

## DIREZIONE ACQUA

### PROGETTO GENERALE:

OPERE DI ADEGUAMENTO DELL'IMPIANTO DI  
PRE-TRATTAMENTO DI BARCOLA AL D.lgs 152/06  
COLLEGAMENTO BARCOLA AL SISTEMA INTEGRATO

### PROGETTO DEFINITIVO/ESECUTIVO:

V STRALCIO: REALIZZAZIONE IMPIANTI DI  
SOLLEVAMENTO " BARCOLA " e 19Tb A SERVIZIO  
DEL COLLEGAMENTO TRA L'IMPIANTO DI  
PRE-TRATTAMENTO DI BARCOLA E IL COLLETTORE  
DI ZONA ALTA

### b) RELAZIONE IDRAULICA

IL RESPONSABILE DELLA PROGETTAZIONE	IL COORDINATORE PER LA PROGETTAZIONE	IL COORDINATORE PER L'ESECUZIONE	VALIDATO DIREZIONE DIVISIONE ACQUA
Dott. Franco Berti	ing. Mauro Tortorelli i4 Consulting S.r.l.		Dott. Franco Berti
PROGETTATO	REDATTO  i4 Consulting S.r.l. via Barroccio dal Borgo, 1 - 35124 Padova (PD) tel. 049-7966665 - fax 049-685800 email: info@i4consulting.it	COMPILATO	VALIDATO DIREZIONE DIVISIONE ACQUA ENGINEERING
ing. Mauro Tortorelli i4 Consulting S.r.l.			Ing. Andrea Rubin

ACEGAS-APS S.p.A. si riserva a termini di legge la proprietà di questo documento, con divieto di riprodurlo, consegnarlo o renderlo comunque noto a Terzi senza preventiva autorizzazione.

COMMESSA	PRATICHE	CODICE	DATA	AGGIOR./SOST.	ELABORATO
13D001	2014PD016	2014AA007	Gennaio 2014	---	b)

## V STRALCIO

### REALIZZAZIONE IMPIANTI DI SOLLEVAMENTO “BARCOLA” E “19Tb” A SERVIZIO DEL COLLEGAMENTO TRA L’IMPIANTO DI PRE-TRATTAMENTO DI BARCOLA E IL COLLETTORE DI ZONA ALTA

#### **b) RELAZIONE IDRAULICA**

1. Premessa .....	2
2. Stato attuale della rete .....	4
3. Stato di progetto .....	6
3.1 Impianto di pre-trattamento di Barcola .....	6
3.2 Nuovo impianto di sollevamento 19Tb .....	8
4. Dimensionamento idraulico degli impianti di sollevamento.....	10
5. Calcolo delle perdite di carico .....	13
6. Dimensionamento delle pompe di sollevamento .....	17
7. Modalità di esecuzione dei lavori .....	21
7.1 Opere civili impianto Barcola .....	21
7.2 Opere civili impianto 19Tb .....	22
7.3 Opere di carpenteria idraulica .....	22
7.4 Impianti e quadri elettrici .....	22
8. Conformità delle opere allo strumento urbanistico .....	24

## 1. Premessa

La presente relazione riguarda il dimensionamento degli impianti di sollevamento a servizio del collegamento tra l'impianto di pre-trattamento di Barcola e il Collettore di Zona Alta.

Il presente progetto è redatto in conformità all'articolo 33 del D.P.R. n°207 del 05/10/2010, "Regolamento di esecuzione e attuazione del decreto legislativo 12 aprile 2006, n. 163, recante 'codice dei contratti pubblici relativi a lavori, servizi e forniture in attuazione delle Direttive 2004/17/CE e 2004/18/CE'" sia per quanto riguarda l'elenco sia per il contenuto degli elaborati.

Le opere in esame ricadono all'interno del progetto generale di adeguamento dell'impianto di pre-trattamento di Barcola (TS), elaborato per AcegasAps s.p.a dall'ing. Toscano e l'ing. Navarra nel febbraio del 2009.

Il progetto generale di adeguamento dell'impianto di pre-trattamento di Barcola, si prefiggeva di risanare la rete fognaria del comprensorio Barcolano, attualmente immesse in mare attraverso due lunghe tubazioni al largo dalla costa, con lo scopo di invertire i flussi delle acque reflue che verranno così inviate al Collettore massimo di Zona Alta e da qui al depuratore di Servola.

Il progetto generale prevede la dismissione dei sollevamenti a mare, mantenuti solo per fronteggiare eventuali situazioni di emergenza, e la razionalizzazione dell'attuale catena di sollevamenti intermedi dislocati lungo l'intera riviera Barcolana, allo scopo di convogliare il refluo fino al collettore massimo di Zona Alta e da qui a gravità fino al depuratore di Servola. Il progetto di adeguamento dell'impianto diviene, di fatto, l'occasione per risanare e potenziare il sistema fognario del comprensorio Barcolano.

Il progetto generale è stato suddiviso in 5 stralci funzionali: in origine il primo stralcio prevedeva il rifacimento della rete fognaria lungo il tratto di Viale Miramare compreso tra i civici 131 e 183, posando circa 500 m di nuove condotte in PVC con diametri compresi tra De 315 e De 400. A tali interventi si aggiungono, inoltre, la dismissione dell'impianto di sollevamento denominato 14T e l'adeguamento delle stazioni 12T e 15T.

A seguito della rivisitazione progettuale per l'ottimizzazione della spesa, l'intero progetto è stato ottimizzato e prevedeva il collegamento tra l'impianto di depurazione di Barcola e l'impianto di sollevamento denominato 17Tb. Tale collegamento sarà effettuato attraverso la posa, mediante relining, di una condotta in PeAD DN 450 all'interno di una condotta in ghisa DN 500 di acquedotto in parte dismessa e in parte da dismettere, per una lunghezza totale di circa 1700 m

Il secondo stralcio, i cui lavori sono stati già eseguiti, riguarda il tratto di viale Miramare compreso tra il cavalcavia ferroviario e l'incrocio con via del Boveto e prevede il collegamento tra i nuovi impianti di pompaggio 17Tb e 19Tb, sfruttando la presenza di una condotta d'acquedotto dismessa (DN 500), che con un intervento di "Slip Lining", con introduzione di PE di diametro inferiore (De 455) all'interno della condotta in disuso, per un tratto di circa 1140 m.

Il terzo stralcio prevede il collegamento tra gli impianti di sollevamento 19 Tb e 20T Incis, tramite scavo a cielo aperto con posa di una condotta in PeAD Pe 100 DN 560 PN 16.

Il quarto stralcio, diviso in I e II lotto, denominato, nel progetto generale, "Risanamento del torrente Martesin - I lotto", prevede il collegamento tra l'impianto di sollevamento 20T, Incis, e il Collettore di Zona Alta: in particolare, il I lotto, include la posa di una tubazione in PE DN 560 all'interno di una vecchia

tubazione intergasometrica dismessa, nel tratto da Largo Roiano a via G. Boccaccio, attraverso “slip – lining”; il II lotto la posa della medesima tubazione, con scavo a cielo aperto, nel tratto tra via G. Boccaccio e il Collettore di Zona Alta. La suddivisione in lotti è necessaria al fine di recare meno disagi possibili alla viabilità.

Il quinto stralcio, oggetto della presente progettazione, infine prevede la sistemazione ed il potenziamento delle stazione di sollevamento.

