

“IR MELISSA STRONGOLI”

Integrale ricostruzione dei Parchi Eolici Melissa Strongoli e Melissa San Francesco (KR) - Intervento di Repowering con sostituzione degli aerogeneratori esistenti e relativa riduzione del numero delle macchine

Comuni di Melissa e Strongoli (KR)

COMMITTENTE



Edison Rinnovabili S.p.A.

Foro Buonaparte n.31 - Milano (MI)
P.IVA: 12921540154

PROGETTAZIONE



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



Progettista: Ing. Mariano Galbo

RELAZIONE IDROLOGICA-IDRAULICA

REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO
0	PRIMA EMISSIONE	Novembre 2022	MG	VF	EG
Codice commessa: EDIS758		Codifica documento: MEL-PD-REL-0014_00			

INDICE

INDICE	3
1 PREMESSA	4
2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO	6
2.1 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO	9
3 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE	12
3.1 APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE.....	12
3.2 INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	13
3.3 OPERE IDRAULICHE	14
4 INFORMAZIONE IDROLOGICA	17
4.1 PREMESSA.....	17
4.2 METODO TCEV CALABRIA	17
4.2.1 <i>Calcolo della c.p.p.</i>	21
4.2.2 <i>Piogge brevi</i>	22
4.2.3 <i>Superfici di influenza e ragguglio spaziale</i>	23
5 MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	24
5.1 INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA	24
5.2 IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO	25
6 VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE	27
6.1 PRE-DIMENSIONAMENTO.....	27
6.2 VERIFICA	28

1 PREMESSA

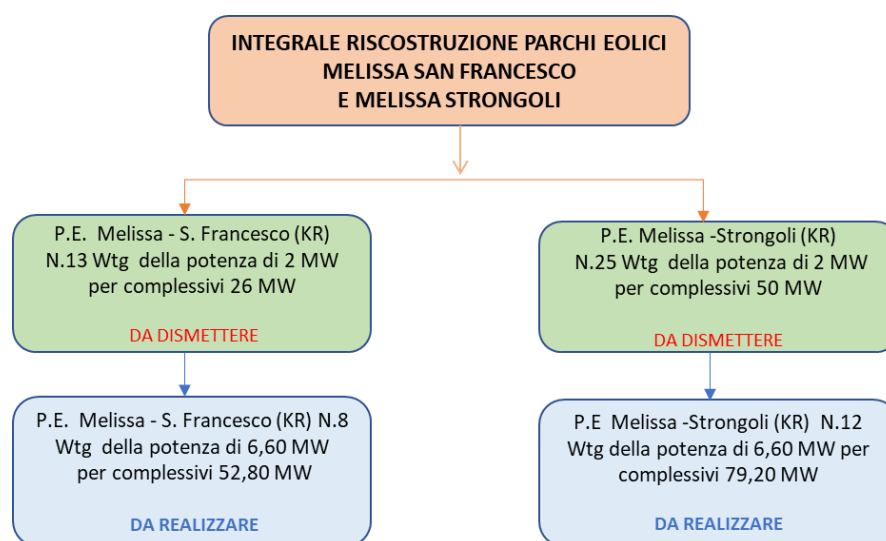
La società Edison Rinnovabili S.P.A. con sede in Foro Buonaparte n.31 – Milano (MI) è proprietaria dei parchi eolici denominati Parco eolico San Francesco ubicato nel Comune di Melissa (KR), costituito da 13 Wtg tipo Gamesa G87 da 2 MW per complessivi 26 MW e parco eolico Melissa Strongoli ubicato negli omonimi Comuni, costituito da 25 Wtg tipo Ecotecnica ECO80 da 2 MW per complessivi 50 MW

Da un punto di vista autorizzativo, Edison rinnovabili S.P.A. precisa che:

- il parco esistente denominato Parco eolico S. Francesco (KR) è stato autorizzato sulla base della normativa vigente all'epoca, mediante autorizzazione unica ai sensi del D.P.R. 387/2003 e delibera Giunta regionale 832/2004 con il numero 529 del 05/02/2007 e della potenza di 32 MW.
- il parco esistente denominato Parco eolico Melissa Strongoli (KR). è stato autorizzato sulla base della normativa vigente all'epoca, mediante autorizzazione unica ai sensi del D.P.R. 387/2003 e delibera Giunta regionale 832/2004 con il numero 18694 del 22/12/2006 e della potenza di 50 MW.

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata di redigere il progetto definitivo relativo all'integrale ricostruzione dei Parchi Eolici Melissa Strongoli e Melissa San Francesco (KR), mediante la sostituzione degli aerogeneratori esistenti e relativa riduzione del numero delle macchine.

In particolare, il progetto del parco eolico San Francesco prevede la sostituzione di 13 Wtg da 2 MW con 8 Wtg da 6,60 MW passando dagli attuali 26 MW ai 52,8 MW futuri mentre il progetto di Melissa Strongoli prevede la sostituzione di 25 Wtg da 2 MW con 12 Wtg da 6,60 passando dagli attuali 50,00 MW ai 79,20 MW futuri.



Il progetto prevede altresì:

- smantellamento dei 38 aerogeneratori esistenti tra Melissa Strongoli (25 unità) e San Francesco (13 unità);
- smantellamento dei cavi esistenti ad eccezione di quelli del cavidotto esterno di Melissa Strongoli che sono solo da integrare con una nuova linea;
- costruzione di un elettrodotto MT da 30 kV, sia interno di collegamento tra gli aerogeneratori, che verso la stazione di trasformazione utente 30/150 kV negli stessi siti dei cavidotti esistenti;
- smantellamento degli n.2 locali MT delle cabine di smistamento (CS1,2) nel campo di Melissa Strongoli;
- installazione di n.2 nuovi locali MT associati alle cabine di smistamento esistenti, più installazione di una terza cabina di smistamento completa di cabinato MT e locale servizi ausiliari.
- adeguamento delle due sottostazioni elettriche di trasformazione utente esistenti
- potenziamento delle linee RTN

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).

