



UNIONE EUROPEA



REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA



Ente acque della Sardegna

P. O. F.E.S.R. 2007 - 2013
ASSE IV - OBIETTIVO OPERATIVO 4.1.5
LINEA DI ATTIVITA' 4.1.5.b

PROGETTO ESECUTIVO

INTERVENTO DI POTENZIAMENTO DELLA FUNZIONALITA' DEL SISTEMA DI
APPROVVIGIONAMENTO DEL SISTEMA BASSO FLUMENDOSA - PICOCCHA

Adeguamento della filiera di processo dell'impianto di potabilizzazione di San Vito
Implementazione e sperimentazione di una sezione di affinamento

Relazione specialistica

Allegato
B

Redatto dal Servizio Gestione Sud

Responsabile del Procedimento: Dott. Ing. Sandro Bachis

Progettisti: Dott. Ing. Andrea Viridis - P.I. Antonio Collu

Collaborazioni tecniche: Dott.ssa Graziella Solinas - Geom. Bernardino Pitzalis - P.I. Urbano Lecca

Il Direttore Generale f.f.
Dott. Ing. Roberto Silvano

Il Direttore del Servizio
Dott. Ing. Felice Soda

Febbraio 2012

1 PREMESSA

Nella presente relazione specialistica vengono sviluppate le analisi tecnico-economiche relative all'implementazione di una sezione di affinamento per l'adeguamento della filiera di processo dell'impianto di potabilizzazione di San Vito.

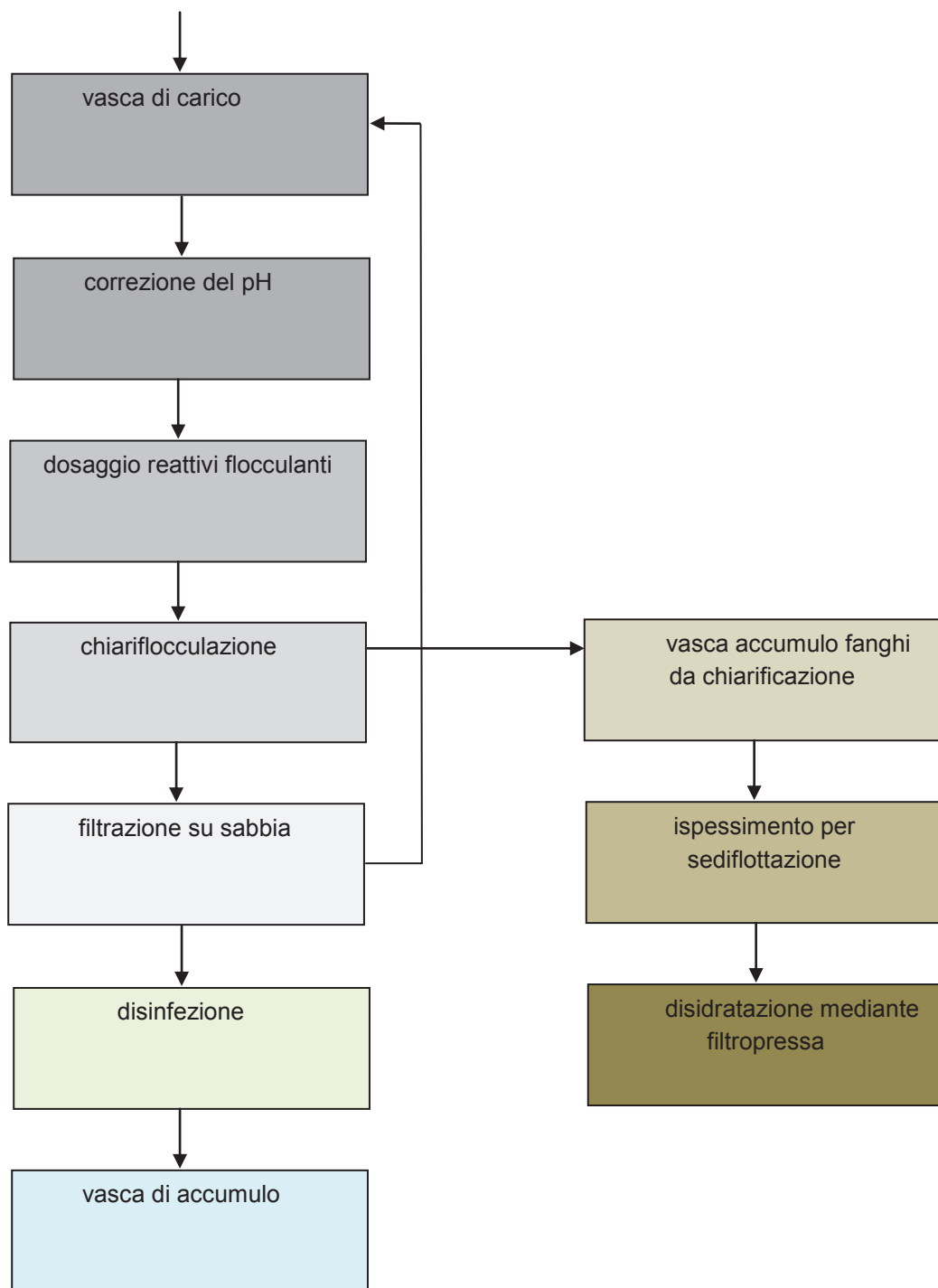
L'impianto di potabilizzazione di S. Vito ha una portata nominale in ingresso di circa 550 l/s. Il processo di potabilizzazione è costituito essenzialmente dalle seguenti fasi:

- sollevamento dall'opera di presa dal Flumendosa;
- regolazione e misura della portata da avviare al trattamento;
- ripartizione della portata sulle quattro linee di trattamento previste (di cui 2 attuali e 2 future);
- destabilizzazione mediante agitazione veloce e ripartizione;
- chiariflocculazione su 2 vasche tipo "Accelator";
- filtrazione su letto di sabbia delle acque chiarificate;
- accumulo dell'acqua di lavaggio filtri su vasca preferenziale;
- accumulo finale del volume d'acqua trattato (circa 2000 m³);
- disinfezione finale con Biossido di Cloro;
- sollevamento delle acque potabilizzate verso la vasca di carico dell'acquedotto;
- recupero delle acque di lavaggio filtri e sollevamento delle stesse alla vasca di carico in ingresso all'impianto;

Le acque di lavaggio dei filtri a sabbia, accumulate su apposita vasca, vengono riciclate direttamente in testa all'impianto mentre le torbide prodotte nelle sezioni di chiariflocculazione sono invece sottoposte alle seguenti fasi di trattamento:

- equalizzazione fanghi e sollevamento verso la sezione di ispessimento;
- ispessimento dei fanghi per sediflocculazione;
- ricircolo dei chiarificati degli ispessitori dei fanghi in testa all'impianto;
- accumulo dei fanghi ispessiti;
- disidratazione meccanica dei fanghi mediante filtropressa;
- ricircolo del drenaggio della filtropressa e sollevamento verso la vasca di equalizzazione dei fanghi;
- stoccaggio provvisorio dei fanghi disidratati;
- accolta delle acque dei dreni del serbatoio di accumulo finale e sollevamento verso il recapito delle acque di scarico.

L'attuale schema a blocchi dell'impianto è illustrato nella figura seguente.



