

URS

**Progetto Operativo di
Messa in Sicurezza
Permanente di parte
delle aree esterne
Syndial - Allegato 3**

Stabilimento di Brindisi

Settembre 2013

Progetto 46318615

Preparato per: Syndial S.p.A.

ITALY



TABLE OF CONTENTS

1.	PREMESSA E SOMMARIO	1
2.	INQUADRAMENTO GENERALE	2
2.1.	Localizzazione dell'area	2
3.	STUDIO IDROLOGICO	3
3.1.	Premessa	3
3.2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3.3.	CALCOLO DELLE PORTATE.....	4
3.3.1.	Pluviografia	5
3.3.2.	Caratteristiche del bacino idrografico.....	6
3.3.3.	Stima del tempo di corrivazione	8
3.3.4.	Perdite idrologiche	8
3.3.5.	Portate di piena.....	11
4.	STUDIO IDRAULICO	13
4.1.	Premessa.....	13
4.2.	Ipotesi di tracciato del canale	13
4.3.	Dimensionamento idraulico.....	14
4.3.1.	Dati di progetto	16
4.4.	Risultati.....	18
5.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	21
5.1.	Riqualficazione ambientale del Canale Pandi.....	21
5.1.1.	IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE.....	22
5.1.2.	DIMENSIONI DEL CANALE	23
5.1.3.	OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE	24
5.1.4.	REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI	26
5.1.5.	ATTRAVERSAMENTI STRADALI.....	26
5.1.6.	PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA.	30
5.1.7.	DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI.....	30

[Tavole](#)

Tavola 01 - Planimetria e bacino imbrifero del canale Pandi;

Tavola 02 - Planimetria canale Pandi su tavola interventi;

Tavola 03 - Profilo longitudinale del canale in progetto;

Tavola 04 - Sezioni tipo del canale in progetto.

1. PREMESSA E SOMMARIO

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa.

Le funzioni di tale opera saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

La presente relazione illustra le attività di analisi idrologica e idraulica e di progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Saranno esposte le metodologie di calcolo, i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare le portate massime per vari tempi di ritorno e i risultati del dimensionamento idraulico del nuovo canale previsto.

Le due fasi di studio sono, quindi, propedeutiche alla progettazione del nuovo canale.

La presente relazione è formata da tre parti: nella prima si affronta il tema dell'analisi idrologica finalizzata al calcolo della portata di progetto; nella seconda parte si illustrano le metodologie e i risultati del calcolo idraulico per il dimensionamento del canale; infine, nella terza parte, si descrivono le opere previste nel progetto.

La relazione è accompagnata da 4 tavole progettuali che consentono una migliore comprensione del complesso delle opere previste.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

Il progetto è localizzato in un'area prevalentemente agricola a sud dello stabilimento di Brindisi.

In particolare il canale Pandi ha un percorso sud-nord e sfocia attualmente nell'Oasi protetta litoranea alla costa.

La morfologia dell'area è caratterizzata da una variazione altimetrica di pochi metri: il bacino imbrifero del canale Pandi ha una differenza di quota di circa 16 metri per uno sviluppo di oltre 4 km.

Nella figura 2.1.1 è riportato l'inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

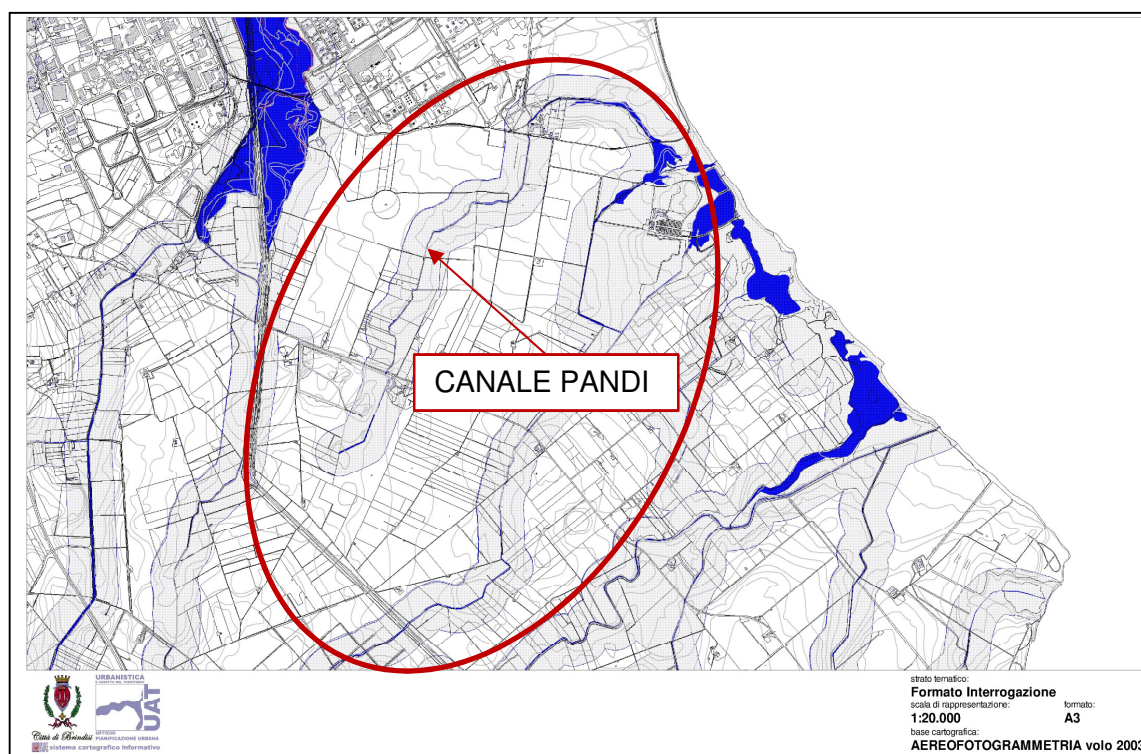


Figura 2.1.1 - Inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi.

3. STUDIO IDROLOGICO

3.1. PREMESSA

Il presente studio idrologico è finalizzato alla valutazione delle portate massime per assegnati tempi di ritorno **T** del bacino del canale Pandi in funzione della prevista realizzazione di una deviazione di un tratto del canale funzionale al miglioramento ambientale dell'area. In particolare la portata caratterizzata dal tempo di ritorno **T** di 100 anni sarà adottata quale portata di progetto per il dimensionamento della sezione del tratto in variante del canale Pandi.

Fissata la portata di piena di progetto (nel caso specifico definita per $T = 100$ anni) è, quindi, possibile implementare il modello di calcolo per dimensionare le sezioni trasversali del nuovo tratto del canale Pandi e le opere idrauliche diffuse (es. protezione delle sponde) e puntuali (es. protezione sbocchi e imbocchi) eventualmente necessarie.

Le portate di piena sono state calcolate relative ai tempi di ritorno **T** pari a 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anni.

Non avendo a disposizione misure dirette di portata, il calcolo dei valori di piena è stato effettuato per mezzo del Metodo Razionale che consente di determinare la portata conoscendo la pioggia che l'ha generata, oltre ai parametri geomorfologici del bacino in esame.

La pioggia è definita attraverso la curva di possibilità pluviometrica (o climatica) che rappresenta il legame tra la durata e l'altezza della precipitazione.

Nota la curva di possibilità pluviometrica, si devono valutare:

- l'altezza di pioggia critica (definita come l'altezza di pioggia per la quale si ha, per un dato bacino imbrifero, il massimo della portata nell'ipotesi che questa abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata);
- le perdite idrologiche che, nei bacini naturali e nel caso di modelli di piena, sono dovute essenzialmente ai fenomeni di infiltrazione. Le perdite sono state definite per mezzo del coefficiente d'afflusso ϕ funzione delle caratteristiche del suolo (la sua permeabilità).

3.2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio studiato si trova in comune di Brindisi ed è situato sud dello Stabilimento di Brindisi.

Il canale Pandi segue una direzione sud-nord e attraversa per il tratto di monte un'area di terreni agricoli per poi entrare lambire il margine sud dell'area Micorosa e sboccare nell'oasi protetta da

nord. La lunghezza complessiva è di oltre 3 km e la sezione è naturale in terra ad eccezione dei brevi tratti di attraversamento della viabilità.

Si riporta di seguito uno stralcio della corografia su Carta Tecnica del Comune (SIT Comune di Brindisi) con indicazione dell'area oggetto dell'intervento.

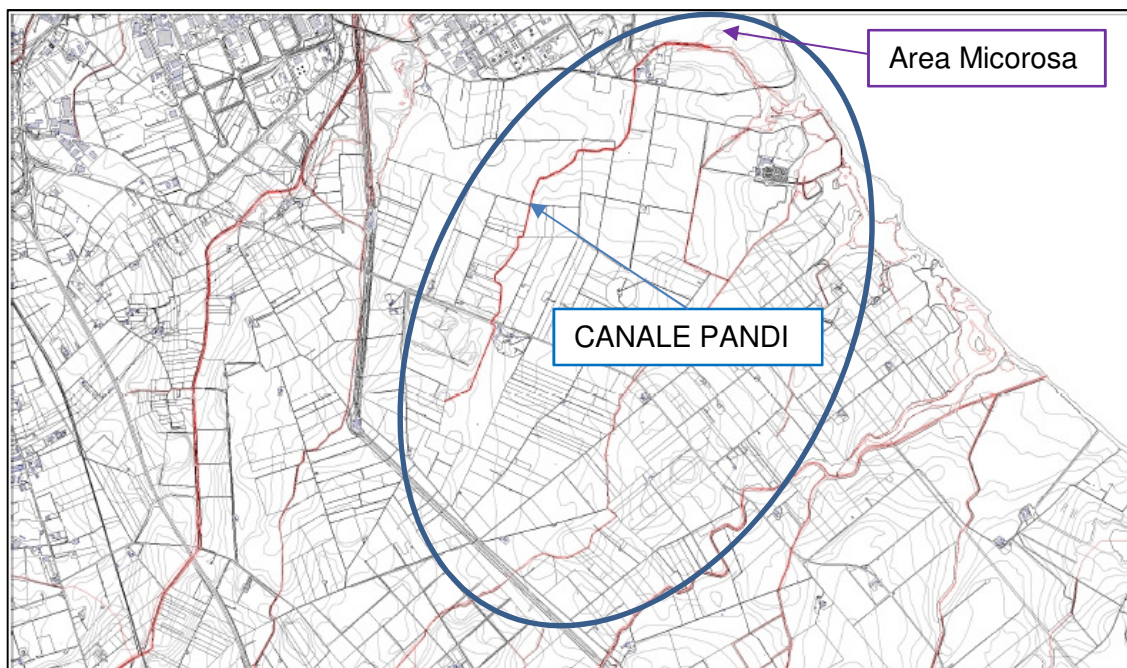


Figura 3.2.1 – Corografia (Carta Tecnica del comune di Brindisi).

3.3. CALCOLO DELLE PORTATE

Le portate di piena sono state calcolate considerando diversi tempi di ritorno ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni) e tra queste è stata individuata quella relativa al tempo di ritorno 100 anni quale portata di progetto della sezione del nuovo tratto di canale.

Il calcolo della portata massima in corrispondenza delle sezioni di chiusura è stato eseguito mediante la formula Razionale definita attraverso la semplice relazione:

$$Q_{\max}(t, T) = \frac{C \times i_r(t, T) \times S}{3.6} \quad (3.1)$$

in cui:

- C è un coefficiente che tiene conto delle perdite idrologiche e della capacità di laminazione del bacino. Nel caso in esame si è considerata nulla la capacità di laminazione del bacino e il coefficiente C corrisponde al coefficiente d'afflusso;
- ir è l'intensità di pioggia ragguagliata funzione del tempo di ritorno (T) e della durata critica della precipitazione (t) (in mm/ora). La durata critica è assunta uguale al tempo di corrivazione T_c (ore) del bacino;
- S è la superficie del bacino (in km^2).

La formula razionale assume la precipitazione uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo. Si fonda sull'uso delle curva di possibilità climatica della pioggia ragguagliata all'area e sulle tre seguenti assunzioni fondamentali:

- 1) la portata al colmo Q con assegnato tempo di ritorno T sia la maggiore tra le portate al colmo di tutti gli eventi di piena a intensità costante ricavati dalla curva di possibilità climatica con tempo di ritorno T ;
- 2) a parità di tempo di ritorno T , la portata al colmo maggiore sia prodotta dall'evento con durata uguale al tempo di corrivazione del bacino;
- 3) la portata al colmo Q dell'evento di piena causato da una precipitazione rappresentata da un ietogramma a intensità costante di durata T_c sia proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata ir e dell'area del bacino A , attraverso un coefficiente di proporzionalità C che comprende l'effetto delle perdite idrologiche.

La prima assunzione è comune ad altri metodi ed abbastanza aderente alla realtà. Le ultime due assunzioni si possono giustificare schematizzando opportunamente il fenomeno della trasformazione.

3.3.1. PLUVIOGRAFIA

L'intensità di pioggia i è ricavata dalla curva di possibilità climatica che rappresenta il legame tra l'altezza di precipitazione h (mm) e la durata t (h) della precipitazione stessa dato un certo tempo di ritorno T (anni).

$$h = a \times t^n \quad (3.2)$$

e

$$i = a \times t^{(n-1)} \quad (3.3)$$

Le curve di possibilità climatica di riferimento sono state desunte dalla "Relazione di Settore: Geologia e Idrogeologia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale" a cui si rimanda maggiori approfondimenti in merito alla metodologia di calcolo delle curve.

I valori dei parametri a ed n per i tempi di ritorno presi in considerazione sono i seguenti:

T	a	$n (t > 1h)$
5	42.5	0.198
10	51.6	0.198
20	61.3	0.198
50	75.2	0.198
100	86.6	0.198
500	113.9	0.198

Tabella 3.3.1 - Valori di a e n per i tempi di ritorno $T = 5, 10, 20, 50, 100$ anni e durata della precipitazione maggiore di 1 ora.

3.3.2. CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il calcolo delle portate massime è stato eseguito nella situazione di progetto considerando l'intero bacino idrografico (Tavola 01 allegata fuori testo) chiuso alla sezione di nuova immissione nelle aree umide presenti a est del canale.

Tutte le grandezze geo-morfologiche utili per la determinazione delle portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sono state desunte dalla Carta Tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

Di seguito si riportano le principali caratteristiche morfologiche e geometriche del bacino.

A (km ²)	L (km)	H_m (m s.l.m.)	H_0 (m s.l.m.)	i (m/m)	p (m/m)
2.15	3.14	8.5	1	0.0048	0.0067

Tabella 3.3.2 - Caratteristiche geometriche del bacino. (A = area del bacino, L =lunghezza dell'asta, H_m = altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura, H_0 = altezza alla sezione di chiusura), i = pendenza media del canale Pandi, p = pendenza media dei versanti.

Il bacino è caratterizzato dai seguenti parametri di forma:

- 1) rapporto di forma R_f (Horton, 1932) (Moisello, 1998) rapporto tra l'area del bacino e il quadrato della lunghezza dell'asta principale = 0.218;
- 2) rapporto di allungamento R_a (Schumm, 1956) (Moisello, 1998) rapporto tra il diametro di ugual area del bacino e la lunghezza dell'asta principale = 0.527.

Nella figura 3.3.1 è individuato il bacino idrografico del nuovo canale Pandi.

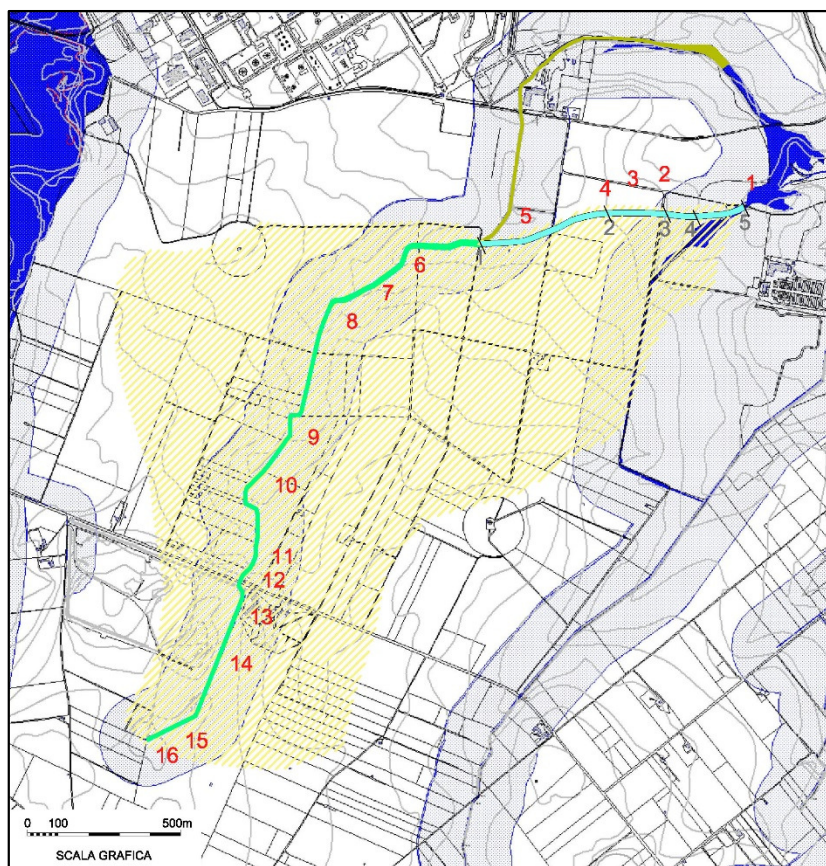


Figura 3.3.1 - Estratto della Tavola 01 – Carta del Bacino imbrifero del nuovo canale Pandi.

3.3.3. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Come visto precedentemente, la portata è funzione della precipitazione di durata critica che per ipotesi è posta uguale a tempo di corrivazione del bacino chiuso alla sezione di calcolo.

Tale parametro, è specifico di ogni bacino e rappresenta il tempo che la particella di acqua più lontana dalla sezione di chiusura del bacino impiega ad arrivare alla sezione di chiusura stessa.

Ovviamente, il tempo di corrivazione non può essere conosciuto con precisione, tuttavia esistono diversi metodi empirici per la sua determinazione. Si è scelto di adottare il metodo di Tournon, valido per piccoli bacini. La formula assume la forma:

$$T_c = 0.396 \frac{A^{0.72} \times r^{0.36}}{L^{0.44} \times i^{0.5}} \quad (3.4)$$

dove:

- T_c tempo di corrivazione (ore);
- A area del bacino (km^2);
- L lunghezza dell'asta principale (km);
- i pendenza della rete di drenaggio (m/m) (qui considerata come pendenza del canale Pandi);
- $r = i/p$ rapporto tra la pendenza della rete e la pendenza media dei versanti.

Il tempo di corrivazione del bacino in esame vale 5.30 h.

3.3.4. PERDITE IDROLOGICHE

Le perdite idrologiche sono rappresentate in misura globale attraverso il coefficiente d'afflusso φ . La sua determinazione è però molto delicata, in quanto dipende dalle caratteristiche del terreno di infiltrabilità, percolazione, ritenzione e variano anche in funzione dell'intensità di pioggia e della sua durata.

Un metodo per stimare il coefficiente φ è mediante il numero di curva. In tal caso:

$$\varphi = \frac{H_n}{H} \quad (3.5)$$

Si definisce, mediante apposite tabelle dell'USSCS il numero di curva CN, in funzione dell'uso del suolo, del tipo di drenaggio delle condizioni idrologiche e del tipo di terreno. Si ricava quindi la capacità di ricarica del terreno F_s , che rappresenta l'altezza di pioggia immagazzinabile nel terreno:

$$F_s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.6)$$

Il metodo del numero di curva ipotizza che il deflusso diretto abbia inizio solo dopo che si è verificata una perdita iniziale:

$$I_a = 0,2 \times F_s \quad (3.7)$$

$$H_n = \frac{H - F_s^2}{H + 0,8 F_s} \quad (3.8)$$

Ricavata l'altezza di pioggia netta, la si divide per quella ragguagliata e si ottiene il valore del coefficiente d'afflusso ϕ .

Poiché il bacino è di dimensioni contenute si è ritenuto di porre il coefficiente di ragguaglio all'area pari a 1.

Il Soil Conservation Service degli Stati Uniti (SCS) ha caratterizzato la permeabilità dei terreni con un numero, "Runoff Curve Number", compreso tra 0 e 100 ed ha indicato come questo vada variando, per un assegnato grado di umidità del terreno, in funzione del tipo di suolo, di uso del suolo, delle pratiche agricole ivi adottate e delle condizioni di drenaggio. Esso decresce all'aumentare della permeabilità del suolo, con valore 100, per un suolo completamente impermeabile, e con valore 0, per un suolo totalmente permeabile. Recentemente si è effettuato uno studio che ha permesso di riferire i valori di CN a colture più tipicamente italiane.

Si riportano di seguito le tabelle utilizzate per il calcolo del CN. Tali tabelle mettono in relazione le unità idrogeologiche della Regione Campania con quelli individuati del SCS, e le classi di copertura proposte dal SCS e l'uso del suolo dell'I.N.E.A.. Sono ivi riportate solo sette delle dieci classi di uso del suolo indicate dal SCS poiché solo per queste esiste la corrispondenza con la Carta dell'Utilizzazione Agricola del suolo dell'I.N.E.A..

Land use or cover (SCS, 1972) Uso del Suolo	Uso del Suolo (I.N.E.A.)
Row crops (Colture a solchi)	Colture temporanee associate a colture permanenti
	Frutteti e frutti minori non irrigui
	Frutteti e frutti minori irrigui
	Vigneti irrigui
	Vigneti non irrigui
Close-seeded legumes or rotation meadow (Legumi seminati folti o prati in rotazione)	Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo
	Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile
	Colture orticole a ciclo primaverile-estivo
Pasture or range (Pascoli)	Prati stabili non irrigui
	Prati stabili irrigui
Meadow (Prati permanenti)	Seminativi in aree non irrigue
	Sistemi culturali e particellari complessi
Woodlands (Boschi)	Zone boscate
	Aree agroforestali
	Oliveti irrigui
	Oliveti non irrigui
Farmsteads (Aziende agricole)	Aree agricole con presenza di spazi naturali
Roads, hard-surface (Strade pavimentate e aree praticamente impermeabili)	Aree urbane
	Bacini di acqua
	Colture in serra e sotto plastica
	Risaie
	Zone umide

Tabella 3.3.3 – Corrispondenza tra classi di copertura SCS e l'uso del suolo I.N.E.A.

In base alle tabelle 3.3.3 e 3.3.4 i suoli vengono classificati dal punto di vista della possibilità di infiltrazione in quattro gruppi:

- A: suoli con elevato tasso d'infiltrazione
- B: suoli con un moderato tasso d'infiltrazione
- C: suoli con un basso tasso d'infiltrazione
- D: suoli con un bassissimo tasso d'infiltrazione

Le caratteristiche di permeabilità della zona in esame sono da ritenere appartenenti al gruppo B – suoli con un moderato tasso d'infiltrazione.

Uso del Suolo	Drenaggio	Condizioni Idrologiche	Numero di Curva			
			Tipo di terreno A B C D			
RESIDENZIALE						
Zone urbane e	Area imp. 85%		89	92	94	95
Zone industriali	Area imp. 72%		81	88	91	93
Case a schiera	Area imp. 65%		77	85	90	92
Ville	Area imp. 25%		54	70	80	85
Parcheggi			98	98	98	98
Parchi	Cop. a verde 75 %		39	71	74	80
Strade pavimentate	Cunette e fognatura		98	98	98	98
Strade in macadam			76	85	89	91
Strade Sterrate			72	82	87	89
AGRICOLO						
Prato stabile			77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittochino	cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittochino	buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	buone	59	70	78	81
Pascolo		cattive	68	79	86	89
Pascolo		discrete	49	69	79	84
Pascolo		buone	39	71	64	80
Erbaio			30	58	71	78
Terreno Boschivo		cattive	45	66	77	83
Terreno Boschivo		discrete	36	60	73	79
Terreno Boschivo		buone	25	55	70	77

Tabella 3.3.4 – Valori del numero di curva (Runoff Curve Number) per la classe II di umidità iniziale

Nell'ipotesi che il suolo sia coltivato si è stabilito un valore del **CN uguale a 75**.

3.3.5. PORTATE DI PIENA

In funzione della precipitazione critica e delle perdite idrologiche (determinate attraverso il coefficiente ϕ) sono state calcolate le portate massime nella sezione di chiusura del bacino ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni), utilizzando la formula 3.1.

<i>T</i>	(anni)	5	10	20	50	100	500
φ	(--)	0.24	0.30	0.36	0.43	0.47	0.59
H	(mm)	59.1	71.8	85.3	104.6	120.5	158.5
<i>Q</i>	(m³/s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella 3.3.5 – Portate di piena riferite ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio.

- T tempo di ritorno,
- φ coefficiente d'afflusso calcolato in funzione di CN,
- H altezza di pioggia per la durata critica pari a 5.30 ore,
- Q portata massima.

La portata **Q_p** di dimensionamento idraulico delle sezioni del canale in progetto e quella caratterizzata dal tempo di ritorno **$T = 100$** anni ed è uguale a **$6.41 \text{ m}^3/\text{s}$** .

4. STUDIO IDRAULICO

4.1. PREMESSA

Nel presente capitolo della relazione si espongono la metodologia e i risultati del calcolo della sezione idraulica del nuovo tratto del canale Prandi compatibile con la portata di piena di progetto caratterizzata dal tempo di ritorno 100 anni.

Viste le caratteristiche considerevolmente omogenee del tracciato del canale in progetto, si è prevista un'unica tipologia di sezione e quindi il calcolo della capacità è stato eseguito per determinare in modo univoco le caratteristiche geometriche.

La portata di dimensionamento è stata calcolata attraverso un'analisi idrologica i cui risultati sono riportati nel capitolo precedente. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 4.1.1.

<i>T</i>	(anni)	5	10	20	50	100	500
<i>Q</i>	(m ³ /s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella. 4.1.1 – Portate di piena relative ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio idrologico.

4.2. IPOTESI DI TRACCIATO DEL CANALE

Nella figura 4.2.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 di progetto nella quale è identificato il percorso del nuovo canale Pandi nell'ipotesi progettuale proposta.

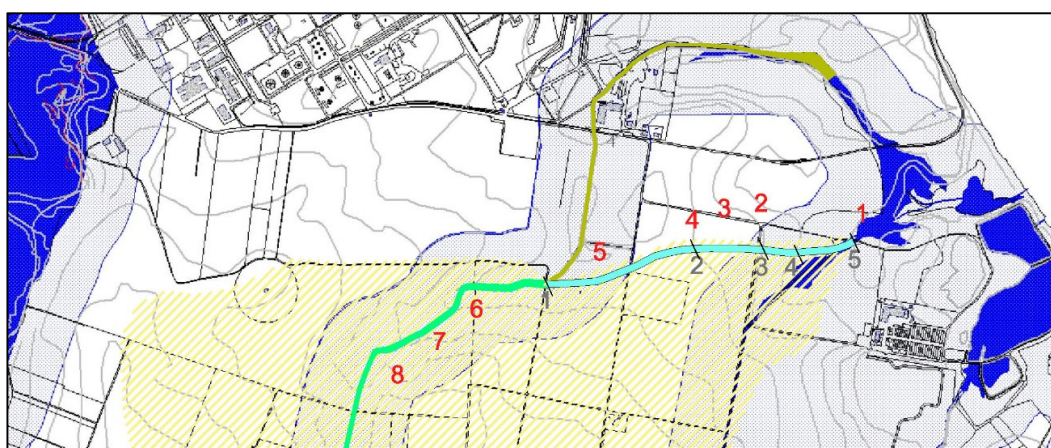


Figura 4.2.1 - Tracciato del canale in progetto (in colore ciano) (estratto della Tavola 1 allegata al progetto).

Il percorso è leggermente sinuoso per seguire nella misura migliore l'andamento altimetrico del terreno e affinché attraversi solamente i terreni di proprietà Syndial.

Lo sbocco del canale avviene in corrispondenza della zona umida esistente (in blu nella figura) che raccorda con l'Oasi protetta.

4.3. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

In questo paragrafo è riportato il dimensionamento idraulico della sezione della deviazione del canale Pandi.

La forma e la dimensione delle sezioni dei canali deve rispondere alle seguenti esigenze:

- consentire il trasferimento della portata lungo tutto il percorso rispettando il franco di sicurezza assegnato;
- essere stabile, cioè mantenere la sua forma e dimensione resistendo all'azione di trascinamento esercitata sul contorno dal passaggio della portata;
- rispettare le esigenze economiche di minimizzare il costo complessivo di costruzione e gestione.

Il dimensionamento è stato eseguito utilizzando la formula di Chezy, valida nell'ipotesi di moto uniforme (le variabili idrauliche sono costanti nel tempo e nello spazio):

$$Q = A \times \chi \times \sqrt{R \times i} \quad (4.1)$$

dove:

Q: portata di dimensionamento (m³/s);

A: area bagnata (m²);

χ : coefficiente dimensionale di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);

R: raggio idraulico (m) = al rapporto tra l'area bagnata e il contorno bagnato (A/C);

i: pendenza del fondo del canale (m/m).

Solitamente per esprimere χ si utilizzano formule di tipo monomio; le più usate sono quella di Gauckler-Strickler.

$$\chi = K \times R^{1/6} \quad (4.2a)$$

e quella di Manning, del tutto equivalente,

$$\chi = \frac{1}{n} \times R^{1/6} \quad (4.2b)$$

I valori di K (o di n) dipendono dalle caratteristiche del contorno.

Ottimizzare la forma della sezione, dal punto di vista dell'efficienza idraulica, significa trovare quella che, a parità di area, ha il minimo contorno bagnato, cioè il massimo raggio idraulico. Per sezioni aperte la forma è quella semicircolare, ma la difficoltà di realizzare in modo semplice questa forma e soprattutto di mantenerla nel tempo fa sì che essa, in pratica, non sia mai utilizzata.

La forma comunemente utilizzata è invece la trapezia (isoscele) definita mediante due parametri:

- la larghezza di cunetta (base minore) **b**, che costituisce il fondo;
- la pendenza delle sponde, individuata dalla tangente dell'angolo **θ** formato con l'orizzontale, o dalla scarpa **s = dx/dy = ctg(θ)**.

La scarpa delle sponde dipende dalle caratteristiche del terreno nel quale verrà scavato il canale, in pratica dal suo angolo di attrito interno ϕ che ne definisce la resistenza al taglio. Una pendenza della sponde a cui corrisponda un valore di θ superiore a ϕ comporta l'instabilità della sponda. L'angolo di attrito interno dipende dalla forma e dalla dimensione delle particelle (definita dalla granulometria), che definisce la loro interconnessione e l'attrito tra di esse, e dalla coesione. La resistenza al taglio dipende poi fortemente dall'umidità del terreno. Un esempio di valori massimi consigliati per la scarpa dei canali in terra è rappresentato in Tabella 4.3.1.

Natura del terreno	s = dx/dy
sabbioso- argilloso	3/1
medio impasto-limoso	2/1
medio impasto-argilloso	1.5/1
argilloso	1/1

Tabella 4.3.1 - Valore massimo consigliato dall'USBR per la scarpa s dei canali in terra di sezione trapezia (da Withers e Vipond).

4.3.1. DATI DI PROGETTO

Come visto in precedenza, la portata di progetto della sezione del canale è quella con tempo di ritorno 100 anni derivata dallo studio idrologico. La portata è uguale a $6.41 \text{ m}^3/\text{s}$.

La forma della sezione è stata scelta trapezia isoscele con base minore b pari a 3.0 m e scarpa s pari a 1/1.

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altra per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

Il valore della scarpa è maggiore rispetto a quello relativo ad un suolo di tipo sabbioso argilloso indicato nella tabella precedente; tuttavia per evitare larghezze superficiali eccessive e dovendo comunque prevedere un'impermeabilizzazione del contorno del canale con funzione anche di rinforzo si è scelto il valore di progetto indicato.

Il valore dell'indice di scabrezza n è stato assunto pari a $0.03 \text{ (m}^{1/2} \text{ s}^{-1})$ valido per canali in terra con un rivestimento che non impedisce la crescita della vegetazione (ad esempio geogriglie).

La pendenza i del fondo del canale è stata posta uguale a 0.0045 m/m che rappresenta il valore medio del tratto. Nella figura 4.3.1 si riporta il profilo longitudinale del terreno e del fondo del canale.