Come riportato ampiamente le opere viarie del parco rimarranno le medesime del parco esistente così come le opere idrauliche a corredo delle strade esistenti. Nel caso delle piazzole che verranno ampliate si prevede una sistemazione idraulica avente lo scopo di integrare le nuove opere idrauliche con le esistenti.

Si tratta dunque di interventi modesti.

2 INQUADRAMENTO TERRITORIALE E IDROGRAFICO

Gli aerogeneratori dell'impianto ricostruito saranno in numero di 20 (venti) e denominati con le sigle:

- IR01-02.....-12 per i nuovi aerogeneratori del parco di Melissa Strongoli
- IR13-14.....-20 per i nuovi aerogeneratori del parco di San Francesco

I riferimenti cartografici sono i seguenti:

- Fg. IGM: 02-03-04
- Fg CTR: 562094-562091-562104-562052-562063
- Fg. Catastali Strongoli: 01-02-03
- Fg. Catastali Melissa: 10-11-21-22-23-33-41-42-44-45-46
- Fg. Catastali Ciro Marina: 39

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

WTG	E	N
IR01	679790.150	4350971.750
IR02	679208.600	4351123.000
IR03	678830.850	4350562.300
IR04	678353.000	4350398.000
IR05	677912.000	4350267.900
IR06	677473.000	4350428.000
IR07	677057.150	4350512.700
IR08	676532.500	4350289.600
IR09	675884.700	4349999.000
IR10	675272.650	4350096.300
IR11	674747.250	4350212.800
IR12	673920.600	4349802.000
IR13	680432.293	4352916.354
IR14	679967.316	4353012.346
IR15	679463.000	4353141.000
IR16	678875.371	4352870.328
IR17	679012.359	4353485.330
IR18	679891.000	4353965.000
IR19	680103.289	4354575.348
IR20	678696.358	4354481.325

Tab. 1 Coordinate aerogeneratori di integrale ricostruzione nel sistema UTM 33 WGS84

L'impianto eolico ricostruito ricade nelle **medesime porzioni** di territorio interessate dall'impianto esistente. In particolare, dei 20 nuovi aerogeneratori 16 unità coincideranno

con **le medesime posizioni** degli esistenti e solo quattro wtg, la IR06, IR09, IR15 e IR18 saranno realizzate in postazioni diverse dalle esistenti.

Per maggiore chiarezza si veda la seguente tabella:

WTG	EX	P.E
IR01	A1	Melissa Strongoli
IR02	A3	Melissa Strongoli
IR03	A5	Melissa Strongoli
IR04	A7	Melissa Strongoli
IR05	A9	Melissa Strongoli
IR06	---	Melissa Strongoli
IR07	A12	Melissa Strongoli
IR08	A14	Melissa Strongoli
IR09	--	Melissa Strongoli
IR10	A20	Melissa Strongoli
IR11	A22	Melissa Strongoli
IR12	A25	Melissa Strongoli
IR13	A7	Melissa San Francesco
IR14	A5	Melissa San Francesco
IR15	---	Melissa San Francesco
IR16	A1	Melissa San Francesco
IR17	A10	Melissa San Francesco
IR18	---	Melissa San Francesco
IR19	A16	Melissa San Francesco
IR20	A12	Melissa San Francesco

Tab.2 Corrispondenza tra le coordinate degli aerogeneratori esistenti e nuovi

Gli aerogeneratori che saranno installati verranno scelti tra diversi fornitori ed in grado di sviluppare ciascuno 6,60 MW di potenza massima, con le seguenti specifiche tecniche orientative:

- altezza mozzo fino a 125 m;
- diametro del rotore fino a 160 m;
- altezza massima fino a 200 m.

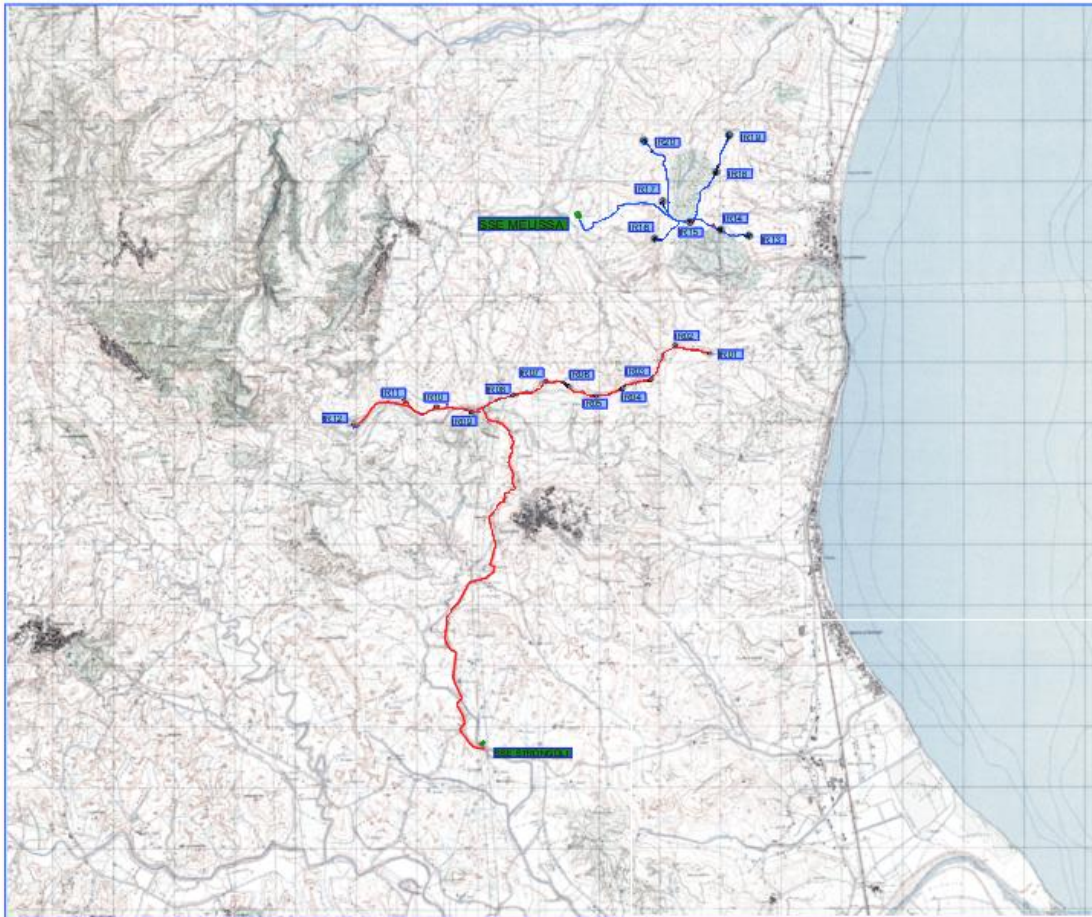
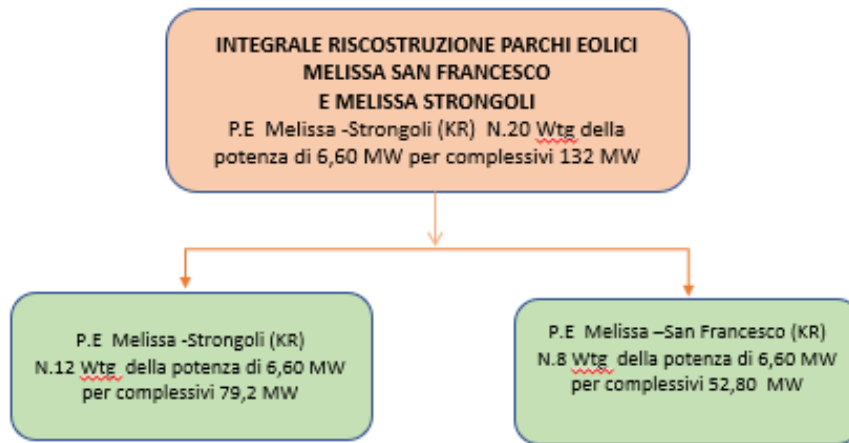


