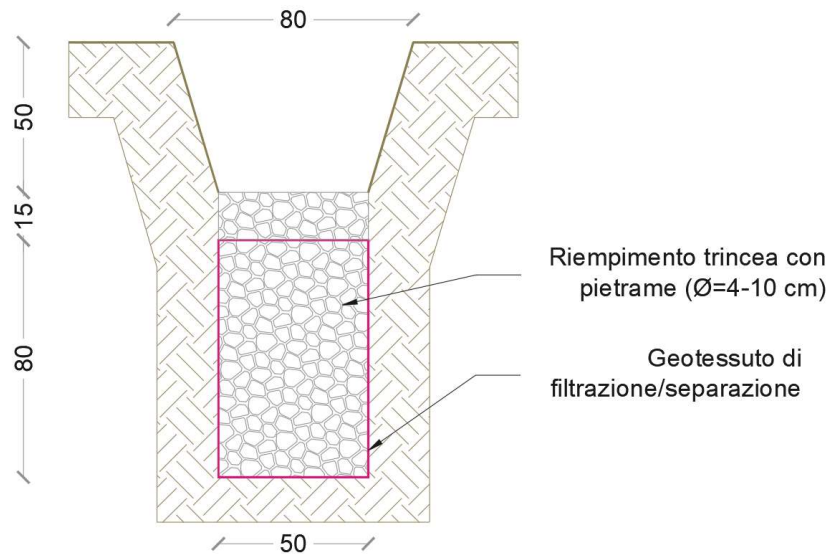
Fosso di guardia “Tipo D”, in terra e con trincea drenante, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione trapezia

Larghezza base [m]	0,50
Larghezza in superficie [m]	0,8
Altezza [m]	0,50

Trincea drenante

Larghezza base [m]	0,50
Altezza totale [m]	0,95

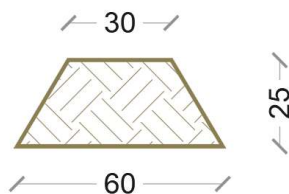


La trincea drenante, realizzata con materiale arido di pezzatura 4-10 cm e filtro di separazione in geotessile non tessuto, consentirà di disperdere le acque di piattaforma nel sottosuolo altamente drenante.

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 bacini a monte della viabilità) intercettate dai fossi di guardia. Gli attraversamenti (n°14 in tutto) sono realizzati con tubazioni in HDPE 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), 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.