Nel corso del dimensionamento degli impianti di sollevamento si è ritenuto conveniente, al fine di garantire un più efficace e sicuro funzionamento, ridurre il numero complessivo dei rilanci, arrivando ad eliminare, tramite opportuno dimensionamento dei dispositivi elettromeccanici degli impianti di Barcola e 19Tb, i sollevamenti intermedi denominati “17Tb” e “20T-Incis”.

Di conseguenza l’opera secondo il nuovo progetto sarà strutturata complessivamente come segue:

- Sollevamento dei reflui all’impianto di pre-trattamento di Barcola con nuove opere elettromeccaniche installate nell’impianto esistente;
- Collegamento dell’impianto di pre-trattamento di Barcola con il nuovo impianto di sollevamento “19Tb” tramite una nuova linea in PeAD DN455 posata tramite tecnica di relining all’interno di condotta acquedotto DN500 dismessa della lunghezza complessiva di circa 2800 m;
- Nuovo impianto di sollevamento “19Tb”, in grado di effettuare sia il rilancio completo dei reflui provenienti dall’Impianto di Barcola, sia di effettuare immissione in carico nella tubazione di collegamento, e sollevare quindi esclusivamente i reflui del collettore intercettato prima dello scarico a mare;
- Collegamento tra l’impianto di sollevamento “19Tb” e il Collettore massimo di Zona Alta tramite una nuova linea in PeAD DN560 PN16 posata con tecnica tradizionale di scavo a cielo aperto per una lunghezza complessiva di circa 1580 m.

## 2. Stato attuale della rete

Allo stato attuale il sistema Barcolano ha come recapito l'impianto di pre-trattamento di Barcola, che attraverso una doppia condotta sottomarina scarica i reflui trattati in mare al largo della costa.

Il progetto generale prevede il trasferimento dei reflui in arrivo all'impianto di Barcola fino al depuratore cittadino di Servola. La dismissione dell'impianto di Barcola si rende necessaria al fine di ottemperare la normativa vigente e ottimizzare il sistema di depurazione Triestino.



Figura 1 – cavalcavia ferroviario, nei pressi del nuovo impianto "19Tb".

La nuova rete di collegamento è in fase di realizzazione nel comune di Trieste in viale Miramare nel tratto compreso tra l'impianto di pre-trattamento di Barcola e il punto di immissione nel Collettore massimo di Zona Alta, presso la Scala del Belvedere.

Grazie all'operazione di relining di una vecchia condotta precedentemente destinata all'acquedotto civile ora in fase di dismissione, un tratto consistente della rete di collegamento compresa tra l'impianto di Barcola e il nuovo impianto 19Tb è stata realizzata limitando il cantiere a brevi interventi puntuali di ridotto impatto.

Il tratto ricompreso tra il nuovo impianto 19Tb e il punto di immissione nel Collettore massimo di Zona Alta è invece in fase di realizzazione con tecnica tradizionale di posa con scavo a cielo aperto, e risulta in avanzata fase di esecuzione.

Lo stralcio di cui al presente progetto rappresenta la realizzazione degli impianti di sollevamento che consentiranno, attraverso le nuove reti in fase di posa oggetto dei precedenti stralci, di trasferire i reflui della zona del Barcolano, attualmente scaricati al largo della costa, al depuratore di Servola, ubicato sul lato opposto della città.



Figura 2 – viale Miramare – posa del tratto 19Tb-CZA.

### 3. Stato di progetto

#### 3.1 Impianto di pre-trattamento di Barcola

L'impianto di pre-trattamento di Barcola attualmente effettua una serie di trattamenti primari di sedimentazione e disoleazione, e attraverso una doppia condotta sottomarina convoglia i reflui in mare al largo della costa.

Al fine di convogliare i reflui al depuratore di Servola, il progetto prevede, oltre al mantenimento dell'impianto esistente, l'affiancamento nella stessa vasca di n. 3 nuovi gruppi di sollevamento, per i quali sono già esistenti e disponibili i relativi vani di alloggiamento.



Figura 3 – Impianto di sollevamento di Barcola

Si precisa tuttavia che nell'ultimo vano di alloggiamento pompe è stato installato un mixer, necessario a mantenere i solidi in sospensione ed evitare quindi l'eccessivo accumulo di sedimenti sul fondo vasca. L'installazione delle nuove elettropompe di sollevamento necessarie al rilancio dei reflui all'impianto 19Tb richiede l'utilizzo anche di quest'ultimo vano, e di conseguenza per ragioni di spazio l'eliminazione del mixer attualmente installato.

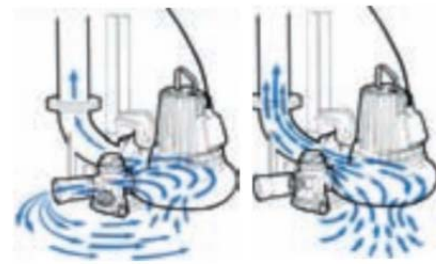
La soluzione a tale problematica è offerta dalla possibilità di installare sul corpo di ciascuna pompa una valvola di flussaggio, il cui schema di funzionamento è illustrato in figura 3. La valvola di flussaggio è un dispositivo meccanico-idraulico che in fase di avviamento del ciclo di pompaggio attiva un potente getto che rimette in sospensione eventuali solidi depositati sul fondo vasca e quindi li porta ad essere espulsi nella immediatamente successiva fase di pompaggio.



L'impianto esistente manterrà in ogni caso la possibilità, in caso di emergenza, di convogliare i reflui in mare attraverso il sistema attualmente in funzione, ma sarà adeguatamente riorganizzato al fine di garantirne in ogni caso la funzionalità anche a seguito della dismissione.

In particolare si prevede:

- Il rifacimento del quadro elettrico che sarà integrato con il quadro delle nuove elettropompe di collegamento Barcola-19Tb;
- Il collegamento alla logica di impianto che prevedrà periodici avviamenti delle pompe al fine di mantenerle in perfetta efficienza;
- l'installazione di nuove saracinesche motorizzate a valle dei raccordi 2 in 1: tali saracinesche, mantenute in condizioni di chiusura, permetteranno il pompaggio a circuito chiuso per coppie di pompe e quindi il mantenimento in efficienza delle stesse anche in tempo secco. L'eventuale riattivazione dello scarico a mare per mezzo delle quattro pompe esistenti, nel remoto caso di insufficienza del nuovo impianto, comunque con rapporti di diluizione ben



All'avvio della pompa, la valvola si apre per circa 20 s, generando un potente getto che porta in sospensione i sedimenti, pronti ad essere allontanati dalla pompa. La sequenza è parte del ciclo di pompaggio e ogni volta che la pompa parte, si ottiene il flussaggio del pozzetto.

Figura 4 – funzionamento della valvola di flussaggio



Figura 5 – quadro elettrico BT dell'impianto di Barcola attualmente in funzione

superiori a 6Qnm, avverrà esclusivamente con lo scopo di evitare per quanto possibile l'attivazione dello sfioro a gravità che recapita i reflui sulla costiera, con particolare riferimento a eventuali fenomeni temporaleschi durante la stagione balneare.

In questo modo potranno essere allontanate dall'impianto di Barcola portate anche superiori ai 500-600 l/s che quindi saranno trasferite in parte al Collettore di Zona Alta e in parte al largo della costa, limitando l'impatto

derivante dallo sfioro di portate, pur diluite ben oltre i limiti di legge, sulla linea di costa.



### 3.2 Nuovo impianto di sollevamento 19Tb

All'altezza del cavalcavia ferroviario è ad oggi esistente un impianto di sollevamento denominato "19T" che cattura le acque miste da un condotto di dimensioni 80x100 cm e attualmente le invia, attraverso una serie di successivi rilanci, all'impianto di Barcola.



