

PROPONENTE:

REPOWER
L'energia che ti serve.

PROGETTAZIONE:



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



N°COMMESSA:
1454

PARCO EOLICO "CRAVAREZZA"
REGIONE LIGURIA- PROVINCIA DI SAVONA
COMUNI DI CALICE LIGURE (PARCO EOLICO), MALLARE (PARCO EOLICO CAVIDOTTI E SSEE)
ORCO FEGLINO E ALTARE (CAVIDOTTI)

PROGETTO DEFINITIVO

ELABORATO: Relazione Idrologica Idraulica

CODICE ELABORATO

1454_R6

NOME FILE:

1454_R6_Relazione idrologica-idraulica.doc

1	01/2024	2° Emissione	VC	VF	MG
0	11/2021	1° Emissione	FG	VF	MG
REV.	DATA	DESCRIZIONE REVISIONE	REDATTO	VERIFICA	APPROVATO

CARTIGLIO REV.00

COPYRIGHT REPOWER RENEWABLE S.p.a. TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI A NORMA DI LEGGE

INDICE

INDICE	2
1 PREMESSA	3
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO	4
2.1 RIFERIMENTI CARTOGRAFICI.....	4
2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	7
2.2.1 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	10
3.3 OPERE IDRAULICHE.....	11
4 INFORMAZIONE IDROLOGICA	19
4.1 VAPI LIGURIA	19
4.2 SCELTA DEL TEMPO DI RITORNO DI PROGETTO	24
4.3 CALCOLO DELLA C.P.P.	24
4.4 SUPERFICI DI INFLUENZA.....	25
5 MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI.....	26
5.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA.....	26
5.2 IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO	27
5.3 IL CALCOLO DELLE PORTATE.....	28
6 VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE	31
6.1 PRE-DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA	31
6.2 VERIFICA FOSSI DI GUARDIA.....	32
7 CONCLUSIONI.....	35

1 PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata dalla società Repower Renewable s.p.a. con sede legale in Venezia (VE) via Lavaredo 44/52 cap 30174, di redigere il progetto definitivo dell'impianto eolico denominato "*Cravarezza*" composto da sette aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 4,30 MW (per una potenza complessiva di 30,1 MW) ed ubicato nel Comune di Calice Ligure in Provincia di Savona. L'area interessata dal posizionamento degli aerogeneratori ricade nelle contrade *Piano dei Corsi* (F01-F02-F03-F04), *Bric del Borro* (F05), *Bric del Pino* (F06) e *Colla del Pino* (F07) nel Comune di Calice Ligure (SV). 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 "*Cravarezza*", 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).
- *Capitolo 7: Conclusioni.*

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO

2.1 Riferimenti cartografici

Gli aerogeneratori (n°7 in totale) dell'impianto sono denominati con le sigle F01, F02, [...] e F07 e saranno ubicati in agro del Comune di Calice Ligure (in provincia di Savona). Da un punto di vista cartografico, le opere in progetto ricadono all'interno delle seguenti cartografie e fogli di mappa catastali:

- CTR: Fogli 228120 Calice Ligure e 228160 Mallare
- IGM: Quadro 228.1 e 228.2
- **Fogli di mappa catastali parco eolico e cavidotti**
 - Calice Ligure Fg.6-3-7
 - Mallare Fg. 25-29-32
 - Orco Feglino Fg.1
 - Rialto Fg.2-9
- **Fogli di mappa per solo cavidotti**
 - Orco Feglino Fg.1-2
 - Mallare Fg.32-30-31-28-22-15-10-6-5
 - Altare Fg. 12-10
- **Fogli di mappa catastali per Stazione**
 - Mallare Fg.5

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 ed il layout di impianto su ortofoto.

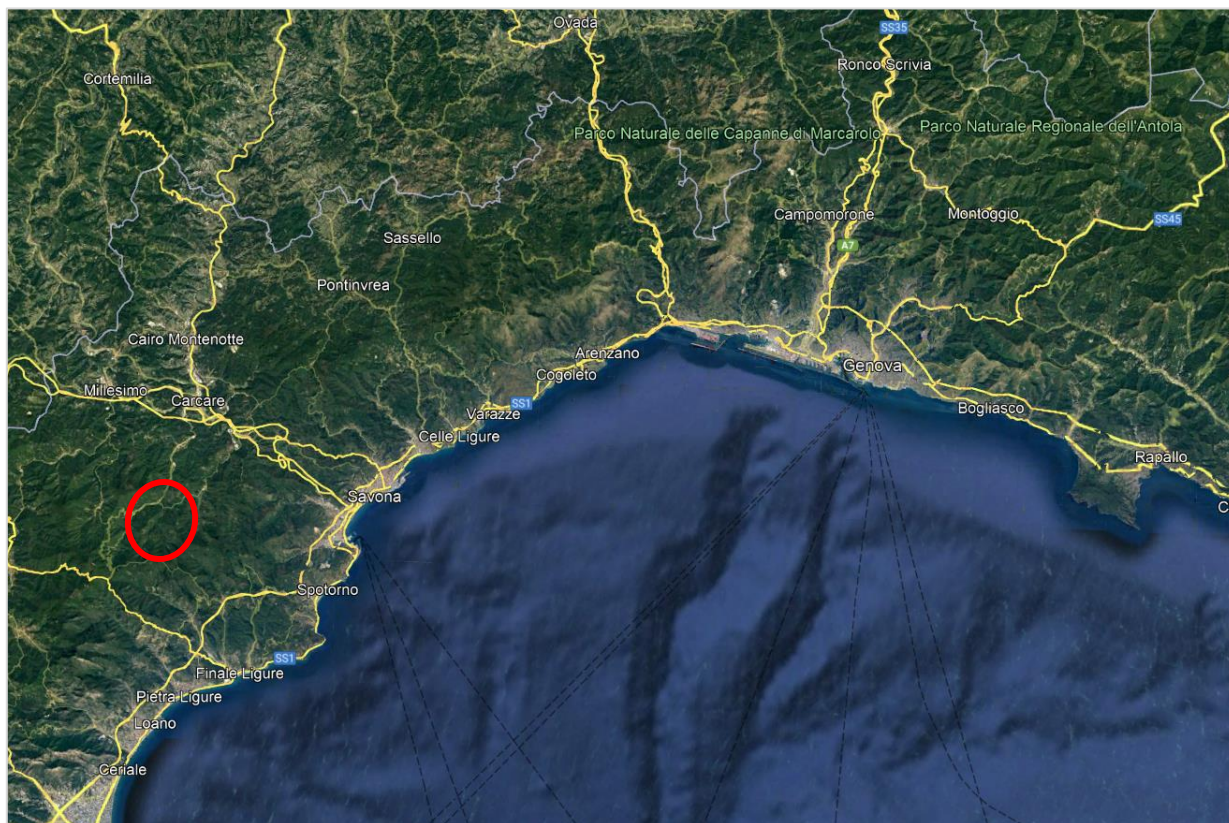


Figura 2.1: Ubicazione area di impianto da satellite.