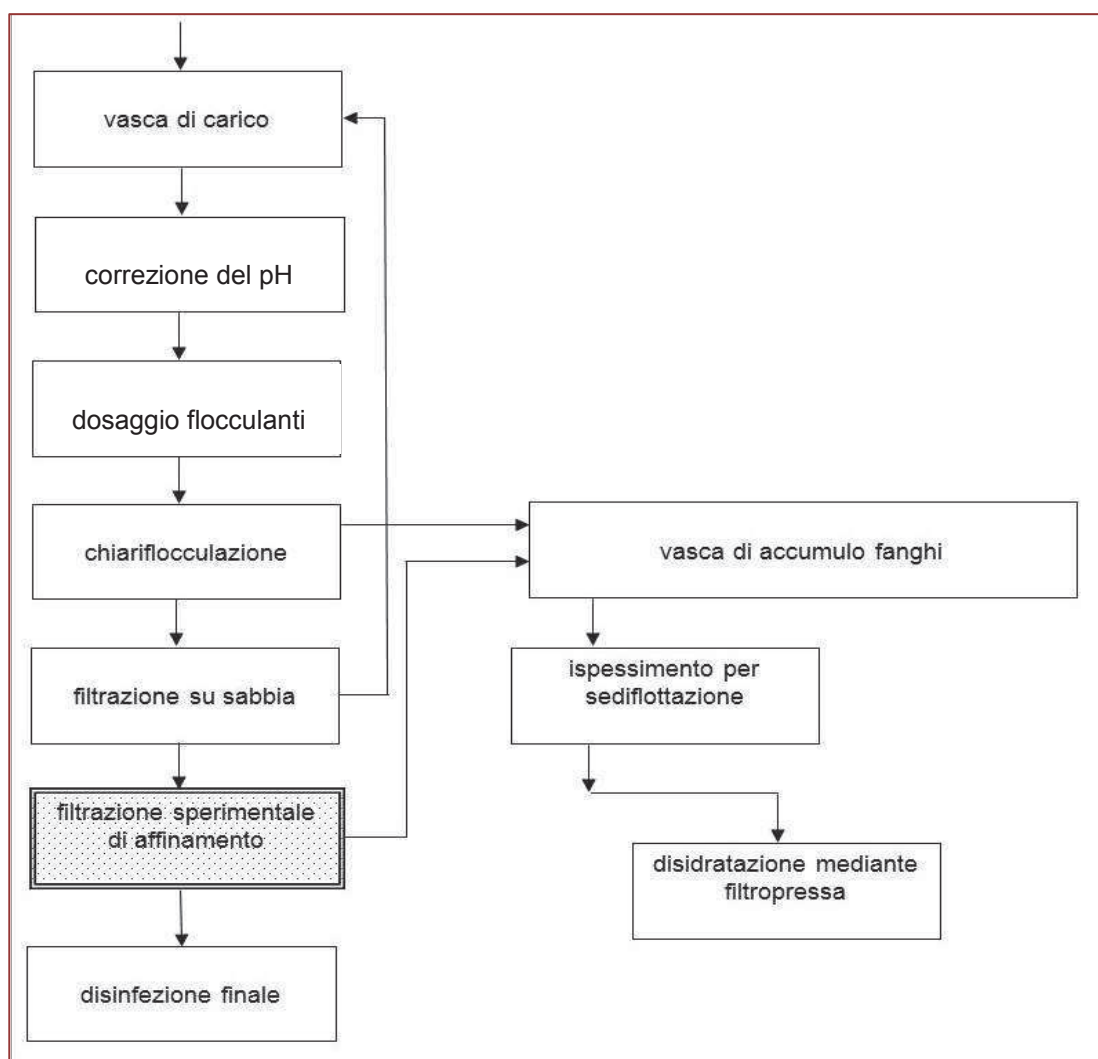
2 DIMENSIONAMENTO SEZIONE DI AFFINAMENTO

L'impianto di potabilizzazione in seguito alla realizzazione del presente intervento sarà costituito oltre che dalle sezioni precedentemente illustrate anche da una sezione integrativa di affinamento per filtrazione posta a valle della sezione di filtrazione su sabbia e a monte della vasca di accumulo dell'acqua potabilizzata.

Tale sezione ha il carattere di unità sperimentale ed è dimensionata per una portata massima di 50 litri/sec e si pone l'obiettivo di produrre acqua potabile ai sensi del Decreto Legislativo n.31 del 2 Febbraio 2001 e s.m.i..

La realizzazione di questa nuova sezione di trattamento costituisce l'ultima fase di uno studio, originato con una prima fase sperimentale su "scala di laboratorio", proseguito con una seconda fase sperimentale su "scala pilota" che si è reso necessaria al fine per definire la fattibilità tecnico/economica del processo di trattamento di affinamento proposto.

Lo schema seguente rappresenta la filiera di trattamento in seguito alla realizzazione dell'intervento in progetto.



2.1 Sezione sperimentale di filtrazione

Il processo di affinamento della sezione di filtrazione sperimentale è basato sul meccanismo di adsorbimento su un materiale filtrante granulare che ha come costituente principale l'ossi-idrossido di ferro (GFH). Tale materiale ha elevate proprietà adsorbenti nei confronti di metalli pesanti come arsenico e antimonio.

Nella prima e seconda fase di studio, l'adsorbimento su GFH si è dimostrato come una tecnologia particolarmente efficace ed idonea per affinare la qualità dell'acqua potabilizzata dal punto di vista dei parametri di interesse.

L'acqua effluente dall'esistente sezione di filtrazione su sabbia verrà pertanto inviata per gravità alla nuova sezione sperimentale di filtrazione su GFH per la rimozione dei metalli pesanti se presenti nelle acque da potabilizzare.

2.2 Descrizione del funzionamento

Il trattamento GFH estrinseca la sua azione principalmente per adsorbimento che per semplice filtrazione. Per *adsorbimento* si intende l'adesione di una sostanza chimica (adsorbato) sulla superficie attiva della sostanza solida (adsorbente) mediante diversi tipi di forze di legame di natura chimico-fisica. Il processo di adsorbimento può essere accompagnato anche da una reazione chimica che cambia la natura della molecola che viene adsorbita. Questo è ad esempio il caso del processo di adsorbimento dello ione antimonio che reagisce chimicamente con i siti attivi del GFH.

Particolari cautele sono necessarie nell'esercizio di queste unità adsorbenti che sono caratterizzate da avere limiti nell'adsorbibilità (non certamente rilevabili dalla perdita di carico), superati i quali "rompono" e non sono più attive ma anzi per variate condizioni di esercizio possono tornare a rendere quanto adsorbito. Sarà, quindi, necessario sostituire o rigenerare il mezzo filtrante una volta raggiunto il punto di "rottura" (materiale esausto).

La sezione di affinamento sperimentale è posta a valle della sezione di filtrazione su sabbia ed è alimentata da questa sezione.

La sezione ha una portata nominale di 50 l/s ed è suddivisa su quattro linee indipendenti così costituite:

- modulo a gravità su mezzo filtrante costituito da idrossido di ferro granulare di tipo "A";
- modulo a gravità su mezzo filtrante costituito da idrossido di ferro granulare di tipo "B";
- modulo a gravità su mezzo filtrante costituito da idrossido di ferro granulare di tipo "C".
- modulo in acciaio su mezzo filtrante costituito da idrossido di ferro granulare di tipo "C";

L'acqua trattata da ciascuna sezione di affinamento sarà convogliata nella vasca di accumulo finale.

