



Finanziato
dall'Unione europea
NextGeneration EU



Mims
Ministero delle infrastrutture
e della mobilità sostenibili

*Piano Nazionale per la Ripresa e
Resilienza
M2C4 - I4.1
"Investimenti in infrastrutture idriche primarie
per la sicurezza dell'approvvigionamento idrico"*

**RECUPERO DI BACINI DI EX CAVA IN DESTRA IDRAULICA DEL FIUME
MARECCHIA, CON FUNZIONE DI STOCCAGGIO PER SOCCORSO E
DISTRIBUZIONE IRRIGUA SULLA BASSA VALMARECCHIA, LAMINAZIONE
DELLE PIENE ED USO AMBIENTALE**

Codice Intervento: PNRR-M2C4-I4.1-A1-3

PROGETTO DEFINITIVO

Importo progetto € 15.000.000,00

C.U.P. I61B20001260001



A.1.2

RELAZIONE DI CALCOLO

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Andrea Cicchetti

PROGETTISTA GENERALE DELL'OPERA

Ing. Alberto Vanni

CONSULENZA SPECIALISTICA

OPERE IDRAULICHE

Ing. Marco Donati

PROGETTISTA DELLE OPERE

ELETTROMECCANICHE

Ing. Marco Timoncini

Codice Progetto	Revisioni	Descrizione	data
T1RN - 01/2022	0	Emissione per progetto definitivo	15/09/2022



**Recupero dei bacini di ex cava in destra idraulica del Fiume
Marecchia con funzione di stoccaggio per soccorso e
distribuzione irrigua sulla bassa Valmarecchia, laminazione delle
piene ed uso ambientale nei comuni di Rimini, Verucchio e
Santarcangelo di Romagna (RN)**

RELAZIONE DI CALCOLO

Settembre 2022

Sommario

1	Premessa.....	3
2	Calcolo del fabbisogno irriguo	4
3	Calcolo della capacità d'invaso del lago Santarini e Azzurro	7
3.1	Rilievi topografici dei laghi e calcolo dei volumi utili geometrici di progetto	7
3.1.1	Lago Santarini.....	7
3.1.2	Lago Azzurro.....	8
3.1.3	Riepilogo dati geometrici dei laghi	10
3.2	Calcolo dei volumi utili per l'irrigazione.....	10
3.3	Stima del volume d'acqua restituito al suolo a seguito dell'attività irrigua.....	11
4	Dimensionamento della rete irrigua di distribuzione primaria.....	14
5	Dimensionamento dell'impianto di sollevamento.....	16
6	Dimensionamento della tubazione di collegamento tra i due laghi	18
7	Riferimenti bibliografici.....	22

1 Premessa

La presente relazione di calcolo ha l'obiettivo di sviluppare con maggior dettaglio i calcoli già effettuati in fase di Progetto di fattibilità tecnica ed economica, anche alla luce della soluzione prescelta (soluzione D) e di alcune varianti applicate ad essa.

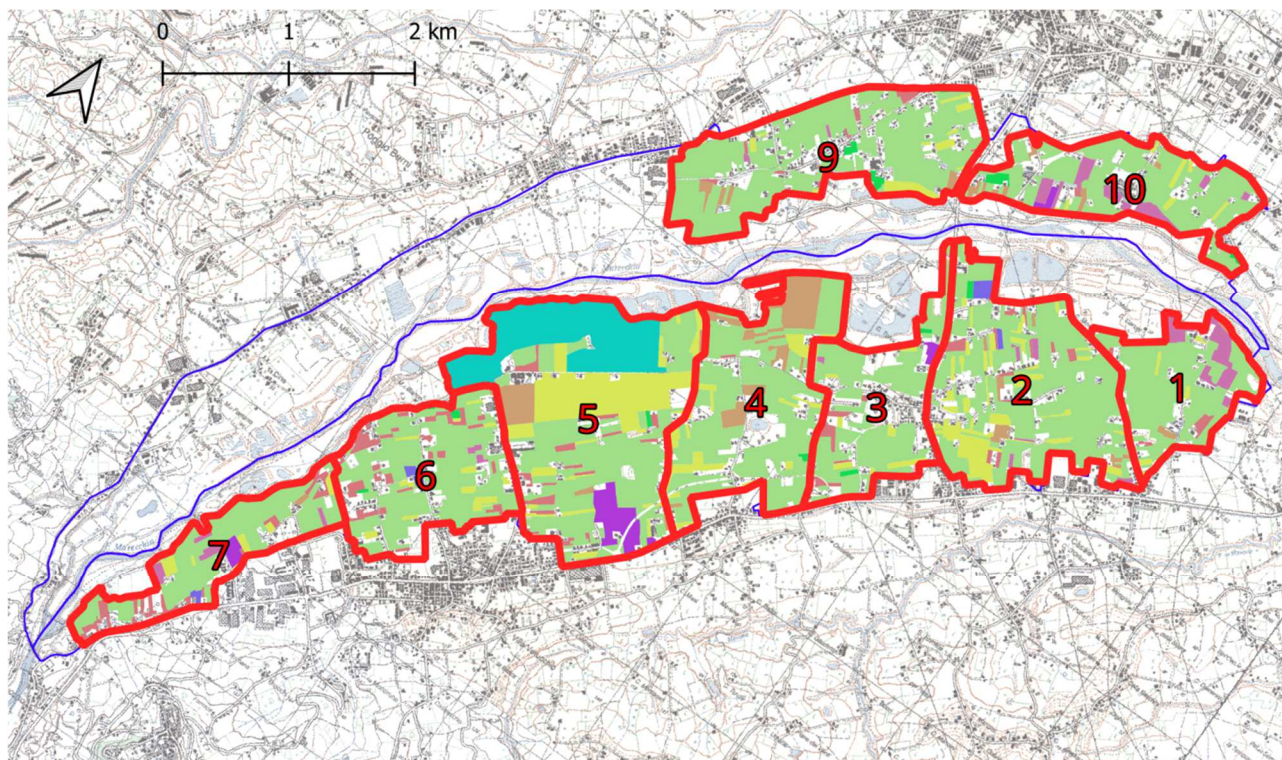
In particolare la relazione contiene i seguenti calcoli:

- Calcolo del fabbisogno irriguo;
- Calcolo della capacità d invaso dei laghi;
- Dimensionamento della rete irrigua di adduzione primaria;
- Dimensionamento della condotta di collegamento tra i due laghi.

2 Calcolo del fabbisogno irriguo

Seguendo l'approccio adottato nel Progetto di fattibilità tecnica ed economica, per l'identificazione delle aree che potenzialmente necessitano di irrigazione all'interno del bacino del Marecchia dominato dal Consorzio di Bonifica, in destra e sinistra idraulica, si è sfruttato in ambiente GIS (QGIS, 2020) lo shapefile dell'uso del suolo 2017 (edizione 2020) sviluppato dalla Regione Emilia-Romagna.^[1]

In Figura 1 si riportano le aree potenzialmente irrigabili nell'areale d'interesse mentre in Tabella 2 si riportano le aree così identificate divise per classi, in relazione ai futuri possibili distretti identificati all'interno del bacino dominato.



