



# CONSORZIO DI BONIFICA DI PIACENZA

Sede legale: 29122 Piacenza – strada Val Nure, 3 – tel. 0523 464811 – fax 0523 464800 – C.F. 91096830335

[info@cbpiacenza.it](mailto:info@cbpiacenza.it) – [www.cbpiacenza.it](http://www.cbpiacenza.it)

e-mail certificata: cbpiacenza@pec.it

TITOLO DEL PROGRAMMA:

## REGOLAMENTO UE N. 1305 DEL 13-12-2013 PROGRAMMA SVILUPPO RURALE PSR 2014-2020

MISURA 4 - Investimenti in immobilizzazioni materiali

SOTTOMISURA 4.3 - Investimenti in infrastrutture per lo sviluppo l'ammodernamento e l'adeguamento dell'agricoltura e della silvicoltura, compresi l'accesso ai terreni agricoli e forestali, la ricomposizione e il miglioramento fondiario, l'approvvigionamento e il risparmio di energia e risorse idriche

TIPOLOGIA DI OPERAZIONE 4.3.02 - Investimenti in infrastrutture irrigue

## PROGETTO ESECUTIVO

LOCALIZZAZIONE: Comune di BORGONOVO V.T. – Provincia di Piacenza

Regione Emilia Romagna

TITOLO PROGETTO:

CUP: **G42E17000020006**

## REALIZZAZIONE DI INVASO AD USO IRRIGUO PRESSO LOC. FABBIANO DI BORGONOVO V.T. NEL DISTRETTO IRRIGUO TIDONE (PC)

CODICE PROGETTO:  
2017-PSRR-01

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

TITOLO ELABORATO:

## RELAZIONE IDRAULICA

DOCUMENTO:  
RELAZIONI SPECIALISTICHE

REDATTO DA: Ufficio tecnico  
Consorzio di Bonifica di Piacenza

CODICE ELABORATO

SCALA:

DATA:

LIVELLO PROGET:

DOC:

PROGR:

TAV:

REV:

**PE**

**B**

**2**

**0**

**1**

-

30-4-2019

D

C

B

A

INT. VERIFICA

5-9-2019

Revisione:

Descrizione:

Redatto:

Data:

Verificato:

Data:

Approvato:

Data:

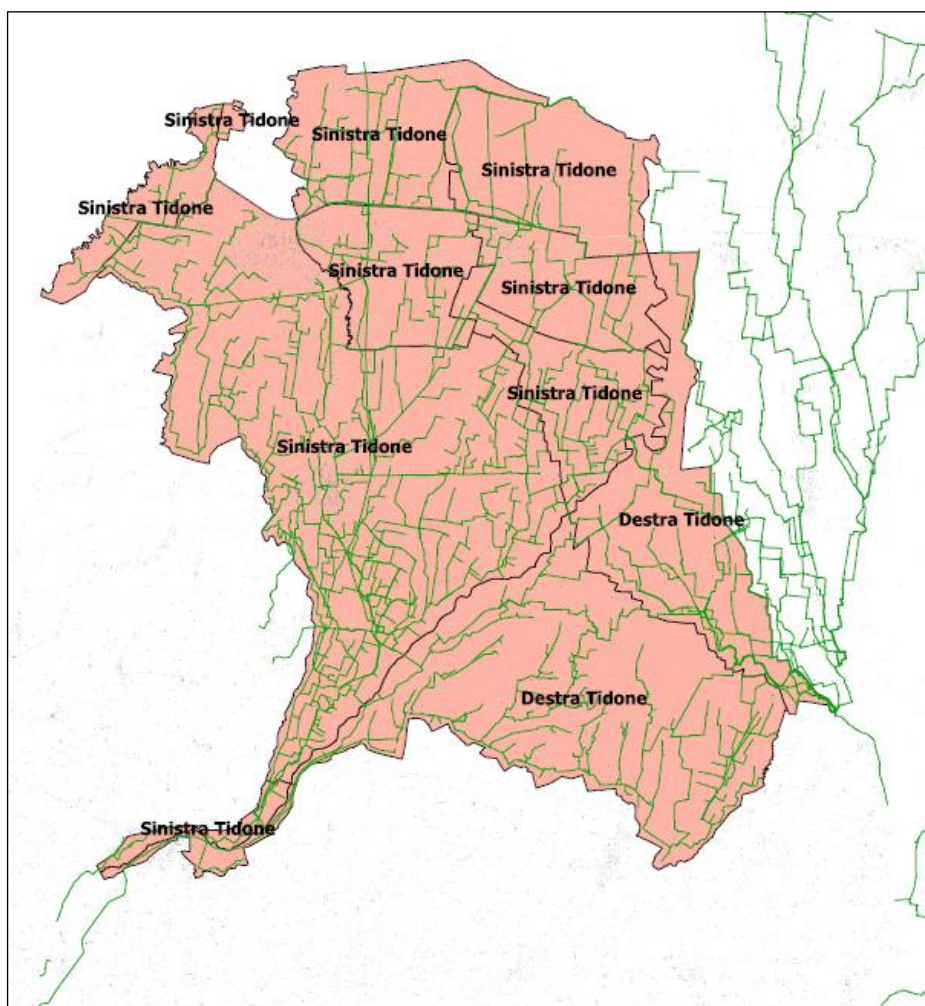
# Sommario

PROGETTAZIONE IDRAULICA	2
Descrizione delle opere in progetto	3
Localizzazione dell'invaso da realizzare	4
Bacino di carico	5
Funzionamento idraulico e quote di progetto	7
Rete di adduzione	9
Canale di alimentazione	9
Manufatto di alimentazione	9
Tubazione di adduzione	11
Invaso	12
Manufatto di carico	12
Bacino di accumulo	13
Rilevato arginale	13
Impermeabilizzazione	13
Manufatto di scarico	14
Manufatto di scarico di superficie	16
Rete di distribuzione	20
Verifiche statiche delle condotte	21
Azione verticale dovuta al terreno di rinterro	22
Carico dovuto ai sovraccarichi mobili	23
Verifica statica in regime elastico	23
Verifica dell'inflessione diametrale per tubazioni flessibili	24
Verifica all'instabilità elastica per tubazioni flessibili	25
Risultati	25
Bacino irriguo sotteso all'invaso	27

# REALIZZAZIONE DI INVASO AD USO IRRIGUO PRESSO LOC. FABBIANO DI BORGONOVO V.T. NEL DISTRETTO IRRIGUO TIDONE (PC)

## PROGETTAZIONE IDRAULICA

Il presente elaborato racchiude la progettazione idraulica degli elementi che costituiscono l'invaso in oggetto. L'invaso insiste nello schema irriguo censito nel database nazionale SIGRIAN, denominato Tidone.



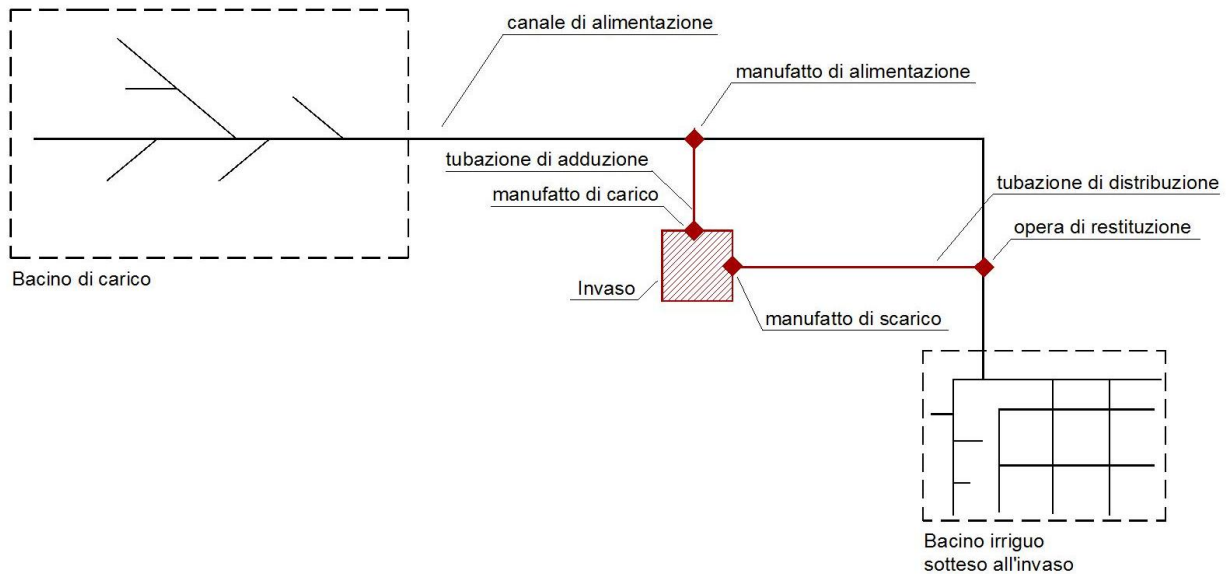
Comprensorio irriguo Val Tidone

Lo schema è dettagliatamente illustrato nella Relazione Generale di progetto.

## Descrizione delle opere in progetto

Il progetto riguarda la realizzazione di un invaso ad uso irriguo che consente di immagazzinare la risorsa idrica per poterla utilizzare nei periodi di carenza e deficit della risorsa stessa.

Il funzionamento dell'opera in progetto è schematizzato come segue:



Gli elementi progettuali possono essere raggruppati nelle seguenti categorie:

- opere generali;
- rete di adduzione;
- invaso;
- rete di distribuzione.

Le opere generali comprendono tutte le attività di preparazione propedeutiche allo svolgimento dei lavori di realizzazione delle opere in progetto, come l'allestimento del cantiere, i rilievi e i tracciamenti vari.

La rete di adduzione consente di derivare le acque e convogliarle verso l'invaso in progetto ed è costituita dai seguenti elementi:

- canale di alimentazione esistente, è il canale consortile che raccoglie le acque di precipitazione sul bacino imbrifero sotteso dall'invaso;
- manufatto di alimentazione è l'opera di presa che consente di alimentare l'invaso. E' costituito da una vasca in cls armato di derivazione con muri d'ala e pianta rettangolare di dimensione m(6,00x2,70xH1,10), da una paratoia trasversale con scudo da m(0,80x0,80) in grado di disconnettere e regolare il livello idrico nella tubazione di adduzione, da un pozzetto prefabbricato ispezionabile m(1,50x1,50xH2,50) e da una tubazione di adduzione DN 500 che parte dal pozzetto stesso. Appena a monte della paratoia di regolazione, trasversalmente alla vasca di derivazione, è interposta una soglia fissa in metallo alta 20 cm che assicurerà l'attivazione del prelievo solo per portate superiori al DMV fissato a 50 l/s. Si riportano di seguito i disegni relativi al manufatto di alimentazione.