L'esercizio dell'intero impianto di potabilizzazione dovrà consentire all'ENAS di avviare ed espletare presso le autorità competenti l'iter procedurale necessario per ottenere l'autorizzazione alla distribuzione dell'acqua trattata; in assenza di tale autorizzazione, l'acqua prodotta dovrà essere scaricata rispettando le modalità stabilite dalla autorizzazione allo scarico concessa per l'impianto dalla Provincia di Cagliari.

I quattro moduli di filtrazione dovranno funzionare normalmente a battente variabile e portata costante.

L'acqua di alimentazione verrà prelevata dall'esistente vasca preferenziale di accumulo delle acque necessaria per il controlavaggio dei filtri a sabbia e, tramite una elettropompa, verrà sollevata al piano di alimentazione dei filtri GFH.

Un collettore consentirà di ripartire la portata tra i quattro filtri a gravità. In particolare il filtro n°1 tratterà una portata di circa 5 l/s, mentre la rimanente portata verrà equamente ripartita tra gli altri tre moduli di filtrazione, per circa 15 l/s ciascuno. Un apposito tubo forato consentirà l'alimentazione dei filtri in modo tale da non creare turbolenza sulla superficie dello strato filtrante;

Durante l'esercizio, ogni qualvolta si rendesse necessario, dovrà essere previsto il lavaggio in controcorrente della massa filtrante. La frequenza di controlavaggio dovrà essere ridotta al minimo per limitare il consumo per usura del mezzo filtrante. Con il ciclo di controlavaggio, verrà isolato il filtro, ed il suo controlavaggio verrà effettuato con sola acqua.

2.3 Dimensionamento della unità di filtrazione sperimentale

Per il dimensionamento della sezione di filtrazione su GFH sono stati considerati i parametri "tempo di contatto" e "velocità di filtrazione" espressa in metri/ora (metri cubi di acqua su metro quadro di superficie filtrante all'ora) e la dimensione/forma dei granuli filtranti e le caratteristiche del materiale impiegato.

Nella seguente tabella si riportano le caratteristiche tecniche e le dimensioni di ciascuna unità di filtrazione a GFH a gravità:

| | | | |
|---|----------------|-----------|------|
| lunghezza - larghezza (dim. Esterne) | m | 4,30 | 2,50 |
| lunghezza - larghezza (dim. Interne) | m | 4,06 | 2,26 |
| altezza utile mezzo filtrante | m | 0,76 | |
| altezza complessiva utile per controlavaggio (+50%) | m | 1,14 | |
| superficie utile | m ² | 9,17 | |
| volume utile di riempimento | m ³ | 6,97 | |
| tempo di contatto (EBCT) | min | 7,74 | |
| velocità di filtrazione | m/h | 5,9 | |
| portata | l/s | 15,0 | |
| tipo di falso fondo | | LP blocks | |

Ciascuna sezione di filtrazione sarà riempita di un materiale filtrante a base di ossi-idrossido di ferro (GFH). Saranno previsti tre differenti tipi di mezzo filtrante prodotti da tre differenti fornitori.

Ciascun mezzo filtrante avrà le seguenti specifiche:

Tipo A – Bayoxide E33P

- Sostanza attiva: $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 70\%$
- Contenuto d'acqua: 1.0% (max)
- Dimensione dei granuli: 0.50 – 2.0 mm
- Percentuale di setaccio <0.5mm 10% (max)
- Percentuale di setaccio >2.0mm 5% (max)
- Densità apparente: 0.4 kg/dm³ (min) - 0.6kg/dm³ (max)
- Densità reale: 3.6 - 4.1 kg/ dm³
- Superficie Specifica: 120 – 200 m²/g

Tipo B – Andel Polary TH08

- Composizione chimica FeOOH e $\text{Fe}(\text{OH})_3$
- Residuo secco 47-57 %
- Dimensione granuli: 0,2 – 2.0 mm
- Densità apparente: 1,15 kg/dm³
- Superficie specifica: circa 300 m²/g

Tipo C – GEH 102

- Sostanza attiva: $\text{Fe}(\text{OH})_3$ and $\beta\text{-FeOOH}$: 55 – 60 %
- Contenuto d'acqua: 40 – 45 %
- Dimensione dei granuli: 0.30 – 2.0 mm
- Percentuale di setaccio < 0,30 mm: < 10 %
- Percentuale di setaccio > 2 mm: < 10 %
- Densità dei granuli: 1.5 – 1.7 kg/dm³
- Densità di apparente: 1.05 – 1.2 kg/dm³
- Superficie Specifica: > 220 m²/g (sostanza secca)

Oltre alle tre sezioni di filtrazione a gravità, è prevista una ulteriore unità di filtrazione su cilindro circolare in acciaio avente le seguenti caratteristiche:

| | | |
|----------------------------|----------------|------|
| diametro | m | 1,4 |
| superficie filtrante | mq | 1,5 |
| altezza letto filtrante | m | 1,3 |
| volume letto filtrante | m ³ | 2,0 |
| tempo di contatto | min | 6.6 |
| portata | l/s | 5,0 |
| velocità di filtrazione | m/h | 11,7 |
| velocità di controlavaggio | m/h | 28,0 |

2.4 Controlavaggio filtri GFH

Il controlavaggio dei filtri GFH dovrà consentire principalmente l'eliminazione dal materiale filtrante di particelle fini eventualmente rilasciate dalla sezione di filtrazione a sabbia posta immediatamente a monte ed il riassetamento della massa filtrante. Considerato che l'acqua effluente dalla sezione di filtrazione a sabbia è ormai limpida l'operazione di controlavaggio dei filtri dovrebbe avvenire con una frequenza molto limitata. Tale frequenza dovrà essere ridotta al massimo per evitare di perdere per usura il mezzo filtrante, piuttosto fragile. L'acqua utilizzata nel controlavaggio verrà prelevata dalla vasca esistente preferenziale.

Le acque utilizzate per il controlavaggio saranno inviate direttamente alla vasca accumulo dei fanghi da inviare al trattamento di disidratazione.

2.5 Sequenza di controlavaggio

Per il controlavaggio della unità di filtrazione a GFH verrà installata una elettropompa centrifuga localizzata nel piano adiacente alla vasca preferenziale di controlavaggio dei filtri a sabbia.

La scelta delle caratteristiche tecniche di queste apparecchiature è determinata dalla necessità di effettuare il controlavaggio in maniera efficace ed evitare la perdita di materiale filtrante nelle canalette di

raccolta dell'acqua di controlavaggio. Tale evento tende a manifestarsi qualora le velocità di controlavaggio dell'acqua fossero eccessivamente alte. Al tal fine sarà rispettata una velocità dell'acqua in controlavaggio di 26 – 28 m/h

Il consumo massimo di acqua utilizzata nel lavaggio (durata circa 20 minuti) è stimato in circa 80 m³.

3 CALCOLI IDRAULICI

I calcoli idraulici riportati di seguito si riferiscono alle linee di alimentazione e del controlavaggio della sezione di affinamento in progetto.

