

REGIONE
PUGLIA



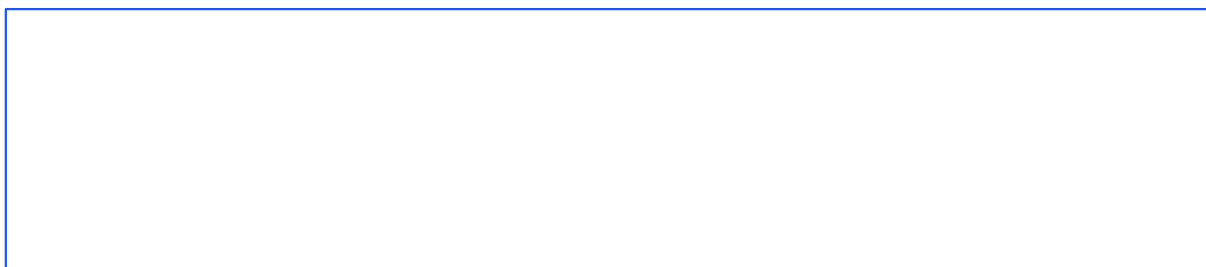
Comune
di Sant'Agata di Puglia



Comune
di Candela



Comune
di Deliceto



Committente:

RWE

RWE RENEWABLES ITALIA S.R.L.
via Andrea Doria, 41/G - 00192 Roma
P.IVA/C.F. 06400370968

Titolo del Progetto:

PARCO EOLICO "SERRA PALINO"

CODICE PRATICA
PDDIDD8

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

Richiesta Autorizzazione Unica ai sensi del D. Lgs. 387 del 29/09/2003

N° Documento:

PESPA-P09

ID PROGETTO:	PESPA	DISCIPLINA:	C	TIPOLOGIA:	RT	FORMATO:	A4
--------------	-------	-------------	---	------------	----	----------	----

Elaborato:

RELAZIONE IDRAULICA

FOGLIO:	1 di 16	SCALA:	/	Nome file:	PESPA-P09-1
---------	---------	--------	---	------------	-------------

Progettazione:



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

Progettisti:

(Ing. Mariano Galbo)



Rev:	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	Novembre 2019	PRIMA EMISSIONE	EG	MG	DG
1	Novembre 2021	MODIFICA POSIZIONI WTG	VP	MG	DG

1. PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE	3
3. PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA.....	9
3.1. APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE	9
3.2. INVARIANZA IDRAULICA DELLE OPERE IN PROGETTO	9
3.3. OPERE IDRAULICHE.....	10
4. MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI	18
4.1. INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA	18
4.2. IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO	19
4.3. IL CALCOLO DELLE PORTATE.....	20
5. VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE	22
5.1. PREDIMENSIONAMENTO FOSSI DI GUARDIA	22
5.2. VERIFICA FOSSI DI GUARDIA.....	23
6. PROGETTO ATTRAVERSAMENTI	25
6.1. CALCOLO IDRAULICO	25
1.1.1 <i>Attraversamento A03</i>	26
1.1.2 <i>Attraversamento A10</i>	27

1. PREMESSA

La società Hydro Engineering s.s. è stata incaricata, dalla società RWE RENEWABLES ITALIA SRL, di redigere il progetto definitivo relativo alla costruzione di un parco eolico, composto da n. 8 aerogeneratori, ciascuno di potenza nominale pari a 6,00 MW, per una potenza complessiva di 48,00 MW, da ubicarsi in località “Serra Palino” del Comune di Sant’Agata di Puglia e in località “Ischia dei Mulini” del Comune di Candela con opere di connessione in località “La Marana” del Comune di Deliceto in Provincia di Foggia.

L'aumento delle emissioni di anidride carbonica e sostanze inquinanti, legato allo sfruttamento delle fonti energetiche convenzionali, connesso anche alla disponibilità limitata delle riserve di combustibili fossili, ha creato negli operatori del settore energetico una crescente attenzione per lo sfruttamento delle fonti energetiche, cosiddette rinnovabili, per la produzione di elettricità. A seguito di approfonditi studi è stato individuato nell’area denominata “Serra Palino” un sito di interesse eolico.

La relazione idraulica in oggetto, oltre il presente capitolo, è composta da ulteriori n°2 capitoli, di cui di seguito un breve riepilogo:

- *Capitolo 2 – Inquadramento territoriale:* vengono riportate le informazioni necessarie per l’individuazione cartografica del sito.
- *Capitolo 3 – Progetto delle opere di regimazione:* illustra i criteri e le linee guida utilizzate per gli interventi in progetto e descrive le opere idrauliche previste.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L’impianto insisterà nei territori dei Comuni di Sant’Agata di Puglia, Candela e Deliceto.