Fig.1 Layout di integrale ricostruzione su carta 1:100.000

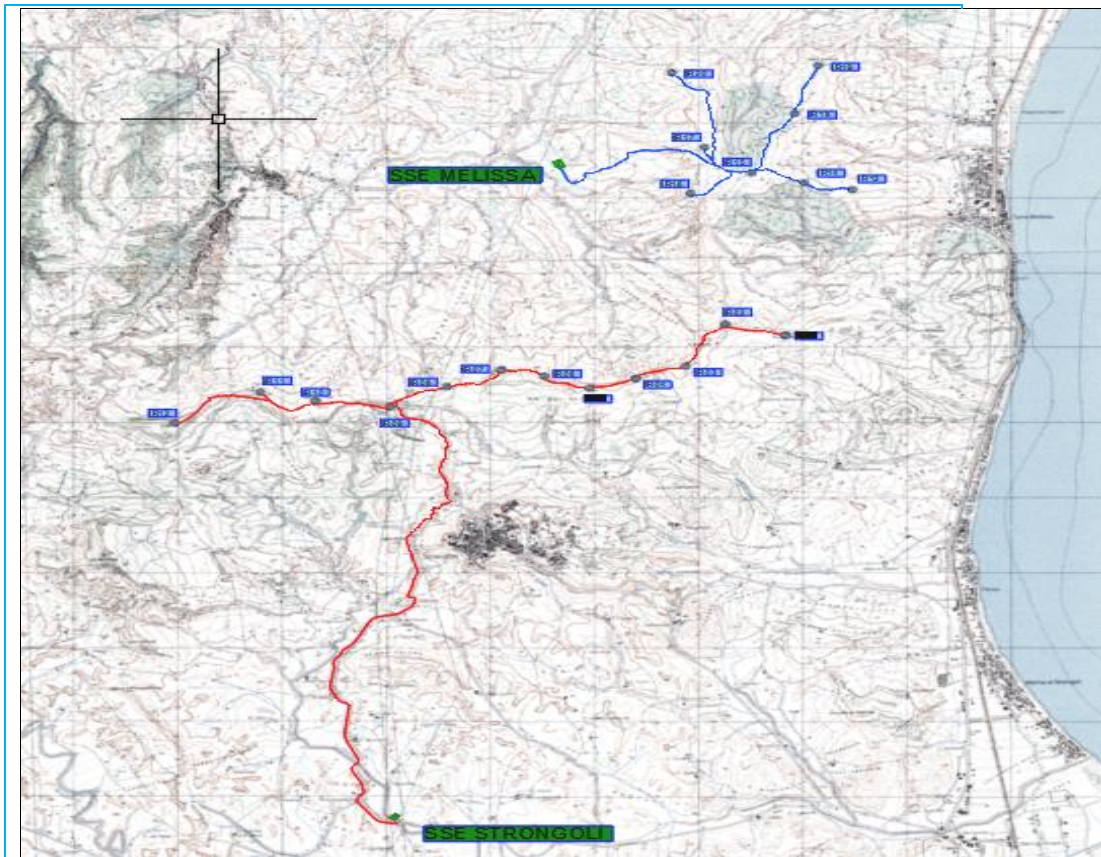


Fig.2 Layout di integrale ricostruzione su IGM 1:25000

2.1 Inquadramento idrografico

Si fa presente che nel sito in studio, consultate le carte redatte dall’Autorità di Bacino della Regione Calabria nell’ambito del Piano di Assetto Idrogeologico di cui al Decreto del Segretario Generale n 540 del 13/10/2020, in particolare in quella dei dissesti, non sussistono vincoli di alcun ordine e grado, fatta eccezione per l’area in cui ricade l’aerogeneratore IR13 che lambisce un’area dove, nel versante che degrada verso Sud si riscontra un fenomeno franoso indicato nelle carte del PAI come frana di scorrimento a pericolosità P3, in quello che degrada verso Nord un fenomeno franoso indicato come frana complessa a pericolosità P2. Inoltre per quanto riguarda le carte della pericolosità e del rischio idraulico nessun aerogeneratore ricade in aree soggette a vincolo (aree di attenzione vedi cartografia allegata).

