

COMMITTENTE



GRV WIND SARDEGNA 6 S.R.L.
Via Durini, 9 Tel. +39.02.50043159
20122 Milano PEC: grwindsardegna6@legalmail.it



PROGETTISTI



INSE S.r.l.
Viale Michelangelo,71 Tel. 081.579.7998
80129 Napoli Mail: tecnico@insest.it

Amm. Francesco Di Maso
Ing. Nicola Galdiero
Ing. Pasquale Esposito

Collaboratori:
Geol. S.Trastu
Dott. F. Mascia
Dott. M. Medda
Ing. V. Triunfo
Arch. C. Gaudiero
Arch. C. Prisco
Ing. F. Quarto



REGIONE SARDEGNA



PROVINCIA SASSARI



ITTIRI

PROGETTO

PROGETTO DEFINITIVO PER LA REALIZZAZIONE DI UN PARCO EOLICO DENOMINATO "LUXI" COMPOSTO DA 5 AEROGENERATORI DA 7.2 MW, PER UNA POTENZA COMPLESSIVA DI 36 MW SITO NEL COMUNE DI ITTIRI (SS), CON OPERE DI CONNESSIONE NEL COMUNE DI ITTIRI (SS)

ELABORATO

Titolo:

RELAZIONE IDRAULICA - IDROLOGICA

Tav. / Doc:

ID 01

Codice elaborato:

DS266-ID01-R

Scala / Formato:

1:- / A4

01	APRILE 2023	PRIMA EMISSIONE	INSE Srl	INSE Srl	GRV WIND SARDEGNA 6 Srl
REV.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORAZIONE	VERIFICA	APPROVAZIONE



1 INDICE

1.	INTRODUZIONE.....	3
1.1.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
1.2.	FINALITA' E OBIETTIVI.....	4
1.3.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	5
2.	ANALISI IDROLOGICA.....	6
2.1.	PERICOLOSITA' FRANE.....	6
2.2.	PERICOLOSITA' ALLUVIONI.....	7
3.	ANALISI IDRAULICA.....	11
3.1.	BACINI IDROGRAFICI.....	11
3.2.	VALUTAZIONE DELLE PORTATE.....	13
3.3.	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE CUNETTE STRADALI.....	17
3.4.	DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE TUBAZIONI DI ATTRAVERSAMENTO.....	20
3.4.1.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 1.....	23
3.4.2.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 2.....	24
3.4.3.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 3.....	25
3.4.4.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 4.....	26
3.4.5.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 5.....	27
3.4.6.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 6.....	28
3.4.7.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 7.....	29
3.4.8.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 8.....	30
3.4.9.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 9.....	31
3.4.10.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 10.....	32
3.4.11.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 11.....	33
3.4.12.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 12.....	34
3.4.13.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 13.....	35
3.4.14.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 14.....	36
3.4.15.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 15.....	37
3.4.16.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 16.....	38
3.4.17.	VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 17.....	39
3.5.	DIMENSIONAMENTO DELLE TRINCEE DRENANTI.....	40
4.	CONCLUSIONI.....	42

1. INTRODUZIONE

Il seguente studio idrologico e idraulico è parte integrante del progetto definitivo inerente alla realizzazione del parco eolico nel comune di Ittiri (SS). Più in particolare, previo inquadramento dell'area oggetto di intervento, verranno mostrate le analisi idrologiche che hanno consentito la stima delle portate di progetto e, successivamente, il dimensionamento degli elementi di drenaggio delle acque meteoriche.

1.1. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Come è possibile apprendere dalla documentazione PAI, il comune di Ittiri ricade nel bacino idrografico Coghinas-Mannu-Temo:



Figura 1: bacini idrografici della Sardegna

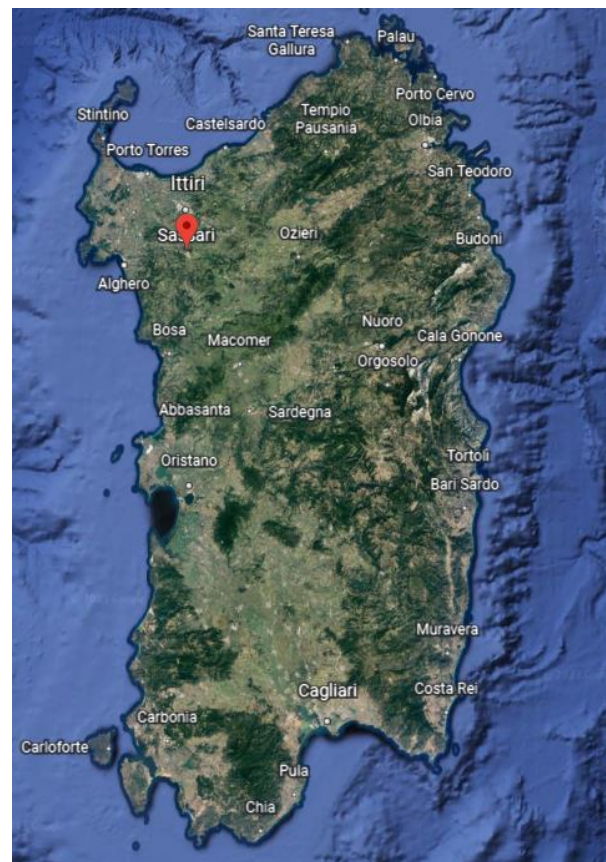


Figura 2: individuazione del comune di Ittiri nel bacino idrografico

Di seguito, si riporta l'ubicazione degli aerogeneratori, delle piazzole e delle strade di accesso alle piazzole all'interno del comune di Ittiri:

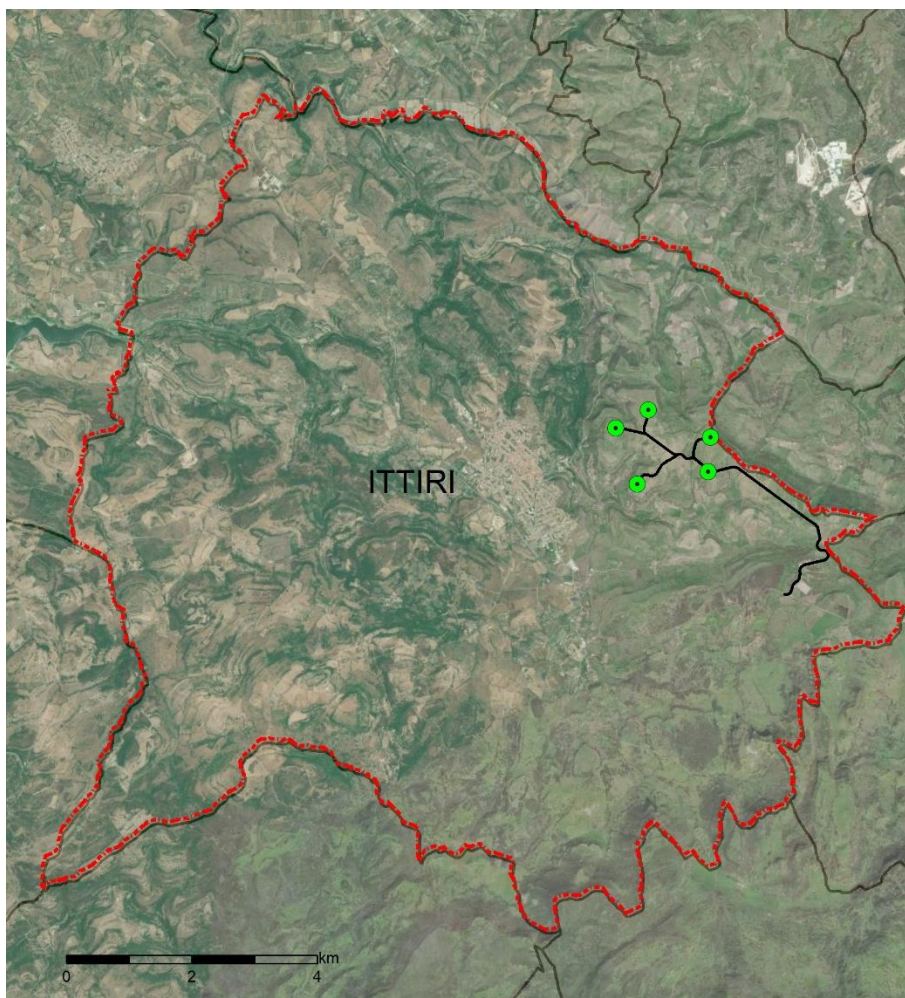


Figura 3: limiti comunali e individuazione dell'area di intervento

1.2. FINALITA' E OBIETTIVI


Lo scopo della presente relazione è quello di garantire la continuità idraulica dei bacini idrografici, nei confronti dei quali le opere viarie costituiscono degli elementi di discontinuità.

Tale finalità può essere raggiunta mediante l'adempimento di due obiettivi:

- Verifica di compatibilità della realizzazione del parco eolico con le norme elencate al paragrafo successivo;
- Dimensionamento delle opere di drenaggio delle acque meteoriche, quali cunette stradali e tubazioni di drenaggio.


Lo scopo della presente relazione è la definizione delle cunette stradali per l'allontanamento delle acque meteoriche negli impluvi e nei corsi d'acqua presenti nel sito in cui si realizzerà il parco eolico.

Saranno proposte le soluzioni progettuali che siano il meno impattanti possibili per il territorio, per non alterare le caratteristiche idrogeologiche del territorio.

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
Data: Aprile 2023		Rev. 01	

1.3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- Norme Tecniche di Attuazione (N.T.A.) del Piano Stralcio di Assetto Idrogeologico (P.A.I.): disciplina la realizzazione di nuove opere nelle zone classificate in funzione della pericolosità da frane e da alluvioni;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.): approfondisce e completa gli studi idrogeologici del PAI per definire le aree esondabili di tutti i corsi d'acqua;
- Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.): definisce tutti gli aspetti della gestione del rischio alluvioni.

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
		Data: Aprile 2023	Rev. 01

2. ANALISI IDROLOGICA

Ai sensi della Legge 183/89 e della Legge 267/98, con deliberazione n. 54/33 in data 30.12.2004 la Giunta regionale ha approvato il Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), che ha individuato per i sette sub bacini della Sardegna le aree a pericolosità idraulica e le aree a pericolosità da frana.

Una volta attestato che le aree di intervento non ricadono in zone soggette a una pericolosità alta, si potranno consultare le mappe e i dati resi disponibili dal PSFF. In particolare, avendo preliminarmente individuato l'assetto idrografico del luogo, si consulteranno i dati relativi alle aste secondarie, definite come i corsi d'acqua sottesi da un bacino di area inferiore a 30 km². Infine, attesa la valutazione di assenza di pericolosità, si individueranno i bacini sottesi dagli assi stradali, le cui canalette saranno dimensionate in funzione della portata di piena.

2.1. PERICOLOSITA' FRANE

Secondo quanto appreso dall'Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia (I.F.F.I.), i fenomeni franosi hanno interessato la provincia di Sassari ricoprendo un'area di frana di circa 40 km² e destano un'ulteriore preoccupazione per il comune di Ittiri, poiché sorge in un'area prevalentemente montuosa.

Nelle Linee Guida del PAI, le aree classificate a pericolosità da frana sono state classificate secondo il seguente criterio:

- Aree a pericolosità da frana Nulla (Hg0): Aree non soggette a fenomeni franosi con pericolosità assente e con pendenze < 20%;
- Aree a pericolosità da frana Moderata (Hg1): Aree con pericolosità assente o moderata e con pendenze comprese tra il 20% e il 35% con copertura boschiva limitata o assente;
- Aree a pericolosità da frana Media (Hg2): Aree con pericolosità media con fenomeni di dilavamento diffusi, frane di crollo e/o scivolamento non attive e/o stabilizzate, con copertura boschiva rada o assente. e con pendenze comprese tra 35 e 50%, falesie lungo le coste;
- Aree a pericolosità da frana Elevata (Hg3): Aree con pericolosità elevata con pendenze >50% ma con copertura boschiva rada o assente; frane di crollo e/o scorrimento quiescenti, fenomeni di erosione delle incisioni vallive. Fonti di scavo instabili lungo le strade; aree nelle quali sono inattività o sono state svolte in passato attività minerarie che hanno dato luogo a discariche di inerti, cave a cielo aperto, cavità sotterranee con rischio di collasso del terreno e/o subsidenza (i siti minerari dismessi inseriti nella Carta della pericolosità di frana); aree interessate in passato da eventi franosi nelle quali sono stati eseguiti interventi di messa in sicurezza;
- Aree a pericolosità da frana Molto Elevata (Hg4): Aree con pericolosità molto elevate con manifesti fenomeni di instabilità attivi o segnalati nel progetto AVI o dagli Enti Locali interpellati o rilevate direttamente dal Gruppo di lavoro.