Per quanto riguarda la linea di alimentazione, si procederà al dimensionamento della condotta con ricerca del diametro ottimale e alle successive verifiche sia in relazione al rispetto delle quote piezometriche imposte sia delle velocità del flusso. Si procederà inoltre all'individuazione delle caratteristiche delle pompe e degli accorgimenti necessari per l'attenuazione degli effetti dei processi di moto vario causati dall'arresto improvviso dell'impianto di pompaggio.

Per quanto riguarda la linea di contro lavaggio, essendo indeterminata la frequenza di utilizzo, risulta impossibile la previsione dei costi di esercizio e pertanto i diametri verranno ipotizzati con dimensioni analoghe a quelli delle linea di alimentazione nel rispetto delle velocità minime e massime raccomandate del flusso.

3.1 Linea di alimentazione sezione di affinamento

- Dimensionamento

Il dimensionamento idraulico della linea di alimentazione della sezione di affinamento riguarda nel complesso l'impianto costituito dalle condotte e dalle pompe di trattamento.

Il dimensionamento delle condotte, idraulicamente indeterminato, viene risolto sulla base di considerazioni di tipo economico, applicando semplici processi analitici di ottimizzazione indirizzati all'individuazione del diametro che consente di ottenere il minimo valore della somma della passività della condotta e del costo annuo delle energia ovvero il minimo onere. In considerazione della contenuta rilevanza dell'impianto in progetto non si ritiene opportuno applicare metodi di ottimizzazione complessi, propri della programmazione matematica, per la soluzione del problema.

Il processo di ottimizzazione riguarderà esclusivamente la condotta principale premente nel tratto compreso tra la pompa e la derivazione per l'unità adsorbente in acciaio (nodo N1 dello schema allegato), verrà trascurata la condotta di aspirazione e i tratti di condotta premente compresi tra le derivazioni alle unità adsorbenti, i cui diametri deriveranno da valutazioni sulle caratteristiche del flusso transitante.

Nella valutazione della passività della condotta premente si considera una vita utile dell'impianto $n = 20$ anni, e un tasso interesse medio $i = 5\%$ da cui un tasso di ammortamento $ra = 8\%$, si prescinde dalla stima del tasso di preammortamento e di manutenzione delle opere. Il costo di costruzione, in considerazione della ridotta estensione lineare, delle diverse variazioni di direzione plano-altimetriche del tracciato nonché delle particolari condizioni di installazione della stessa, verrà valutato considerando la condotta interamente costituita da pezzi speciali in acciaio e quindi sulla base di un costo medio di € 6,00 per unità di peso degli stessi.

Il costo delle pompe, valvolame, impianti elettrici e opere civili, in prima approssimazione, si ritiene possa essere ipotizzato costante nell'intorno del diametro da ottimizzare e pertanto non influente nel processo di ricerca del minimo onere. Le spese di manutenzione e del personale di sorveglianza non vengono considerate in quanto supposte indipendenti dal diametro delle condotte.

Relativamente al costo energetico annuo, le valutazioni economiche considerano un funzionamento continuo dell'impianto di sollevamento, pari quindi a 8760 ore/anno, con un valore di portata costante di 50 l/s. Il rendimento della pompa si ipotizza in prima approssimazione pari a $\eta = 0,8$ mentre per il motore si

stabilisce $\eta = 0,95$, quindi nel complesso rendimento del gruppo pompa-motore è posto pari a $\eta = 0,76$. Il costo medio dell'energia elettrica viene stimato in 0,13 €/KWh.

L'equazione del moto applicata per la determinazione della prevalenza totale della pompe considera il dislivello tra la quota di sfioro della vasca di accumulo dei filtri a sabbia pari a 44.01 m s.l.m. e la quota massima della piezometrica nel nodo N1 necessaria per l'alimentazione dei settori della sezione di affinamento, ipotizzata in prima analisi pari a 50.00 m s.l.m.. Considerata la loro esiguità non si considerano le perdite di carico nella condotta di aspirazione.

Per la determinazione delle quote piezometriche nei diversi nodi la cadente piezometrica è stata valutata con la formula di Darcy-Weisbach $J = \lambda/D * V^2/2g$ ($Re_{min} \approx 130000$ moto turbolento), l'indice di resistenza λ deriva dall'applicazione della formula di Colebrook posta la scabrezza assoluta per tubi in acciaio usati pari a 0.3 mm.

In considerazione della limitata lunghezza delle condotte è stato tenuto conto delle perdite di carico concentrate espresse in relazione al valore delle altezze cinetiche $V^2/2g$ nelle diverse sezioni in cui sono presenti le irregolarità con l'applicazione dei seguenti coefficienti:

| | |
|--|-----------------|
| imbocco con condotta rientrante | $\alpha = 1,00$ |
| curva a 90° | $\alpha = 0,30$ |
| convergente ($d/D = \pm 0,8$) | $\alpha = 0,02$ |
| divergente ($d/D = \pm 0,5$) | $\alpha = 0,50$ |
| Tes | $\alpha = 0,90$ |
| valvola a farfalla aperta DN 100 | $\alpha = 0,20$ |
| valvola a farfalla aperta DN 125 | $\alpha = 0,20$ |
| misuratore di portata elettromagnetico | $\alpha = 0,02$ |
| Valvola di ritegno DN 125 | $\alpha = 6,00$ |

L'analisi tecnico-economico proposta in sintesi nella seguente tabella 1 viene limitata ai diametri commerciali compresi tra DN 200 e DN 300 per i quali la portata di progetto $Q = 50$ l/s transita con una velocità compresa tra 0.7 m/s e 1.6 m/s.

Come si evince dai risultati dell'analisi, il diametro ottimale della condotta è pari al DN 300, tuttavia considerate le particolari condizioni determinante dalla presenza nel sito di installazione di manufatti civili ed elettromeccanici che ne rendono gravosa la realizzazione, essendo poco significativa la differenza dell'onere annuo, viene stabilito l'utilizzo di una condotta del diametro DN 250 che risulta realizzabile con minori difficoltà. Irrilevanti tra i due diametri sono le differenze relativamente ai fenomeni di colpo d'ariete in considerazione della limitata differenza di velocità.

Tabella 1: riepilogo analisi tecnico-economica

| Perdite di carico continue | | | | | | | | | | Perdite di carico concentrate | | | | Costi | | | | | | |
|----------------------------|-------------------|---------------------|-------|--------|---------------|-----------------|-----------|-----------|-------|-------------------------------|--------------------|----------|------------|--------------|-----------|------|------------|----------------|--------------------------------|----------|
| D | A | Q | V | Re | ε | ε/D | λ | J (Darcy) | L | ΔH | V ² /2g | α | ΔH | ΔH_g | Prevalen. | W | E | C _e | I _a *C _i | O |
| [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | | [mm] | | | [m/m] | [m] | [m] | [m] | [mm] | [m] | [m] | [m] | [KW] | [KWh/anno] | [€/anno] | [€/anno] | [€/anno] |
| 0,20 | 0,0314 | 0,05 | 1,59 | 318471 | 0,3 | 0,0015 | 0,022 | 0,014 | 16,00 | 0,22 | 0,13 | 7,30 | 0,94 | 6,00 | 7,16 | 4,62 | 40467 | 5261 | 241 | 5502 |
| 0,25 | 0,0491 | 0,05 | 1,02 | 254777 | 0,3 | 0,0012 | 0,022 | 0,005 | 16,00 | 0,07 | 0,05 | 7,30 | 0,39 | 6,00 | 6,45 | 4,16 | 36478 | 4742 | 336 | 5078 |
| 0,30 | 0,0707 | 0,05 | 0,71 | 212314 | 0,3 | 0,001 | 0,021 | 0,002 | 16,00 | 0,03 | 0,03 | 7,30 | 0,19 | 6,00 | 6,21 | 4,01 | 35112 | 4565 | 428 | 4993 |