Da un punto di vista idrografico, sono presenti numerosi bacini imbriferi, sia a Nord che a Sud rispetto alla cresta. Nel primo caso l'asse di drenaggio delle aste di primo ordine avviene lungo la massima pendenza in direzione N-S; nel secondo caso invece presentano una orientazione preferenziale di direzione NW-SE. In entrambi i casi non si esclude un controllo strutturale di tipo fragile, con un'impostazione delle aste lungo piani di debolezza (faglie e/o fratture), le cui evidenze morfologiche sono mascherate dai prodotti dell'erosione. Nella zona di testata dei bacini stessi, si ha lo sviluppo di numerose aste secondarie con un pattern di tipo sub dendritico.

Il modello idrogeologico nell'area di progetto ovvero la circolazione idrica sotterranea, in base al modello geologico descritto, si compone delle seguenti Unità Idrogeologiche s.l.:

- Argille Varicolori
- Arenarie Siltitiche in facies di flysch.

Nel primo caso si tratta di **Unità idrogeologiche permeabili per porosità** rappresentate dai litotipi argilloso-limosi e marnosi del membro inferiore della Argille Varicolori, che costituisce il substrato di gran lunga più rappresentativo nell'area di progetto. La permeabilità è molto bassa con alcune eccezioni locali legate alla presenza nella coltre superficiale o agli strati litoidi inglobati nella massa argillosa. Il valore del coefficiente K è stimabile (da letteratura) compreso tra 1×10^{-6} oppure 10^{-7} cm/s, valore che consente di considerare questi terreni caratterizzati da bassa permeabilità. Tale condizione di fatti ha comportato un maggiore sviluppo del reticolo idrografico superficiale e la quasi assenza di falde idrica in s.s.

Nel secondo caso si tratta di **Unità idrogeologiche permeabili per fratturazione** Sono rappresentati dai litotipi calcarei e calcarenitici del membro superiore delle Argille Varicolori, che costituisce il substrato di una parte dell'area di progetto. La permeabilità è variabile da mediamente a molto permeabili. In questo caso i processi di filtrazione sono agevolati, dalle fratture presenti nell'ammasso roccioso. I valori del coefficiente di permeabilità K può assumere valori stimabili (da letteratura) compresi tra 10^{-4} a 10^{-2} cm/sec. Ma dato il ridotto spessore complessivo di tale membro, non si ha la formazione di falde acquifere significative.

Unità idrogeologiche a permeabilità mista, sono rappresentati termini che costituiscono le Arenarie siltitiche (in facies di flysch) e dalle alternanze calcaree e calcarenitiche con marne e argille limoso-marnoso del membro superiore delle Argille

Varicolori. In entrambi i casi le alternanze di litologie permeabili sia per porosità (arenarie e calcareniti) che per fatturazione (calcarei e calcari marnosi), con litologie considerate poco permeabili o addirittura impermeabili (argille e limi) determina la formazione di modeste emergenze temporanee generalmente stagionali. Inoltre essendo caratterizzate da anisotropia laterale, la circolazione idrica risulta estremamente discontinua. I valori del coefficiente K possono essere considerati nel complesso medio-bassi e compresi tra 10^{-4} e 10^{-6} cm/sec.

Dall'analisi condotta si rileva come, data l'ubicazione dell'impianto (per la quasi totalità in corrispondenza di una displuviale) le interferenze con il reticolo idrografico esistente siano nulle per quanto riguarda le viabilità e le piazzole.

Nel caso dei cavidotti tutte le interferenze con gli impluvi sono risolte mediante Toc.

3 PROGETTO DELLE OPERE IDRAULICHE

3.1 Approccio alla progettazione

La durabilità delle strade e delle piazzole dell'integrale ricostruzione del "parco eolico Melissa" è garantita da un efficace sistema idraulico di drenaggio delle acque meteoriche. Gli interventi da realizzarsi nell'area in esame sono stati sviluppati secondo tre differenti linee di obiettivi:

- **integrare** le opere esistenti laddove necessario ed in particolare nelle piazzole ampliate e nei tratti di viabilità modificati
- **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 e controllo delle acque che defluiscono lungo la viabilità del parco in progetto, mediante una adeguata rete drenante, volta a proteggere le infrastrutture del parco eolico.

Il tracciato delle opere di regimazione è stato definito a partire dalla 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.

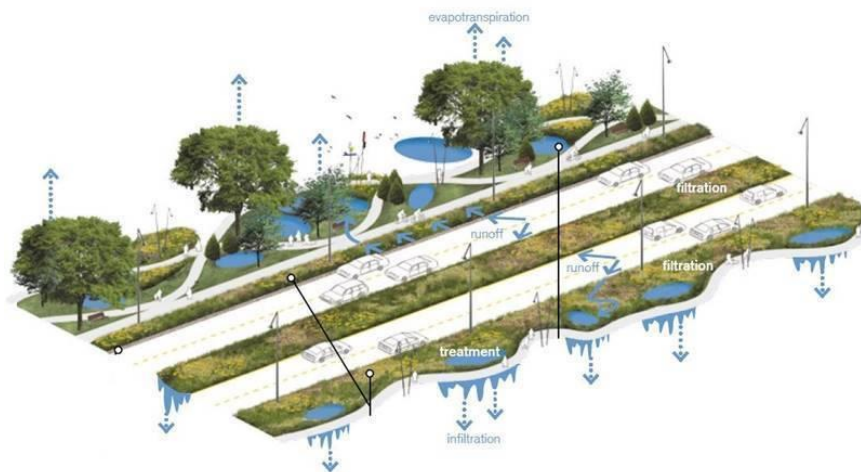


Fig. 4: Esempio progettazione stradale in ottica SuDS (Sustainable Drainage Systems), ripensata secondo i principi di invarianza idraulica. Fonte: Huber, J., 2010. *Low Impact Development: a Design Manual for Urban Areas*.