Pertanto, sono state consultate le mappe allegare alla versione del PAI aggiornate al 2016, le più recenti ad oggi in vigore:

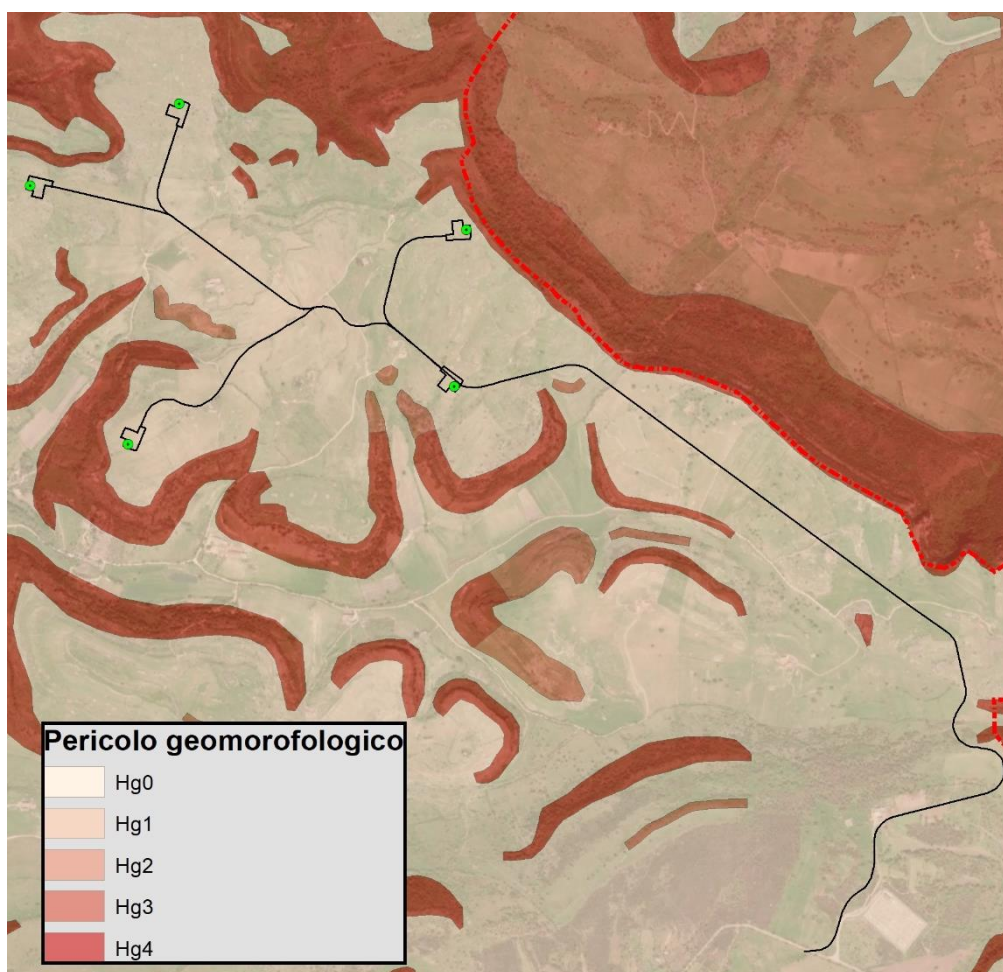


Figura 4: classificazione delle diverse aree nel sito di intervento in funzione della pericolosità da frana

Si nota che tutti gli elementi costituenti il parco eolico ricadono in una zona a pericolosità da frana nulla.

2.2. PERICOLOSITA' ALLUVIONI

Dalle mappe del PAI relative al rischio alluvioni risulta la completa assenza del rischio alluvioni sia nell'area di intervento che nel comune di Ittiri. Pertanto, considerato che nella *Relazione sulle mappe della pericolosità e del rischio* dell'Autorità di Bacino Regionale della Sardegna è specificato che le mappe del PAI non soddisfano completamente le indicazioni dell'art. 6 del D.lgs. 49/2010 e considerato il necessario approfondimento degli impluvi che circoscrivono l'area di realizzazione del parco eolico, si consultano i dati del PSFF in merito alle aste secondarie.

Di seguito, si riporta il reticolo idrografico nell'area di interesse e ricadente nel comune di Ittiri, avendo già valutato che la distanza dagli impluvi presenti in altri comuni è tale da ritenere trascurabile la loro presenza:

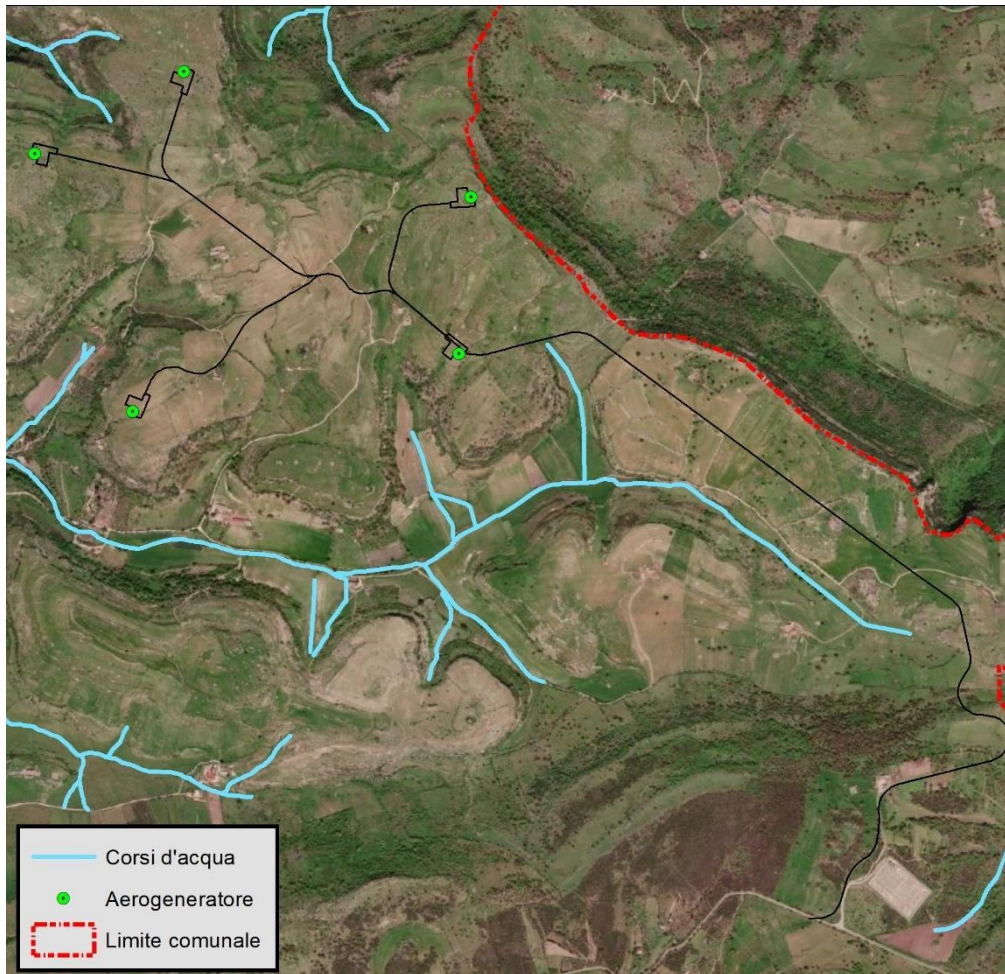


Figura 5: rete idrografica di riferimento

I corsi d'acqua identificati in *figura 5* sono tratti del reticolo idrografico regionale per i quali non sono state definite le aree di pericolosità idraulica.

L'art. 30ter delle NTA, come misura di prima salvaguardia finalizzata alla tutela della pubblica incolumità, istituisce una fascia su entrambi i lati a partire dall'asse di profondità L variabile in funzione dell'ordine gerarchico del singolo tratto:

ordine gerarchico (numero di Horton-Strahler)	profondità L (metri)
1	10
2	25
3	50
4	75
5	100
6	150
7	250
8	400

Tabella 1: distanza di rispetto da garantire per la salvaguardia nei confronti del pericolo alluvioni

Di seguito, si riporta l'elaborazione dei dati ottenuta con i sistemi informativi territoriali:

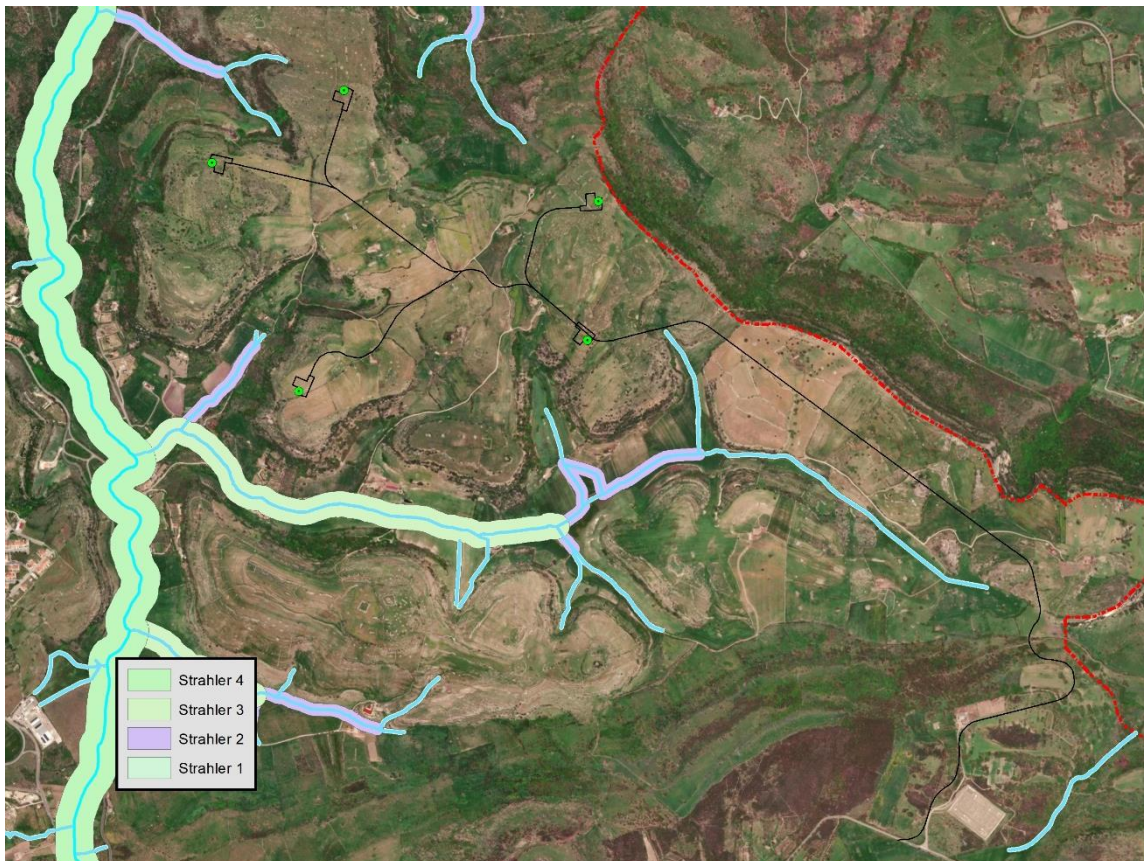



Figura 6: individuazione delle fasce fluviali in ottemperanza all'art. 30 ter delle NTA

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
Data: Aprile 2023		Rev. 01	

Poiché nessun elemento ricade nelle fasce fluviali di salvaguardia non è necessaria alcuna verifica sulle aree esondabili.

Pertanto, è verificata la compatibilità del progetto con le norme di riferimento.

3. ANALISI IDRAULICA

Noti i valori di portata che l'analisi idrologica ha fornito, è possibile dimensionare le cunette stradali nell'ipotesi di moto uniforme dell'acqua.

Questa ipotesi è garantita perché la sezione idrica delle cunette è costante per ogni bacino e perché il coefficiente di scabrezza k_s non varia, adoperando infatti lo stesso materiale. Le cunette si realizzano in terra non rivestita allo scopo di impattare il meno possibile sul territorio.

3.1. BACINI IDROGRAFICI

L'individuazione dei bacini idrografici delle aste fluviali maggiori prossime all'area di realizzazione del parco è stata effettuata mediante l'ausilio del modello DEM elaborato con sistemi informativi territoriali:

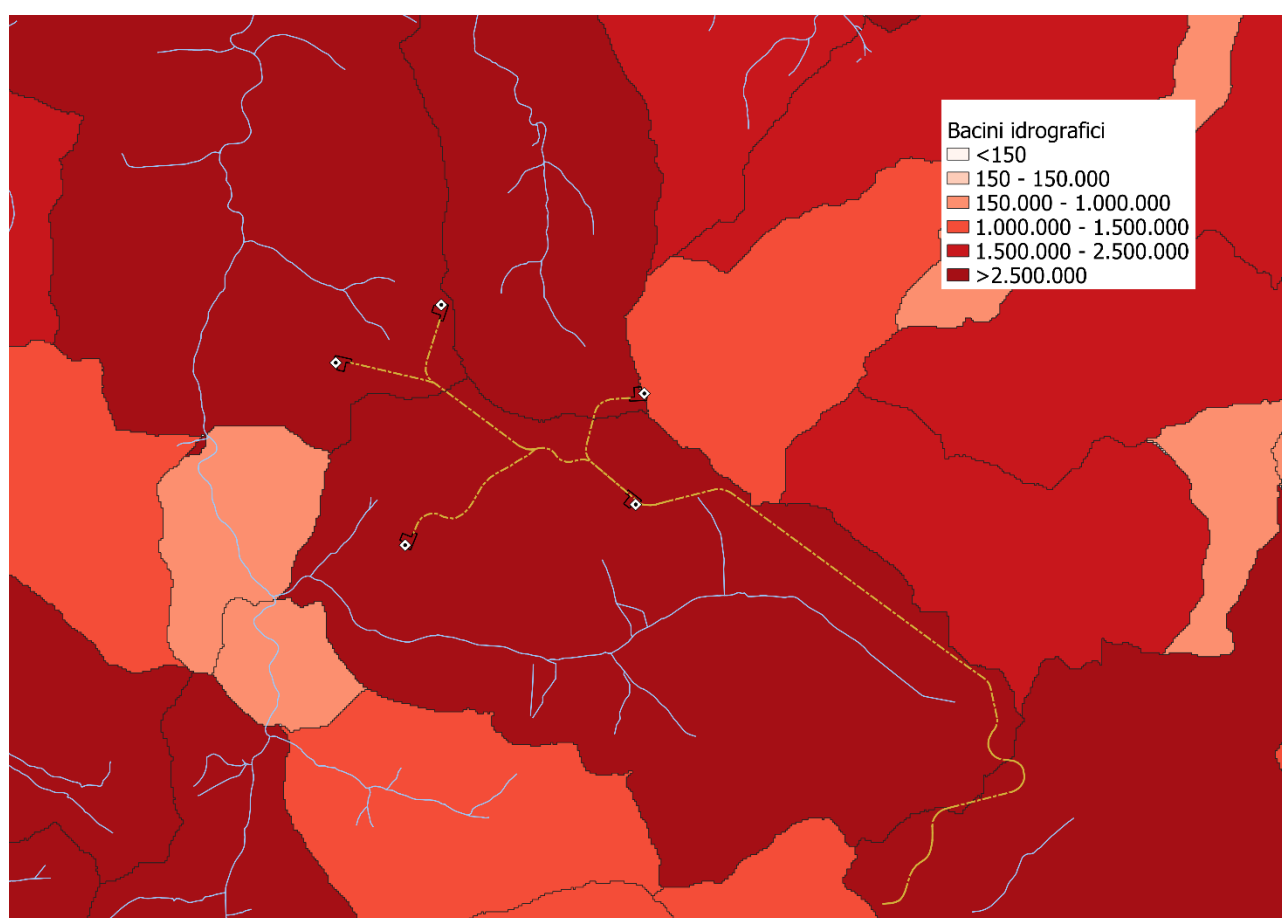


Figura 7: classificazione dei bacini idrografici in funzione dell'area in m^2

Dalla figura 7 è possibile individuare i bacini per i quali è necessaria realizzare una continuità idraulica, poiché la presenza delle strutture viarie determina una discontinuità sul ruscellamento superficiale delle acque meteoriche.