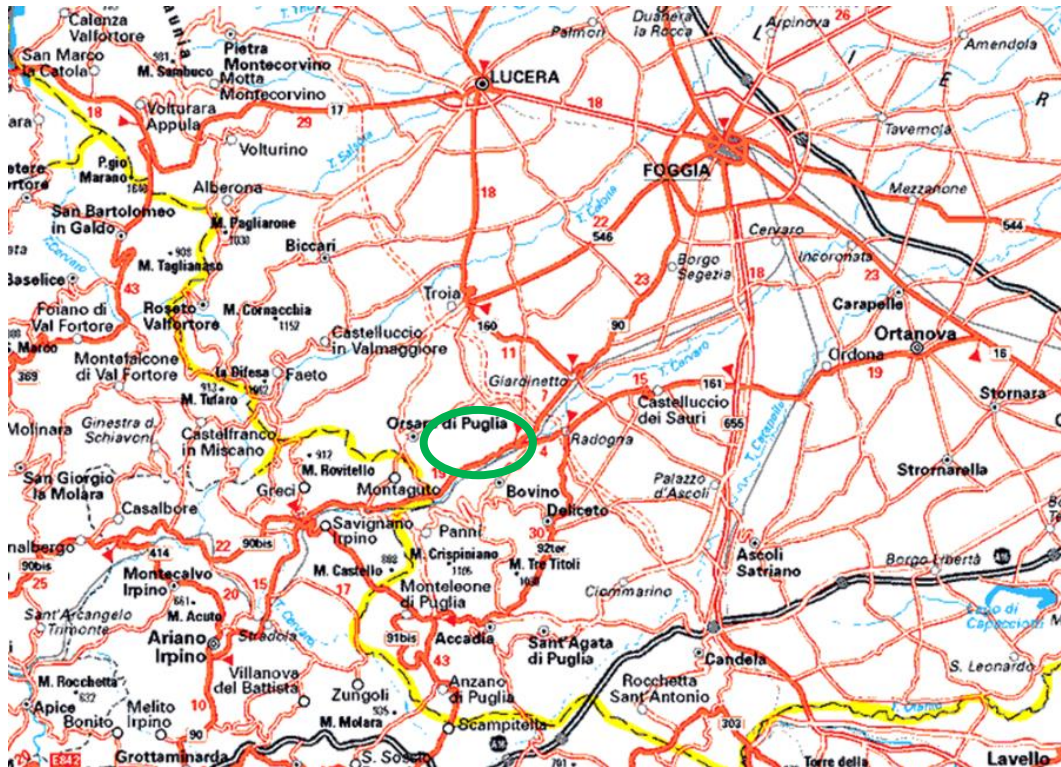


Figura 2.1 Inquadramento dell’impianto eolico in progetto

In particolare,

- nel Comune di Sant’Agata di Puglia saranno installati 4 aerogeneratori, recanti le seguenti sigle PESPA04, PESPA05, PESPA06 e PESPA07,
- nel Comune di Candela saranno installati 4 aerogeneratori, recanti le seguenti sigle, PESPA01, PESPA02, PESPA03 e PESPA08.
- nel Comune di Deliceto sarà ubicata la sottostazione elettrica

Dal punto di vista cartografico, le opere ricadono all’interno delle seguenti cartografie e Fogli di Mappa:

- Fogli I.G.M. in scala 1:25.000, di cui alle seguenti codifiche “175IV-S-175III-NO”.
- Carta tecnica regionale CTR, scala 1:10.000, fogli n° fogli n. 421142, 434021, 434022, 434033, 434034;
- Sant’Agata di Puglia – Fogli di mappa catastali n.11-12-13-14
- Candela – Foglio di mappa catastale n. 2,3,4,5.
- Deliceto - Foglio di mappa catastale n. 42.



Figura 2.2 Inquadramento viario

Solamente per il sorvolo dell’aerogeneratore PESPA01 e per modesti allargamenti provvisori viene interessato il Comune di Ascoli Satriano.

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

Tabella 1 Coordinate assolute degli aerogeneratori nel sistema UTM WGS84

WTG	E	N
PESPA01	543.743	4.559.906
PESPA02	544.147	4.559.303
PESPA03	540.855	4.559.007
PESPA04	54.0142	4.557.950
PESPA05	540.126	4.558.458
PESPA06	539.470	4.558.459
PESPA07	540.174	4.559.014
PESPA08	541.531	4.559.041