3.2 Invarianza idraulica delle opere in progetto

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

1. le caratteristiche di permeabilità dei diversi bacini interessati dalle opere subiscono modifiche pressoché nulle e, pertanto, la variazione tra la situazione *ante* e *post* interventi è irrilevante e trascurabile. Il coefficiente di afflusso dei bacini (con il quale determinare l'aliquota di afflussi infiltrati) si mantiene infatti sostanzialmente invariato, data la minima (o nulla) variazione della permeabilità delle aree in seguito alla realizzazione degli 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%-4%).
3. Dal momento che la viabilità di progetto non sottende di norma alcun bacino scolante di dimensioni apprezzabili - e considerando che la nuova viabilità presenta dei punti di minimo che coincidono con punti di minimo orografici del terreno - si può affermare che le infrastrutture viarie di parco non modificano la risposta di ciascun bacino per tutti gli aspetti che riguardano i meccanismi di formazione dei deflussi (morfometria, percorsi di corrivazione, permeabilità, etc.) e non determinano alcun aumento di portata, ΔQ , sui corpi idrici ricettori.
4. Le opere idrauliche previste in progetto rispettano il regime idraulico *ante operam*: le acque meteoriche, infatti, vengono sempre recapitate presso gli impluvi naturali ove esse erano già precedentemente e naturalmente convogliate per ragioni 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 si verranno a creare interferenze con impluvi demaniali esistenti o con affluenti di impluvi demaniali esistenti: gli scarichi avverranno in corrispondenza di impluvi naturali (di modesta entità e non censiti).

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.

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

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 laddove necessario integrare le esistenti 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

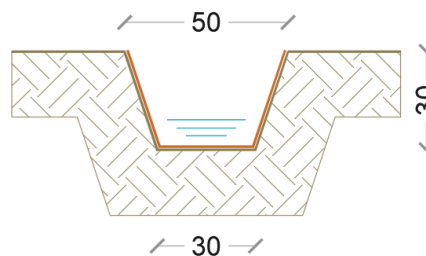


Fig. 5

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

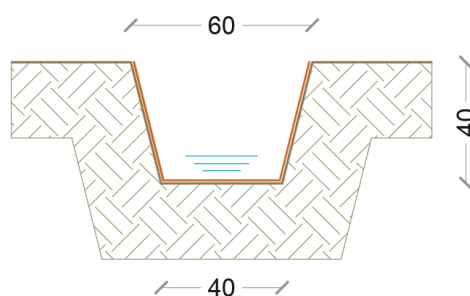


Fig. 6

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

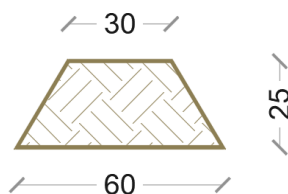


Fig. 7

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°20 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 (**Errore. L'origine riferimento non è stata trovata.**) 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.

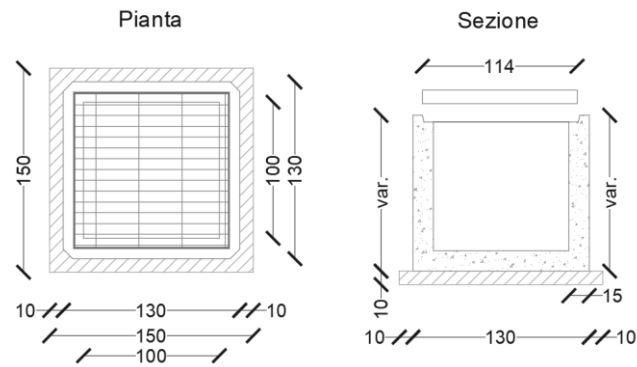


Fig. 8

Fig. 9 Sezioni longitudinali, trasversali e pianta dell'attraversamento tipo.

4 INFORMAZIONE IDROLOGICA

4.1 Premessa

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 "Integrale Ricostruzione del parco eolico Melissa".

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

Nel caso in esame, la risposta idrologica dei bacini è condizionata da brevi tempi di corrivazione e, pertanto, le precipitazioni rilevanti sono quelle d'intensità elevata e breve durata. La maggior parte dei metodi che l'idrologia propone per ricostruire eventi di piena sono metodi indiretti, ossia metodi che stimano l'idrogramma di piena utilizzando un modello di trasformazione piogge-portate che prevede, come input, la definizione di un particolare evento di pioggia.

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

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

4.2 Metodo TCEV Calabria

Per la determinazione delle curve di probabilità pluviometrica si è utilizzato il modello TCEV, vista la scarsità di dati storici di precipitazione e, nello specifico, di dati che riguardano eventi meteorici particolarmente intensi.

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 (Valutazione delle Piene in Italia).

³ Il Progetto VAPI (VALutazione PIene) sulla Valutazione delle Piene in Italia, portato avanti dalla Linea 1 del Gruppo

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

La peculiarità del modello TCEV è quella di tradurre in termini statistici la differente provenienza degli estremi idrologici, riconducendosi formalmente al prodotto di due funzioni di probabilità del tipo Gumbel. La prima, denominata *componente base*, assume valori non elevati ma frequenti, mentre la seconda (*componente straordinaria*) genera eventi più rari ma mediamente più rilevanti (appartenenti ad una differente fenomenologia meteorologica).

La TCEV rappresenta pertanto la distribuzione del massimo valore di una combinazione di due popolazioni ed ha, quindi, la caratteristica di prestarsi all'interpretazione di variabili fortemente asimmetriche, con presenza di alcuni valori molto elevati, di cui difficilmente le distribuzioni usuali (Gumbel, Log-Normale, etc.) riescono a rendere conto.

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 i parametri ϑ^* e Λ^* delle serie dei massimi annuali delle piogge di assegnata durata t siano costanti per una zona pluviometrica omogenea, quale è considerata l'intera regione Calabria.