Legenda

 Distretti irrigui	 Frutteti
 Bacino del fiume Marecchia dominato dal CdB Romagna	 Oliveti
 Aree con colture agricole e spazi naturali importanti	 Seminativi semplici irrigui
 Campi da golf	 Sistemi culturali e particellari complessi
 Colture orticole	 Vigneti
 Colture temporanee associate a colture permanenti	 Vivai

Figura 1: Uso del suolo nei distretti irrigui identificati nel bacino dominato dal Consorzio di Bonifica del fiume Marecchia

Tali distretti sono numerati in coerenza con la numerazione del Progetto di fattibilità tecnica economica, seguendo un ordine da 1 a 10, e mancando il nodo 8 poiché originariamente rappresentante il nodo di

¹ Servizio Statistica, SIG. 2020. *Coperture vettoriali uso del suolo di dettaglio 2017*. s.l. : Regione Emilia-Romagna, 2020. Raggruppamenti omogenei tipologie di uso del suolo di dettaglio 2017, scala di riferimento 1:10.000. Area minima 0,16 ha, dimensione minima lineare 7 m. Realizzato mediante l'utilizzo di ortofoto TeA a colori (RGB) e all'infrarosso.

rilascio delle acque nel fosso in sinistra idraulica in corrispondenza della briglia di Ponte verucchio, non più previsto nella versione del presente Progetto definitivo.

Aree (ettari) da irrigare										
Numero distretto	1	2	3	4	5	6	7	9	10	
Campi da golf	0	0	0	0	70,24	0	0	0	0	
Colture orticole	11,63	2,55	0,27	0	0	1,02	4,07	0,54	10,78	
Colture temporanee associate a colture permanenti	0	3,22	0	0	0	1,27	0,65	0	0	
Frutteti	1,42	4,01	0,17	26,19	10,05	0,53	0,56	3,64	4,11	
Oliveti	2,18	5,17	3,98	0,26	8,44	13,04	8,66	3,59	0,29	
Seminativi semplici irrigui	62,31	124,62	63,25	105,38	96,56	83,73	55,4	121,08	74,94	
Sistemi colturali e particellari complessi	0	0,75	0,97	0,5	0,46	0,93	0	2,15	1,96	
Vigneti	2,23	24,06	4,36	13,72	53,39	5,57	4,09	7,85	3,11	
Vivai	0	0	1,58	0	12,39	0	2,62	0	1,69	TOTALE
TOTALE	79,77	164,38	74,58	146,05	251,53	106,09	76,05	138,85	96,88	1.134

Tabella 1: Aree da irrigare (ettari), per le varie categorie di uso suolo, divise per i distretti identificati nel bacino dominato

Volume irriguo (m³) necessario nella stagione irrigua alla pianta relativamente ai 10 distretti										
Numero distretto	1	2	3	4	5	6	7	9	10	
Campi da golf	0	0	0	0	284473	0	0	0	0	
Colture orticole	22282	4885	517	0	0	1954	7798	1035	20655	
Colture temporanee associate a colture permanenti	0	7001	0	0	0	2761	1413	0	0	
Frutteti	3452	7706	413	87810	4060	997	1361	10705	9374	
Oliveti	1744	4136	3184	208	6752	10432	6928	2872	232	
Seminativi semplici irrigui	123124	246249	124982	208232	190803	165449	109471	239254	148081	
Sistemi colturali e particellari complessi	0	1337	1730	892	820	1658	0	3834	3494	
Vigneti	4127	44519	8068	25385	98776	10306	7568	14527	5755	
Vivai	0	0	6636	0	52038	0	11004	0	7098	TOTALE
TOTALE	154729	315833	145530	322527	637722	193557	145543	272227	194689	2.382.357

Tabella 2: Volumi irrigui (m³) necessario nell'intera stagione irrigua alla pianta, per le varie categorie di uso suolo, divisi per i distretti identificati nel bacino dominato

Considerando anche l'efficienza del sistema di irrigazione (75% per aspersione), del sistema di distribuzione aziendale (85% per reti in pressione) e del sistema di distribuzione del gestore (90% per rete in pressione) si hanno i volumi irrigui richiesti riportati in Tabella 3, con un totale di **4,15 milioni di m³**:

Distretti	1	2	3	4	5	6	7	9	10
Volume da garantire (m ³)	269.680	550.471	253.647	562.139	1.111.498	337.354	253.670	474.470	339.327
TOTALE (m³)	4.152.256								

Tabella 3: Volume irriguo (m³) necessario nell'intera stagione irrigua, considerando anche le perdite, che bisogna garantire alla sorgente

Per il calcolo della portata media giornaliera nel periodo più idroesigente (15 maggio – 15 settembre) si è assunto un coefficiente 0,70 rispetto al volume totale da garantire (coefficiente di punta mensile pari a circa 1,20), da cui sono state ricavate la portata oraria media Q_{24} sulle 24 ore e la portata oraria media Q_{16} sulle 16 ore (portata di punta). I valori così ottenuti sono riportati in Tabella 4:

Volume totale da fornire nei 4 mesi (15 mag - 15 set)	2,91	milioni di m³
Volume specifico medio giornaliero	21,36	m ³ /d/ha
Portata oraria media Q24	1009	m ³ /h
	280	l/s
Portata oraria media specifica Q24	0,25	l/s/ha
Portata oraria media Q16	1514	m ³ /h
	421	l/s
Portata oraria media specifica Q16	0,37	l/s/ha

Tabella 4: volumi irrigui e portate richieste nel periodo più idroesigente

Il totale della portata di punta da fornire è dunque pari a circa **421 l/s**.

Per quanto riguarda il dettaglio dei singoli distretti si ha:

		Bacino in destra							Bacino in sinistra	
Distretti		1	2	3	4	5	6	7	9	10
V	m³	188.776	385.330	177.553	393.497	778.049	236.148	177.569	332.129	237.529
V/d/A	m³/d/ha	19,72	19,53	19,84	22,45	25,78	18,55	19,46	19,93	20,43
Q24	m³/h	65,55	133,80	61,65	136,63	270,16	82,00	61,66	115,32	82,48
	l/s	18,21	37,17	17,13	37,95	75,04	22,78	17,13	32,03	22,91
									54,94	
Q24/A	l/s/ha	0,23	0,23	0,23	0,26	0,30	0,21	0,23	0,23	0,24
Q16	m³/h	98,32	200,69	92,48	204,95	405,23	122,99	92,48	172,98	123,71
	l/s	27,31	55,75	25,69	56,93	112,56	34,16	25,69	48,05	34,36
									82,41	
Q16/A	l/s/ha	0,34	0,34	0,34	0,39	0,45	0,32	0,34	0,35	0,35

Tabella 5: volumi irrigui e portate richieste nel periodo più idroesigente, per i vari distretti

Questi dati di portata saranno utilizzati per i calcoli di dimensionamento della rete e dell'impianto.

3 Calcolo della capacità d'invaso del lago Santarini e Azzurro

3.1 Rilievi topografici dei laghi e calcolo dei volumi utili geometrici di progetto

Al pari di quanto riportato nel Progetto di fattibilità tecnica ed economica, il rilievo dei laghi è stato effettuato tramite drone, con restituzione di una nuvola di punti rilevati distanziati tra loro con una maglia di 0,50x0,50 metri per le zone al di sopra e al di sotto del livello d'acqua presente nei laghi al momento del rilievo. Dal rilievo dei laghi sono stati ottenuti i DEM tramite il software SAGA GIS, impostando una griglia di restituzione con una maglia spaziata di 1x1 metro. La curva d'invaso è stata ottenuta tramite il software HEC-RAS 5.0.7 con la funzione relativa alle *storage area*, sulla base del DEM determinato.

Per ognuno dei laghi sono stati aggiornati rispetto al Progetto di fattibilità tecnica ed economica i limiti di esercizio dei tiranti per l'invaso a fini irrigui, considerando il massimo range di tiranti sfruttabile.