Figura 6 – sfioro dello scarico a mare impianto 19T

In occasione di recenti sopralluoghi si è potuto appurare, come evidenziato in figura 5, che in condizioni di alta marea lo sfioro può essere superato da valle, portando l'impianto a sollevare per periodi di tempo anche prolungati importanti quantità di acqua marina e a rendere inefficace ogni eventuale valutazione in merito al rapporto di diluizione.

L'impianto 19T è oggi dotato di una singola pompa di sollevamento di ridotta portata, cosa che rende quanto sopra evidenziato anche se concettualmente scorretto, di modesta rilevanza.

Con la realizzazione del nuovo impianto 19Tb invece, in grado di sollevare portate consistenti, l'immissione di grandi quantità di acqua marina in fognatura è indesiderabile, e pertanto nella progettazione del manufatto si è previsto a valle del nuovo sfioro a mare l'installazione di un clapet in acciaio inox dotato di contrappeso al fine di ridurre la perdita di carico conseguente alla presenza del manufatto.



Figura 7 – clapet antiriflusso in acciaio Inox

Il nuovo impianto denominato "19Tb" sarà realizzato alcune decine di metri a monte dell'impianto esistente, all'interno dell'area portuale, previa rimozione dei binari, delle traversine e della massicciata ferroviaria.

L'area dell'impianto, di dimensioni indicative pari a 12x20 metri, sarà interamente recintata in adiacenza alla recinzione dell'area portuale, visibile a sinistra in figura 7.

Si è anche potuto evidenziare come l'impianto 19T esistente sia dotato, a monte della stazione di sollevamento, di una griglia di protezione in grado di trattenere eventuali corpi voluminosi potenzialmente in grado di danneggiare la pompa di sollevamento.

Tale griglia risulta attualmente difficilmente rimovibile e altrettanto difficilmente ispezionabile e pulibile.



Figura 8 – area portuale ove è prevista la realizzazione del nuovo impianto “19Tb”

Si ritiene pertanto utile predisporre nel nuovo manufatto una apertura di dimensioni adeguate a consentire agevolmente la pulizia della griglia di protezione, idonee in ogni caso ad ospitare in futuro anche un eventuale sgrigliatore a tappeto rotante.



Figura 9 – griglia di protezione dell'esistente impianto di sollevamento “19T”

#### **4. Dimensionamento idraulico degli impianti di sollevamento**

La scelta del diametro della nuova condotta fa riferimento ai calcoli idraulici compiuti nel Progetto generale di adeguamento dell'impianto di pre-trattamento di Barcola, redatto da Ing. Toscano e Ing. Navarra e approvato dagli organi competenti. Partendo dai dati misurati delle portate medie in ingresso al depuratore, sono state calcolate le portate da inviare, ex lege, al depuratore di Servola, al fine di chiarire, di seguito si allega un estratto della relazione tecnica del Progetto generale di cui sopra.

“L'impianto di Barcola, realizzato nei primi anni 80, è stato dimensionato, alla luce dell'allora vigente P.R.G. Comunale, per servire una popolazione di 12500 abitanti; il successivo sviluppo storico – economico della città in realtà ha disatteso tali previsioni di espansione demografica, anzi all'interno del bacino di competenza dell'impianto si è verificata una contrazione della popolazione residente che attualmente si attesta attorno alle 7000 – 7500 unità. Tale trend è confermato anche dall'analisi a corredo della zonizzazione operata dal vigente P.R.G.C. che suddivide il territorio in una zona urbanizzata più a ridosso della costa, comprendente la parte “storica” dell'abitato (B4 – Periferia ad alta densità abitativa e B5 – Periferia a bassa densità edilizia) e quindi già saturata; una zona che si estende dalla costa fino al ciglione carsico, definita zona di interesse collettivo (U2 – Zona di verde pubblico e verde attrezzato; U2A – Parco di quartiere; U2B – Parco urbano; U2C – Verde privato di pubblico interesse) all'interno della quale non è prevista la possibilità di nuove edificazioni. Nell'area di interesse non sono previste attività di tipo industriale e le aree di nuova urbanizzazione sono per lo più concentrate a ridosso della ferrovia parallela alla linea di costa (C2 – Zone urbane di espansione a bassa densità edilizia).

Stesse considerazioni si possono estendere anche relativamente ai borghi che gravitano all'interno del bacino di competenza dell'impianto, perciò verosimilmente è ipotizzabile che nel futuro non sia in previsione per l'area una urbanizzazione tale da modificare i carichi attuali.

Ad ulteriore conferma del calo in essere della popolazione che insiste all'interno del bacino oggetto del presente progetto vi sono le analisi della tipologia di acqua reflua da trattare condotte durante lo studio di pre – fattibilità.

Le acque reflue in ingresso all'impianto hanno quale caratteristica principale una bassa concentrazione di sostanza organica ed una portata consistente se paragonata a quella teorica di letteratura, indice quindi di una spinta diluizione. La diluizione è causata da una forte presenza di acque parassite alimentate rispettivamente dai corsi d'acqua superficiali e dalle infiltrazioni di acque salmastre provenienti dagli scarichi di emergenza della rete e dalle vecchie giunzioni delle tubazioni.

La struttura della rete fognaria a servizio del comprensorio Barcolano, infatti, è caratterizzata da una serie di collettori che dal “ciglione carsico” discendono verso la costa, percorrendo in alcuni casi gli stessi tracciati dei torrenti dislocati sul territorio.

Le condotte confluiscono quindi in vecchi canali che attraversano il viale Miramare, convogliando anche le acque dei torrenti. Da qui vengono captate da 12 stazioni di sollevamento ubicate lungo una linea di costa di circa 7km e quindi pompate all'impianto di pre-trattamento.

Le osservazioni e le analisi condotte direttamente dal laboratorio chimico della Società su campioni prelevati tra il 2002 e il 2006 hanno messo in luce che la portata media in ingresso all'impianto è di circa 4000 m<sup>3</sup>/giorno con dei valori minimi di 2800 m<sup>3</sup>/giorno in periodi particolarmente secchi e con bassi valori massimi di marea. A fronte di tali portate sono stati misurati valori di SS medi di 95 mg/l e di BOD5 medio di

60 mg/l con punte di concentrazione di 85 – 90 mg/l registrati in corrispondenza dei minimi valori di portata influente.

Come noto dalla letteratura, 1 Abitante Equivalente AE corrisponde a 60 g BOD5/abitante giorno, dai valori ricavati dalle analisi può essere calcolato l'effettivo numero di abitanti equivalenti che attualmente gravano sull'impianto di pre – trattamento.

$$AE = \frac{BOD_5}{60} \times Q_{in} \quad (1)$$

dove 60 è il valore di riferimento di BOD5 per ogni AE, BOD5 è il valore del carico organico misurato nel reflu influente e  $Q_{in}$  è il valore di portata in ingresso all'impianto espressa in l/giorno. Pertanto dalle misure della quantità e della qualità del reflu in ingresso all'impianto è risultato che i reali abitanti serviti sono circa 4000 AE.

Ipotizzando, come riportato in letteratura, una dotazione idrica media giornaliera  $D=250 - 300$  l/g ab, la portata media in ingresso all'impianto attesa per 4000 AE è data da

$$q_N = \frac{D \cdot AE \cdot \phi}{1000} \quad (2)$$

dove  $\phi$  è il coefficiente di deflusso generalmente assunto pari a 0.8 – 0.9. In tempo secco quindi la portata media giornaliera in ingresso è di circa 1100 m<sup>3</sup>/giorno contro i 4000 m<sup>3</sup>/giorno medi realmente registrati in ingresso. È dunque evidente come la portata trattata in tempo secco sia quasi quattro volte quella teorica di tempo asciutto, a dimostrazione della già spinta diluizione del reflu trattato.