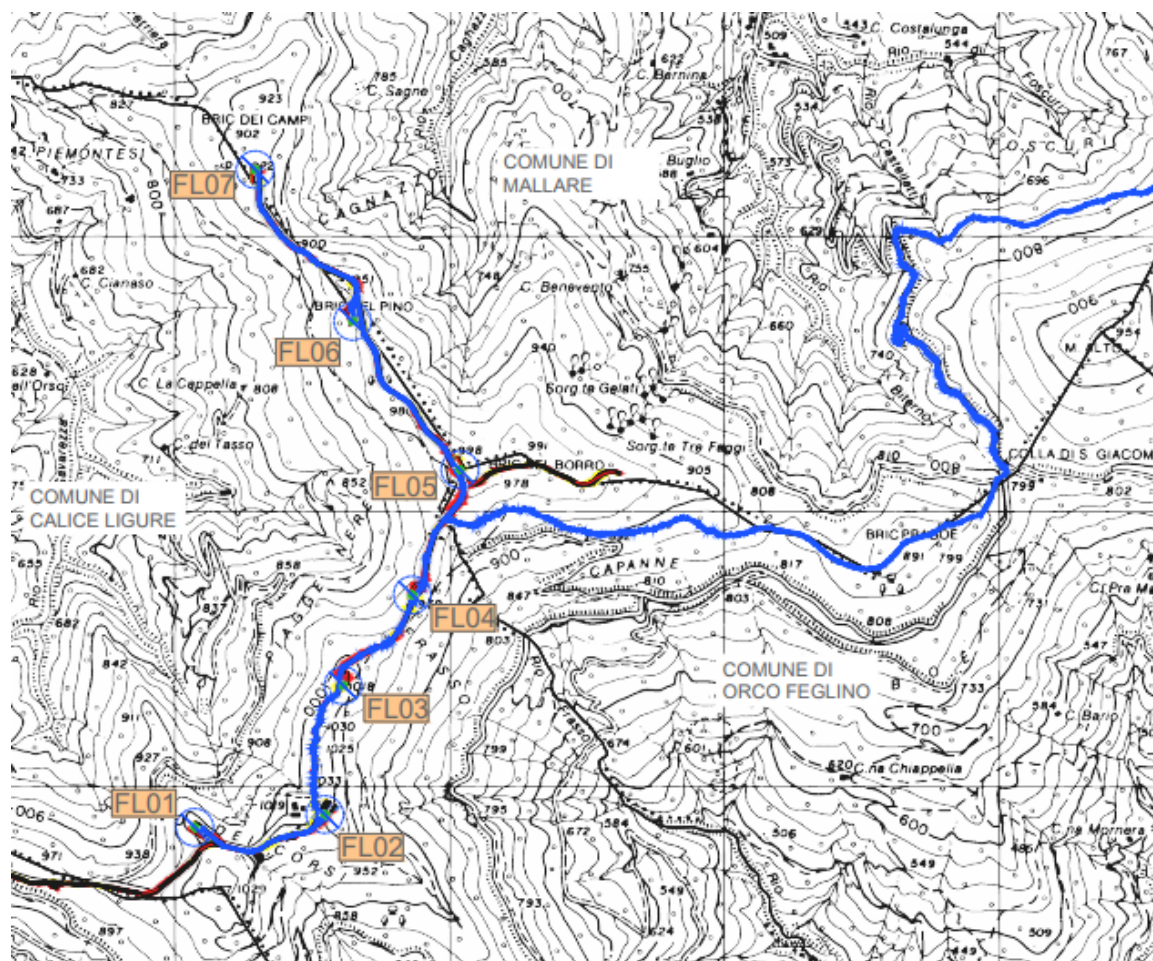


Figura 2.2: Inquadramento impianto su IGM 1: 25.000

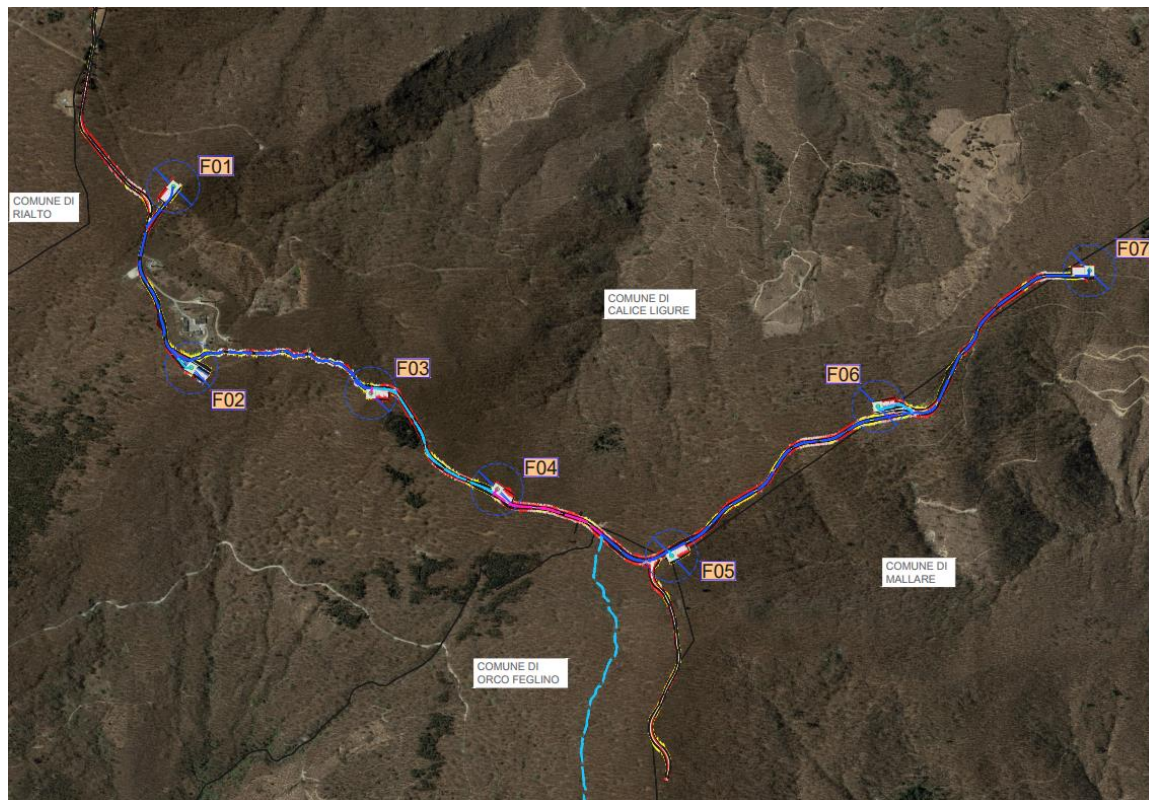


Figura 2.3: Inquadramento dell'impianto su ortofoto.

2.2 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO

L'area interessata dall'impianto si sviluppa prevalentemente lungo una displuviale, in prossimità dello spartiacque superficiale tra il bacino idrografico del *Torrente Aquila* (a sud) e del *Torrente Bormida di Spigno* (a nord). Nell'immagine 2.4 è individuato il reticolo idrografico su CTR.

2.2.1 Interazione tra la viabilità ed i bacini idrografici

L'impianto, come detto nel paragrafo precedente, si sviluppa prevalentemente su una displuviale: tale posizionamento implica che i bacini scolanti "intercettati" dalla viabilità in progetto siano di piccola estensione (o addirittura coincidano con la superficie della piattaforma stradale), con percorsi di corrivazione spesso dipendenti dal percorso dei fossi di guardia.

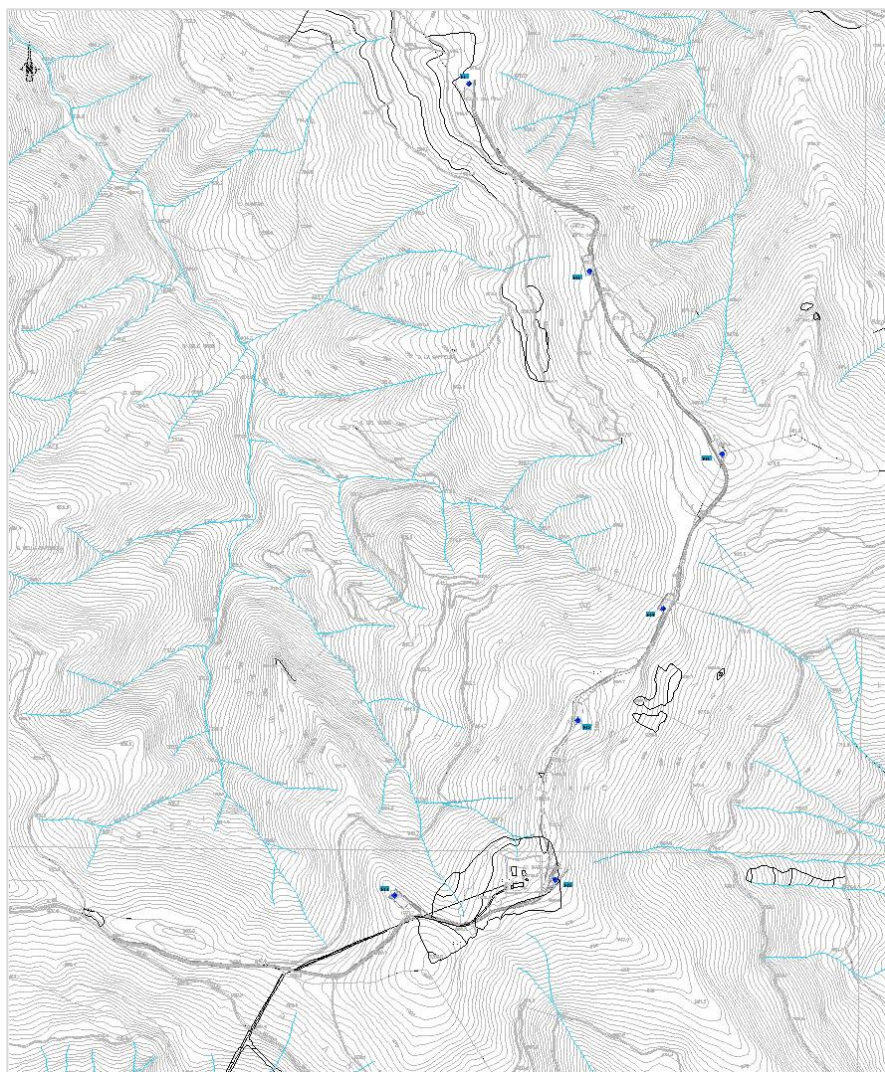


Figura 2.4 Reticolo idrografico su CTR, con riferimento alle opere oggetto di progettazione definitiva.