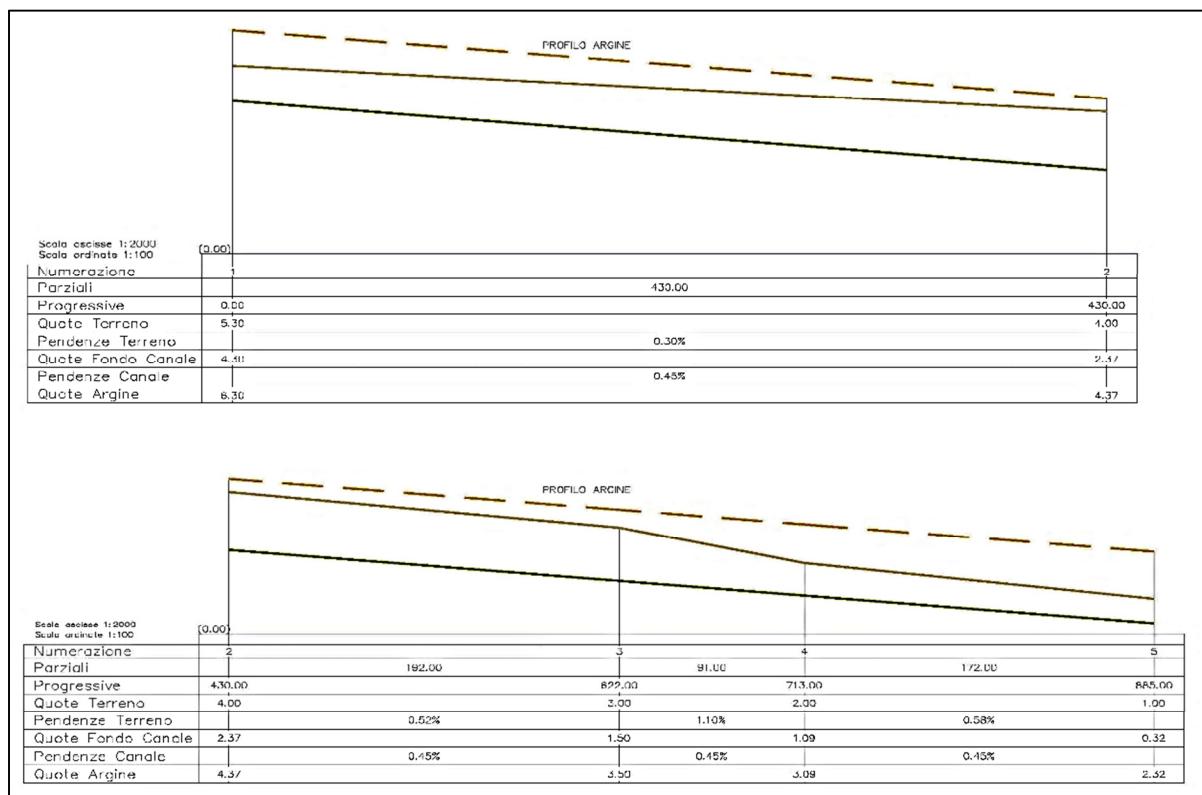


Fig. 4.3.1 – Profilo nell'ipotesi analizzata di pendenza del canale uguale alla pendenza media del terreno.

Nella tabella 4.3.2 seguente sono riassunti i dati di dimensionamento e verifica idraulica del canale.

Q	(m ³ /s)	6.41	portata
b	(m)	3.00	larghezza base minore
n	(m ^{-1/2} s ¹)	0.033	indice di scabrezza di Manning
i	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
p	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 4.3.2 – Dati di progetto del canale.

4.4. RISULTATI

I risultati del dimensionamento della deviazione del canale Pandi sono riassunti nella tabella 4.4.1 seguente:

Q	(m ³ /s)	5.99	portata
h	(m)	1.01	altezza d'acqua
A	(m ²)	4.04	area bagnata
C	(m)	5.85	contorno bagnato
R	(m)	0.69	raggio idraulico
L	(m)	5.01	larghezza superficiale
V	(m/s)	1.59	velocità media
Fr	(--)	0.56	numero di Froude
τ	(N/m ²)	30.46	sforzo tangenziale medio

Tabella 4.4.1 – Risultati del dimensionamento del canale per la portata con T = 100 anni.

Per la portata di progetto 6.41 m³/s si verifica un'altezza d'acqua h pari a 1.01 m e una velocità media V della corrente uguale a 1.59 m/s. La velocità è compatibile nel caso di impermeabilizzazione e di controllo dell'erosione del contorno della sezione.¹

Nelle seguenti figure 4.4.2a, 4.4.2b e 4.4.2c sono illustrate rispettivamente la scala delle portate del canale, la scala delle velocità e la scala degli sforzi tangenziali medi alla parete dovuti alla corrente considerata esclusivamente liquida e quindi priva di materiale solido.

Dalla figura 4.4.2a è possibile determinare l'altezza d'acqua per le portate calcolate per i diversi tempi di ritorno scelti. Per $T = 10$ anni la portata è uguale a 2.43 m³/s e l'altezza d'acqua corrispondente ricavata dal grafico di figura 4.4.2a è uguale a circa 0.60 m. Dalla figura 4.4.2b si ricava la velocità media della corrente uguale a circa 1.20 m/s.

¹ Come valori medi indicativi per V_{\max} si può assumere un limite superiore di $0.6 \div 0.8$ (ms⁻¹) per canali in terra e di $1.8 \div 2$ (ms⁻¹) per canali rivestiti

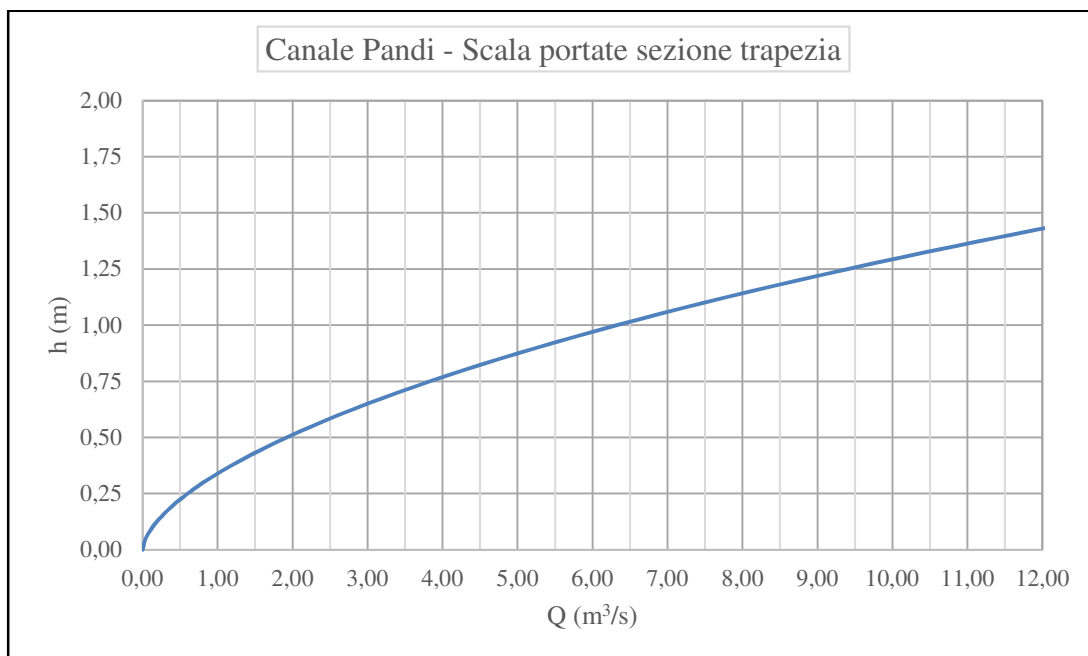


Figura 4.4.2 a – Scala delle portate di moto uniforme.

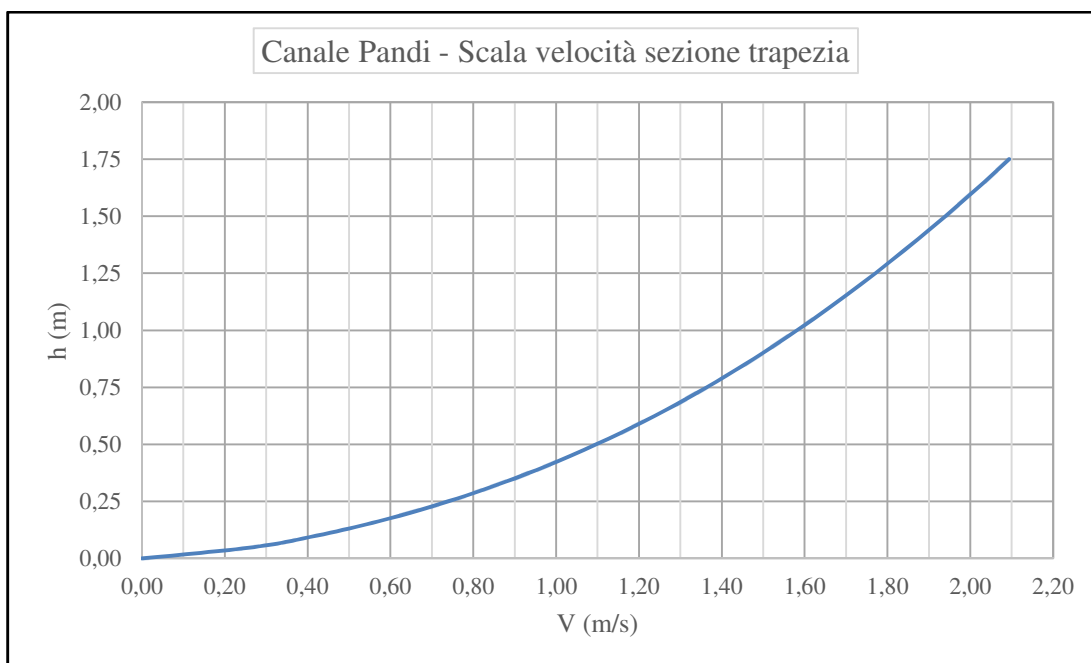


Figura 4.4.2 b – Scala delle velocità medie.

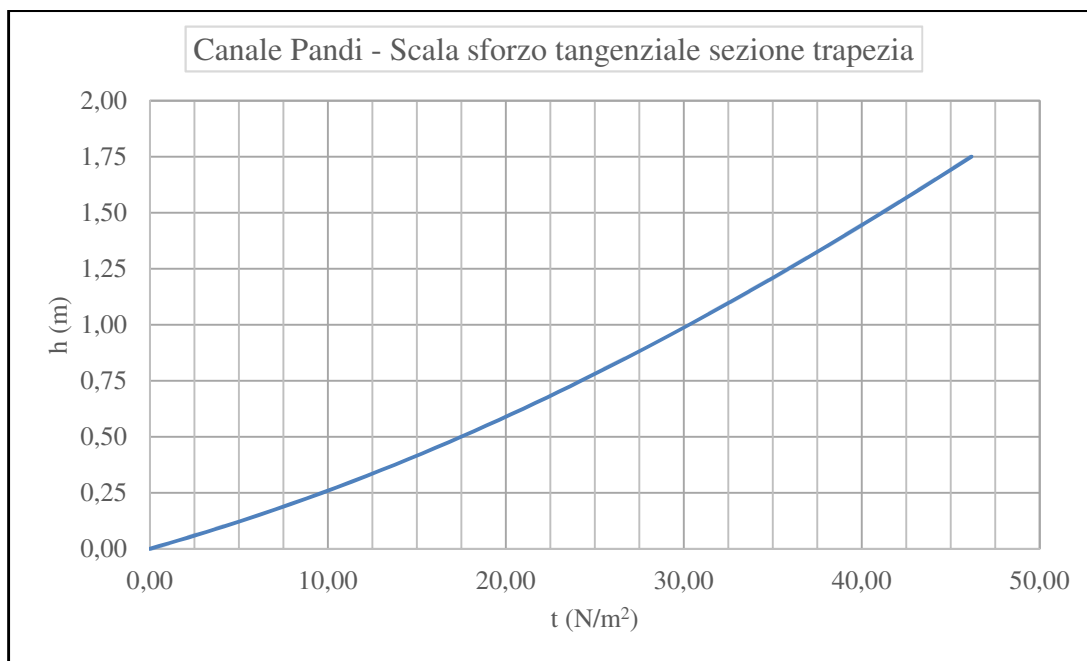


Figura 4.4.2 c – Scala degli sforzi tangenziali alla parete

5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1. RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DEL CANALE PANDI

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa

Le funzioni di tale opera di deviazione saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

Nel presente paragrafo sono illustrati i punti salienti della progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Le dimensioni del canale e delle opere connesse derivano dai risultati delle analisi idrologica e idraulica che sono illustrate nel dettaglio negli specifici capitoli della relazione specialistica idrologica-idraulica.

Gli interventi previsti nell'ambito della riqualificazione del canale Pandi sono i seguenti:

1. Realizzazione del nuovo alveo del canale Pandi:

- a. Scavo del canale in terra.
- b. Posa in opera del telo impermeabile bentonitico.
- c. Posa in opera della geogriglia antierosiva.
- d. Formazione degli argini in terra lungo entrambe le sponde per garantire il franco idraulico di 1 metro rispetto al livello della piena con tempo di ritorno 100 anni. Gli argini saranno formati utilizzando il materiale di scavo del canale.
- e. Realizzazione delle opere di protezione dello sbocco nella zona umida.
- f. Realizzazione di due manufatti di attraversamento delle strade esistenti: i ponti potranno essere realizzati mediante la posa in opera di strutture scatolari prefabbricate in c.a. oppure in lamiera zincata tipo "finsider".

2. Chiusura del tratto di valle del canale Pandi. La chiusura potrà essere effettuata mediante il tombamento con materiale terroso.

5.1.1. IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE

Nella figura 5.1.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 allegata fuori testo con l'identificazione dell'ipotesi di percorso del tratto del canale Pandi.

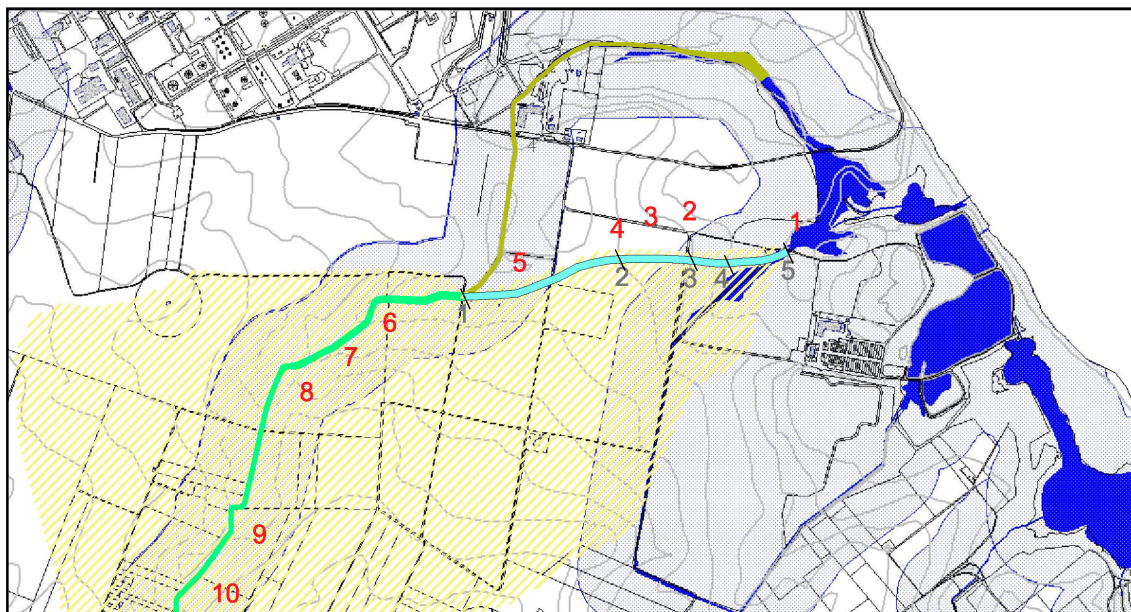


Figura 5.1.1- Estratto della Tavola 01 con il tracciato del canale in progetto (in colore ciano).

Il canale ha origine in corrispondenza della sezione (identificata con il numero 1) in cui l'attuale canale Pandi effettua una curva a circa 90° passando da una direzione ovest-est a una direzione sud-nord. Il nuovo alveo del canale avrà inizio immediatamente a valle dell'attuale attraversamento della strada esistente e sbocca nella zona umida esistente (indicata in blu nella figura e nella Tavola 01) dopo circa 900 metri.

Il tracciato previsto non interferisce con le opere progettate, come si vede nella figura 5.1.2, estratto della Tavola 02 di progetto.

Il nuovo canale in progetto attraversa nel suo percorso unicamente i terreni di proprietà Syndial escludendo quindi la necessità di un eventuale acquisizione di nuove aree.

Il canale attraversa due volte una strada della larghezza compresa tra 4 e 5 m. Si prevede, quindi, la posa in opera di due manufatti scatolari in c.a. prefabbricati e il ripristino successivo della sede stradale.

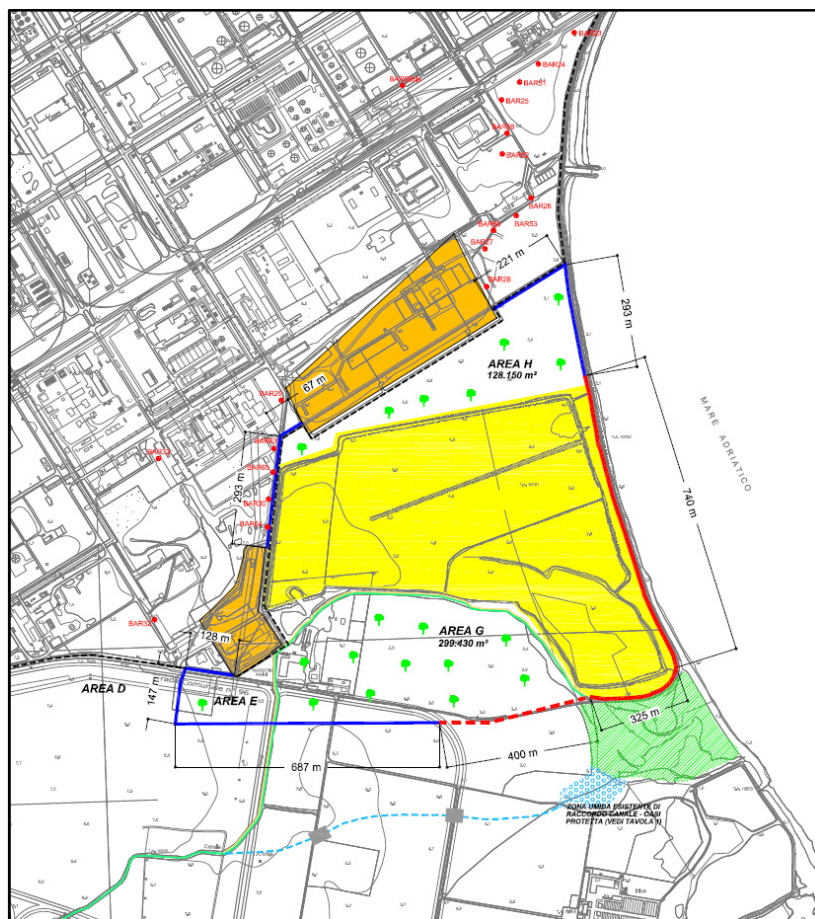


Figura 5.1.2- Percorso del canale in progetto (in colore ciano) inserito nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza permanente delle aree esterne.

5.1.2. DIMENSIONI DEL CANALE

La sezione del canale è stata progettata per che possa far defluire la portata di progetto con un franco idraulico di almeno 1 metro. La portata di dimensionamento del nuovo canale è stata calcolata attraverso l'analisi idrologica. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 5.1.1 seguente:

T (anni)	5	10	20	50	100	500
Q (m³/s)	1.56	2.39	3.38	4.93	6.29	10.22

Tabella 5.1.1 – Portate di piena per i diversi tempi di ritorno

Nella tabella 5.1.2 sono indicati le dimensioni del canale.

<i>Q</i>	(m ³ /s)	6.41	portata
<i>b</i>	(m)	3.00	larghezza base minore
<i>L</i>	(m)	885	lunghezza del canale
<i>i</i>	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
<i>p</i>	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 5.1.2 – Dati di progetto del canale

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altro per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire un il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

La profondità del canale è funzione della pendenza longitudinale (assunta pari alla pendenza media del terreno lungo il percorso stabilito) e dell'altimetria del terreno nel quale è prevista la sua realizzazione. Nella soluzione scelta di pendenza uniforme (0.0045 m/m), si determina una profondità massima di scavo di circa 1.6 m (nella sezione individuata con il numero 2); nel punto di sbocco nella zona umida (indicato con il numero 5) la profondità del canale è circa 0.70 metri. Le quote del fondo scavo sono compatibili con la quota della superficie della falda che nella zona è risultata piuttosto superficiale; tuttavia si ritiene comunque necessario prevedere la realizzazione dello scavo durante la stagione asciutta per evitare la presenza di acqua durante le lavorazioni e la posa di un telo impermeabile sul fondo e sulle sponde per evitare in fase di esercizio il potenziale drenaggio delle acque di falda da parte dell'alveo del canale.

In Tavola 03 allegata fuori testo è riportato il profilo longitudinale del canale in progetto.

Il volume di scavo del canale è stato stimato pari a circa 3970 m³.

Per garantire un franco idraulico non inferiore a 1 m, si prevede di realizzare un'arginatura in terra lungo entrambe le sponde del canale; l'altezza massima del rilevato arginale è uguale a circa di 1.3 m al di sopra del piano campagna. Gli argini saranno realizzati con il materiale derivante dallo scavo del canale stesso.

5.1.3. OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE

La falda si trova a poca distanza dal fondo del canale e, in determinate circostanze quali un periodo di maggiore piovosità, si potrebbe verificare l'innalzamento del suo livello freatico. Per evitare in queste evenienze che ci possa essere un contatto con le acque di falda e si possa verificare il drenaggio delle acque di falda si ritiene necessario impermeabilizzare il fondo e le sponde del canale mediante la posa in opera di un telo impermeabile bentonitico. Le caratteristiche del telo bentonitico possono essere le seguenti:

- GCL a base di bentonite sodica costituito da un sandwich di geotessili nontessuti in polipropilene; la bentonite contenuta nel geocomposito avrà un contenuto di umidità non superiore al 12% ed avrà le seguenti caratteristiche minime:
 - contenuto in montmorillonite non inferiore al 70%;
 - assorbimento d' acqua secondo ASTM E946 non inferiore al 700%;
 - rigonfiamento libero secondo ASTM D5890 non inferiore a 24 ml/2 gr;
 - perdita di fluido secondo ASTM D5891 non superiore a 18 ml.

I singoli strati del geocomposito saranno assemblati mediante un sistema continuo di agugliatura meccanica tale da garantire una resistenza allo spellamento (peeling) secondo ASTM D6496 non inferiore a 65 N ed il geocomposito, prodotto in qualità secondo le norme ISO 9001:2000, dovrà garantire le seguenti caratteristiche:

- Permeabilità secondo ASTM D5804 non superiore a 5×10^{-11} m/sec cui corrisponderà una perdita massima di fluido non superiore a 1×10^{-8} mc/mqxsec calcolata secondo le norme ASTM D5887.

La superficie complessiva del GCL è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

La pendenza delle sponde della sezione in terra risulta superiore a quella che è stabile per canali scavati nel materiale di caratteristiche analoghe. Ne deriva la necessità di utilizzare un sistema di stabilizzazione antierosiva delle sponde; si prevede, pertanto, la messa in opera di una geogriglia.

La rete sarà realizzata da un geocomposito adeguatamente fissato composto da una rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale e da una geostuoia tridimensionale polimerica compenetrata e rese solidali durante il processo di produzione. La geostuoia potrà avere massa areica minima di 750 g/mq e costituita da due strutture, realizzate in filamenti di polipropilene termosaldati tra loro nei punti di contatto e stabilizzati per resistere ai raggi UV, anch'esse termosaldate nei punti di contatto: quella superiore a maglia tridimensionale con un indice alveolare > 90%, quella inferiore a maglia piatta. La rete metallica a doppia torsione avrà una maglia esagonale tessuta con trafilato di ferro, conforme a quanto previsto dalle "Linee Guida" emesse dalla Presidenza del Consiglio Superiore LL.PP. il 12/05/06. Oltre a tale trattamento il filo sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico di colore grigio che dovrà avere uno spessore nominale non inferiore a 0,5 mm. Lo spessore del geocomposito è di 10 ÷ 12 mm.

La superficie della geogriglia è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

Tra il telo bentonitico e la geogriglia sarà riportato uno strato di terra dello spessore minimo di 10 cm.

Per il dettaglio si veda la Tavola 04 allegata fuori testo.

5.1.4. REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI

A lato del canale è prevista la formazione di argini in terra che garantiscano il franco idraulico rispetto al livello della piena di progetto con 100 anni di tempo di ritorno.

Gli argini saranno realizzati utilizzando il materiale di scavo del canale che risulta avere caratteristiche limoso-sabbiose, quindi idoneo alla realizzazione di rilevati arginali in terra.

L'argine avrà un'altezza massima di circa 1.30 m, in corrispondenza dello sbocco nell'area umida (in questa zona il canale diventa più superficiale) e un'altezza minima di circa 0.40 m (in corrispondenza del punto individuato con il numero 2 nella planimetria e nel profilo longitudinale).

La sommità arginale ha una larghezza di 1.0 m e le sponde hanno pendenza di 2:1 lato campagna e 1:1 lato canale.

Il volume complessivo di materiale per la formazione degli argini è stato stimato pari a circa 3150 m³.

Nella tabella 5.1.3 seguente sono riassunti i dati di progetto degli argini.

b	(m)	1.00	larghezza minima in sommità
H	(m)	Variabile max 1.32 m; min 0.37 m	altezza arginale
p_{LA}	(m/m)	1:1	pendenza paramento lato canale (H:V)
p_{LC}	(m/m)	2:1	pendenza paramento lato campagna (H:V)

Tabella 5.1.3 – Dati di progetto degli argini.

5.1.5. ATTRAVERSAMENTI STRADALI

Stante che il tracciato del nuovo canale attraversa in due punti una strada esistente, ne consegue la necessità di realizzare due manufatti di attraversamento.

La strada ha una larghezza variabile compresa tra 4 e 5 metri (la misura è stata fatta utilizzando le immagini da satellite).

Si ritiene più semplice la posa in opera di strutture prefabbricate in c.a. per carichi stradali di prima categoria costituite con elementi scatolari prefabbricati in calcestruzzo di cemento ad alta resistenza ai solfati, turbovibrocompressi a sezione rettangolare interna, con armatura idonea e sistema di giunzione con incastro a bicchiere.

Si dovrà prevedere anche la formazione di un'idonea soletta armata di sottofondo realizzata in calcestruzzo (R_{ck} minimo ≥ 250) e armatura idonea realizzata doppia rete elettrosaldata Feb 44k di 15x15 diametro minimo 8 mm. La soletta dovrà risultare perfettamente piana per consentire la corretta posa in opera dei manufatti e dovrà avere uno spessore minimo da verificare in sede di calcolo statico, anche in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di posa.

Si dovrà, nella fase successiva della progettazione, predisporre la verifica statica ai sensi delle normative vigenti dei manufatti disponibili in commercio, comprendente la caratterizzazione geotecnica dei terreni per il calcolo delle fondazioni e la verifica statica dei manufatti nelle condizioni di posa e di carico previste.

Le dimensioni minime dell'attraversamento sono:

- LARGHEZZA INTERNA = 3 m: corrispondente alla larghezza alla base del canale in terra;
- ALTEZZA INTERNA = 2 m: corrispondente all'altezza complessiva del canale misurata dal fondo alla sommità arginale.

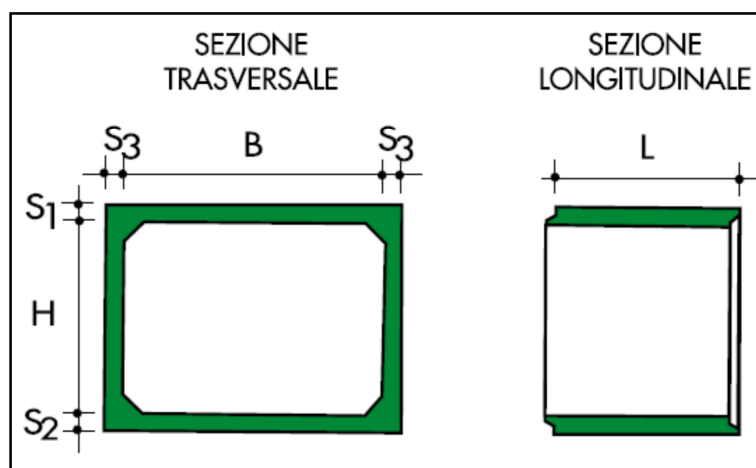


Figura 5.1.3a – Sezione tipo dello scatolare in c.a.






TIPO DI SCATOLARE	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE CHIUSA						PESO ELEMENTO kg
	B cm	H cm	S ₁ cm	S ₂ cm	S ₃ cm	L cm	
120x100 	120	100	13	13	13	200	3500
160x100 	160	100	14	14	14	200	4000
200x150 	200	150	18	14	14	200	5700
220x170 	220	170	14	14	14	150	4200
300x200 	300	200	20	18	18	150	7200

Figura 5.1.3 b – Dimensioni tipo dello scatolare in c.a.

Gli scatolari in c.a. delle dimensioni necessarie sono solitamente di **lunghezza non superiore a 2 metri**. Pertanto occorre affiancare più manufatti per raggiungere la lunghezza pari alla dimensione della strada (nell'esempio delle figure in cui la lunghezza è pari a 1.5 m, occorrono quindi tre manufatti per la strada stimata 4 metri di larghezza e quattro manufatti per la strada stimata 5 metri di larghezza). Le strutture prefabbricate sono realizzate in modo tale che possono essere giuntate e garantire le resistenze necessarie. Nella figura 5.1.3a si riporta un esempio di scatolare in c.a.. Nella figura seguente è riportato un esempio di ricostruzione di un ponte danneggiato con scatolari prefabbricati.



Figura 5.1.3 c – Esempio di realizzazione di un attraversamento stradale con scatolari in c.a..

All'imbocco e allo sbocco di ciascun manufatto di attraversamento si devono realizzare due muri d'ala di raccordo tra il canale in terra di forma trapezia e lo scatolare in c.a. (di forma rettangolare); i muri d'ala saranno realizzati in c.a. in opera.

Al termine delle lavorazioni si dovrà ripristinare la sede stradale con la formazione del pacchetto che in linea di massima potrà essere costituito da:

1. uno strato di bitumatura di ancoraggio;
2. uno strato base costituito da una miscela di pietrisco e bitume;
3. uno strato di collegamento (binder) costituito da miscela di pietrischetto, graniglia e sabbia;
4. un eventuale strato di usura (tappetino) ottenuto con pietrischetto e graniglie.

5.1.6. PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA

Lo sbocco del nuovo canale avviene nella zona umida che precede la vera e propria Oasi protetta. E' utile proteggere lo sbocco realizzando una struttura resistente con massi di dimensioni adeguate posti lungo il contorno del tratto terminale del canale (almeno 10 metri) e lungo il tratto iniziale della zona di allargamento (sempre circa una decina di metri). La struttura sarà formata da massi intasati con scaglie di materiale lapideo di piccole dimensioni e rinverdito mediante la semina di vegetazione autoctona.

Vista la velocità media della corrente e i conseguenti sforzi di taglio lungo il contorno della sezione, in prima approssimazione i massi dovranno avere diametro medio non inferiore a 0.6 metri; in fase di progettazione esecutiva dovranno essere verificate le caratteristiche della scogliera e la dimensione minima dei massi che la compongono.

5.1.7. DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI

Come scritto in premessa occorre realizzare, oltre alla deviazione del canale Pandi che immetta le proprie acque nella parte sud dell'oasi protetta, anche la tombatura della porzione di monte che attraversa l'area di discarica.

L'obiettivo può essere raggiunto mediante il riempimento dell'intero canale con materiale terroso in minima parte derivante dallo scavo del nuovo alveo del canale e per la maggior parte dovrà provenire da altre parti.

Il volume stimato per il completo tombamento del canale è di circa 6200 m³.

TAVOLE

URS

**Progetto Operativo di
Messa in Sicurezza
Permanente di parte
delle aree esterne
Syndial - Allegato 3**

Stabilimento di Brindisi

Settembre 2013

Progetto 46318615

Preparato per: Syndial S.p.A.