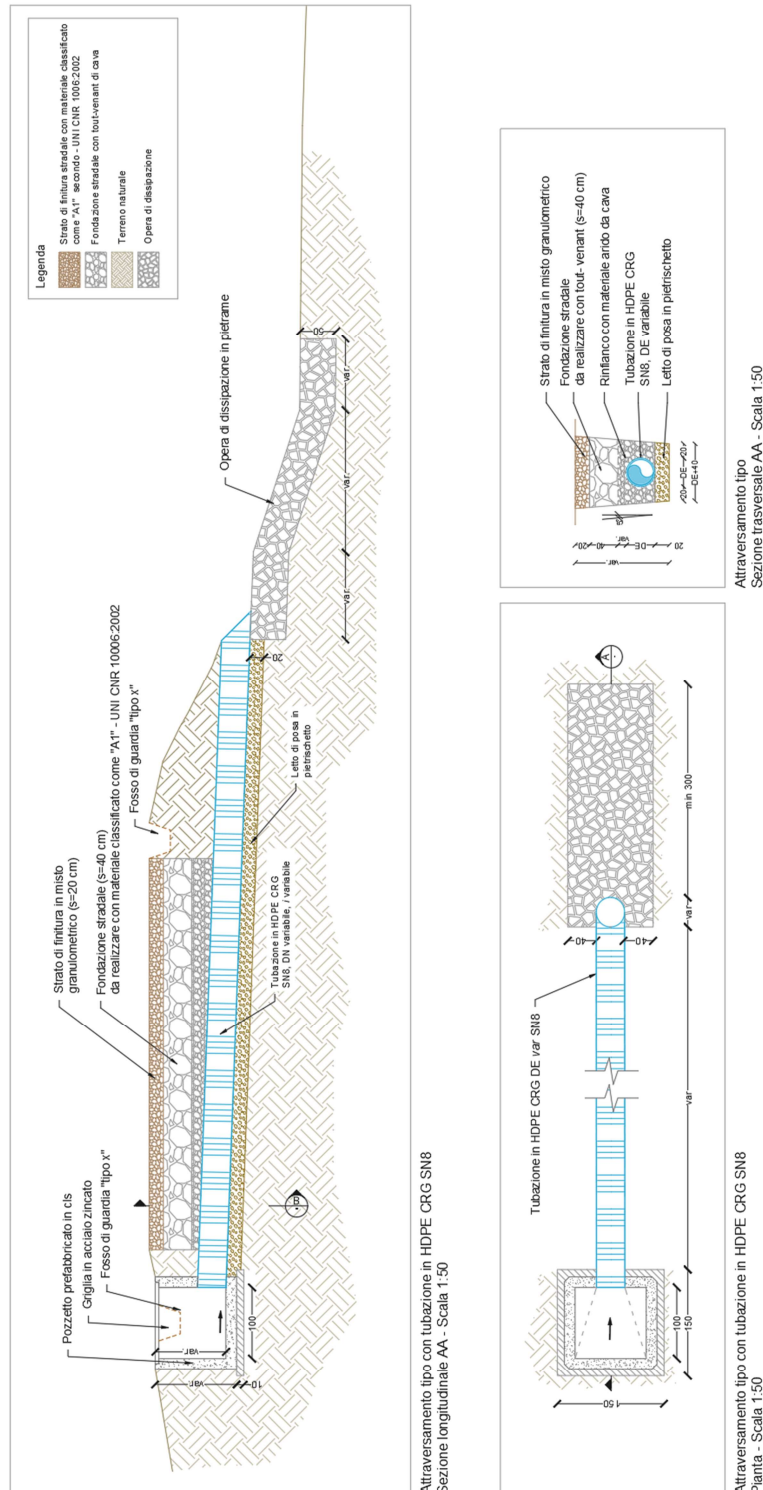
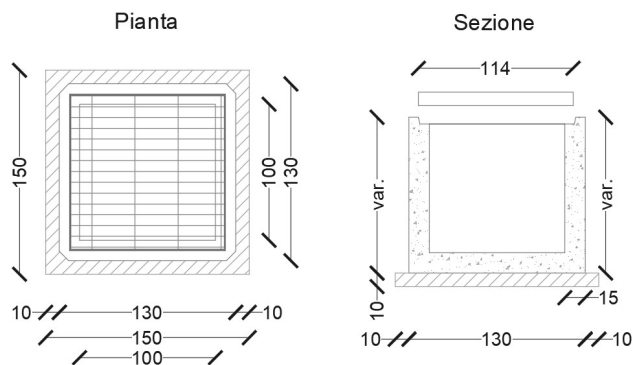


Figura 3.2: Sezioni longitudinali, trasversali e pianta dell’attraversamento tipo.

Pozzetti in cls prefabbricato (conformi alla Norma UNI EN 1917) 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) in ingresso e uscita.



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 "Chelbi".

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 "Chelbi".

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 VAPI³.

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

³ 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 (fig. 4.1). A ciascuna di esse è stato attribuito un valore costante del parametro λ_1 (parametro della TCEV che rappresenta il numero medio di eventi della componente base) indicato con il simbolo Λ_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 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 4.2).

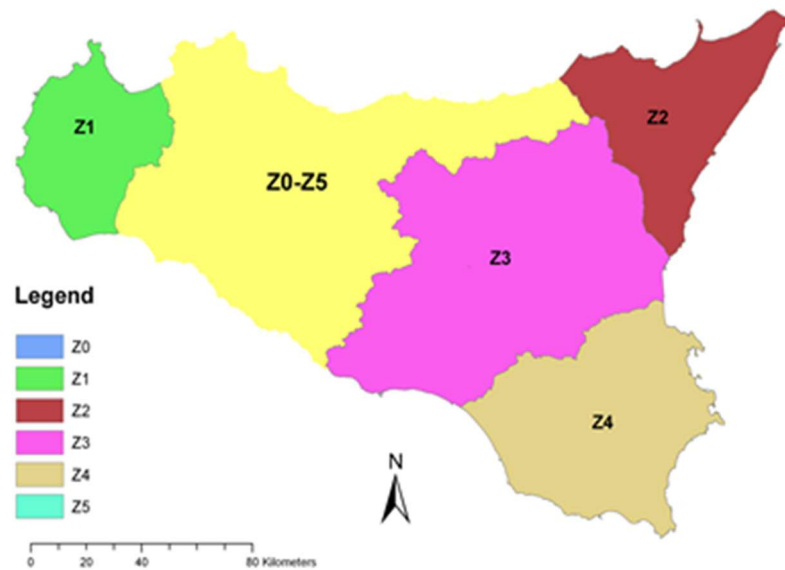


Figura 4.1: Sottozone pluviometriche omogenee per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

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.