Tabella 1 – portate di tempo secco e in tempo di pioggia

Sollevamento "Barcola"			
QN	18	l/s	tempo secco
6QN	108	l/s	tempo di pioggia
Sollevamento "19Tb"			
QN	4,3	l/s	tempo secco
6QN	25,8	l/s	tempo di pioggia

Sulla base di quanto evidenziato dall'analisi del P.R.G.C. dal punto di vista dell'espansione urbanistica del territorio, per il dimensionamento delle opere in progetto si ritiene sufficientemente cautelativo considerare un eventuale futuro aumento della popolazione fino ad un massimo di 7500 AE. Pertanto la portata media giornaliera di tempo secco ( $q_N$ ), riferita sempre ad una dotazione idrica di 300 l/g ab e ad un carico di 7500 AE, è di circa 2000 m<sup>3</sup>/giorno.

In particolare, sulla base di quanto previsto nel “Piano generale per il risanamento delle acque” attualmente in vigore nella regione Friuli Venezia Giulia, il minimo rapporto di diluizione consentito per il reflujo da inviare all’impianto di trattamento è sei volte la teorica portata media giornaliera di tempo secco  $q_N$ . Pertanto, per l’intero sistema, in tempo di pioggia la massima portata giornaliera da pompare all’impianto di Servola è di 12000 m<sup>3</sup>/giorno che corrisponde ad una portata istantanea di circa 140 l/s.

In particolare, per l’impianto di Barcola e per il nuovo impianto di sollevamento 19Tb le analisi dei flussi provenienti dal comprensorio Barcolano hanno condotto ai risultati esposti nella tabella seguente (tab. 1).

Naturalmente si assume come dato di progetto la portata delle acque in tempo di pioggia che, arrotondando in eccesso, risulta uguale a 140 l/s.

## 5. Calcolo delle perdite di carico

La corretta individuazione del punto di lavoro dei nuovi impianti di sollevamento risulta di particolare importanza al fine di garantire la scelta dei dispositivi elettromeccanici più idonei nell'ottica di un efficiente e duraturo servizio.

Per tale motivo il calcolo delle perdite di carico delle nuove linee di collegamento Barcola-19Tb, realizzata in PeAD DN455 PN16 per uno sviluppo di circa 2810 m, e 19Tb-Collettore di Zona Alta, in PeAD DN560 PN16, per uno sviluppo di circa 1580 m, è stato effettuato con l'applicazione di differenti metodologie, al fine di raggiungere un calcolo quanto più affidabile possibile.

Per tubazioni in pressione il calcolo delle perdite di carico continue viene abitualmente effettuato con l'applicazione della formula di Colebrook-White,

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left( \frac{2.51}{Re \cdot \sqrt{\lambda}} + \frac{\varepsilon}{3.71 \cdot D} \right)$$

dove: Re : Numero di Reynolds;  
ε : scabrezza assoluta, in mm;  
D: diametro interno della condotta, in m

La stessa viene usualmente affiancata all'indice di resistenza secondo la legge di Darcy-Weisbach, definita dalla seguente relazione:

$$i = \frac{\lambda \cdot v^2}{2 \cdot g \cdot D}$$

Prendendo come riferimento una condotta a sezione circolare in PEAD PE 100RC PN 16 DN 560 (diametro massimo possibile per effettuare le lavorazioni in condizioni di sufficiente sicurezza del cantiere e dei lavoratori), con diametro interno pari a 458 mm, si stimano le perdite di carico distribuite mediante l'espressione di Hazen – Williams:

dove: i : perdita di carico unitaria;  
v : velocità media, in m/s;  
g : accelerazione di gravità, pari a 9.81 m/s<sup>2</sup>  
D: diametro interno della condotta, in m

In alternativa può essere utilizzata la formula di Hazen-Williams:

$$i = \frac{10.675 \cdot Q^{1.852}}{C^{1.852} \cdot D^{4.8704}}$$

dove: i : perdita di carico unitaria;  
C : coefficiente di scabrezza;  
Q : portata all'interno della condotta in m<sup>3</sup>/s;  
D: diametro interno della condotta, in m

Alle perdite di carico distribuite vanno inoltre aggiunte le perdite di carico concentrate dovute principalmente a:

- variazioni planimetriche di tracciato



- bruschi restringimenti o allargamenti di sezione;
- singolarità della condotta (presenza di codoli di saldatura);
- presenza di dispositivi di regolazione quali saracinesche, valvole di non ritorno, ecc.

Le perdite di carico concentrate vengono stimate usualmente secondo la relazione:

$$\Delta = k \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

Ovvero vengono rappresentate come una frazione del carico cinetico, con k dipendente sostanzialmente dalla tipologia di disturbo che la singolarità produce sul moto del fluido.

I risultati dei calcoli applicati ai due nuovi tratti di collegamento sono riportati nelle seguenti tabelle, per alcuni valori significativi di portata:

Tabella 2 – perdite di carico nel tratto Barcola-19Tb

Calcolo perdite di carico <b>Barcola/19Tb</b> – 2811 m – $D_{int}=0.368$ m									
Portata	(l/s)	30 l/s	60 l/s	90 l/s	125 l/s	160 l/s	200 l/s	250 l/s	300 l/s
Velocità	(m/s)	0.28	0.56	0.85	1.18	1.50	1.88	2.35	2.82
Perdita unitaria Hazen-Williams	(m/m)	0.55	1.99	4.22	7.75	12.24	18.50	27.96	39.20
Perdita unitaria Colebrook-White	(m/m)	0.56	1.98	4.16	7.64	12.08	18.32	27.85	39.28
Perdita distribuita	(m)	0.56	1.98	4.19	7.69	12.16	18.41	27.91	39.24
Perdite concentrate	(m)	0.07	0.24	0.52	0.97	1.54	2.35	3.58	5.06
Dislivello geodetico	(m)	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50	2.50
<b>PERDITA TOTALE</b>	<b>(m)</b>	<b>3.12</b>	<b>4.73</b>	<b>7.21</b>	<b>11.16</b>	<b>16.20</b>	<b>23.26</b>	<b>33.99</b>	<b>46.80</b>

Il dislivello geodetico è legato alla differenza di quota tra il livello di funzionamento abituale delle pompe di sollevamento e il livello di scarico nella vasca dell'impianto a valle.

Con riferimento al secondo tratto 19Tb/Collettore di Zona Alta si ottiene:

Tabella 3 – perdite di carico nel tratto 19Tb – Collettore massimo di Zona Alta

Calcolo perdite di carico <b>19Tb/CZA</b> – 1581 m – $D_{int}=0.458m$									
Portata	(l/s)	30 l/s	60 l/s	90 l/s	125 l/s	160 l/s	200 l/s	250 l/s	300 l/s
Velocità	(m/s)	0.18	0.36	0.55	0.76	0.97	1.21	1.52	1.82
Perdita unitaria Hazen-Williams	(m/m)	0.11	0.39	0.83	1.53	2.42	3.66	5.54	7.76
Perdita unitaria Colebrook-White	(m/m)	0.11	0.39	0.81	1.48	2.33	3.52	5.33	7.49
Perdita distribuita	(m)	0.11	0.39	0.82	1.50	2.37	3.59	5.43	7.62
Perdite concentrate	(m)	0.02	0.06	0.12	0.23	0.37	0.57	0.87	1.24
Dislivello geodetico	(m)	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
<b>PERDITA TOTALE</b>	<b>(m)</b>	<b>7.33</b>	<b>7.65</b>	<b>8.15</b>	<b>8.94</b>	<b>9.95</b>	<b>11.36</b>	<b>13.50</b>	<b>16.06</b>

In questo secondo caso il dislivello geodetico è legato alla differenza di quota tra il livello di funzionamento abituale delle pompe di sollevamento e il livello di scarico nel Collettore massimo di Zona Alta.-

Al fine di garantire un efficace rimozione dei sedimenti dalla condotta la velocità all'interno della stessa non dovrebbe essere inferiore a 0,7-0,8 m/s.