Per delimitare i bacini idrografici sottesi dai vari tratti stradali da realizzare, sono state analizzate la carta tecnica regionale e la carta delle pendenze ottenute elaborando il modello tridimensionale del terreno:



Figura 8: modello delle pendenze del terreno con curve di livello

Integrando le elaborazioni effettuate con i profili delle strade, è stato possibile definire i bacini idrografici relativi alle strade:

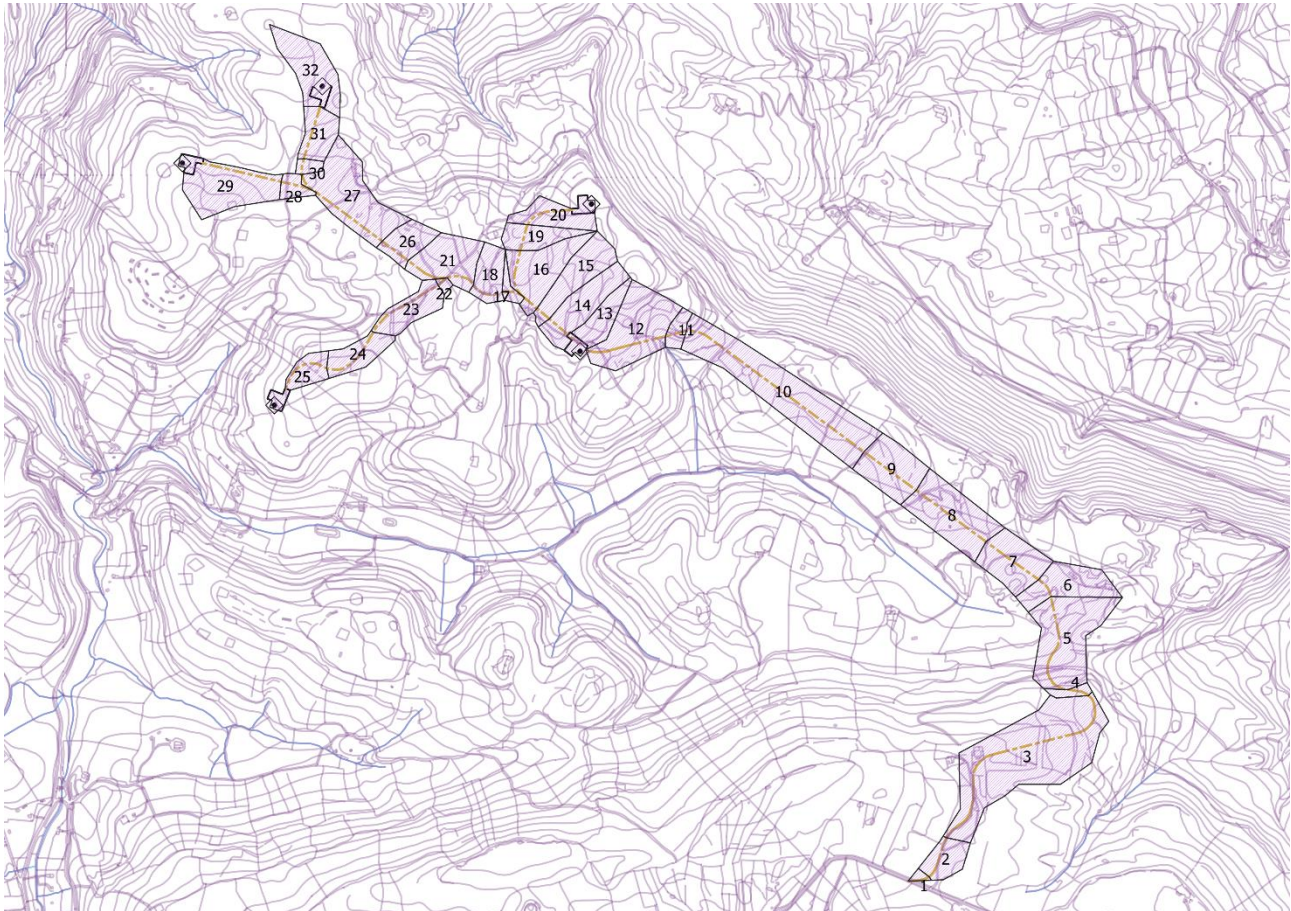


Figura 9: bacini idrografici delle strade

Dal risultato ottenuto è stato possibile conoscere le aree dei diversi bacini, in funzione delle quali dovrà essere calcolata la portata di piena.

3.2. VALUTAZIONE DELLE PORTATE


Il calcolo delle portate meteoriche può essere condotto utilizzando diversi metodi. Si hanno, però, a disposizione dei metodi empirici, che non dipendono direttamente da parametri statistici, in quando per essi non è necessario definire un tempo di ritorno.

I metodi empirici si basano sull'osservazione dei dati di portata al colmo in siti diversi e cercano di individuare correlazioni con caratteristiche geomorfologiche dei bacini, permettendo di ottenere modelli regressivi che in funzione delle caratteristiche geomorfologiche forniscono il contributo unitario di portata per km².

All'interno delle *Linee guida per l'individuazione e la perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia* sono suggerite due formule empiriche per la valutazione del valore del contributo unitario di piena:

$$q = 207A^{-0,6} \left[\frac{m^3}{s \cdot km^2} \right] \quad 21 km^2 \leq A < 1000 km^2$$

(3 . 1)

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
		Data: Aprile 2023	Rev. 01

$$q = 45,8A^{-0,106} \left[\frac{m^3}{s \cdot km^2} \right] \quad A < 21 km^2 \quad (3.2)$$

Poiché tutte le aree sono inferiori a 21 km², si utilizzerà esclusivamente la (2.1) per il calcolo del contributo unitario di piena.

Per valutare il contributo di tutto il bacino, si utilizza l'equazione di Sirchia-Fassò:

$$Q = \psi \cdot A \cdot q \quad (3.3)$$

Il coefficiente ψ è un valore variabile da 0 a 1 in funzione delle caratteristiche geomorfologiche del bacino ed è mappato per diversi bacini:

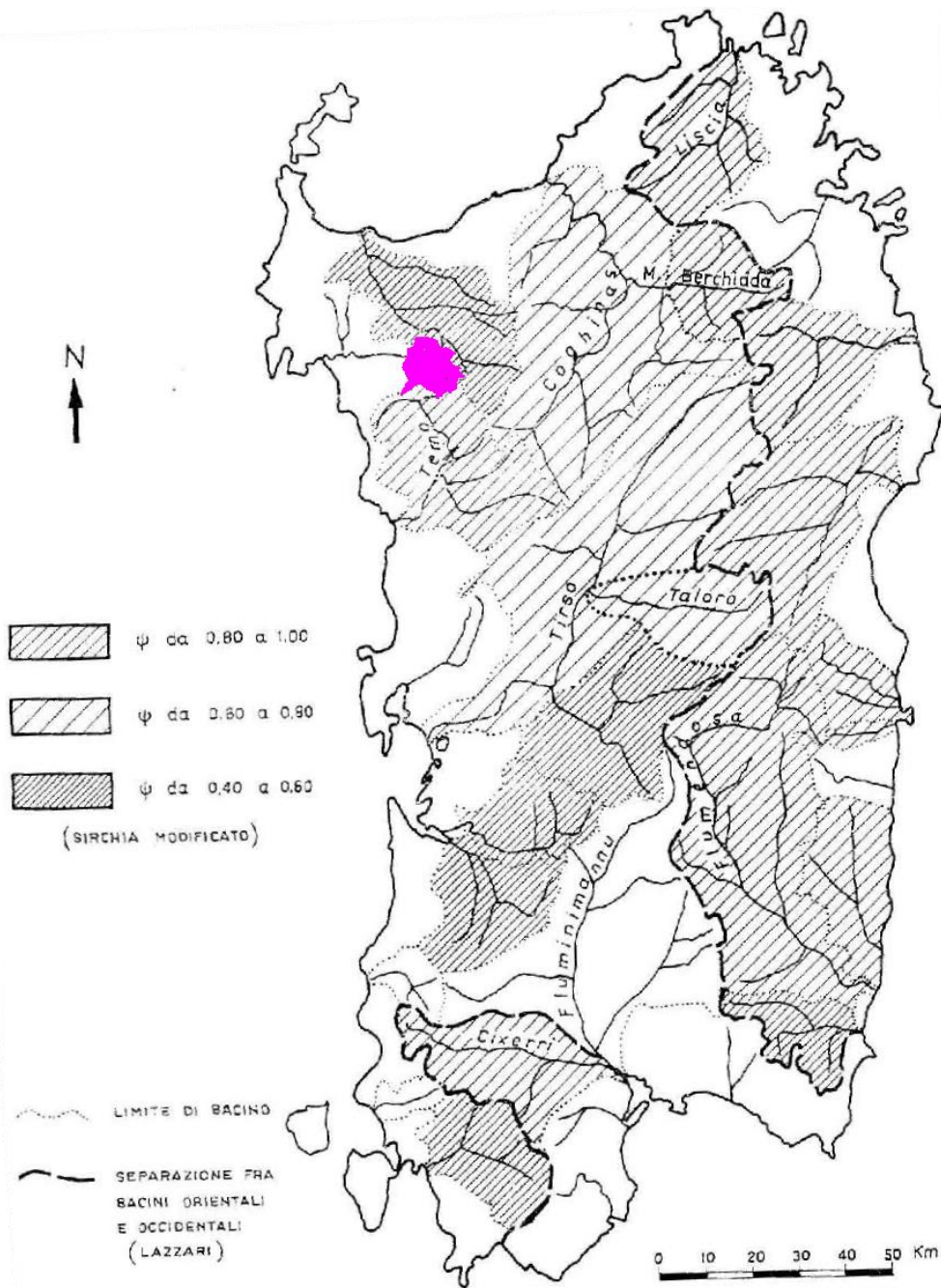


Figura 10: mappatura del coefficiente ψ di Sirchia-Fassò

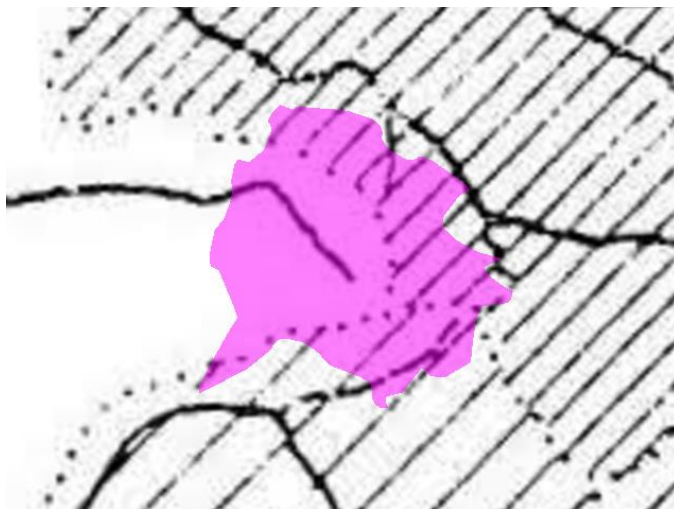


Figura 11: mappatura del coefficiente ψ di Sirchia-Fassò per il comune di Ittiri

Assumendo, quindi, $\psi = 0,8$, si ottiene il valore della portata meteorica Q per ogni bacino di *figura 9*:

Bacino	Area (m ²)	Area (km ²)	q (m ³ /s/km ²)	Q (m ³ /s)
1	2096	0,002096	88,06	0,13
2	18998	0,018998	69,71	0,93
3	148261	0,148261	56,07	5,82
4	5347	0,005347	79,74	0,3
5	71982	0,071982	60,53	3,05
6	36351	0,036351	65,08	1,66
7	39143	0,039143	64,57	1,77
8	57038	0,057038	62,05	2,48
9	40369	0,040369	64,36	1,82
10	113586	0,113586	57,68	4,59
11	8779	0,008779	75,66	0,46
12	60343	0,060343	61,68	2,61
13	24072	0,024072	67,99	1,15
14	37120	0,03712	64,94	1,69
15	35467	0,035467	65,25	1,62
16	42586	0,042586	64	1,91
17	5540	0,00554	79,44	0,31
18	21107	0,021107	68,94	1,02
19	21288	0,021288	68,88	1,03
20	27277	0,027277	67,09	1,28
21	38749	0,038749	64,64	1,75
22	2224	0,002224	87,51	0,14
23	25884	0,025884	67,47	1,22
24	22084	0,022084	68,61	1,06
25	19256	0,019256	69,61	0,94
26	21041	0,021041	68,96	1,02
27	65247	0,065247	61,17	2,79
28	8417	0,008417	76	0,45
29	55433	0,055433	62,23	2,41
30	4887	0,004887	80,51	0,28
31	22514	0,022514	68,47	1,08
32	42633	0,042633	63,99	1,91

Tabella 2: valutazione delle portate meteoriche

3.3. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE CUNETTE STRADALI

Nell'ipotesi di moto uniforme, per correnti a pelo libero vale la legge di Gauckler-Strickler:

$$Q = k_s \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot i^{1/2} \quad (3.1)$$

- k_s per terra non rivestita vale 33,3 m^{1/3}/s;
- A è la sezione idrica;
- R è il raggio idraulico, definito come il rapporto tra la superficie idrica e il perimetro bagnato;
- i è la pendenza, assunta pari alla pendenza della strada.