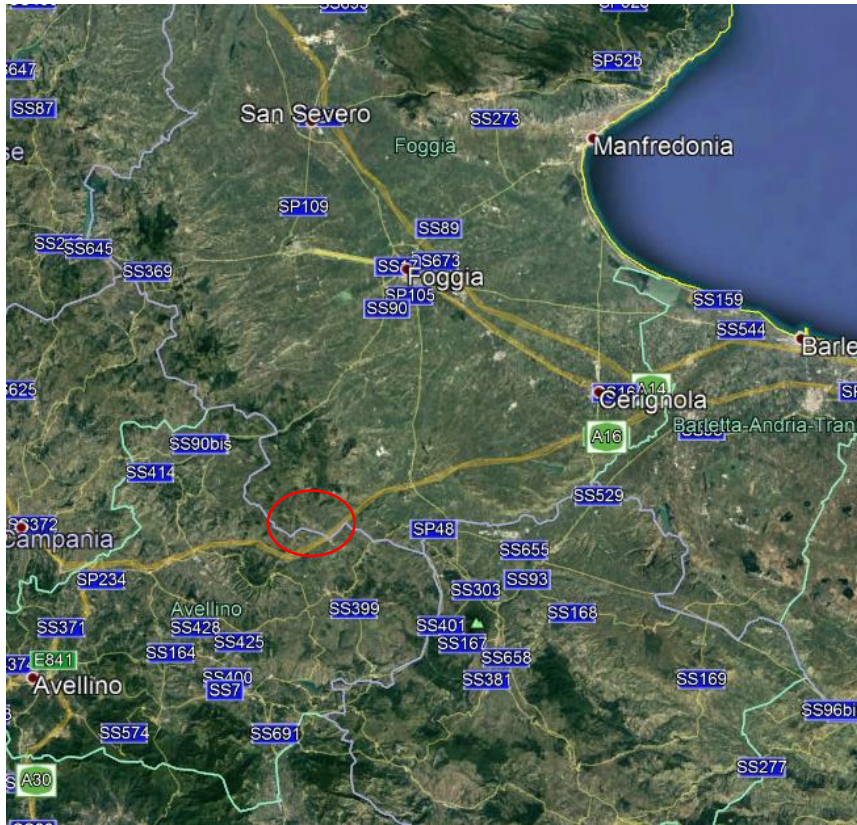


Figura 2.3 Inquadramento satellitare del sito

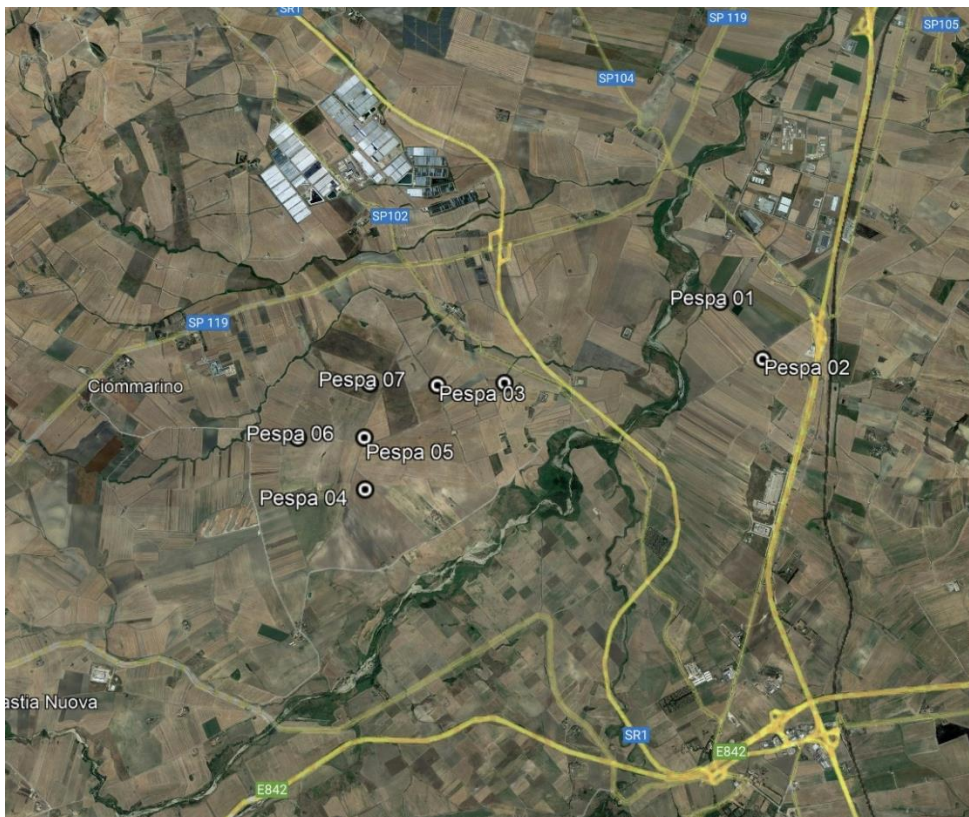


Figura 2.4 Inquadramento satellitare delle torri

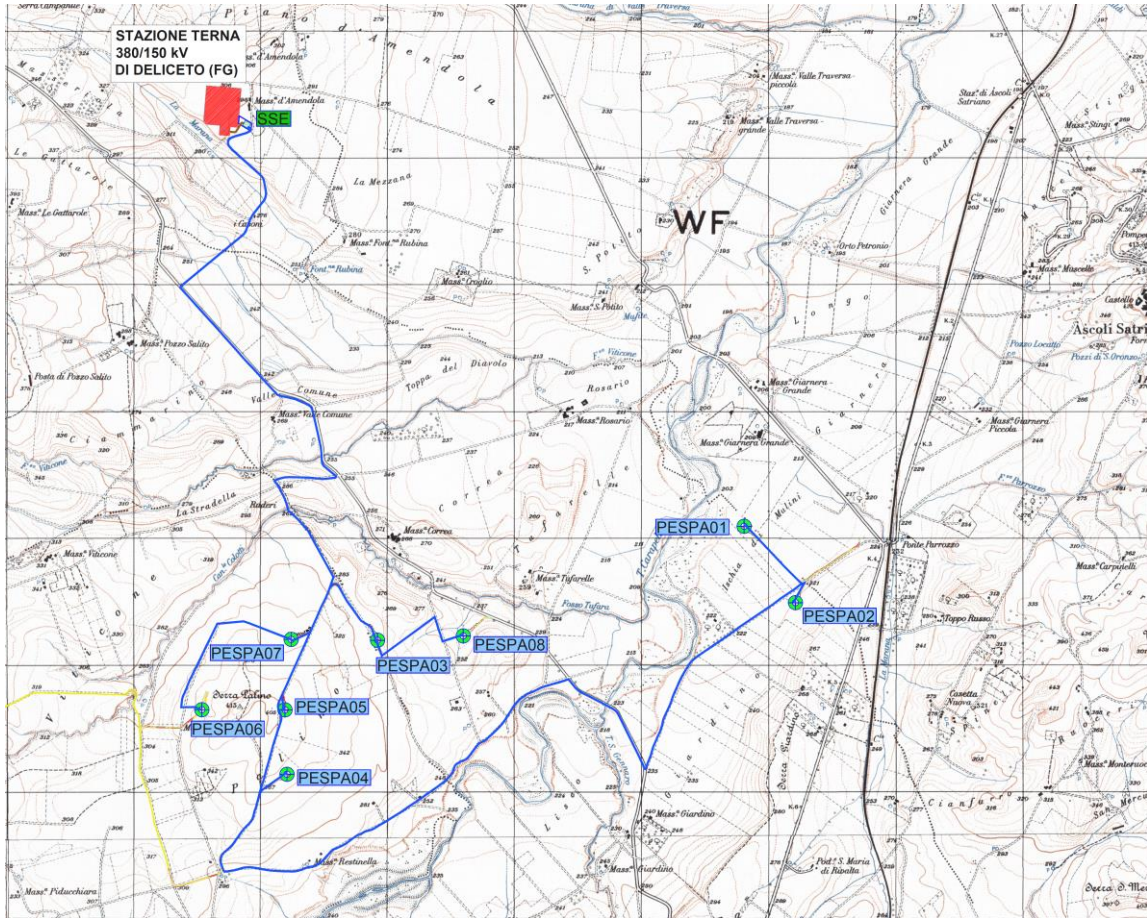


Figura 2.5 Inquadramento impianto su IGM 1:25.000



Figura 2.6 Inquadramento impianto su ortofoto



Figura 2.7 Inquadramento impianto su ortofoto

3. PROGETTO DELLE OPERE DI REGIMAZIONE IDRAULICA

3.1. APPROCCIO ALLA PROGETTAZIONE

La durabilità delle strade e delle piazzole del parco eolico "Serra Palino" 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 8 m (prodotto dalla Regione Puglia), 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.

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 "Serra Palino" (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.

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. 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 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 PESPA-P57-1, 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.

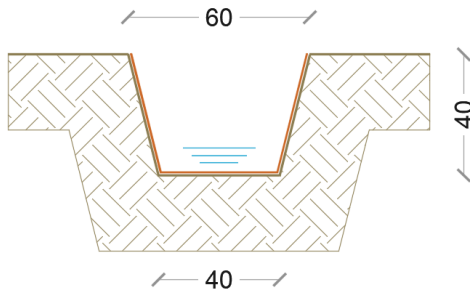
Fosso di guardia "Tipo A", in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti

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

caratteristiche geometriche:

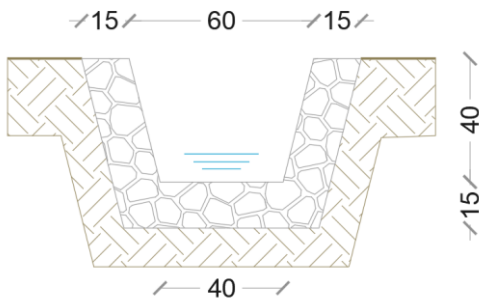
Sezione trapezia