L'invaso è l'opera che consente di stoccare il volume idrico necessario ai fini irrigui ed è costituito dai

seguenti elementi:

- manufatto di carico, è l'opera che consente di caricare l'invaso in progetto. E' localizzato a monte del rilevato arginale dell'invaso ed è costituito da n. 2 pozzetti prefabbricati ispezionabili dotati di valvola di regolazione e misuratore di portata elettromagnetico, una tubazione in pressione annegata in una trave in c.a. (in quanto attraversa l'argine in terra, al di sotto del suo piano di fondazione) e da una scogliera in massi intasati a protezione della sponda e del fondo dell'invaso nel punto di immissione della tubazione stessa;
- bacino di accumulo, è la parte dell'invaso che viene realizzata tramite scavo del terreno in sito e realizzazione di apposito strato impermeabile;
- rilevato arginale, è la parte dell'invaso che viene realizzata in rilevato tramite riporto e compattazione di idoneo terreno. La sponda interna del rilevato è protetta tramite un apposito strato impermeabile e rete antinutria;
- manufatto di scarico, è l'opera che consente di svasare il volume idrico accumulato nella vasca. La realizzazione di tale manufatto prevede la posa in opera di una tubazione in pressione annegata in una trave in c.a. (in quanto attraversa l'argine in terra, al di sotto del suo piano di fondazione) e la costruzione di una struttura di protezione localizzata della scarpata in c.a. su cui fissare una griglia per evitare l'intasamento della tubazione stessa. La tubazione in uscita dall'argine è dotata di n. 2 pozzetti prefabbricati ispezionabili in cui sono installate una valvola di regolazione e un misuratore di portata;
- manufatto di scarico di superficie, realizzato tramite un localizzato abbassamento della sommità del rilevato arginale fino alla quota di massima regolazione. E' costituito da una soglia trascinabile in massi intasati e da un canale fagotatore a cielo aperto che allontana le acque di sfioro verso il primo ricettore a disposizione.

La rete di distribuzione consente di utilizzare le acque dell'invaso recapitandole verso la rete di canali consortili che convogliano le acque all'utenza. E' costituita da una tubazione di distribuzione che collega lo scarico dell'invaso con il canale consortile di recapito, tramite l'immissione in apposita opera di restituzione.

## Localizzazione dell'invaso da realizzare

L'invaso in progetto sarà realizzato in località Fabbiano in comune di Borgonovo V.T. (PC):

- coordinate nel sistema di riferimento adottato dalla regione Emilia-Romagna:  
ETRS89 / UTM zone 32N (**EPSG 25832**): X = 535715,64 - Y = 4980582,31;
- riferimenti catastali delle particelle interessate in comune di Borgonovo V.T.:
  - foglio 38 particella 71;
  - foglio 38 particella 204.



Localizzazione invaso in progetto

L'areale irriguo che beneficerà dell'invaso è quello della sinistra Tidone, nella zona compresa in direzione Ovest-Est tra il Tidone stesso e il Rio Corniola. Il limite superiore di tale areale è rappresentato dall'abitato di Agazzino. Complessivamente è così dominata un'area di oltre 17 kmq di cui la maggior parte è rappresentata da superficie agricola utile.

## Bacino di carico

Coerentemente con quanto espresso dal fabbisogno F.18 dell'operazione 4.3.02 del bando "aumentare l'efficienza delle risorse idriche", l'invaso in progetto favorisce l'accumulo della risorsa idrica nei periodi in cui la stessa è maggiormente disponibile ovvero nel periodo invernale, dal mese di ottobre al mese di aprile, ed essere impiegato come riserva idrica nei mesi irrigui (maggio-settembre). Le precipitazioni meteoriche che si abbattano sul bacino imbrifero sotteso dall'invaso vengono raccolte tramite la rete di colatori presenti sul territorio e trasformate in deflussi superficiali.

Il calcolo del volume utile d'invaso è correlato alla capacità del bacino imbrifero di caricare il serbatoio in progetto, che viene valutata tramite l'analisi idrologica proposta nel presente paragrafo. La scala di riferimento per le valutazioni idrologiche affrontate è quella del bacino imbrifero sotteso dall'invaso (bacino di carico). Il bacino è stato tracciato con l'ausilio del software Q-Gis sulla base dei dati cartografici a disposizione, ovvero CTR in scala 1:5.000 e rete dei canali consortili (shapefile), come riportato nell'allegato alla presente relazione.

Dal momento che l'invaso è ubicato lungo un corso d'acqua di cui non si hanno a disposizione delle misure di portata, per il calcolo degli apporti idrici si fa affidamento ai dati pluviometrici. La stazione pluviometrica

più significativa nell'intorno dell'invaso in progetto risulta essere quella di Borgonovo Val Tidone. I dati climatici della stazione di riferimento sono stati reperiti tramite il Sistema Dext3r del Servizio Idrometeorologico dell'ARPA-SIM, assumendo come riferimento per il calcolo i valori registrati negli ultimi 10 anni, dal 2006 al 2015 (durante il 2016 non è stato possibile reperire tali dati).

Si riporta di seguito il campione di precipitazioni cumulate a scala mensili, indicandone la media sugli ultimi 10 anni:

Precipitazioni mensili area intervento (mm)												
Anno	Gen	Feb	Mar	Apr	Mag	Giu	Lug	Ago	Set	Ott	Nov	Dic
2006	39,6	54,2	8,2	39	9	30,8	53,4	102,4	90,4	23,6	10,2	27,8
2007	20,6	18,8	90,8	14,6	98,8	87,2	2,4	90,8	47,2	73,4	88,2	1,6
2008	613,8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2009	26,8	40,4	89	186,6	37	24	37,2	21,8	114,4	48	173,2	37,2
2010	23	62,4	50,2	72	105,8	106,2	0,4	106,2	71,2	178,2	199	48,8
2011	26,2	33,6	74	3,2	29,2	149,2	25,4	0,4	27,2	22	127	0,8
2012	9,6	0	22	85,4	92,4	11,2	20,4	9,8	105,2	113,8	90	11,2
2013	9,8	0	136,4	94,2	111,4	38,6	7,6	34	29,8	98,4	62,4	16,8
2014	49	99,6	71,6	98,6	43,8	84,6	131	28,4	16,8	47,4	220	42,6
2015	6,8	39,6	20,4	41,8	36,8	28	3	32,8	64,4	71,4	29	4,2
<b>MEDIA</b>	<b>23,49</b>	<b>38,73</b>	<b>62,51</b>	<b>70,60</b>	<b>62,69</b>	<b>62,20</b>	<b>31,20</b>	<b>47,40</b>	<b>62,96</b>	<b>75,13</b>	<b>111,00</b>	<b>21,22</b>

La precipitazione annuale media sui 10 anni è pari a 669 mm (dal calcolo è stato escluso l'anno 2008 per mancanza di dati registrati). L'invaso è progettato per essere caricato nel periodo invernale, dal mese di ottobre al mese di aprile, ed essere impiegato come riserva idrica nei mesi irrigui (maggio-settembre). La precipitazione invernale media sugli ultimi 10 anni è quindi pari a 403 mm.

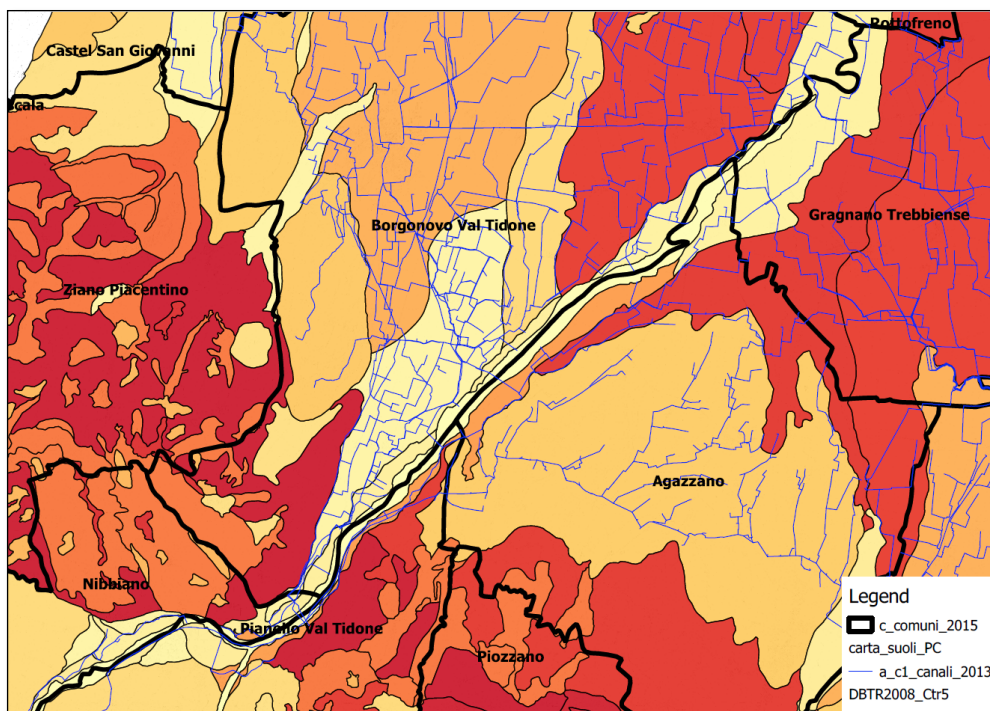
E' stato quindi applicato un modello di trasformazione afflussi-deflussi, che consente di stimare i deflussi sulla base delle precipitazioni che si abbattano sul bacino imbrifero. Si ipotizza che il deflusso medio sia pari alla precipitazione netta sul bacino, ottenuta depurando le precipitazioni dalle perdite per infiltrazione nel terreno. Al fine della valutazione delle perdite per infiltrazione nel terreno si è valutato il coefficiente di afflusso medio, definito come il rapporto tra la precipitazione efficace e quella totale. Si decide per semplicità di adottare un unico coefficiente costante durante l'evento pluviometrico, che quindi dipende dalle caratteristiche del bacino imbrifero, come riporta la seguente tabella:

Caratteristiche del bacino			Coefficiente di afflusso $\Phi$		
Manto vegetale	Morfologia del suolo	Pendenza dell'asta principale (%)	Terreno con sabbia grossa	Terreno con argilla e limo	Terreno con argilla compatta
Bosco	pianeggiante	0-5	0.10	0.30	0.40
	ondulato	5-10	0.25	0.35	0.50
	montuoso	10-30	0.30	0.50	0.60
Pascolo	pianeggiante	0-5	0.10	0.30	0.40
	ondulato	5-10	0.16	0.36	0.55

	montuoso	10-30	0.22	0.42	0.60
Coltivato	pianeggiante	0-5	0.30	0.50	0.60
	ondulato	5-10	0.40	0.60	0.70
	montuoso	10-30	0.52	0.72	0.82

Tabella coefficienti di deflusso, Frevert

Sulla base delle informazioni a disposizione sulla tessitura dei terreni del bacino idraulico di carico, ricavate tramite la “Carta dei suoli” della Regione Emilia-Romagna, e sulla presenza di infrastrutture e centri abitati, è stato valutato un coefficiente medio di afflusso pari a 0,3.