Determinato il diametro commerciale ottimale della condotta, si procede di seguito all'individuazione delle caratteristiche della pompa di alimentazione:

La curva impianto è la seguente:

$$H = \Delta H_g + (\Sigma \alpha + \lambda L/D) V^2/2g = \Delta H_g + (\Sigma \alpha + \lambda L/D) Q^2/2gA^2 = 6 + (7,3 + 0,022 \cdot 16/0,25) Q^2/2 \cdot 9,81 \cdot 0,04912^2$$

Dal diagramma riportato di seguito, con le curve caratteristiche delle pompe centrifughe normalizzate disponibili, per la portata di progetto 50 l/s (180 mc/h) e la prevalenza di 6.45 m, la pompa più adatta appare la 125-200/55 (bocca mandata-girante/potenza nominale x10).

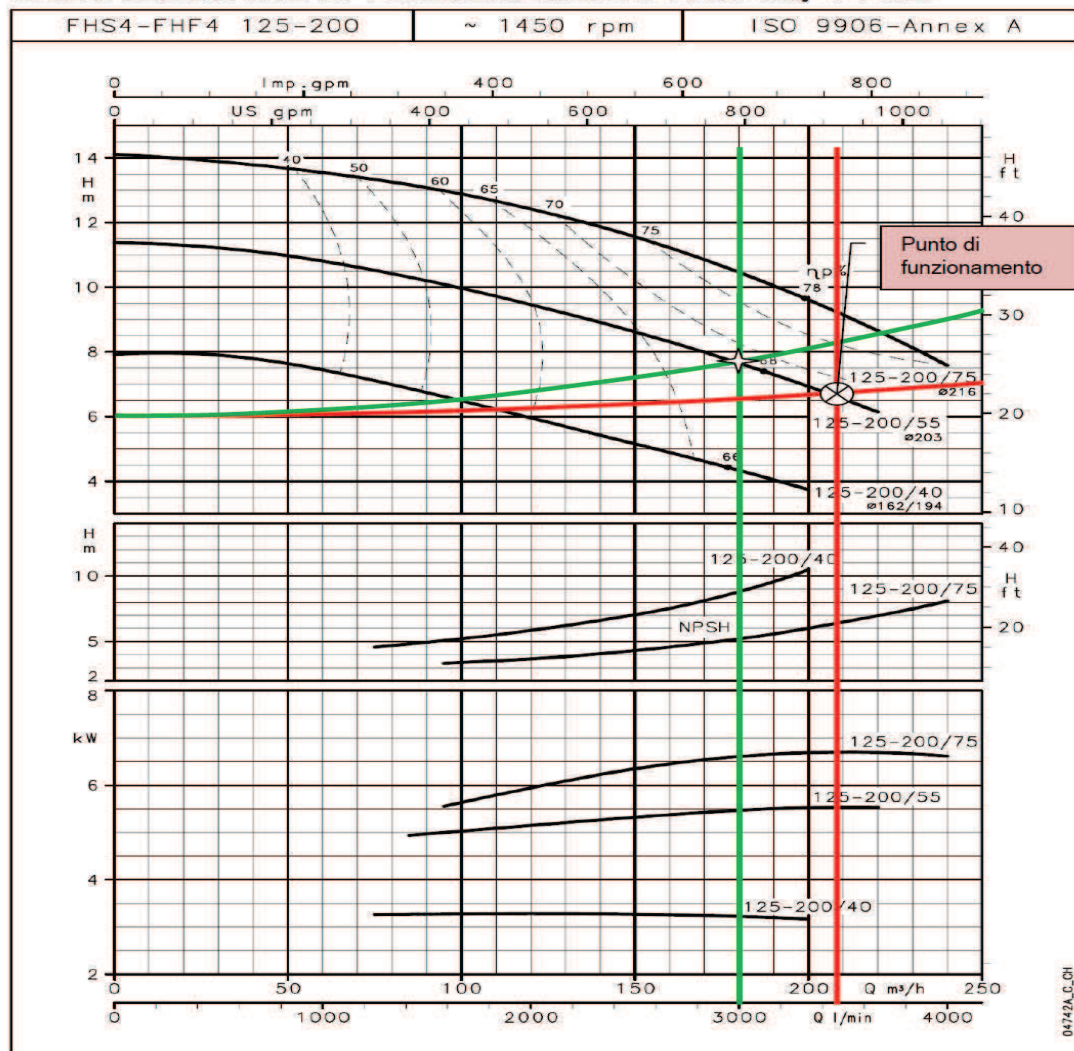
Il punto di funzionamento ha approssimativamente coordinate $Q = 208 \text{ mc/h}$ $\Delta H = 6.70 \text{ m}$. Poiché la portata del punto di funzionamento è maggiore di quella di progetto occorre prevedere un aumento delle perdite concentrate, mediante la saracinesca di regolazione, al fine di aumentare la ripidità della curva dell'impianto. La perdita di carico aggiuntiva risulta di 1.2 m circa, ovviamente tale valore sarà maggiore a tubi nuovi. Il rendimento effettivo della pompa è del 68 %

Relativamente alla verifica a cavitazione il NPSHa è pari a: $10,33 + 3,33 - 0,06 - 0,239 = 13,36 > \text{NPSHd} = 7,00 \text{ m}$.



SERIE FHS4-FHF4

CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO A 50 Hz, 4 POLI



I valori di NPSH sono di laboratorio; nell'impiego pratico si consiglia di aumentare il valore di 0,5 m.
Le prestazioni valgono per liquidi con densità $\rho = 1,0 \text{ kg/dm}^3$ ed una viscosità cinematica $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$.

- Verifiche

I risultati delle verifiche vengono proposte nelle seguenti tabelle riepilogative e nello schema allegato:

Tratto Np-N1

Perdite di carico continue

| D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | Re | ε [mm] | ε/d | λ | J (Darcy) [m/m] | L [m] | Δh [m] |
|----------|------------------------|--------------------------|------------|--------|-----------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------|-------------------|
| 0,25 | 0,0490625 | 0,05 | 1,02 | 254777 | 0,3 | 0,0012 | 0,022 | 0,005 | 16,00 | 0,07 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | $V^2/2g$ [m] | α [mm] | ΔH [m] |
|--------------------|----------|------------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| valvola di ritegno | 0,25 | 0,0490625 | 0,05 | 1,02 | 0,05 | 6,00 | 0,3176 |
| valvola a farfalla | 0,25 | 0,0490625 | 0,05 | 1,02 | 0,05 | 0,20 | 0,0106 |
| divergente | 0,25 | 0,0490625 | 0,05 | 1,02 | 0,05 | 0,50 | 0,0265 |
| curva | 0,25 | 0,0490625 | 0,05 | 1,02 | 0,05 | 0,30 | 0,0159 |
| curva | 0,25 | 0,0490625 | 0,05 | 1,02 | 0,05 | 0,30 | 0,0159 |
| Totale | | | | | | | 0,39 |

quota iniziale 50.46 m s.l.m. – quota finale 50.00 m s.l.m.