ITALY



TABLE OF CONTENTS

1.	PREMESSA E SOMMARIO	1
2.	INQUADRAMENTO GENERALE	2
2.1.	Localizzazione dell'area	2
3.	STUDIO IDROLOGICO	3
3.1.	Premessa	3
3.2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3.3.	CALCOLO DELLE PORTATE.....	4
3.3.1.	Pluviografia	5
3.3.2.	Caratteristiche del bacino idrografico.....	6
3.3.3.	Stima del tempo di corrivazione	8
3.3.4.	Perdite idrologiche	8
3.3.5.	Portate di piena.....	11
4.	STUDIO IDRAULICO	13
4.1.	Premessa.....	13
4.2.	Ipotesi di tracciato del canale	13
4.3.	Dimensionamento idraulico.....	14
4.3.1.	Dati di progetto	16
4.4.	Risultati.....	18
5.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	21
5.1.	Riqualficazione ambientale del Canale Pandi.....	21
5.1.1.	IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE.....	22
5.1.2.	DIMENSIONI DEL CANALE	23
5.1.3.	OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE	24
5.1.4.	REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI	26
5.1.5.	ATTRAVERSAMENTI STRADALI.....	26
5.1.6.	PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA. 30	
5.1.7.	DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI.....	30

Tavole

Tavola 01 - Planimetria e bacino imbrifero del canale Pandi;

Tavola 02 - Planimetria canale Pandi su tavola interventi;

Tavola 03 - Profilo longitudinale del canale in progetto;

Tavola 04 - Sezioni tipo del canale in progetto.

1. PREMESSA E SOMMARIO

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa.

Le funzioni di tale opera saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

La presente relazione illustra le attività di analisi idrologica e idraulica e di progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Saranno esposte le metodologie di calcolo, i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare le portate massime per vari tempi di ritorno e i risultati del dimensionamento idraulico del nuovo canale previsto.

Le due fasi di studio sono, quindi, propedeutiche alla progettazione del nuovo canale.

La presente relazione è formata da tre parti: nella prima si affronta il tema dell'analisi idrologica finalizzata al calcolo della portata di progetto; nella seconda parte si illustrano le metodologie e i risultati del calcolo idraulico per il dimensionamento del canale; infine, nella terza parte, si descrivono le opere previste nel progetto.

La relazione è accompagnata da 4 tavole progettuali che consentono una migliore comprensione del complesso delle opere previste.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

Il progetto è localizzato in un'area prevalentemente agricola a sud dello stabilimento di Brindisi.

In particolare il canale Pandi ha un percorso sud-nord e sfocia attualmente nell'Oasi protetta litoranea alla costa.

La morfologia dell'area è caratterizzata da una variazione altimetrica di pochi metri: il bacino imbrifero del canale Pandi ha una differenza di quota di circa 16 metri per uno sviluppo di oltre 4 km.

Nella figura 2.1.1 è riportato l'inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

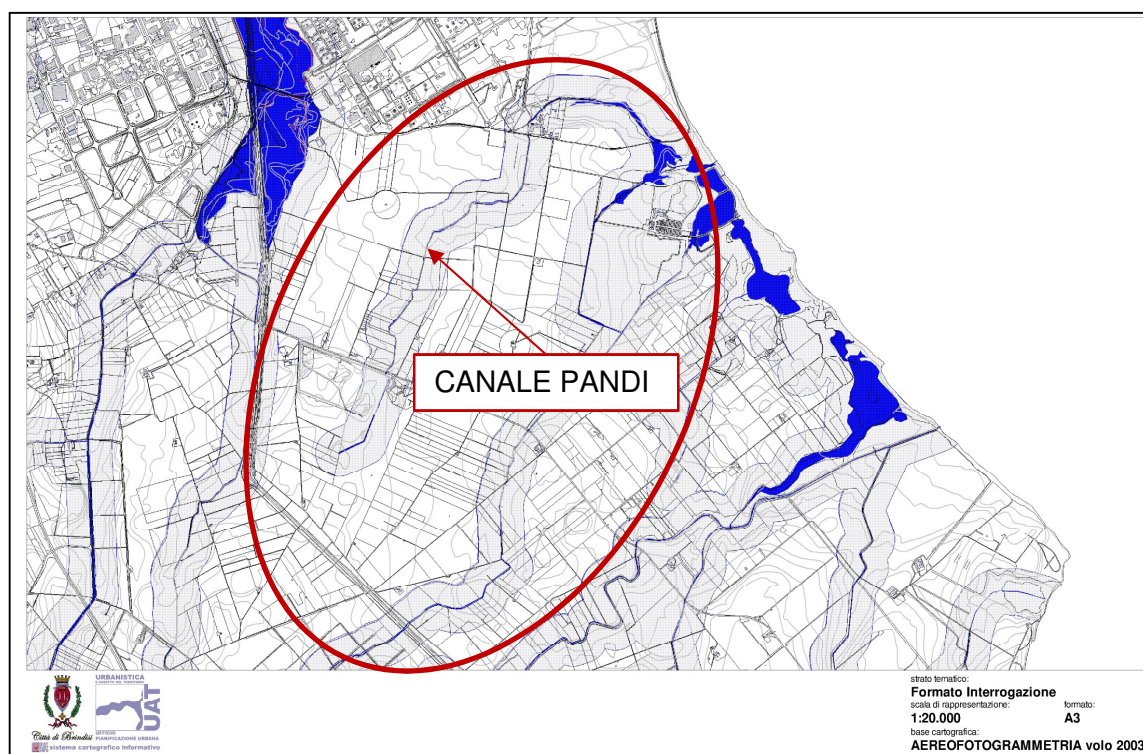


Figura 2.1.1 - Inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi.

3. STUDIO IDROLOGICO

3.1. PREMESSA

Il presente studio idrologico è finalizzato alla valutazione delle portate massime per assegnati tempi di ritorno **T** del bacino del canale Pandi in funzione della prevista realizzazione di una deviazione di un tratto del canale funzionale al miglioramento ambientale dell'area. In particolare la portata caratterizzata dal tempo di ritorno **T** di 100 anni sarà adottata quale portata di progetto per il dimensionamento della sezione del tratto in variante del canale Pandi.

Fissata la portata di piena di progetto (nel caso specifico definita per $T = 100$ anni) è, quindi, possibile implementare il modello di calcolo per dimensionare le sezioni trasversali del nuovo tratto del canale Pandi e le opere idrauliche diffuse (es. protezione delle sponde) e puntuali (es. protezione sbocchi e imbocchi) eventualmente necessarie.

Le portate di piena sono state calcolate relative ai tempi di ritorno **T** pari a 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anni.

Non avendo a disposizione misure dirette di portata, il calcolo dei valori di piena è stato effettuato per mezzo del Metodo Razionale che consente di determinare la portata conoscendo la pioggia che l'ha generata, oltre ai parametri geomorfologici del bacino in esame.

La pioggia è definita attraverso la curva di possibilità pluviometrica (o climatica) che rappresenta il legame tra la durata e l'altezza della precipitazione.

Nota la curva di possibilità pluviometrica, si devono valutare:

- l'altezza di pioggia critica (definita come l'altezza di pioggia per la quale si ha, per un dato bacino imbrifero, il massimo della portata nell'ipotesi che questa abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata);
- le perdite idrologiche che, nei bacini naturali e nel caso di modelli di piena, sono dovute essenzialmente ai fenomeni di infiltrazione. Le perdite sono state definite per mezzo del coefficiente d'afflusso ϕ funzione delle caratteristiche del suolo (la sua permeabilità).

3.2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio studiato si trova in comune di Brindisi ed è situato sud dello Stabilimento di Brindisi.

Il canale Pandi segue una direzione sud-nord e attraversa per il tratto di monte un'area di terreni agricoli per poi entrare lambire il margine sud dell'area Micorosa e sboccare nell'oasi protetta da

nord. La lunghezza complessiva è di oltre 3 km e la sezione è naturale in terra ad eccezione dei brevi tratti di attraversamento della viabilità.

Si riporta di seguito uno stralcio della corografia su Carta Tecnica del Comune (SIT Comune di Brindisi) con indicazione dell'area oggetto dell'intervento.

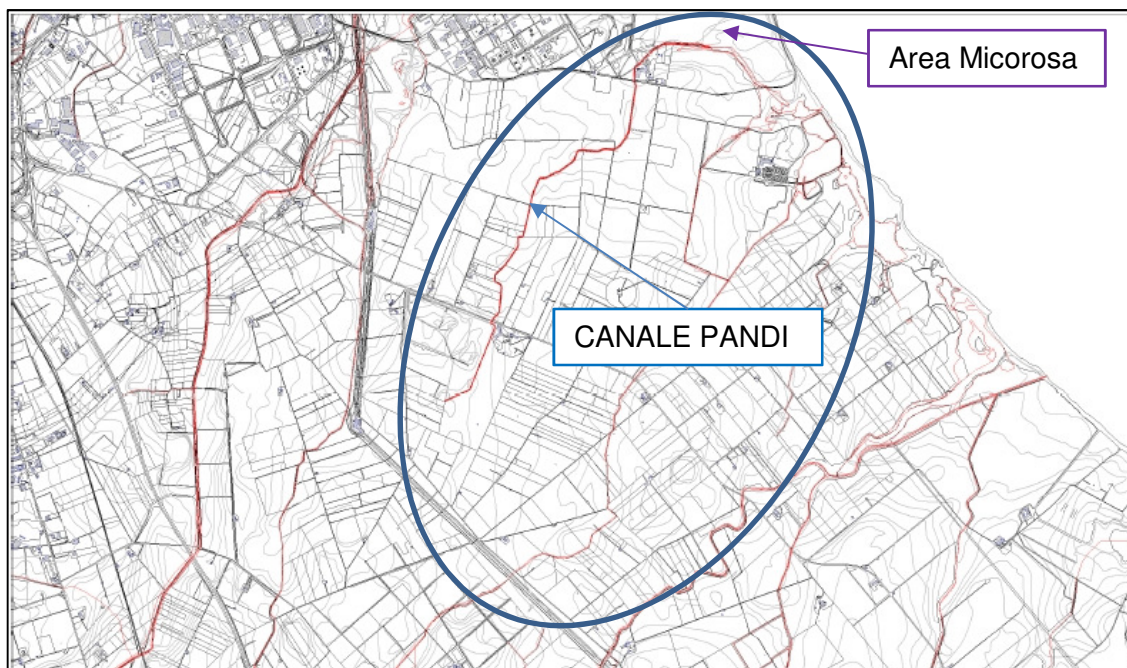


Figura 3.2.1 – Corografia (Carta Tecnica del comune di Brindisi).

3.3. CALCOLO DELLE PORTATE

Le portate di piena sono state calcolate considerando diversi tempi di ritorno ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni) e tra queste è stata individuata quella relativa al tempo di ritorno 100 anni quale portata di progetto della sezione del nuovo tratto di canale.

Il calcolo della portata massima in corrispondenza delle sezioni di chiusura è stato eseguito mediante la formula Razionale definita attraverso la semplice relazione:

$$Q_{\max}(t, T) = \frac{C \times i_r(t, T) \times S}{3.6} \quad (3.1)$$

in cui:

- C è un coefficiente che tiene conto delle perdite idrologiche e della capacità di laminazione del bacino. Nel caso in esame si è considerata nulla la capacità di laminazione del bacino e il coefficiente C corrisponde al coefficiente d'afflusso;
- i_r è l'intensità di pioggia ragguagliata funzione del tempo di ritorno (T) e della durata critica della precipitazione (t) (in mm/ora). La durata critica è assunta uguale al tempo di corrivazione T_c (ore) del bacino;
- S è la superficie del bacino (in km^2).

La formula razionale assume la precipitazione uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo. Si fonda sull'uso delle curva di possibilità climatica della pioggia ragguagliata all'area e sulle tre seguenti assunzioni fondamentali:

- 1) la portata al colmo Q con assegnato tempo di ritorno T sia la maggiore tra le portate al colmo di tutti gli eventi di piena a intensità costante ricavati dalla curva di possibilità climatica con tempo di ritorno T ;
- 2) a parità di tempo di ritorno T , la portata al colmo maggiore sia prodotta dall'evento con durata uguale al tempo di corrivazione del bacino;
- 3) la portata al colmo Q dell'evento di piena causato da una precipitazione rappresentata da un ietogramma a intensità costante di durata T_c sia proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata i_r e dell'area del bacino A , attraverso un coefficiente di proporzionalità C che comprende l'effetto delle perdite idrologiche.

La prima assunzione è comune ad altri metodi ed abbastanza aderente alla realtà. Le ultime due assunzioni si possono giustificare schematizzando opportunamente il fenomeno della trasformazione.

3.3.1. PLUVIOGRAFIA

L'intensità di pioggia i è ricavata dalla curva di possibilità climatica che rappresenta il legame tra l'altezza di precipitazione h (mm) e la durata t (h) della precipitazione stessa dato un certo tempo di ritorno T (anni).

$$h = a \times t^n \quad (3.2)$$

e

$$i = a \times t^{(n-1)} \quad (3.3)$$

Le curve di possibilità climatica di riferimento sono state desunte dalla "Relazione di Settore: Geologia e Idrogeologia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale" a cui si rimanda maggiori approfondimenti in merito alla metodologia di calcolo delle curve.

I valori dei parametri a ed n per i tempi di ritorno presi in considerazione sono i seguenti:

T	a	$n (t > 1h)$
5	42.5	0.198
10	51.6	0.198
20	61.3	0.198
50	75.2	0.198
100	86.6	0.198
500	113.9	0.198

Tabella 3.3.1 - Valori di a e n per i tempi di ritorno $T = 5, 10, 20, 50, 100$ anni e durata della precipitazione maggiore di 1 ora.

3.3.2. CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il calcolo delle portate massime è stato eseguito nella situazione di progetto considerando l'intero bacino idrografico (Tavola 01 allegata fuori testo) chiuso alla sezione di nuova immissione nelle aree umide presenti a est del canale.

Tutte le grandezze geo-morfologiche utili per la determinazione delle portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sono state desunte dalla Carta Tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

Di seguito si riportano le principali caratteristiche morfologiche e geometriche del bacino.

A (km ²)	L (km)	H_m (m s.l.m.)	H_0 (m s.l.m.)	i (m/m)	p (m/m)
2.15	3.14	8.5	1	0.0048	0.0067

Tabella 3.3.2 - Caratteristiche geometriche del bacino. (A = area del bacino, L =lunghezza dell'asta, H_m = altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura, H_0 = altezza alla sezione di chiusura), i = pendenza media del canale Pandi, p = pendenza media dei versanti.

Il bacino è caratterizzato dai seguenti parametri di forma:

- 1) rapporto di forma R_f (Horton, 1932) (Moisello, 1998) rapporto tra l'area del bacino e il quadrato della lunghezza dell'asta principale = 0.218;
- 2) rapporto di allungamento R_a (Schumm, 1956) (Moisello, 1998) rapporto tra il diametro di ugual area del bacino e la lunghezza dell'asta principale = 0.527.

Nella figura 3.3.1 è individuato il bacino idrografico del nuovo canale Pandi.

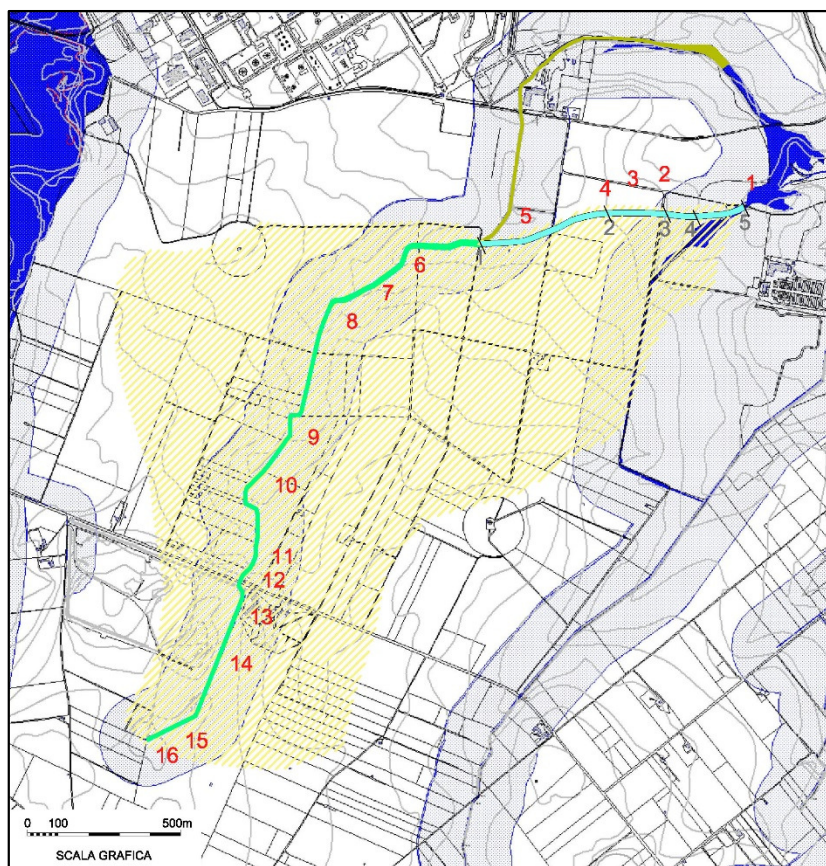


Figura 3.3.1 - Estratto della Tavola 01 – Carta del Bacino imbrifero del nuovo canale Pandi.

3.3.3. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Come visto precedentemente, la portata è funzione della precipitazione di durata critica che per ipotesi è posta uguale a tempo di corrivazione del bacino chiuso alla sezione di calcolo.

Tale parametro, è specifico di ogni bacino e rappresenta il tempo che la particella di acqua più lontana dalla sezione di chiusura del bacino impiega ad arrivare alla sezione di chiusura stessa.

Ovviamente, il tempo di corrivazione non può essere conosciuto con precisione, tuttavia esistono diversi metodi empirici per la sua determinazione. Si è scelto di adottare il metodo di Tournon, valido per piccoli bacini. La formula assume la forma:

$$T_c = 0.396 \frac{A^{0.72} \times r^{0.36}}{L^{0.44} \times i^{0.5}} \quad (3.4)$$

dove:

- T_c tempo di corrivazione (ore);
- A area del bacino (km^2);
- L lunghezza dell'asta principale (km);
- i pendenza della rete di drenaggio (m/m) (qui considerata come pendenza del canale Pandi);
- $r = i/p$ rapporto tra la pendenza della rete e la pendenza media dei versanti.

Il tempo di corrivazione del bacino in esame vale 5.30 h.

3.3.4. PERDITE IDROLOGICHE

Le perdite idrologiche sono rappresentate in misura globale attraverso il coefficiente d'afflusso φ . La sua determinazione è però molto delicata, in quanto dipende dalle caratteristiche del terreno di infiltrabilità, percolazione, ritenzione e variano anche in funzione dell'intensità di pioggia e della sua durata.

Un metodo per stimare il coefficiente φ è mediante il numero di curva. In tal caso:

$$\varphi = \frac{H_n}{H} \quad (3.5)$$

Si definisce, mediante apposite tabelle dell'USSCS il numero di curva CN, in funzione dell'uso del suolo, del tipo di drenaggio delle condizioni idrologiche e del tipo di terreno. Si ricava quindi la capacità di ricarica del terreno F_s , che rappresenta l'altezza di pioggia immagazzinabile nel terreno:

$$F_s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.6)$$

Il metodo del numero di curva ipotizza che il deflusso diretto abbia inizio solo dopo che si è verificata una perdita iniziale:

$$I_a = 0,2 \times F_s \quad (3.7)$$

$$H_n = \frac{H - F_s^2}{H + 0,8 F_s} \quad (3.8)$$

Ricavata l'altezza di pioggia netta, la si divide per quella ragguagliata e si ottiene il valore del coefficiente d'afflusso ϕ .

Poiché il bacino è di dimensioni contenute si è ritenuto di porre il coefficiente di ragguaglio all'area pari a 1.

Il Soil Conservation Service degli Stati Uniti (SCS) ha caratterizzato la permeabilità dei terreni con un numero, "Runoff Curve Number", compreso tra 0 e 100 ed ha indicato come questo vada variando, per un assegnato grado di umidità del terreno, in funzione del tipo di suolo, di uso del suolo, delle pratiche agricole ivi adottate e delle condizioni di drenaggio. Esso decresce all'aumentare della permeabilità del suolo, con valore 100, per un suolo completamente impermeabile, e con valore 0, per un suolo totalmente permeabile. Recentemente si è effettuato uno studio che ha permesso di riferire i valori di CN a colture più tipicamente italiane.

Si riportano di seguito le tabelle utilizzate per il calcolo del CN. Tali tabelle mettono in relazione le unità idrogeologiche della Regione Campania con quelli individuati del SCS, e le classi di copertura proposte dal SCS e l'uso del suolo dell'I.N.E.A.. Sono ivi riportate solo sette delle dieci classi di uso del suolo indicate dal SCS poiché solo per queste esiste la corrispondenza con la Carta dell'Utilizzazione Agricola del suolo dell'I.N.E.A..

Land use or cover (SCS, 1972) Uso del Suolo	Uso del Suolo (I.N.E.A.)
Row crops (Colture a solchi)	Colture temporanee associate a colture permanenti
	Frutteti e frutti minori non irrigui
	Frutteti e frutti minori irrigui
	Vigneti irrigui
	Vigneti non irrigui
Close-seeded legumes or rotation meadow (Legumi seminati folti o prati in rotazione)	Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo
	Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile
	Colture orticole a ciclo primaverile-estivo
Pasture or range (Pascoli)	Prati stabili non irrigui
	Prati stabili irrigui
Meadow (Prati permanenti)	Seminativi in aree non irrigue
	Sistemi culturali e particellari complessi
Woodlands (Boschi)	Zone boscate
	Aree agroforestali
	Oliveti irrigui
	Oliveti non irrigui
Farmsteads (Aziende agricole)	Aree agricole con presenza di spazi naturali
Roads, hard-surface (Strade pavimentate e aree praticamente impermeabili)	Aree urbane
	Bacini di acqua
	Colture in serra e sotto plastica
	Risaie
	Zone umide

Tabella 3.3.3 – Corrispondenza tra classi di copertura SCS e l'uso del suolo I.N.E.A.

In base alle tabelle 3.3.3 e 3.3.4 i suoli vengono classificati dal punto di vista della possibilità di infiltrazione in quattro gruppi:

- A: suoli con elevato tasso d'infiltrazione
- B: suoli con un moderato tasso d'infiltrazione
- C: suoli con un basso tasso d'infiltrazione
- D: suoli con un bassissimo tasso d'infiltrazione

Le caratteristiche di permeabilità della zona in esame sono da ritenere appartenenti al gruppo B – suoli con un moderato tasso d'infiltrazione.

Uso del Suolo	Drenaggio	Condizioni Idrologiche	Numero di Curva			
			Tipo di terreno A B C D			
RESIDENZIALE						
Zone urbane e	Area imp. 85%		89	92	94	95
Zone industriali	Area imp. 72%		81	88	91	93
Case a schiera	Area imp. 65%		77	85	90	92
Ville	Area imp. 25%		54	70	80	85
Parcheggi			98	98	98	98
Parchi	Cop. a verde 75 %		39	71	74	80
Strade pavimentate	Cunette e fognatura		98	98	98	98
Strade in macadam			76	85	89	91
Strade Sterrate			72	82	87	89
AGRICOLA						
Prato stabile			77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittochino	cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittochino	buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	buone	59	70	78	81
Pascolo		cattive	68	79	86	89
Pascolo		discrete	49	69	79	84
Pascolo		buone	39	71	64	80
Erbaio			30	58	71	78
Terreno Boschivo		cattive	45	66	77	83
Terreno Boschivo		discrete	36	60	73	79
Terreno Boschivo		buone	25	55	70	77

Tabella 3.3.4 – Valori del numero di curva (Runoff Curve Number) per la classe II di umidità iniziale

Nell'ipotesi che il suolo sia coltivato si è stabilito un valore del **CN uguale a 75**.

3.3.5. PORTATE DI PIENA

In funzione della precipitazione critica e delle perdite idrologiche (determinate attraverso il coefficiente ϕ) sono state calcolate le portate massime nella sezione di chiusura del bacino ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni), utilizzando la formula 3.1.

<i>T</i>	(anni)	5	10	20	50	100	500
φ	(--)	0.24	0.30	0.36	0.43	0.47	0.59
H	(mm)	59.1	71.8	85.3	104.6	120.5	158.5
<i>Q</i>	(m³/s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella 3.3.5 – Portate di piena riferite ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio.

- T tempo di ritorno,
- φ coefficiente d'afflusso calcolato in funzione di CN,
- H altezza di pioggia per la durata critica pari a 5.30 ore,
- Q portata massima.

La portata **Q_p** di dimensionamento idraulico delle sezioni del canale in progetto e quella caratterizzata dal tempo di ritorno **$T = 100$** anni ed è uguale a **$6.41 \text{ m}^3/\text{s}$** .

4. STUDIO IDRAULICO

4.1. PREMESSA

Nel presente capitolo della relazione si espongono la metodologia e i risultati del calcolo della sezione idraulica del nuovo tratto del canale Prandi compatibile con la portata di piena di progetto caratterizzata dal tempo di ritorno 100 anni.

Viste le caratteristiche considerevolmente omogenee del tracciato del canale in progetto, si è prevista un'unica tipologia di sezione e quindi il calcolo della capacità è stato eseguito per determinare in modo univoco le caratteristiche geometriche.

La portata di dimensionamento è stata calcolata attraverso un'analisi idrologica i cui risultati sono riportati nel capitolo precedente. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 4.1.1.

T	(anni)	5	10	20	50	100	500
Q	(m ³ /s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella. 4.1.1 – Portate di piena relative ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio idrologico.

4.2. IPOTESI DI TRACCIATO DEL CANALE

Nella figura 4.2.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 di progetto nella quale è identificato il percorso del nuovo canale Pandi nell'ipotesi progettuale proposta.

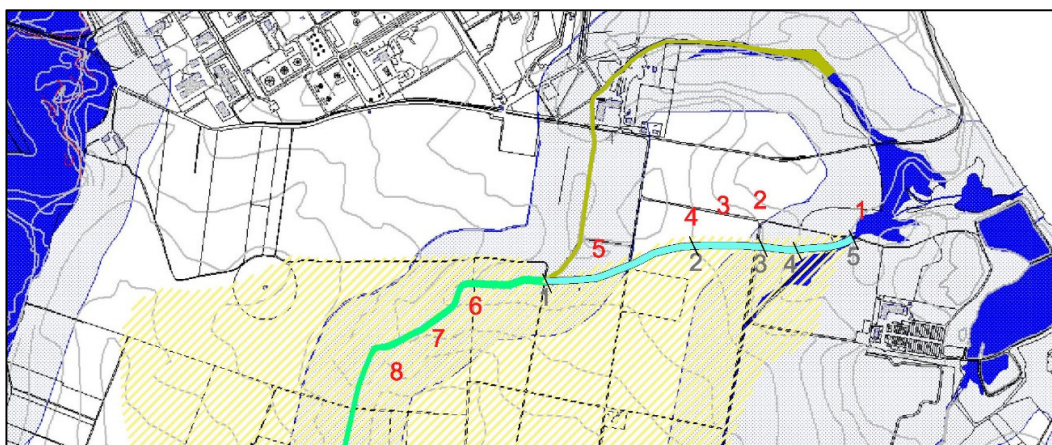


Figura 4.2.1 - Tracciato del canale in progetto (in colore ciano) (estratto della Tavola 1 allegata al progetto).

Il percorso è leggermente sinuoso per seguire nella misura migliore l'andamento altimetrico del terreno e affinché attraversi solamente i terreni di proprietà Syndial.

Lo sbocco del canale avviene in corrispondenza della zona umida esistente (in blu nella figura) che raccorda con l'Oasi protetta.

4.3. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

In questo paragrafo è riportato il dimensionamento idraulico della sezione della deviazione del canale Pandi.

La forma e la dimensione delle sezioni dei canali deve rispondere alle seguenti esigenze:

- consentire il trasferimento della portata lungo tutto il percorso rispettando il franco di sicurezza assegnato;
- essere stabile, cioè mantenere la sua forma e dimensione resistendo all'azione di trascinamento esercitata sul contorno dal passaggio della portata;
- rispettare le esigenze economiche di minimizzare il costo complessivo di costruzione e gestione.

Il dimensionamento è stato eseguito utilizzando la formula di Chezy, valida nell'ipotesi di moto uniforme (le variabili idrauliche sono costanti nel tempo e nello spazio):

$$Q = A \times \chi \times \sqrt{R \times i} \quad (4.1)$$

dove:

Q: portata di dimensionamento (m³/s);

A: area bagnata (m²);

χ : coefficiente dimensionale di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);

R: raggio idraulico (m) = al rapporto tra l'area bagnata e il contorno bagnato (A/C);

i: pendenza del fondo del canale (m/m).

Solitamente per esprimere χ si utilizzano formule di tipo monomio; le più usate sono quella di Gauckler-Strickler.

$$\chi = K \times R^{1/6} \quad (4.2a)$$

e quella di Manning, del tutto equivalente,

$$\chi = \frac{1}{n} \times R^{1/6} \quad (4.2b)$$

I valori di K (o di n) dipendono dalle caratteristiche del contorno.

Ottimizzare la forma della sezione, dal punto di vista dell'efficienza idraulica, significa trovare quella che, a parità di area, ha il minimo contorno bagnato, cioè il massimo raggio idraulico. Per sezioni aperte la forma è quella semicircolare, ma la difficoltà di realizzare in modo semplice questa forma e soprattutto di mantenerla nel tempo fa sì che essa, in pratica, non sia mai utilizzata.

La forma comunemente utilizzata è invece la trapezia (isoscele) definita mediante due parametri:

- la larghezza di cunetta (base minore) **b**, che costituisce il fondo;
- la pendenza delle sponde, individuata dalla tangente dell'angolo **θ** formato con l'orizzontale, o dalla scarpa **s = dx/dy = ctg(θ)**.

La scarpa delle sponde dipende dalle caratteristiche del terreno nel quale verrà scavato il canale, in pratica dal suo angolo di attrito interno ϕ che ne definisce la resistenza al taglio. Una pendenza della sponde a cui corrisponda un valore di θ superiore a ϕ comporta l'instabilità della sponda. L'angolo di attrito interno dipende dalla forma e dalla dimensione delle particelle (definita dalla granulometria), che definisce la loro interconnessione e l'attrito tra di esse, e dalla coesione. La resistenza al taglio dipende poi fortemente dall'umidità del terreno. Un esempio di valori massimi consigliati per la scarpa dei canali in terra è rappresentato in Tabella 4.3.1.

Natura del terreno	s = dx/dy
sabbioso- argilloso	3/1
medio impasto-limoso	2/1
medio impasto-argilloso	1.5/1
argilloso	1/1

Tabella 4.3.1 - Valore massimo consigliato dall'USBR per la scarpa s dei canali in terra di sezione trapezia (da Withers e Vipond).

4.3.1. DATI DI PROGETTO

Come visto in precedenza, la portata di progetto della sezione del canale è quella con tempo di ritorno 100 anni derivata dallo studio idrologico. La portata è uguale a $6.41 \text{ m}^3/\text{s}$.

La forma della sezione è stata scelta trapezia isoscele con base minore b pari a 3.0 m e scarpa s pari a 1/1.

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altra per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

Il valore della scarpa è maggiore rispetto a quello relativo ad un suolo di tipo sabbioso argilloso indicato nella tabella precedente; tuttavia per evitare larghezze superficiali eccessive e dovendo comunque prevedere un'impermeabilizzazione del contorno del canale con funzione anche di rinforzo si è scelto il valore di progetto indicato.

Il valore dell'indice di scabrezza n è stato assunto pari a $0.03 \text{ (m}^{1/2} \text{ s}^{-1})$ valido per canali in terra con un rivestimento che non impedisce la crescita della vegetazione (ad esempio geogriglie).

La pendenza i del fondo del canale è stata posta uguale a 0.0045 m/m che rappresenta il valore medio del tratto. Nella figura 4.3.1 si riporta il profilo longitudinale del terreno e del fondo del canale.