Estratto della “Carta dei suoli” della Regione Emilia Romagna

Si riporta di seguito la stima della capacità di accumulo dell’invaso in progetto:

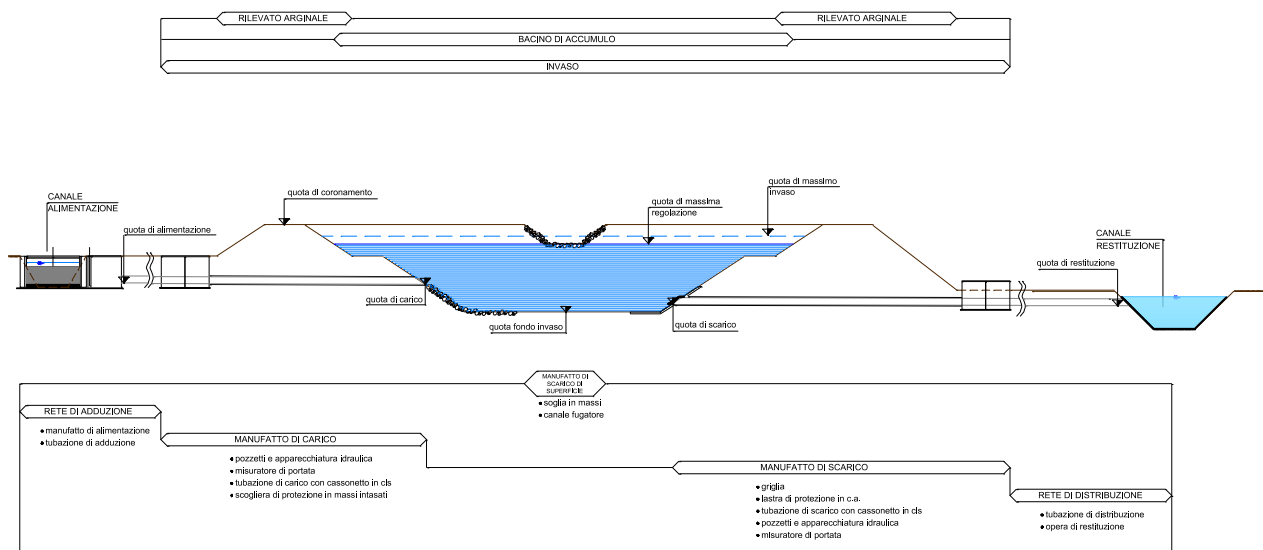
Invaso	Pluviometro	Superficie bacino imbrifero (ha)	Precipitazione (mm)	Precipitazione (mc/ha)	Coefficiente deflusso medio $\Phi$ (-)	Capacità di accumulo (mc)
<b>FABBIANO</b>	Borgonovo Val Tidone	148	403	4030	0,3	178.932

Il volume dell’invaso in progetto è pari a circa 100.900 mc. Si conclude che l’apporto meteorico del bacino imbrifero sotteso dall’invaso in progetto è sufficiente ad invasarlo completamente grazie al contributo delle sole precipitazioni invernali, consentendo di accumulare la risorsa quando risulta maggiormente disponibile ed utilizzarla nel periodo irriguo quando è meno abbondante.

## Funzionamento idraulico e quote di progetto



Per avere una visione complessiva del funzionamento dell'invaso in progetto occorre definire gli elementi che compongono le opere in progetto e le relative quote topografiche.



Lo schema idraulico riportato evidenzia tutte le opere che portano ad un corretto funzionamento del sistema, di seguito sintetizzate:

- rete di adduzione, che consente di convogliare le acque meteoriche in prossimità dell'invaso;
- manufatto di carico dell'invaso, che consente di invasare il serbatoio con i deflussi convogliati tramite il canale di alimentazione;
- invaso, opera finalizzata all'accumulo della risorsa idrica il cui volume si sviluppa in parte in scavo e in parte in rilevato (arginature in terra), con sponde e fondo resi impermeabili;
- manufatto di scarico dell'invaso, che consente di svuotare il serbatoio senza necessità di sollevamento, alimentando la rete di distribuzione;
- rete di distribuzione, che riceve le acque di scarico dell'invaso e consente di servire il distretto irriguo che sottende l'opera in progetto.

Nello schema sono riportate le quote che descrivono compiutamente il funzionamento dell'invaso, definite di seguito:

- quota di alimentazione, rappresenta la quota della tubazione (fondo tubo) che consente di invasare il serbatoio in progetto, nel punto di presa dal canale di alimentazione;
- quota di carico, rappresenta la quota della tubazione (fondo tubo) che consente di invasare il serbatoio in progetto, nel punto di immissione nel serbatoio;
- quota di massima regolazione, rappresenta la quota del livello dell'acqua oltre la quale ha inizio automaticamente lo sfioro;
- quota di massimo invaso, quota a cui può giungere il livello dell'acqua dell'invaso nel caso si verifichi il più gravoso evento di piena previsto in progetto;
- quota di coronamento, piano orizzontale che costituisce la massima quota dei rilevati arginali;
- quota di fondo invaso, rappresenta il piano di fondo scavo del bacino di accumulo;

- quota di scarico, rappresenta la quota a cui viene posata la tubazione di scarico dell'invaso in uscita dal bacino (fondo tubo);
- quota di restituzione, rappresenta la quota della tubazione che si ricollega con la rete consortile esistente, che rappresenta la distribuzione alle aziende.

Le quote di progetto relative all'invaso analizzato sono di seguito riassunte:

Invaso	Z <sub>alimentazione</sub>	Z <sub>carico</sub>	Z <sub>regolazione</sub>	Z <sub>max,invaso</sub>	Z <sub>coronamento</sub>	Z <sub>fondo,invaso</sub>	Z <sub>scarico</sub>	Z <sub>restituzione</sub>
	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)	(m s.l.m.)
FABBIANO	139,40	136,00	139,00	139,15	140,00	133,20	133,40	131,70

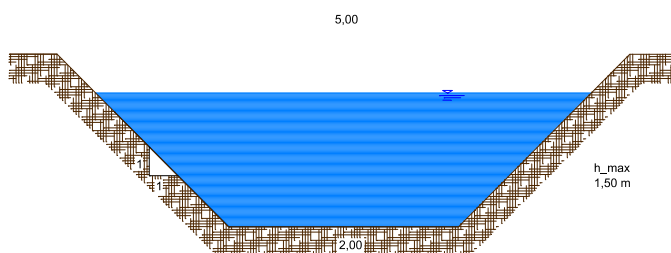
## Rete di adduzione

L'invaso sarà alimentato a gravità dal canale consortile Rio Grande mediante la realizzazione di un'opera di presa (manufatto di alimentazione). I volumi stoccati saranno scaricati da una tubazione più a valle tramite una restituzione nel canale Scotto. L'ubicazione dell'invaso in progetto garantisce il funzionamento dello stesso a caduta, senza che sia necessario realizzare stazioni di sollevamento.

## Canale di alimentazione

Il canale di alimentazione denominato Rio Grande consentirà di convogliare verso l'invaso le acque meteoriche del bacino imbrifero di carico dell'opera. Il canale è caratterizzato dai seguenti elementi:

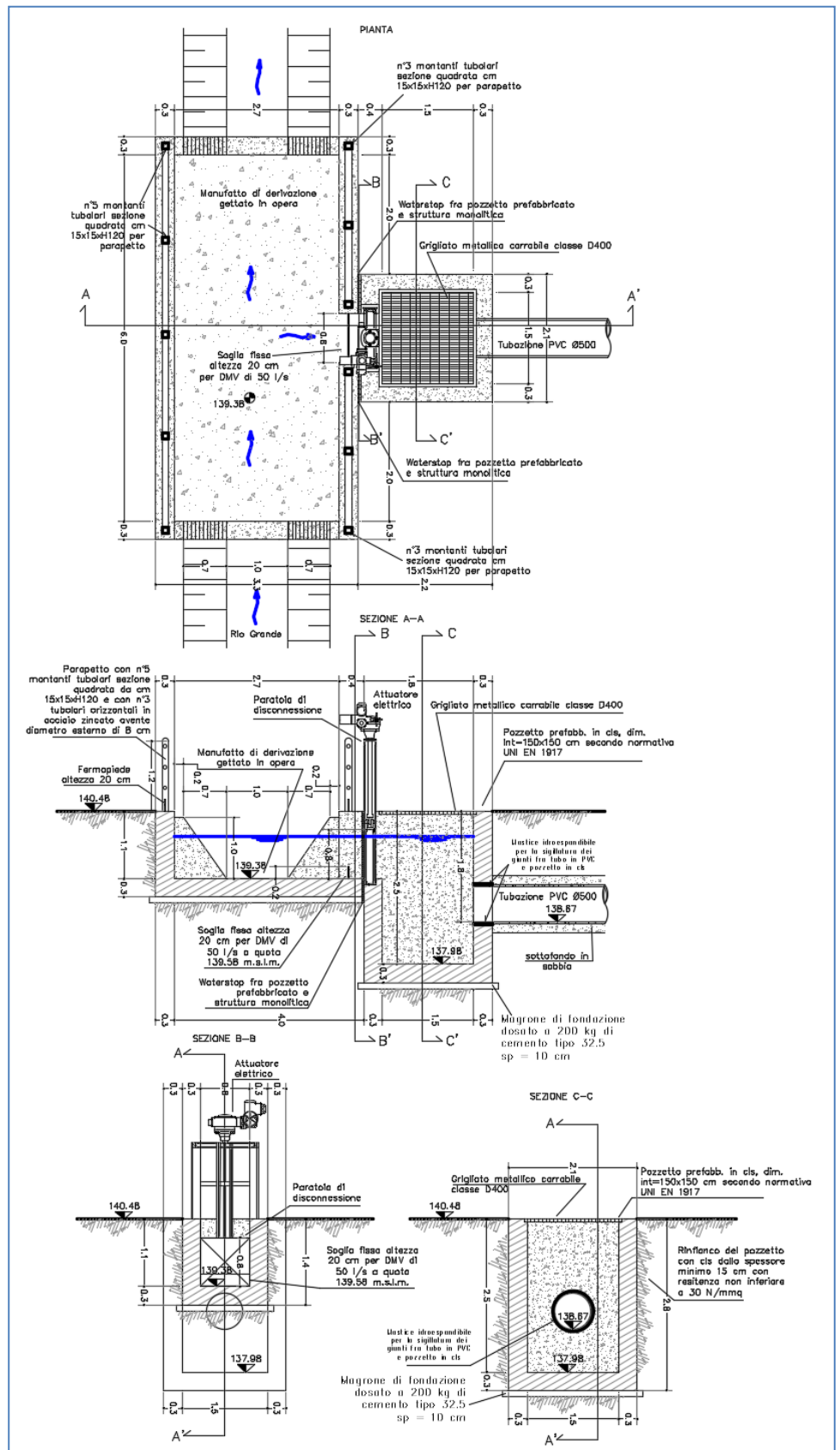
- canale a cielo aperto;
- sezione trapezia;
- base pari a 2,00 m;
- pendenza delle sponde pari a 45°;
- altezza massima 1,50 m;
- pendenza media del fondo 2‰.