3.1.1 Lago Santarini

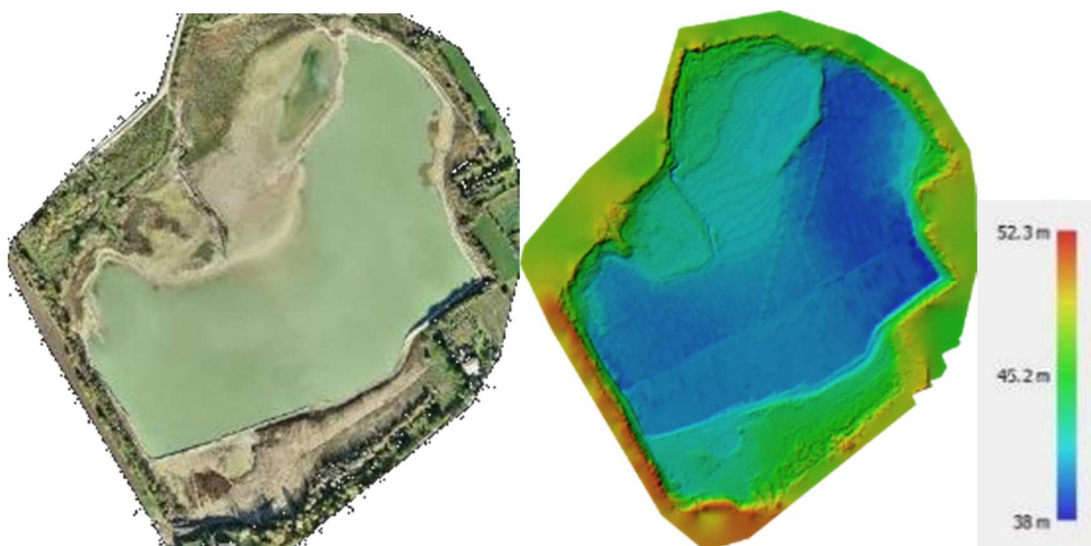


Figura 2: Ortofoto (sinistra) e DTM (destra) del lago Santarini

Quota tirante [m s.l.m.]	Volume [migliaia di m ³]
34.03	0
36.02	11
36.94	51
37.88	151
39.09	326
40.54	605
42.26	991
44.00	1444
44.50	1574

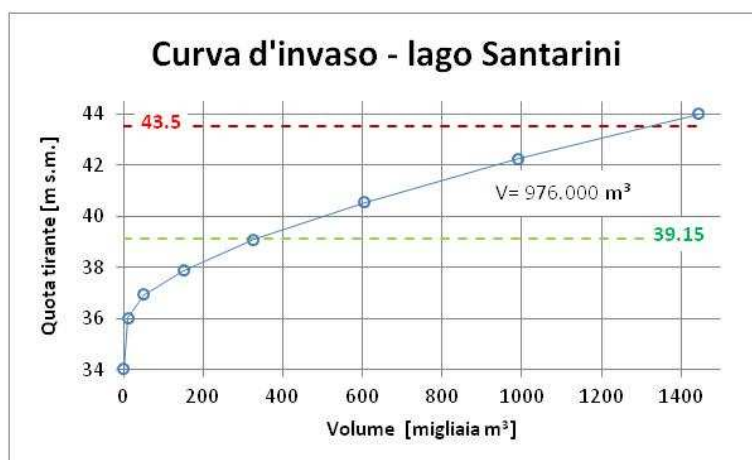


Tabella 6: valori della curva d'invaso per il lago Santarini, desunti dal rilievo

Limiti topografici invaso		Limiti di esercizio	
zmin [m slm]	zmax [m slm]	zmin [m slm]	zmax [m slm]
34,03	44,50	39,15	43,50

Tabella 7: limiti topografici di invaso e variabilità delle quote dei tiranti idrici in esercizio a fini irrigui

Il volume che si ottiene con le quote sopra considerate è pari a **976.000 m³**.

La superficie laterale del lago comprendente il fondo e le sponde ha un andamento con la quota pari a quello illustrato di seguito:

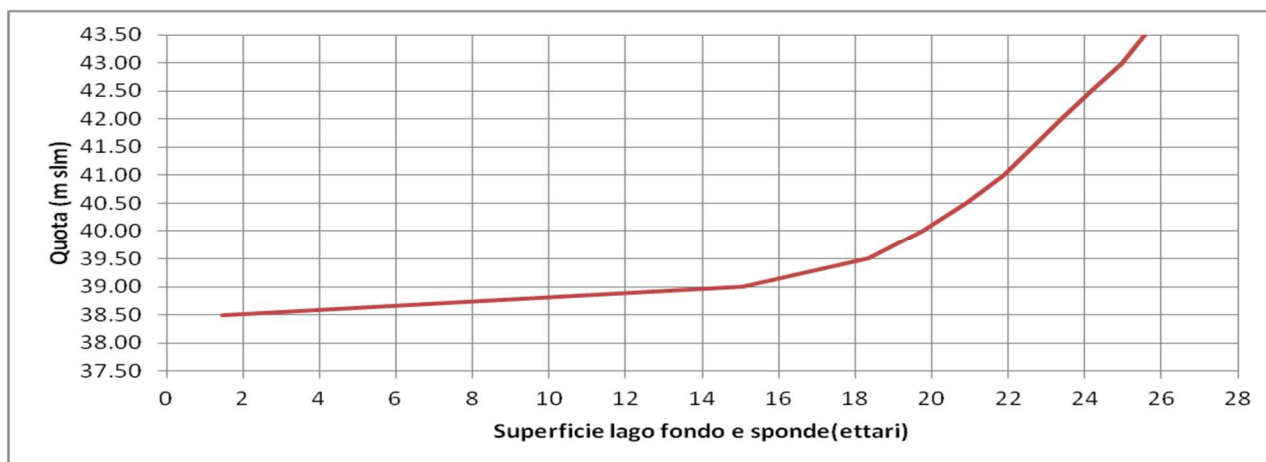


Figura 3: Curva dell'andamento della superficie reale (non proiettata) del lago Santarini in funzione delle quota considerata

3.1.2 Lago Azzurro

Per il lago Azzurro è stata prevista una totale risagomatura di sponde e fondo, al fine di:

- riempire la parte più profonda del lago da quota 23,0 m slm a quota 27,5 m slm per consentire le operazioni di impermeabilizzazione, diversamente non fattibili a causa del livello di falda sempre presente ad una quota minima di 26,0 m slm circa
- ottenere il massimo volume utile data la necessità di abbassare il livello di massimo invaso per consentire il mantenimento degli habitat lacustri presenti;
- ricostituire una zona di bosco lacustre ad una quota (33,5 m slm) compatibile con il massimo livello di riempimento stabilito (36,0 m slm)

Oltre alla livellazione del terreno e risagomatura del fondo e delle sponde del lago, si precede l'impermeabilizzazione di fondo e sponde con argille per uno strato di 60 cm. L'impermeabilizzazione non interesserà la parte posta a nord attualmente coperta dal bosco poiché già caratterizzata da materiale limoso e destinata al mantenimento del bosco.