Tratto N1-N2

Perdite di carico continue

| D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | Re | ε [mm] | ε/d | λ | J (Darcy) [m/m] | L [m] | Δh [m] |
|----------|------------------------|--------------------------|------------|--------|-----------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------|-------------------|
| 0,25 | 0,0490625 | 0,045 | 0,92 | 229299 | 0,3 | 0,0012 | 0,022 | 0,004 | 1,00 | 0,004 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | $V^2/2g$ [m] | α [mm] | ΔH [m] |
|--------------|----------|------------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| curva | 0,25 | 0,0490625 | 0,045 | 0,92 | 0,04 | 0,30 | 0,02 |
| Totale | | | | | | | 0,02 |

quota iniziale 50.00 m s.l.m. – quota finale 49.98 m s.l.m.

Tratto N2-N3

Perdite di carico continue

| D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | Re | ε [mm] | ε/d | λ | J (Darcy) [m/m] | L [m] | Δh [m] |
|----------|------------------------|--------------------------|------------|--------|-----------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------|-------------------|
| 0,2 | 0,0314 | 0,03 | 0,96 | 191083 | 0,3 | 0,0015 | 0,023 | 0,005 | 3,50 | 0,019 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | $V^2/2g$ [m] | α [mm] | ΔH [m] |
|--------------|----------|------------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| convergente | 0,2 | 0,0314 | 0,03 | 0,96 | 0,05 | 0,02 | 0,0009 |
| Totale | | | | | | | 0,00 |

quota iniziale 49.98 m s.l.m. – quota finale 49.96 m s.l.m.

Tratto N3-N4

Perdite di carico continue

| D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | Re | ε [mm] | ε/d | λ | J (Darcy) [m/m] | L [m] | Δh [m] |
|----------|------------------------|--------------------------|------------|--------|-----------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------|-------------------|
| 0,15 | 0,0176625 | 0,015 | 0,85 | 127389 | 0,3 | 0,002 | 0,025 | 0,006 | 3,50 | 0,021 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | $V^2/2g$ [m] | α [mm] | ΔH [m] |
|--------------|----------|------------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| convergente | 0,15 | 0,0176625 | 0,015 | 0,85 | 0,04 | 0,02 | 0,0007 |
| Totale | | | | | | | 0,001 |

quota iniziale 49.96 m s.l.m. – quota finale 49.94 m s.l.m.

Tratto N4-Settore C

Perdite di carico continue

| D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | Re | ε [mm] | ε/d | λ | J (Darcy) [m/m] | L [m] | Δh [m] |
|----------|------------------------|--------------------------|------------|--------|-----------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------|-------------------|
| 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 191083 | 0,3 | 0,003 | 0,027 | 0,050 | 6,00 | 0,300 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | $V^2/2g$ [m] | α [mm] | ΔH [m] |
|-----------------------------|----------|------------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| imbocco condotta rientrante | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 1,00 | 0,1861 |
| valvola a farfalla | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,20 | 0,0372 |
| misuratore di portata | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,02 | 0,0037 |
| curva | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,30 | 0,0558 |
| Totale | | | | | | | 0,28 |

quota iniziale 49.94 m s.l.m. – quota finale 49.36 m s.l.m.

Tratto N3-Settore B

Perdite di carico continue

| D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | Re | ε [mm] | ε/d | λ | J (Darcy) [m/m] | L [m] | Δh [m] |
|----------|------------------------|--------------------------|------------|--------|-----------------------|-----------------|-----------|--------------------|----------|-------------------|
| 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 191083 | 0,3 | 0,003 | 0,027 | 0,050 | 6,00 | 0,300 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D [m] | A [m ²] | Q [m ³ /s] | V [m/s] | $V^2/2g$ [m] | α [mm] | ΔH [m] |
|-----------------------------|----------|------------------------|--------------------------|------------|-----------------|------------------|-------------------|
| imbocco condotta rientrante | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 1,00 | 0,1861 |
| valvola a farfalla | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,20 | 0,0372 |
| misuratore di portata | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,02 | 0,0037 |
| curva | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,30 | 0,0558 |
| Totale | | | | | | | 0,28 |

quota iniziale 49.96 m s.l.m. – quota finale 49.38 m s.l.m.

Tratto N2-Settore A

Perdite di carico continue

| D | A | Q | V | Re | ε | ε/d | λ | J (Darcy) | L | Δh |
|-----|-------------------|---------------------|-------|--------|---------------|-----------------|-----------|-----------|------|------------|
| [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | | [mm] | | | [m/m] | [m] | [m] |
| 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 191083 | 0,3 | 0,003 | 0,027 | 0,050 | 6,00 | 0,300 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D | A | Q | V | $V^2/2g$ | α | ΔH |
|-----------------------------|-----|-------------------|---------------------|-------|----------|----------|------------|
| | [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | [m] | [mm] | [m] |
| imbocco condotta rientrante | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 1,00 | 0,1861 |
| valvola a farfalla | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,20 | 0,0372 |
| misuratore di portata | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,02 | 0,0037 |
| curva | 0,1 | 0,00785 | 0,015 | 1,91 | 0,19 | 0,30 | 0,0558 |
| Totale | | | | | | | 0,28 |

quota iniziale 49.98 m s.l.m. – quota finale 49.40 m s.l.m.