<i>Sottozona</i>	Z_0	Z_1	Z_2	Z_3	Z_4	Z_5
Λ_1	24,429	19,58	17,669	14,517	15,397	24,402

Tabella 4.1: Valore del parametro Λ_1 per ogni sottozona in cui è stata suddivisa la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

<i>Sottozona</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 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 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). Nelle figg. (4.2) e (4.3) è possibile vedere la variazione dei coefficienti a ed n per la regione Sicilia (Lo Conti et al, 2007).

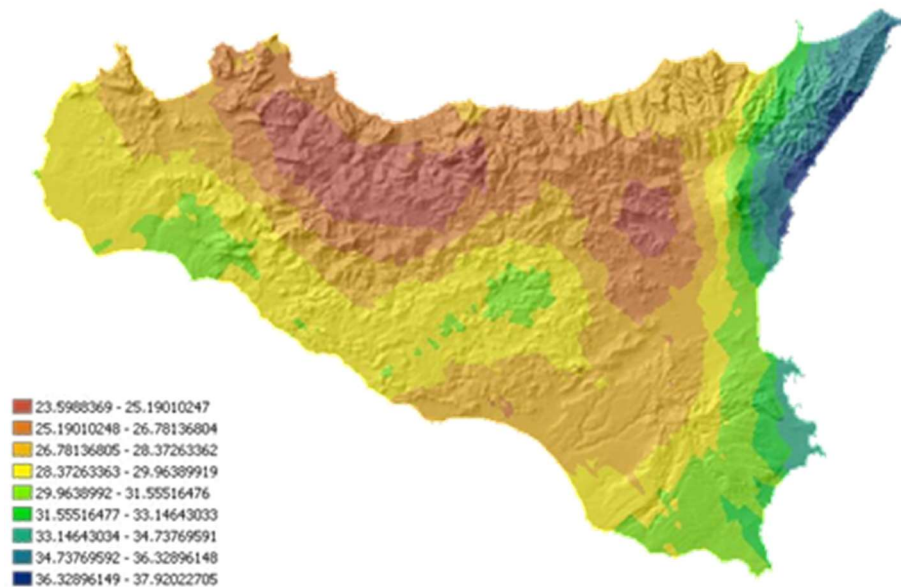


Figura 4.2: Valori dei coefficienti a per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007)

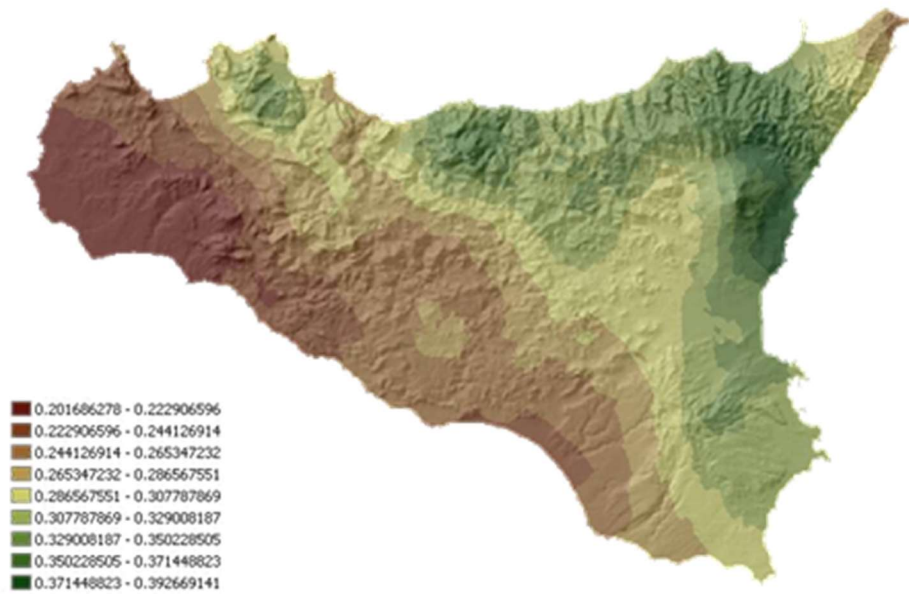


Figura 4.3: Valori dei coefficienti n per il territorio siciliano (Lo Conti et al, 2007).