Tuttavia per evitare eccessivi dissipazioni energetiche non dovrebbe superare 1.5-2.0 m/s;

A conferma di quanto sopra la UNI – EN 12056-4 prescrive che un dimensionamento corretto prevede che la velocità di scorrimento all'interno di reti tubate dovrebbe risultare compresa nell'intervallo tra 0.7 m/s e 2.3 m/s.

Come evidenziato nelle tabelle 2 e 3, si può osservare come la velocità sia compresa nell'intervallo prescritto solo con valori di portata superiori a 70 l/s nel primo tratto ricompreso tra gli impianti di Barcola e 19Tb e a 125 l/s nel secondo tratto tra l'impianto 19Tb e il Collettore massimo di Zona Alta.

Tabella 4 – perdite di carico nel tratto Barcola – Collettore massimo di Zona Alta

Calcolo perdite di carico <b>Barcola/CZA</b> – 2811 m $D_{int}=0.368 m$ / 1581 m $D_{int}=0.458m$									
Portata	(l/s)	30 l/s	60 l/s	90 l/s	125 l/s	160 l/s	200 l/s	250 l/s	300 l/s
<b>PERDITA TOTALE</b>	<b>(m)</b>	<b>10.45</b>	<b>12.38</b>	<b>15.36</b>	<b>20.10</b>	<b>26.14</b>	<b>34.61</b>	<b>47.49</b>	<b>62.86</b>

Risulta altresì evidente che con portate inferiori ai valori indicati, che rappresentano il funzionamento di tempo asciutto e che quindi coprono la percentuale prevalente del funzionamento degli stessi, le portate sarebbero insufficienti a garantire una adeguata rimozione dei sedimenti.

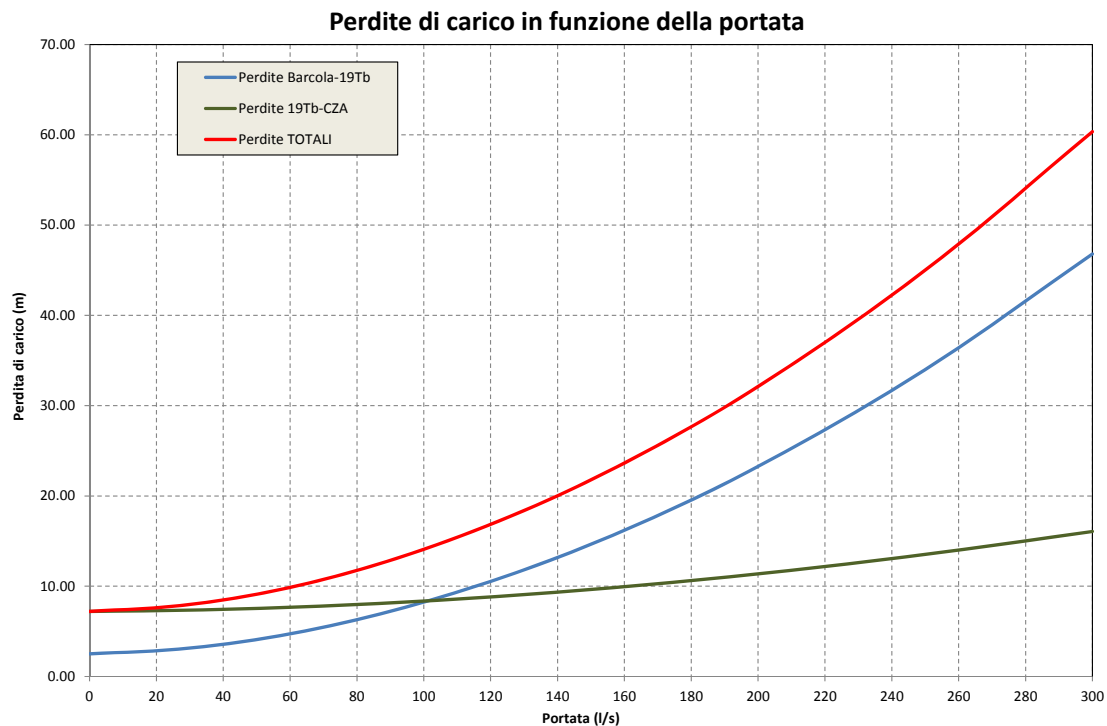


Figura 10 – diagramma delle perdite di carico in funzione della portata

Si ritiene pertanto utile inserire nella programmazione del PLC di comando delle elettropompe un ciclo periodico di funzionamento con portata elevata, per esempio tramite il preventivo riempimento della vasca di accumulo e il successivo avvio delle elettropompe fino al ripristino del livello di gestione ordinario, al fine di garantire un efficace lavaggio della condotta di mandata da eventuali sedimenti.

In alternativa gli impianti potranno essere programmati per funzionare con valori di portata superiori a quanto indicato, consentendo in questo caso una costante rotazione di funzionamento delle pompe. La presenza di n. 3 pompe e l'alimentazione con dispositivi a frequenza variabile in grado di controllare costantemente l'assorbimento dei motori ed evitare quindi i sovrassorbimenti tipici dell'avviamento diretto consentono di evitare ogni considerazione sul tempo di ciclo delle pompe, che in ogni caso potrà essere regolato agendo sui livelli di attacco e stacco delle pompe.

## 6. Dimensionamento delle pompe di sollevamento

Come indicato al precedente paragrafo, le perdite di carico cui gli impianti di sollevamento sono assoggettati risultano variabili in funzione della portata complessivamente convogliata, come già illustrato nel diagramma di figura 4.

In condizioni di tempo asciutto, quando le portate sono contenute in alcune decine di litri al secondo, le prevalenze complessive sono relativamente contenute, dell'ordine di 10-12 metri, e determinate quasi esclusivamente dai dislivelli geodetici, risultando trascurabili le perdite di carico continue e localizzate per via delle ridotte velocità in condotta;

In condizioni di pioggia, quando è richiesto il sollevamento di almeno 6 volte la portata di tempo asciutto al fine di garantire una adeguata diluizione dei reflui eventualmente sfiorati, le perdite di carico salgono repentinamente a valori di alcune decine di metri.

Questo fatto, unito alla difficoltà di disporre di elettropompe in grado di adattarsi mantenendo rendimenti elevati a situazioni di così ampia variabilità, suggerisce di far lavorare gli impianti in differenti modalità, a seconda della richiesta di portata da sollevare.