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).

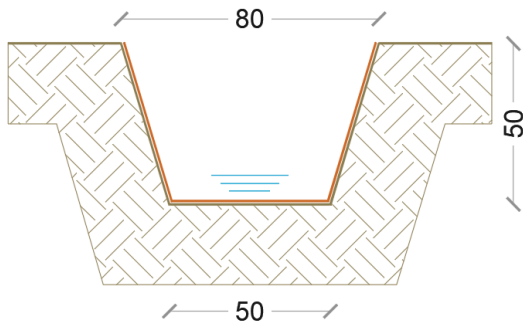
Nei tratti con **pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%** tali fossi di guardia in terra non sono rivestiti con geostuoia, ma presentano il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura ($d=5-10$ cm), per uno spessore di 15 cm, al fine di ridurre l'azione erosiva della corrente idrica. Tale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



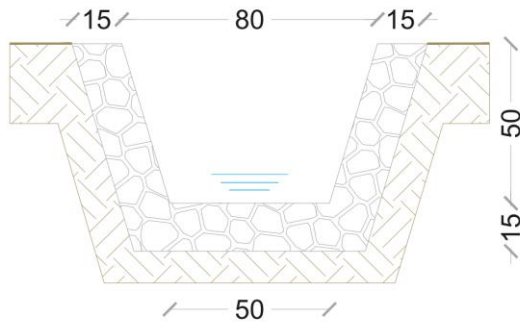
Fosso di guardia “Tipo B”, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione trapezia

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



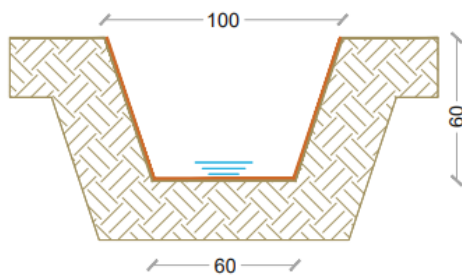
Anche il fosso di guardia “Tipo B”, nei tratti con pendenze comprese tra 7,00 e 12,50%, non è rivestito con geostuoia ma presenta il fondo e le sponde rivestiti con pietrame di media pezzatura (d=5-10 cm), per uno spessore complessivo di 15 cm, ed assume la denominazione “**fosso di guardia tipo BP**”.



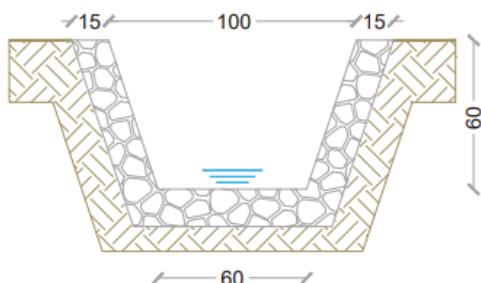
Fosso di guardia “Tipo C”, in terra e rivestito con geostuoia antierosione, avente le seguenti caratteristiche geometriche:

Sezione trapezia

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



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**”.