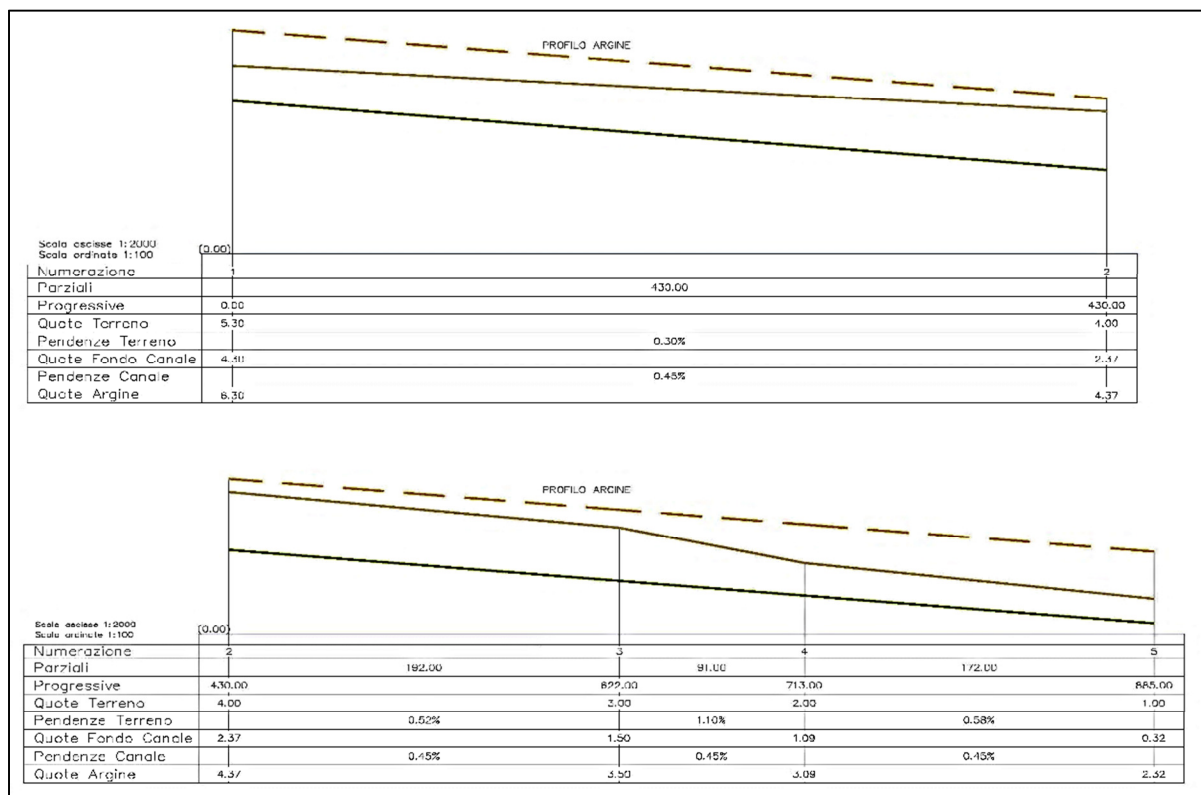


Fig. 4.3.1 – Profilo nell'ipotesi analizzata di pendenza del canale uguale alla pendenza media del terreno.

Nella tabella 4.3.2 seguente sono riassunti i dati di dimensionamento e verifica idraulica del canale.

Q	(m ³ /s)	6.41	portata
b	(m)	3.00	larghezza base minore
n	(m ^{-1/2} s ¹)	0.033	indice di scabrezza di Manning
i	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
p	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 4.3.2 – Dati di progetto del canale.

4.4. RISULTATI

I risultati del dimensionamento della deviazione del canale Pandi sono riassunti nella tabella 4.4.1 seguente:

Q	(m ³ /s)	5.99	portata
h	(m)	1.01	altezza d'acqua
A	(m ²)	4.04	area bagnata
C	(m)	5.85	contorno bagnato
R	(m)	0.69	raggio idraulico
L	(m)	5.01	larghezza superficiale
V	(m/s)	1.59	velocità media
Fr	(--)	0.56	numero di Froude
τ	(N/m ²)	30.46	sforzo tangenziale medio

Tabella 4.4.1 – Risultati del dimensionamento del canale per la portata con T = 100 anni.

Per la portata di progetto 6.41 m³/s si verifica un'altezza d'acqua h pari a 1.01 m e una velocità media V della corrente uguale a 1.59 m/s. La velocità è compatibile nel caso di impermeabilizzazione e di controllo dell'erosione del contorno della sezione.¹

Nelle seguenti figure 4.4.2a, 4.4.2b e 4.4.2c sono illustrate rispettivamente la scala delle portate del canale, la scala delle velocità e la scala degli sforzi tangenziali medi alla parete dovuti alla corrente considerata esclusivamente liquida e quindi priva di materiale solido.

Dalla figura 4.4.2a è possibile determinare l'altezza d'acqua per le portate calcolate per i diversi tempi di ritorno scelti. Per $T = 10$ anni la portata è uguale a 2.43 m³/s e l'altezza d'acqua corrispondente ricavata dal grafico di figura 4.4.2a è uguale a circa 0.60 m. Dalla figura 4.4.2b si ricava la velocità media della corrente uguale a circa 1.20 m/s.

¹ Come valori medi indicativi per V_{max} si può assumere un limite superiore di $0.6 \div 0.8$ (ms⁻¹) per canali in terra e di $1.8 \div 2$ (ms⁻¹) per canali rivestiti

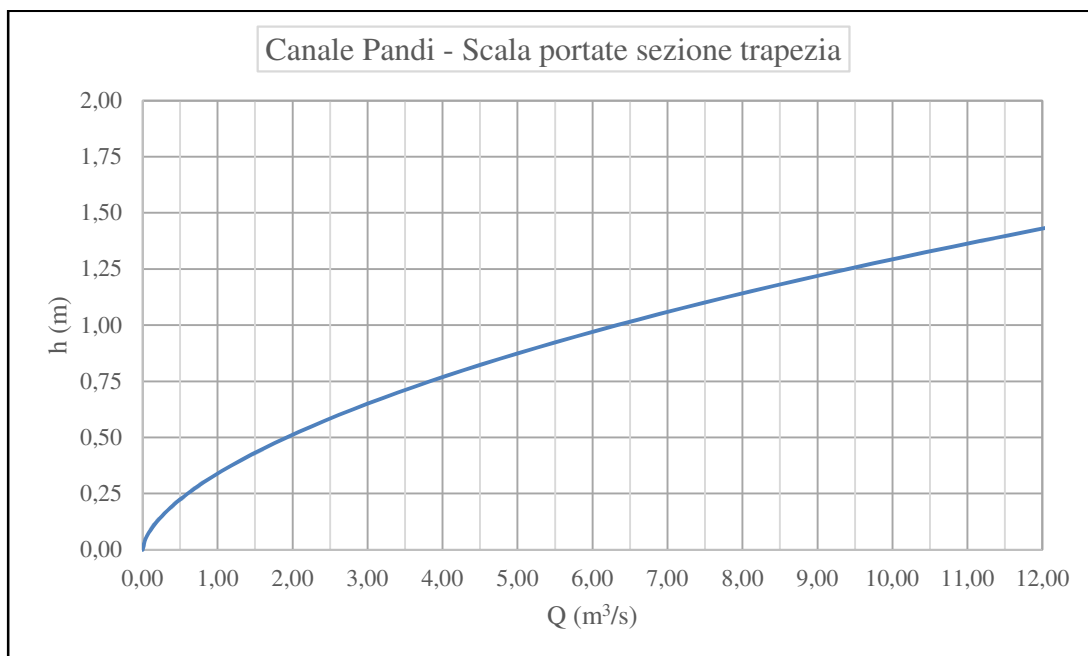


Figura 4.4.2 a – Scala delle portate di moto uniforme.

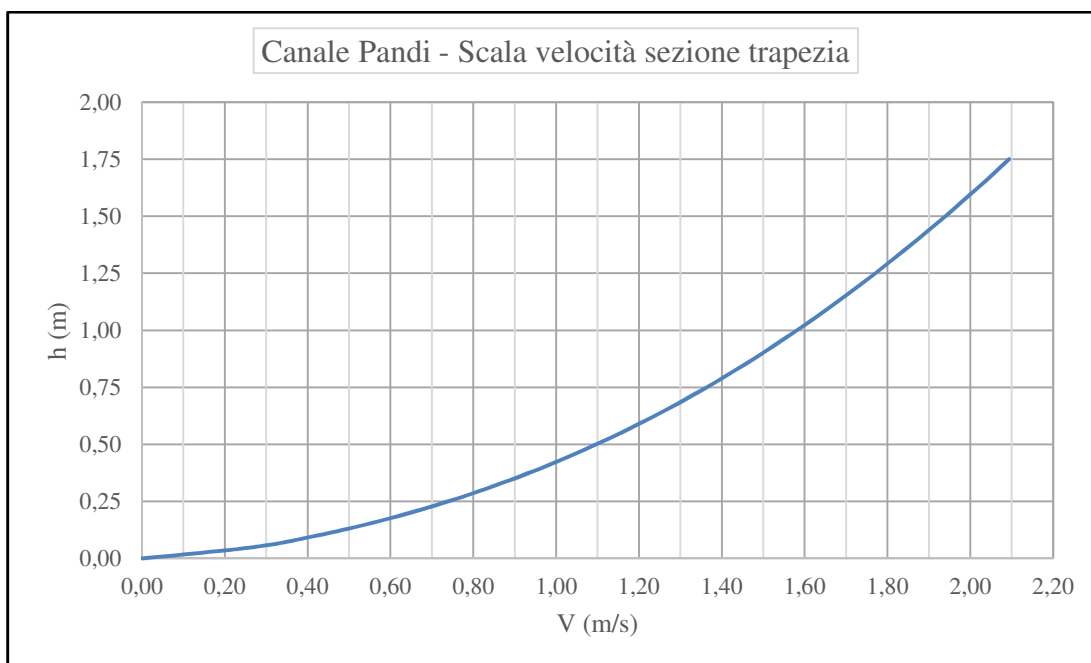


Figura 4.4.2 b – Scala delle velocità medie.

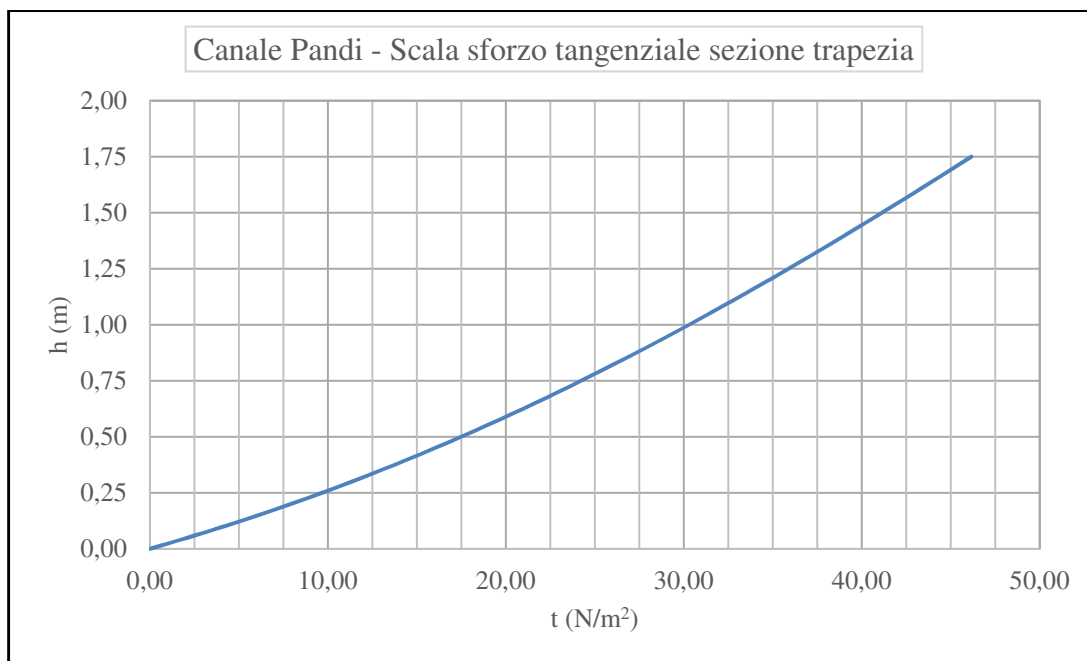


Figura 4.4.2 c – Scala degli sforzi tangenziali alla parete

5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1. RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DEL CANALE PANDI

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa

Le funzioni di tale opera di deviazione saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

Nel presente paragrafo sono illustrati i punti salienti della progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Le dimensioni del canale e delle opere connesse derivano dai risultati delle analisi idrologica e idraulica che sono illustrate nel dettaglio negli specifici capitoli della relazione specialistica idrologica-idraulica.

Gli interventi previsti nell'ambito della riqualificazione del canale Pandi sono i seguenti:

1. Realizzazione del nuovo alveo del canale Pandi:

- a. Scavo del canale in terra.
- b. Posa in opera del telo impermeabile bentonitico.
- c. Posa in opera della geogriglia antierosiva.
- d. Formazione degli argini in terra lungo entrambe le sponde per garantire il franco idraulico di 1 metro rispetto al livello della piena con tempo di ritorno 100 anni. Gli argini saranno formati utilizzando il materiale di scavo del canale.
- e. Realizzazione delle opere di protezione dello sbocco nella zona umida.
- f. Realizzazione di due manufatti di attraversamento delle strade esistenti: i ponti potranno essere realizzati mediante la posa in opera di strutture scatolari prefabbricate in c.a. oppure in lamiera zincata tipo "finsider".

2. Chiusura del tratto di valle del canale Pandi. La chiusura potrà essere effettuata mediante il tombamento con materiale terroso.

5.1.1. IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE

Nella figura 5.1.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 allegata fuori testo con l'identificazione dell'ipotesi di percorso del tratto del canale Pandi.

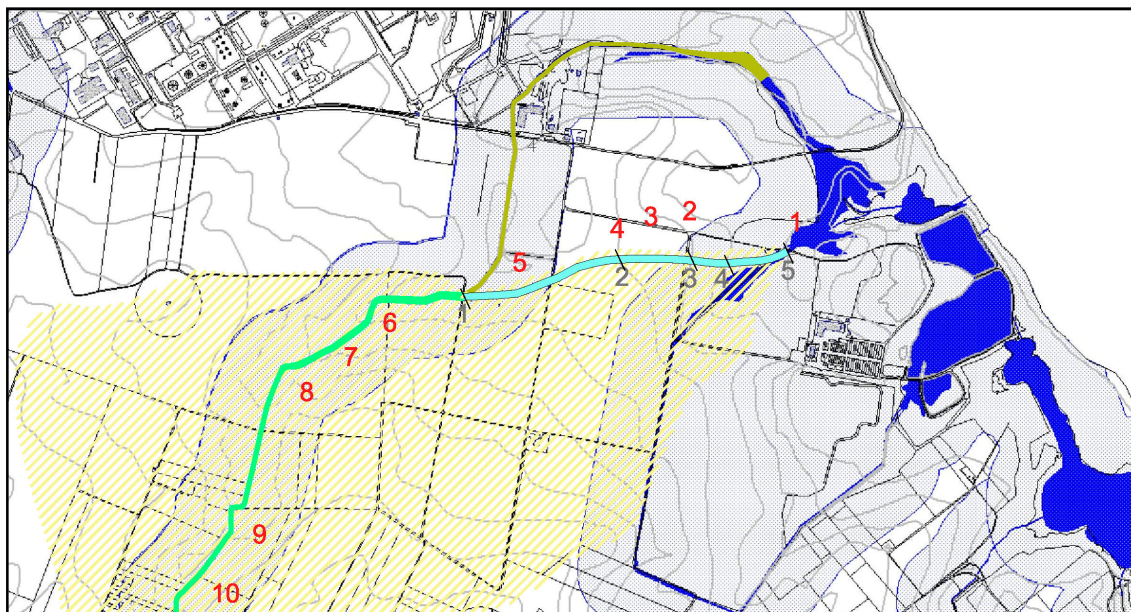


Figura 5.1.1- Estratto della Tavola 01 con il tracciato del canale in progetto (in colore ciano).

Il canale ha origine in corrispondenza della sezione (identificata con il numero 1) in cui l'attuale canale Pandi effettua una curva a circa 90° passando da una direzione ovest-est a una direzione sud-nord. Il nuovo alveo del canale avrà inizio immediatamente a valle dell'attuale attraversamento della strada esistente e sbocca nella zona umida esistente (indicata in blu nella figura e nella Tavola 01) dopo circa 900 metri.

Il tracciato previsto non interferisce con le opere progettate, come si vede nella figura 5.1.2, estratto della Tavola 02 di progetto.

Il nuovo canale in progetto attraversa nel suo percorso unicamente i terreni di proprietà Syndial escludendo quindi la necessità di un eventuale acquisizione di nuove aree.

Il canale attraversa due volte una strada della larghezza compresa tra 4 e 5 m. Si prevede, quindi, la posa in opera di due manufatti scatolari in c.a. prefabbricati e il ripristino successivo della sede stradale.

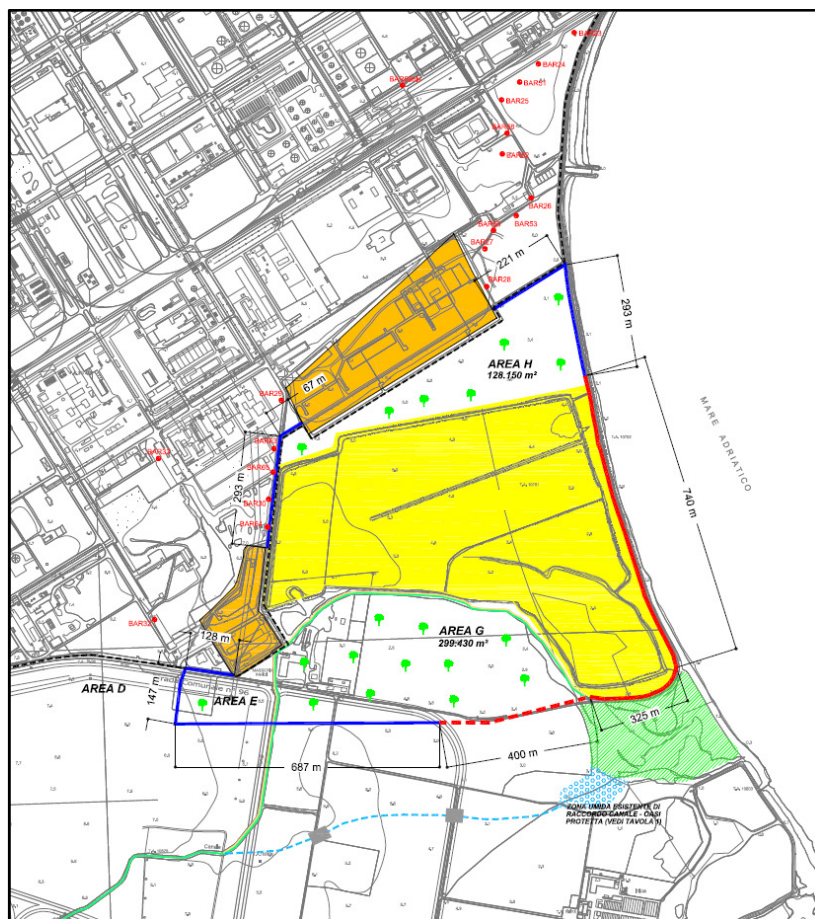


Figura 5.1.2- Percorso del canale in progetto (in colore ciano) inserito nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza permanente delle aree esterne.

5.1.2. DIMENSIONI DEL CANALE

La sezione del canale è stata progettata per che possa far defluire la portata di progetto con un franco idraulico di almeno 1 metro. La portata di dimensionamento del nuovo canale è stata calcolata attraverso l'analisi idrologica. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 5.1.1 seguente:

T (anni)	5	10	20	50	100	500
Q (m ³ /s)	1.56	2.39	3.38	4.93	6.29	10.22

Tabella 5.1.1 – Portate di piena per i diversi tempi di ritorno

Nella tabella 5.1.2 sono indicati le dimensioni del canale.

<i>Q</i>	(m ³ /s)	6.41	portata
<i>b</i>	(m)	3.00	larghezza base minore
<i>L</i>	(m)	885	lunghezza del canale
<i>i</i>	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
<i>p</i>	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 5.1.2 – Dati di progetto del canale

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altro per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire un il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

La profondità del canale è funzione della pendenza longitudinale (assunta pari alla pendenza media del terreno lungo il percorso stabilito) e dell'altimetria del terreno nel quale è prevista la sua realizzazione. Nella soluzione scelta di pendenza uniforme (0.0045 m/m), si determina una profondità massima di scavo di circa 1.6 m (nella sezione individuata con il numero 2); nel punto di sbocco nella zona umida (indicato con il numero 5) la profondità del canale è circa 0.70 metri. Le quote del fondo scavo sono compatibili con la quota della superficie della falda che nella zona è risultata piuttosto superficiale; tuttavia si ritiene comunque necessario prevedere la realizzazione dello scavo durante la stagione asciutta per evitare la presenza di acqua durante le lavorazioni e la posa di un telo impermeabile sul fondo e sulle sponde per evitare in fase di esercizio il potenziale drenaggio delle acque di falda da parte dell'alveo del canale.

In Tavola 03 allegata fuori testo è riportato il profilo longitudinale del canale in progetto.

Il volume di scavo del canale è stato stimato pari a circa 3970 m³.

Per garantire un franco idraulico non inferiore a 1 m, si prevede di realizzare un'arginatura in terra lungo entrambe le sponde del canale; l'altezza massima del rilevato arginale è uguale a circa di 1.3 m al di sopra del piano campagna. Gli argini saranno realizzati con il materiale derivante dallo scavo del canale stesso.

5.1.3. OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE

La falda si trova a poca distanza dal fondo del canale e, in determinate circostanze quali un periodo di maggiore piovosità, si potrebbe verificare l'innalzamento del suo livello freatico. Per evitare in queste evenienze che ci possa essere un contatto con le acque di falda e si possa verificare il drenaggio delle acque di falda si ritiene necessario impermeabilizzare il fondo e le sponde del canale mediante la posa in opera di un telo impermeabile bentonitico. Le caratteristiche del telo bentonitico possono essere le seguenti:

- GCL a base di bentonite sodica costituito da un sandwich di geotessili nontessuti in polipropilene; la bentonite contenuta nel geocomposito avrà un contenuto di umidità non superiore al 12% ed avrà le seguenti caratteristiche minime:
 - contenuto in montmorillonite non inferiore al 70%;
 - assorbimento d' acqua secondo ASTM E946 non inferiore al 700%;
 - rigonfiamento libero secondo ASTM D5890 non inferiore a 24 ml/2 gr;
 - perdita di fluido secondo ASTM D5891 non superiore a 18 ml.

I singoli strati del geocomposito saranno assemblati mediante un sistema continuo di agugliatura meccanica tale da garantire una resistenza allo spellamento (peeling) secondo ASTM D6496 non inferiore a 65 N ed il geocomposito, prodotto in qualità secondo le norme ISO 9001:2000, dovrà garantire le seguenti caratteristiche:

- Permeabilità secondo ASTM D5804 non superiore a 5×10^{-11} m/sec cui corrisponderà una perdita massima di fluido non superiore a 1×10^{-8} mc/mqxsec calcolata secondo le norme ASTM D5887.

La superficie complessiva del GCL è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

La pendenza delle sponde della sezione in terra risulta superiore a quella che è stabile per canali scavati nel materiale di caratteristiche analoghe. Ne deriva la necessità di utilizzare un sistema di stabilizzazione antierosiva delle sponde; si prevede, pertanto, la messa in opera di una geogriglia.

La rete sarà realizzata da un geocomposito adeguatamente fissato composto da una rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale e da una geostuoia tridimensionale polimerica compenetrata e rese solidali durante il processo di produzione. La geostuoia potrà avere massa areica minima di 750 g/mq e costituita da due strutture, realizzate in filamenti di polipropilene termosaldati tra loro nei punti di contatto e stabilizzati per resistere ai raggi UV, anch'esse termosaldate nei punti di contatto: quella superiore a maglia tridimensionale con un indice alveolare > 90%, quella inferiore a maglia piatta. La rete metallica a doppia torsione avrà una maglia esagonale tessuta con trafilato di ferro, conforme a quanto previsto dalle "Linee Guida" emesse dalla Presidenza del Consiglio Superiore LL.PP. il 12/05/06. Oltre a tale trattamento il filo sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico di colore grigio che dovrà avere uno spessore nominale non inferiore a 0,5 mm. Lo spessore del geocomposito è di 10 ÷ 12 mm.

La superficie della geogriglia è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

Tra il telo bentonitico e la geogriglia sarà riportato uno strato di terra dello spessore minimo di 10 cm.

Per il dettaglio si veda la Tavola 04 allegata fuori testo.

5.1.4. REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI

A lato del canale è prevista la formazione di argini in terra che garantiscano il franco idraulico rispetto al livello della piena di progetto con 100 anni di tempo di ritorno.

Gli argini saranno realizzati utilizzando il materiale di scavo del canale che risulta avere caratteristiche limoso-sabbiose, quindi idoneo alla realizzazione di rilevati arginali in terra.

L'argine avrà un'altezza massima di circa 1.30 m, in corrispondenza dello sbocco nell'area umida (in questa zona il canale diventa più superficiale) e un'altezza minima di circa 0.40 m (in corrispondenza del punto individuato con il numero 2 nella planimetria e nel profilo longitudinale).

La sommità arginale ha una larghezza di 1.0 m e le sponde hanno pendenza di 2:1 lato campagna e 1:1 lato canale.

Il volume complessivo di materiale per la formazione degli argini è stato stimato pari a circa 3150 m³.

Nella tabella 5.1.3 seguente sono riassunti i dati di progetto degli argini.

b	(m)	1.00	larghezza minima in sommità
H	(m)	Variabile max 1.32 m; min 0.37 m	altezza arginale
p_{LA}	(m/m)	1:1	pendenza paramento lato canale (H:V)
p_{LC}	(m/m)	2:1	pendenza paramento lato campagna (H:V)

Tabella 5.1.3 – Dati di progetto degli argini.

5.1.5. ATTRAVERSAMENTI STRADALI

Stante che il tracciato del nuovo canale attraversa in due punti una strada esistente, ne consegue la necessità di realizzare due manufatti di attraversamento.

La strada ha una larghezza variabile compresa tra 4 e 5 metri (la misura è stata fatta utilizzando le immagini da satellite).

Si ritiene più semplice la posa in opera di strutture prefabbricate in c.a. per carichi stradali di prima categoria costituite con elementi scatolari prefabbricati in calcestruzzo di cemento ad alta resistenza ai solfati, turbovibrocompressi a sezione rettangolare interna, con armatura idonea e sistema di giunzione con incastro a bicchiere.

Si dovrà prevedere anche la formazione di un'idonea soletta armata di sottofondo realizzata in calcestruzzo (R_{ck} minimo ≥ 250) e armatura idonea realizzata doppia rete elettrosaldata Feb 44k di 15x15 diametro minimo 8 mm. La soletta dovrà risultare perfettamente piana per consentire la corretta posa in opera dei manufatti e dovrà avere uno spessore minimo da verificare in sede di calcolo statico, anche in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di posa.

Si dovrà, nella fase successiva della progettazione, predisporre la verifica statica ai sensi delle normative vigenti dei manufatti disponibili in commercio, comprendente la caratterizzazione geotecnica dei terreni per il calcolo delle fondazioni e la verifica statica dei manufatti nelle condizioni di posa e di carico previste.

Le dimensioni minime dell'attraversamento sono:

- LARGHEZZA INTERNA = 3 m: corrispondente alla larghezza alla base del canale in terra;
- ALTEZZA INTERNA = 2 m: corrispondente all'altezza complessiva del canale misurata dal fondo alla sommità arginale.

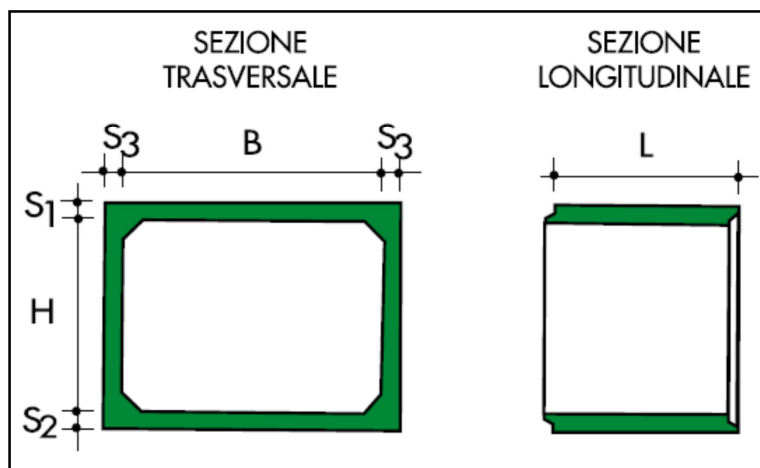


Figura 5.1.3a – Sezione tipo dello scatolare in c.a.






TIPO DI SCATOLARE	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE CHIUSA						PESO ELEMENTO kg
	B cm	H cm	S ₁ cm	S ₂ cm	S ₃ cm	L cm	
120x100 	120	100	13	13	13	200	3500
160x100 	160	100	14	14	14	200	4000
200x150 	200	150	18	14	14	200	5700
220x170 	220	170	14	14	14	150	4200
300x200 	300	200	20	18	18	150	7200

Figura 5.1.3 b – Dimensioni tipo dello scatolare in c.a.

Gli scatolari in c.a. delle dimensioni necessarie sono solitamente di **lunghezza non superiore a 2 metri**. Pertanto occorre affiancare più manufatti per raggiungere la lunghezza pari alla dimensione della strada (nell'esempio delle figure in cui la lunghezza è pari a 1.5 m, occorrono quindi tre manufatti per la strada stimata 4 metri di larghezza e quattro manufatti per la strada stimata 5 metri di larghezza). Le strutture prefabbricate sono realizzate in modo tale che possono essere giuntate e garantire le resistenze necessarie. Nella figura 5.1.3a si riporta un esempio di scatolare in c.a.. Nella figura seguente è riportato un esempio di ricostruzione di un ponte danneggiato con scatolari prefabbricati.



Figura 5.1.3 c – Esempio di realizzazione di un attraversamento stradale con scatolari in c.a..

All'imbocco e allo sbocco di ciascun manufatto di attraversamento si devono realizzare due muri d'ala di raccordo tra il canale in terra di forma trapezia e lo scatolare in c.a. (di forma rettangolare); i muri d'ala saranno realizzati in c.a. in opera.

Al termine delle lavorazioni si dovrà ripristinare la sede stradale con la formazione del pacchetto che in linea di massima potrà essere costituito da:

1. uno strato di bitumatura di ancoraggio;
2. uno strato base costituito da una miscela di pietrisco e bitume;
3. uno strato di collegamento (binder) costituito da miscela di pietrischetto, graniglia e sabbia;
4. un eventuale strato di usura (tappetino) ottenuto con pietrischetto e graniglie.

5.1.6. PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA

Lo sbocco del nuovo canale avviene nella zona umida che precede la vera e propria Oasi protetta. E' utile proteggere lo sbocco realizzando una struttura resistente con massi di dimensioni adeguate posti lungo il contorno del tratto terminale del canale (almeno 10 metri) e lungo il tratto iniziale della zona di allargamento (sempre circa una decina di metri). La struttura sarà formata da massi intasati con scaglie di materiale lapideo di piccole dimensioni e rinverdito mediante la semina di vegetazione autoctona.

Vista la velocità media della corrente e i conseguenti sforzi di taglio lungo il contorno della sezione, in prima approssimazione i massi dovranno avere diametro medio non inferiore a 0.6 metri; in fase di progettazione esecutiva dovranno essere verificate le caratteristiche della scogliera e la dimensione minima dei massi che la compongono.

5.1.7. DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI

Come scritto in premessa occorre realizzare, oltre alla deviazione del canale Pandi che immetta le proprie acque nella parte sud dell'oasi protetta, anche la tombatura della porzione di monte che attraversa l'area di discarica.

L'obiettivo può essere raggiunto mediante il riempimento dell'intero canale con materiale terroso in minima parte derivante dallo scavo del nuovo alveo del canale e per la maggior parte dovrà provenire da altre parti.

Il volume stimato per il completo tombamento del canale è di circa 6200 m³.

TAVOLE

URS

**Progetto Operativo di
Messa in Sicurezza
Permanente di parte
delle aree esterne
Syndial - Allegato 3**

Stabilimento di Brindisi

Settembre 2013

Progetto 46318615

Preparato per: Syndial S.p.A.

ITALY



TABLE OF CONTENTS

1.	PREMESSA E SOMMARIO	1
2.	INQUADRAMENTO GENERALE	2
2.1.	Localizzazione dell'area	2
3.	STUDIO IDROLOGICO	3
3.1.	Premessa	3
3.2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3.3.	CALCOLO DELLE PORTATE.....	4
3.3.1.	Pluviografia	5
3.3.2.	Caratteristiche del bacino idrografico.....	6
3.3.3.	Stima del tempo di corrivazione	8
3.3.4.	Perdite idrologiche	8
3.3.5.	Portate di piena.....	11
4.	STUDIO IDRAULICO	13
4.1.	Premessa.....	13
4.2.	Ipotesi di tracciato del canale	13
4.3.	Dimensionamento idraulico.....	14
4.3.1.	Dati di progetto	16
4.4.	Risultati.....	18
5.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	21
5.1.	Riqualficazione ambientale del Canale Pandi.....	21
5.1.1.	IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE.....	22
5.1.2.	DIMENSIONI DEL CANALE	23
5.1.3.	OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE	24
5.1.4.	REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI	26
5.1.5.	ATTRAVERSAMENTI STRADALI.....	26
5.1.6.	PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA.	30
5.1.7.	DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI.....	30

Tavole

Tavola 01 - Planimetria e bacino imbrifero del canale Pandi;

Tavola 02 - Planimetria canale Pandi su tavola interventi;

Tavola 03 - Profilo longitudinale del canale in progetto;

Tavola 04 - Sezioni tipo del canale in progetto.