Nell'elaborato grafico 1454_G26, 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 5 m, prodotto dalla Regione Liguria.

Dall'analisi condotta si rileva come, data l'ubicazione dell'impianto (per la quasi totalità in corrispondenza displuviali) le interferenze 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 "Cravarezza" 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 idrologico-idraulico" esistenti *ante operam*: le opere in progetto determineranno un incremento pressoché nullo della portata di piena dei corpi idrici riceventi i deflussi superficiali originati dalle superfici interessate dagli interventi. Tale approccio consentirà di preservare e proteggere l'equilibrio idraulico naturale del sito e di garantire la resilienza del sistema per far fronte ai cambiamenti climatici futuri.
- **drenare il sito efficacemente**, attraverso la regimazione e controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità del parco in progetto, mediante una adeguata rete drenante, volta a proteggere le infrastrutture del parco eolico.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito a partire dal DTM con maglia 5 m (prodotto dalla Regione Liguria), dalla CTR 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.

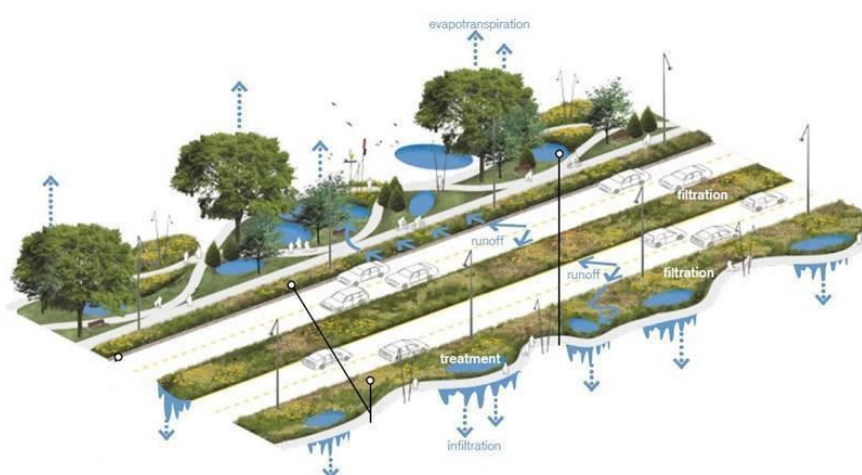


Figura 3.1 Esempio progettazione stradale in ottica SuDS (Sustainable Drainage Systems), ripensata secondo i principi di invarianza idraulica. Fonte: Huber, J., 2010. *Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas*.

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 "Cravarezza" (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 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%-2%).
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, gli scarichi avverranno in corrispondenza di impluvi naturali di modesta entità.

Come detto, tali immissioni saranno dotate di sistemi di dissipazione che consentiranno puntualmente l'annullamento dei rischi di fenomeni erosivi nel rispetto dell'equilibrio

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.

idrogeologico esistente: verrà garantito il convogliamento delle acque di scarico, prestando attenzione che l'immissione in piccoli impluvi esistenti e/o piccoli solchi di erosione esistenti avvenga con angoli inferiori o uguali ai 30°.

A tal uopo, nell'elaborato grafico 1454_G26, 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.

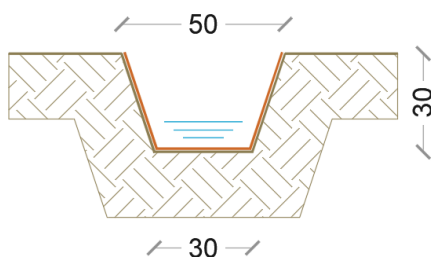
3.3 OPERE IDRAULICHE

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:

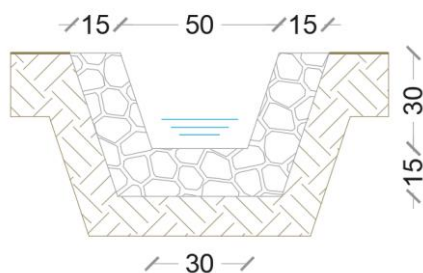
Sezione trapezia

Larghezza base [m]	0,30
Larghezza in superficie [m]	0,50
Altezza [m]	0,30



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

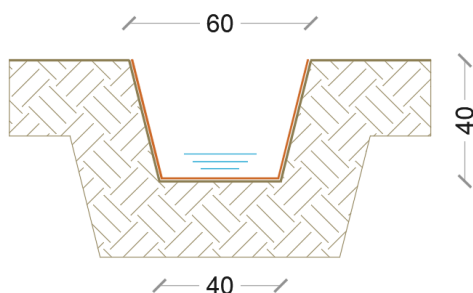
Nei tratti con **pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%** tali fossi di guardia in terra non sono rivestiti con geostuoia, ma presentano il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura ($d=5-10$ cm), per uno spessore di 15 cm, al fine di ridurre l'azione erosiva della corrente idrica. Tale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



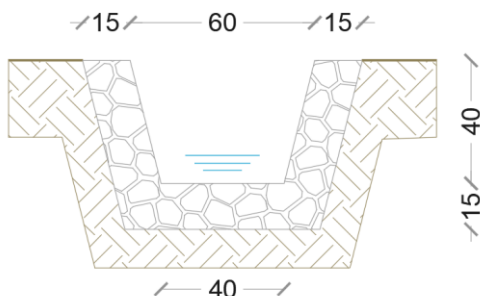
Fosso di guardia "Tipo B", in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione trapezia

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



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

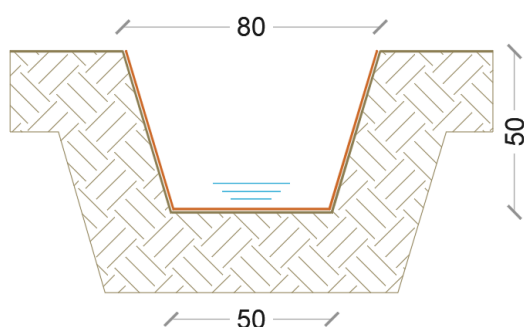


Fosso di guardia "Tipo C", in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le

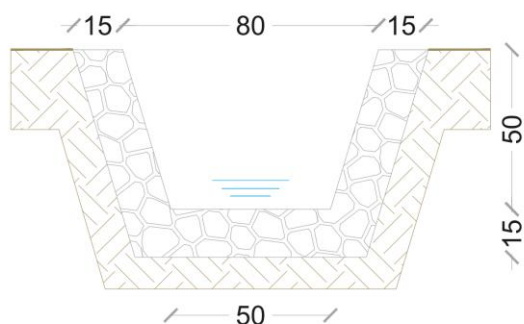
seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione trapezia

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



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



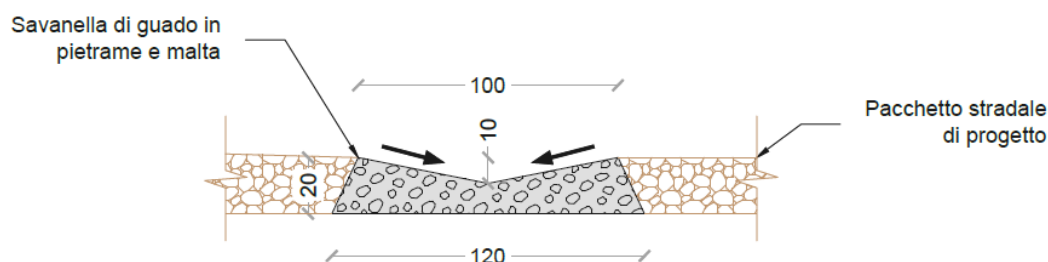
In alcuni tratti con pendenze superiori al 12,50% i fossi di guardia (Tipo AB, Tipo BP e Tipo CP) saranno "integrati" con salti di fondo. I fossi di guardia così realizzati sono denominati, rispettivamente, "Tipo APS", "Tipo BPS" e "Tipo CPS".

Tali salti (fig. 3.2) saranno realizzati in pietrame ed ubicati ad una distanza reciproca media pari a 5,00 m. Lo scopo è quello di ridurre la pendenza del fosso di guardia e limitando così l'azione erosiva della corrente.



Figura 3.2 Esempi di sistemi di fossi di guardia con fondo rivestito in pietrame e salti.