## Manufatto di alimentazione

Le acque di scolo del bacino idrografico sotteso dall'invaso in progetto verranno derivate tramite la realizzazione di un manufatto di alimentazione sul canale Rio Grande. Tale manufatto è costituito da una vasca in cls armato di derivazione con muri d'ala e pianta rettangolare di dimensione m(6,00x2,70xH1,10), da una paratoia trasversale con scudo da m(0,80x0,80) in grado di disconnettere e regolare il livello idrico nella tubazione di adduzione, da un pozzetto prefabbricato ispezionabile m(1,50x1,50xH2,50) e da una tubazione di adduzione DN 500 che parte dal pozzetto stesso. Appena a monte della paratoia di regolazione, trasversalmente alla vasca di derivazione, è interposta una soglia fissa in metallo alta 20 cm che assicurerà

l'attivazione del prelievo solo per portate superiori al DMV fissato a 50 l/s. Si riportano di seguito i disegni relativi al manufatto di alimentazione.



Per la valutazione della portata transitante nella vasca di alimentazione in cls a pianta rettangolare di dimensione m(6,00x2,70xH1,10) si impiega la formula della portata uniforme di Chezy-Strickler:

$$Q = k_s \cdot A \cdot R^{1/6} \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

Dove:

Q, portata transitante (m<sup>3</sup>/s)

k<sub>s</sub>, scabrezza di Strickler (m<sup>1/3</sup>/s) per canali in cemento in servizio da più anni

A, area bagnata (m<sup>2</sup>)

R, raggio idraulico (m)

Nel caso di canale a sezione rettangolare si possono usare le seguenti formulazioni per valutare l'area, il contorno bagnato (P) e la larghezza del pelo libero (B) in funzione del tirante h raggiunto nella vasca:

$$A = h \cdot b$$

$$P = b + 2h$$

$$R = A / P$$

Fissata quindi la portata transitante pari al DMV di 50 l/s il calcolo per definire l'altezza h<sub>soglia</sub> è effettuato per successive iterazioni, da cui:

Invaso	b	h <sub>soglia</sub>	B	A	P	R	k <sub>s</sub>	i	Q
	(m)	(m)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)	(-)	(m <sup>3</sup> /s)
<b>FABBIANO</b>	2,70	<b>0,20</b>	2,70	0,54	3,10	0,17	70	0,002	<b>0,51</b>

Per disconnettere il canale di alimentazione con la tubazione in PVC Dn 500 che alimenta l'invaso vi è una paratoia con le seguenti caratteristiche e dimensioni:

- larghezza 0,80 m;
- altezza 0,80 m;
- materiale alluminio.

La paratoia verrà automatizzata e gestita tramite un sistema di telecontrollo, permettendo di regolare la portata derivata. Si avrà quindi la possibilità di registrare e monitorare in continuo le portate in ingresso alla tubazione.

Il pozzetto è costituito da 1 blocco prefabbricato di dimensioni pari a m 1,50x1,50x2,50, e sarà ispezionabile da piano campagna. Da tale pozzetto partirà una tubazione di adduzione che si immetterà tramite un manufatto di carico nel bacino di accumulo.

## Tubazione di adduzione

Dal manufatto di alimentazione partirà una tubazione di adduzione che convoglierà le acque fino al manufatto di carico dell'invaso in progetto. Detta tubazione avrà le seguenti caratteristiche:

- materiale PVC;
- DN 500 mm;
- spessore 12,3 mm;
- pendenza media 89‰;
- lunghezza 425,30 m.

Lo spessore medio del terreno di ricoprimento della tubazione è pari a circa 1,20 m.

## **Invaso**

### **Manufatto di carico**

L'opera di carico è costituita da:

- tubazione di carico in pressione;
- pozzetti di ispezione prefabbricati;
- misuratore di portata;
- valvola di regolazione della portata;
- valvola a clapet.

Dal pozzetto prefabbricato verrà realizzata una tubazione di carico che convoglierà le acque fino all'invaso in progetto, avente le seguenti caratteristiche:

- materiale PVC;
- DN 500 mm;
- spessore 12,3 mm;
- lunghezza circa 24,80 m.

Sulla tubazione di carico sopra dimensionata verranno inseriti una valvola di regolazione della portata (valvola a cuneo) e uno strumento per la misurazione della portata stessa di tipo elettromagnetico (oltre ai tronchetti in acciaio necessari per l'installazione degli organi di regolazione). Tali apparecchiature saranno realizzate all'interno di un apposito pozzetto in c.a. costituito da n. 2 blocchi prefabbricati, ispezionabili e accessibili da piano campagna, ciascuno avente dimensione pari a m 1,50x1,50x2,50. Le strumentazioni idrauliche verranno automatizzate e gestite tramite un sistema di telecontrollo, permettendo di regolare e misurare in continuo la portata derivata.

L'opera di carico sarà realizzata appena a monte del rilevato arginale che costituisce il perimetro dell'invaso in progetto, al fine di poter accedere in qualunque momento per manutenzioni o controlli vari. La tubazione al di sotto del rilevato arginale sarà protetta tramite una trave in c.a., realizzata all'esterno della tubazione stessa, al fine di prevenire eventuali filtrazioni lungo la discontinuità che si crea tra terreno ed estradosso della tubazione e per proteggere la tubazione dal carico di terreno che grava sulla stessa. Il cassonetto in c.a. avrà una sezione quadrata pari a m 1,00x1,00 e una lunghezza tale da sottopassare completamente il rilevato arginale.

All'immissione della tubazione di carico nel bacino di accumulo, verrà realizzata una scogliera di protezione in massi intasati in cls, per una lunghezza di 10 m, larghezza di 2 m e altezza media di 50 cm.

## **Bacino di accumulo**

Il bacino di accumulo in progetto ha la funzione di stoccare la risorsa idrica prelevata durante il periodo non irriguo. Verrà realizzato in terra, in parte in scavo e in parte in rilevato, al fine di massimizzare il volume invasabile. L'invaso verrà riempito e svuotato senza la necessità di sollevare meccanicamente le acque, al fine di contenere i costi di costruzione, oltre quelli per la manutenzione e gestione. L'invaso ha una capacità di stoccaggio di ca. 203.000 mc e può essere riempito durante il normale esercizio fino alla quota di massima regolazione. Oltre tale quota avviene lo sfioro tramite uno scaricatore superficiale in massi intasati che recapita le acque della piena di progetto nel canale ricettore più vicino, consentendo di garantire un franco di sicurezza di circa 85 cm in caso di raggiungimento della quota di massimo invasore.

Nella progettazione del bacino di accumulo si è valutata la stabilità delle sponde dello scavo necessario per la realizzazione del bacino stesso, verificando il grado di sicurezza allo scivolamento delle sponde in terra tramite la metodologia descritta nella relazione geotecnica di progetto.

Il fondo del bacino è caratterizzato da una pendenza variabile, per consentire un maggiore accumulo della risorsa idrica all'interno del bacino e favorire eventuali attività di svuotamento.

## **Rilevato arginale**

Il rilevato arginale svolge la funzione di contenimento della risorsa idrica nel bacino di accumulo, impedendone la fuoriuscita dal serbatoio stesso. Verrà infatti realizzato lungo tutto il perimetro dell'invaso. L'altezza del rilevato è tale da massimizzare il volume invasabile, mantenendo un adeguato franco di sicurezza in caso della piena di progetto. La sagoma arginale, a sezione trapezia, invece è determinata dal soddisfacimento delle verifiche di stabilità globale e di quelle di filtrazione e sifonamento, al fine di garantire il contenimento della linea di saturazione all'interno della sezione arginale. Il rilevato arginale sarà realizzato in terra, utilizzando parte del terreno scavato in sito e parte di terreno portato da apposita cava. Il materiale impiegato dovrà essere idoneo ad assicurare la stabilità del rilevato e la giusta compattazione dello stesso, ottenuta tramite la costruzione del rilevato tramite strati di altezza pari a 20 cm, adeguatamente compattati e rullati. La progettazione si basa sugli esiti della campagna geognostica effettuata nella fase iniziale, sia in campo tramite prove in sito sia in laboratorio tramite analisi svolte su provini e campioni indisturbati. Inoltre sono state effettuate delle analisi chimiche preliminari al fine di attestare l'idoneità chimica del terreno da impiegare. Sulla sommità del rilevato arginale è prevista la realizzazione di una pista carrabile lungo tutto il perimetro, al fine di consentire le attività di manutenzione e garantire l'accessibilità alle opere. Tale pista è costituita da uno strato di ghiaia di spessore pari a 30 cm. Inoltre verrà realizzata una pista di accesso alla sommità arginale, inghiaata per una larghezza di 3 m e avente una pendenza massima indicativa del 10%.