Tratto N1 - Unità di adsorbimento in acciaio

Perdite di carico continue

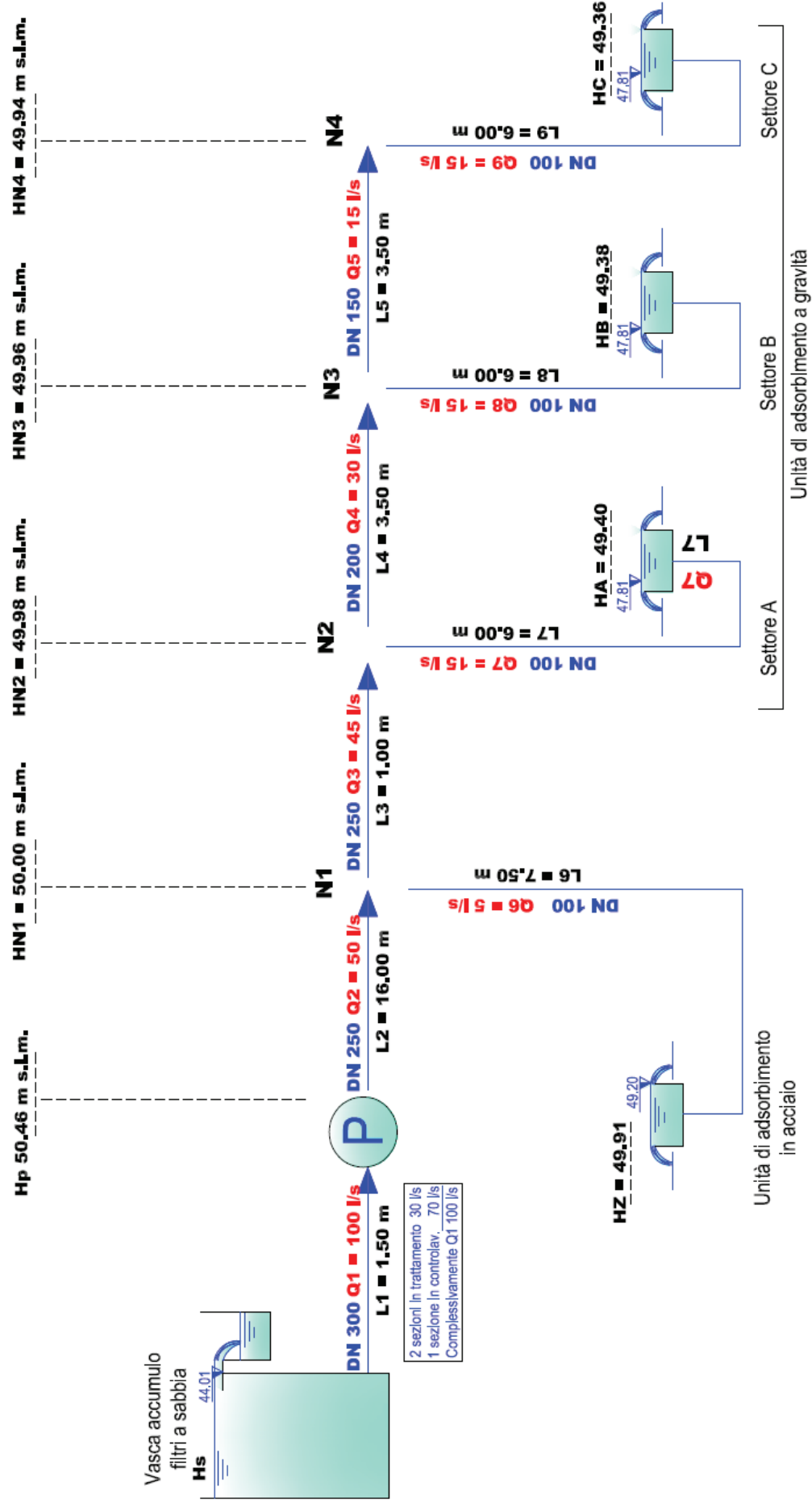
| D | A | Q | V | Re | ε | ε/d | λ | J (Darcy) | L | Δh |
|-----|-------------------|---------------------|-------|-------|---------------|-----------------|-----------|-----------|------|------------|
| [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | | [mm] | | | [m/m] | [m] | [m] |
| 0,1 | 0,00785 | 0,005 | 0,64 | 63694 | 0,3 | 0,003 | 0,028 | 0,006 | 7,50 | 0,04 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D | A | Q | V | $V^2/2g$ | α | ΔH |
|-----------------------------|-----|-------------------|---------------------|-------|----------|----------|------------|
| | [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | [m] | [mm] | [m] |
| imbocco condotta rientrante | 0,1 | 0,00785 | 0,005 | 0,64 | 0,02 | 1,00 | 0,0207 |
| Tes | 0,1 | 0,00785 | 0,005 | 0,64 | 0,02 | 0,90 | 0,0186 |
| curva | 0,1 | 0,00785 | 0,005 | 0,64 | 0,02 | 0,30 | 0,0062 |
| Totale | | | | | | | 0,05 |

quota iniziale 50.00 m s.l.m. – quota finale 49.91 m s.l.m.

Schema impianto



3.2 Linea di controlavaggio sezione di affinamento

- Dimensionamento

Come illustrato precedentemente il dimensionamento della linea di controlavaggio non può derivare da processi di ottimizzazione essendo incognita la frequenza di utilizzo durante la sperimentazione della sezione di affinamento. In virtù dei risultati ottenuti per la linea di alimentazione, la condotta principale della linea di controlavaggio viene stabilita con caratteristiche analoghe e pertanto con un diametro pari al DN 250.

- Verifiche

Le verifiche saranno svolte con riferimento alla situazione più sfavorevole che si verifica nel settore C con l'ipotesi dell'utilizzo del materiale GEH 102 - Wasserchemie per il letto di adsorbimento. Le caratteristiche di detto materiale sono le seguenti:

- Carico Superficiale Idraulico ottimale in controlavaggio $\approx 27 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{h}$
- Superficie unità $S = 9.20 \text{ m}^2$
- Portata di controlavaggio $Q_{bw} = 70 \text{ l/s}$ ($252 \text{ m}^3/\text{h}$)
- Perdite di carico 0.3 bar/m con h letto adsorbente $= 0.76 \text{ m}$ si ha $\Delta H = 2.28 \text{ m}$

Le perdite di carico aggiuntive dovute al transito del flusso attraverso la pavimentazione drenante del letto adsorbente e quelle dovute al collettore di distribuzione vengono stimate in 1.50 m , viene inoltre stabilito un carico residuo sulla quota del canale di raccolta delle acque di controlavaggio pari 0.50 m .

Considerati i suddetti dati di dimensionamento la quota piezometrica imposta in corrispondenza del collettore di distribuzione risulta pari a 51.95 m s.l.m.

Le perdite di carico lungo la condotta e le relative quote piezometriche vengono riportate nelle tabelle seguenti.

Tratto Np - Settore C

Perdite di carico continue

| D | A | Q | V | Re | ε | ε/d | λ | J (Darcy) | L | Δh |
|------|-------------------|---------------------|-------|--------|---------------|-----------------|-----------|-----------|-------|------------|
| [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | | [mm] | | | [m/m] | [m] | [m] |
| 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 356688 | 0,3 | 0,0012 | 0,021 | 0,009 | 28,00 | 0,247 |

Perdite di carico concentrate

| Irregolarità | D | A | Q | V | $V^2/2g$ | α | ΔH |
|--------------------|------|-------------------|---------------------|-------|----------|----------|------------|
| | [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | [m] | [mm] | [m] |
| valvola di ritegno | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 6,00 | 0,6225 |
| valvola a farfalla | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 0,20 | 0,0208 |
| divergente | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 0,50 | 0,0519 |
| curva | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 0,30 | 0,0311 |
| curva | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 0,30 | 0,0311 |
| curva | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 0,30 | 0,0311 |
| curva | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 0,30 | 0,0311 |
| tes | 0,25 | 0,0490625 | 0,07 | 1,43 | 0,10 | 1,28 | 0,1328 |
| Totale | | | | | | | 0,95 |

quota iniziale 53.15 m s.l.m. – quota finale 51.95 m s.l.m.