Sono quindi stati calcolati, per il tempo di ritorno di interesse ($T = 50$ 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 50 anni.

4.3 CALCOLO DELLA C.P.P.

I bacini oggetto del presente studio si trovano nella sottozona pluviometrica omogenea Z_1 : 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):

$$K_T = 0.4695 \ln(T) + 0.4889 = 2,326$$

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:

Ciavolo

Provincia di Trapani

Anni di funzionamento: 18 | Sensori presenti: Pluviometro | Altitudine: 128 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: $a = 32,865$ ed $n = 0,144$. È quindi possibile individuare la curva di probabilità pluviometrica per il sito in esame, corrispondente al tempo di ritorno $T=50$ anni

Valori $h_{t,T}$ [mm]

t [ore]	$T=50$ anni
1	76,43
3	89,53
6	98,93
12	109,31
24	120,79

L’espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per $T=50$ anni, è la seguente $h(t) = 76.43 \cdot t^{0.144}$.

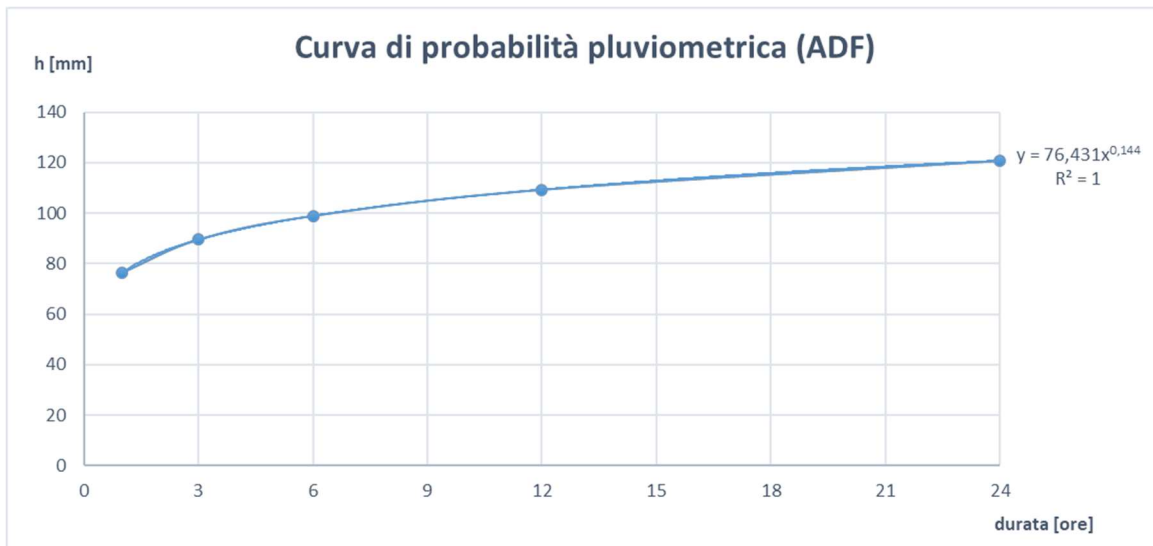


Figura 4.4: **Curva di probabilità pluviometrica ADF** (Altezza-Durata-Frequenza) relative all’area oggetto di studio e per il tempo di ritorno di progetto ($T=50$ anni).

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 “*Ciavolo*”.

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 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.

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* 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.

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 Kirpich:

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

dove τ_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* 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 da superfici agricole utilizzate (colture permanenti - vigneti).