1. PREMESSA E SOMMARIO

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa.

Le funzioni di tale opera saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

La presente relazione illustra le attività di analisi idrologica e idraulica e di progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Saranno esposte le metodologie di calcolo, i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare le portate massime per vari tempi di ritorno e i risultati del dimensionamento idraulico del nuovo canale previsto.

Le due fasi di studio sono, quindi, propedeutiche alla progettazione del nuovo canale.

La presente relazione è formata da tre parti: nella prima si affronta il tema dell'analisi idrologica finalizzata al calcolo della portata di progetto; nella seconda parte si illustrano le metodologie e i risultati del calcolo idraulico per il dimensionamento del canale; infine, nella terza parte, si descrivono le opere previste nel progetto.

La relazione è accompagnata da 4 tavole progettuali che consentono una migliore comprensione del complesso delle opere previste.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

Il progetto è localizzato in un'area prevalentemente agricola a sud dello stabilimento di Brindisi.

In particolare il canale Pandi ha un percorso sud-nord e sfocia attualmente nell'Oasi protetta litoranea alla costa.

La morfologia dell'area è caratterizzata da una variazione altimetrica di pochi metri: il bacino imbrifero del canale Pandi ha una differenza di quota di circa 16 metri per uno sviluppo di oltre 4 km.

Nella figura 2.1.1 è riportato l'inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

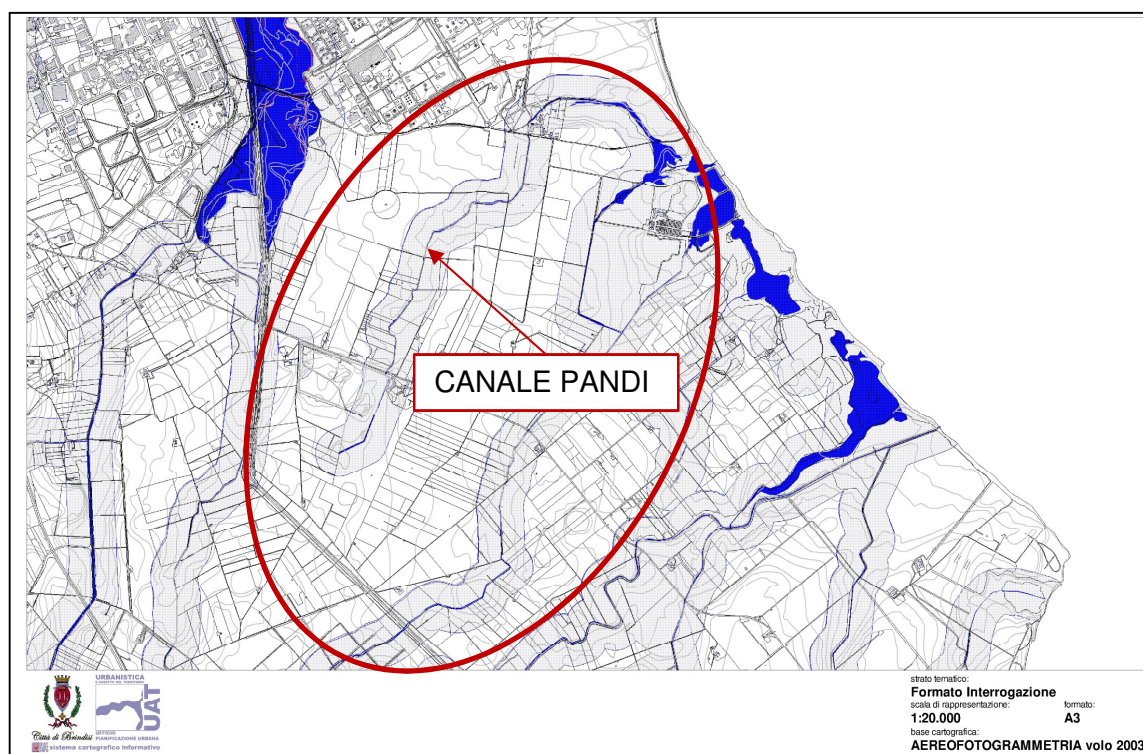


Figura 2.1.1 - Inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi.

3. STUDIO IDROLOGICO

3.1. PREMESSA

Il presente studio idrologico è finalizzato alla valutazione delle portate massime per assegnati tempi di ritorno **T** del bacino del canale Pandi in funzione della prevista realizzazione di una deviazione di un tratto del canale funzionale al miglioramento ambientale dell'area. In particolare la portata caratterizzata dal tempo di ritorno **T** di 100 anni sarà adottata quale portata di progetto per il dimensionamento della sezione del tratto in variante del canale Pandi.

Fissata la portata di piena di progetto (nel caso specifico definita per $T = 100$ anni) è, quindi, possibile implementare il modello di calcolo per dimensionare le sezioni trasversali del nuovo tratto del canale Pandi e le opere idrauliche diffuse (es. protezione delle sponde) e puntuali (es. protezione sbocchi e imbocchi) eventualmente necessarie.

Le portate di piena sono state calcolate relative ai tempi di ritorno **T** pari a 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anni.

Non avendo a disposizione misure dirette di portata, il calcolo dei valori di piena è stato effettuato per mezzo del Metodo Razionale che consente di determinare la portata conoscendo la pioggia che l'ha generata, oltre ai parametri geomorfologici del bacino in esame.

La pioggia è definita attraverso la curva di possibilità pluviometrica (o climatica) che rappresenta il legame tra la durata e l'altezza della precipitazione.

Nota la curva di possibilità pluviometrica, si devono valutare:

- l'altezza di pioggia critica (definita come l'altezza di pioggia per la quale si ha, per un dato bacino imbrifero, il massimo della portata nell'ipotesi che questa abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata);
- le perdite idrologiche che, nei bacini naturali e nel caso di modelli di piena, sono dovute essenzialmente ai fenomeni di infiltrazione. Le perdite sono state definite per mezzo del coefficiente d'afflusso ϕ funzione delle caratteristiche del suolo (la sua permeabilità).

3.2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio studiato si trova in comune di Brindisi ed è situato sud dello Stabilimento di Brindisi.

Il canale Pandi segue una direzione sud-nord e attraversa per il tratto di monte un'area di terreni agricoli per poi entrare lambire il margine sud dell'area Micorosa e sboccare nell'oasi protetta da

nord. La lunghezza complessiva è di oltre 3 km e la sezione è naturale in terra ad eccezione dei brevi tratti di attraversamento della viabilità.

Si riporta di seguito uno stralcio della corografia su Carta Tecnica del Comune (SIT Comune di Brindisi) con indicazione dell'area oggetto dell'intervento.

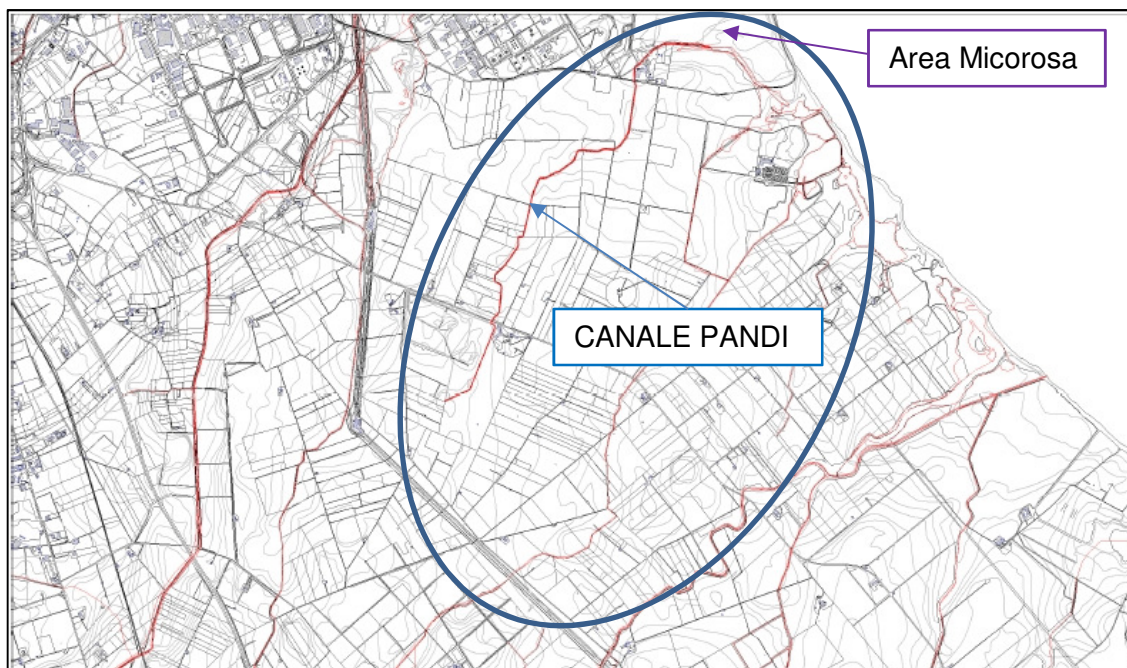


Figura 3.2.1 – Corografia (Carta Tecnica del comune di Brindisi).

3.3. CALCOLO DELLE PORTATE

Le portate di piena sono state calcolate considerando diversi tempi di ritorno ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni) e tra queste è stata individuata quella relativa al tempo di ritorno 100 anni quale portata di progetto della sezione del nuovo tratto di canale.

Il calcolo della portata massima in corrispondenza delle sezioni di chiusura è stato eseguito mediante la formula Razionale definita attraverso la semplice relazione:

$$Q_{\max}(t, T) = \frac{C \times i_r(t, T) \times S}{3.6} \quad (3.1)$$

in cui:

- C è un coefficiente che tiene conto delle perdite idrologiche e della capacità di laminazione del bacino. Nel caso in esame si è considerata nulla la capacità di laminazione del bacino e il coefficiente C corrisponde al coefficiente d'afflusso;
- ir è l'intensità di pioggia ragguagliata funzione del tempo di ritorno (T) e della durata critica della precipitazione (t) (in mm/ora). La durata critica è assunta uguale al tempo di corrivazione T_c (ore) del bacino;
- S è la superficie del bacino (in km^2).

La formula razionale assume la precipitazione uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo. Si fonda sull'uso delle curva di possibilità climatica della pioggia ragguagliata all'area e sulle tre seguenti assunzioni fondamentali:

- 1) la portata al colmo Q con assegnato tempo di ritorno T sia la maggiore tra le portate al colmo di tutti gli eventi di piena a intensità costante ricavati dalla curva di possibilità climatica con tempo di ritorno T ;
- 2) a parità di tempo di ritorno T , la portata al colmo maggiore sia prodotta dall'evento con durata uguale al tempo di corrivazione del bacino;
- 3) la portata al colmo Q dell'evento di piena causato da una precipitazione rappresentata da un ietogramma a intensità costante di durata T_c sia proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata ir e dell'area del bacino A , attraverso un coefficiente di proporzionalità C che comprende l'effetto delle perdite idrologiche.

La prima assunzione è comune ad altri metodi ed abbastanza aderente alla realtà. Le ultime due assunzioni si possono giustificare schematizzando opportunamente il fenomeno della trasformazione.

3.3.1. PLUVIOGRAFIA

L'intensità di pioggia i è ricavata dalla curva di possibilità climatica che rappresenta il legame tra l'altezza di precipitazione h (mm) e la durata t (h) della precipitazione stessa dato un certo tempo di ritorno T (anni).

$$h = a \times t^n \quad (3.2)$$

e

$$i = a \times t^{(n-1)} \quad (3.3)$$

Le curve di possibilità climatica di riferimento sono state desunte dalla "Relazione di Settore: Geologia e Idrogeologia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale" a cui si rimanda maggiori approfondimenti in merito alla metodologia di calcolo delle curve.

I valori dei parametri a ed n per i tempi di ritorno presi in considerazione sono i seguenti:

T	a	$n (t > 1h)$
5	42.5	0.198
10	51.6	0.198
20	61.3	0.198
50	75.2	0.198
100	86.6	0.198
500	113.9	0.198

Tabella 3.3.1 - Valori di a e n per i tempi di ritorno $T = 5, 10, 20, 50, 100$ anni e durata della precipitazione maggiore di 1 ora.

3.3.2. CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il calcolo delle portate massime è stato eseguito nella situazione di progetto considerando l'intero bacino idrografico (Tavola 01 allegata fuori testo) chiuso alla sezione di nuova immissione nelle aree umide presenti a est del canale.

Tutte le grandezze geo-morfologiche utili per la determinazione delle portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sono state desunte dalla Carta Tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

Di seguito si riportano le principali caratteristiche morfologiche e geometriche del bacino.

A (km ²)	L (km)	H_m (m s.l.m.)	H_0 (m s.l.m.)	i (m/m)	p (m/m)
2.15	3.14	8.5	1	0.0048	0.0067

Tabella 3.3.2 - Caratteristiche geometriche del bacino. (A = area del bacino, L =lunghezza dell'asta, H_m = altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura, H_0 = altezza alla sezione di chiusura), i = pendenza media del canale Pandi, p = pendenza media dei versanti.

Il bacino è caratterizzato dai seguenti parametri di forma:

- 1) rapporto di forma R_f (Horton, 1932) (Moisello, 1998) rapporto tra l'area del bacino e il quadrato della lunghezza dell'asta principale = 0.218;
- 2) rapporto di allungamento R_a (Schumm, 1956) (Moisello, 1998) rapporto tra il diametro di ugual area del bacino e la lunghezza dell'asta principale = 0.527.

Nella figura 3.3.1 è individuato il bacino idrografico del nuovo canale Pandi.

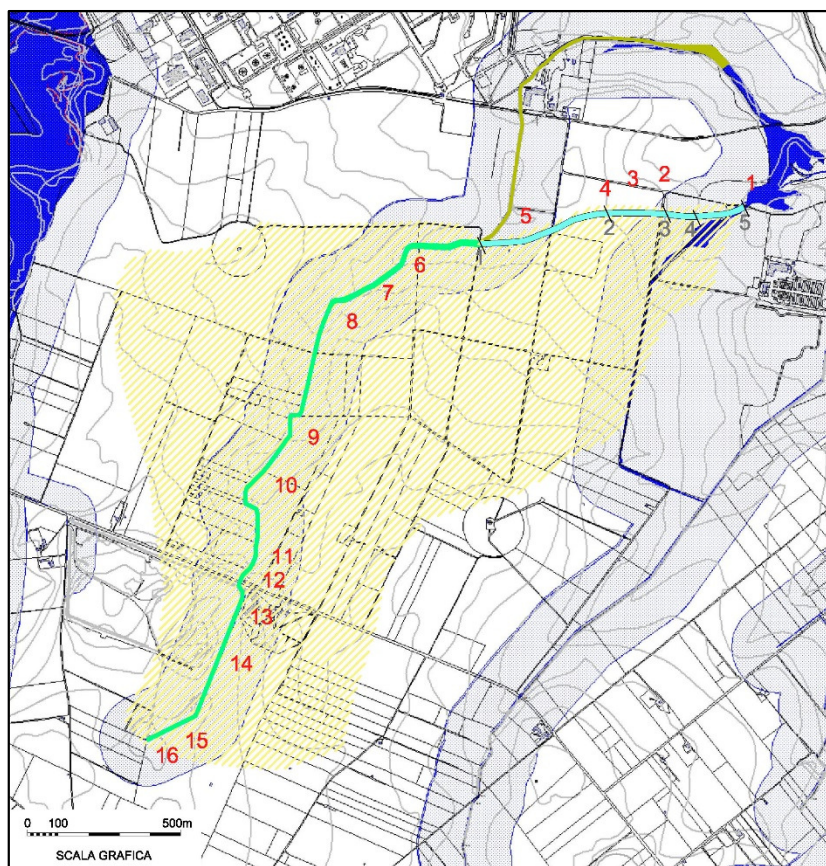


Figura 3.3.1 - Estratto della Tavola 01 – Carta del Bacino imbrifero del nuovo canale Pandi.

3.3.3. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Come visto precedentemente, la portata è funzione della precipitazione di durata critica che per ipotesi è posta uguale a tempo di corrivazione del bacino chiuso alla sezione di calcolo.

Tale parametro, è specifico di ogni bacino e rappresenta il tempo che la particella di acqua più lontana dalla sezione di chiusura del bacino impiega ad arrivare alla sezione di chiusura stessa.

Ovviamente, il tempo di corrivazione non può essere conosciuto con precisione, tuttavia esistono diversi metodi empirici per la sua determinazione. Si è scelto di adottare il metodo di Tournon, valido per piccoli bacini. La formula assume la forma:

$$T_c = 0.396 \frac{A^{0.72} \times r^{0.36}}{L^{0.44} \times i^{0.5}} \quad (3.4)$$

dove:

- T_c tempo di corrivazione (ore);
- A area del bacino (km^2);
- L lunghezza dell'asta principale (km);
- i pendenza della rete di drenaggio (m/m) (qui considerata come pendenza del canale Pandi);
- $r = i/p$ rapporto tra la pendenza della rete e la pendenza media dei versanti.

Il tempo di corrivazione del bacino in esame vale 5.30 h.

3.3.4. PERDITE IDROLOGICHE

Le perdite idrologiche sono rappresentate in misura globale attraverso il coefficiente d'afflusso φ . La sua determinazione è però molto delicata, in quanto dipende dalle caratteristiche del terreno di infiltrabilità, percolazione, ritenzione e variano anche in funzione dell'intensità di pioggia e della sua durata.

Un metodo per stimare il coefficiente φ è mediante il numero di curva. In tal caso:

$$\varphi = \frac{H_n}{H} \quad (3.5)$$

Si definisce, mediante apposite tabelle dell'USSCS il numero di curva CN, in funzione dell'uso del suolo, del tipo di drenaggio delle condizioni idrologiche e del tipo di terreno. Si ricava quindi la capacità di ricarica del terreno F_s , che rappresenta l'altezza di pioggia immagazzinabile nel terreno:

$$F_s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.6)$$

Il metodo del numero di curva ipotizza che il deflusso diretto abbia inizio solo dopo che si è verificata una perdita iniziale:

$$I_a = 0,2 \times F_s \quad (3.7)$$

$$H_n = \frac{H - F_s^2}{H + 0,8 F_s} \quad (3.8)$$

Ricavata l'altezza di pioggia netta, la si divide per quella raggiunta e si ottiene il valore del coefficiente d'afflusso ϕ .

Poiché il bacino è di dimensioni contenute si è ritenuto di porre il coefficiente di ragguaglio all'area pari a 1.

Il Soil Conservation Service degli Stati Uniti (SCS) ha caratterizzato la permeabilità dei terreni con un numero, "Runoff Curve Number", compreso tra 0 e 100 ed ha indicato come questo vada variando, per un assegnato grado di umidità del terreno, in funzione del tipo di suolo, di uso del suolo, delle pratiche agricole ivi adottate e delle condizioni di drenaggio. Esso decresce all'aumentare della permeabilità del suolo, con valore 100, per un suolo completamente impermeabile, e con valore 0, per un suolo totalmente permeabile. Recentemente si è effettuato uno studio che ha permesso di riferire i valori di CN a colture più tipicamente italiane.

Si riportano di seguito le tabelle utilizzate per il calcolo del CN. Tali tabelle mettono in relazione le unità idrogeologiche della Regione Campania con quelli individuati del SCS, e le classi di copertura proposte dal SCS e l'uso del suolo dell'I.N.E.A.. Sono ivi riportate solo sette delle dieci classi di uso del suolo indicate dal SCS poiché solo per queste esiste la corrispondenza con la Carta dell'Utilizzazione Agricola del suolo dell'I.N.E.A..

Land use or cover (SCS, 1972) Uso del Suolo	Uso del Suolo (I.N.E.A.)
Row crops (Colture a solchi)	Colture temporanee associate a colture permanenti
	Frutteti e frutti minori non irrigui
	Frutteti e frutti minori irrigui
	Vigneti irrigui
	Vigneti non irrigui
Close-seeded legumes or rotation meadow (Legumi seminati folti o prati in rotazione)	Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo
	Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile
	Colture orticole a ciclo primaverile-estivo
Pasture or range (Pascoli)	Prati stabili non irrigui
	Prati stabili irrigui
Meadow (Prati permanenti)	Seminativi in aree non irrigue
	Sistemi culturali e particellari complessi
Woodlands (Boschi)	Zone boscate
	Aree agroforestali
	Oliveti irrigui
	Oliveti non irrigui
Farmsteads (Aziende agricole)	Aree agricole con presenza di spazi naturali
Roads, hard-surface (Strade pavimentate e aree praticamente impermeabili)	Aree urbane
	Bacini di acqua
	Colture in serra e sotto plastica
	Risaie
	Zone umide

Tabella 3.3.3 – Corrispondenza tra classi di copertura SCS e l'uso del suolo I.N.E.A.

In base alle tabelle 3.3.3 e 3.3.4 i suoli vengono classificati dal punto di vista della possibilità di infiltrazione in quattro gruppi:

- A: suoli con elevato tasso d'infiltrazione
- B: suoli con un moderato tasso d'infiltrazione
- C: suoli con un basso tasso d'infiltrazione
- D: suoli con un bassissimo tasso d'infiltrazione

Le caratteristiche di permeabilità della zona in esame sono da ritenere appartenenti al gruppo B – suoli con un moderato tasso d'infiltrazione.

Uso del Suolo	Drenaggio	Condizioni Idrologiche	Numero di Curva			
			Tipo di terreno A B C D			
RESIDENZIALE						
Zone urbane e	Area imp. 85%		89	92	94	95
Zone industriali	Area imp. 72%		81	88	91	93
Case a schiera	Area imp. 65%		77	85	90	92
Ville	Area imp. 25%		54	70	80	85
Parcheggi			98	98	98	98
Parchi	Cop. a verde 75 %		39	71	74	80
Strade pavimentate	Cunette e fognatura		98	98	98	98
Strade in macadam			76	85	89	91
Strade Sterrate			72	82	87	89
AGRICOLA						
Prato stabile			77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittochino	cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittochino	buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	buone	59	70	78	81
Pascolo		cattive	68	79	86	89
Pascolo		discrete	49	69	79	84
Pascolo		buone	39	71	64	80
Erbaio			30	58	71	78
Terreno Boschivo		cattive	45	66	77	83
Terreno Boschivo		discrete	36	60	73	79
Terreno Boschivo		buone	25	55	70	77

Tabella 3.3.4 – Valori del numero di curva (Runoff Curve Number) per la classe II di umidità iniziale

Nell'ipotesi che il suolo sia coltivato si è stabilito un valore del **CN uguale a 75**.

3.3.5. PORTATE DI PIENA

In funzione della precipitazione critica e delle perdite idrologiche (determinate attraverso il coefficiente ϕ) sono state calcolate le portate massime nella sezione di chiusura del bacino ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni), utilizzando la formula 3.1.

<i>T</i>	(anni)	5	10	20	50	100	500
φ	(--)	0.24	0.30	0.36	0.43	0.47	0.59
H	(mm)	59.1	71.8	85.3	104.6	120.5	158.5
<i>Q</i>	(m³/s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella 3.3.5 – Portate di piena riferite ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio.

- T tempo di ritorno,
- φ coefficiente d'afflusso calcolato in funzione di CN,
- H altezza di pioggia per la durata critica pari a 5.30 ore,
- Q portata massima.

La portata **Q_p** di dimensionamento idraulico delle sezioni del canale in progetto e quella caratterizzata dal tempo di ritorno **$T = 100$** anni ed è uguale a **$6.41 \text{ m}^3/\text{s}$** .

4. STUDIO IDRAULICO

4.1. PREMESSA

Nel presente capitolo della relazione si espongono la metodologia e i risultati del calcolo della sezione idraulica del nuovo tratto del canale Prandi compatibile con la portata di piena di progetto caratterizzata dal tempo di ritorno 100 anni.

Viste le caratteristiche considerevolmente omogenee del tracciato del canale in progetto, si è prevista un'unica tipologia di sezione e quindi il calcolo della capacità è stato eseguito per determinare in modo univoco le caratteristiche geometriche.

La portata di dimensionamento è stata calcolata attraverso un'analisi idrologica i cui risultati sono riportati nel capitolo precedente. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 4.1.1.

<i>T</i>	(anni)	5	10	20	50	100	500
<i>Q</i>	(m ³ /s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella. 4.1.1 – Portate di piena relative ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio idrologico.

4.2. IPOTESI DI TRACCIATO DEL CANALE

Nella figura 4.2.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 di progetto nella quale è identificato il percorso del nuovo canale Pandi nell'ipotesi progettuale proposta.

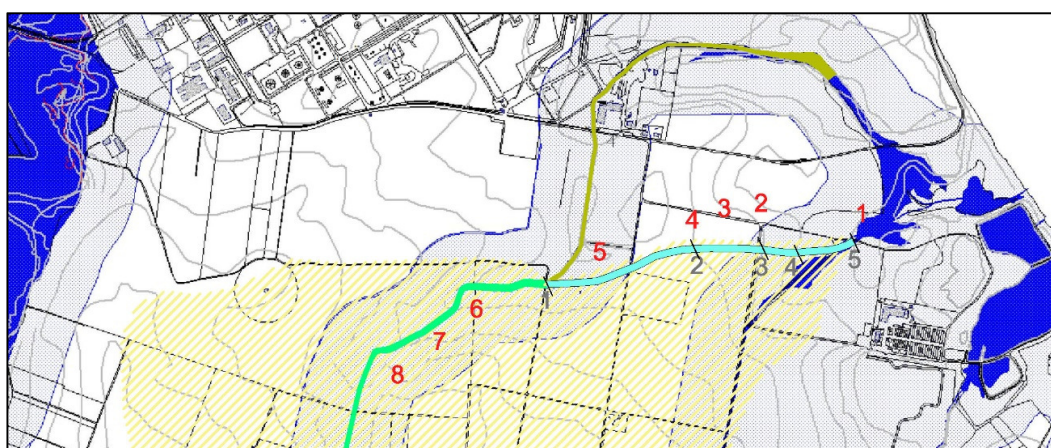


Figura 4.2.1 - Tracciato del canale in progetto (in colore ciano) (estratto della Tavola 1 allegata al progetto).

Il percorso è leggermente sinuoso per seguire nella misura migliore l'andamento altimetrico del terreno e affinché attraversi solamente i terreni di proprietà Syndial.

Lo sbocco del canale avviene in corrispondenza della zona umida esistente (in blu nella figura) che raccorda con l'Oasi protetta.

4.3. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

In questo paragrafo è riportato il dimensionamento idraulico della sezione della deviazione del canale Pandi.

La forma e la dimensione delle sezioni dei canali deve rispondere alle seguenti esigenze:

- consentire il trasferimento della portata lungo tutto il percorso rispettando il franco di sicurezza assegnato;
- essere stabile, cioè mantenere la sua forma e dimensione resistendo all'azione di trascinamento esercitata sul contorno dal passaggio della portata;
- rispettare le esigenze economiche di minimizzare il costo complessivo di costruzione e gestione.

Il dimensionamento è stato eseguito utilizzando la formula di Chezy, valida nell'ipotesi di moto uniforme (le variabili idrauliche sono costanti nel tempo e nello spazio):

$$Q = A \times \chi \times \sqrt{R \times i} \quad (4.1)$$

dove:

Q: portata di dimensionamento (m³/s);

A: area bagnata (m²);

χ : coefficiente dimensionale di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);

R: raggio idraulico (m) = al rapporto tra l'area bagnata e il contorno bagnato (A/C);

i: pendenza del fondo del canale (m/m).

Solitamente per esprimere χ si utilizzano formule di tipo monomio; le più usate sono quella di Gauckler-Strickler.

$$\chi = K \times R^{1/6} \quad (4.2a)$$

e quella di Manning, del tutto equivalente,

$$\chi = \frac{1}{n} \times R^{1/6} \quad (4.2b)$$

I valori di K (o di n) dipendono dalle caratteristiche del contorno.

Ottimizzare la forma della sezione, dal punto di vista dell'efficienza idraulica, significa trovare quella che, a parità di area, ha il minimo contorno bagnato, cioè il massimo raggio idraulico. Per sezioni aperte la forma è quella semicircolare, ma la difficoltà di realizzare in modo semplice questa forma e soprattutto di mantenerla nel tempo fa sì che essa, in pratica, non sia mai utilizzata.

La forma comunemente utilizzata è invece la trapezia (isoscele) definita mediante due parametri:

- la larghezza di cunetta (base minore) **b**, che costituisce il fondo;
- la pendenza delle sponde, individuata dalla tangente dell'angolo **θ** formato con l'orizzontale, o dalla scarpa **s = dx/dy = ctg(θ)**.

La scarpa delle sponde dipende dalle caratteristiche del terreno nel quale verrà scavato il canale, in pratica dal suo angolo di attrito interno ϕ che ne definisce la resistenza al taglio. Una pendenza della sponde a cui corrisponda un valore di θ superiore a ϕ comporta l'instabilità della sponda. L'angolo di attrito interno dipende dalla forma e dalla dimensione delle particelle (definita dalla granulometria), che definisce la loro interconnessione e l'attrito tra di esse, e dalla coesione. La resistenza al taglio dipende poi fortemente dall'umidità del terreno. Un esempio di valori massimi consigliati per la scarpa dei canali in terra è rappresentato in Tabella 4.3.1.

Natura del terreno	s = dx/dy
sabbioso- argilloso	3/1
medio impasto-limoso	2/1
medio impasto-argilloso	1.5/1
argilloso	1/1

Tabella 4.3.1 - Valore massimo consigliato dall'USBR per la scarpa s dei canali in terra di sezione trapezia (da Withers e Vipond).

4.3.1. DATI DI PROGETTO

Come visto in precedenza, la portata di progetto della sezione del canale è quella con tempo di ritorno 100 anni derivata dallo studio idrologico. La portata è uguale a $6.41 \text{ m}^3/\text{s}$.

La forma della sezione è stata scelta trapezia isoscele con base minore b pari a 3.0 m e scarpa s pari a 1/1.

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altra per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

Il valore della scarpa è maggiore rispetto a quello relativo ad un suolo di tipo sabbioso argilloso indicato nella tabella precedente; tuttavia per evitare larghezze superficiali eccessive e dovendo comunque prevedere un'impermeabilizzazione del contorno del canale con funzione anche di rinforzo si è scelto il valore di progetto indicato.

Il valore dell'indice di scabrezza n è stato assunto pari a $0.03 \text{ (m}^{1/2} \text{ s}^{-1})$ valido per canali in terra con un rivestimento che non impedisce la crescita della vegetazione (ad esempio geogriglie).

La pendenza i del fondo del canale è stata posta uguale a 0.0045 m/m che rappresenta il valore medio del tratto. Nella figura 4.3.1 si riporta il profilo longitudinale del terreno e del fondo del canale.

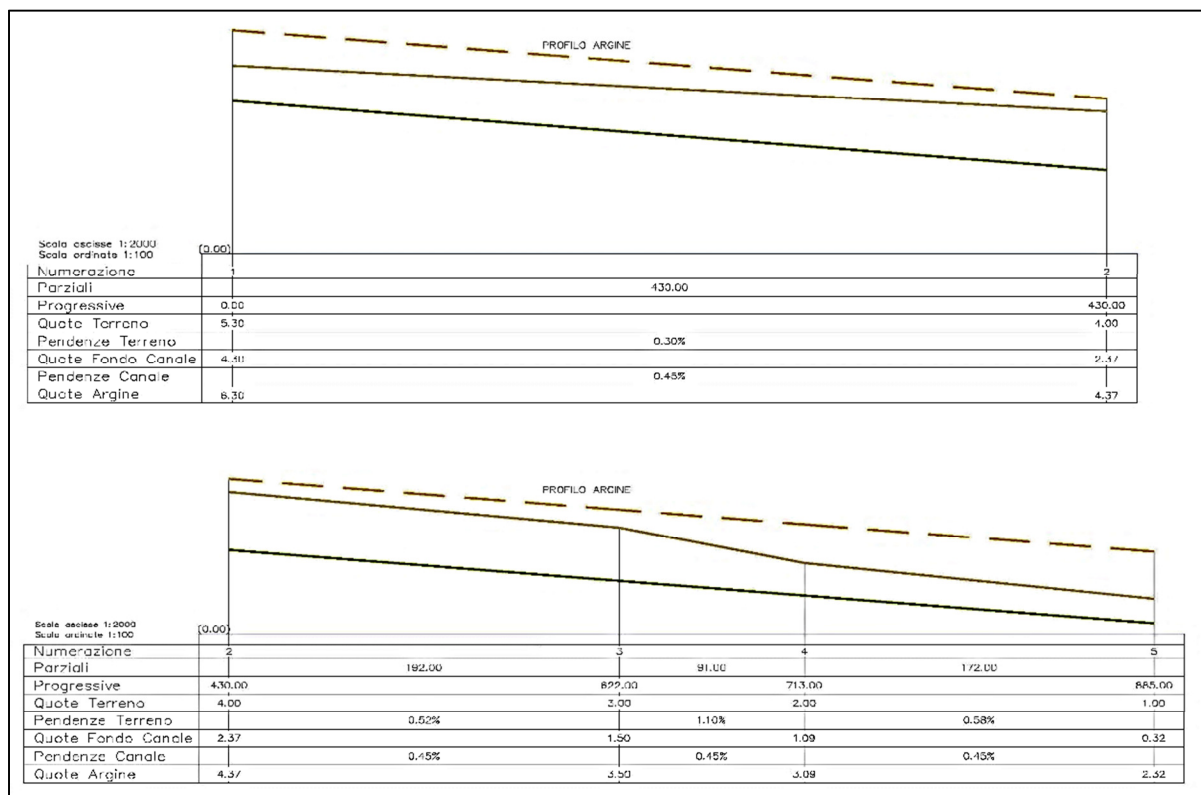


Fig. 4.3.1 – Profilo nell'ipotesi analizzata di pendenza del canale uguale alla pendenza media del terreno.