I valori di portata in tabella 2 sono dimezzati poiché ogni tratto stradale è servito da 2 cunette laterali.

La sezione della cunetta è trapezoidale, pertanto, fissando la base minore pari al tirante idrico h , risultano noti i valori della sezione idrica e del raggio idraulico per un generico tirante idrico h :

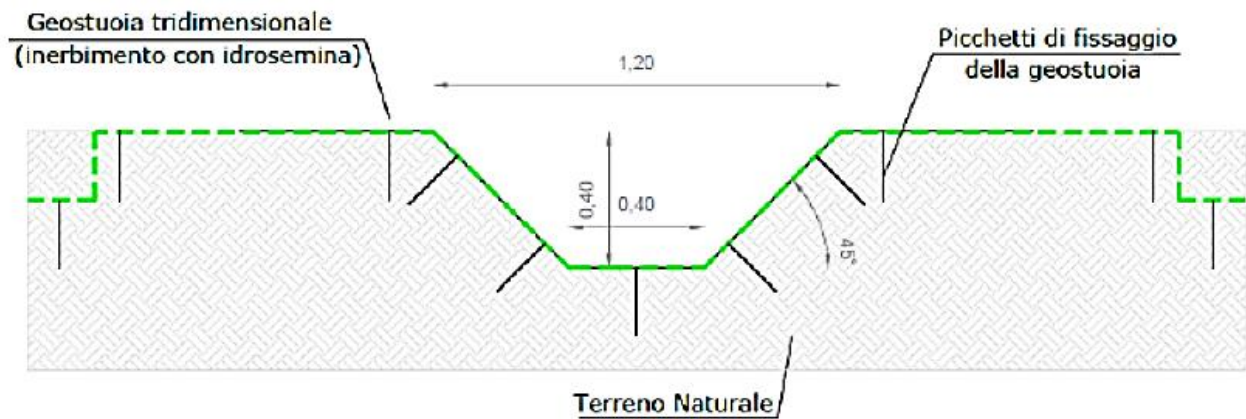


Figura 12: schema geometrico della cunetta

$$A = bh + h^2 \quad (3.2)$$

$$C = b + 2h\sqrt{2} \quad (3.3)$$


$$R = \frac{bh + h^2}{b + 2h\sqrt{2}} \quad (3.4)$$

Inoltre, si fissa la base maggiore del trapezio pari al doppio della base minore.

Fissando un valore al tirante idrico si ottiene un valore di portata Q^* . Utilizzando la funzione ricerca obiettivo di Excel, si determina il valore di h tale che la differenza tra la portata Q e la portata Q^* sia nulla:

$Q, m^3/s$	b, m	B, m	h, m	A, m^2	C, m	R, m	$k_s, m^{1/3} s^{-1}$	$i_m, \%$	$v_m, m/s$	$Q^*, m^3/s$	$\Delta Q, m^3/s$	$\epsilon, \%$	Bacino	Strada
0,065	0,4	0,8	0,100	0,0498	0,682	0,0731	33,3	5,04	1,307	0,0651	1,07E-04	1,65	1	IN_Parco
0,465	0,4	0,8	0,290	0,2001	1,220	0,1640	33,3	5,43	2,325	0,4653	2,89E-04	0,62	2	IN_Parco
2,91	0,6	1,2	0,534	0,6052	2,110	0,2869	33,3	11,02	4,808	2,9098	-2,25E-04	0,08	3	IN_Parco
0,15	0,4	0,8	0,138	0,0745	0,792	0,0942	33,3	8,56	2,017	0,1503	3,20E-04	2,13	4	IN_Parco
1,525	0,6	1,2	0,371	0,3604	1,650	0,2185	33,3	12,27	4,231	1,5251	1,04E-04	0,07	5	IN_Parco
0,83	0,6	1,2	0,357	0,3412	1,609	0,2121	33,3	4,22	2,433	0,8301	5,72E-05	0,07	6	IN_Parco
0,885	0,6	1,2	0,357	0,3417	1,610	0,2122	33,3	4,78	2,591	0,8851	1,23E-04	0,14	7	IN_Parco
1,24	0,6	1,2	0,406	0,4084	1,748	0,2336	33,3	5,78	3,037	1,2401	1,17E-04	0,09	8	IN_Parco
0,91	0,6	1,2	0,386	0,3802	1,691	0,2248	33,3	3,78	2,394	0,9102	1,83E-04	0,20	9	IN_Parco
2,295	0,6	1,2	0,505	0,5584	2,029	0,2752	33,3	8,51	4,110	2,2950	2,61E-06	0,00	10	IN_Parco
0,23	0,6	1,2	0,161	0,1226	1,056	0,1161	33,3	5,64	1,882	0,2307	7,26E-04	3,14	11	IN_Parco
1,305	0,6	1,2	0,393	0,3906	1,712	0,2281	33,3	7,22	3,341	1,3050	2,59E-05	0,02	12	IN_Parco
0,575	0,6	1,2	0,331	0,3083	1,537	0,2007	33,3	2,67	1,865	0,5750	1,21E-05	0,02	13	IT04
0,845	0,6	1,2	0,372	0,3622	1,654	0,2191	33,3	3,72	2,334	0,8454	3,90E-04	0,46	14	IT04
0,81	0,6	1,2	0,328	0,3050	1,529	0,1994	33,3	5,46	2,656	0,8100	1,48E-05	0,02	15	IT04
0,955	0,6	1,2	0,413	0,4180	1,767	0,2365	33,3	3,22	2,285	0,9552	1,57E-04	0,16	16	IT03
0,155	0,6	1,2	0,161	0,1224	1,055	0,1160	33,3	2,57	1,270	0,1555	5,05E-04	3,25	17	IT04
0,51	0,6	1,2	0,300	0,2705	1,450	0,1866	33,3	3,01	1,887	0,5104	3,69E-04	0,72	18	IT04
0,515	0,6	1,2	0,302	0,2725	1,454	0,1873	33,3	3,01	1,892	0,5154	4,02E-04	0,78	19	IT03
0,64	0,6	1,2	0,305	0,2762	1,463	0,1888	33,3	4,48	2,319	0,6406	5,73E-04	0,89	20	IT03
0,875	0,6	1,2	0,450	0,4729	1,873	0,2524	33,3	1,94	1,852	0,8760	9,61E-04	1,10	21	IT01
0,07	0,4	0,8	0,133	0,0711	0,777	0,0915	33,3	2,13	0,987	0,0702	1,61E-04	2,30	22	IT05
0,61	0,4	0,8	0,330	0,2407	1,333	0,1806	33,3	5,68	2,536	0,6102	2,42E-04	0,40	23	IT05
0,53	0,4	0,8	0,389	0,3066	1,499	0,2045	33,3	2,24	1,730	0,5303	3,39E-04	0,64	24	IT05
0,47	0,4	0,8	0,283	0,1935	1,201	0,1611	33,3	6,07	2,429	0,4702	1,69E-04	0,36	25	IT05
0,51	0,4	0,8	0,361	0,2751	1,422	0,1935	33,3	2,77	1,854	0,5100	4,32E-05	0,08	26	IT01
1,395	0,6	1,2	0,486	0,5273	1,974	0,2672	33,3	3,67	2,646	1,3952	2,32E-04	0,17	27	IT01
0,225	0,6	1,2	0,180	0,1401	1,108	0,1264	33,3	3,67	1,607	0,2252	2,36E-04	1,05	28	IT01
1,205	0,7	1,4	0,610	0,7995	2,426	0,3296	33,3	0,9	1,507	1,2051	6,67E-05	0,06	29	IT01
0,14	0,4	0,8	0,224	0,1397	1,033	0,1352	33,3	1,31	1,004	0,1403	2,75E-04	1,96	30	IT02
0,54	0,4	0,8	0,275	0,1855	1,177	0,1575	33,3	8,99	2,912	0,5401	8,74E-05	0,16	31	IT02
0,955	0,6	1,2	0,391	0,3876	1,706	0,2272	33,3	3,95	2,464	0,9550	1,28E-05	0,01	32	IT02

Tabella 3: dimensionamento delle cunette

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
		Data: Aprile 2023	Rev. 01

La scelta di b è stata fatta rispettando i seguenti criteri:

- Il tirante idrico sia inferiore a quello massimo, pari proprio a b ;
- La verifica sulle velocità sia soddisfatta;
- Le dimensioni delle cunette non siano troppo diversificate per facilitare la realizzazione delle cunette.

La verifica sulle velocità è necessaria per evitare che la velocità non sia inferiore a 0,5 m/s, per impedire la sedimentazione di materiale sedimentabile, e che non sia superiore a 5 m/s, per evitare fenomeni erosivi sulla superficie interna della canaletta.

In *tabella 3*, sono state indicate anche le strade a cui sottendono i bacini di riferimento così come sono state identificate negli elaborati dei profili e delle sezioni stradali.

Per maggiore accuratezza, è stato calcolato anche l'errore ϵ , come verifica dell'accuratezza dei risultati ottenuti con la funzione obiettivo.

3.4. DIMENSIONAMENTO E VERIFICA DELLE TUBAZIONI DI ATTRAVERSAMENTO

Allo scopo di allontanare le acque meteoriche in alvei o strade esistenti, se presenti ostacoli lungo il percorso di drenaggio, è necessario progettare le tubazioni di attraversamento in calcestruzzo.

Ogni tubazione deve essere progettata in modo da drenare le portate di piena provenienti dalle canalette presenti su entrambi i lati della strada. I tratti stradali da considerare per il drenaggio delle portate sono stati ricavati dalla tavola dello schema di regimentazione delle acque meteoriche in allegato.

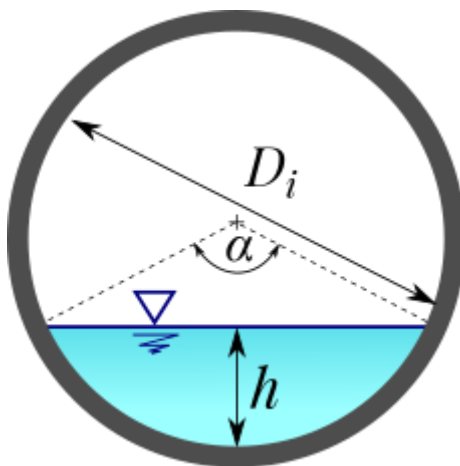


Figura 13: schema geometrico delle tubazioni

Le pendenze delle tubazioni sono state fissate pari all'1%.

L'equazione utilizzata per il dimensionamento è la (3.1), i cui termini geometrici devono essere espressi in funzione del tirante idrico:

$$A = \frac{r^2}{2} (\alpha - \sin \alpha) \quad (3.5)$$

$$\alpha = 2 \cos^{-1} \left(1 - 2 \frac{h}{D} \right)$$

(3. 6)

$$C = r \cdot \alpha$$

(3. 7)

La funzione ricerca obiettivo ha permesso di ottenere i valori del tirante idrico corrispondenti al valore di portata drenata e al grado di riempimento scelto.

Infine, si osserva che i diametri ottenuti fanno riferimento a un grado di riempimento h/D del 75%.

Nella verifica degli attraversamenti, si considera il diametro reale della tubazione e si verifica che il grado di riempimento non sia superiore al 75% e che le velocità siano comprese tra 0,5 m/s e 5 m/s.