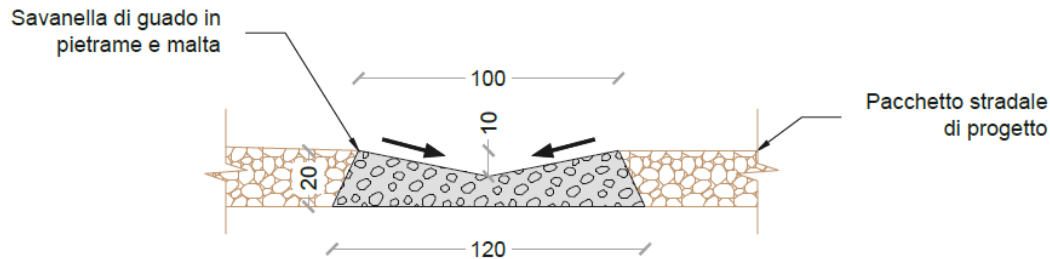
In alcuni tratti con pendenze superiori al 12,50% i fossi di guardia (Tipo AB, Tipo BP e Tipo CP) saranno “integrati” con salti di fondo. I fossi di guardia così realizzati sono denominati, rispettivamente, “Tipo APS”, “Tipo BPS” e “Tipo CPS”.

Tali salti (Figura 3.1) 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 3.1 Esempi di sistemi di fossi di guardia con fondo rivestito in pietrame e salti.

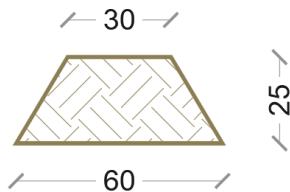
Savanelle di guado in pietrame e malta per un attraversamento "a raso" della viabilità di progetto.



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

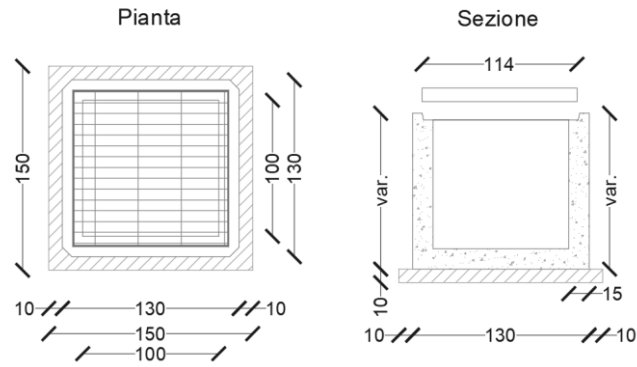


Attraversamenti "Tipo A" in corrispondenza dei punti di scarico: tale tipologia di attraversamento è necessaria per lo scarico delle acque meteoriche (di piattaforma ed eventualmente provenienti dai versanti) intercettate dai fossi di guardia.

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 3.2) 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.