Di seguito si riportano i grafici dei volumi che si ottengono nella configurazione di progetto,



Figura 4: Planimetria di progetto del lago Azzurro del Progetto Definitivo

Quota tirante [m s.l.m.]	Volume [migliaia di m ³]
27,5	0.00
28	0.16
29	0.25
30	0.35
31	0.44
32	0.54
33	0.64
34	0.75
35	0.86
36	0.98
37	1.10

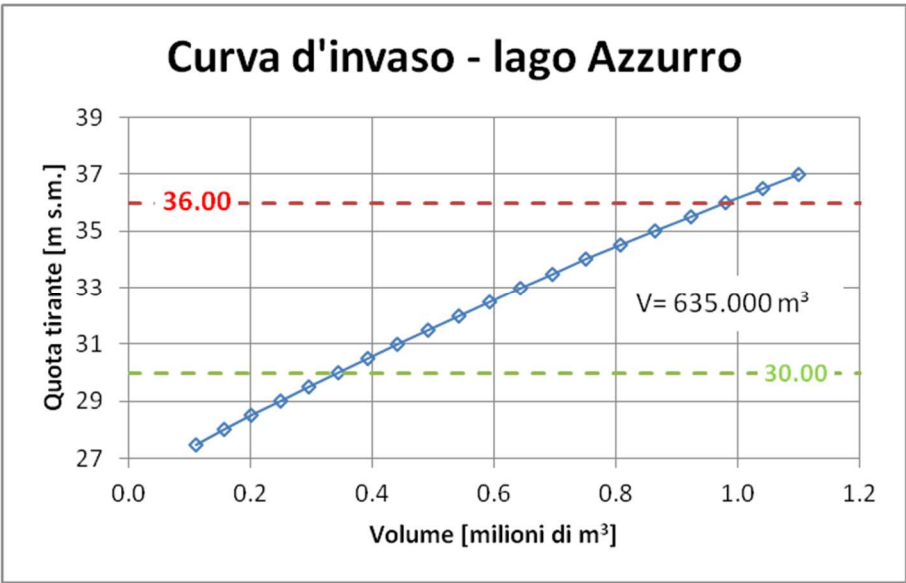


Tabella 8: valori della curva d'invaso di progetto (a seguito della riprofilatura) per il lago Azzurro

Limiti topografici invaso		Limiti di esercizio	
zmin [m s.l.m.]	zmax [m s.l.m.]	zmin [m s.l.m.]	zmax [m s.l.m.]
27,50	39,00	30,00	36,00

Tabella 9: limiti topografici di invaso nello stato di progetto e variabilità delle quote dei tiranti idrici in esercizio a fini irrigui

Il volume che si ottiene con le quote sopra considerate è pari a **635.000 m³**.

La superficie laterale del lago comprendente il fondo e sponde ha un andamento con la quota pari a quello illustrato di seguito

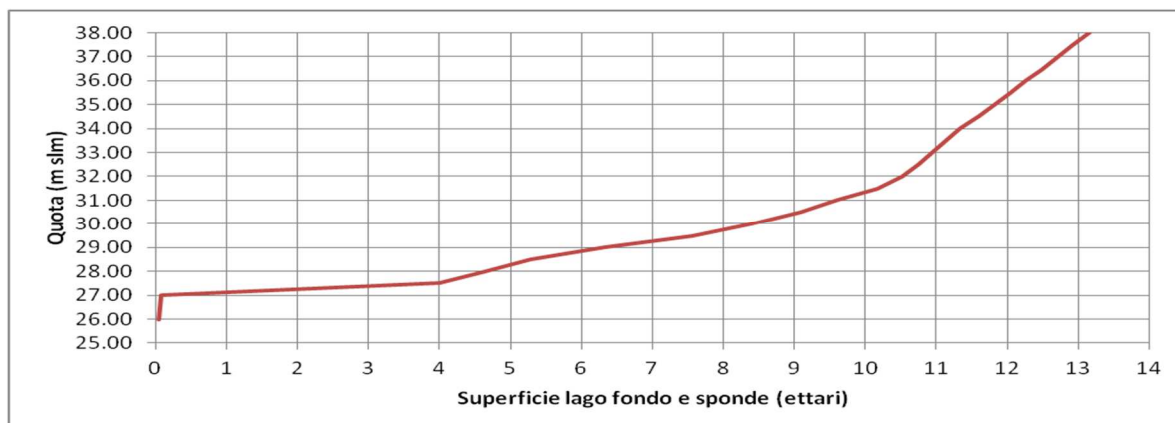


Figura 5: Curva dell'andamento della superficie reale (non proiettata) del lago Santarini in funzione delle quota considerata

3.1.3 Riepilogo dati geometrici dei laghi

I volumi utili determinati imponendo la quota minima e massima di esercizio, oltre che le aree delle superfici, sono riportati nella successiva tabella.

		Santarini	Azzurro
Quote [m s.l.m.]	del punto più depresso	33,96	27,50
	massima di contenimento idrico	44,00	39,00
	minima di progetto	39,15	30,00
	massima di progetto	43,50	36,00
	tirante massimo di progetto [m]	4,35	6,00
volume utile [m ³]		976.000	635.000
superficie di fondo [ettari]		23,80	9,47
superficie laterale fino a quota massima di progetto [ettari]		2,00	3,69

Tabella 10: dati sulle quote minime e massime dei laghi, topografiche e di esercizio in progetto, e volume utili di immagazzinamento idrico.

Perciò, in totale, si ha un volume utile geometrico disponibile all'accumulo di risorsa idrica di **1.611.000 m³**.

3.2 Calcolo dei volumi utili per l'irrigazione

Sulla base delle considerazioni di aggiornamento contenute nella Relazione idrogeologica del Dott. Geol. Fiorini, alla quale si rimanda per ogni approfondimento, si sono ottenuti i seguenti volumi utili:

Laghi	Santarini	Azzurro
Volume utile iniziale (m ³)	976.000	635.000
Piovosità (m ³)	101.000	46.374
Evapotraspirazione (m ³)	249.464	113.694
Infiltrazione (m ³)	354.255	0
Volume utile disponibile (m ³)	473.281	567.680

Tabella 11: volumi utili disponibili per l'irrigazione a fine stagione, considerato il bilancio globale di piogge, infiltrazione ed evaporazione

Il volume utile disponibile totale per l'irrigazione è perciò pari a 1.040.961 m³.

3.3 Stima del volume d'acqua restituito al suolo a seguito dell'attività irrigua

Per la stima del volume d'acqua restituito al suolo a seguito dell'attività irrigua si fa riferimento ai dati riportati nella Relazione idrogeologica redatta dal Geologo Eugenio Fiorini e nella Relazione generale preliminare di progetto redatta dall'Ing. Marco Donati.

Dalla relazione idrogeologica deriva che la disponibilità di acqua per l'irrigazione (o l'allagamento delle aree lacustri limitrofe al lago Azzurro), al netto dei prelievi attualmente già effettuati dalle utenze che attingono dal lago Santarini (239.680 m³), è pari a 801.281 m³.

Il volume di acqua disponibile risulta maggiore rispetto a quello effettivamente recapitabile alle colture a causa delle perdite derivanti dall'inefficienza dei sistemi di distribuzione della risorsa.

In particolare, si considerano (dati derivanti dalla relazione generale preliminare di progetto):

- Efficienza del sistema di distribuzione del gestore

Posta pari al 50% per il canale in sinistra (CdB Romagna, 2014: Relazione tecnica e descrittiva sulle esigenze irrigue dei distretti in sinistra e destra Marecchia), e pari al 90% per il bacino in destra idraulica del Marecchia, facendo l'ipotesi di progetto di utilizzare una rete in pressione per la distribuzione dell'acqua a fini irrigui.

- Efficienza del sistema di distribuzione aziendale

Posta pari al 85% per reti in pressione (CdB Romagna, 2014: Relazione tecnica e descrittiva sulle esigenze irrigue dei distretti in sinistra e destra Marecchia).

- Efficienza del sistema di irrigazione

Si è assunta un'efficienza pari al 75% (CdB Romagna, 2014: Relazione tecnica e descrittiva sulle esigenze irrigue dei distretti in sinistra e destra Marecchia), relativa al metodo irriguo ad aspersione.