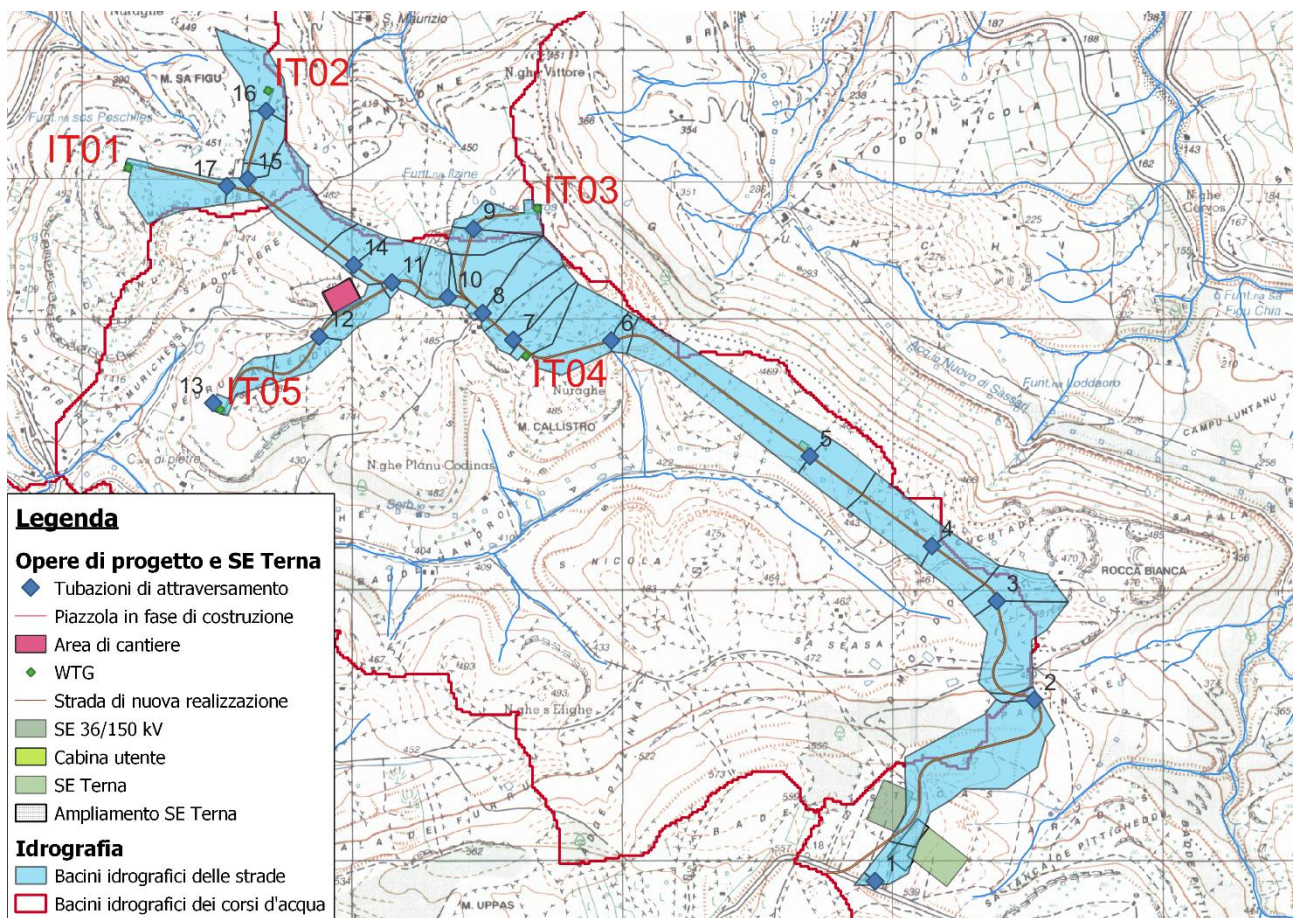


Figura 14: posizione delle tubazioni di attraversamento su IGM 1:25.000

Q, m ³ /s	h/D	h, m	D _{int} , m	α, rad	r, m	A, m ²	C, m	R, m	k _s , m ^{1/3} s ⁻¹	i _m , %	v _m , m/s	Q*, m ³ /s	ΔQ, m ³ /s	ε, ‰	ID
1,06	0,75	0,723	0,964	4,189	0,482	1,175	2,019	0,582	80	1	0,902	1,060	0,000	0,1326	1
6,12	0,75	1,121	1,494	4,189	0,747	2,822	3,130	0,902	80	1	2,168	6,119	0,000827	0,1351	2
4,71	0,75	1,050	1,400	4,189	0,700	2,476	2,932	0,845	80	1	1,902	4,709	0,000636	0,1351	3
4,25	0,75	1,023	1,364	4,189	0,682	2,352	2,857	0,823	80	1	1,807	4,249	0,000574	0,1350	4
6,41	0,75	1,134	1,512	4,189	0,756	2,888	3,166	0,912	80	1	2,219	6,409	0,000863	0,1347	5
3,07	0,75	0,943	1,258	4,189	0,629	1,999	2,634	0,759	80	1	1,536	3,070	0,000413	0,1346	6
2,84	0,75	0,925	1,233	4,189	0,617	1,923	2,583	0,744	80	1	1,477	2,840	0,000381	0,1343	7
3,53	0,75	0,977	1,302	4,189	0,651	2,143	2,728	0,786	80	1	1,647	3,530	0,000476	0,1349	8
1,33	0,75	0,765	1,020	4,189	0,510	1,316	2,137	0,616	80	1	1,011	1,330	0,000179	0,1343	9
2,31	0,75	0,879	1,171	4,189	0,586	1,734	2,453	0,707	80	1	1,332	2,310	0,000312	0,1351	10
1,02	0,75	0,715	0,954	4,189	0,477	1,149	1,997	0,575	80	1	0,883	1,015	0,000137	0,1351	11
2,28	0,75	0,876	1,168	4,189	0,584	1,723	2,445	0,704	80	1	1,323	2,280	0,000308	0,1351	12
0,94	0,75	0,702	0,936	4,189	0,468	1,106	1,959	0,564	80	1	0,850	0,940	0,000127	0,1350	13
1,90	0,75	0,836	1,115	4,189	0,557	1,570	2,335	0,673	80	1	1,206	1,895	0,000256	0,1350	14
3,07	0,75	0,943	1,258	4,189	0,629	1,999	2,634	0,759	80	1	1,536	3,070	0,000413	0,1346	15
2,99	0,75	0,937	1,249	4,189	0,625	1,973	2,617	0,754	80	1	1,515	2,990	0,000402	0,1345	16
2,86	0,75	0,927	1,236	4,189	0,618	1,929	2,588	0,746	80	1	1,482	2,860	0,000384	0,1344	17

Tabella 4: dimensionamento delle tubazioni di attraversamento

3.4.1. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 1

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1000
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	1,06
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 5: caratteristiche tubazione di attraversamento 1

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,46	0,46	2,96	0,35	1,48	0,23	1,06	3,05

Tabella 6: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 1

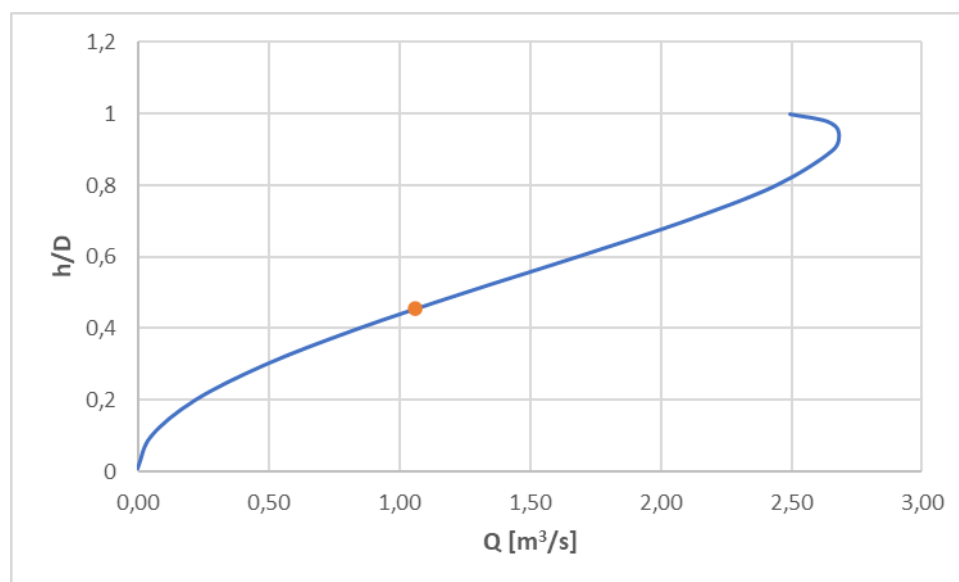


Figura 15: scala di deflusso tubazione di attraversamento 1

La tubazione di attraversamento 1 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.2. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 2

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1500
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	6,12
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 7: caratteristiche tubazione di attraversamento 2

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,70	1,05	3,95	1,31	2,96	0,44	6,12	4,65

Tabella 8: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 2

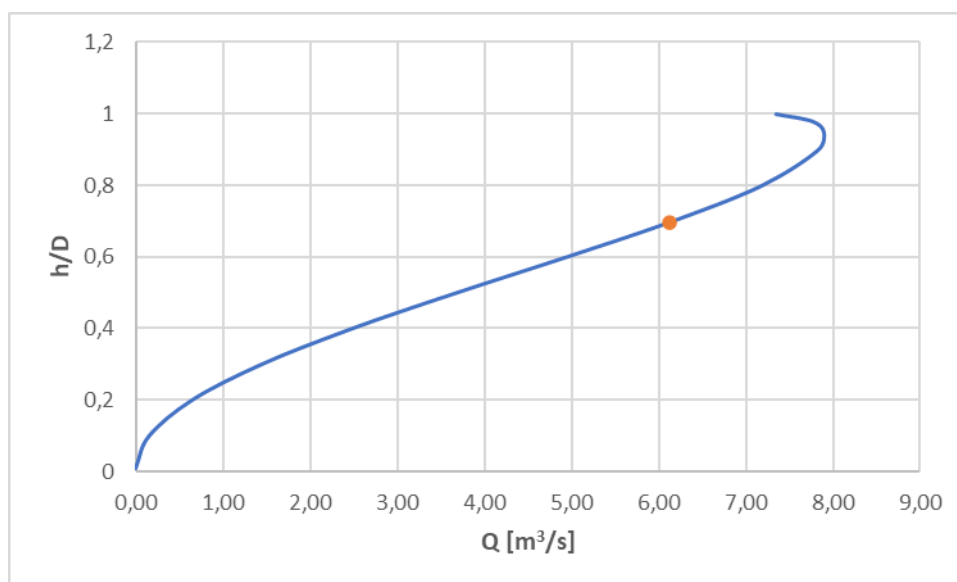


Figura 16: scala di deflusso tubazione di attraversamento 2

La tubazione di attraversamento 2 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.3. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 3

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1400
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	4,71
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 9: caratteristiche tubazione di attraversamento 3

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,66	0,92	3,79	1,07	2,65	0,41	4,71	4,38

Tabella 10: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 3

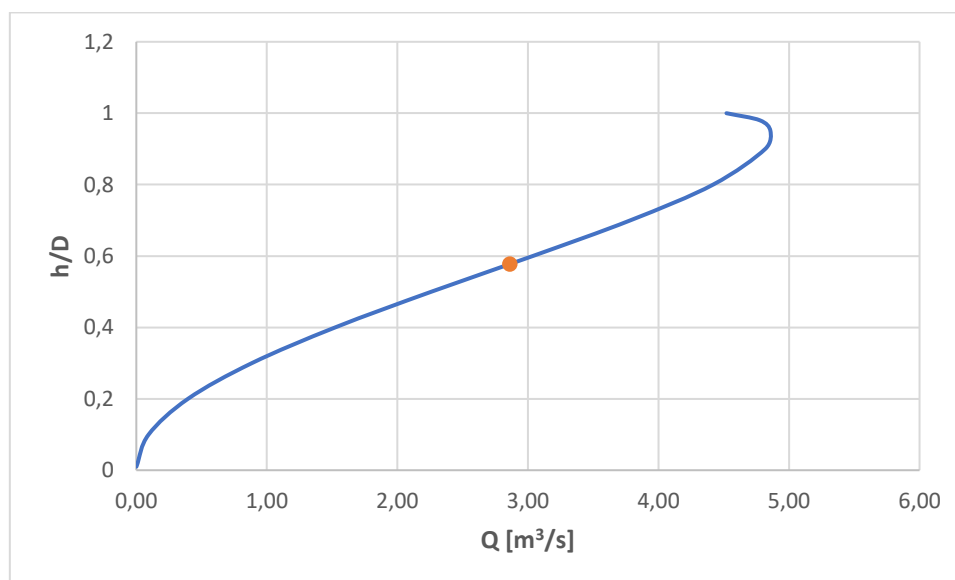


Figura 17: scala di deflusso tubazione di attraversamento 3

La tubazione di attraversamento 3 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.4. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 4

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1400
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	4,25
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 11: caratteristiche tubazione di attraversamento 4

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,61	0,86	3,60	0,99	2,52	0,39	4,25	4,29

Tabella 12: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 4

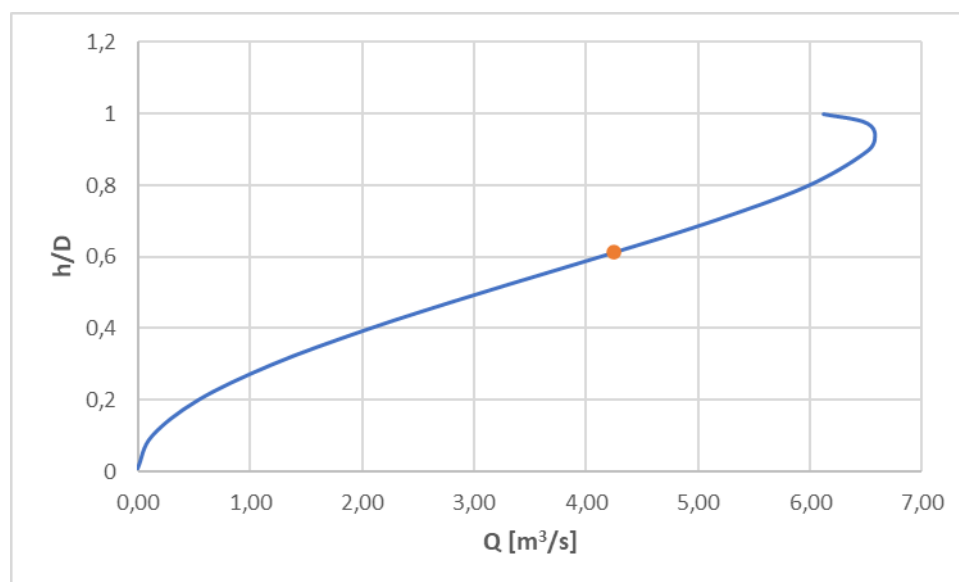


Figura 18: scala di deflusso tubazione di attraversamento 4

La tubazione di attraversamento 4 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.5. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 5