## **Impermeabilizzazione**

Data la natura ghiaiosa del terreno, il paramento e il fondo del rilevato lato bacino saranno impermeabilizzati mediante la posa di una geomembrana impermeabile in EPDM. Nel dettaglio il rivestimento del fondo e della sponda interna è composto da:

- regolarizzazione del fondo scavo;
- tessuto non tessuto;
- geomembrana in EPDM dello spessore di 1,10 mm;

- rete antinutrie a doppia torsione maglia 6 x 8 e filo  $\Phi$  2,20/3,20 mm.

La livellazione del terreno consentirà di lisciare e compattare le pareti dello scavo, al fine di evitare la messa a nudo di trovanti che potrebbero causare la rottura o il danneggiamento del telo.

Il tessuto non tessuto verrà posizionato tra il terreno dello scavo e la geomembrana in EPDM e avrà una massa areica pari a 300 g/mq.

Il telo in EPDM è realizzato in materiale gommoso al fine di garantire un'adeguata durabilità e affidabilità del materiale.

La rete antinutrie verrà posata per tutta l'altezza della sponda e per qualche metro del fondo dell'invaso, al fine di evitare che si possano creare dei percorsi di filtrazione preferenziale in corrispondenza dei buchi scavati dalle nutrie. La rete rimarrà tesa mediante l'utilizzo di una barra in ferro  $\Phi$  24 mm posizionata orizzontalmente nella parte inferiore della rete.

### **Manufatto di scarico**

Il manufatto di scarico è costituito da una tubazione in PVC annegata in una trave in c.a., protetta in ingresso da una struttura dotata di apposita griglia. La tubazione non può attraversare il corpo del rilevato arginale e pertanto verrà alloggiata in una trincea scavata nel terreno naturale. Attorno ad essa verrà realizzato il cordolo armato che consente di aumentare la resistenza alle sollecitazioni meccaniche e ridurre gli eventuali fenomeni di filtrazione. Attorno alla trave il terreno di rinfianco dovrà essere adeguatamente costipato con la massima cura. Questa tubazione da un lato consente di prelevare i volumi irrigui necessari al soddisfacimento dei fabbisogni colturali dell'areale servito dall'invaso, e dall'altro di svuotare quasi completamente il bacino stesso all'occorrenza.

Il dimensionamento dello scarico è eseguito mediante la simulazione dello svuotamento dell'invaso, con lo scopo di calcolare il tempo occorrente per lo svuotamento dell'invaso e la massima portata che può essere scaricata tramite lo stesso.

Il problema idraulico si pone impostando l'equazione di continuità all'interno dell'invaso:

$$\frac{dV}{dT} = Q_{in}(t) - Q_{out}[h(t)]$$

dove

$\frac{dV}{dT}$  è la variazione del volume idrico del serbatoio

$Q_{in}(t)$  è la portata in ingresso all'invaso

$Q_{out}[h(t)]$  è la portata in uscita dallo scarico

$h(t)$  è il carico idraulico nel lago riferito allo sbocco dello scarico.

La funzione  $Q_{in}$ , che esprime un eventuale apporto idrico al lago durante le operazioni di scarico, è in genere posta costante pari a zero, mentre la funzione  $Q_{out}$ , che rappresenta la portata in uscita dallo scarico, è funzione della tipologia dello stesso. Più spesso però conviene applicare la funzione di moto permanente in condotte in pressione:

$$\frac{\Delta h}{L} = J = \frac{\lambda}{D} (1 + \xi) \frac{v^2}{2g}$$

con

D, diametro della condotta

v, velocità della corrente

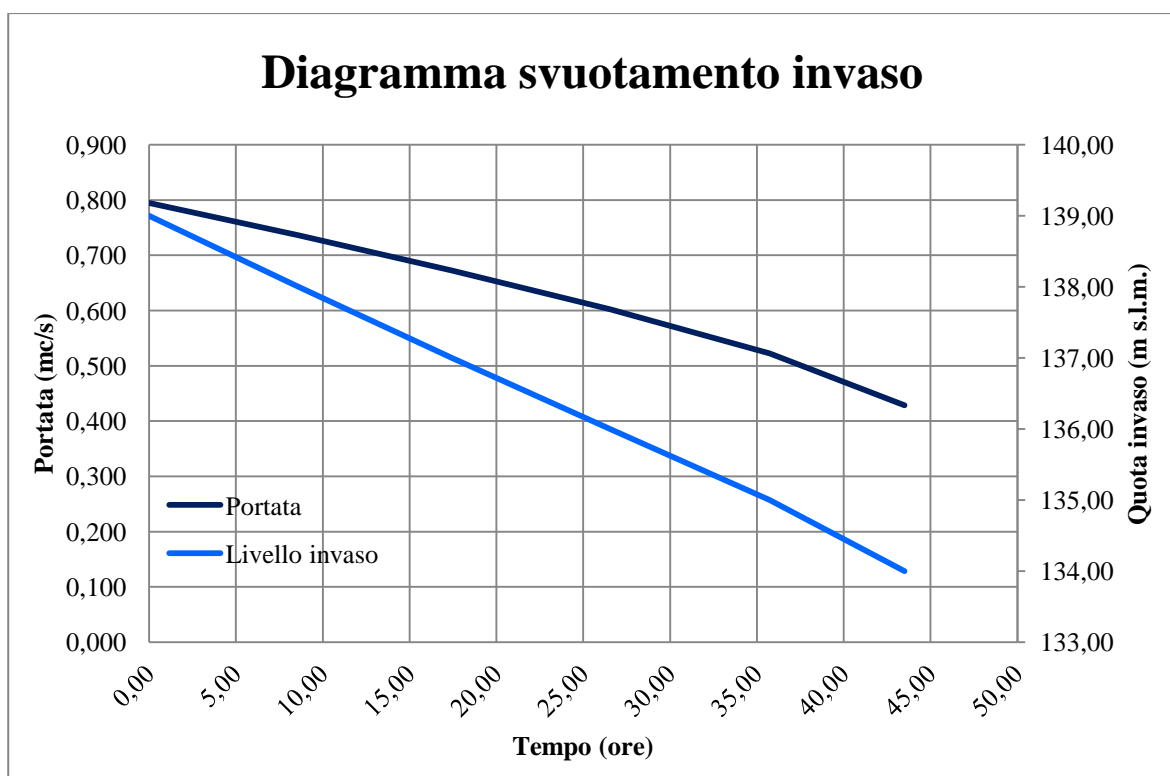
$\lambda$ , parametro adimensionale di attrito

$\xi$ , coefficiente per le perdite concentrate dell'imbuco e dello sbocco.

Il coefficiente di perdita  $\xi$  considerato è pari a 1, sia per l'imbuco con tubo rientrante a spigolo vivo che per lo sbocco nell'opera di restituzione. Si ipotizza di realizzare una tubazione in PVC di diametro interno pari a 500 mm. La lunghezza della condotta è approssimata a quella della tubazione di distribuzione, pari a circa 300 m.

Si riportano di seguito i calcoli effettuati:

FABBIANO				
Quota invaso	$Q_{out}$	V	t	t_cum
(m s.l.m.)	(mc/s)	(mc)	(ore)	(ore)
139,00	0,795	100.900	0	0
138,00	0,736	77.200	8,60	8,60
137,00	0,672	54.800	8,83	17,44
136,00	0,602	33.900	9,11	26,55
135,00	0,523	15.300	9,19	35,73
134,00	0,428	2.000	7,77	43,50





Il tempo di svuotamento dell'invaso è stimato in circa 43 ore, che risulta compatibile con la funzione dell'opera progettata.

La tubazione verrà quindi realizzata in PVC e il diametro sarà pari a 500 mm. Sulla tubazione di scarico verranno inseriti una valvola di regolazione della portata (valvola a cuneo) e un misuratore di portata elettromagnetico (oltre ai tronchetti in acciaio necessari per l'installazione degli organi di regolazione). Tali apparecchiature saranno realizzate all'interno di un apposito pozzetto in c.a. costituito da n. 2 blocchi prefabbricati, ispezionabili e accessibili da piano campagna, ciascuno avente dimensione pari a m 1,50x1,50x2,50. Le strumentazioni idrauliche verranno automatizzate e gestite tramite un sistema di telecontrollo, permettendo di regolare e misurare in continuo la portata derivata.

La tubazione al di sotto del rilevato arginale sarà protetta tramite una trave in c.a., realizzata all'esterno della tubazione stessa, al fine di prevenire eventuali filtrazioni lungo la discontinuità che si crea tra terreno ed estradosso della tubazione e per proteggere la tubazione dal carico di terreno che grava sulla stessa. Il cassonetto in c.a. avrà una sezione quadrata pari a m 1,00x1,00 e una lunghezza tale da sottopassare completamente il rilevato arginale.

### **Manufatto di scarico di superficie**

Lo scarico di superficie dell'invaso è costituito da una soglia libera che immette le acque di sfioro in un canale fagotatore. Lo scarico di superficie ha lo scopo fondamentale di evitare che durante una piena particolarmente gravosa si verifichi una tracimazione della sommità arginale dell'invaso. Pertanto lo scaricatore viene dimensionato per smaltire la portata di piena quando nel serbatoio viene raggiunta la quota di massima regolazione. L'evento di progetto dello sfioratore è legato a due fattori:

- portata massima in ingresso;
- precipitazione di progetto sull'area di invaso.

La stima della massima portata di piena è importante al fine della progettazione idraulica dello scarico di superficie dell'invaso. Nel caso di bacini di accumulo con rilevati in terra, la condizione di sormonto dell'acqua al di sopra del coronamento della struttura è da evitare perché potrebbe provocare il collasso dell'intera struttura stessa. La velocità dell'acqua infatti produce una forza di trascinamento sulla terra che può provocare l'asportazione della stessa, innescando un processo auto-distruttivo.

La condizione più gravosa ai fini del dimensionamento dello sfioratore, ovvero quella che produce la massima portata di progetto in ingresso all'invaso, risulta essere quella caratterizzata da:

- raggiungimento della quota di massima regolazione dell'invaso;
- massimo riempimento del canale di alimentazione.

Il canale di alimentazione ha le seguenti caratteristiche medie, valutate nei pressi del manufatto di alimentazione:

- canale a cielo aperto;
- sezione trapezia;
- base pari a 2,00 m;
- pendenza delle sponde pari a 45°;
- altezza massima 1,50 m;

- pendenza media del fondo 5‰.