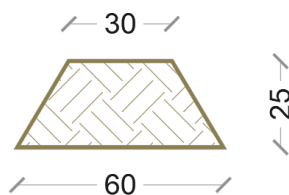
Savanelle di guado in pietrame e malta per un attraversamento “a raso” della viabilità di progetto.



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

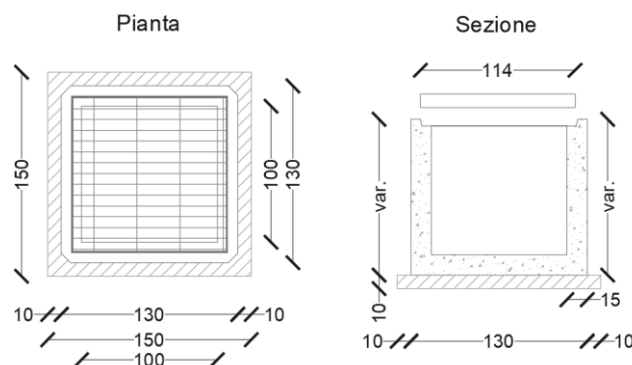


Attraversamenti "Tipo A" in corrispondenza dei punti di scarico: tale tipologia di attraversamento è necessaria per lo scarico delle acque meteoriche (di piattaforma ed eventualmente provenienti dai versanti) intercettate dai fossi di guardia.

Gli attraversamenti (n°8 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 seguito da una tubazione di scarico), previa opera di dissipazione in pietrame.

Di seguito (Figura 3.3) si riportano le sezioni longitudinali e trasversali dell'*attraversamento tipo* ed una pianta dello stesso attraversamento.

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) in ingresso e uscita.



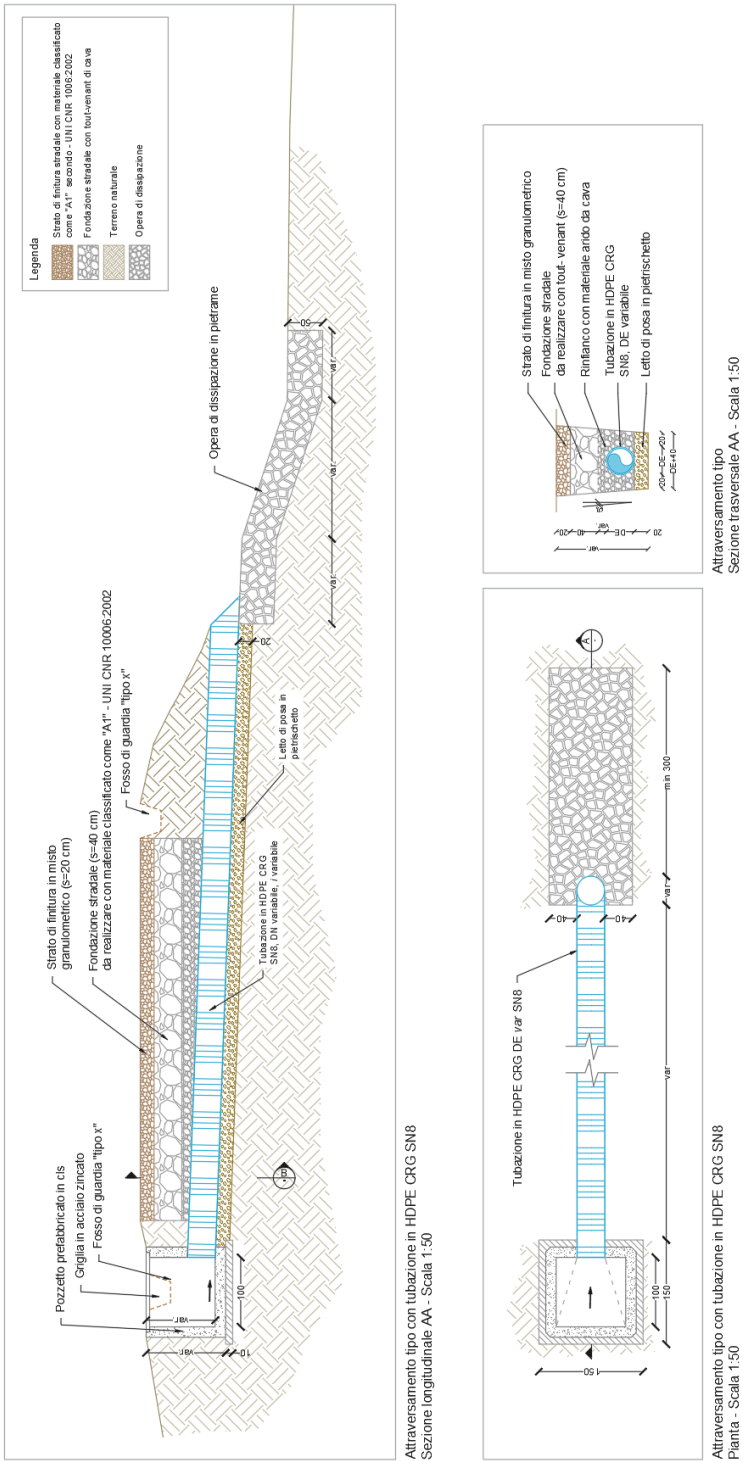


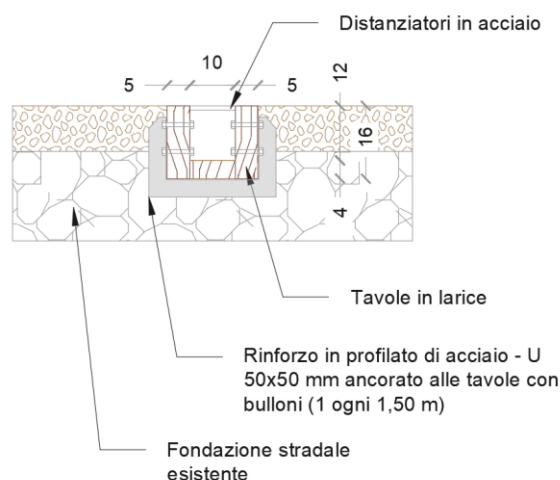
Figura 3.3 Sezioni longitudinali, trasversali e pianta dell'attraversamento tipo.

Canalette in legname per tagli trasversali alla viabilità, per i tratti con pendenza superiore a 15%, aventi le seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione rettangolare

Larghezza base [m]	0,10
Spessore [m]	0,05
Altezza [m]	0,12

Tali opere trasversali a cielo aperto assolvono essenzialmente la funzione di limitare la lunghezza del percorso dell'acqua sul piano stradale convogliandola presso i fossi di guardia in progetto.



Esse, interrompendo lo scorrimento dell'acqua, ne riducono il potere erosivo, limitando la formazione di solchi e l'approfondimento delle tracce lasciate dalle ruote dei veicoli.

La distanza tra le canalette è sicuramente l'elemento di maggior interesse progettuale. In generale, essa deve garantire lo smaltimento del deflusso superficiale prodotto sulla sede stradale e di quello sottosuperficiale intercettato, limitare l'erosione del fondo stesso ed evitare la formazioni di solchi, ma al contempo garantire una qualità di transito ragionevole. Nel caso in esame, nei tratti di utilizzo, si è deciso di installare una canaletta ogni 40-50 m.

L'orientamento scelto è di 30° rispetto alla perpendicolare dell'asse stradale, per evitare che le ruote gravino contemporaneamente sul manufatto e per conferire una pendenza trasversale alla canaletta. La pendenza trasversale delle canalette deve infatti garantire lo smaltimento del deflusso prodotto dal tratto di strada sotteso ed evitare la deposizione almeno del materiale più fine. A tale scopo la pendenza non è inferiore al 3-4%.

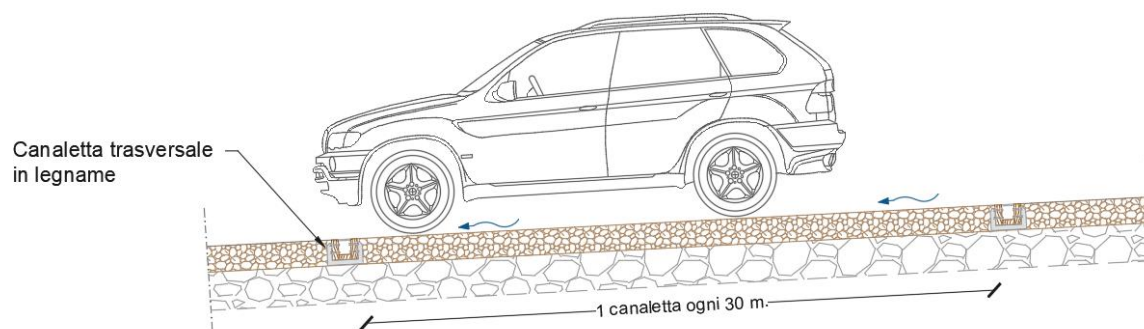


Figura 3.4 Sezione longitudinale con ubicazione delle canalette in legno.