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1550
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	6,41
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 13: caratteristiche tubazione di attraversamento 5

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,68	1,05	3,86	1,36	2,99	0,45	6,41	4,72

Tabella 14: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 5

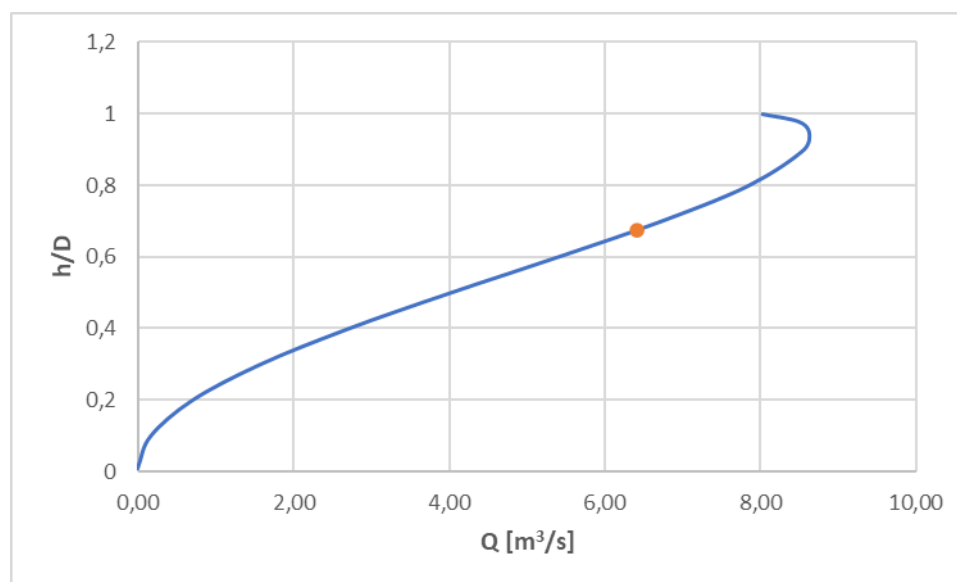


Figura 19: scala di deflusso tubazione di attraversamento 5

La tubazione di attraversamento 5 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.6. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 6

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1300
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	3.07
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 15: caratteristiche tubazione di attraversamento 6

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,57	0,73	3,40	0,77	2,21	0,35	3,07	3,97

Tabella 16: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 6

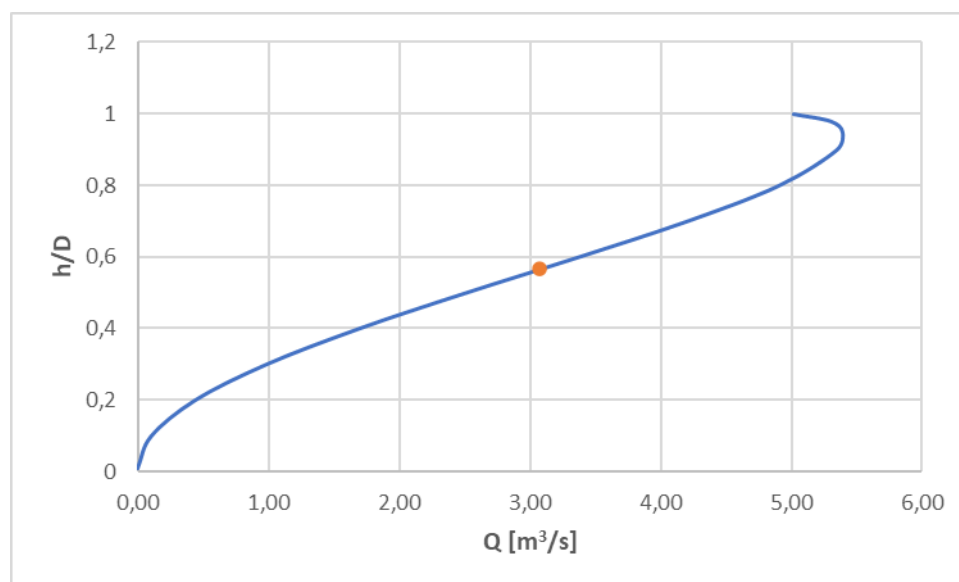


Figura 20: scala di deflusso tubazione di attraversamento 6

La tubazione di attraversamento 6 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.7. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 7

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1250
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	2,84
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 17: caratteristiche tubazione di attraversamento 7

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,57	0,72	3,44	0,73	2,15	0,34	2,84	3,89

Tabella 18: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 7

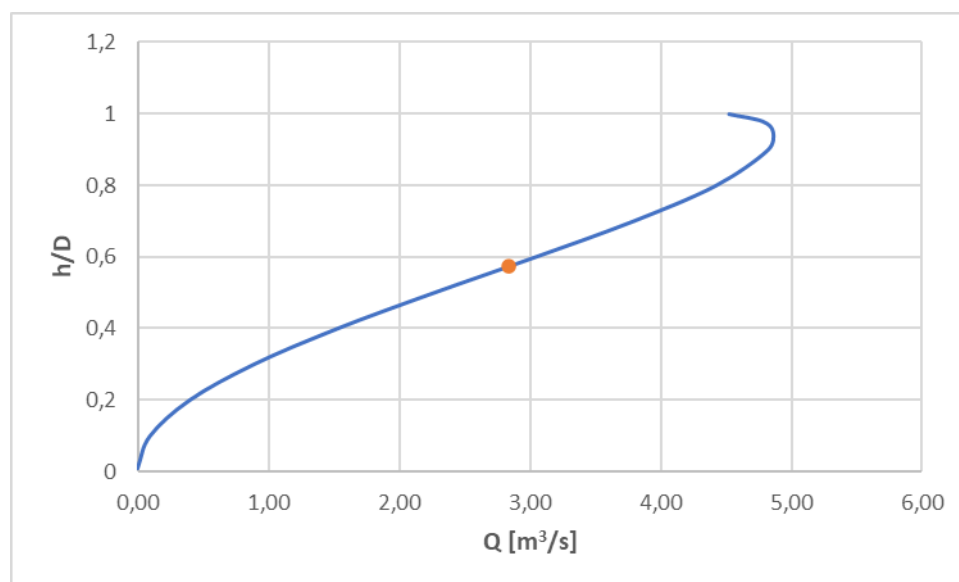


Figura 21: scala di deflusso tubazione di attraversamento 7

La tubazione di attraversamento 7 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.8. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 8

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1350
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	3,53
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 19: caratteristiche tubazione di attraversamento 8

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,58	0,78	3,46	0,86	2,34	0,37	3,53	4,11

Tabella 20: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 8

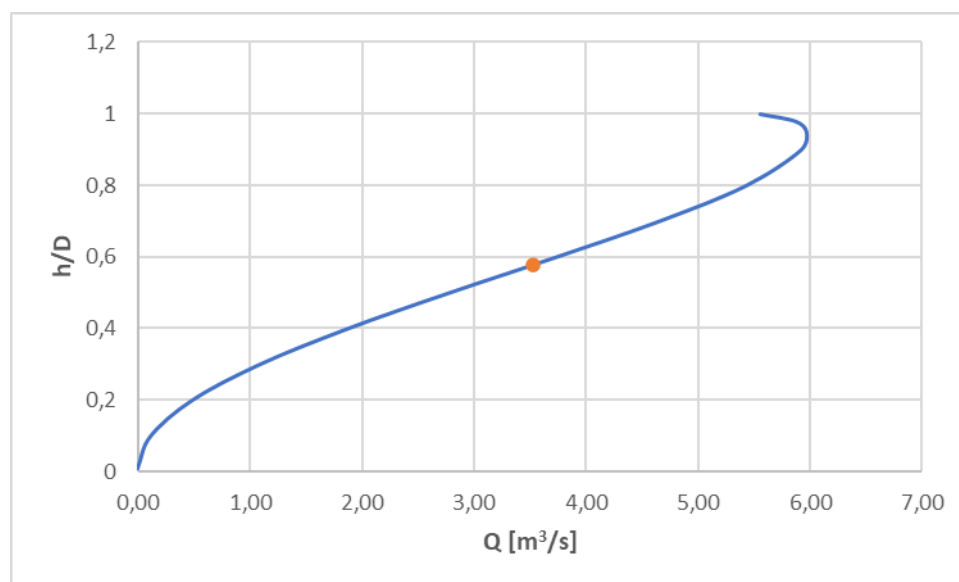


Figura 22: scala di deflusso tubazione di attraversamento 8

La tubazione di attraversamento 8 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.9. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 9

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1050
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	1,33
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 21: caratteristiche tubazione di attraversamento 9

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,48	0,51	3,07	0,41	1,61	0,26	1,33	3,23

Tabella 22: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 9

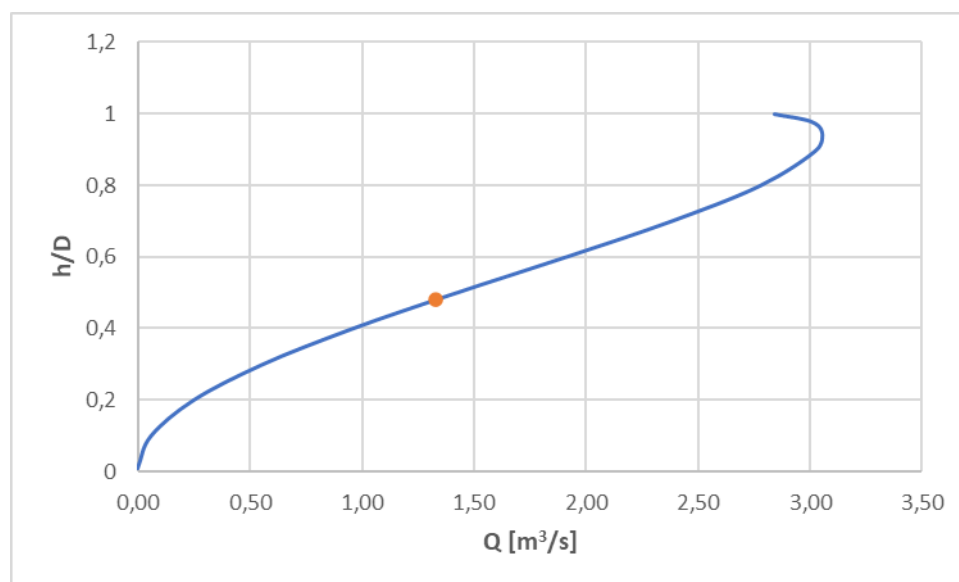


Figura 23: scala di deflusso tubazione di attraversamento 9

La tubazione di attraversamento 9 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.10. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 10

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1200
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	2,31
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 23: caratteristiche tubazione di attraversamento 10

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,54	0,65	3,30	0,62	1,98	0,31	2,31	3,70

Tabella 24: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 10

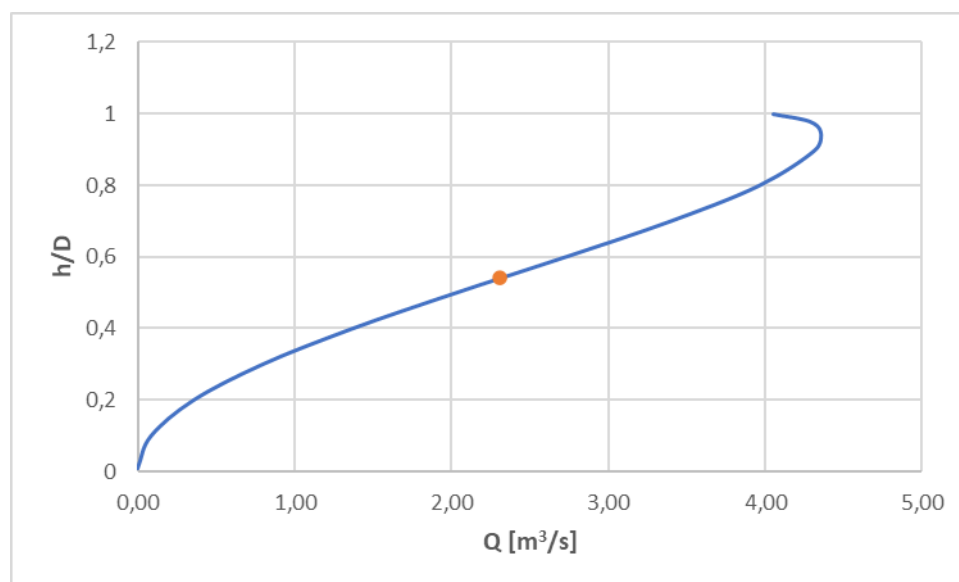


Figura 24: scala di deflusso tubazione di attraversamento 10

La tubazione di attraversamento 10 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.11. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 11

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1000
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	1,02
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 25: caratteristiche tubazione di attraversamento 11