Metodo irriguo	Efficienza massima di distribuzione acqua
Sommersione	< 25%
Scorrimento	40 – 50%
Infiltrazione laterale da solchi	55 – 60%
Aspersione	70 – 80%
Goccia	85 – 90%

Considerando le perdite derivanti dall'inefficienza dei sistemi di recapito si ha:

- Perdita per inefficienza sistema di distribuzione del gestore:

Considerando che l'80% del volume irriguo sarà destinato al bacino in destra Marecchia (condotta in pressione: efficienza 90 %), mentre il restante 20% sarà destinato al bacino in sinistra Marecchia (canale a gravità: efficienza 50%) si ha:

$$P_1 = (801.281 * 0.8 * 0.1) + (801.281 * 0.2 * 0.5) = 142.945 \text{ m}^3$$

- Volume residuo a valle del sistema di distribuzione del gestore

$$V_1 = 801.281 - (801.281 * 0.8 * 0.1) - (801.281 * 0.2 * 0.5) = 658.336 \text{ m}^3$$

- Perdita per inefficienza sistema di distribuzione aziendale:

$$P_2 = 658.336 * 0.15 = 98.750 \text{ m}^3$$

- Volume residuo a valle del sistema di distribuzione aziendale:

$$V_2 = 658.336 - 98.750 = 559.586 \text{ m}^3$$

- Perdita per inefficienza sistema di irrigazione:

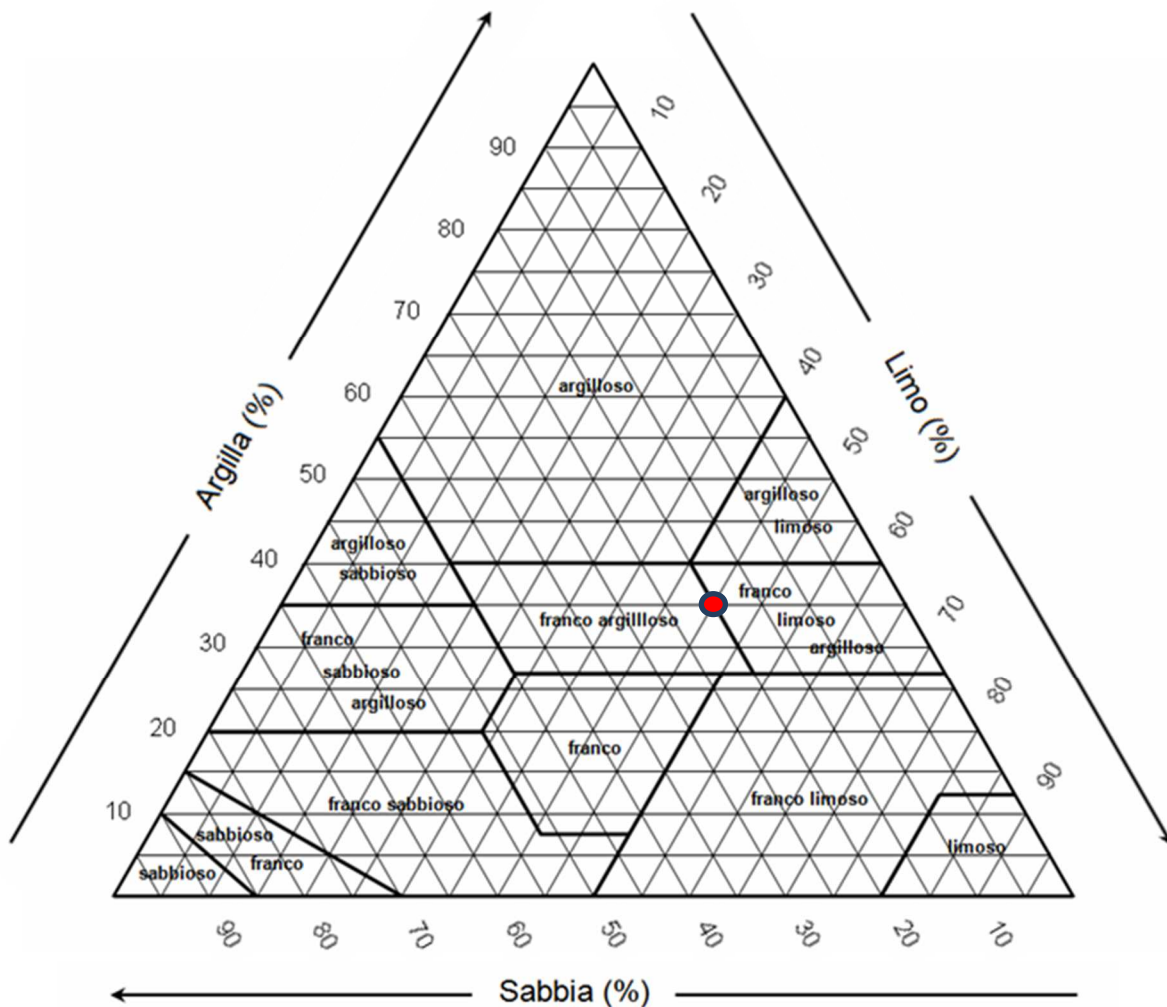
$$P_3 = 559.586 \cdot 0.25 = 139.896 \text{ m}^3$$

- Volume residuo “alla pianta”:

$$V_3 = 559.586 - 139.896 = 419.689 \text{ m}^3$$

- Volume massimo prelevato dalle colture:

Secondo le indicazioni ricevute dal geologo Dott. Eugenio Fiorini, la tessitura del cotico agrario nell'area del bacino irrigato può essere assunta mediamente come segue: 20 % sabbia, 45 % limo, 35 % argilla.



Inserendo tali valori nel triangolo della tessitura si ha che il terreno risulta essere tra franco limoso e franco limoso argilloso.

suolo	C.C.	P.A.	Ad Max	Ru Max	Rfu	
	%	%	%	mc/ha	mc/ha	mm
S	15	7	8	320	160	16
M.I.	31	14	17	680	340	34
F.A.	36	17	19	760	380	38
F.L.	40	19	21	840	420	42
A	44	21	23	920	460	46

Considerando la tabella del contenuto idrico del suolo in funzione della sua tessitura (acqua disponibile per la coltura) elaborata dal Professor Luigi Giardini e riadattata dal CER, si ricava che la percentuale di acqua trattenuta dallo strato di cotico agrario per il terreno in oggetto risulta pari al 20 % (media tra il valore relativo a un terreno franco argilloso e uno franco limoso).

Pertanto, per differenza, la quota di risorsa che percola negli strati più profondi è pari a:

$$P_4 = 419.689 \cdot 0.80 = 335.751 \text{ m}^3$$

Ne consegue che il volume d'acqua totale di percolazione negli strati profondi del terreno risulta pari a:

$$P = 335.751 + 139.896 + 98.750 + 142.945 = 717.343 \text{ m}^3$$

4 Dimensionamento della rete irrigua di distribuzione primaria

Per dimensionare la sola rete di distribuzione primaria (non considerando le reti secondarie di distribuzione ai distretti irrigui poiché non fanno parte del presente progetto) si è partiti dalla conoscenza dei valori di portata richiesta ai nodi che servono i relativi distretti irrigui.

Le portate ottenute sono riportate nella tabella seguente.