Il *secondo livello di regionalizzazione* riguarda l'individuazione di sottozone omogenee, interne a quella individuata al primo livello, nelle quali risultino costanti i due parametri Λ_1 e η .

Al secondo livello di regionalizzazione, la Calabria viene suddivisa in tre sottozone pluviometriche omogenee denominate rispettivamente Tirrenica, Centrale e Ionica. In ogni sottozona, le curve di crescita, che determinano in maniera univoca la relazione fra periodo di ritorno T e valore del *coefficiente probabilistico di crescita* K_T sono definite dai parametri riportati in figura 2.1.

K_T è definito "*fattore di crescita*" e misura la variabilità relativa degli eventi estremi alle diverse frequenze. Esso, per la regione Calabria, è dunque indipendente dalla durata della precipitazione e funzione della posizione geografica del sito per il quale si vogliono calcolare le altezze di pioggia e del tempo di ritorno T dell'evento meteorico.

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.

Sottozona	ϑ^*	Λ^*	$\hat{\Lambda}_1$	η
Tirrenica	2.154	0.418	48.914	5.173
Centrale			22.878	4.414
Ionica			10.987	3.681

Figura 4.1: Secondo livello di regionalizzazione: parametri della distribuzione di probabilità dei massimi annuali delle piogge in Calabria.

T .anni)	2	5	10	20	25	40	50	100	200	500	1000
K_T (Tirreno)	0.92	1.22	1.45	1.69	1.78	1.95	2.04	2.32	2.60	2.98	3.27
K_T (Centrale)	0.91	1.26	1.53	1.81	1.91	2.12	2.22	2.54	2.87	3.32	3.65
K_T (Ionio)	0.89	1.31	1.63	1.97	2.09	2.34	2.46	2.85	3.25	3.78	4.18

Figura 4.2: Valori teorici del coefficiente probabilistico di crescita K_T per le piogge in Calabria per alcuni valori del periodo di ritorno T.



Figura 4.3: Suddivisione della Calabria in sottozone pluviometriche omogenee, al secondo livello di regionalizzazione

Considerata la relativa limitatezza dei dati pluviografici rispetto alla quantità di dati pluviometrici, il GNCDI ha elaborato un modello probabilistico, relativo alle piogge brevi che impiega l'informazione regionale stabilita per i massimi annuali delle piogge giornaliere. Per impiegare l'informazione regionale, si è assunta l'ipotesi che la curva di crescita, stabilita per i massimi delle piogge giornaliere, sia valida anche per rappresentare la distribuzione di probabilità dei coefficienti probabilistici di crescita dei massimi annuali delle piogge di durata inferiore.

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. 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 .

In particolare, per la Calabria è stata osservata, all'interno di aree omogenee, una buona relazione tra la media annuale dei massimi giornalieri e la quota sul mare. Si è, pertanto, ipotizzato che l'intera regione possa essere suddivisa in aree omogenee in ciascuna delle quali esiste una correlazione tra i valori della media del massimo annuale dell'altezza di precipitazione giornaliera $\mu[h_g]$ e la quota sul mare Z , h , del tipo:

$$\mu[h_g] = CZ + D$$

in cui Z è la quota rispetto al livello del mare della stazione di misura e C e D sono due parametri, variabili da area ad area. Nel caso della Calabria sono state individuate 13 aree pluviometriche omogenee (APO) i cui coefficienti sono tabellati.

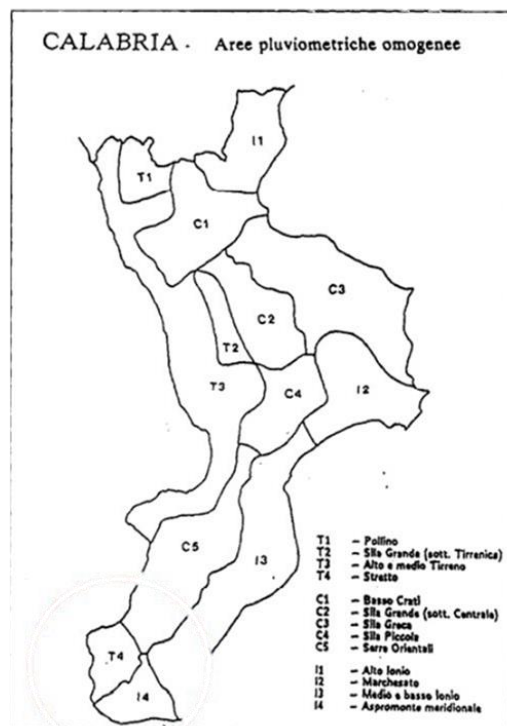


Figura 4.4: Suddivisione della Calabria in aree pluviometriche omogenee (APO), al terzo livello di regionalizzazione.

Se si analizzano i valori delle medie del massimo annuale dell'altezza di pioggia di durata d , relative alle diverse stazioni che ricadono in un'APO, si nota che per ogni stazione esiste,

per durate comprese tra 1 e 24 ore un legame del tipo monomio a due parametri (analogo alla curva di probabilità pluviometrica ADF):

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

essendo a ed n variabili da sito a sito.

Inoltre, il rapporto:

$$r = \mu[h_g]/\mu[h(24)]$$

varia molto poco passando da una stazione all'altra. Nel caso della Calabria r è distribuito normalmente con media 0,875 e scarto quadratico medio 0,031.

Si può quindi utilizzare l'informazione ben più ampia disponibile sulle precipitazioni giornaliere anche per sviluppare il terzo livello dell'analisi regionale delle piogge brevi. Più precisamente:

- assumendo che $\mu[h(1)]$, e quindi il parametro a dell'equazione monomia precedente, sia costante in ciascuna delle aree omogenee;
- assumendo che il rapporto r sia costante in tutta la regione e pari a 0.875;
- assumendo che in ogni stazione valga la relazione

$$r = \frac{\mu[h_g]}{\mu[h(24)]}$$

- ricordando che in ciascuna area omogenea è nota la relazione

$$\mu[h_g] = CH + D$$

si ottiene:

$$n = (CH + D + \log_{10} r - \log_{10} a) / \log_{10} 24$$

da cui è possibile determinare il valore di n .