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,45	0,45	2,92	0,34	1,46	0,23	1,02	3,02

Tabella 26: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 11

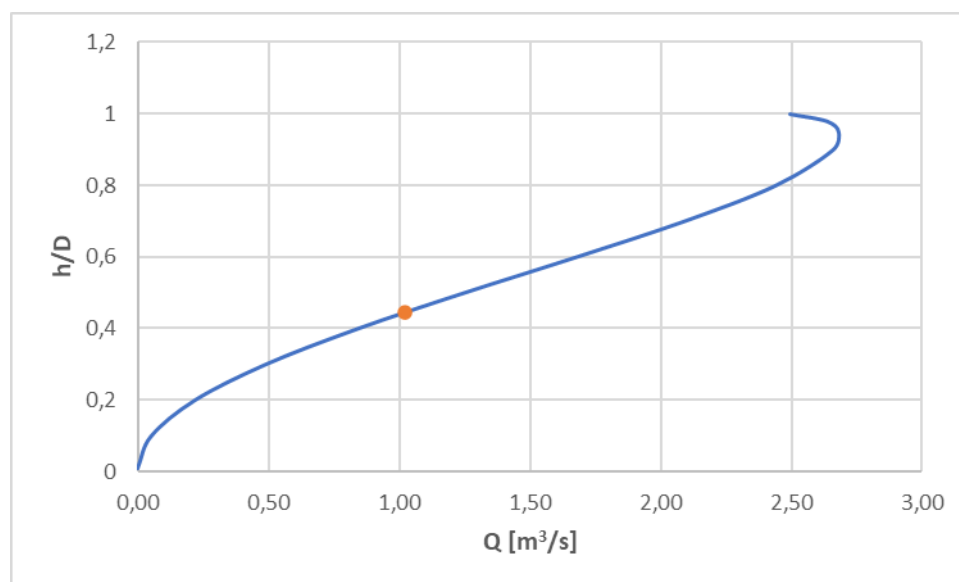


Figura 25: scala di deflusso tubazione di attraversamento 11

La tubazione di attraversamento 11 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.12. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 12

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1200
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	2,28
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 27: caratteristiche tubazione di attraversamento 12

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,54	0,64	3,29	0,62	1,97	0,31	2,28	3,69

Tabella 28: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 12

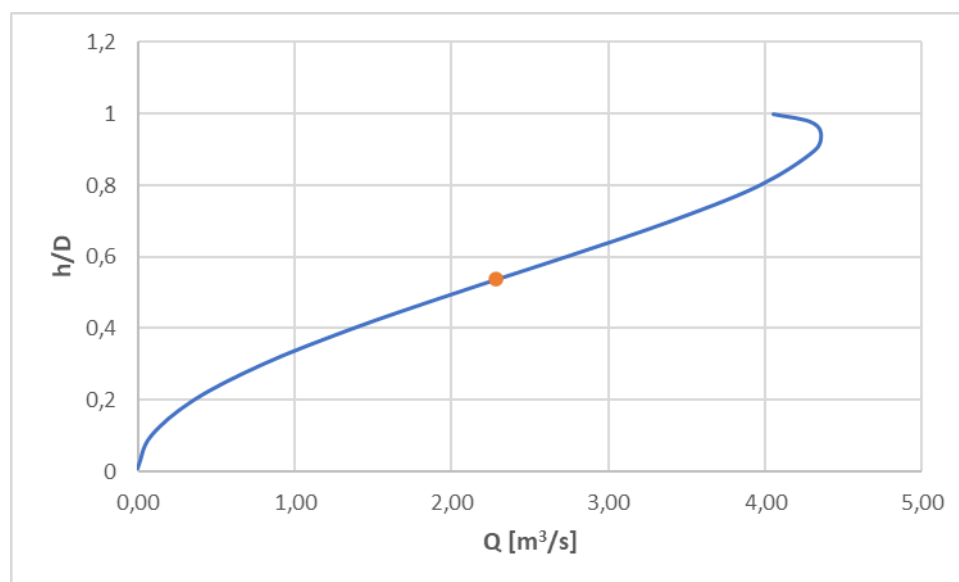


Figura 26: scala di deflusso tubazione di attraversamento 12

La tubazione di attraversamento 12 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.13. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 13

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1000
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	0,94
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 29: caratteristiche tubazione di attraversamento 13

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,43	0,43	2,84	0,32	1,42	0,22	0,94	2,95

Tabella 30: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 13

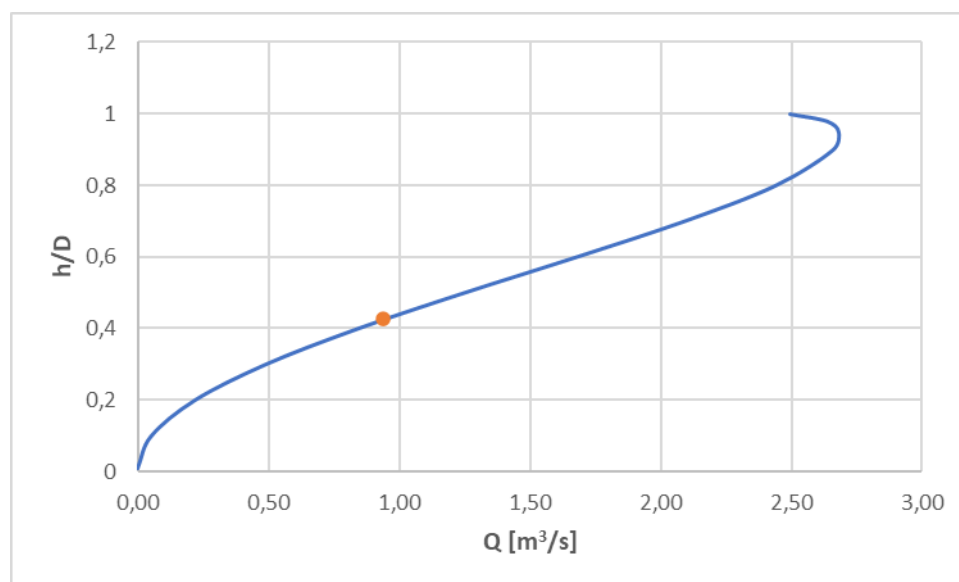


Figura 27: scala di deflusso tubazione di attraversamento 13

La tubazione di attraversamento 13 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.14. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 14

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1150
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	1,90
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 31: caratteristiche tubazione di attraversamento 14

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,51	0,59	3,20	0,54	1,84	0,29	1,90	3,53

Tabella 32: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 14

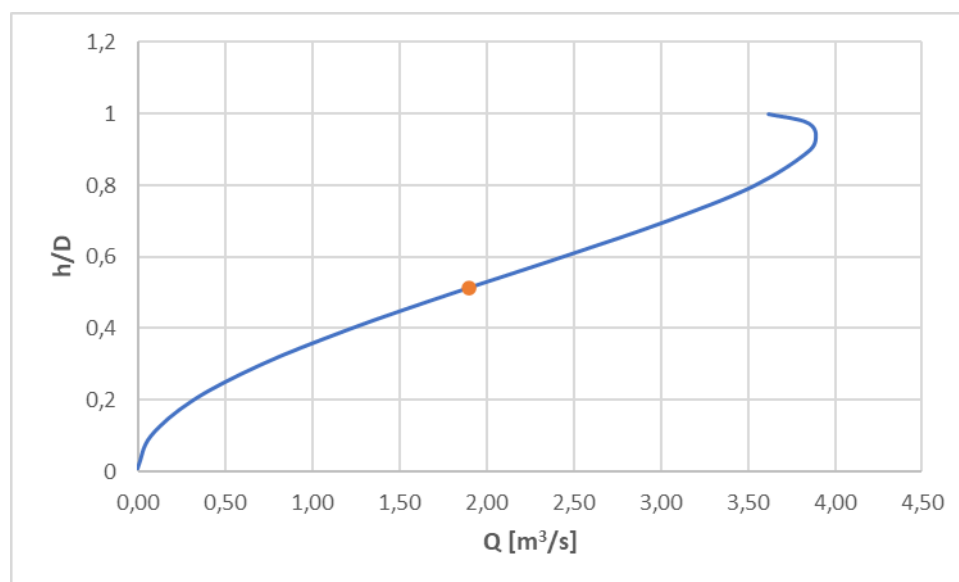


Figura 28: scala di deflusso tubazione di attraversamento 14

La tubazione di attraversamento 14 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.15. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 15

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1300
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	3,07
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 33: caratteristiche tubazione di attraversamento 15

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,57	0,73	3,40	0,77	2,21	0,35	3,07	3,97

Tabella 34: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 15

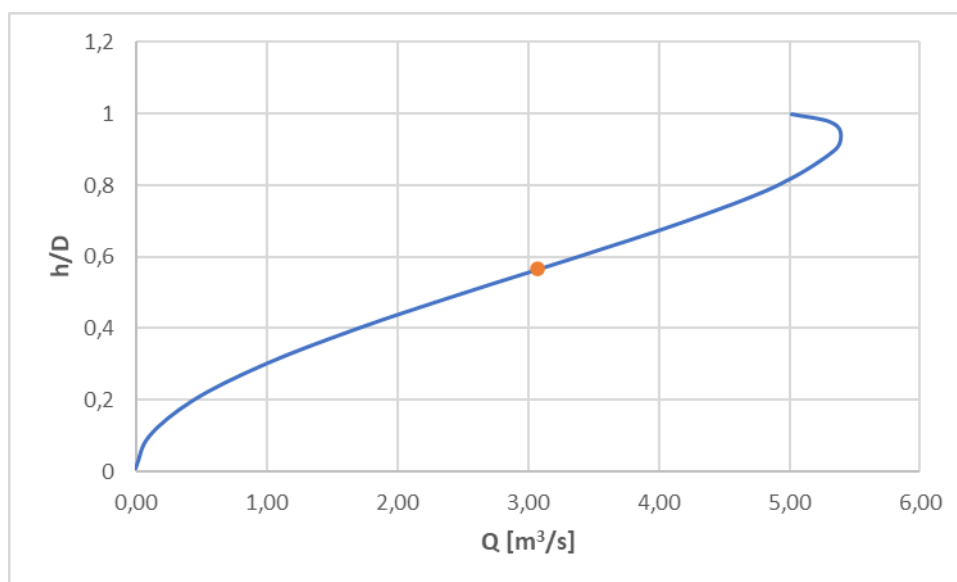


Figura 29: scala di deflusso tubazione di attraversamento 15

La tubazione di attraversamento 15 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.16. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 16

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1250
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	2,99
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 35: caratteristiche tubazione di attraversamento 16

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,59	0,74	3,52	0,76	2,20	0,35	2,99	3,94

Tabella 36: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento

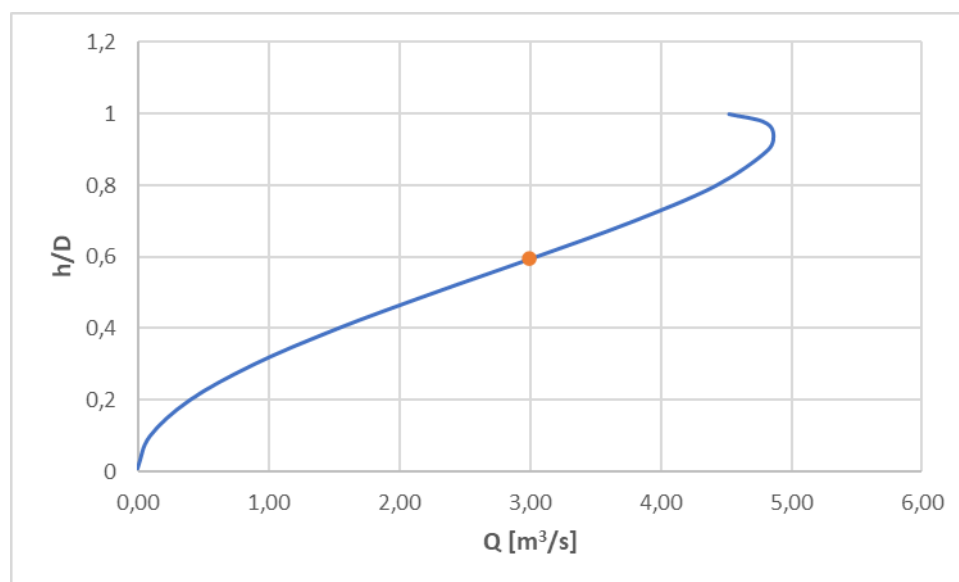


Figura 30: scala di deflusso tubazione di attraversamento 16

La tubazione di attraversamento 16 rispetta le verifiche idrauliche.