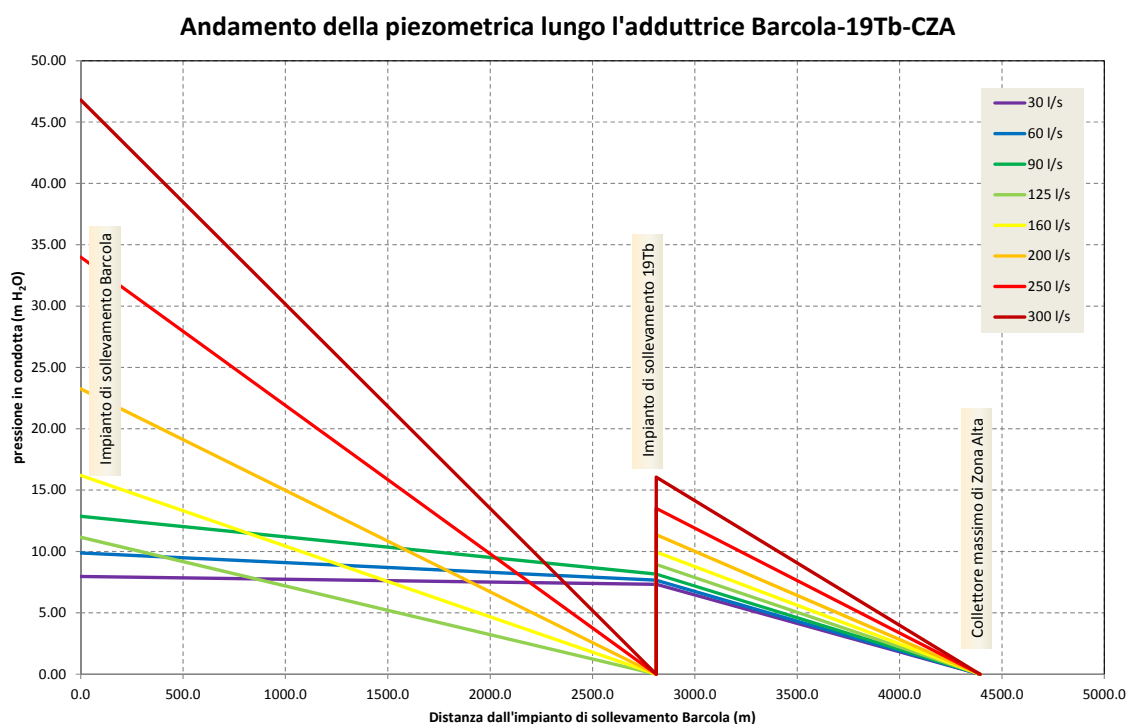


Figura 11 – andamento della piezometrica lungo la linea Barcola-19Tb-CZA per diversi valori di portata sollevata

La stessa particolarità richiede l'utilizzo di pompe comandate con dispositivi a frequenza variabile (inverter), in grado di modificare il punto di lavoro per mezzo della variazione di velocità di rotazione del motore.

La ridotta prevalenza da vincere nelle condizioni di ridotta portata di tempo asciutto suggerisce di effettuare un unico rilancio tra l'impianto di Barcola e il Collettore di Zona Alta, con inserimento in carico

all'impianto 19Tb delle sole portate captate dallo stesso impianto. In tal modo si evita di scaricare nella vasca dell'impianto 19Tb l'intera portata sollevata a Barcola, con conseguenti benefici energetici.

Grazie ad un apposito bypass, in condizioni di pioggia, gli afflussi provenienti da Barcola saranno riversati nella vasca dell'impianto 19Tb e quindi risollevati al Collettore di Zona Alta.

Questo duplice funzionamento permetterebbe in condizioni di piena di contenere la prevalenza complessiva dell'impianto di Barcola, mentre in condizioni di tempo asciutto permetterebbe di mantenere sempre una minima prevalenza, necessaria al corretto funzionamento delle elettropompe garantendo l'assenza di fenomeni di cavitazione.

In condizioni di pioggia il valore di portata indicato in tabella 1 è da intendersi quale minima portata da sollevare al fine di garantire il rapporto di diluizione richiesto: una portata sollevata inferiore determinerebbe lo sfioro a mare di reflui non sufficientemente diluiti, mentre una portata superiore andrebbe a gravare l'impianto di depurazione di Servola con portate eccessivamente diluite che andrebbero ad incrementare inutilmente i costi di depurazione.

E' evidente quindi che il punto ottimale lo si ottiene impostando la massima portata da sollevare pari al valore indicato in tabella 1, e precisamente:

- Barcola: 108 l/s;
- 19Tb: 133.6 l/s

In tali condizioni il bypass predisposto all'impianto di sollevamento 19Tb risulterà impostato per il funzionamento in cascata degli impianti, con prevalenze dell'ordine di 15 m a Barcola e 10 m all'impianto 19Tb.

Al fine di garantire una adeguata flessibilità all'impianto in progetto, l'alimentazione delle elettropompe con dispositivi a frequenza variabile permetterà l'adeguamento ad un intervallo di valori estremamente ampio: come evidenziato in figura 6 il progetto dei nuovi dispositivi di sollevamento previsti a Barcola permetteranno il sollevamento portate dell'ordine di 30-60 l/s con prevalenza contenuta entro i 15 metri con rendimenti idraulici prossimi comunque al massimo rendimento della macchina (75%), ma con l'incremento della velocità di rotazione permetterà di arrivare a pompare sino a 140-150 l/s circa con una singola pompa in funzione, con la possibilità di ottenere momentanee portate di picco fino a 220-240 l/s con due pompe in funzione e circa 280-300 l/s con impianto a pieno regime con tutte e tre le pompe in funzione.

Per l'impianto 19Tb si prevede un dimensionamento leggermente superiore in termini di portata, per la necessità di dover rilanciare sia gli afflussi provenienti da Barcola che quanto in arrivo dal collettore sotterraneo, ma sono sufficienti minori prevalenze per via della minor lunghezza di collettore e del più generoso diametro, con evidenti differenze in termini di potenza complessiva del motore.

La necessità tuttavia di superare un maggior dislivello geodetico per l'immissione nel Collettore massimo di Zona Alta. Le curve riportate in figura 7 evidenziano come in regime di tempo asciutto le portate di 40-60 l/s siano raggiunte alla minima frequenza di funzionamento con la prevalenza dell'ordine di 8-10 metri, mentre in tempo di pioggia con funzionamento di singola pompa l'impianto sarebbe in grado di raggiungere la portata di quasi 200 l/s, con la possibilità di ottenere momentanee portate di picco fino a 320-340 l/s con due pompe in funzione.

Il funzionamento della terza pompa, non previsto in questa fase, consentirebbe un futuro allaccio al nuovo impianto 19Tb di ulteriori superfici servite, quali ad esempio il sedime portuale, con possibilità di rilanciare verso il Collettore di Zona Alta fino a circa 400 l/s con impianto a pieno regime con tutte e tre le pompe in funzione.