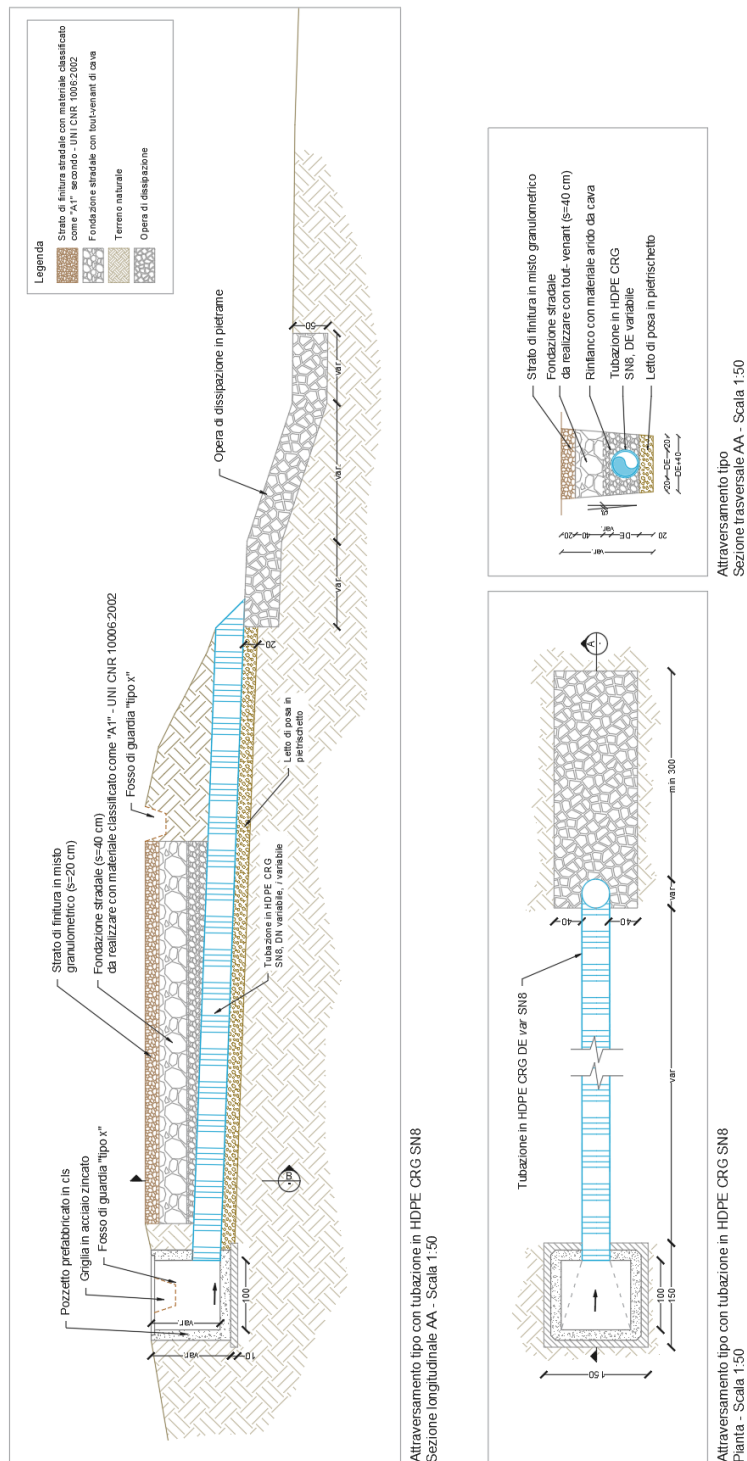


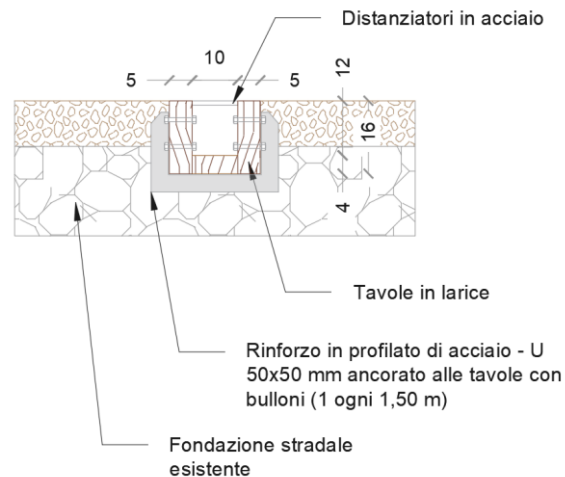
Figura 3.2 Sezioni longitudinali, trasversali e pianta dell'attraversamento tipo.

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%.

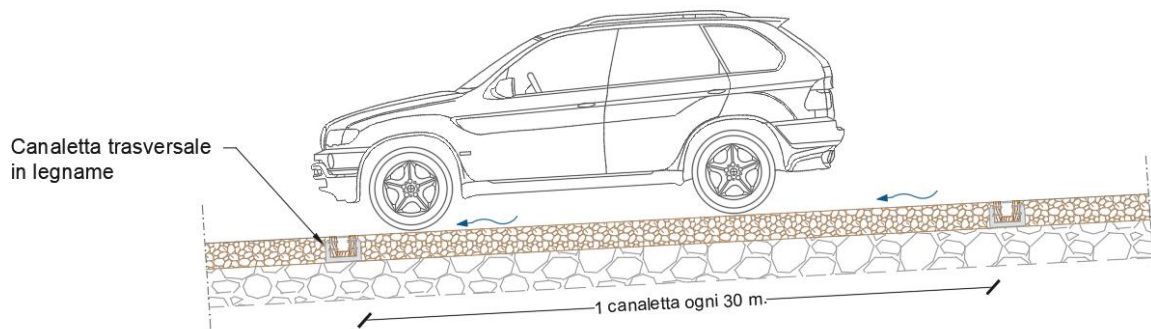


Figura 3.3 Sezione longitudinale con ubicazione delle canalette in legno.

4. MODELLO AFFLUSSI-DEFLUSSI

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

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

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

ove:

- Q_T è la portata di piena di assegnato tempo di ritorno T ed è espressa in m^3/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 km^2 ;
- 3,6 è un fattore di conversione delle unità di misura.

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

4.1. INDIVIDUAZIONE DELLA PIOGGIA CRITICA

Dopo avere ricostruito le relazioni intensità-durata-frequenza (IDF, espresse dalla c.p.p., cfr. elaborato PESPA-P08-1)) è necessario individuare la *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).

4.2. IL COEFFICIENTE DI AFFLUSSO

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

La stima del valore di φ è stata condotta a partire da un’analisi del “*Corine Land Cover 2012 – IV Livello*”. Le aree in corrispondenza delle quali saranno ubicate le opere in progetto sono caratterizzate per la quasi totalità da seminativi in aree non irrigue.



Figura 4.1 Corine Land Cover 2012 – IV Livello per le aree oggetti 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 Figura 4.2. 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);
- $\varphi = 0.35$ per aree 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 4.2 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).

4.3. IL CALCOLO DELLE PORTATE

Per la verifica dei fossi di guardia Tipo A, B e C sono stati selezionati tre bacini *rappresentativi*³

³ I bacini "*rappresentativi*" (BV) sono quelli, tra i bacini afferenti alla viabilità di progetto, che determinano il

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 “Serra Palino”);
- 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 corrivazione t_c (in minuti);
- Coefficiente di afflusso φ ;
- Valore dell’intensità critica i_T (mm/h);
- Portata al colmo della piena, Q , (in m^3/s);

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 .

Caratteristiche del bacino											
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	1199	0,001199	58,0	366,0	360,0	6,00	10,34%	1,06	1221,24	0,35	0,142
BV2	20976	0,020976	323,0	403,0	386,0	17,00	5,26%	5,17	359,39	0,35	0,733
BV3	37938	0,037938	512,0	350,0	280,0	70,00	13,67%	5,11	362,97	0,35	1,339

Per quanto riguarda gli attraversamenti del reticolo idrografico esistente, analogamente a quanto fatto per i fossi di guardia, sono stati individuati i bacini sottesi e 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 stati calcolati e riassunti nelle tabelle sottostanti.

valore maggiore di portata di deflusso, in funzione della loro superficie/pendenza; con riferimento a tale portata, ogni fosso di guardia risulta idraulicamente e tecnicamente compatibile.