3.4.17. VERIFICA ATTRAVERSAMENTO 17

Materiale	CALCESTRUZZO
Diametro interno (mm)	1250
Pendenza (m/m)	0,01
Portata di progetto (m³/s)	2,86
Coefficiente di scabrezza (m^{1/3}/s)	80

Tabella 37: caratteristiche tubazione di attraversamento 17

h/D	h, m	α, rad	A, m²	C, m	R, m	Q, m³/s	v, m/s
0,58	0,72	3,45	0,73	2,16	0,34	2,86	3,90

Tabella 38: verifiche idrauliche tubazione di attraversamento 17

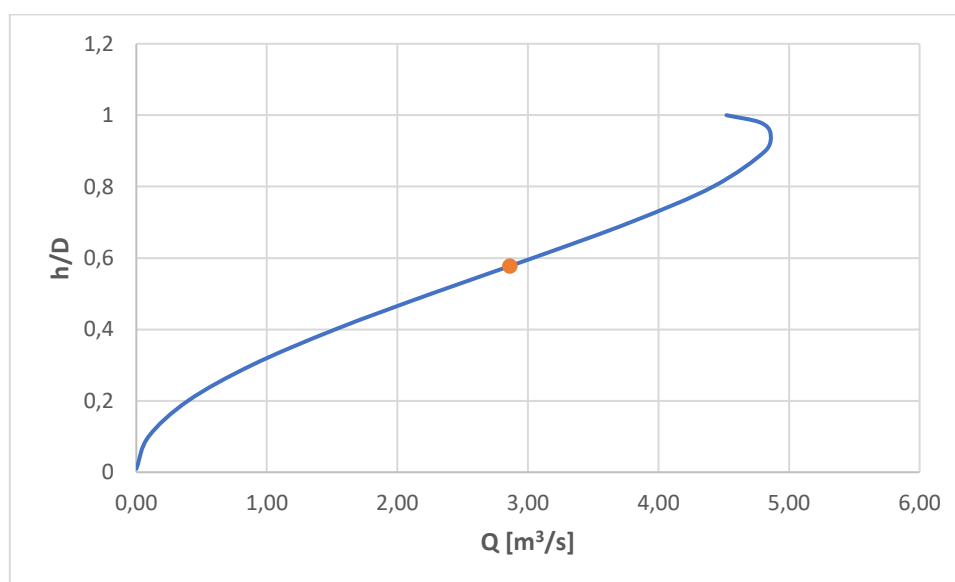


Figura 31: scala di deflusso tubazione di attraversamento 17

La tubazione di attraversamento 17 rispetta le verifiche idrauliche.

3.5. DIMENSIONAMENTO DELLE TRINCEE DRENANTI

Le trincee drenanti sono opere idrauliche finalizzate al drenaggio delle acque meteoriche dalle tubazioni in calcestruzzo presenti al di sotto della sovrastruttura stradale agli impluvi prossimi alla strada stessa.

La legge di dimensionamento delle trincee drenanti è la legge di Darcy, che descrive la filtrazione di un liquido attraverso un materiale granulare, che nel caso in esame è ghiaia:

$$A = \frac{Q}{k \cdot J}$$

(3.8)

La cadente piezometrica J è pari alla pendenza del bacino in cui la trincea drenante si colloca. In via semplificativa, è possibile utilizzare i valori di pendenza adoperati in tabella 4.

La permeabilità k dipende dalla natura del liquido e dal tipo di terreno; essa può essere assunta pari a 1 cm/s.

Di seguito si riportano i valori ottenuti per le superfici filtranti:

Q, m ³ /s	k, m/s	J, %	A, m ²	v _m , m/s
1,06	0,01	3	3533,33	0,0003
6,12	0,01	7	8742,86	0,0007
4,71	0,01	1	47100,00	0,0001
4,25	0,01	7	6071,43	0,0007
6,41	0,01	2	32050,00	0,0002
3,07	0,01	15	2046,67	0,0015
2,84	0,01	4	7100,00	0,0004
3,53	0,01	1	35300,00	0,0001
1,33	0,01	3	4433,33	0,0003
2,31	0,01	5	4620,00	0,0005
1,015	0,01	1	10150,00	0,0001
2,28	0,01	2	11400,00	0,0002
0,94	0,01	8	1175,00	0,0008
1,895	0,01	3	6316,67	0,0003
3,07	0,01	3	10233,33	0,0003
2,99	0,01	5	5980,00	0,0005
2,86	0,01	3	9533,33	0,0003

Tabella 39: calcolo della superficie netta di infiltrazione

I valori della superficie netta di infiltrazione in tabella 5 potranno essere utilizzati in fase esecutiva per la definizione della geometria della trincea drenante:

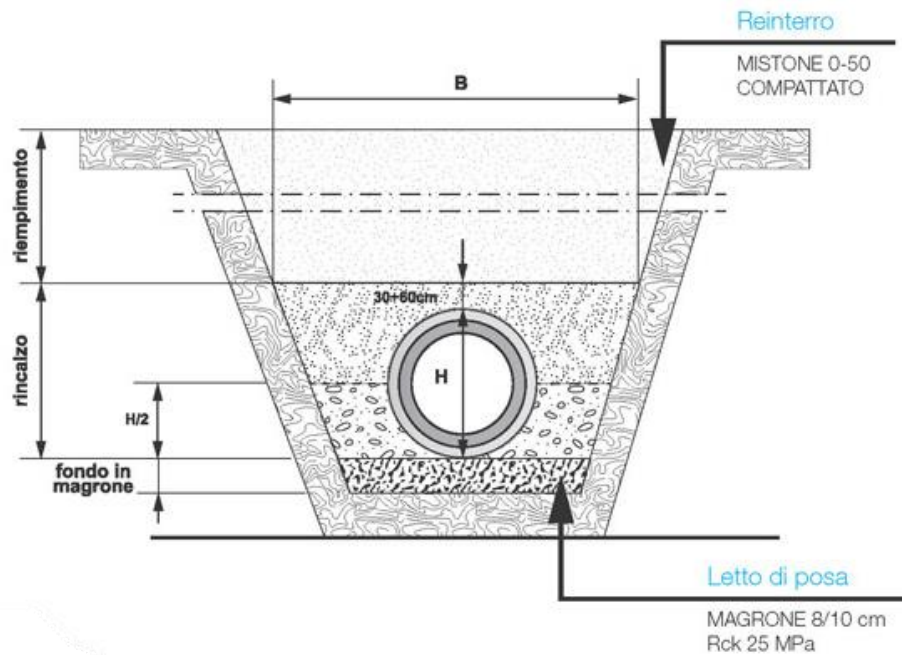



Figura 32: schematizzazione della trincea drenante

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
		Data: Aprile 2023	Rev. 01

4. INTERFERENZE CON IL RETICOLO IDROGRAFICO

L'analisi idrografica del sito in cui sarà realizzato il parco eolico in progetto ha permesso di rilevare l'assenza di interferenze con il reticolo idrografico, sulla scorta dei dati resi disponibili dal PAI e della cartografia IGM 1:25.000.

Tuttavia, per una più approfondita analisi, è stata consultata anche la Carta Tecnica Regionale, nella quale sono state riscontrate differenze rispetto alla cartografia IGM presa a riferimento.

In particolare, sono risultati alcuni attraversamenti di impluvi esistenti:

Inquadramento su CTR
WGS84 UTM-32N: 468019.94E ; 4492123.58N

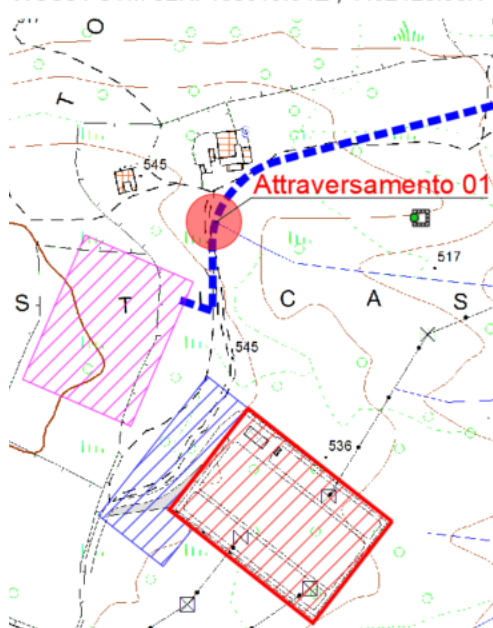


Figura 33: attraversamento 01 su CTR

Inquadramento su CTR
WGS84 UTM-32N:468327.963E ; 4492583.79N



Figura 34: attraversamento 02 su CTR

Inquadramento su CTR
WGS84 UTM-32N:468304.74E ; 4492774.32N

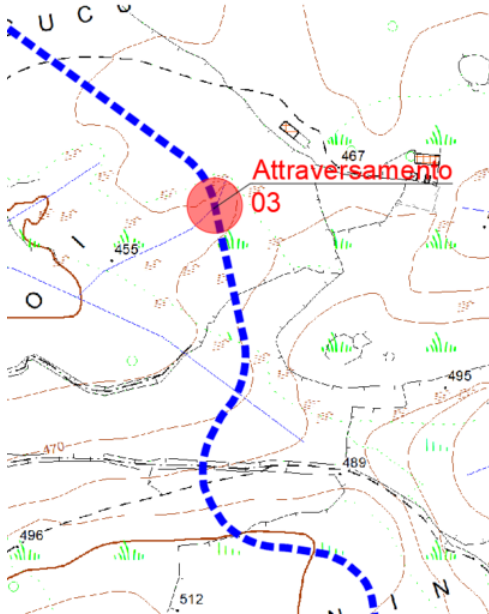


Figura 35: attraversamento 03 su CTR

Inquadramento su CTR
WGS84 UTM-32N:467075.09E ; 4493701.32N



Figura 36: attraversamento 06 su CTR

Inquadramento su CTR
WGS84 UTM-32N:466906.05E ; 4493734.34N

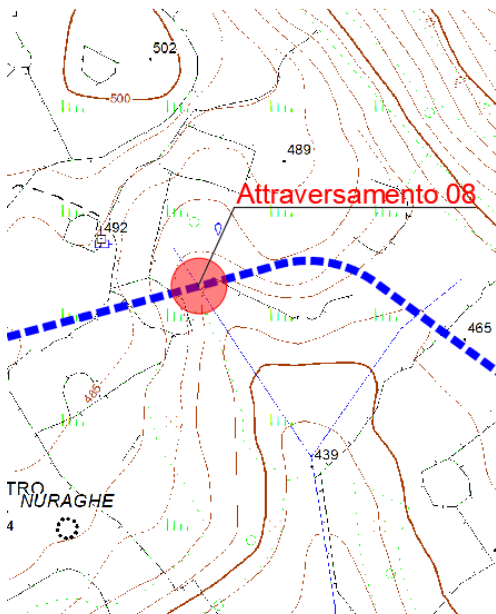


Figura 37: attraversamento 07 su CTR

Inquadramento su CTR
WGS84 UTM-32N:466279.77E ; 4493893.20N

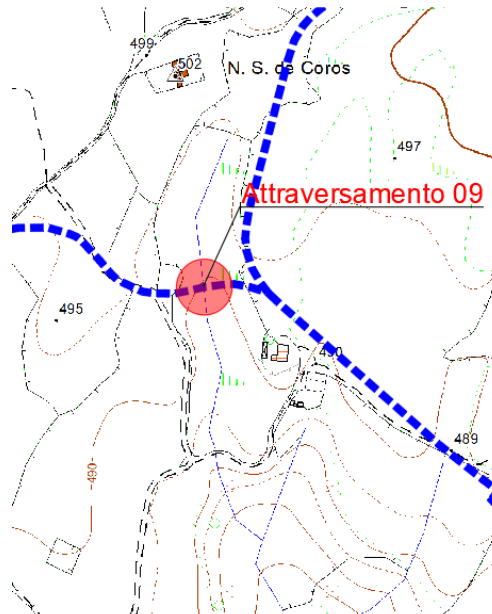



Figura 38: attraversamento 08 su CTR

La nomenclatura degli attraversamenti è stata fornita in maniera coerente con quanto indicato nell'allegato "Schede delle interferenze del cavidotto con il reticolo idrografico e sottoservizi" con codice HS266-OC20-D.

Poiché tali impluvi non sono soggetti a vincolo dell'art. 30 NTA del PAI, non essendo infatti presenti all'interno della stessa banca dati del PAI, si dispone in corrispondenza degli attraversamenti prima descritti

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
		Data: Aprile 2023	Rev. 01


una tubazione di diametro interno pari a 1550 mm, il maggiore dei diametri valutati per le tubazioni di attraversamento.

Infatti, tale diametro risulta cautelativo per evitare il rigurgito della corrente a monte dell'impluvio e per garantire il drenaggio della corrente da monte verso valle.

Inoltre, si provvederà alla sistemazione degli impluvi scavati mediante il ripristino del profilo naturale del terreno scavato e un ricoprimento in legname e pietrame come protezione del cavo interrato da eventuali fenomeni di erosione superficiale.



Figura 39: esempio di intervento di ingegneria naturalistica di sistemazione impluvi con legname e pietrame

GRV Wind Sardegna 6 S.r.l. 	Relazione idrologica-idraulica	DS266-ID01-R	
		Data: Aprile 2023	Rev. 01

5. CONCLUSIONI

Il presente studio idrologico-idraulico ha mostrato che la realizzazione del parco eolico si effettua in un sito in cui non sono presenti elementi di pericolosità geomorfologica e alluvionale, nonostante il comune di Ittiri sorga in un'area prevalentemente non pianeggiante.

Le portate meteoriche convogliate dalle canalette potranno essere addotte da tubazioni di drenaggio presenti nei punti del profilo stradale a quota minore in impluvi prossimi alla strada stessa, in modo che sia rispettata la continuità idraulica dei bacini in *figura 7*.

Infine, sebbene non sia stato possibile individuare un'unica sezione delle canalette per tutti i tratti stradali a causa dell'ampia variabilità delle portate e delle pendenze, la soluzione proposta consente di seguire sempre la pendenza della strada, facilitando le operazioni di costruzione ed evitando l'onere connesso alla realizzazione di opere d'arte a servizio delle canalette, quali i pozzetti di salto. In tal modo, risulta rispettato anche l'obiettivo di scegliere soluzioni progettuali meno invasive per il territorio.

Inoltre, il posizionamento delle tubazioni di attraversamento e delle trincee drenanti in planimetria è consultabile nella tavola in allegato "*Inquadramento territoriale su CTR - Schema di regimentazione delle acque meteoriche*" con codice HS266-OC11-D.