4.2.1 Calcolo della c.p.p.

L'area di progetto si trova nella sottozona pluviometrica omogenea "Centrale"; in particolare, con riferimento alla figura 2.4, il parco fotovoltaico è ubicato nell'APO "C3 – Sila greca". Per tale area:

- $a = 31,02$
- $c = 0,00016$
- $d = 1,951$

Considerando una quota $Z = 200$ m s.l.m., relativa alla media della località oggetto del progetto, il valore di n risulta pari a 0,314.

Per la sottozona Centrale, in base ai valori della tabella 2.2, il fattore di crescita K_T è pari a 2,22 (per un tempo di ritorno $T=50$ anni). E', quindi, possibile definire la curva di probabilità pluviometrica per il sito in esame, corrispondente al tempo di ritorno $T=50$ anni (fig. 2.5).

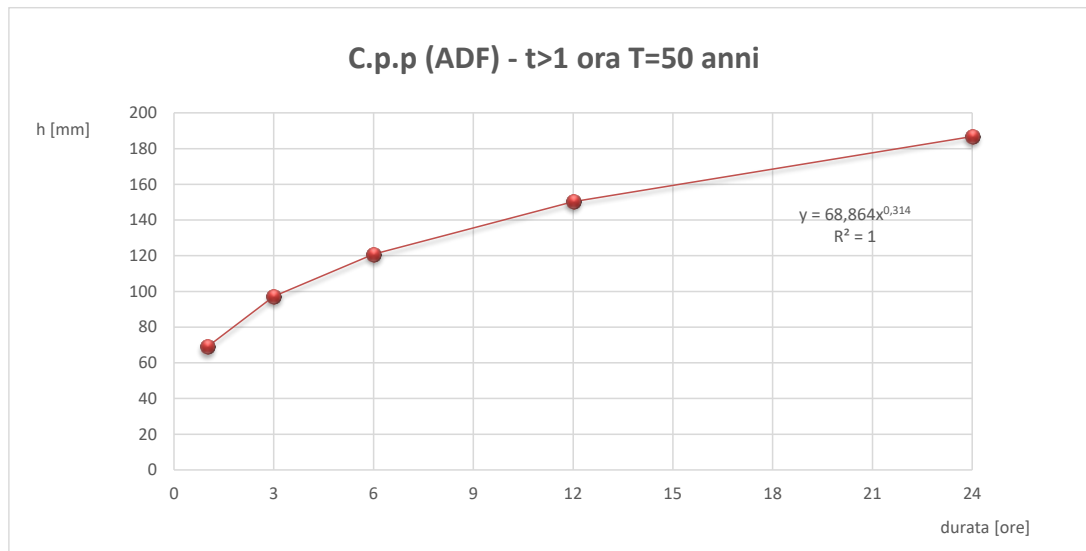


Figura 4.5: CPP relativa all'area in esame, per un tempo di ritorno di 50 anni.

L'espressione analitica della c.p.p. (ADF) risulta essere, per un tempo di ritorno pari a 50 anni, la seguente:

$$h(t) = 68,864 \cdot t^{0,314}$$

4.2.2 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 $1 \div 2$ 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 Calabria, può essere pertanto espresso nella forma

seguito, 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).

$$\frac{h_{t,T}}{h_{60,T}} = \left(\frac{t}{60}\right)^{0.500}$$

4.2.3 Superfici di influenza e ragguglio spaziale

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, date 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 dell'area di cui si è fornita la quota per il calcolo della c.p.p.

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 terreni boscati e ambienti semi naturali con vegetazione arbustiva e/o prati.