Caratteristiche del bacino

ID Bacino	Superficie S		Lunghezza asta L (m)	H max [m]	H min [m]	Δh [m]	Pendenza media i [%]	Tempo di corrivazione e t_c [min]	Intensità critica ($h < 1$ ora) [mm/h]	Coefficiente di afflusso ϕ_A [-]	Portata Q_A [m^3/s]
	[m^2]	[km^2]									
BV4	546591	0,546591	1485,0	395,0	294,0	101,00	6,80%	15,17	156,45	0,30	7,126
BV5	98039	0,098039	528,0	350,0	281,0	69,00	13,07%	5,32	351,62	0,3	2,873

5. VERIFICA DELLE OPERE PROGETTATE

5.1. PREDIMENSIONAMENTO 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 5.1) 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 5.2.

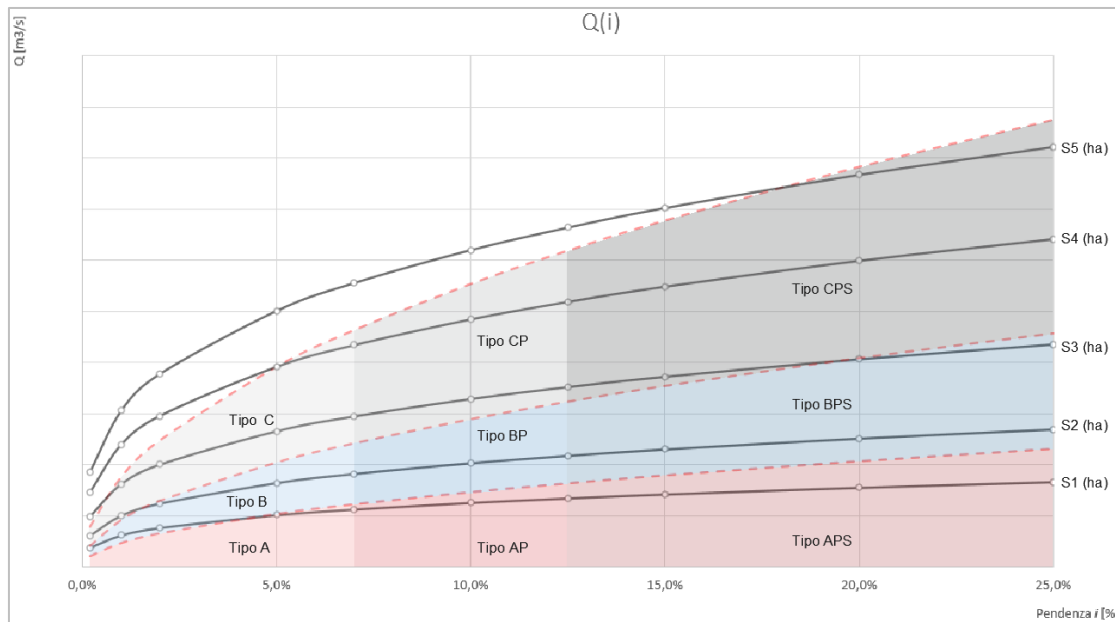


Figura 5.1: Tipologia di grafico $Q(i)$ con individuazione delle zone omogenee per il pre-dimensionamento dei fossi di guardia.

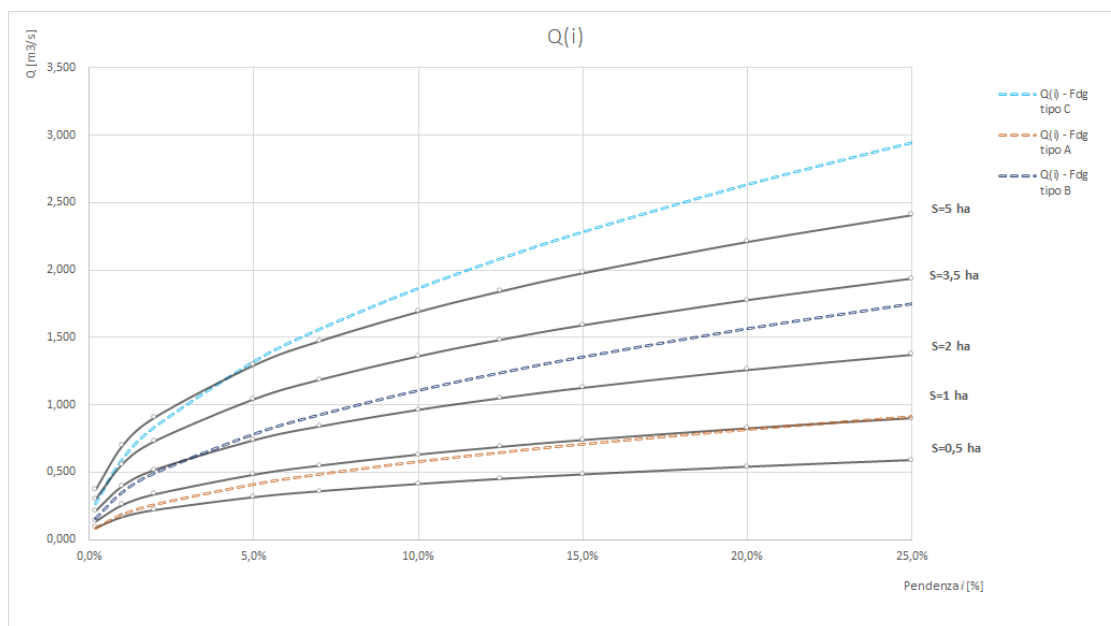


Figura 5.2: Definizione del grafico $Q(i)$ per il caso in studio, con riferimento ad un tempo di ritorno T pari a 50 anni.