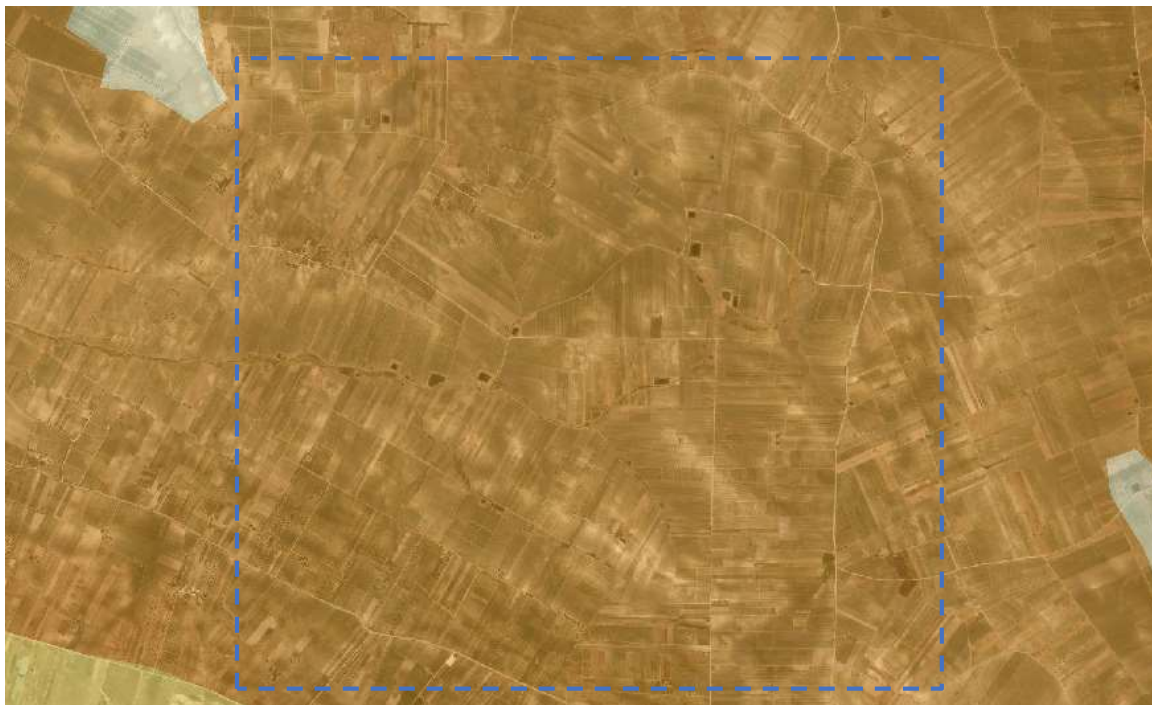


Figura 5.1: *Corine Land Cover 2012 – IV Livello (nel riquadro blu, le aree oggetto di intervento).*

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 fig.5.2. Nello specifico, si sono utilizzati i seguenti valori del coefficiente di afflusso φ :

- $\varphi = 0.30$ per pavimentazioni in misto granulometrico (con buona capacità drenante);
- $\varphi = 0.20$ per terreni coltivati molto permeabili.

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 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.

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 5.2: 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).

5.3 Il calcolo delle portate

Per la verifica dei fossi di guardia Tipo A, B e C sono stati selezionati alcuni bacini *rappresentativi*⁴ tra quelli presenti nel progetto; per tali bacini i valori delle portate corrispondenti al tempo di ritorno di interesse (T=50 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:

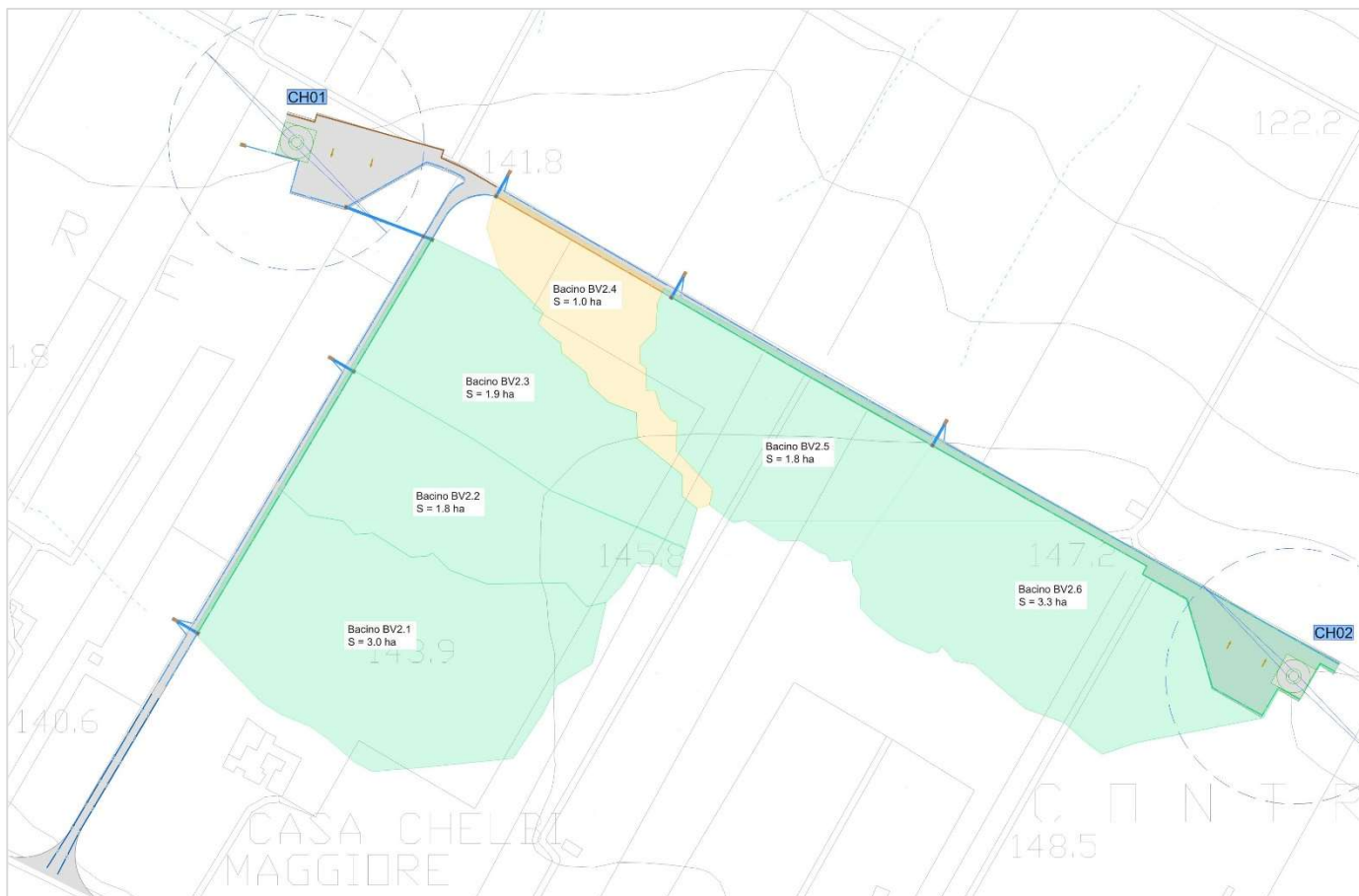
⁴ I bacini "*rappresentativi*" (BV) sono quelli, tra i bacini afferenti alla viabilità di progetto, che determinano il valore maggiore di portata di deflusso, in funzione della loro superficie/pendenza; con riferimento a tale portata, ogni fosso di guardia risulta idraulicamente e tecnicamente compatibile.

- ID Bacino (la perimetrazione ha riguardato i bacini che insistono su viabilità e piazzole del parco eolico “Chelbi”);
- Superficie del bacino drenante S (sia in m² che in km²);
- 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, Δh (m);
- Pendenza media del percorso i (%);
- Durata dell’evento pluviometrico critico, pari al tempo di corrivazione t_c (in minuti);
- Coefficiente di afflusso φ;
- Valore dell’intensità critica i_T (mm/h);
- Portata al colmo della piena, Q, (in m³/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.

ID Bacino	Superficie S		Lunghezza a asta L (m)	H max	H min	Δh	Pendenza media i	Tempo di corrivazione t _c	Intensità critica (h<1 ora)	Coefficiente di afflusso φ _A	Portata Q _A
	[m ²]	[km ²]	[m]	[m]	[m]	[m]	[%]	[min]	[mm/h]	[-]	[m ³ /s]
BV2.1	30257	0,030257	274,0	144,3	142,5	1,84	0,67%	10,07	228,67	0,30	0,577
BV2.2	18570	0,01857	220,0	144,3	143,2	1,11	0,50%	9,49	237,09	0,30	0,367
BV2.3	19400	0,0194	220,0	143,2	142,0	1,20	0,55%	9,21	241,50	0,30	0,390
BV2.4	10466	0,010466	127,0	144,0	142,1	1,90	1,50%	4,09	397,49	0,30	0,347
BV2.5	18472	0,018472	202,0	145,0	144,0	0,96	0,48%	9,10	243,39	0,30	0,375
BV2.6	33346	0,033346	313,0	149,7	145,0	4,70	1,50%	8,18	259,71	0,30	0,722
BV3.1	10216	0,010216	570,0	152,8	147,7	5,08	0,89%	15,87	172,92	0,30	0,147
BV3.2	8441	0,008441	195,0	155,0	149,9	5,06	2,59%	4,61	369,67	0,30	0,260
BV4	3405	0,003405	117,0	151,7	146,5	5,18	4,43%	2,53	534,01	0,30	0,152
BV5.1	13289	0,013289	342,0	157,8	156,6	1,13	0,33%	15,69	174,13	0,30	0,193
BV5.2	9568	0,009568	282,0	159,2	157,4	1,78	0,63%	10,54	222,30	0,30	0,177
BV6	46415	0,046415	458,0	161,5	145,3	16,21	3,54%	7,89	265,68	0,30	1,028
BV7	43055	0,043055	320,0	164,4	156,7	7,79	2,43%	6,91	288,11	0,30	1,034