Nodo	Distretti serviti	Portata oraria di punta servita Q16 (l/s)
1	1 e 2	83,06
3	3	25,69
4	4	56,93
5	5	112,56
6	6	34,16
7	7	25,69
9-10	9 e 10	82,41

Tabella 12: Portate orarie di punta Q16 da servire nei vari nodi

Successivamente, tramite l'utilizzo del software di simulazione idraulica di reti in pressione EPANET, prevedendo l'uso di ghisa sferoidale per acquedotto (scabrezza Hazen-Williams $c=100$ tenendo conto di un grado di invecchiamento della condotta di 20-30 anni), si sono definiti i diametri dei vari tratti di rete e le caratteristiche del sistema di pompaggio.

In Figura 6 si riportano graficamente i risultati della simulazione in EPANET che identificano con categorie cromatiche i valori di velocità nei tratti di condotta e di carico piezometrico ai nodi; in Tabella 13 e Tabella 14 si riportano i rispettivi risultati numerici.

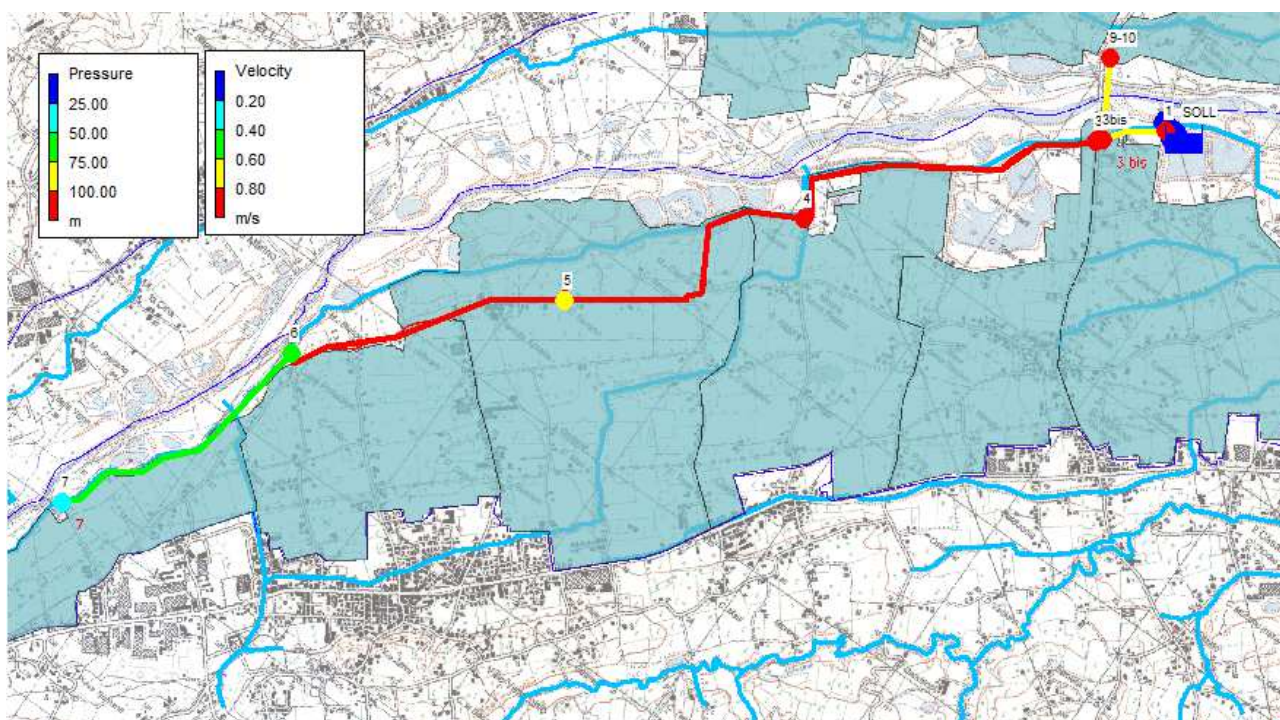


Figura 6: Rappresentazione della rete di progetto dalla schermata software EPANET

Tratto	DN (mm)	Velocità (m/s)
Soll-1	800	
1-3bis	800	0,67
3bis-(9-10)	400	0,66
3bis-3	800	0,51
3-4	600	0,81
4-5	500	0,88
5-6	300	0,85
6-7	250	0,52

Tabella 13: dimensioni dei tubi e velocità dell'acqua nei vari tratti della condotta

Nei nodi si hanno i seguenti carichi piezometrici:

Nodo	Carico piezometrico (m)
1	137,35
3	125,98
4	109,93
5	90,79
6	58,29
7	46,88
9-10	125,12

Tabella 14: carico piezometrico presente nei nodi della rete

5 Dimensionamento dell'impianto di sollevamento

All'interno dell'area del sollevamento troveranno spazio il vano di alloggio delle pompe e degli organi di manovra e il locale tecnico per i quadri elettrici e i trasformatori.

L'impianto di sollevamento sarà composto da 2 gruppi di pompaggio costituiti ciascuno da 2 elettropompe da 250 l/s di cui una di riserva all'altra. Su ciascuno dei 2 gruppi sarà installata una pompa pilota per le fasi di avviamento e arresto dell'impianto.

I 2 gruppi di pompaggio lavoreranno su 2 camere distinte e saranno destinati separatamente al pompaggio in rete delle acque del lago e di quelle in arrivo dalla rete delle acque depurate.

In questo modo si fa sì che le acque depurate non entrino all'interno del lago ma si miscelino con quelle del lago stesso all'interno della tubazione.

In questo progetto definitivo si prevedono solo le opere di predisposizione impiantistica della rete di pompaggio delle acque depurate in sinistra idraulica del fiume Marecchia, che ad oggi non risulta essere ancora presente; tali opere di predisposizione sono costituite dalla condotta di derivazione in attraversamento al fiume Marecchia e dai vani tecnici dell'impianto di pompaggio presso il lago Azzurro.

L'impianto (Figura 7) è progettato per immettere acqua nella condotta premente da 2 diversi gruppi di pompaggio, ciascuno dotato di un misuratore di portata che consentirà di monitorare i consumi e il grado di miscelazione delle 2 tipologie di acque utilizzate.

Nelle more dell'installazione del gruppo di pompaggio dedicato all'acqua depurata, l'impianto funzionerà con un solo gruppo di pompaggio ed un unico misuratore di portata.

Nella configurazione finale le 2 camere e i relativi gruppi di pompaggio saranno completamente interscambiabili in modo da avere massima flessibilità nella gestione e nelle operazioni di manutenzione potendo sfruttare a piacimento una delle 2 risorse idriche in caso di mandata.

Il punto di lavoro del gruppo di pompaggio è determinato dalla prevalenza totale dell'impianto e dalle portate richieste. Il punto di lavoro dei due gruppi di pompaggio è stato definito sulla base del risultato della simulazione in EPANET, che complessivamente dovrà garantire le seguenti caratteristiche:

Portata (l/s)	420,50
Prevalenza (m)	140,35

In una prima fase transitoria, antecedente alla predisposizione della derivazione dell'acqua proveniente dal depuratore e alla realizzazione delle reti di distribuzione secondaria, tale portata sarà garantita dal solo il gruppo di pompaggio associato al prelievo di acqua dal lago, che sarà dotato in prima istanza di una sola pompa principale da 250 l/s e dalla pompa pilota; successivamente, la portata verrà suddivisa tra i due gruppi di pompaggio tramite il funzionamento degli inverter e la lettura dei misuratori installati, in modo da garantire il grado di miscelazione di progetto tra acque prelevate da lago e acque da depuratore (funzione del volume utile irriguo disponibile nei laghi).