5.2. VERIFICA FOSSI DI GUARDIA

La seconda fase prevede la verifica della capacità idraulica dei canali, prevedendo un franco minimo di circa 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*, (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 esame⁴.

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 [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]
F1	BV1	1,00%	0,142	0,31	0,15	1,03	0,14	0,142	0,98	0,76	0,09
F2	BV2	5,26%	0,733	0,42	0,27	1,39	0,19	0,733	2,75	0,85	0,08
F3	BV3	13,67%	1,339	0,40	0,29	1,44	0,20	1,339	4,59	0,66	0,20

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

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).

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.

6. PROGETTO ATTRAVERSAMENTI

Si premette, in modo analogo a quanto detto per i fossi di guardia, che la scelta delle tipologie di opere, sia in termini di geometria che di materiali, non è legata ad un mero dimensionamento di tipo idraulico. Sono state tenute in considerazione, infatti, anche se non direttamente esplicitate nei calcoli, caratteristiche come (i) l’interrimento fisiologico delle opere idrauliche (benché mantenute con regolarità), (ii) il carattere delle precipitazioni in accordo al *climate changing* e (iii) le dimensioni “minime” legate alle effettive funzioni alle quali le opere devono assolvere.

6.1. CALCOLO IDRAULICO

Il dimensionamento delle sezioni di attraversamento consiste nel determinare le dimensioni da assegnare alle sezioni (nel caso specifico, le tubazioni in HDPE CRG SN8) in modo tale che la portata di progetto Q_T possa transitare con un tirante idrico h in grado di assicurare un adeguato franco di sicurezza.

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

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

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

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

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

- Descrizione della condotta;
- Diametro esterno/Diametro interno (mm);
- Pendenza i [%];

- *Tirante idrico h (m), sezione idrica A (m²), contorno bagnato P (m), raggio idraulico R (m) con riferimento alla portata di progetto;*
- *Portata di progetto Q_p in m³/s;*
- *Velocità v con cui defluisce la portata di progetto (m/s);*
- *Grado di riempimento h/D , dato dal rapporto tra il tirante idrico di progetto e il diametro della sezione circolare;*
- *Franco (espresso in m) dato dalla differenza tra il diametro interno della condotta ed il tirante idrico corrispondente alla portata di progetto;*
- *Scala delle portate di moto uniforme.*

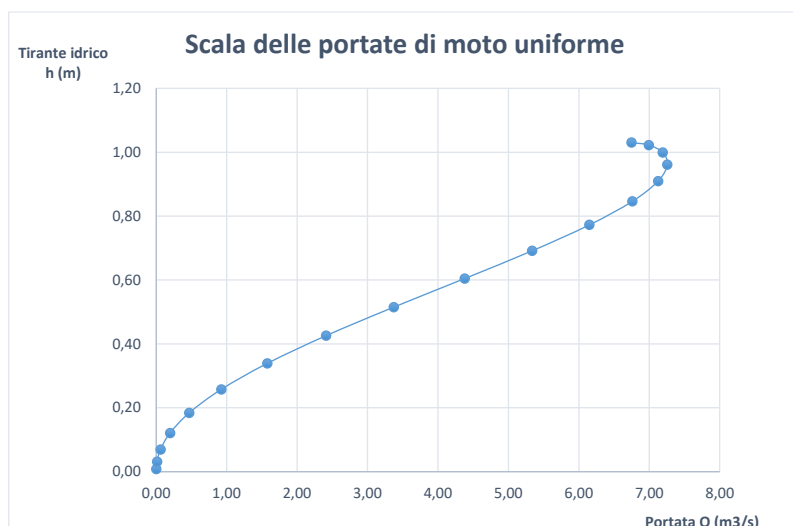
1.1.1 Attraversamento A03

Caratteristiche della sezione

Tipologia sezione	Circolare HDPE CRG SN 8	
Diametro esterno, De	1200	[mm]
	1,20	[m]
Diametro interno, Di	1030	[mm]
	1,03	[m]
Coefficiente di scabrezza di Strickler ks	100	[m ^{1/3} /s]
Pendenza, i	4,00%	[%]

Verifica/Progetto

Portata di progetto, Q_p	7	[m ³ /s]
Tirante idrico, h	0,88	[m]
α	4,74	[rad]
Area, A	0,76	[m ²]
Perimetro bagnato, P	2,44	[m]
Raggio idraulico, R	0,31	[m]
Portata in condizioni di moto uniforme Q_{max}	7,00	[m ³ /s]
Velocità	9,20	[m/s]
Grado di riempimento, h/D	0,86	[-]
Franco f	0,15	[m]



1.1.2 Attraversamento A10

Caratteristiche della sezione

Tipologia sezione	Circolare HDPE CRG SN 8	
Diametro esterno, D_e	800	[mm]
	0,80	[m]
Diametro interno, D_i	678	[mm]
	0,68	[m]
Coefficiente di scabrezza di Strickler k_s	100	[m ^{1/3} /s]
Pendenza, i	7,00%	[%]

Verifica/Progetto

Portata di progetto, Q_p	2,87	[m ³ /s]
Tirante idrico, h	0,54	[m]
α	4,44	[rad]
Area, A	0,31	[m ²]
Perimetro bagnato, P	1,51	[m]
Raggio idraulico, R	0,21	[m]
Portata in condizioni di moto uniforme Q_{max}	2,87	[m ³ /s]
Velocità	9,24	[m/s]
Grado di riempimento, h/D	0,80	[-]
Franco f	0,13	[m]