Per la valutazione della portata transitante nel canale nella condizione di massimo riempimento si impiega la formula della portata uniforme di Chezy-Strickler:

$$Q = k_s \cdot A \cdot R^{1/6} \cdot \sqrt{R \cdot i}$$

dove

Q, portata transitante (m<sup>3</sup>/s)

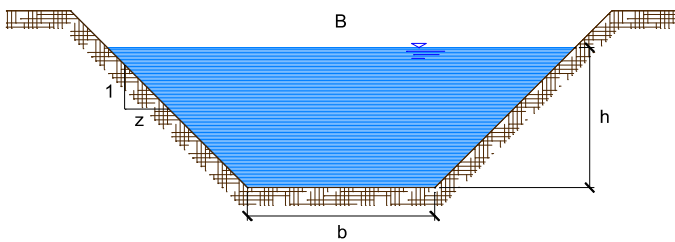
k<sub>s</sub> scabrezza di Strickler (m<sup>1/3</sup>/s)

A, area bagnata (m<sup>2</sup>)

R, raggio idraulico (m)

i, pendenza media del fondo alveo (-).

Nel caso di canale a sezione trapezia si possono usare le seguenti formulazioni per valutare l'area, il contorno bagnato (P) e la larghezza del pelo libero (B) in funzione del tirante raggiunto nel canale:



$$A = h \cdot (b + z \cdot h)$$

$$P = b + 2h \cdot \sqrt{1 + z^2}$$

$$R = b + 2zh$$

A favore di sicurezza si effettua il calcolo considerando il canale completamente pieno (h<sub>max</sub>, massimo tirante), a cui corrisponde la portata pari a:

Invaso	b	h <sub>max</sub>	α	z	B	A	P	R	k <sub>s</sub>	i	Q
	(m)	(m)	(°)	(-)	(m)	(m <sup>2</sup> )	(m)	(m)	(m <sup>1/3</sup> /s)	(-)	(m <sup>3</sup> /s)
<b>FABBIANO</b>	2,00	<b>1,50</b>	45	1,00	5,00	5,25	6,24	0,841	35	0,005	<b>11,58</b>

Tale portata è la massima transitante nel canale Rio Grande a cui verrà collegata la tubazione di carico dell'invaso. La condizione più sfavorevole ai fini della sicurezza dell'invaso è quella in cui transiti nel canale di alimentazione la massima portata smaltibile in concomitanza di serbatoio pieno, che corrisponde al

transito della portata di piena precedentemente calcolata nel Rio Grande (a cui corrisponde il tirante  $h_{max}$ ), nel caso in cui l'invaso sia riempito fino alla quota di regolazione. La portata che defluisce nella tubazione di carico è calcolata schematizzando tale situazione come condotta in pressione tra due serbatoi (canale a monte, invaso a valle).

Facendo riferimento a condizioni di moto permanente, deve essere risolta l'equazione del moto:

$$\Delta H = L \cdot J + \Sigma P_c$$

dove  $\Delta H$  indica la differenza tra i carichi totali a monte e a valle della condotta (avente lunghezza pari a  $L$ ),  $J$  la cadente piezometrica che dipende da portata, diametro della tubazione e relativa scabrezza, e con  $\Sigma P_c$  la somma delle perdite di carico concentrate presenti lungo la condotta. Le perdite concentrate comportano una diminuzione della portata transitante in condotta e pertanto ai fini della sicurezza verranno trascurate, massimizzando la portata in ingresso all'invaso.

I dati di progetto della condotta sono di seguito riassunti:

- diametro  $D = 500$  mm;
- materiale PVC;
- scabrezza assoluta  $\varepsilon = 0,002$  mm;
- scabrezza relativa  $\varepsilon/D = 4 \cdot 10^{-6}$ ;
- lunghezza 425,30 m;
- pendenza media 8‰.

I carichi a monte e a valle della condotta sono rispettivamente:

- carico dato dal tirante nel canale pari a 140,70 m s.l.m.;
- carico dato dalla quota di massima regolazione pari a 139,00 m s.l.m.;

Di conseguenza la differenza di carico è pari a 1,70 m.

Il legame tra cadente piezometrica e diametro è espresso dalla seguente relazione:

$$J = \lambda \cdot \frac{v^2}{2gD} = \lambda \cdot \frac{Q^2}{2gDA^2}$$

dove  $\lambda$  rappresenta l'indice di resistenza di Darcy-Weisbach per la cui valutazione si fa riferimento alla formulazione di Prandtl-Nikuradse, valida per moto assolutamente turbolento:

$$\lambda = \left[ 2 \cdot \log_{10} \left( \frac{3.71 \cdot D}{\varepsilon} \right) \right]^{-2}$$

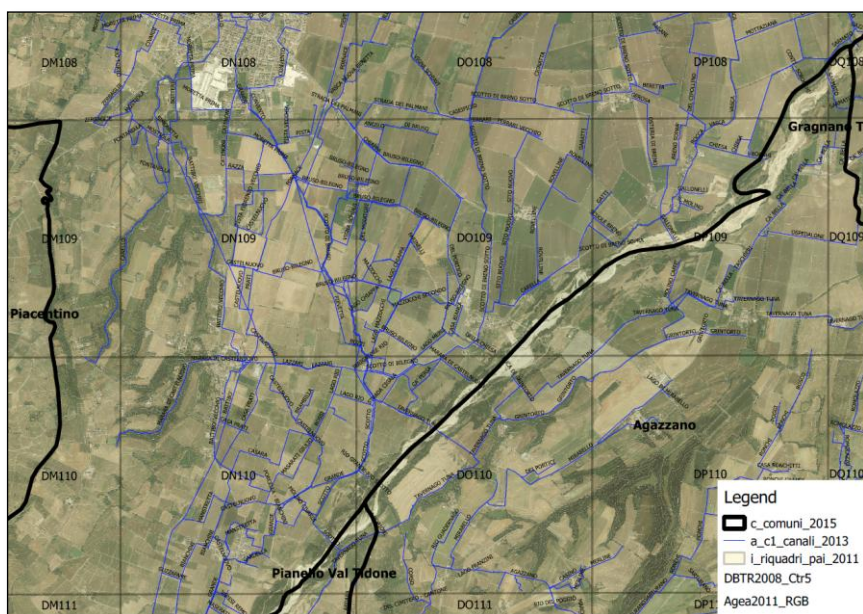
Si riportano di seguito i risultati dei calcoli effettuati:

Invaso	$H_{monte}$ (m s.l.m.)	$H_{valle}$ (m s.l.m.)	$\Delta H$ (m)	$D$ (m)	$A$ (m <sup>2</sup> )	$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	$v$ (m/s)	$\varepsilon$ (mm)	$\varepsilon/D$ (-)	$\lambda$ (-)	$J$ (m/m)	$L$ (m)
FABBIANO	140,70	139,00	1,70	0,5	0,1963	<b>0,376</b>	1,91	0,002	$4 \cdot 10^{-6}$	0,010723	0,0040	425,3

A favore di sicurezza si decide di considerare anche la portata che genera dalla precipitazione sullo specchio liquido dell'invaso, corrispondente ad un evento meteorico di progetto con tempo di ritorno pari a 200 anni. La valutazione dell'altezza di precipitazione corrispondente all'evento meteorico di progetto viene effettuata tramite l'analisi probabilistica delle precipitazioni, determinando le Curve di Possibilità Pluviometrica (CPP) dell'area in oggetto. Tali curve legano l'altezza di precipitazione corrispondente ad un evento con tempo di ritorno prefissato con la durata dell'evento stesso, e sono approssimate dalla relazione:

$$h = a \cdot t^n$$

in cui  $h$  è l'altezza di precipitazione espressa in mm,  $t$  è la corrispondente durata espressa in ore,  $a$  è un parametro che dipende dall'ordine e  $n$  è un esponente che risulta sempre  $0 < n < 1$  a causa della concavità verso il basso della CPP. All'interno dello strumento PAI (Autorità di Bacino del Po, 1999) sono riportati i parametri  $a$  e  $n$  delle CPP associati i tempi di ritorno di 20, 100, 200 e 500 anni, per ognuna delle celle della discretizzazione territoriale (maglia quadrata di lato pari a 2 km).



Celle pluviometriche PAI

Pertanto è possibile ricavare i parametri delle CPP relativi al tempo di ritorno di 200 anni, e di conseguenza l'altezza di precipitazione di progetto riferita ad una durata critica pari a 1 ora.

La portata che si genera durante l'evento pluviometrico con  $Tr = 200$  anni sullo specchio liquido dell'invaso risulta:

Invaso	A	cella PAI	$a_{200}$	$n_{200}$	t	$h_{200}$	V	Q
	( $m^2$ )		(mm/h)	(-)	(ore)	(mm)	( $m^3$ )	( $m^3/s$ )
FABBIANO	30.000	DN110	53,66	0,321	1	53,66	1610	<b>0,447</b>

La portata di dimensionamento dello scarico di superficie risulta pari alla somma della massima portata in

ingresso all'invaso e dalla portata corrispondente alla pioggia sullo specchio liquido dell'invaso stesso (Tr200):

$$Q = 0,376 + 0,447 = 0,823 \text{ m}^3/\text{s}.$$

Lo sfioratore verrà cautelativamente dimensionato per una portata pari a  $1,50 \text{ m}^3/\text{s}$ .

Il progetto prevede la realizzazione di uno scarico di superficie costituito da una soglia di sfioro che immette le acque in un canale fugatore a cielo aperto. La formula dello stramazzo utilizzata nel dimensionamento dello sfioratore di superficie è la seguente:

$$Q = \mu L h \sqrt{2gh}$$

dove

Q, portata scaricata ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$\mu$ , coefficiente di efflusso (-)

L, sviluppo longitudinale della soglia di sfioro (m)

h, carico idraulico sulla soglia (m)

g, accelerazione di gravità ( $9,81 \text{ m/s}^2$ ).

Nel caso di soglia non sagomata, il coefficiente di efflusso  $\mu$  da adottare è quello valido in caso di stramazzo in parete grossa, di valore pari a 0,385.

Dal calcolo idraulico si ricava il dimensionamento dello sfioratore:

Invaso	$Q_{\text{prog}}$ ( $\text{m}^3/\text{s}$ )	L (m)	h (m)	$\mu$ (-)
FABBIANO	1,50	20	0,13	0,385

La soglia sfiorante avrà lunghezza pari a 20 m e verrà raccordata con il piano di coronamento dell'arginatura in terra dell'invaso (gaveta trapezia). Entrerà in funzione una volta che, durante un evento pluviometrico, verrà superata la quota di regolazione dell'invaso, per consentire il transito della portata di progetto. Il massimo carico idraulico sopra soglia sarà pari a circa 15 cm, pertanto la quota di massimo invaso supererà di tale valore la quota di massima regolazione. Il franco idraulico di sicurezza sarà quindi pari a circa 85 cm.