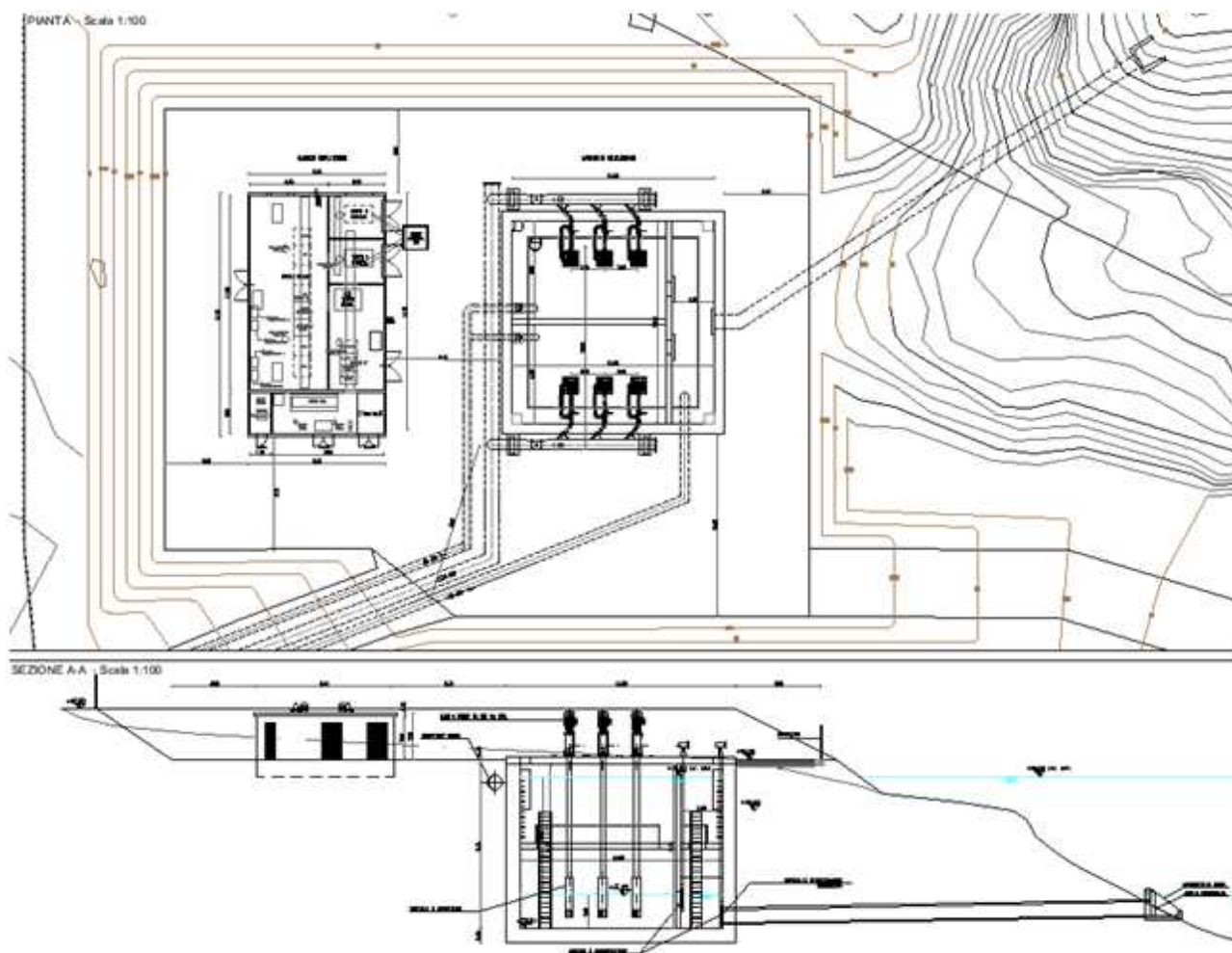


Figura 7: Pianta e sezione impianto di sollevamento

6 Dimensionamento della tubazione di collegamento tra i due laghi

Per convogliare l'acqua accumulata nel lago Santarini al sollevamento posto in prossimità del lago Azzurro si è prevista una condotta con funzionamento "a sifone" in grado di trasferire l'acqua senza sollevamenti meccanici sfruttando la differenza di livello tra il "serbatoio" di monte e quello di valle, vincendo il dislivello dovuto alla presenza delle sponde.

Per il dimensionamento del sifone si è applicata l'equazione di Bernoulli tra la superficie del lago Santarini e l'uscita del sifone nell'impianto di sollevamento lato lago Azzurro, sotto le seguenti ipotesi:

- pressione assoluta della superficie del lago Santarini pari alla pressione atmosferica, quindi pressione relativa nulla ($p_1 = 0$);
- velocità della corrente al pelo libero del lago Santarini trascurabile ($v_1 = 0$);
- moto stazionario;

si ottiene:

$$z_1 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v_2^2}{2g} + \Delta H_{c,1-2} + \Delta H_{d,1-2}$$

dove:

- z_1 e z_2 sono rispettivamente le quote del pelo libero del lago Santarini e dell'uscita della tubazione all'interno del sollevamento presso il lago Azzurro;
- p_2 è la pressione presente all'uscita della tubazione lato Azzurro;
- $\gamma = \rho \cdot g$, peso specifico dell'acqua dato dalla sua densità (1000 kg/m^3) moltiplicato per l'accelerazione di gravità;
- $v_2 = v = \frac{Q}{A}$ è la velocità dell'acqua all'interno del tubo, pari al rapporto tra la portata e l'area della sezione trasversale, costante lungo tutto il tubo;
- $\Delta H_{c,1-2}$ e $\Delta H_{d,1-2}$ sono le perdite di carico tra i punti 1 e 2 dovute rispettivamente alle perdite concentrate e distribuite.

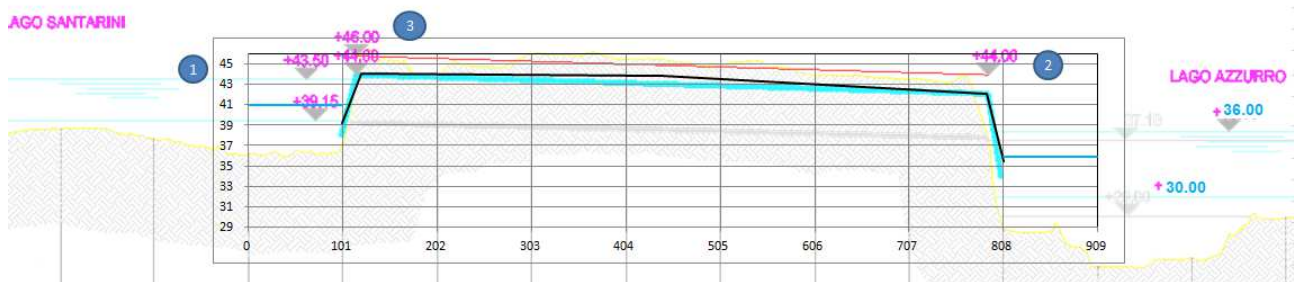


Figura 8: schema di predisposizione del sifone

La pressione p_2 è pari al battente idrico al di sopra dell'uscita della tubazione lato lago Azzurro, cioè pari alla differenza tra la quota del pelo libero del lago Azzurro e la quota della sezione di uscita del tubo, nel caso di battente superiore di quest'ultima, altrimenti è pari a 0.

Le perdite di carico concentrate sono calcolabili una volta noti i componenti idraulici presenti che le determinano, cioè i coefficienti di perdita k_i associati a questi ultimi, che in questo caso sono le curve presenti lungo il tracciato, oltre che l'imbocco e l'uscita della tubazione.

$$\Delta H_{c,1-2} = \sum_i k_i \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Le perdite di carico distribuite sono determinabili da:

$$\Delta H_{d,1-2} = J \cdot L$$

dove:

- J è la cadente piezometrica;
- L è la lunghezza complessiva della tubazione tra i punti 1 e 2.