VFD Analysis

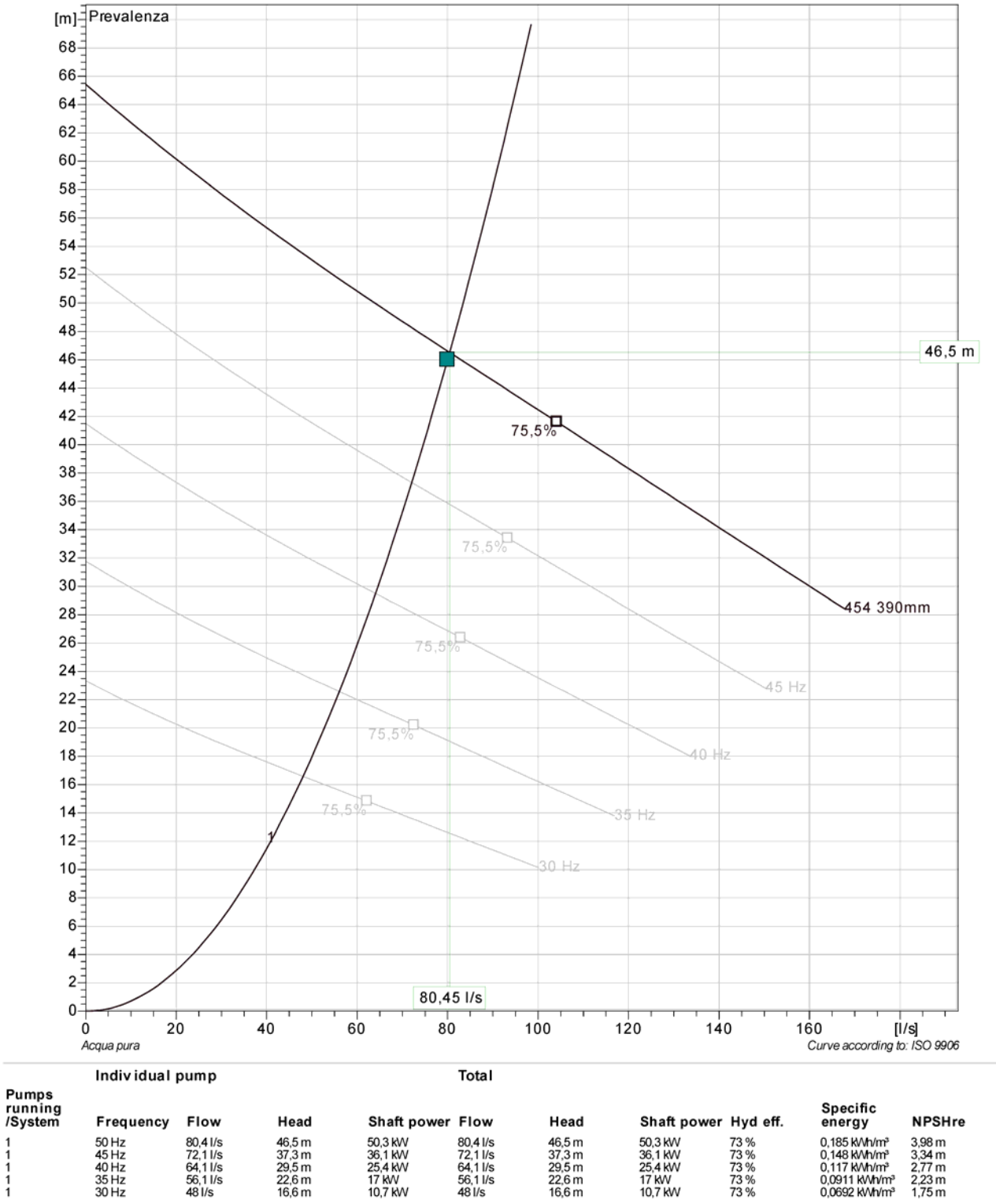


Figura 12 – diagramma di funzionamento delle pompe previste per l’impianto di Barcola



In ogni caso la scelta di disporre di una capacità di sollevamento superiore al valore strettamente indispensabile potrebbe permettere una gestione degli impianti estremamente flessibile, tale da consentire, ad esempio, rapporti di diluizione superiori durante la stagione balneare.

VFD Analysis

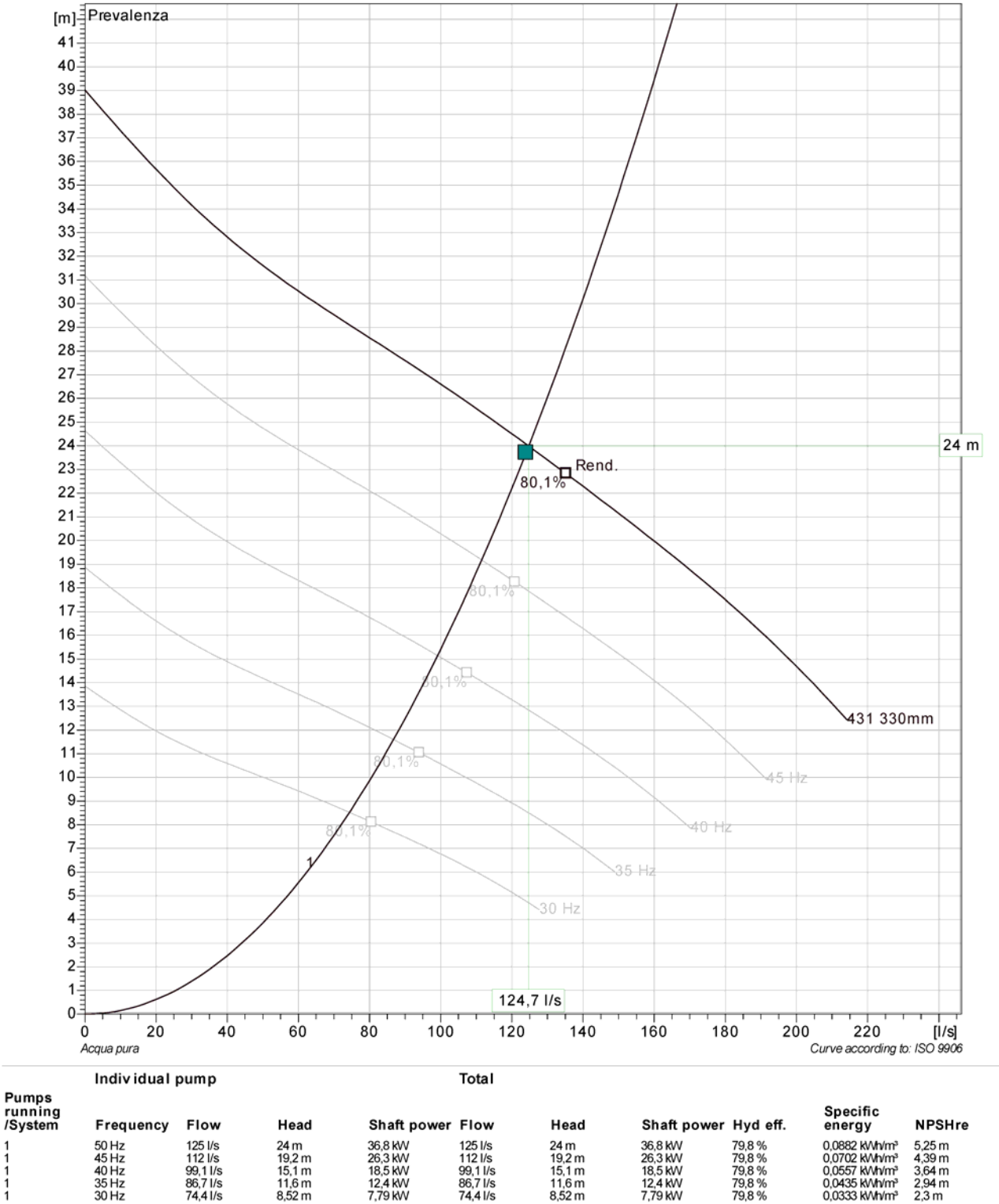


Figura 13 – diagramma di funzionamento delle pompe previste per l’impianto 19Tb

## 7. Modalità di esecuzione dei lavori

L'esecuzione dei lavori riguarda differenti tipologie di lavoro:

- I lavori civili presso l'esistente impianto di Barcola, compreso l'allacciamento del collettore di mandata alla nuova linea in PeAD
- i lavori civili di realizzazione della vasca del nuovo impianto "19Tb" e di allacciamento del collettore e del Bypass alla nuova linea in PeAD proveniente da Barcola e alla nuova linea in PeAD che recapita al Collettore di Zona Alta;
- la realizzazione delle opere di carpenteria idraulica quali collettori e pezzi speciali in acciaio;
- la realizzazione dei quadri elettrici di comando dei nuovi impianti;
- la posa delle apparecchiature elettriche ed idrauliche.