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 "Cravarezza".

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 "Cravarezza".

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 VAPI LIGURIA

Attraverso la distribuzione GEV (*General Extreme Value*) è stato possibile determinare le altezze di pioggia b e le relative intensità i , seguendo una tecnica di regionalizzazione dei dati pluviometrici messa a punto dal progetto VAPI³.

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.

La regionalizzazione delle piogge mira a superare i limiti relativi alla scarsa informazione pluviometrica (spesso costituita da singole serie di durata limitata e poco attendibili per le elaborazioni statistiche), utilizzando in modo coerente tutta l'informazione pluviometrica disponibile sul territorio, per individuare la distribuzione regionale delle caratteristiche delle precipitazioni.

Per il calcolo delle curve di probabilità pluviometrica si farà pertanto riferimento alla procedura descritta nel rapporto sulla valutazione delle piene⁴ (Italia Nord Occidentale), relativo ai compartimenti di Parma e Genova (*C. De Michele e R. Rosso*, 2001).

La base dati pluviometrica utilizzata nel rapporto VAPI comprende i dati osservati nelle stazioni di misura pluviometriche e pluviografiche del SIMN fino al 1986⁵.

Per quanto riguarda le piogge di breve durata e forte intensità, il gruppo VAPI non ha identificato sottozone pluviometriche omogenee in relazione alla distribuzione di probabilità cumulata (DPC) delle piogge da 1 a 24 ore consecutive; si è infatti provveduto alla valutazione della DPC per ogni stazione in base all'ipotesi di invarianza di scala [*Burlando e Rosso*, 1996] utilizzando la distribuzione generalizzata del valore estremo (GEV).

Stimati i parametri di forma k , di scala a , e di posizione ε , della DPC/GEV per ogni stazione pluviometrica individuata, resta univocamente determinata la relazione fra periodo di ritorno T e valore del coefficiente di crescita K_T , valida per piogge massime annuali di durata da 1 a 24 ore consecutive:

$$K_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left(1 - e^{-ky_T} \right)$$

dove y_T indica la variabile ridotta di Gumbel, pari a $y_T = -\ln \left(\ln \frac{T}{T-1} \right)$, mentre i valori dei parametri k , a , e ε sono tabellati per ciascuna stazione di riferimento. K_T è definito *coefficiente 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 e del tempo di ritorno T dell'evento meteorico.

⁴ Estratto dal Rapporto Nazionale VAPI.

⁵ Dopo un'analisi di qualità dell'informazione contenuta nelle serie storiche registrate, è stato ottenuto un database comprendente 366 stazioni di misura (270 nel bacino padano e 96 in Liguria) con almeno 20 anni di osservazione e numerosità media di 34 anni.

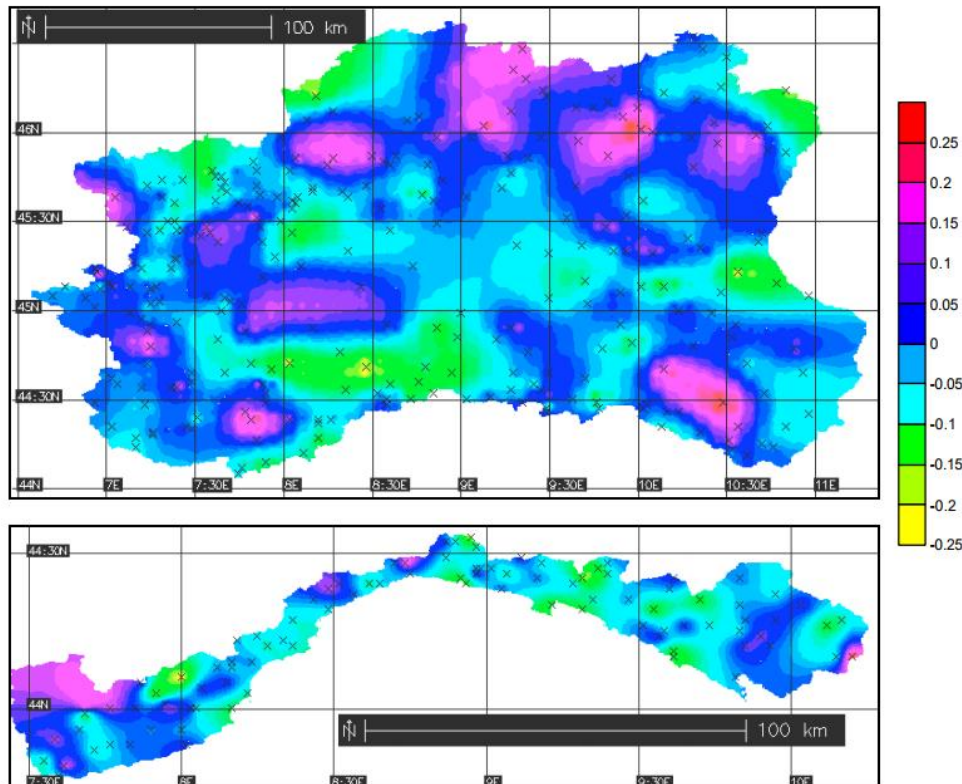


Figura 4.1: Mappa del parametro di forma, k , della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

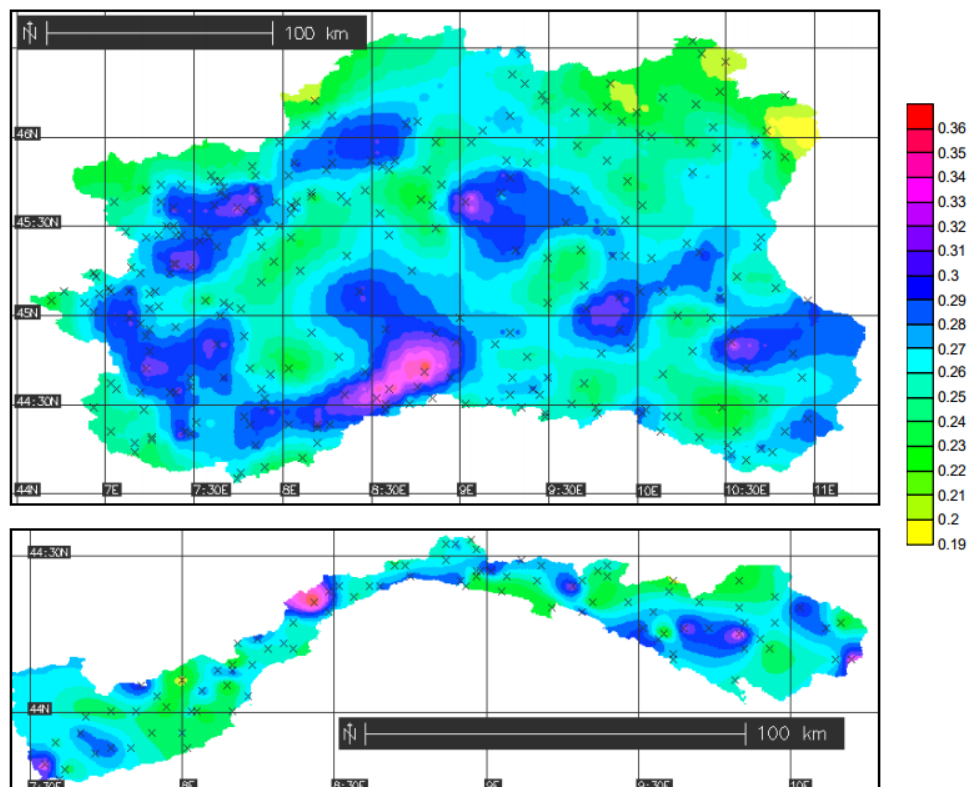


Figura 4.2: Mappa del parametro di scala, a , della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