Nella tabella 4.3.2 seguente sono riassunti i dati di dimensionamento e verifica idraulica del canale.

Q	(m ³ /s)	6.41	portata
b	(m)	3.00	larghezza base minore
n	(m ^{-1/2} s ¹)	0.033	indice di scabrezza di Manning
i	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
p	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 4.3.2 – Dati di progetto del canale.

4.4. RISULTATI

I risultati del dimensionamento della deviazione del canale Pandi sono riassunti nella tabella 4.4.1 seguente:

Q	(m ³ /s)	5.99	portata
h	(m)	1.01	altezza d'acqua
A	(m ²)	4.04	area bagnata
C	(m)	5.85	contorno bagnato
R	(m)	0.69	raggio idraulico
L	(m)	5.01	larghezza superficiale
V	(m/s)	1.59	velocità media
Fr	(--)	0.56	numero di Froude
τ	(N/m ²)	30.46	sforzo tangenziale medio

Tabella 4.4.1 – Risultati del dimensionamento del canale per la portata con T = 100 anni.

Per la portata di progetto 6.41 m³/s si verifica un'altezza d'acqua h pari a 1.01 m e una velocità media V della corrente uguale a 1.59 m/s. La velocità è compatibile nel caso di impermeabilizzazione e di controllo dell'erosione del contorno della sezione.¹

Nelle seguenti figure 4.4.2a, 4.4.2b e 4.4.2c sono illustrate rispettivamente la scala delle portate del canale, la scala delle velocità e la scala degli sforzi tangenziali medi alla parete dovuti alla corrente considerata esclusivamente liquida e quindi priva di materiale solido.

Dalla figura 4.4.2a è possibile determinare l'altezza d'acqua per le portate calcolate per i diversi tempi di ritorno scelti. Per $T = 10$ anni la portata è uguale a 2.43 m³/s e l'altezza d'acqua corrispondente ricavata dal grafico di figura 4.4.2a è uguale a circa 0.60 m. Dalla figura 4.4.2b si ricava la velocità media della corrente uguale a circa 1.20 m/s.

¹ Come valori medi indicativi per V_{max} si può assumere un limite superiore di $0.6 \div 0.8$ (ms⁻¹) per canali in terra e di $1.8 \div 2$ (ms⁻¹) per canali rivestiti

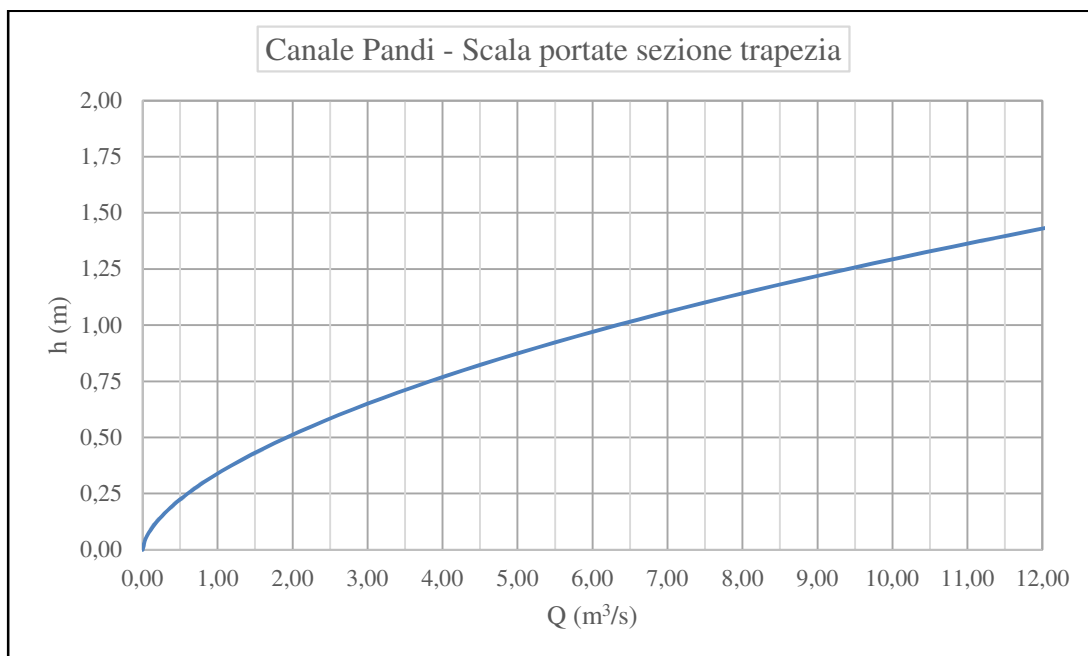


Figura 4.4.2 a – Scala delle portate di moto uniforme.

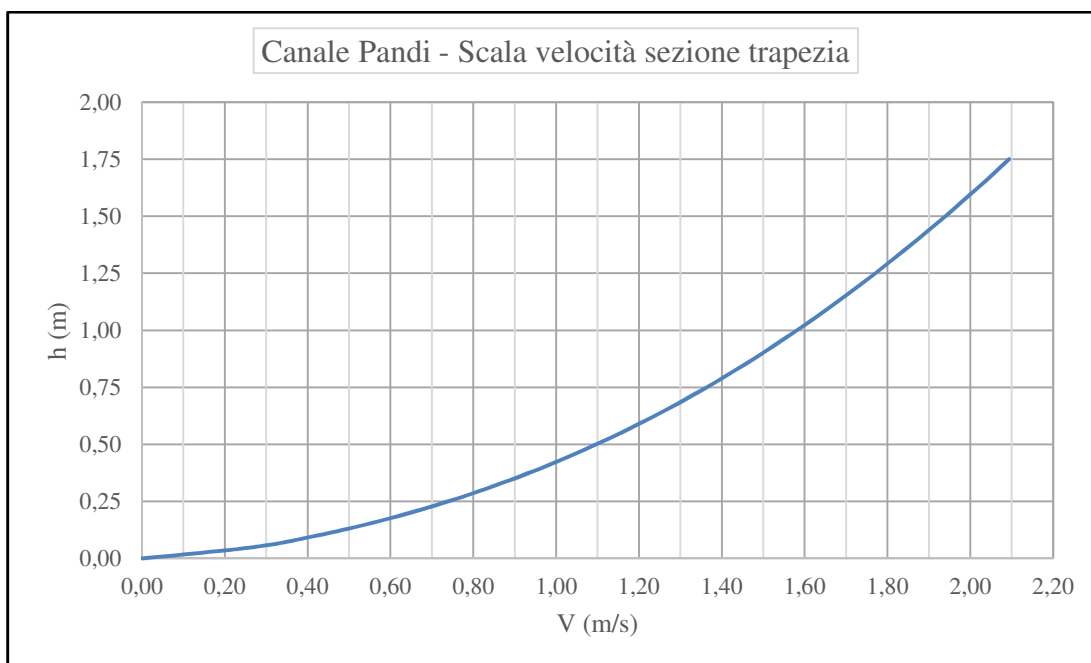


Figura 4.4.2 b – Scala delle velocità medie.

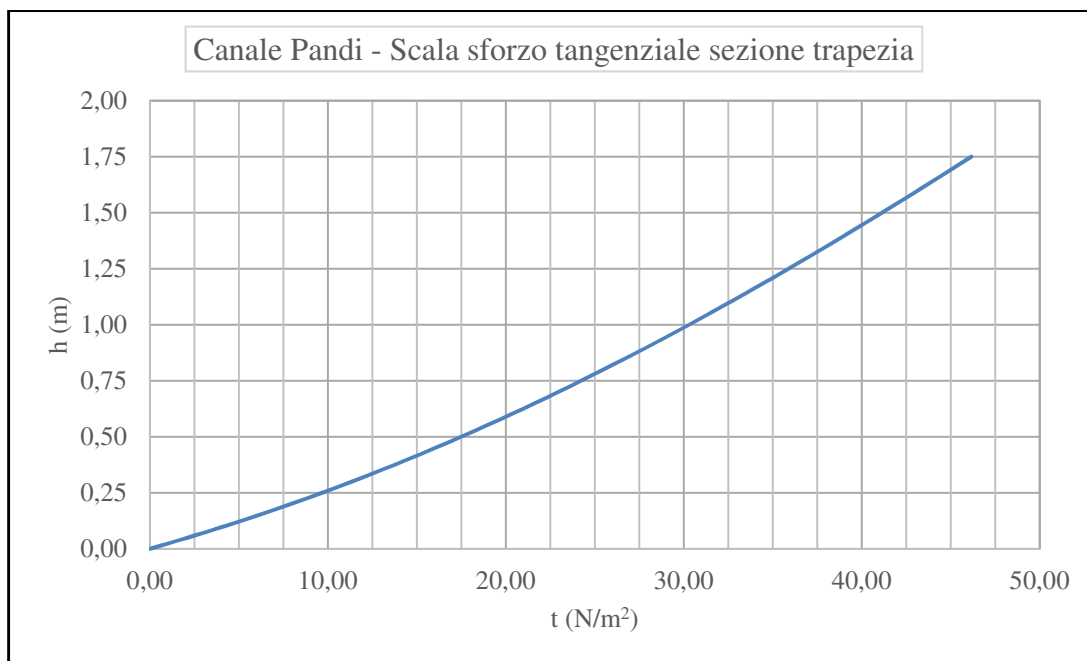


Figura 4.4.2 c – Scala degli sforzi tangenziali alla parete

5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1. RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DEL CANALE PANDI

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa

Le funzioni di tale opera di deviazione saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

Nel presente paragrafo sono illustrati i punti salienti della progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Le dimensioni del canale e delle opere connesse derivano dai risultati delle analisi idrologica e idraulica che sono illustrate nel dettaglio negli specifici capitoli della relazione specialistica idrologica-idraulica.

Gli interventi previsti nell'ambito della riqualificazione del canale Pandi sono i seguenti:

1. Realizzazione del nuovo alveo del canale Pandi:

- a. Scavo del canale in terra.
- b. Posa in opera del telo impermeabile bentonitico.
- c. Posa in opera della geogriglia antierosiva.
- d. Formazione degli argini in terra lungo entrambe le sponde per garantire il franco idraulico di 1 metro rispetto al livello della piena con tempo di ritorno 100 anni. Gli argini saranno formati utilizzando il materiale di scavo del canale.
- e. Realizzazione delle opere di protezione dello sbocco nella zona umida.
- f. Realizzazione di due manufatti di attraversamento delle strade esistenti: i ponti potranno essere realizzati mediante la posa in opera di strutture scatolari prefabbricate in c.a. oppure in lamiera zincata tipo "finsider".

2. Chiusura del tratto di valle del canale Pandi. La chiusura potrà essere effettuata mediante il tombamento con materiale terroso.

5.1.1. IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE

Nella figura 5.1.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 allegata fuori testo con l'identificazione dell'ipotesi di percorso del tratto del canale Pandi.

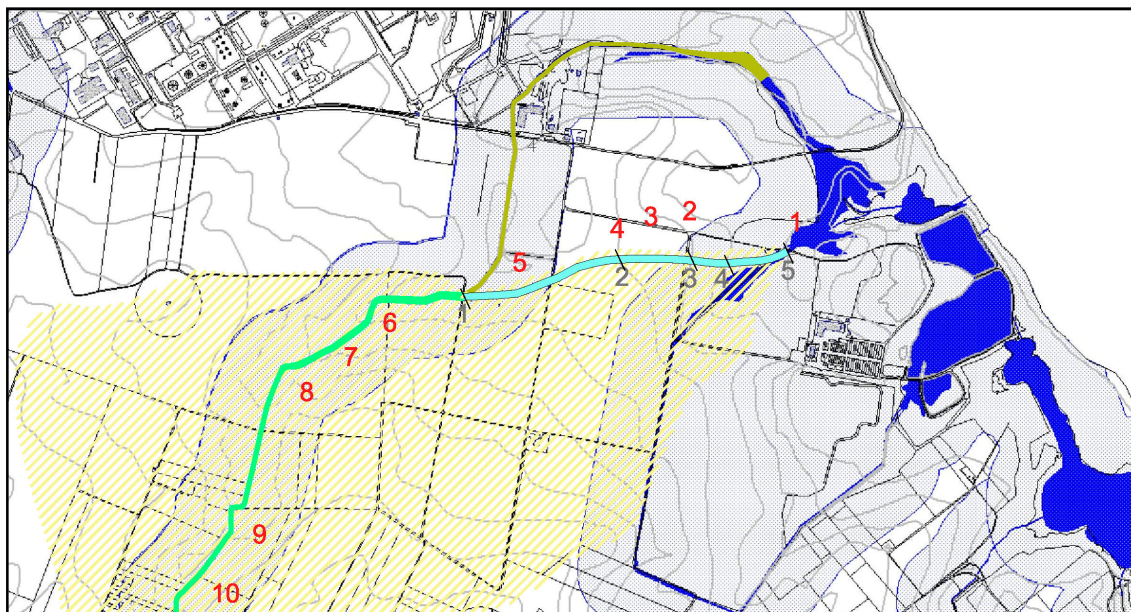


Figura 5.1.1- Estratto della Tavola 01 con il tracciato del canale in progetto (in colore ciano).

Il canale ha origine in corrispondenza della sezione (identificata con il numero 1) in cui l'attuale canale Pandi effettua una curva a circa 90° passando da una direzione ovest-est a una direzione sud-nord. Il nuovo alveo del canale avrà inizio immediatamente a valle dell'attuale attraversamento della strada esistente e sbocca nella zona umida esistente (indicata in blu nella figura e nella Tavola 01) dopo circa 900 metri.

Il tracciato previsto non interferisce con le opere progettate, come si vede nella figura 5.1.2, estratto della Tavola 02 di progetto.

Il nuovo canale in progetto attraversa nel suo percorso unicamente i terreni di proprietà Syndial escludendo quindi la necessità di un eventuale acquisizione di nuove aree.

Il canale attraversa due volte una strada della larghezza compresa tra 4 e 5 m. Si prevede, quindi, la posa in opera di due manufatti scatolari in c.a. prefabbricati e il ripristino successivo della sede stradale.

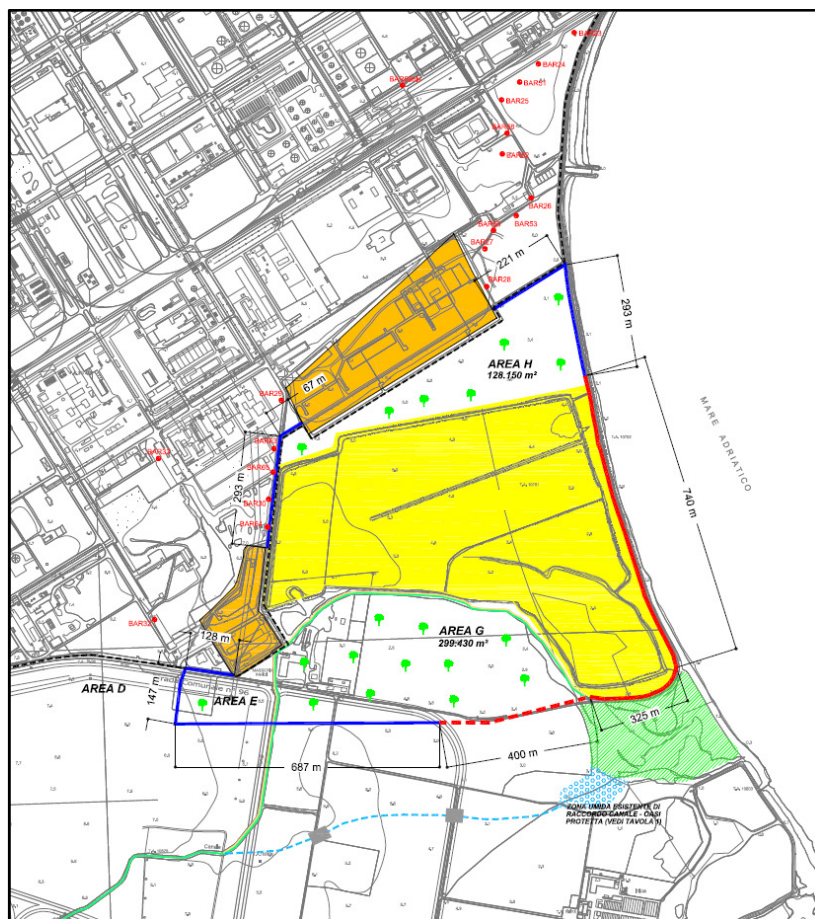


Figura 5.1.2- Percorso del canale in progetto (in colore ciano) inserito nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza permanente delle aree esterne.

5.1.2. DIMENSIONI DEL CANALE

La sezione del canale è stata progettata per che possa far defluire la portata di progetto con un franco idraulico di almeno 1 metro. La portata di dimensionamento del nuovo canale è stata calcolata attraverso l'analisi idrologica. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 5.1.1 seguente:

T (anni)	5	10	20	50	100	500
Q (m ³ /s)	1.56	2.39	3.38	4.93	6.29	10.22

Tabella 5.1.1 – Portate di piena per i diversi tempi di ritorno

Nella tabella 5.1.2 sono indicati le dimensioni del canale.

<i>Q</i>	(m ³ /s)	6.41	portata
<i>b</i>	(m)	3.00	larghezza base minore
<i>L</i>	(m)	885	lunghezza del canale
<i>i</i>	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
<i>p</i>	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 5.1.2 – Dati di progetto del canale

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altro per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire un il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

La profondità del canale è funzione della pendenza longitudinale (assunta pari alla pendenza media del terreno lungo il percorso stabilito) e dell'altimetria del terreno nel quale è prevista la sua realizzazione. Nella soluzione scelta di pendenza uniforme (0.0045 m/m), si determina una profondità massima di scavo di circa 1.6 m (nella sezione individuata con il numero 2); nel punto di sbocco nella zona umida (indicato con il numero 5) la profondità del canale è circa 0.70 metri. Le quote del fondo scavo sono compatibili con la quota della superficie della falda che nella zona è risultata piuttosto superficiale; tuttavia si ritiene comunque necessario prevedere la realizzazione dello scavo durante la stagione asciutta per evitare la presenza di acqua durante le lavorazioni e la posa di un telo impermeabile sul fondo e sulle sponde per evitare in fase di esercizio il potenziale drenaggio delle acque di falda da parte dell'alveo del canale.

In Tavola 03 allegata fuori testo è riportato il profilo longitudinale del canale in progetto.

Il volume di scavo del canale è stato stimato pari a circa 3970 m³.

Per garantire un franco idraulico non inferiore a 1 m, si prevede di realizzare un'arginatura in terra lungo entrambe le sponde del canale; l'altezza massima del rilevato arginale è uguale a circa di 1.3 m al di sopra del piano campagna. Gli argini saranno realizzati con il materiale derivante dallo scavo del canale stesso.

5.1.3. OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE

La falda si trova a poca distanza dal fondo del canale e, in determinate circostanze quali un periodo di maggiore piovosità, si potrebbe verificare l'innalzamento del suo livello freatico. Per evitare in queste evenienze che ci possa essere un contatto con le acque di falda e si possa verificare il drenaggio delle acque di falda si ritiene necessario impermeabilizzare il fondo e le sponde del canale mediante la posa in opera di un telo impermeabile bentonitico. Le caratteristiche del telo bentonitico possono essere le seguenti:

- GCL a base di bentonite sodica costituito da un sandwich di geotessili nontessuti in polipropilene; la bentonite contenuta nel geocomposito avrà un contenuto di umidità non superiore al 12% ed avrà le seguenti caratteristiche minime:
 - contenuto in montmorillonite non inferiore al 70%;
 - assorbimento d' acqua secondo ASTM E946 non inferiore al 700%;
 - rigonfiamento libero secondo ASTM D5890 non inferiore a 24 ml/2 gr;
 - perdita di fluido secondo ASTM D5891 non superiore a 18 ml.

I singoli strati del geocomposito saranno assemblati mediante un sistema continuo di agugliatura meccanica tale da garantire una resistenza allo spellamento (peeling) secondo ASTM D6496 non inferiore a 65 N ed il geocomposito, prodotto in qualità secondo le norme ISO 9001:2000, dovrà garantire le seguenti caratteristiche:

- Permeabilità secondo ASTM D5804 non superiore a 5×10^{-11} m/sec cui corrisponderà una perdita massima di fluido non superiore a 1×10^{-8} mc/mqxsec calcolata secondo le norme ASTM D5887.

La superficie complessiva del GCL è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

La pendenza delle sponde della sezione in terra risulta superiore a quella che è stabile per canali scavati nel materiale di caratteristiche analoghe. Ne deriva la necessità di utilizzare un sistema di stabilizzazione antierosiva delle sponde; si prevede, pertanto, la messa in opera di una geogriglia.

La rete sarà realizzata da un geocomposito adeguatamente fissato composto da una rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale e da una geostuoia tridimensionale polimerica compenetrata e rese solidali durante il processo di produzione. La geostuoia potrà avere massa areica minima di 750 g/mq e costituita da due strutture, realizzate in filamenti di polipropilene termosaldati tra loro nei punti di contatto e stabilizzati per resistere ai raggi UV, anch'esse termosaldate nei punti di contatto: quella superiore a maglia tridimensionale con un indice alveolare > 90%, quella inferiore a maglia piatta. La rete metallica a doppia torsione avrà una maglia esagonale tessuta con trafilato di ferro, conforme a quanto previsto dalle "Linee Guida" emesse dalla Presidenza del Consiglio Superiore LL.PP. il 12/05/06. Oltre a tale trattamento il filo sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico di colore grigio che dovrà avere uno spessore nominale non inferiore a 0,5 mm. Lo spessore del geocomposito è di 10 ÷ 12 mm.

La superficie della geogriglia è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

Tra il telo bentonitico e la geogriglia sarà riportato uno strato di terra dello spessore minimo di 10 cm.

Per il dettaglio si veda la Tavola 04 allegata fuori testo.

5.1.4. REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI

A lato del canale è prevista la formazione di argini in terra che garantiscano il franco idraulico rispetto al livello della piena di progetto con 100 anni di tempo di ritorno.

Gli argini saranno realizzati utilizzando il materiale di scavo del canale che risulta avere caratteristiche limoso-sabbiose, quindi idoneo alla realizzazione di rilevati arginali in terra.

L'argine avrà un'altezza massima di circa 1.30 m, in corrispondenza dello sbocco nell'area umida (in questa zona il canale diventa più superficiale) e un'altezza minima di circa 0.40 m (in corrispondenza del punto individuato con il numero 2 nella planimetria e nel profilo longitudinale).

La sommità arginale ha una larghezza di 1.0 m e le sponde hanno pendenza di 2:1 lato campagna e 1:1 lato canale.

Il volume complessivo di materiale per la formazione degli argini è stato stimato pari a circa 3150 m³.

Nella tabella 5.1.3 seguente sono riassunti i dati di progetto degli argini.

b	(m)	1.00	larghezza minima in sommità
H	(m)	Variabile max 1.32 m; min 0.37 m	altezza arginale
p_{LA}	(m/m)	1:1	pendenza paramento lato canale (H:V)
p_{LC}	(m/m)	2:1	pendenza paramento lato campagna (H:V)

Tabella 5.1.3 – Dati di progetto degli argini.

5.1.5. ATTRAVERSAMENTI STRADALI

Stante che il tracciato del nuovo canale attraversa in due punti una strada esistente, ne consegue la necessità di realizzare due manufatti di attraversamento.

La strada ha una larghezza variabile compresa tra 4 e 5 metri (la misura è stata fatta utilizzando le immagini da satellite).

Si ritiene più semplice la posa in opera di strutture prefabbricate in c.a. per carichi stradali di prima categoria costituite con elementi scatolari prefabbricati in calcestruzzo di cemento ad alta resistenza ai solfati, turbovibrocompressi a sezione rettangolare interna, con armatura idonea e sistema di giunzione con incastro a bicchiere.

Si dovrà prevedere anche la formazione di un'ideale soletta armata di sottofondo realizzata in calcestruzzo (R_{ck} minimo ≥ 250) e armatura idonea realizzata doppia rete elettrosaldata Feb 44k di 15x15 diametro minimo 8 mm. La soletta dovrà risultare perfettamente piana per consentire la corretta posa in opera dei manufatti e dovrà avere uno spessore minimo da verificare in sede di calcolo statico, anche in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di posa.

Si dovrà, nella fase successiva della progettazione, predisporre la verifica statica ai sensi delle normative vigenti dei manufatti disponibili in commercio, comprendente la caratterizzazione geotecnica dei terreni per il calcolo delle fondazioni e la verifica statica dei manufatti nelle condizioni di posa e di carico previste.

Le dimensioni minime dell'attraversamento sono:

- LARGHEZZA INTERNA = 3 m: corrispondente alla larghezza alla base del canale in terra;
- ALTEZZA INTERNA = 2 m: corrispondente all'altezza complessiva del canale misurata dal fondo alla sommità arginale.

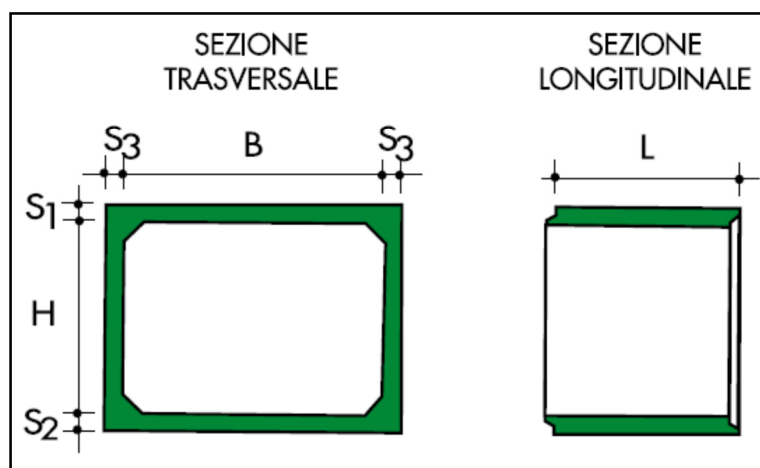


Figura 5.1.3a – Sezione tipo dello scatolare in c.a.






TIPO DI SCATOLARE	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE CHIUSA						PESO ELEMENTO kg
	B cm	H cm	S ₁ cm	S ₂ cm	S ₃ cm	L cm	
120x100 	120	100	13	13	13	200	3500
160x100 	160	100	14	14	14	200	4000
200x150 	200	150	18	14	14	200	5700
220x170 	220	170	14	14	14	150	4200
300x200 	300	200	20	18	18	150	7200

Figura 5.1.3 b – Dimensioni tipo dello scatolare in c.a.

Gli scatolari in c.a. delle dimensioni necessarie sono solitamente di **lunghezza non superiore a 2 metri**. Pertanto occorre affiancare più manufatti per raggiungere la lunghezza pari alla dimensione della strada (nell'esempio delle figure in cui la lunghezza è pari a 1.5 m, occorrono quindi tre manufatti per la strada stimata 4 metri di larghezza e quattro manufatti per la strada stimata 5 metri di larghezza). Le strutture prefabbricate sono realizzate in modo tale che possono essere giuntate e garantire le resistenze necessarie. Nella figura 5.1.3a si riporta un esempio di scatolare in c.a.. Nella figura seguente è riportato un esempio di ricostruzione di un ponte danneggiato con scatolari prefabbricati.



Figura 5.1.3 c – Esempio di realizzazione di un attraversamento stradale con scatolari in c.a..

All'imbocco e allo sbocco di ciascun manufatto di attraversamento si devono realizzare due muri d'ala di raccordo tra il canale in terra di forma trapezia e lo scatolare in c.a. (di forma rettangolare); i muri d'ala saranno realizzati in c.a. in opera.

Al termine delle lavorazioni si dovrà ripristinare la sede stradale con la formazione del pacchetto che in linea di massima potrà essere costituito da:

1. uno strato di bitumatura di ancoraggio;
2. uno strato base costituito da una miscela di pietrisco e bitume;
3. uno strato di collegamento (binder) costituito da miscela di pietrischetto, graniglia e sabbia;
4. un eventuale strato di usura (tappetino) ottenuto con pietrischetto e graniglie.

5.1.6. PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA

Lo sbocco del nuovo canale avviene nella zona umida che precede la vera e propria Oasi protetta. E' utile proteggere lo sbocco realizzando una struttura resistente con massi di dimensioni adeguate posti lungo il contorno del tratto terminale del canale (almeno 10 metri) e lungo il tratto iniziale della zona di allargamento (sempre circa una decina di metri). La struttura sarà formata da massi intasati con scaglie di materiale lapideo di piccole dimensioni e rinverdito mediante la semina di vegetazione autoctona.

Vista la velocità media della corrente e i conseguenti sforzi di taglio lungo il contorno della sezione, in prima approssimazione i massi dovranno avere diametro medio non inferiore a 0.6 metri; in fase di progettazione esecutiva dovranno essere verificate le caratteristiche della scogliera e la dimensione minima dei massi che la compongono.

5.1.7. DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI

Come scritto in premessa occorre realizzare, oltre alla deviazione del canale Pandi che immetta le proprie acque nella parte sud dell'oasi protetta, anche la tombatura della porzione di monte che attraversa l'area di discarica.

L'obiettivo può essere raggiunto mediante il riempimento dell'intero canale con materiale terroso in minima parte derivante dallo scavo del nuovo alveo del canale e per la maggior parte dovrà provenire da altre parti.

Il volume stimato per il completo tombamento del canale è di circa 6200 m³.

TAVOLE

URS

**Progetto Operativo di
Messa in Sicurezza
Permanente di parte
delle aree esterne
Syndial - Allegato 3**

Stabilimento di Brindisi

Settembre 2013

Progetto 46318615

Preparato per: Syndial S.p.A.

ITALY



TABLE OF CONTENTS

1.	PREMESSA E SOMMARIO	1
2.	INQUADRAMENTO GENERALE	2
2.1.	Localizzazione dell'area	2
3.	STUDIO IDROLOGICO	3
3.1.	Premessa	3
3.2.	INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	3
3.3.	CALCOLO DELLE PORTATE.....	4
3.3.1.	Pluviografia	5
3.3.2.	Caratteristiche del bacino idrografico.....	6
3.3.3.	Stima del tempo di corrivazione	8
3.3.4.	Perdite idrologiche	8
3.3.5.	Portate di piena.....	11
4.	STUDIO IDRAULICO	13
4.1.	Premessa.....	13
4.2.	Ipotesi di tracciato del canale	13
4.3.	Dimensionamento idraulico.....	14
4.3.1.	Dati di progetto	16
4.4.	Risultati.....	18
5.	DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI.....	21
5.1.	Riqualficazione ambientale del Canale Pandi.....	21
5.1.1.	IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE.....	22
5.1.2.	DIMENSIONI DEL CANALE	23
5.1.3.	OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE	24
5.1.4.	REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI	26
5.1.5.	ATTRAVERSAMENTI STRADALI.....	26
5.1.6.	PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA.	30
5.1.7.	DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI.....	30

Tavole

Tavola 01 - Planimetria e bacino imbrifero del canale Pandi;

Tavola 02 - Planimetria canale Pandi su tavola interventi;

Tavola 03 - Profilo longitudinale del canale in progetto;

Tavola 04 - Sezioni tipo del canale in progetto.

1. PREMESSA E SOMMARIO

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa.

Le funzioni di tale opera saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

La presente relazione illustra le attività di analisi idrologica e idraulica e di progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Saranno esposte le metodologie di calcolo, i risultati delle elaborazioni eseguite per determinare le portate massime per vari tempi di ritorno e i risultati del dimensionamento idraulico del nuovo canale previsto.

Le due fasi di studio sono, quindi, propedeutiche alla progettazione del nuovo canale.