La cadente piezometrica è determinabile dalla formula di Chezy parametrizzata secondo Gauckler-Strickler:

$$J = 10,29 \cdot \frac{v^2 \cdot A^2}{K_s^2 \cdot D^{5,33}}$$

dove:

- K_s è la scabrezza Gauckler-Strickler;
- D è il diametro del tubo.

Perciò si ottiene:

$$z_1 = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + 10,29 \cdot \frac{v^2 \cdot A^2 \cdot L}{K_s^2 \cdot D^{5,33}} + \sum_i k_i \cdot \frac{v^2}{2g} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \left(1 + \sum_i k_i + 10,29 \cdot \frac{A^2 \cdot L \cdot 2g}{K_s^2 \cdot D^{5,33}} \right)$$

Da cui, esplicitando v si ha:

$$v = \sqrt{\frac{(z_1 - z_2 - \frac{p_2}{\gamma}) \cdot 2g}{1 + \sum_i k_i + 10,29 \cdot \frac{A^2 \cdot L \cdot 2g}{K_s^2 \cdot D^{5,33}}}}$$

Affinchè sia garantito il flusso all'interno del sifone è necessario che nel punto a quota maggiore della condotta sia presente una pressione superiore a quella critica, cioè quella per cui si iniziano a formare bolle (circa -6 m_{H2O} cioè -58,8 kPa a 20°C) dovute all'espansione dei gas disciolti nel liquido.

La pressione p_3 nel punto più alto della condotta viene ottenuta applicando l'equazione di Bernoulli tra quest'ultimo punto e il pelo libero del lago Santarini, ottenendo:

$$z_1 = z_3 + \frac{p_3}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} + \Delta H_{c,1-3} + \Delta H_{d,1-3}$$

dove:

- z_3 è la quota del punto più alto della tubazione;
- $\Delta H_{c,1-3}$ e $\Delta H_{d,1-3}$ sono le perdite di carico tra i punti 1 e 3 dovute rispettivamente alle perdite concentrate e distribuite.

Da cui, esplicitando p_3 si ottiene:

$$p_3 = \gamma \cdot \left(z_1 - z_3 - \frac{v^2}{2g} - \Delta H_{c,1-3} - \Delta H_{d,1-3} \right)$$

Per evitare rientri di aria nella parte terminale lato lago Azzurro, l'uscita della tubazione è prevista con conformazione ad "U".

Come detto, affinché il sifone funzioni è importante che nel punto a pressione inferiore non si raggiunga la pressione critica, perciò il sifone in oggetto è stato progettato nella parte terminale con due uscite a quote

7 Riferimenti bibliografici

AdB MC. 2007. *Aggiornamento ed integrazione delle attività di studio per la determinazione sperimentale dei valori di deflusso minimo vitale (DMV) per il fiume Marecchia – Relazione Generale.* s.l. : Autorità di bacino interregionale Marecchia-Conca, 2007.

—. **2004.** *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico - Relazione.* s.l. : Autorità interregionale di Bacino Marecchia-Conca, Regione Emilia-Romagna, Regione Marche, Regione Toscana, 2004.

Arpae. 2020. *iColt2020.* s.l. : Arpae Servizio Idro Meteo Clima, 2020.

—. **2006.** *Studio della conoide alluvionale del fiume Marecchia: analisi quali-quantitativa a supporto della corretta gestione della risorsa idrica.* s.l. : Regione Emilia-Romagna, 2006.

ATERSIR. 2018. *Aggiornamento del Piano d'Ambito del servizio idrico integrato del bacino territoriale di Rimini: approvazione.* s.l. : Agenzia Territoriale dell'Emilia-Romagna per i Servizi Idrici e Rifiuti. Consiglio d'Ambito, 2018. Area Servizio idrico integrato. Schema di convenzione ATERSIR – SIS S.p.A approvato con deliberazione CAMB n. 31/2018: rettifica. CAMB/2018/76 del 10/12/2018.

Casini, Lino, et al. 2019. La ricarica della conoide alluvionale del fiume Marecchia (Rimini) in un sito di Rete Natura 2000: aspetti geologici, idrogeologici e di gestione della biodiversità. [Online] 2019. <https://ambiente.regione.emilia-romagna.it/it/geologia/pubblicazioni/articoli-su-riviste-specialistiche/articolo-fiume-marecchia-2019>.

CdB Romagna. 2014. *Relazione tecnica e descrittiva sulle esigenze irrigue dei distretti in sinistra e in destra Marecchia.* s.l. : Consorzio di Bonifica della Romagna, 2014.

CdB Romagna Occidentale, Cangini, Elvio e Andrea, Fabbri. 2010. *Distribuzione plurima delle acque del C.E.R. - Progetto esecutivo per l'area "Senio-Lamone" nei Comuni di COTignola e Faenza - 2.1 Relazione Generale.* s.l. : Consorzio di Bonifica della Romagna Occidentale, 2010.

DGR-ER. 1415/2016. *Approvazione delle linee guida per la regolamentazione da parte delle Regioni delle modalità di quantificazione dei volumi idrici ad uso irriguo.* s.l. : BUR, 1415/2016.

MIPAAF. 2016. *Linee guida sulle metodologie di stima degli utilizzi ai fini irrigui e delle restituzioni al reticolo idrografico.* 2016.

PTCP-RN. 2012. *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale - Relazione Generale.* Rimini : s.n., 2012. PTCP 2007 variante 2012. fonte: ARPA.

QGIS. 2020. *QGIS Geographic Information System - Open Source Geospatial Foundation Project.* s.l. : QGIS Development Team, 2020.

Regione ER e Arpae. 2016. *Individuazione del deflusso minimo vitale di riferimento – Allegato D.* s.l. : Regione Emilia-Romagna, 2016.

—. **2005.** *Piano di Tutela delle Acque - Relazione generale.* 2005.

Regione ER, Comune Rimini e Ente Parchi. 2017. *Rapporto sull'impatto ambientale del progetto per la realizzazione di un impianto di ricarica in condizioni controllate nella conoide alluvionale del fiume Marecchia (comune di Rimini).* Bologna : contenuto nell'Allegato 1 alla DGR 1649/2017, 2017.

Severi, Paolo e Bonzi, Luciana. 2018. *Realizzazione di un impianto di ricarica in condizioni controllate nella conoide alluvionale del fiume Marecchia (Rimini).* Rimini : Regione Emilia - Romagna, Comune di Rimini, Ente di Gestione per i Parchi e la Biodiversità della Romagna, 2018.

Severi, Paolo, Bonzi, Luciana e Ferrari, Venusia. 2016. *Ricarica in condizioni controllate della conoide del fiume Marecchia (Rimini) - esiti della sperimentazione.* Rimini : Regione Emilia-Romagna, 2016.

—. **2014.** *Ricarica in condizioni controllate della conoide del Fiume Marecchia (Rimini), avvio della sperimentazione e primi risultati.* Rimini : Italian Journal of Groundwater, 2014.

Swedan, N.H. 2018. *Calculation of Open Water Evaporation as a Climate Parameter.* s.l. : Journal of Water Resource and Protection, 2018. p. 762-779. Vol. 10.

Visentini, M. 1937. *L'evapotraspirazione dagli specchi liquidi.* Roma : Mem. e Studi idrografici, Pubblicazione n. 2 del Servizio idrografico, 1st. Poligrafico dello Stato, 9, 1937.