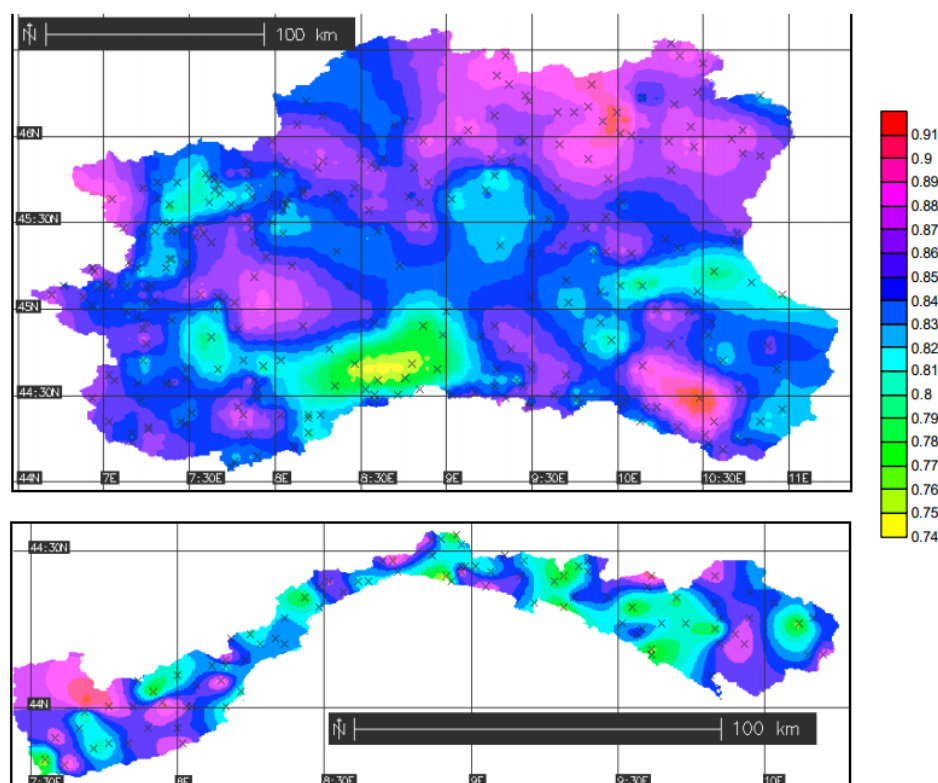


Figura 4.3: Mappa del parametro di posizione, della distribuzione di probabilità del coefficiente di crescita dei massimi annuali delle piogge da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

Pertanto, l'espressione della curva di probabilità pluviometrica con tempo di ritorno T -ennale sarà pertanto:

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

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di assegnata durata t e fissato tempo di ritorno T e $m(t)$ è il valore atteso dell'altezza di pioggia massima annuale caduta in t ore consecutive.

Per le zone in esame, il valore di $m(t)$ - media del massimo annuale dell'altezza di pioggia su una fissata durata t - è stato calcolato a mezzo della seguente espressione

$$m(t) = a_1 \cdot t^n$$

I parametri di tale relazione sono stati valutati con regressione ai minimi quadrati nelle 366 stazioni di misura pluviografiche presenti sul territorio esaminato. I valori osservati variano per a_1 da 10 a 49 mm/ore e per n da 0.21 a 0.61: l'ampiezza di questi intervalli richiede un modello di variabilità spaziale dei parametri; in particolare, *Rosso* ha fatto riferimento ad un modello a variabilità continua. Per una pratica applicazione di tale relazione, il rapporto

VAPI fornisce sia le mappe iso-parametriche di a_1 e di n per l'intero territorio che i valori tabellati per ciascuna delle stazioni pluviografiche analizzate.

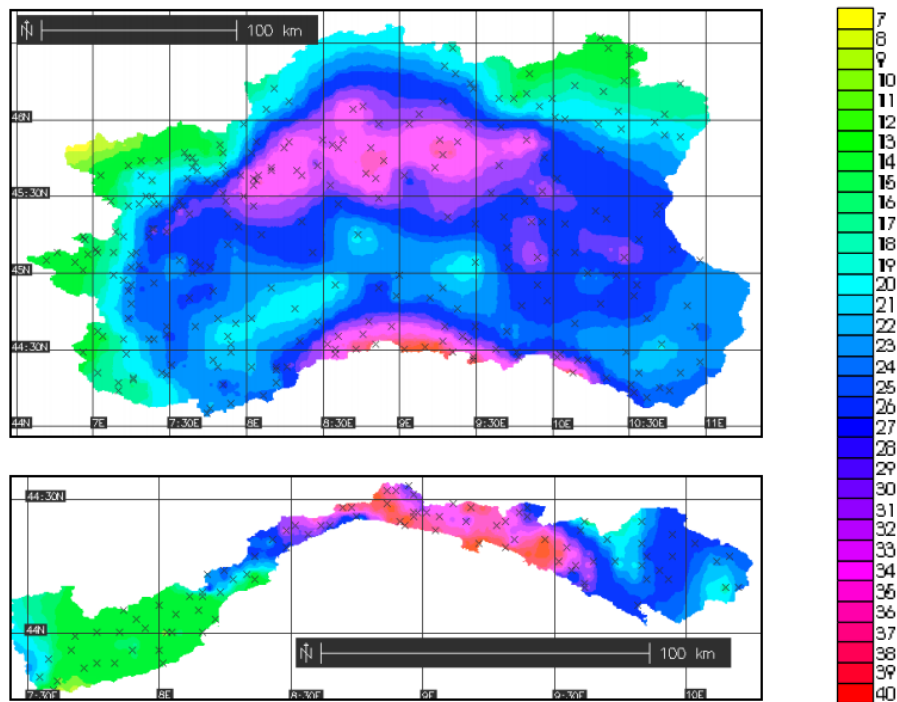


Figura 4.4: Mappa del coefficiente pluviometrico orario, a_1 , mm/ore pari al valore atteso della pioggia oraria massima annuale, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

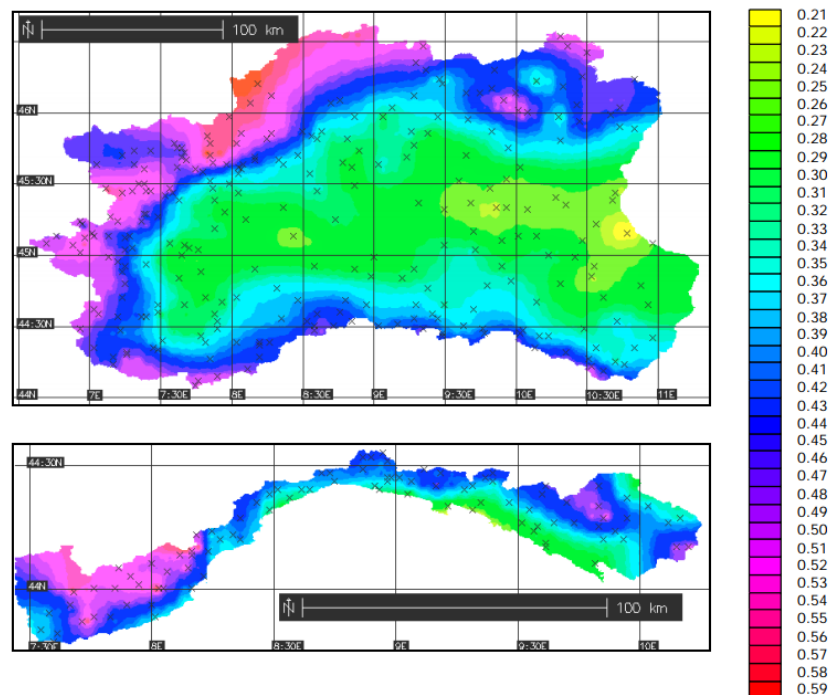


Figura 4.5: Mappa dell'esponente di scala, n , della pioggia massima annuale al variare della durata da 1 a 24 ore consecutive, con indicazione delle 366 stazioni di misura pluviometriche considerate.

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.

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:

Rialto

Provincia di Savona

Anni di funzionamento: 31 | Sensori presenti: Pluviometro | Altitudine: 376 m.s.l.m.

Per essa, come per le restanti stazioni pluviometriche liguri, risultano tabellati i valori dei parametri di forma k , di scala a , e di posizione ε , così come i valori di a_1 ed n . Tali valori sono di seguito riportati:

ε	0.824	-
α	0.256	-
k	-0.099	-
a_1	37.9	mm/ora
n	0.332	

Il fattore di crescita K_T risulta pertanto pari a 2,043. 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	77,44
3	37,17
6	23,40
12	14,73
24	9,27

L'espressione analitica della legge di probabilità pluviometrica, per T=50 anni, è la seguente
 $h(t) = 77.44 \cdot t^{0.332}$.