La presente relazione è formata da tre parti: nella prima si affronta il tema dell'analisi idrologica finalizzata al calcolo della portata di progetto; nella seconda parte si illustrano le metodologie e i risultati del calcolo idraulico per il dimensionamento del canale; infine, nella terza parte, si descrivono le opere previste nel progetto.

La relazione è accompagnata da 4 tavole progettuali che consentono una migliore comprensione del complesso delle opere previste.

2. INQUADRAMENTO GENERALE

2.1. LOCALIZZAZIONE DELL'AREA

Il progetto è localizzato in un'area prevalentemente agricola a sud dello stabilimento di Brindisi.

In particolare il canale Pandi ha un percorso sud-nord e sfocia attualmente nell'Oasi protetta litoranea alla costa.

La morfologia dell'area è caratterizzata da una variazione altimetrica di pochi metri: il bacino imbrifero del canale Pandi ha una differenza di quota di circa 16 metri per uno sviluppo di oltre 4 km.

Nella figura 2.1.1 è riportato l'inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

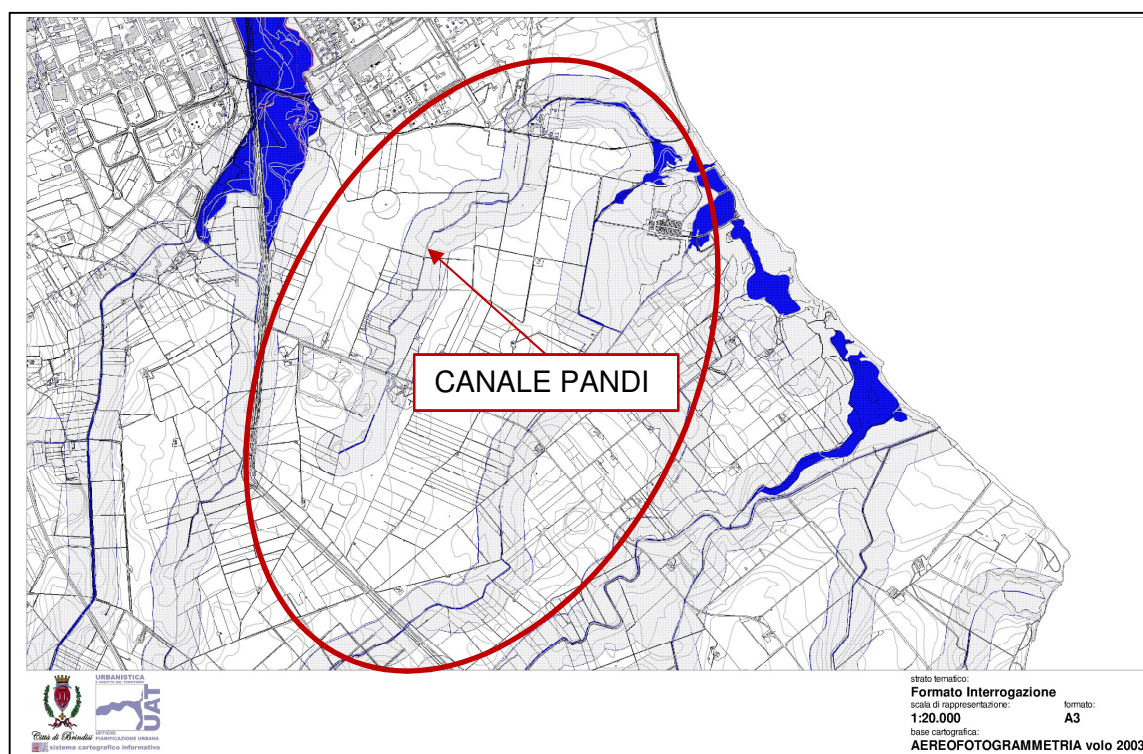


Figura 2.1.1 - Inquadramento dell'area sulla carta tecnica del comune di Brindisi.

3. STUDIO IDROLOGICO

3.1. PREMESSA

Il presente studio idrologico è finalizzato alla valutazione delle portate massime per assegnati tempi di ritorno **T** del bacino del canale Pandi in funzione della prevista realizzazione di una deviazione di un tratto del canale funzionale al miglioramento ambientale dell'area. In particolare la portata caratterizzata dal tempo di ritorno **T** di 100 anni sarà adottata quale portata di progetto per il dimensionamento della sezione del tratto in variante del canale Pandi.

Fissata la portata di piena di progetto (nel caso specifico definita per $T = 100$ anni) è, quindi, possibile implementare il modello di calcolo per dimensionare le sezioni trasversali del nuovo tratto del canale Pandi e le opere idrauliche diffuse (es. protezione delle sponde) e puntuali (es. protezione sbocchi e imbocchi) eventualmente necessarie.

Le portate di piena sono state calcolate relative ai tempi di ritorno **T** pari a 5, 10, 20, 50, 100 e 500 anni.

Non avendo a disposizione misure dirette di portata, il calcolo dei valori di piena è stato effettuato per mezzo del Metodo Razionale che consente di determinare la portata conoscendo la pioggia che l'ha generata, oltre ai parametri geomorfologici del bacino in esame.

La pioggia è definita attraverso la curva di possibilità pluviometrica (o climatica) che rappresenta il legame tra la durata e l'altezza della precipitazione.

Nota la curva di possibilità pluviometrica, si devono valutare:

- l'altezza di pioggia critica (definita come l'altezza di pioggia per la quale si ha, per un dato bacino imbrifero, il massimo della portata nell'ipotesi che questa abbia lo stesso tempo di ritorno della pioggia che l'ha generata);
- le perdite idrologiche che, nei bacini naturali e nel caso di modelli di piena, sono dovute essenzialmente ai fenomeni di infiltrazione. Le perdite sono state definite per mezzo del coefficiente d'afflusso ϕ funzione delle caratteristiche del suolo (la sua permeabilità).

3.2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio studiato si trova in comune di Brindisi ed è situato sud dello Stabilimento di Brindisi.

Il canale Pandi segue una direzione sud-nord e attraversa per il tratto di monte un'area di terreni agricoli per poi entrare lambire il margine sud dell'area Micorosa e sboccare nell'oasi protetta da

nord. La lunghezza complessiva è di oltre 3 km e la sezione è naturale in terra ad eccezione dei brevi tratti di attraversamento della viabilità.

Si riporta di seguito uno stralcio della corografia su Carta Tecnica del Comune (SIT Comune di Brindisi) con indicazione dell'area oggetto dell'intervento.

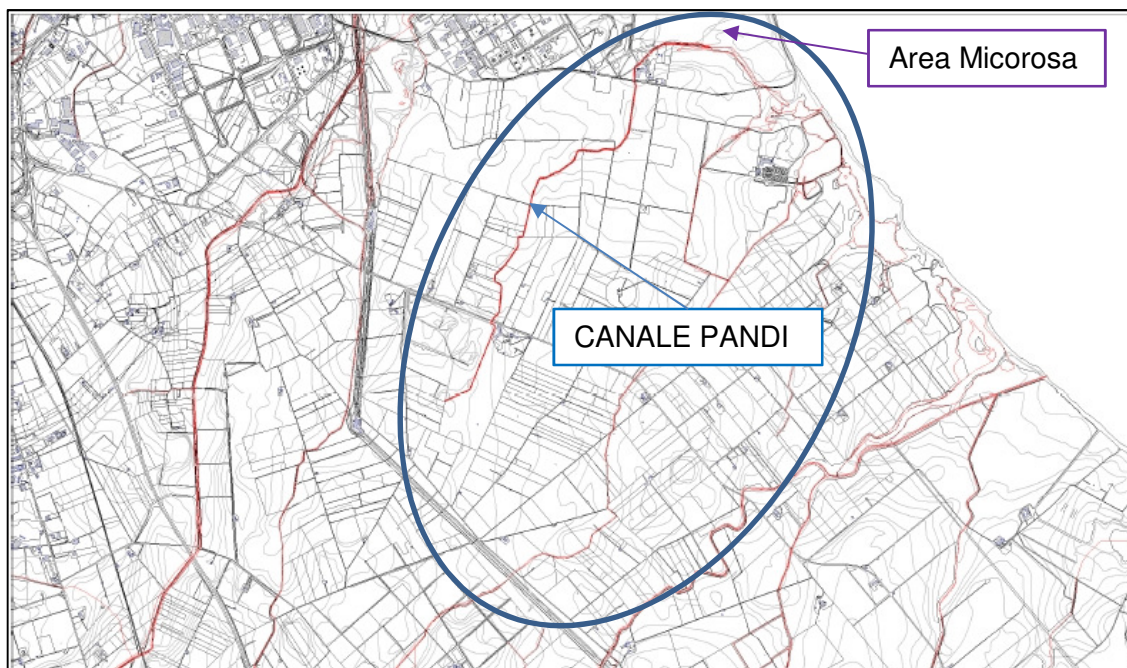


Figura 3.2.1 – Corografia (Carta Tecnica del comune di Brindisi).

3.3. CALCOLO DELLE PORTATE

Le portate di piena sono state calcolate considerando diversi tempi di ritorno ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni) e tra queste è stata individuata quella relativa al tempo di ritorno 100 anni quale portata di progetto della sezione del nuovo tratto di canale.

Il calcolo della portata massima in corrispondenza delle sezioni di chiusura è stato eseguito mediante la formula Razionale definita attraverso la semplice relazione:

$$Q_{\max}(t, T) = \frac{C \times i_r(t, T) \times S}{3.6} \quad (3.1)$$

in cui:

- C è un coefficiente che tiene conto delle perdite idrologiche e della capacità di laminazione del bacino. Nel caso in esame si è considerata nulla la capacità di laminazione del bacino e il coefficiente C corrisponde al coefficiente d'afflusso;
- ir è l'intensità di pioggia ragguagliata funzione del tempo di ritorno (T) e della durata critica della precipitazione (t) (in mm/ora). La durata critica è assunta uguale al tempo di corrivazione T_c (ore) del bacino;
- S è la superficie del bacino (in km^2).

La formula razionale assume la precipitazione uniformemente distribuita nello spazio e nel tempo. Si fonda sull'uso delle curva di possibilità climatica della pioggia ragguagliata all'area e sulle tre seguenti assunzioni fondamentali:

- 1) la portata al colmo Q con assegnato tempo di ritorno T sia la maggiore tra le portate al colmo di tutti gli eventi di piena a intensità costante ricavati dalla curva di possibilità climatica con tempo di ritorno T ;
- 2) a parità di tempo di ritorno T , la portata al colmo maggiore sia prodotta dall'evento con durata uguale al tempo di corrivazione del bacino;
- 3) la portata al colmo Q dell'evento di piena causato da una precipitazione rappresentata da un ietogramma a intensità costante di durata T_c sia proporzionale al prodotto dell'intensità di pioggia ragguagliata ir e dell'area del bacino A , attraverso un coefficiente di proporzionalità C che comprende l'effetto delle perdite idrologiche.

La prima assunzione è comune ad altri metodi ed abbastanza aderente alla realtà. Le ultime due assunzioni si possono giustificare schematizzando opportunamente il fenomeno della trasformazione.

3.3.1. PLUVIOGRAFIA

L'intensità di pioggia i è ricavata dalla curva di possibilità climatica che rappresenta il legame tra l'altezza di precipitazione h (mm) e la durata t (h) della precipitazione stessa dato un certo tempo di ritorno T (anni).

$$h = a \times t^n \quad (3.2)$$

e

$$i = a \times t^{(n-1)} \quad (3.3)$$

Le curve di possibilità climatica di riferimento sono state desunte dalla "Relazione di Settore: Geologia e Idrogeologia del Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale" a cui si rimanda maggiori approfondimenti in merito alla metodologia di calcolo delle curve.

I valori dei parametri a ed n per i tempi di ritorno presi in considerazione sono i seguenti:

T	a	$n (t > 1h)$
5	42.5	0.198
10	51.6	0.198
20	61.3	0.198
50	75.2	0.198
100	86.6	0.198
500	113.9	0.198

Tabella 3.3.1 - Valori di a e n per i tempi di ritorno $T = 5, 10, 20, 50, 100$ anni e durata della precipitazione maggiore di 1 ora.

3.3.2. CARATTERISTICHE DEL BACINO IDROGRAFICO

Il calcolo delle portate massime è stato eseguito nella situazione di progetto considerando l'intero bacino idrografico (Tavola 01 allegata fuori testo) chiuso alla sezione di nuova immissione nelle aree umide presenti a est del canale.

Tutte le grandezze geo-morfologiche utili per la determinazione delle portata al colmo di assegnato tempo di ritorno sono state desunte dalla Carta Tecnica del comune di Brindisi (anno 2003).

Di seguito si riportano le principali caratteristiche morfologiche e geometriche del bacino.

A (km ²)	L (km)	H_m (m s.l.m.)	H_0 (m s.l.m.)	i (m/m)	p (m/m)
2.15	3.14	8.5	1	0.0048	0.0067

Tabella 3.3.2 - Caratteristiche geometriche del bacino. (A = area del bacino, L =lunghezza dell'asta, H_m = altezza media del bacino riferita alla sezione di chiusura, H_0 = altezza alla sezione di chiusura), i = pendenza media del canale Pandi, p = pendenza media dei versanti.

Il bacino è caratterizzato dai seguenti parametri di forma:

- 1) rapporto di forma R_f (Horton, 1932) (Moisello, 1998) rapporto tra l'area del bacino e il quadrato della lunghezza dell'asta principale = 0.218;
- 2) rapporto di allungamento R_a (Schumm, 1956) (Moisello, 1998) rapporto tra il diametro di ugual area del bacino e la lunghezza dell'asta principale = 0.527.

Nella figura 3.3.1 è individuato il bacino idrografico del nuovo canale Pandi.

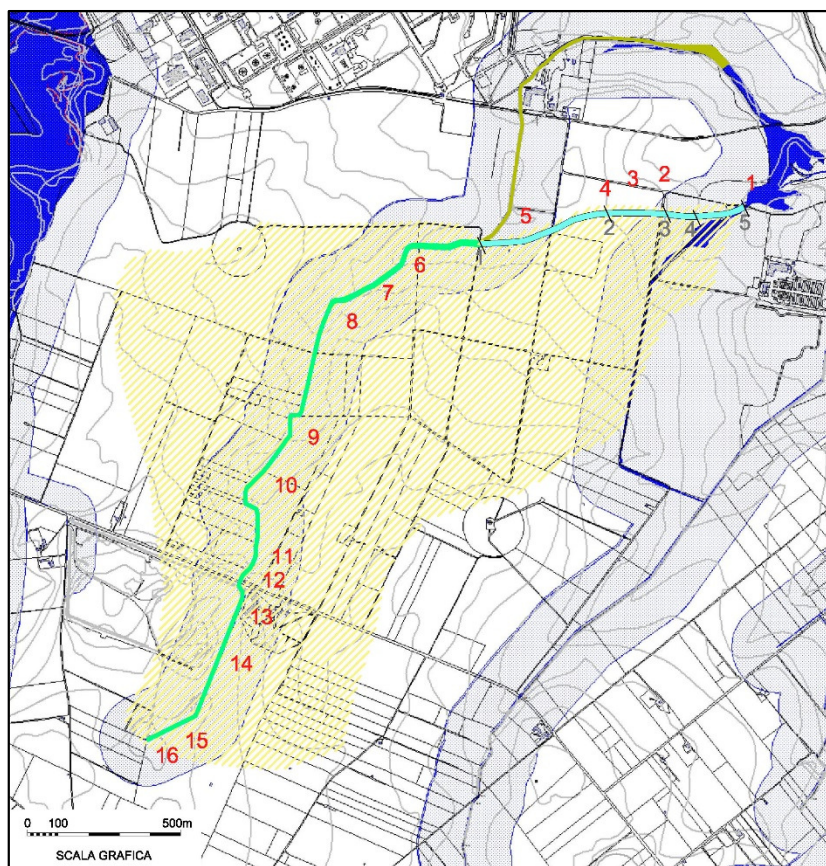


Figura 3.3.1 - Estratto della Tavola 01 – Carta del Bacino imbrifero del nuovo canale Pandi.

3.3.3. STIMA DEL TEMPO DI CORRIVAZIONE

Come visto precedentemente, la portata è funzione della precipitazione di durata critica che per ipotesi è posta uguale a tempo di corrivazione del bacino chiuso alla sezione di calcolo.

Tale parametro, è specifico di ogni bacino e rappresenta il tempo che la particella di acqua più lontana dalla sezione di chiusura del bacino impiega ad arrivare alla sezione di chiusura stessa.

Ovviamente, il tempo di corrivazione non può essere conosciuto con precisione, tuttavia esistono diversi metodi empirici per la sua determinazione. Si è scelto di adottare il metodo di Tournon, valido per piccoli bacini. La formula assume la forma:

$$T_c = 0.396 \frac{A^{0.72} \times r^{0.36}}{L^{0.44} \times i^{0.5}} \quad (3.4)$$

dove:

- T_c tempo di corrivazione (ore);
- A area del bacino (km^2);
- L lunghezza dell'asta principale (km);
- i pendenza della rete di drenaggio (m/m) (qui considerata come pendenza del canale Pandi);
- $r = i/p$ rapporto tra la pendenza della rete e la pendenza media dei versanti.

Il tempo di corrivazione del bacino in esame vale 5.30 h.

3.3.4. PERDITE IDROLOGICHE

Le perdite idrologiche sono rappresentate in misura globale attraverso il coefficiente d'afflusso φ . La sua determinazione è però molto delicata, in quanto dipende dalle caratteristiche del terreno di infiltrabilità, percolazione, ritenzione e variano anche in funzione dell'intensità di pioggia e della sua durata.

Un metodo per stimare il coefficiente φ è mediante il numero di curva. In tal caso:

$$\varphi = \frac{H_n}{H} \quad (3.5)$$

Si definisce, mediante apposite tabelle dell'USSCS il numero di curva CN, in funzione dell'uso del suolo, del tipo di drenaggio delle condizioni idrologiche e del tipo di terreno. Si ricava quindi la capacità di ricarica del terreno F_s , che rappresenta l'altezza di pioggia immagazzinabile nel terreno:

$$F_s = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (3.6)$$

Il metodo del numero di curva ipotizza che il deflusso diretto abbia inizio solo dopo che si è verificata una perdita iniziale:

$$I_a = 0,2 \times F_s \quad (3.7)$$

$$H_n = \frac{H - F_s^2}{H + 0,8 F_s} \quad (3.8)$$

Ricavata l'altezza di pioggia netta, la si divide per quella raggiunta e si ottiene il valore del coefficiente d'afflusso ϕ .

Poiché il bacino è di dimensioni contenute si è ritenuto di porre il coefficiente di ragguaglio all'area pari a 1.

Il Soil Conservation Service degli Stati Uniti (SCS) ha caratterizzato la permeabilità dei terreni con un numero, "Runoff Curve Number", compreso tra 0 e 100 ed ha indicato come questo vada variando, per un assegnato grado di umidità del terreno, in funzione del tipo di suolo, di uso del suolo, delle pratiche agricole ivi adottate e delle condizioni di drenaggio. Esso decresce all'aumentare della permeabilità del suolo, con valore 100, per un suolo completamente impermeabile, e con valore 0, per un suolo totalmente permeabile. Recentemente si è effettuato uno studio che ha permesso di riferire i valori di CN a colture più tipicamente italiane.

Si riportano di seguito le tabelle utilizzate per il calcolo del CN. Tali tabelle mettono in relazione le unità idrogeologiche della Regione Campania con quelli individuati del SCS, e le classi di copertura proposte dal SCS e l'uso del suolo dell'I.N.E.A.. Sono ivi riportate solo sette delle dieci classi di uso del suolo indicate dal SCS poiché solo per queste esiste la corrispondenza con la Carta dell'Utilizzazione Agricola del suolo dell'I.N.E.A..

Land use or cover (SCS, 1972) Uso del Suolo	Uso del Suolo (I.N.E.A.)
Row crops (Colture a solchi)	Colture temporanee associate a colture permanenti
	Frutteti e frutti minori non irrigui
	Frutteti e frutti minori irrigui
	Vigneti irrigui
	Vigneti non irrigui
Close-seeded legumes or rotation meadow (Legumi seminati folti o prati in rotazione)	Colture erbacee da pieno campo a ciclo primaverile estivo
	Colture orticole a ciclo estivo-autunnale/primaverile
	Colture orticole a ciclo primaverile-estivo
Pasture or range (Pascoli)	Prati stabili non irrigui
	Prati stabili irrigui
Meadow (Prati permanenti)	Seminativi in aree non irrigue
	Sistemi culturali e particellari complessi
Woodlands (Boschi)	Zone boscate
	Aree agroforestali
	Oliveti irrigui
	Oliveti non irrigui
Farmsteads (Aziende agricole)	Aree agricole con presenza di spazi naturali
Roads, hard-surface (Strade pavimentate e aree praticamente impermeabili)	Aree urbane
	Bacini di acqua
	Colture in serra e sotto plastica
	Risaie
	Zone umide

Tabella 3.3.3 – Corrispondenza tra classi di copertura SCS e l'uso del suolo I.N.E.A.

In base alle tabelle 3.3.3 e 3.3.4 i suoli vengono classificati dal punto di vista della possibilità di infiltrazione in quattro gruppi:

- A: suoli con elevato tasso d'infiltrazione
- B: suoli con un moderato tasso d'infiltrazione
- C: suoli con un basso tasso d'infiltrazione
- D: suoli con un bassissimo tasso d'infiltrazione

Le caratteristiche di permeabilità della zona in esame sono da ritenere appartenenti al gruppo B – suoli con un moderato tasso d'infiltrazione.

Uso del Suolo	Drenaggio	Condizioni Idrologiche	Numero di Curva			
			Tipo di terreno A B C D			
RESIDENZIALE						
Zone urbane e	Area imp. 85%		89	92	94	95
Zone industriali	Area imp. 72%		81	88	91	93
Case a schiera	Area imp. 65%		77	85	90	92
Ville	Area imp. 25%		54	70	80	85
Parcheggi			98	98	98	98
Parchi	Cop. a verde 75 %		39	71	74	80
Strade pavimentate	Cunette e fognatura		98	98	98	98
Strade in macadam			76	85	89	91
Strade Sterrate			72	82	87	89
AGRICOLO						
Prato stabile			77	86	91	94
Seminativo	Solchi a rittochino	cattive	65	76	84	88
Seminativo	Solchi a rittochino	buone	63	75	83	87
Seminativo	Solchi a traversochino	cattive	63	74	82	85
Seminativo	Solchi a traversochino	buone	61	73	81	84
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	cattive	61	72	79	82
Seminativo	Terrazzato (a striscie)	buone	59	70	78	81
Pascolo		cattive	68	79	86	89
Pascolo		discrete	49	69	79	84
Pascolo		buone	39	71	64	80
Erbaio			30	58	71	78
Terreno Boschivo		cattive	45	66	77	83
Terreno Boschivo		discrete	36	60	73	79
Terreno Boschivo		buone	25	55	70	77

Tabella 3.3.4 – Valori del numero di curva (Runoff Curve Number) per la classe II di umidità iniziale

Nell'ipotesi che il suolo sia coltivato si è stabilito un valore del **CN uguale a 75**.

3.3.5. PORTATE DI PIENA

In funzione della precipitazione critica e delle perdite idrologiche (determinate attraverso il coefficiente ϕ) sono state calcolate le portate massime nella sezione di chiusura del bacino ($T = 5, 10, 20, 50, 100$ e 500 anni), utilizzando la formula 3.1.

<i>T</i>	(anni)	5	10	20	50	100	500
φ	(--)	0.24	0.30	0.36	0.43	0.47	0.59
H	(mm)	59.1	71.8	85.3	104.6	120.5	158.5
<i>Q</i>	(m³/s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella 3.3.5 – Portate di piena riferite ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio.

- T tempo di ritorno,
- φ coefficiente d'afflusso calcolato in funzione di CN,
- H altezza di pioggia per la durata critica pari a 5.30 ore,
- Q portata massima.

La portata **Q_p** di dimensionamento idraulico delle sezioni del canale in progetto e quella caratterizzata dal tempo di ritorno **$T = 100$** anni ed è uguale a **$6.41 \text{ m}^3/\text{s}$** .

4. STUDIO IDRAULICO

4.1. PREMESSA

Nel presente capitolo della relazione si espongono la metodologia e i risultati del calcolo della sezione idraulica del nuovo tratto del canale Prandi compatibile con la portata di piena di progetto caratterizzata dal tempo di ritorno 100 anni.

Viste le caratteristiche considerevolmente omogenee del tracciato del canale in progetto, si è prevista un'unica tipologia di sezione e quindi il calcolo della capacità è stato eseguito per determinare in modo univoco le caratteristiche geometriche.

La portata di dimensionamento è stata calcolata attraverso un'analisi idrologica i cui risultati sono riportati nel capitolo precedente. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 4.1.1.

T	(anni)	5	10	20	50	100	500
Q	(m ³ /s)	1.58	2.43	3.43	5.02	6.41	10.43

Tabella. 4.1.1 – Portate di piena relative ai diversi tempi di ritorno considerati nello studio idrologico.

4.2. IPOTESI DI TRACCIATO DEL CANALE

Nella figura 4.2.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 di progetto nella quale è identificato il percorso del nuovo canale Pandi nell'ipotesi progettuale proposta.

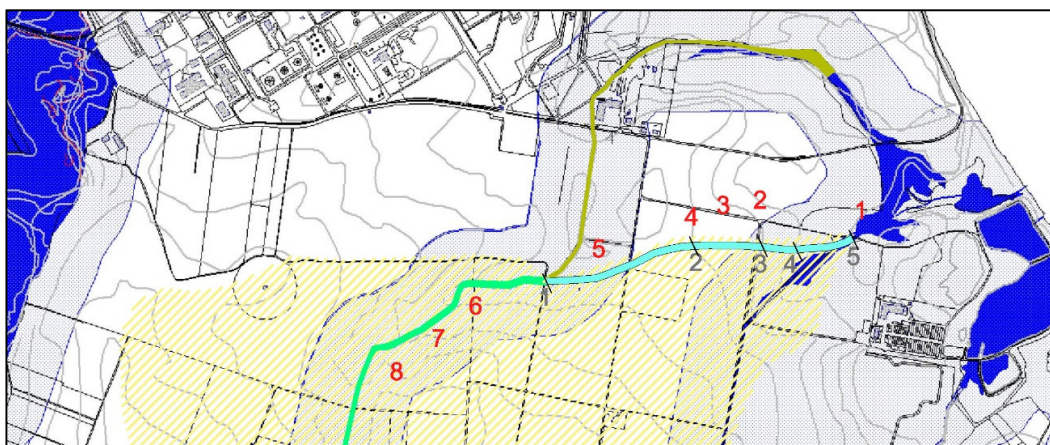


Figura 4.2.1 - Tracciato del canale in progetto (in colore ciano) (estratto della Tavola 1 allegata al progetto).

Il percorso è leggermente sinuoso per seguire nella misura migliore l'andamento altimetrico del terreno e affinché attraversi solamente i terreni di proprietà Syndial.

Lo sbocco del canale avviene in corrispondenza della zona umida esistente (in blu nella figura) che raccorda con l'Oasi protetta.

4.3. DIMENSIONAMENTO IDRAULICO

In questo paragrafo è riportato il dimensionamento idraulico della sezione della deviazione del canale Pandi.

La forma e la dimensione delle sezioni dei canali deve rispondere alle seguenti esigenze:

- consentire il trasferimento della portata lungo tutto il percorso rispettando il franco di sicurezza assegnato;
- essere stabile, cioè mantenere la sua forma e dimensione resistendo all'azione di trascinamento esercitata sul contorno dal passaggio della portata;
- rispettare le esigenze economiche di minimizzare il costo complessivo di costruzione e gestione.

Il dimensionamento è stato eseguito utilizzando la formula di Chezy, valida nell'ipotesi di moto uniforme (le variabili idrauliche sono costanti nel tempo e nello spazio):

$$Q = A \times \chi \times \sqrt{R \times i} \quad (4.1)$$

dove:

Q: portata di dimensionamento (m³/s);

A: area bagnata (m²);

χ : coefficiente dimensionale di Chezy (m^{1/2} s⁻¹);

R: raggio idraulico (m) = al rapporto tra l'area bagnata e il contorno bagnato (A/C);

i: pendenza del fondo del canale (m/m).

Solitamente per esprimere χ si utilizzano formule di tipo monomio; le più usate sono quella di Gauckler-Strickler.

$$\chi = K \times R^{1/6} \quad (4.2a)$$

e quella di Manning, del tutto equivalente,

$$\chi = \frac{1}{n} \times R^{1/6} \quad (4.2b)$$

I valori di K (o di n) dipendono dalle caratteristiche del contorno.

Ottimizzare la forma della sezione, dal punto di vista dell'efficienza idraulica, significa trovare quella che, a parità di area, ha il minimo contorno bagnato, cioè il massimo raggio idraulico. Per sezioni aperte la forma è quella semicircolare, ma la difficoltà di realizzare in modo semplice questa forma e soprattutto di mantenerla nel tempo fa sì che essa, in pratica, non sia mai utilizzata.

La forma comunemente utilizzata è invece la trapezia (isoscele) definita mediante due parametri:

- la larghezza di cunetta (base minore) **b**, che costituisce il fondo;
- la pendenza delle sponde, individuata dalla tangente dell'angolo **θ** formato con l'orizzontale, o dalla scarpa **s = dx/dy = ctg(θ)**.

La scarpa delle sponde dipende dalle caratteristiche del terreno nel quale verrà scavato il canale, in pratica dal suo angolo di attrito interno ϕ che ne definisce la resistenza al taglio. Una pendenza della sponde a cui corrisponda un valore di θ superiore a ϕ comporta l'instabilità della sponda. L'angolo di attrito interno dipende dalla forma e dalla dimensione delle particelle (definita dalla granulometria), che definisce la loro interconnessione e l'attrito tra di esse, e dalla coesione. La resistenza al taglio dipende poi fortemente dall'umidità del terreno. Un esempio di valori massimi consigliati per la scarpa dei canali in terra è rappresentato in Tabella 4.3.1.

Natura del terreno	s = dx/dy
sabbioso- argilloso	3/1
medio impasto-limoso	2/1
medio impasto-argilloso	1.5/1
argilloso	1/1

Tabella 4.3.1 - Valore massimo consigliato dall'USBR per la scarpa s dei canali in terra di sezione trapezia (da Withers e Vipond).

4.3.1. DATI DI PROGETTO

Come visto in precedenza, la portata di progetto della sezione del canale è quella con tempo di ritorno 100 anni derivata dallo studio idrologico. La portata è uguale a $6.41 \text{ m}^3/\text{s}$.

La forma della sezione è stata scelta trapezia isoscele con base minore b pari a 3.0 m e scarpa s pari a 1/1.

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altra per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

Il valore della scarpa è maggiore rispetto a quello relativo ad un suolo di tipo sabbioso argilloso indicato nella tabella precedente; tuttavia per evitare larghezze superficiali eccessive e dovendo comunque prevedere un'impermeabilizzazione del contorno del canale con funzione anche di rinforzo si è scelto il valore di progetto indicato.

Il valore dell'indice di scabrezza n è stato assunto pari a $0.03 \text{ (m}^{1/2} \text{ s}^{-1})$ valido per canali in terra con un rivestimento che non impedisce la crescita della vegetazione (ad esempio geogriglie).

La pendenza i del fondo del canale è stata posta uguale a 0.0045 m/m che rappresenta il valore medio del tratto. Nella figura 4.3.1 si riporta il profilo longitudinale del terreno e del fondo del canale.