Di seguito si riportano alcune immagini con l’individuazione dei bacini “rappresentativi”, utilizzati per il dimensionamento delle opere idrauliche previste nel presente progetto.





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.

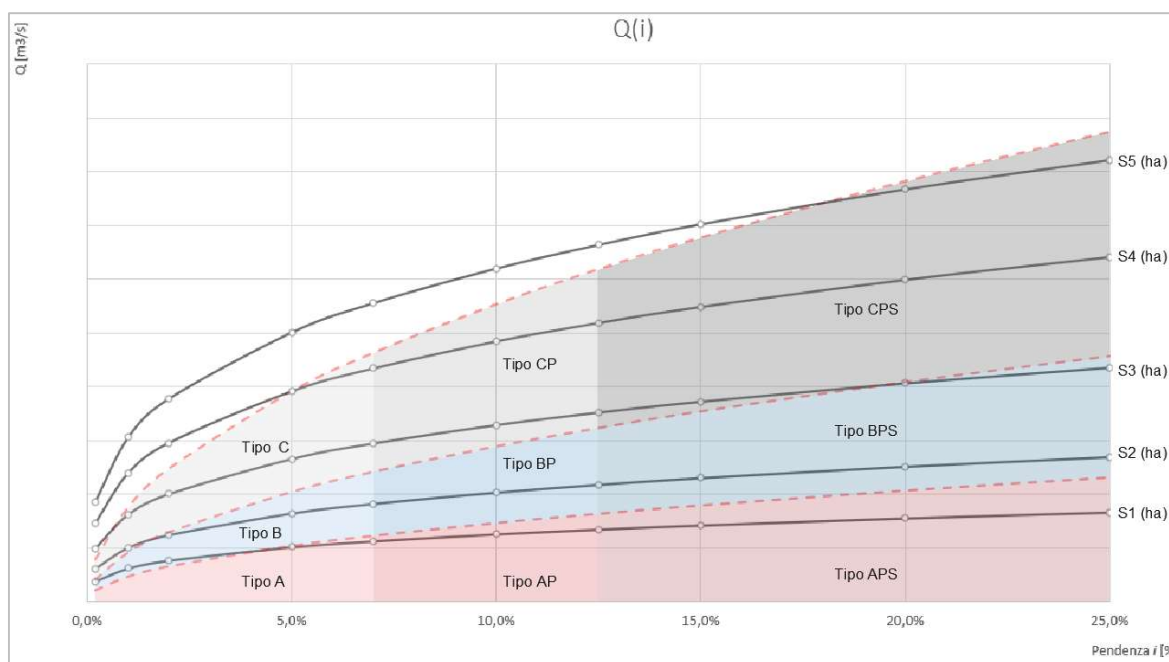


Figura 6.1: Tipologia di grafico $Q(i)$ con individuazione delle zone omogenee per il pre-dimensionamento dei fossi di guardia.