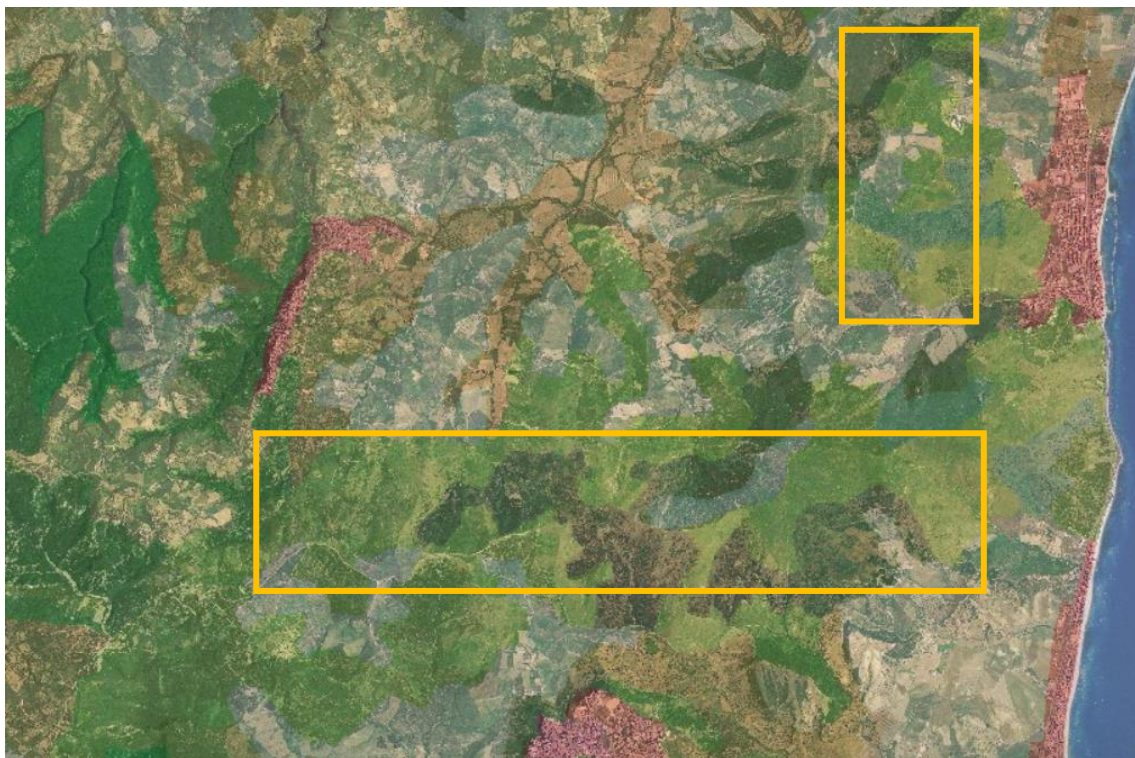


Figura 5.1: Corine land cover IV per la aree oggetto di intervento

Pertanto, relativamente a ciascuna superficie omogena (tipo di suolo, tessitura, caratteristiche locali di permeabilità) il coefficiente di afflusso è stato definito facendo riferimento ai valori tabellati da Benini (*Sistemazioni idraulico-forestali*, 1990) 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);
- $\varphi = 0,40/0,45$ per terreni poco permeabili con coperture a pascoli e boschi.

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).

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.

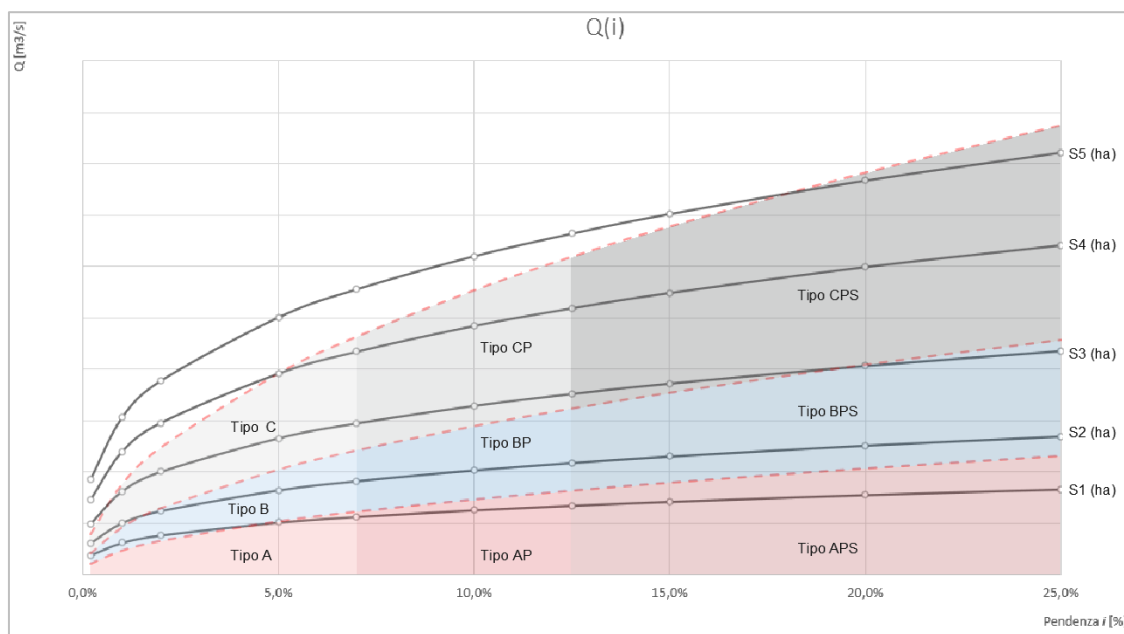


Figura 6.1 Tipologia di grafico $Q(i)$ con individuazione delle zone omogenee per il pre-dimensionamento dei fossi di guardia.

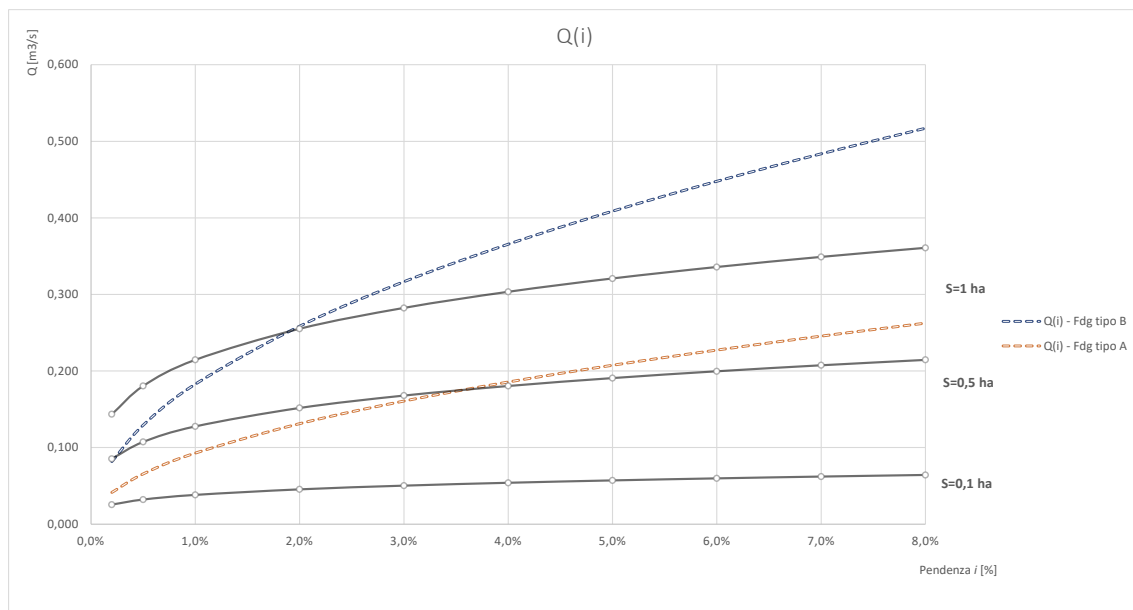


Figura 6.2 Definizione del grafico $Q(i)$ per il caso in studio, con riferimento ad un tempo di ritorno T pari a 50 anni.

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

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

La scelta della formula per il calcolo del coefficiente 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 esame⁴.

⁴ 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).