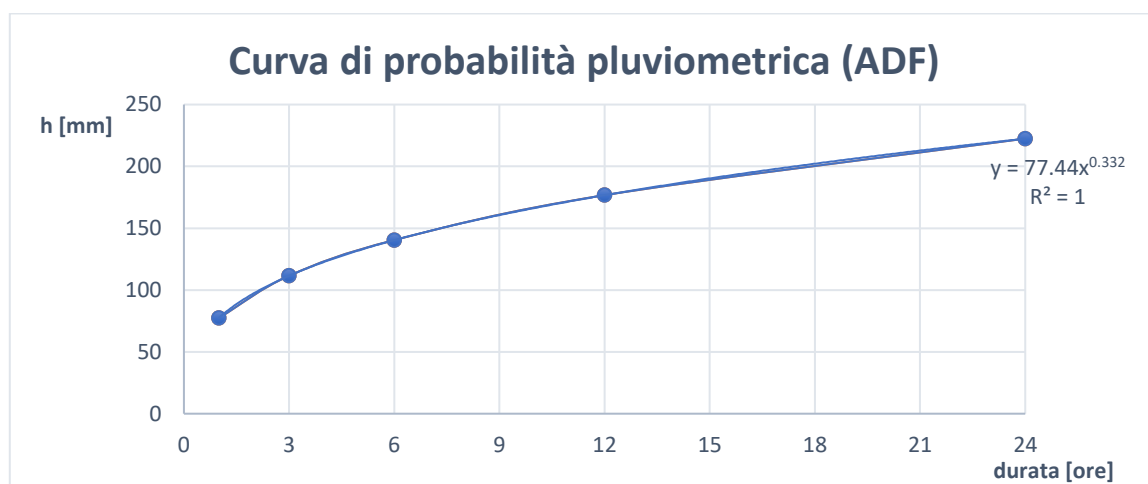


Figura 4.6: Curva di probabilità pluviometrica ADF (Altezza-Durata-Frequenza) relative all'area oggetto di studio e per il tempo di ritorno di progetto (T=50 anni).

4.4 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 "Rialto".

Inoltre, date le ridotte dimensioni dei bacini ($S < 10 \text{ km}^2$), non verrà effettuato il ragguaglio 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 t_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 per la quasi totalità da boschi.

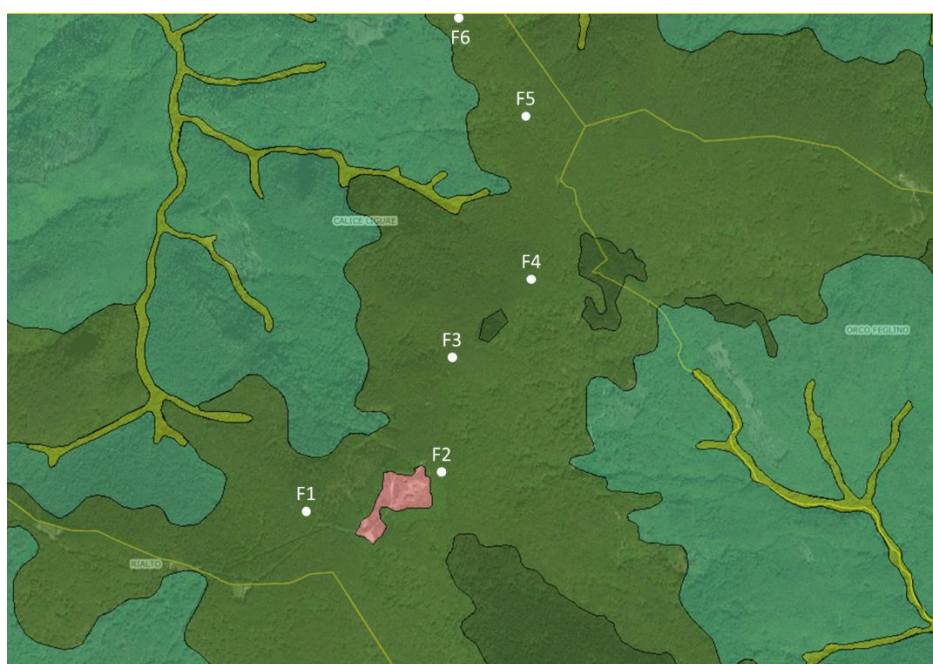


Figura 5.1 Corine Land Cover 2012 – IV Livello per le aree oggetti di intervento, con individuazione degli aerogeneratori in progetto.

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);
- $\varphi = 0.30$ per aree boschive mediamente permeabili.

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 tre bacini *rappresentativi*⁶ 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 ($T=50$ 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:

- ID Bacino (la perimetrazione ha riguardato i bacini che insistono su viabilità e piazzole del Parco Eolico "Cravarezza");
- 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, Δh (m);
- Pendenza media del percorso i (%);
- Durata dell'evento pluviometrico critico, pari al tempo di corrvazione t_c (in minuti);

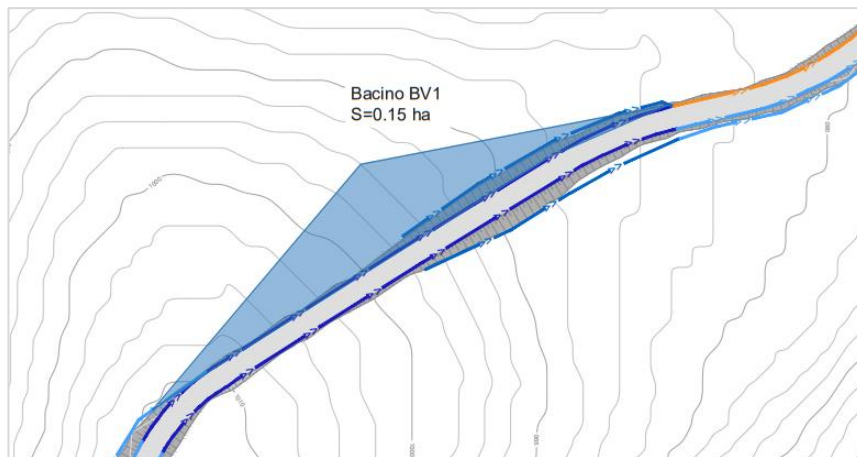
⁶ I bacini "rappresentativi" (BV) sono quelli, tra i bacini afferenti alla viabilità di progetto, che determinano il valore maggiore di portata di deflusso, in funzione della loro superficie/pendenza; con riferimento a tale portata, ogni fosso di guardia risulta idraulicamente e tecnicamente compatibile.

- Coefficiente di afflusso φ ;
- Valore dell'intensità critica i_T (mm/h);
- Portata al colmo della piena, Q , (in m^3/s);

La tabella che segue è pertanto relativa al calcolo della portata di progetto (per ciascun bacino BV) causata da un evento pluviometrico critico di fissato tempo di ritorno T .

ID Bacino	Superficie S		Lunghezza asta L (m)	H max	H min	Δh	Pendenza media i	Tempo di corrivazione e 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]
BV1	1536	0,001536	140,0	1017,0	998,3	18,70	13,36%	1,90	777,57	0,30	0,100
BV2	5577	0,005577	97,0	1003,6	996,0	7,59	7,82%	1,76	818,29	0,30	0,380
BV3	8741	0,008741	134,0	1004,7	997,3	7,40	5,52%	2,58	633,69	0,30	0,462

Di seguito si riportano le immagini con l'individuazione dei bacini "rappresentativi", utilizzati per il dimensionamento delle opere idrauliche previste nel presente progetto.