Il canale fugatore consente di smaltire la portata di piena di progetto e convogliarla verso il canale ricettore più vicino. E' costituito da uno scivolo in massi intasati in cls, al fine di evitare fenomeni di erosione, che si raccorda col canale stesso, le cui caratteristiche risultano compatibili allo smaltimento della portata di piena.

## Rete di distribuzione

La connessione idraulica alla rete consortile esistente è realizzata tramite una condotta in PVC di diametro pari a 500 mm. L'immissione nella rete irrigua esistente avviene tramite lo sbocco della tubazione nel canale di restituzione, ovvero il Rio Scotto. Tale canale risulta rivestito in c.a. nel tratto interessato dall'immissione

della tubazione di restituzione, che ha una lunghezza pari a circa 300,60 m e una pendenza pari a 5,7%.

## Verifiche statiche delle condotte

Lo scopo delle verifiche statiche è di accertare che le tubazioni in progetto siano in grado di resistere, con un adeguato margine di sicurezza, ai carichi agenti su di esse, rispettando le condizioni necessarie per il normale esercizio ed assicurandone la conservazione e la funzionalità nel tempo.

La verifica statica di una tubazione interrata consiste, quindi, nell'accertare che i carichi agenti sulla struttura provochino tensioni e deformazioni compatibili con la geometria, con il materiale della tubazione e con le esigenze di progetto e funzionalità.

Il comportamento statico di una tubazione interrata dipende dalla resistenza del materiale costituente la condotta, da quella del materiale che la circonda e dalla metodologia di posa della stessa. Ne conseguono criteri di verifica differenti a seconda della rigidità della condotta.

Per stabilire il comportamento della condotta, in riferimento alla norma UNI 7517/76, è possibile definire il coefficiente di elasticità  $n$  come segue:

$$n = \frac{E_t}{E} \left( \frac{r}{s} \right)^3$$

dove:

- $E_t$  = modulo di elasticità del terreno;
- $E$  = modulo di elasticità del materiale costituente la tubazione;
- $r$  = raggio della fibra media del tubo;
- $s$  = spessore della tubazione.

Se  $n > 1$  allora la condotta è definita come flessibile, in alternativa è classificata come rigida.

Le tubazioni cosiddette flessibili possono subire deformazioni significative prima di giungere alla rottura. Di conseguenza per valutarne il comportamento statico non è possibile fare riferimento al carico di rottura, ma il criterio di dimensionamento considera la massima ovalizzazione ammissibile o la sollecitazione di flessione massima ammissibile.

Per l'effettuazione delle verifiche sulle tubazioni è, quindi, necessario determinare i carichi che gravano su di esse: una tubazione interrata risulta, infatti, sottoposta a carichi verticali costituiti dal peso del terreno di ricoprimento e da eventuali sovraccarichi accidentali che tendono ad ovalizzare la tubazione. Analogo effetto di ovalizzazione è prodotto dal peso dell'acqua contenuta nel tubo. Per effetto dell'ovalizzazione il tubo esercita sul terreno una spinta la cui reazione contrasta l'ovalizzazione stessa della tubazione contribuendo a migliorarne la stabilità. Questo effetto stabilizzante è normalmente quantificato in un coefficiente di posa che dipende dal modo in cui la tubazione è posata e dal tipo di rinfilo (grado di costipazione).

Particolare cura dovrà, pertanto, essere rivolta all'esecuzione del letto di posa ed alla selezione del materiale costituente il riempimento dello scavo in modo da consentire la totale collaborazione a fronte delle deformazioni indotte dalla tubazione da carichi esterni mobili o dal semplice ricoprimento. Lo scavo sarà tale da consentire la posa in opera delle tubazioni nelle migliori condizioni di operatività.

## Azione verticale dovuta al terreno di rinterro

Le disposizioni per il carico dovuto al rinterro, fornite dalla norma UNI 7517/76, rispecchiano le ipotesi di Spangler. Tale carico viene calcolato in maniera differente a seconda che la posa sia in trincea stretta o in trincea larga.

Per indicare la trincea stretta occorre che almeno una delle due condizioni seguenti sia verificata:

$$B \leq 2D \text{ e } H \geq 1,5B$$

$$2D < B < 3D \text{ e } H \geq 3,5B$$

dove

B, larghezza della trincea a livello della generatrice superiore del tubo;

H, altezza del rinterro al di sopra della generatrice superiore del tubo;

D, diametro esterno della tubazione.

Nel caso di trincea stretta il carico del rinterro viene calcolato con la formula:

$$Q_{st} = c_t \cdot \gamma_t \cdot B^2$$

dove

$Q_{st}$  = carico verticale sul tubo dovuto al rinterro;

$\gamma_t$  = peso specifico del materiale di rinterro;

$c_t$  = coefficiente di carico del terreno nella posa in trincea stretta, calcolato in funzione dell'angolo di attrito interno del materiale di rinterro  $\rho$  come segue:

$$c_t = \frac{1 - e^{-2 \cdot [\tan^2(45^\circ - 0,5\rho)] \cdot (H/B) \cdot \tan(\rho)}}{2 \cdot [\tan^2(45^\circ - 0,5\rho)] \cdot \tan(\rho)}$$

Nel caso in cui  $Q_{st}$  risultasse minore del peso stesso del prisma di terreno sovrastante si utilizza il peso di quest'ultimo come carico gravante sulla condotta, calcolato come  $Q_{st} = \gamma_t HD$ .

Nel caso di trincea larga e tubazione rigida il carico dovuto al rinterro è calcolabile come:

$$Q_{st} = c_e \cdot \gamma_t \cdot D^2$$

dove il coefficiente di carico del terreno  $c_e$  è funzione del rapporto H/D secondo la relazione:

$$\text{per } H/D > 2,66 : c_e = 0,1 + 1,68 \cdot H/D$$

$$\text{per } H/D < 2,66 : c_e = 0,1 + 0,85 \cdot H/D + 0,33(H/D)^2$$

Se la tubazione fosse classificata come flessibile, il carico verticale dovuto al rinterro si dovrebbe assumere pari al peso del prisma di terreno sovrastante. Dal momento che le tubazioni sono sempre poste al di sopra del livello della falda freatica, si può ritenere nulla la pressione idrostatica esterna.

## Carico dovuto ai sovraccarichi mobili

La valutazione del carico sulla generatrice superiore del tubo  $P_V$ , dovuto al transito di un mezzo circolante ad una altezza  $H$  sopra la generatrice del tubo, qualora si tratti di un sovraccarico verticale concentrato dovuto a veicoli su ruote si calcola, con riferimento alla norma UNI 7517, con la seguente espressione:

$$P_V = \sigma_z \cdot D \cdot \varphi$$

dove

$\sigma_z$  = tensione di compressione sulla generatrice superiore del tubo;

$\varphi$  = coefficiente di amplificazione dinamica.

La tensione di compressione  $\sigma_z$  è calcolata in funzione dello spessore del rinterro e del tipo di convoglio considerato. In particolare:

$$\text{convoglio HT: } \sigma_z = 0,5281 \cdot \frac{P}{H^{1,0461}}$$

$$\text{convoglio LT: } \sigma_z = 0,8743 \cdot \frac{P}{H^{1,5194}}$$

dove la determinazione del parametro  $P$  è effettuata in base ai convogli tipo disciplinati dalla norma DIN 1072 e rappresentati da due tipi di autocarro: pesante HT e leggero LT.

Il coefficiente di amplificazione dinamica  $\varphi$  tiene conto del movimento del carico ed è calcolabile secondo le relazioni:

- per strade e autostrade:  $\varphi = 1 + 0,3/H$
- per ferrovie:  $\varphi = 1 + 0,6/H$

Nel caso in esame è stata considerata l'azione di un veicolo di classe LT-12 (DIN1072) a cui corrisponde un carico per la ruota anteriore  $P$  di 20 kN.

## Verifica statica in regime elastico

Il comportamento statico di una condotta è riconducibile a quello di un anello sottile. L'accertamento sull'ammissibilità dello stato tensionale a cui è soggetta la tubazione è normalmente condotto ipotizzando che la sezione sia completamente reagente e calcolando le sollecitazioni che si verificano nelle tre sezioni più significative: al vertice, sui fianchi e sul fondo.

Oltre al carico verticale dovuto al rinterro e ad eventuali sovraccarichi mobili, la tubazione è soggetta all'azione dei seguenti carichi:

- $G_c$  = peso proprio della condotta pari a:

$$G_c = \gamma_c \cdot \pi \cdot d \cdot s$$

dove si indica con  $\gamma_c$  il peso specifico del materiale, con  $d$  il diametro della fibra media della condotta e con  $s$  lo spessore della tubazione.

- $G_a$  = peso proprio dell'acqua di riempimento calcolata in funzione del peso specifico dell'acqua  $\gamma_w$  e pari a:



$$G_a = 0,25 \cdot \gamma_w \cdot \pi \cdot (d - s)^2$$

- $H_0$  = spinta orizzontale uniformemente distribuita dipendente dal coefficiente di spinta attiva  $K_a$  tramite la relazione:

$$H_0 = \gamma_t \cdot H \cdot D \cdot K_a$$

- $H_t$  = spinta orizzontale distribuita linearmente pari a:

$$H_t = \frac{1}{2} \cdot \gamma_t \cdot D^2 \cdot K_a$$

- $Q$  = reazione uniformemente distribuita su  $D \sin \alpha$  (dove  $\alpha$  è l'angolo di appoggio del tubo sul terreno)

## Verifica dell'inflessione diametrale per tubazioni flessibili

La prima delle verifiche eseguite sulle tubazioni di tipo flessibile riguarda la massima inflessione diametrale.

L'esigenza di limitare le deformazioni scaturisce dal fatto che queste, se superano certi limiti di accettabilità, possono dar luogo a una riduzione della portata liquida non trascurabile alterando lo stato delle sollecitazioni.