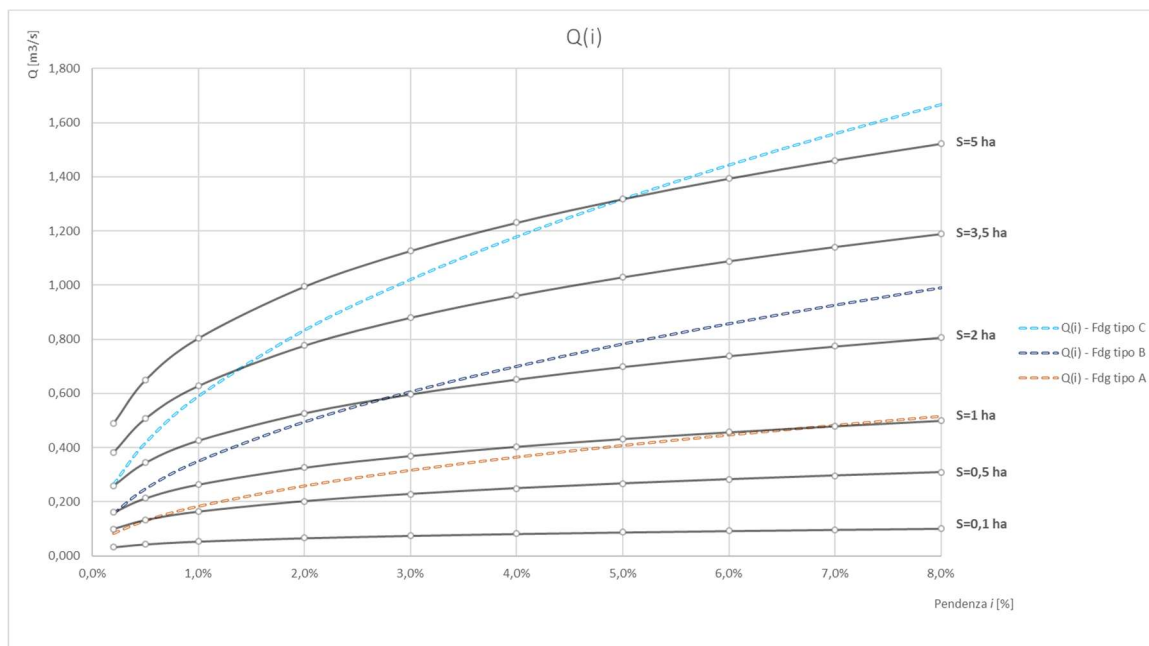


Figura 6.2: Definizione del grafico $Q(i)$ per il caso in studio, con riferimento ad un tempo di ritorno T pari a 50 anni.

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);
- 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 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 $\text{m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$); 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; 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 esame⁵. A titolo di esempio, si riportano i calcoli effettuati per le portate relative ai bacini con i quali sono state dimensionate le tre tipologie (geometriche) di fossi di guardia previste nel presente progetto.

Caratteristiche del canale				Verifica/Progetto					Parametri di verifica		
Tipo fdg	Bacino scolante	Pendenza del canale, i [%]	Portata di progetto, Q_p [m ³ /s]	Tirante idrico h [m]	Area A [m ²]	Perimetro bagnato P [m]	Raggio idraulico R [m]	Portata in condizioni di moto uniforme Q_{max} [m ³ /s]	Velocità v [m/s]	Grado di riempimento h/H [-]	Franco f [m]
C	BV2.1	2,50%	0,577	0,40	0,29	1,44	0,20	0,577	1,97	0,67	0,20
C	BV2.2	0,50%	0,367	0,50	0,38	1,65	0,23	0,368	0,96	0,83	0,10
C	BV2.3	0,55%	0,390	0,50	0,39	1,66	0,23	0,390	1,01	0,84	0,10
B	BV2.4	1,50%	0,347	0,39	0,24	1,32	0,18	0,347	1,43	0,79	0,11
C	BV2.5	0,48%	0,375	0,51	0,40	1,68	0,24	0,375	0,95	0,86	0,09
C	BV2.6	1,60%	0,722	0,53	0,41	1,72	0,24	0,722	1,76	0,88	0,07
A	BV3.1	0,89%	0,147	0,32	0,16	1,07	0,15	0,147	0,94	0,81	0,08
A	BV3.2	2,59%	0,260	0,33	0,16	1,08	0,15	0,260	1,62	0,83	0,07
A	BV4	4,43%	0,152	0,20	0,09	0,80	0,11	0,152	1,73	0,49	0,20
B	BV5.1	0,33%	0,193	0,44	0,28	1,42	0,20	0,193	0,70	0,88	0,06
B	BV5.2	0,63%	0,177	0,34	0,20	1,20	0,17	0,177	0,87	0,67	0,16
C	BV6	3,54%	1,028	0,52	0,40	1,69	0,24	1,028	2,59	0,86	0,08
C	BV7	4,50%	1,034	0,48	0,36	1,61	0,23	1,034	2,84	0,80	0,12

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).

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 (m²), 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 m³/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.