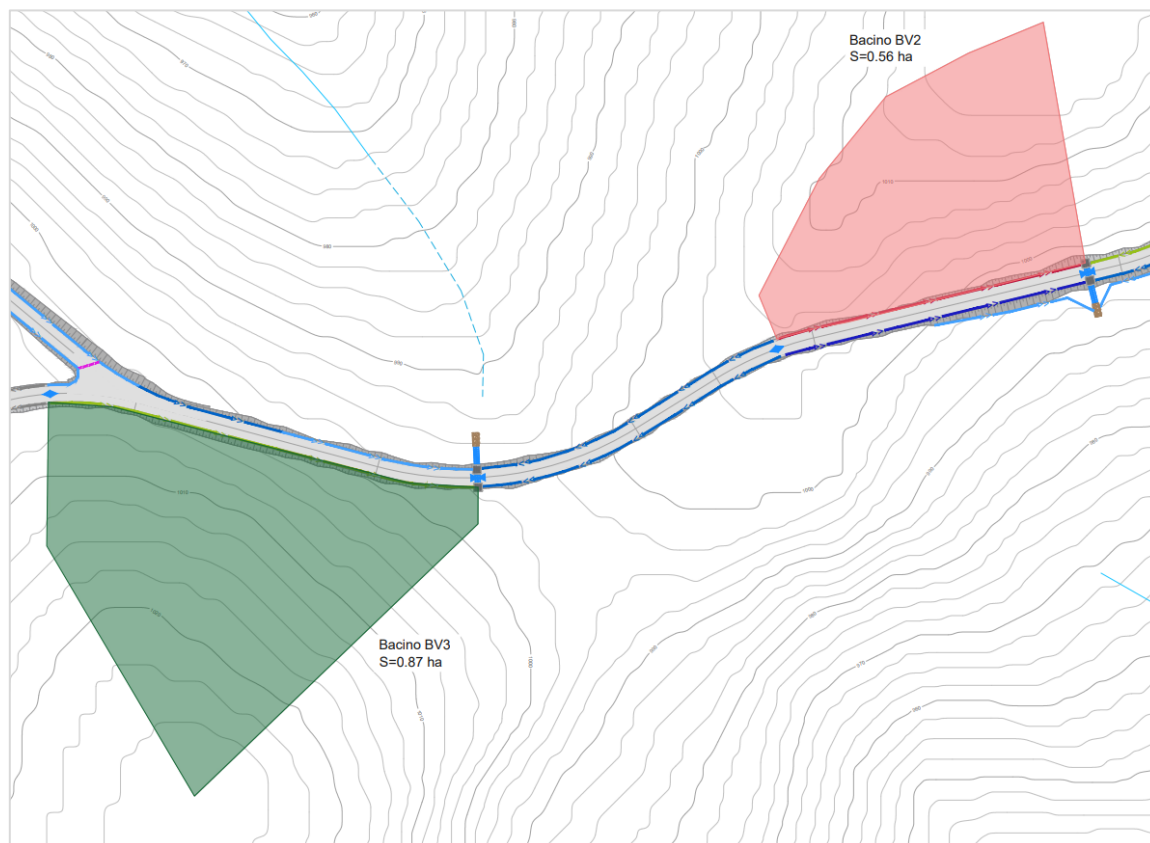


RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

REALIZZAZIONE IMPIANTO EOLICO "CRAVAREZZA"

COMUNI CALICE LIGURE MALLARE ORCO FEGLINO E ALTARE (SV)

PROGETTO DEFINITIVO



6 VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE

6.1 PRE-DIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA

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

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

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

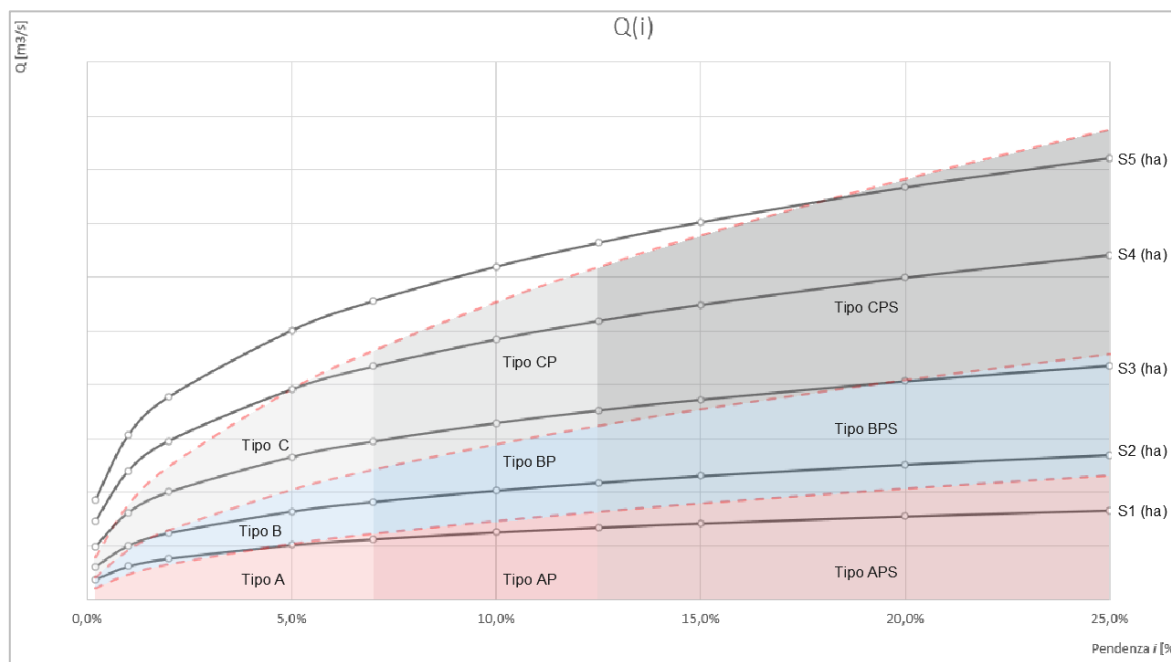


Figura 6.1: Tipologia di grafico $Q(i)$ con individuazione delle zone omogenee per il pre-dimensionamento dei fossi di guardia.

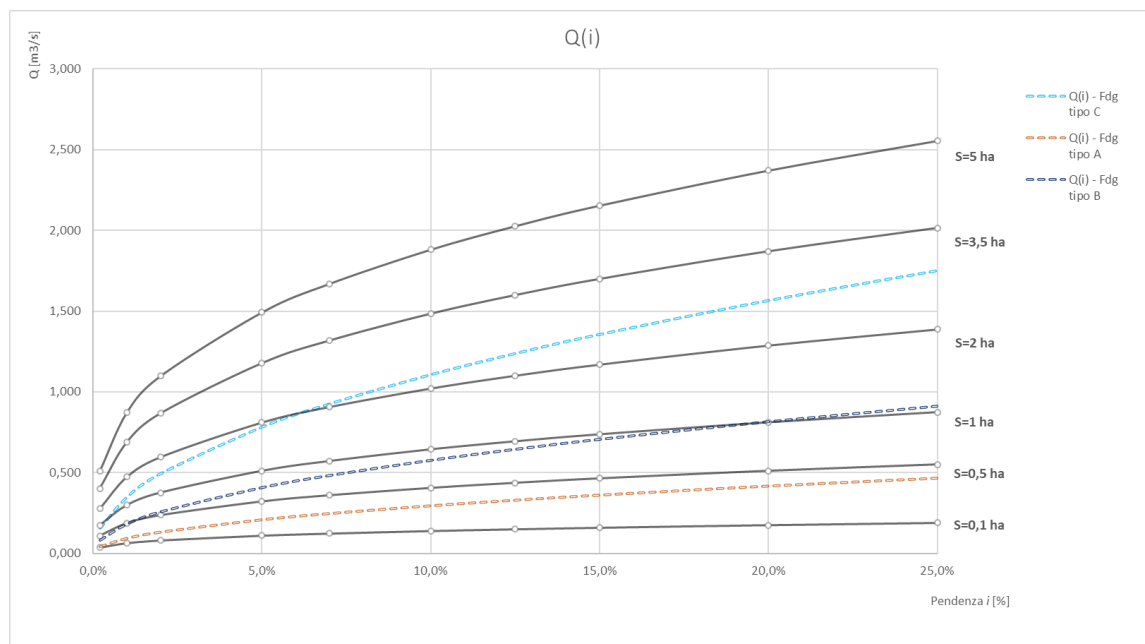


Figura 6.2: Definizione del grafico $Q(i)$ per il caso in studio, con riferimento ad un tempo di ritorno T pari a 50 anni.

6.2 VERIFICA FOSSI DI GUARDIA

La seconda fase prevede la verifica della capacità idraulica dei canali, prevedendo un franco minimo di 10 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*, ($\text{in m}^{1/3} \cdot \text{s}^{-1}$); 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 esame⁷.

A scopo esemplificativo, si riportano i calcoli effettuati per le portate relative ai bacini BV1 – BV2 e BV3 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		
Tipologia sezione	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
		[%]	[m³/s]	[m]	[m²]	[m]	[m]	[m³/s]	[m/s]	[-]	[m]
F1	BV1	8,00%	0,100	0,14	0,05	0,60	0,08	0,100	1,99	0,48	0,16
F2	BV2	7,82%	0,380	0,29	0,14	1,00	0,14	0,380	2,76	0,73	0,11
F3	BV3	5,52%	0,462	0,31	0,18	1,14	0,16	0,461	2,55	0,61	0,19

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);

⁷ 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).

- 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.

7 CONCLUSIONI

All'interno della presente relazione è stata analizzata nel dettaglio l'interazione tra le opere in progetto (viabilità, piazzole, etc.) ed il reticolo idrografico esistente e sono state definite e dimensionate le opere idrauliche e gli interventi per il drenaggio e l'allontanamento delle acque meteoriche dalle superfici stradali e dalle piazzole del parco eolico "Cravarezza".

Tutte le scelte progettuali sono state condotte secondo principi di invarianza idraulica 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.

Inoltre, il sistema di opere idrauliche in progetto ha caratteristiche tali da non modificare né il reticolo idrografico esistente, né la risposta dei bacini per tutti gli aspetti che riguardano i meccanismi di formazione dei deflussi e le caratteristiche di permeabilità delle aree.