La massima deflessione delle condotte in progetto è stata determinata mediante la formula di Spangler, che si basa sull'ipotesi che i carichi verticali permanenti e i sovraccarichi diano luogo a pressioni verticali in sommità e alla base del tubo uniformemente distribuite sull'intero diametro orizzontale e a pressioni orizzontali agenti con andamento parabolico sulle corde verticali che sottendono angoli al centro di  $100^\circ$ . L'inflessione massima, con il 95% di probabilità è, pertanto, fornita dalla seguente espressione:

$$\Delta y = \frac{(f_r \cdot Q_{st} + P_V) \cdot K_X \cdot r^3}{EI + 0,061 \cdot K_a \cdot E_t \cdot r^3} + \Delta a$$

dove

$\Delta y$ , inflessione diametrale verticale del tubo [cm];

$f_r$ , fattore di ritardo d'inflessione che tiene conto dell'assestamento del terreno nel tempo varia in funzione del grado di costipamento del terreno di riempimento;

$Q_{st}$ , carico verticale permanente dovuto al rinterro [N/cm];

$P_V$ , sovraccarico mobile [N/cm];

$K_X$ , coefficiente adimensionale d'inflessione o di appoggio. I suoi valori variano da 0,0083 a 0,110 al variare del tipo di posa;

$r$ , raggio medio della tubazione [cm];

$EI$ , fattore di rigidità trasversale della tubazione [N·cm];

$E_t$ , modulo elastico del terreno [N/cm<sup>2</sup>];

$K_a$  e  $\Delta a$ , parametri che consentono di passare dall'inflessione media all'inflessione massima caratteristica, dipendenti dall'altezza del rinterro.

Per i vari materiali le specifiche normative o le raccomandazioni dei produttori di tubi consigliano di non

superare valori di  $\Delta y$  di  $0,08 D_E$ .

### Verifica all'instabilità elastica per tubazioni flessibili

Una tubazione sollecitata da forze radiali uniformemente distribuite e dirette verso il centro, dapprima rimane circolare, poi all'aumentare delle forze, si inflette ovalizzandosi. Per quanto riguarda le tubazioni interrato, la sollecitazione che determina l'instabilità elastica è legata, oltre che alle caratteristiche meccaniche della tubazione, anche al modulo elastico del suolo  $E_t$ .

La pressione ammissibile di buckling è stata calcolata con l'espressione:

$$q_a = \frac{1}{FS} \cdot \sqrt{32 \cdot \left(1 - 0,33 \frac{H_w}{H}\right) \cdot \frac{1}{1 + 4e^{-0,213H}} \cdot E_t \cdot \frac{EI}{D^3}}$$

dove

$q_a$ , pressione ammissibile di buckling [N/cm<sup>2</sup>];

FS, fattore di sicurezza posto pari 2,5;

$H_w$ , altezza della superficie libera della falda misurata dalla generatrice superiore del tubo;

H, altezza del rinterro misurata dalla generatrice superiore del tubo;

$E_t$ , modulo elastico del terreno [N/cm<sup>2</sup>];

EI, fattore di rigidità trasversale della tubazione [N cm];

D, diametro esterno della tubazione [cm].

La verifica di buckling risulta soddisfatta se:

$$\gamma_w \cdot H_w + R_w \cdot \frac{Q_{st}}{D} + \frac{P_V}{D} < q_a$$

### Risultati

Si riportano nel seguito i risultati ottenuti dall'applicazione delle verifiche sulle tubazioni, descritte nei precedenti paragrafi. I calcoli di verifica sono stati eseguiti con riferimento al massimo ricoprimento delle tubazioni, pari a 1,5 m. Le tubazioni di carico e scarico del bacino di accumulo, collocate al di sotto del rilevato arginale, sono protette tramite apposito cassonetto in c.a., e pertanto non sono oggetto di verifiche statiche. Sono riportati di seguito i calcoli effettuati in relazione ai parametri geotecnici dei terreni che caratterizzato l'area d'interesse, al fine di soddisfare le verifiche nella situazione peggiore.

La tubazione in progetto, in PVC con diametro interno pari a 500 mm e spessore 12,3 mm, soddisfa le verifiche statiche riportate.

TUBAZIONE IN PVC DN 500				
PARAMETRO	SIMBOLO	U.M.		
Parametri del materiale				

Materiale			PVC	
Diametro nominale	DN		500	
Diametro esterno del tubo	De	mm	524,6	
Classe di pressione	PN	atm	6	
Modulo elastico tubazione	E	MPa	3000	
Rigidità	SN		4	
Spessore	s	mm	12,3	
Peso specifico materiale tubo	$\gamma_c$	kN/mc	13,93	
<b>Parametri del terreno</b>				
Peso specifico del rinterro	$\gamma_t$	kN/mc	17	
Angolo attrito terreno	$\phi$	°	29	
Modulo elasticità terreno	$E_t$	MPa	150	
<b>Geometria</b>				
Larghezza Trincea alla generatrice superiore	B	m	3	
Rinterro da generatrice superiore	H	m	1,5	
<b>Condizioni di carico</b>				
Classe veicoli stradali			LT	
			12	
Attraversamento tipo:	Strada			
Presenza falda	No			
<b>Tipologia tubazioni</b>				
	Tubazione flessibile			
	Trincea larga			
<b>Carichi agenti</b>				
Sovraccarico permanente verticale	$Q_{st}$	kN/m	12,8	
Carico verticale variabile	$P_v$	kN/m	5,67	
Peso proprio della condotta	$G_c$	kN/m	0,26	
Peso acqua di riempimento	$G_a$	kN/m	1,78	
<b>Verifica inflessione diametrale</b>				
Coefficiente d'inflessione	$K_x$		0,096	
Fattore di ritardo d'inflessione	$f_r$		1,40	
	$K_a$		0,35	
	$\Delta a$		0	
Inflessione diametrale verticale	$\Delta y$	mm	0,3	
	$\Delta y/DE$		0,06%	<8%
<b>Verifica all'instabilità elastica</b>				
Fattore di sicurezza	FS		5,81	
Pressione ammissibile di buckling	$q_a$	N/cm <sup>2</sup>	21,39	
Pressione risultante	$p_{ris}$	N/cm <sup>2</sup>	3,68	

## Bacino irriguo sotteso all'invaso

L'invaso consentirà di migliorare il soddisfacimento idrico delle colture presenti nell'areale irriguo che lo stesso sottende, pur senza il raggiungimento della piena irrigazione. Tale comprensorio irriguo è stato tracciato su supporto cartografico digitale, includendo i terreni che potranno essere serviti dal bacino di accumulo in progetto. L'areale individuato è stato compiutamente descritto, come riportato nell'Allegato 4 del bando di selezione, indicando le seguenti informazioni:

- tipologie di colture presenti e relative superfici in termini di S.A.U.;
- fabbisogno delle colture;
- stima dei volumi irrigui stagionali normalmente applicati;
- metodo irriguo impiegato.

Il Canale Emiliano Romagnolo (CER), dal 2007 in forza di una convenzione con la Regione Emilia Romagna rende disponibili ai diversi Consorzi di Bonifica la "cartografia digitalizzata sull'uso reale del suolo" realizzata in ambiente geodatabase standard ESRI. La cartografia di base utilizzata da CER per la produzione della carta è quella catastale vettoriale. L'unità di base delle analisi e delle restituzioni dell'uso reale del suolo è costituita dalla particella catastale. La procedura implementata da CER è finalizzata ad aggregare un insieme coerente di dati spaziali e aspaziali selezionati per descrivere l'uso del suolo agricolo e la distribuzione reale delle colture. Ad ogni particella catastale sono associati gli attributi relativi al gruppo colturale di appartenenza integrando gli elementi conoscitivi desunti dal telerilevamento satellitare della Regione Emilia Romagna iColt e le basi dati delle dichiarazioni AGREA. La Carta dell'uso reale del suolo, date le procedure di elaborazione, è resa disponibile generalmente nel mese di settembre dell'anno in corso.

Le informazioni sulle tipologie di colture presenti nell'areale irriguo, pertanto, sono state desunte tramite estrazione dalla banca dati della Carta dell'uso reale del suolo (media del quinquennio 2012-2016).

Le superfici riferite alle colture sono state espresse in termini di S.A.U. tramite le informazioni cartografiche a disposizione del consorzio di bonifica.

Il calcolo delle necessità irrigue complessive del comprensorio irriguo è stato ottenuto moltiplicando le superfici delle colture irrigue attualmente utilizzate per i relativi volumi mensili irrigui standardizzati (fabbisogni), riportati nella seguente tabella allegata al bando:

Classe di idroesigenza	Coltura	Maggio	Giugno	Luglio	Agosto	Settembre	Totale
<b>CLASSE I</b> (1000 m <sup>3</sup> /ha)	Mandorlo	350					350
	Cereali autunno vernini	350					350
	Loto			300	300	300	900
	Sorgo		450	450			900
	Girasole		450	450			900
	Colture da seme	350	650				1000
<b>CLASSE II</b> (2000 m <sup>3</sup> /ha)	Olivo		350	450	350		1150
	Vite			800	450		1250
	Bietola	750	500	300			1550
	Soia		350	1300			1650
	Albicocco	300	900	350	350		1900
	Cilegio	300	900	350	350		1900
	Patata	700	1000	300			2000
<b>CLASSE III</b> (3000 m <sup>3</sup> /ha)	Fragola	450	550		1100	350	2450
	Prati di foraggiere	150	650	850	650	250	2550
	Altre ortive	550	550	550	550	550	2750
	Altre colture	550	550	550	550	550	2750
	Cipolla	800	1050	900			2750
	Melone		900	1500	350		2750
	Susino	300	900	1250	350		2800
	Pomodoro da l.	500	550	1300	450		2800
	Pesco e Net.	300	900	1250	350		2800
	Ciclo Fagiolino	300	800	550	800	500	2950
<b>CLASSE IV</b> (4500 m <sup>3</sup> /ha)	Cocomero	850	1100	1150			3100
	Mais	450	1000	1250	500		3200
	Pero e Melo	300	1000	1400	1000	150	3850
	Actinidia	150	950	1400	1200	650	4350

Tabella bando PSR-regionale: volumi irrigui standardizzati (m<sup>3</sup>/ha)

Sono state inoltre descritte le fonti irrigue a servizio dell'areale in oggetto, indicandone denominazione, tipologia, concessione di derivazione e condizione relativa allo stato quantitativo (Piano di gestione del bacino idrografico fiume Po). I volumi stagionali normalmente applicati sono pari i volumi idrici che attualmente il consorzio consegna alle utenze comprese nell'areale analizzato, stimati grazie al sistema di telecontrollo di cui sono dotate le prese irrigue a servizio del comprensorio stesso.

All'interno del bacino irriguo sotteso all'invaso, il metodo irriguo prevalente è quello del goccia a goccia, adottato dalla maggioranza delle aziende agricole presenti sul territorio (oltre 90% per pomodoro e oltre 75% per mais).