### 7.1 Opere civili impianto Barcola

Sebbene l'impianto di Barcola risulti allo stato attuale già dotato delle opere civili necessarie all'installazione delle nuove elettropompe sommergibili, risultano comunque necessarie alcune opere civili necessarie ad allacciare le stesse alla nuova linea di collegamento Barcola-19Tb.

In particolare sono da prevedersi scavi a sezione obbligata, tra la vasca esistente e la nuova linea in PeAD DN455, comprese le preventive demolizioni delle sovrastrutture stradali, marciapiede e cordonata, e recinzione dell'area dell'impianto, che successivamente andranno pertanto ripristinate.

Tali interventi, da eseguirsi in parte su sede stradale aperta al traffico, andrà eseguita con particolare attenzione dal punto di vista della sicurezza, prevedendo idonea segnaletica, e canalizzando il traffico in corsie di larghezza ridotta mantenendo la circolazione in entrambi i sensi di marcia. Soo qualora la posizione della tubazione in acciaio risulti in posizione invasiva rispetto alla carreggiata, si provvederà ad instaurare il senso unico alternato regolato da impianto semaforico mobile.



Figura 8 – foro di uscita predisposto nella vasca di Barcola

Sono da prevedersi inoltre alcune microdemolizioni in corrispondenza dei fori di uscita delle tubazioni di mandata delle nuove pompe, come visibile in figura 8, che risultano già predisposti ma attualmente murati.

Per il passaggio dei cavi di alimentazione si sfrutteranno per quanto possibile i cavidotti esistenti, tuttavia potranno essere necessarie alcune microdemolizioni localizzate e di modestissima entità.

## **7.2 Opere civili impianto 19Tb**

Le opere relative alla realizzazione Il nuovo impianto di sollevamento 19Tb non presentano difficoltà di rilievo: il cantiere è previsto interamente in area recintata con manufatti prefabbricati di rapida e sicura posa.

Dopo una preventiva pulizia dalle strutture preesistenti, quali binari, traversine e massicciata ferroviaria, si procederà con lo scavo per il rinvenimento del condotto fognario esistente e la contestuale posa delle vasche prefabbricate. Per la movimentazione e posa di tali elementi si farà uso di autogru di idonea portata.

Le opere da realizzare sul posto risultano di minima entità, e rappresentano il breve collegamento tra condotto esistente e vasca prefabbricata, il setto di sfioro e il vano di alloggiamento del clapet antiriflusso.

Completate le opere interrate e a seguito dei rinterri saranno realizzate le recinzioni esterne e la pavimentazione in conglomerato bituminoso.

Oltre alle opere relative all'impianto in senso stretto, andranno realizzati gli scavi a sezione obbligata per la posa dei tratti di allacciamento alla tubazione proveniente dall'impianto di pretrattamento di Barcola, in PeAD DN455, e alla nuova tubazione di collegamento con il Collettore di Zona Alta, in PeAD DN560. Per queste, oltre alle necessarie cautele relative a lavorazioni in ambito stradale, è da prevedere la demolizione di un breve tratto della recinzione del sedime portuale e il relativo ripristino al termine dei lavori.

## **7.3 Opere di carpenteria idraulica**

Completate le opere civili si provvederà alla misurazione di quanto realizzato al fine di consentire la corretta realizzazione delle opere di carpenteria quali collettori, tubazioni, raccordi, ecc., da realizzare interamente in acciaio Inox AISI 316 per la necessità di resistere alla corrosione in ambiente marino.

Tali apparecchiature saranno realizzate in officina con dimensioni agevolmente trasportabili e quindi installate secondo il progetto a mezzo di giunzioni flangiate appositamente predisposte.

Per la movimentazione e posa di tali elementi si farà uso di autogru di idonea portata.

La posa delle elettropompe dell'impianto di Barcola andrà effettuata con impianto in funzione, anche se dovrebbe risultare possibile una momentanea consistente riduzione degli afflussi, è necessario che gli operatori addetti alla posa delle apparecchiature all'interno della vasca esistente siano dotati di certificazione e idoneità al lavoro in ambienti confinati.

## **7.4 Impianti e quadri elettrici**

La predisposizione e successiva posa dei dispositivi elettrici riguarda una fase estremamente importante per la funzionalità e l'affidabilità delle opere.

Se da un lato i quadri vengono predisposti in officina e posati in blocco, la logica di funzionamento degli impianti programmata nei PLC richiederà una accurata fase di verifica al fine di garantirne la perfetta rispondenza del funzionamento programmato alle effettive necessità.

In particolare i segnali provenienti dai diversi sensori dovranno essere opportunamente interfacciati con la logica di programmazione, e occorrerà inoltre garantire la comunicazione tra gli impianti di Barcola e 19Tb in maniera che l'eventuale anomalia di un impianto non vada a generare potenziali problemi all'altro.

- Misure di livello: la misura del livello all'interno della vasca di pompaggio è il parametro fondamentale che andrà a comandare quante pompe far funzionare e con quale frequenza alimentarle, al fine di garantire il mantenimento quanto più costante possibile del livello in vasca. Le misure di livello determineranno quindi i livelli di accensione delle varie pompe e le rampe di crescita della frequenza di alimentazione. La presenza delle valvole di flussaggio richiede nella prima fase di avviamento un funzionamento a regime elevato, al fine di garantire un efficace lavaggio del fondo vasca, che successivamente andrà reimpostato al valore richiesto.
- Misure di pressione in mandata: è importante evitare che ogni pompa si trovi a lavorare in condizioni eccessivamente lontane dal punto di lavoro ottimale per ciascuna frequenza: in particolare è da evitare che con basse prevalenze manometriche nella mandata principale le pompe si trovino a funzionare a regimi di rotazione elevati, cosa che potrebbe condurre a cavitazione e quindi a una rapida usura delle pompe stesse.
- Misure di portata: la misura di portata in mandata principale oltre a risultare utile informazione per individuare i volumi effettivamente trasferiti a depurazione, potrebbe costituire un ausilio alla gestione dell'alimentazione delle pompe, consentendo di regolare con maggior accuratezza il punto di lavoro: potrebbe infatti risultare preferibile in determinate condizioni far funzionare due pompe a regime ridotto ma in condizioni vicine al punto di massimo rendimento piuttosto che lavorare sempre con una singola pompa in condizioni lontane dal punto di lavoro ottimale.

## **8. Conformità delle opere allo strumento urbanistico**

Le aree oggetto di intervento sono pubbliche o di proprietà di Acegas-APS, non è quindi necessario avviare procedure di esproprio per l'acquisizione di aree private. La condotta di fognatura e i relativi manufatti di sollevamento sono opere completamente interrati e quindi non richiedono autorizzazione edilizia.

Si dichiara quindi che non sussiste la necessità del rilascio dell'Attestazione di Conformità agli strumenti urbanistici vigenti, ai sensi dell'art. 35, comma 1, della Legge Regionale dell'11 novembre 2009, n. 19.