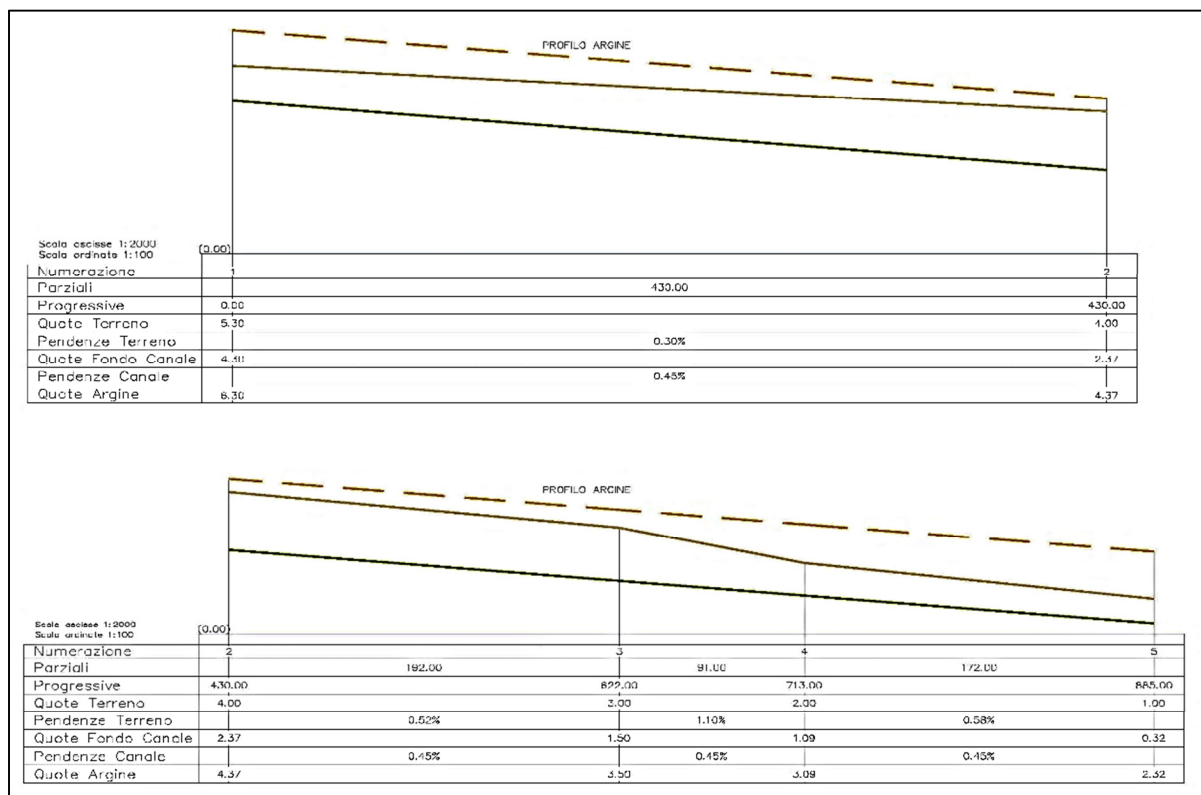


Fig. 4.3.1 – Profilo nell'ipotesi analizzata di pendenza del canale uguale alla pendenza media del terreno.

Nella tabella 4.3.2 seguente sono riassunti i dati di dimensionamento e verifica idraulica del canale.

Q	(m ³ /s)	6.41	portata
b	(m)	3.00	larghezza base minore
n	(m ^{-1/2} s ¹)	0.033	indice di scabrezza di Manning
i	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
p	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 4.3.2 – Dati di progetto del canale.

4.4. RISULTATI

I risultati del dimensionamento della deviazione del canale Pandi sono riassunti nella tabella 4.4.1 seguente:

Q	(m ³ /s)	5.99	portata
h	(m)	1.01	altezza d'acqua
A	(m ²)	4.04	area bagnata
C	(m)	5.85	contorno bagnato
R	(m)	0.69	raggio idraulico
L	(m)	5.01	larghezza superficiale
V	(m/s)	1.59	velocità media
Fr	(--)	0.56	numero di Froude
τ	(N/m ²)	30.46	sforzo tangenziale medio

Tabella 4.4.1 – Risultati del dimensionamento del canale per la portata con T = 100 anni.

Per la portata di progetto 6.41 m³/s si verifica un'altezza d'acqua h pari a 1.01 m e una velocità media V della corrente uguale a 1.59 m/s. La velocità è compatibile nel caso di impermeabilizzazione e di controllo dell'erosione del contorno della sezione.¹

Nelle seguenti figure 4.4.2a, 4.4.2b e 4.4.2c sono illustrate rispettivamente la scala delle portate del canale, la scala delle velocità e la scala degli sforzi tangenziali medi alla parete dovuti alla corrente considerata esclusivamente liquida e quindi priva di materiale solido.

Dalla figura 4.4.2a è possibile determinare l'altezza d'acqua per le portate calcolate per i diversi tempi di ritorno scelti. Per $T = 10$ anni la portata è uguale a 2.43 m³/s e l'altezza d'acqua corrispondente ricavata dal grafico di figura 4.4.2a è uguale a circa 0.60 m. Dalla figura 4.4.2b si ricava la velocità media della corrente uguale a circa 1.20 m/s.

¹ Come valori medi indicativi per V_{max} si può assumere un limite superiore di $0.6 \div 0.8$ (ms⁻¹) per canali in terra e di $1.8 \div 2$ (ms⁻¹) per canali rivestiti

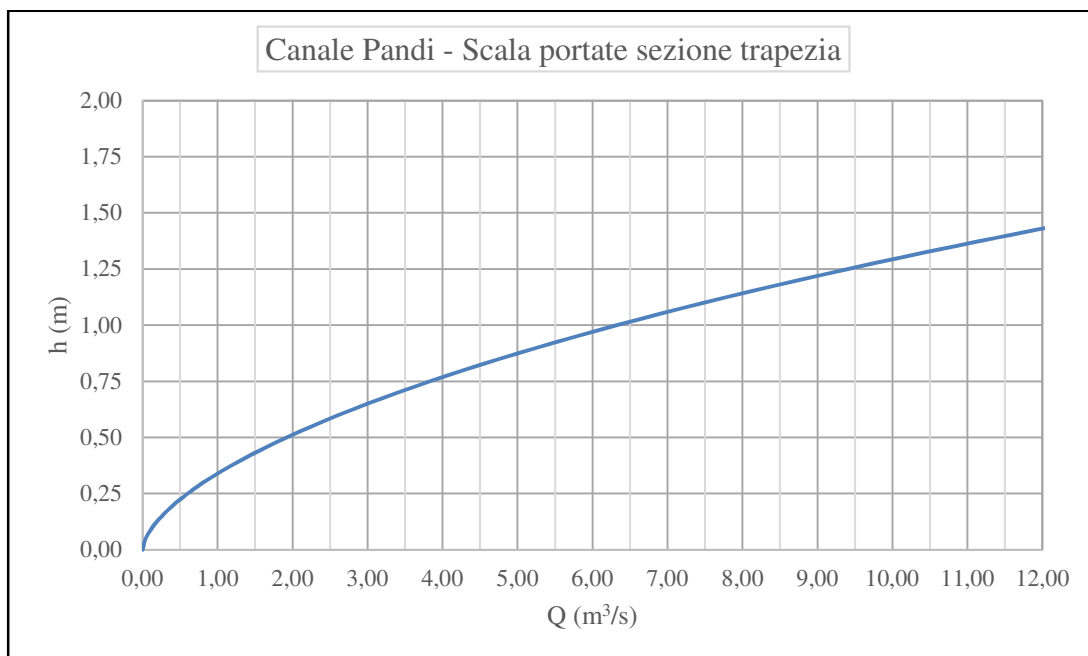


Figura 4.4.2 a – Scala delle portate di moto uniforme.

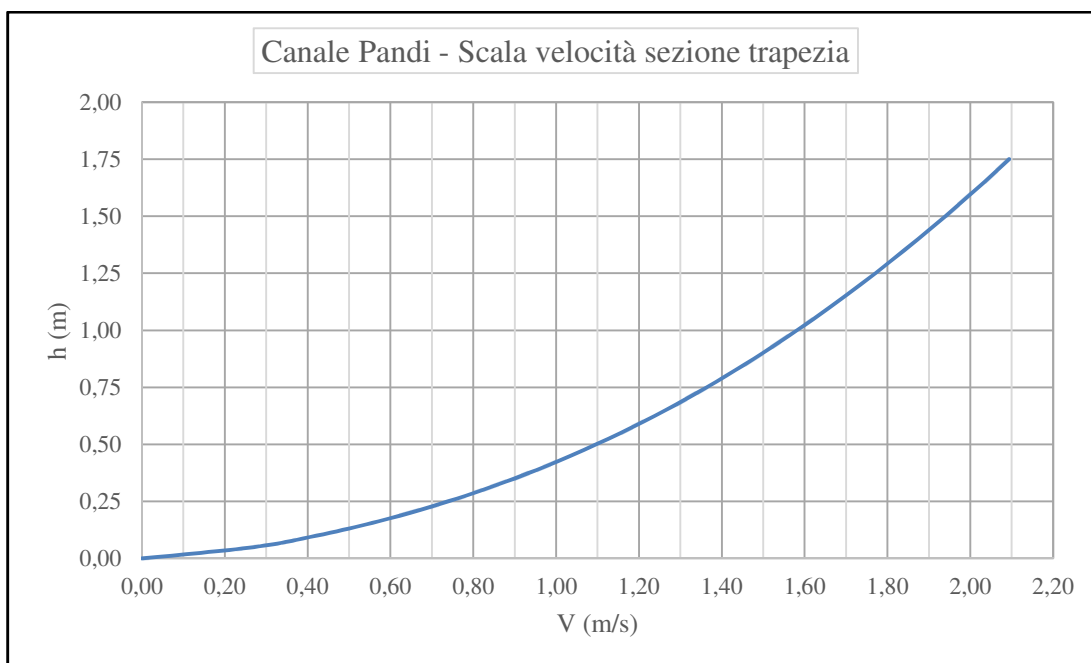


Figura 4.4.2 b – Scala delle velocità medie.

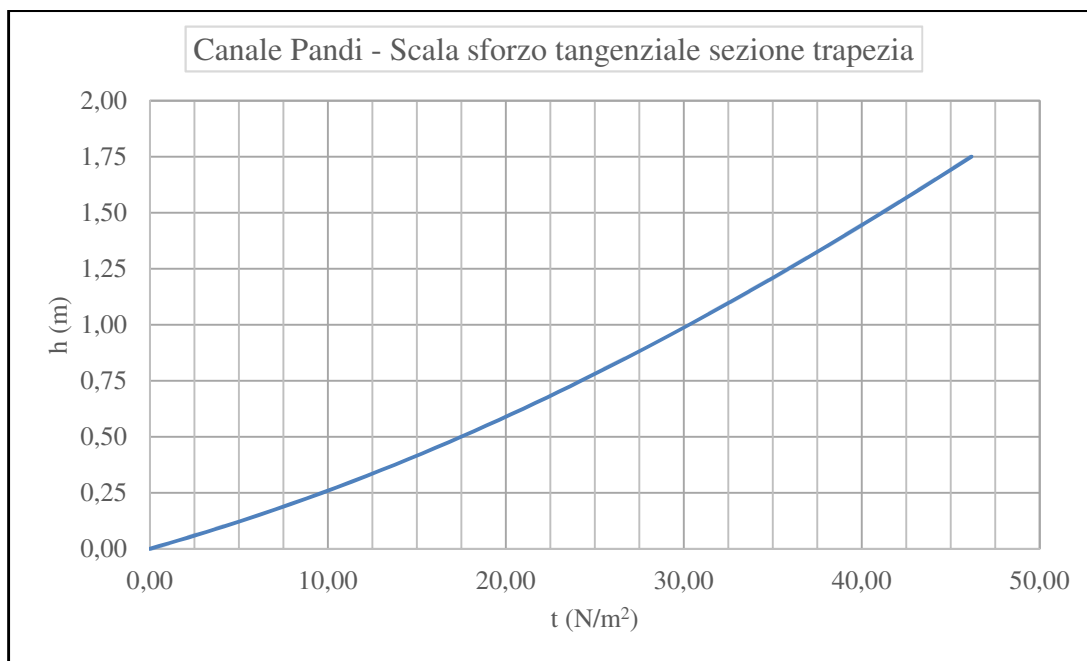


Figura 4.4.2 c – Scala degli sforzi tangenziali alla parete

5. DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI

5.1. RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE DEL CANALE PANDI

Al fine di preservare l'integrità ambientale dell'area protetta e di poter procedere al recupero ambientale del tratto di canale artificiale del Pandi, è previsto il reinserimento ambientale di questo corso d'acqua tramite un'azione di isolamento e tombatura della porzione impattata ed il ricollegamento diretto tra la porzione a monte dell'area Micorosa e quella di valle, attraverso la deviazione del canale a Sud dell'area Micorosa

Le funzioni di tale opera di deviazione saranno:

- evitare che le acque di ruscellamento della discarica Micorosa vengano ancora a contatto con il canale Pandi.
- permettere alle acque superficiali pulite provenienti dalla pianura retrostante le proprietà Syndial di alimentare naturalmente l'Oasi protetta.

Nel presente paragrafo sono illustrati i punti salienti della progettazione della deviazione del canale Pandi e delle opere connesse.

Le dimensioni del canale e delle opere connesse derivano dai risultati delle analisi idrologica e idraulica che sono illustrate nel dettaglio negli specifici capitoli della relazione specialistica idrologica-idraulica.

Gli interventi previsti nell'ambito della riqualificazione del canale Pandi sono i seguenti:

1. Realizzazione del nuovo alveo del canale Pandi:

- a. Scavo del canale in terra.
- b. Posa in opera del telo impermeabile bentonitico.
- c. Posa in opera della geogriglia antierosiva.
- d. Formazione degli argini in terra lungo entrambe le sponde per garantire il franco idraulico di 1 metro rispetto al livello della piena con tempo di ritorno 100 anni. Gli argini saranno formati utilizzando il materiale di scavo del canale.
- e. Realizzazione delle opere di protezione dello sbocco nella zona umida.
- f. Realizzazione di due manufatti di attraversamento delle strade esistenti: i ponti potranno essere realizzati mediante la posa in opera di strutture scatolari prefabbricate in c.a. oppure in lamiera zincata tipo "finsider".

2. Chiusura del tratto di valle del canale Pandi. La chiusura potrà essere effettuata mediante il tombamento con materiale terroso.

5.1.1. IPOTESI DI TRACCIATO DELLA DEVIAZIONE

Nella figura 5.1.1 seguente è riportato un estratto della Tavola 01 allegata fuori testo con l'identificazione dell'ipotesi di percorso del tratto del canale Pandi.

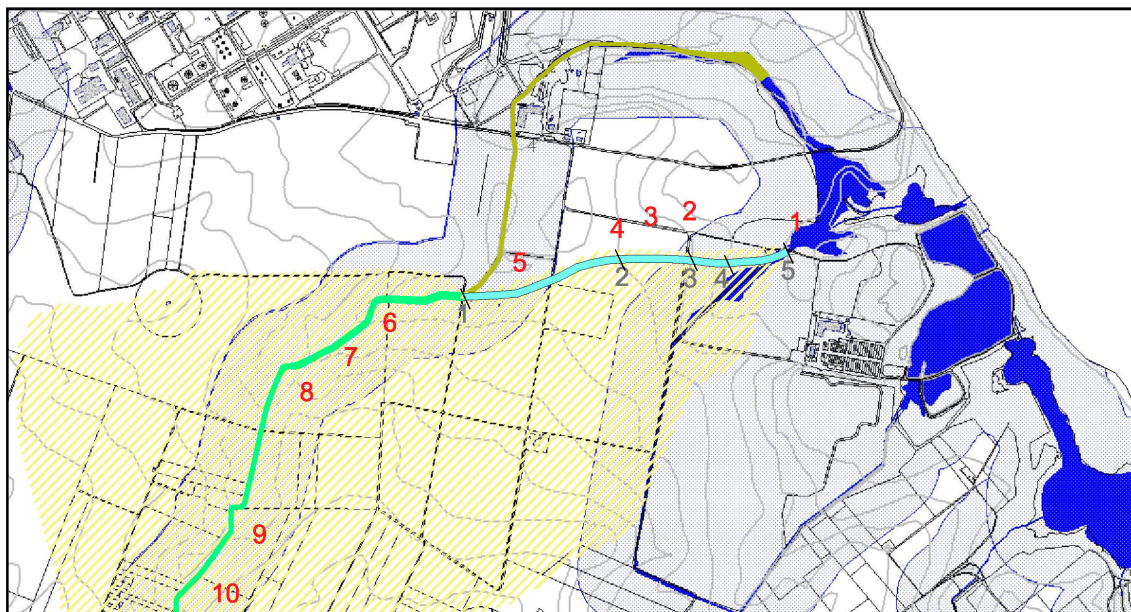


Figura 5.1.1- Estratto della Tavola 01 con il tracciato del canale in progetto (in colore ciano).

Il canale ha origine in corrispondenza della sezione (identificata con il numero 1) in cui l'attuale canale Pandi effettua una curva a circa 90° passando da una direzione ovest-est a una direzione sud-nord. Il nuovo alveo del canale avrà inizio immediatamente a valle dell'attuale attraversamento della strada esistente e sbocca nella zona umida esistente (indicata in blu nella figura e nella Tavola 01) dopo circa 900 metri.

Il tracciato previsto non interferisce con le opere progettate, come si vede nella figura 5.1.2, estratto della Tavola 02 di progetto.

Il nuovo canale in progetto attraversa nel suo percorso unicamente i terreni di proprietà Syndial escludendo quindi la necessità di un eventuale acquisizione di nuove aree.

Il canale attraversa due volte una strada della larghezza compresa tra 4 e 5 m. Si prevede, quindi, la posa in opera di due manufatti scatolari in c.a. prefabbricati e il ripristino successivo della sede stradale.

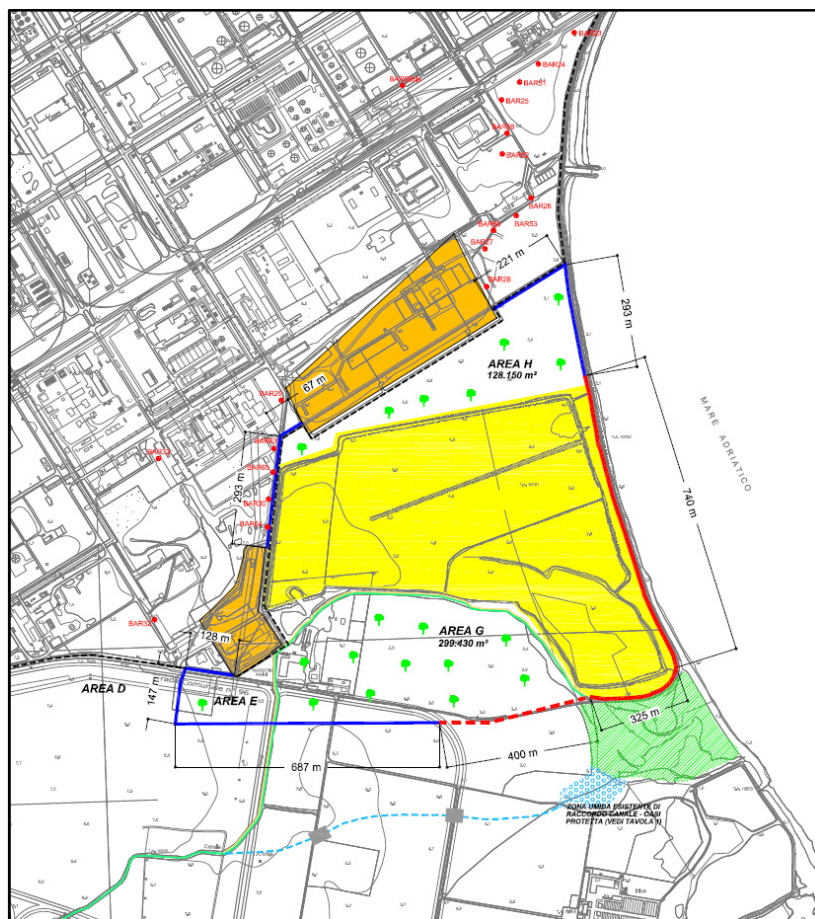


Figura 5.1.2- Percorso del canale in progetto (in colore ciano) inserito nell'ambito della progettazione degli interventi di messa in sicurezza permanente delle aree esterne.

5.1.2. DIMENSIONI DEL CANALE

La sezione del canale è stata progettata per che possa far defluire la portata di progetto con un franco idraulico di almeno 1 metro. La portata di dimensionamento del nuovo canale è stata calcolata attraverso l'analisi idrologica. Le portate calcolate sono riportate nella tabella 5.1.1 seguente:

T (anni)	5	10	20	50	100	500
Q (m³/s)	1.56	2.39	3.38	4.93	6.29	10.22

Tabella 5.1.1 – Portate di piena per i diversi tempi di ritorno

Nella tabella 5.1.2 sono indicati le dimensioni del canale.

Q	(m ³ /s)	6.41	portata
b	(m)	3.00	larghezza base minore
L	(m)	885	lunghezza del canale
i	(m/m)	0.0045	pendenza del fondo
p	(m/m)	1.00	scarpa sponde H/V

Tabella 5.1.2 – Dati di progetto del canale

La scelta della larghezza di base è stata fatta in funzione da un lato di una minore altezza d'acqua connessa con la portata centennale, dall'altro per garantire una sufficiente sezione bagnata in grado di garantire un il deflusso della portata di progetto anche nel caso di crescita della vegetazione in alveo. Questa ipotesi è estremamente cautelativa dal momento che dovrà essere prevista una regolare manutenzione dell'alveo del canale.

La profondità del canale è funzione della pendenza longitudinale (assunta pari alla pendenza media del terreno lungo il percorso stabilito) e dell'altimetria del terreno nel quale è prevista la sua realizzazione. Nella soluzione scelta di pendenza uniforme (0.0045 m/m), si determina una profondità massima di scavo di circa 1.6 m (nella sezione individuata con il numero 2); nel punto di sbocco nella zona umida (indicato con il numero 5) la profondità del canale è circa 0.70 metri. Le quote del fondo scavo sono compatibili con la quota della superficie della falda che nella zona è risultata piuttosto superficiale; tuttavia si ritiene comunque necessario prevedere la realizzazione dello scavo durante la stagione asciutta per evitare la presenza di acqua durante le lavorazioni e la posa di un telo impermeabile sul fondo e sulle sponde per evitare in fase di esercizio il potenziale drenaggio delle acque di falda da parte dell'alveo del canale.

In Tavola 03 allegata fuori testo è riportato il profilo longitudinale del canale in progetto.

Il volume di scavo del canale è stato stimato pari a circa 3970 m³.

Per garantire un franco idraulico non inferiore a 1 m, si prevede di realizzare un'arginatura in terra lungo entrambe le sponde del canale; l'altezza massima del rilevato arginale è uguale a circa di 1.3 m al di sopra del piano campagna. Gli argini saranno realizzati con il materiale derivante dallo scavo del canale stesso.

5.1.3. OPERE DI IMPERMEABILIZZAZIONE E STABILIZZAZIONE DEL CANALE

La falda si trova a poca distanza dal fondo del canale e, in determinate circostanze quali un periodo di maggiore piovosità, si potrebbe verificare l'innalzamento del suo livello freatico. Per evitare in queste evenienze che ci possa essere un contatto con le acque di falda e si possa verificare il drenaggio delle acque di falda si ritiene necessario impermeabilizzare il fondo e le sponde del canale mediante la posa in opera di un telo impermeabile bentonitico. Le caratteristiche del telo bentonitico possono essere le seguenti:

- GCL a base di bentonite sodica costituito da un sandwich di geotessili nontessuti in polipropilene; la bentonite contenuta nel geocomposito avrà un contenuto di umidità non superiore al 12% ed avrà le seguenti caratteristiche minime:
 - contenuto in montmorillonite non inferiore al 70%;
 - assorbimento d' acqua secondo ASTM E946 non inferiore al 700%;
 - rigonfiamento libero secondo ASTM D5890 non inferiore a 24 ml/2 gr;
 - perdita di fluido secondo ASTM D5891 non superiore a 18 ml.

I singoli strati del geocomposito saranno assemblati mediante un sistema continuo di agugliatura meccanica tale da garantire una resistenza allo spellamento (peeling) secondo ASTM D6496 non inferiore a 65 N ed il geocomposito, prodotto in qualità secondo le norme ISO 9001:2000, dovrà garantire le seguenti caratteristiche:

- Permeabilità secondo ASTM D5804 non superiore a 5×10^{-11} m/sec cui corrisponderà una perdita massima di fluido non superiore a 1×10^{-8} mc/mqxsec calcolata secondo le norme ASTM D5887.

La superficie complessiva del GCL è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

La pendenza delle sponde della sezione in terra risulta superiore a quella che è stabile per canali scavati nel materiale di caratteristiche analoghe. Ne deriva la necessità di utilizzare un sistema di stabilizzazione antierosiva delle sponde; si prevede, pertanto, la messa in opera di una geogriglia.

La rete sarà realizzata da un geocomposito adeguatamente fissato composto da una rete metallica a doppia torsione a maglia esagonale e da una geostuoia tridimensionale polimerica compenetrata e rese solidali durante il processo di produzione. La geostuoia potrà avere massa areica minima di 750 g/mq e costituita da due strutture, realizzate in filamenti di polipropilene termosaldati tra loro nei punti di contatto e stabilizzati per resistere ai raggi UV, anch'esse termosaldate nei punti di contatto: quella superiore a maglia tridimensionale con un indice alveolare > 90%, quella inferiore a maglia piatta. La rete metallica a doppia torsione avrà una maglia esagonale tessuta con trafilato di ferro, conforme a quanto previsto dalle "Linee Guida" emesse dalla Presidenza del Consiglio Superiore LL.PP. il 12/05/06. Oltre a tale trattamento il filo sarà ricoperto da un rivestimento di materiale plastico di colore grigio che dovrà avere uno spessore nominale non inferiore a 0,5 mm. Lo spessore del geocomposito è di 10 ÷ 12 mm.

La superficie della geogriglia è di circa 8200 m² (circa 9 m²/m di lunghezza del canale).

Tra il telo bentonitico e la geogriglia sarà riportato uno strato di terra dello spessore minimo di 10 cm.

Per il dettaglio si veda la Tavola 04 allegata fuori testo.

5.1.4. REALIZZAZIONE DEGLI ARGINI

A lato del canale è prevista la formazione di argini in terra che garantiscano il franco idraulico rispetto al livello della piena di progetto con 100 anni di tempo di ritorno.

Gli argini saranno realizzati utilizzando il materiale di scavo del canale che risulta avere caratteristiche limoso-sabbiose, quindi idoneo alla realizzazione di rilevati arginali in terra.

L'argine avrà un'altezza massima di circa 1.30 m, in corrispondenza dello sbocco nell'area umida (in questa zona il canale diventa più superficiale) e un'altezza minima di circa 0.40 m (in corrispondenza del punto individuato con il numero 2 nella planimetria e nel profilo longitudinale).

La sommità arginale ha una larghezza di 1.0 m e le sponde hanno pendenza di 2:1 lato campagna e 1:1 lato canale.

Il volume complessivo di materiale per la formazione degli argini è stato stimato pari a circa 3150 m³.

Nella tabella 5.1.3 seguente sono riassunti i dati di progetto degli argini.

b	(m)	1.00	larghezza minima in sommità
H	(m)	Variabile max 1.32 m; min 0.37 m	altezza arginale
p_{LA}	(m/m)	1:1	pendenza paramento lato canale (H:V)
p_{LC}	(m/m)	2:1	pendenza paramento lato campagna (H:V)

Tabella 5.1.3 – Dati di progetto degli argini.

5.1.5. ATTRAVERSAMENTI STRADALI

Stante che il tracciato del nuovo canale attraversa in due punti una strada esistente, ne consegue la necessità di realizzare due manufatti di attraversamento.

La strada ha una larghezza variabile compresa tra 4 e 5 metri (la misura è stata fatta utilizzando le immagini da satellite).

Si ritiene più semplice la posa in opera di strutture prefabbricate in c.a. per carichi stradali di prima categoria costituite con elementi scatolari prefabbricati in calcestruzzo di cemento ad alta resistenza ai solfati, turbovibrocompressi a sezione rettangolare interna, con armatura idonea e sistema di giunzione con incastro a bicchiere.

Si dovrà prevedere anche la formazione di un'idonea soletta armata di sottofondo realizzata in calcestruzzo (R_{ck} minimo ≥ 250) e armatura idonea realizzata doppia rete elettrosaldata Feb 44k di 15x15 diametro minimo 8 mm. La soletta dovrà risultare perfettamente piana per consentire la corretta posa in opera dei manufatti e dovrà avere uno spessore minimo da verificare in sede di calcolo statico, anche in funzione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di posa.

Si dovrà, nella fase successiva della progettazione, predisporre la verifica statica ai sensi delle normative vigenti dei manufatti disponibili in commercio, comprendente la caratterizzazione geotecnica dei terreni per il calcolo delle fondazioni e la verifica statica dei manufatti nelle condizioni di posa e di carico previste.

Le dimensioni minime dell'attraversamento sono:

- LARGHEZZA INTERNA = 3 m: corrispondente alla larghezza alla base del canale in terra;
- ALTEZZA INTERNA = 2 m: corrispondente all'altezza complessiva del canale misurata dal fondo alla sommità arginale.

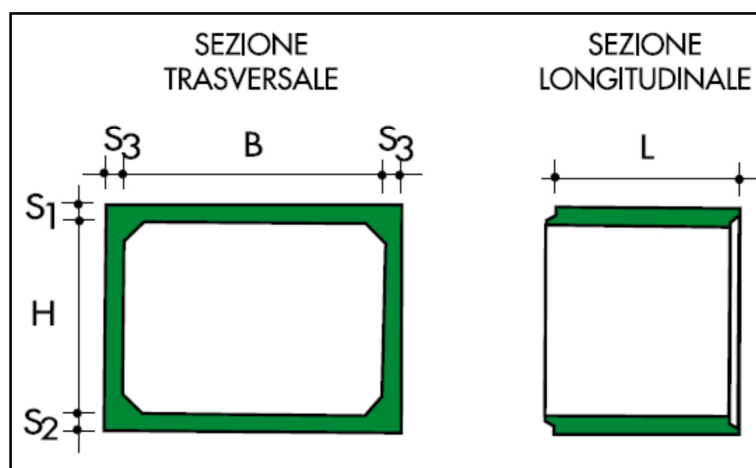


Figura 5.1.3a – Sezione tipo dello scatolare in c.a.






TIPO DI SCATOLARE	CARATTERISTICHE GEOMETRICHE SEZIONE CHIUSA						PESO ELEMENTO kg
	B cm	H cm	S ₁ cm	S ₂ cm	S ₃ cm	L cm	
120x100 	120	100	13	13	13	200	3500
160x100 	160	100	14	14	14	200	4000
200x150 	200	150	18	14	14	200	5700
220x170 	220	170	14	14	14	150	4200
300x200 	300	200	20	18	18	150	7200

Figura 5.1.3 b – Dimensioni tipo dello scatolare in c.a.

Gli scatolari in c.a. delle dimensioni necessarie sono solitamente di **lunghezza non superiore a 2 metri**. Pertanto occorre affiancare più manufatti per raggiungere la lunghezza pari alla dimensione della strada (nell'esempio delle figure in cui la lunghezza è pari a 1.5 m, occorrono quindi tre manufatti per la strada stimata 4 metri di larghezza e quattro manufatti per la strada stimata 5 metri di larghezza). Le strutture prefabbricate sono realizzate in modo tale che possono essere giuntate e garantire le resistenze necessarie. Nella figura 5.1.3a si riporta un esempio di scatolare in c.a.. Nella figura seguente è riportato un esempio di ricostruzione di un ponte danneggiato con scatolari prefabbricati.



Figura 5.1.3 c – Esempio di realizzazione di un attraversamento stradale con scatolari in c.a..

All'imbocco e allo sbocco di ciascun manufatto di attraversamento si devono realizzare due muri d'ala di raccordo tra il canale in terra di forma trapezia e lo scatolare in c.a. (di forma rettangolare); i muri d'ala saranno realizzati in c.a. in opera.

Al termine delle lavorazioni si dovrà ripristinare la sede stradale con la formazione del pacchetto che in linea di massima potrà essere costituito da:

1. uno strato di bitumatura di ancoraggio;
2. uno strato base costituito da una miscela di pietrisco e bitume;
3. uno strato di collegamento (binder) costituito da miscela di pietrischetto, graniglia e sabbia;
4. un eventuale strato di usura (tappetino) ottenuto con pietrischetto e graniglie.

5.1.6. PROTEZIONE DELLO SBOCCO NELL'AREA UMIDA

Lo sbocco del nuovo canale avviene nella zona umida che precede la vera e propria Oasi protetta. E' utile proteggere lo sbocco realizzando una struttura resistente con massi di dimensioni adeguate posti lungo il contorno del tratto terminale del canale (almeno 10 metri) e lungo il tratto iniziale della zona di allargamento (sempre circa una decina di metri). La struttura sarà formata da massi intasati con scaglie di materiale lapideo di piccole dimensioni e rinverdito mediante la semina di vegetazione autoctona.

Vista la velocità media della corrente e i conseguenti sforzi di taglio lungo il contorno della sezione, in prima approssimazione i massi dovranno avere diametro medio non inferiore a 0.6 metri; in fase di progettazione esecutiva dovranno essere verificate le caratteristiche della scogliera e la dimensione minima dei massi che la compongono.

5.1.7. DISMISSIONE DEL TRATTO DI VALLE DELL'ATTUALE CANALE PANDI

Come scritto in premessa occorre realizzare, oltre alla deviazione del canale Pandi che immetta le proprie acque nella parte sud dell'oasi protetta, anche la tombatura della porzione di monte che attraversa l'area di discarica.

L'obiettivo può essere raggiunto mediante il riempimento dell'intero canale con materiale terroso in minima parte derivante dallo scavo del nuovo alveo del canale e per la maggior parte dovrà provenire da altre parti.

Il volume stimato per il completo tombamento del canale è di circa 6200 m³.

TAVOLE