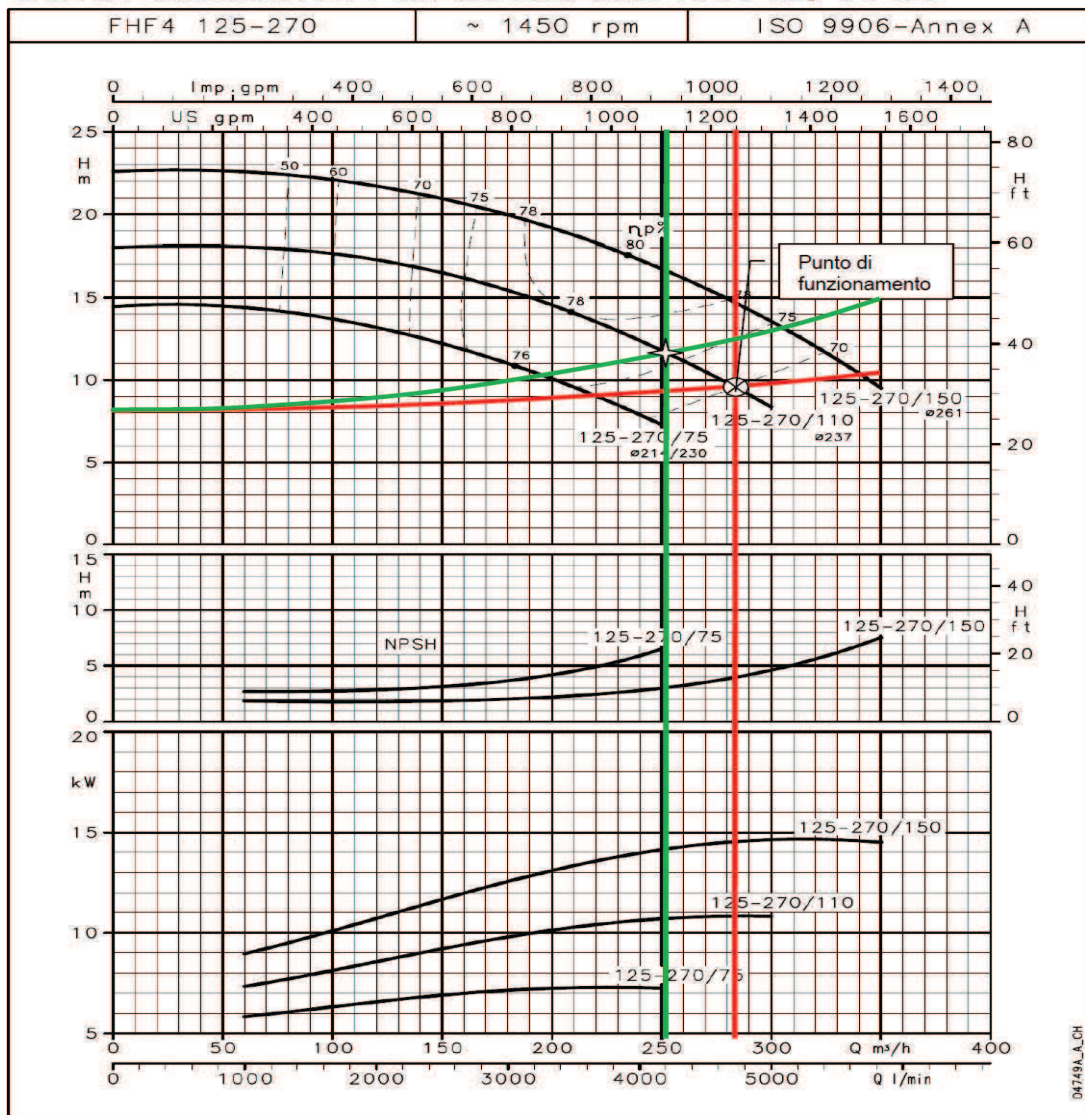
La curva impianto per la linea di contro lavaggio è la seguente:

$$H = \Delta H_g + (\Sigma \alpha + \lambda L/D) V^2/2g = \Delta H_g + (\Sigma \alpha + \lambda L/D) Q^2/2gA^2 = 7.94 + (9.18 + 0.022 \cdot 28/0.25) Q^2/2 \cdot 9.81 \cdot 0.04912^2$$

Dal diagramma riportato di seguito, con le curve caratteristiche delle pompe centrifughe normalizzate disponibili, per la portata di progetto 70 l/s (252 mc/h) e la prevalenza di 9.14 m (quota aspirazione 44.01 m s.l.m., si trascurano perdite di carico e differenza in-out altezza cinetica), la pompa più adatta appare la 125-270/110 (bocca mandata-girante/potenza nominale x10). Il punto di funzionamento ha approssimativamente coordinate $Q = 283 \text{ mc/h}$ $\Delta H = 9.50 \text{ m}$, con un rendimento effettivo della pompa è del 70 %. Affinchè il valore della portata concida con quello di progetto occorre introdurre mediante la saracinesca di regolazione una perdita di carico aggiuntiva di 2 m circa. Relativamente alla verifica a cavitazione il NPSHa è pari a $10.33 + 3.33 - 0.06 - 0.239 = 13.36 > \text{NPSHd} = 5.50 \text{ m}$.



SERIE FHF4
CARATTERISTICHE DI FUNZIONAMENTO A 50 Hz, 4 POLI



I valori di NPSH sono di laboratorio; nell'impiego pratico si consiglia di aumentare il valore di 0,5 m.
Le prestazioni valgono per liquidi con densità $\rho = 1,0 \text{ Kg/dm}^3$ ed una viscosità cinematica $\nu = 1 \text{ mm}^2/\text{sec}$.

3.3 Linea uscita acque trattate

- Verifiche

Perdite di carico
continue

| D | A | Q | V | Re | ε | ε/d | λ | J (Darcy) | L | Δh |
|------|-------------------|---------------------|-------|--------|---------------|-----------------|-----------|-----------|-------|------------|
| [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | | [mm] | | | [m/m] | [m] | [m] |
| 0,25 | 0,0490625 | 0,05 | 1,02 | 254777 | 0,3 | 0,0012 | 0,022 | 0,005 | 47,00 | 0,214 |

quota iniziale 44.05 m s.l.m. – quota finale 43.85 m s.l.m.

Non si considerano le esigue perdite concentrate.

Nel primo tratto della condotta si verifica un moto a canaletta pertanto è escluso il rigurgito delle portate trattate verso le unità di adsorbimento.

3.4 Linea uscita acque di controlavaggio

- Verifiche

La linea acque di contro lavaggio è realizzata con tubi idraulicamente lisci (PVC), pertanto nella formula Colebrook per il calcolo del coefficiente di resistenza si è trascurato il termine dovuto alla scabrezza relativa.

Perdite di carico
continue

| D | A | Q | V | Re | λ | J (Darcy) | L | Δh |
|-----|-------------------|---------------------|-------|--------|-----------|-----------|-------|------------|
| [m] | [m ²] | [m ³ /s] | [m/s] | | | [m/m] | [m] | [m] |
| 0,3 | 0,07065 | 0,07 | 0,99 | 297240 | 0,014 | 0,002 | 36,00 | 0,087 |

quota iniziale 45.89 m s.l.m. – quota finale 45.80 m s.l.m.

Non si considerano le esigue perdite concentrate

Nel tratto discendente della condotta di smaltimento delle acque di contro lavaggio, la quota piezometrica si troverà a circa 40 cm dal piano di posa delle unità di adsorbimento.

3.5 Protezione colpo d'ariete

In considerazione della configurazione complessiva dell'impianto e delle relative modalità di gestione è possibile orientare l'analisi del moto vario esclusivamente al transitorio dovuto allo stacco improvviso dell'energia elettrica e al relativo arresto brusco delle pompe; pertanto al fine di proteggere la condotta dall'onda di depressione conseguente, sarà predisposto un by-pass in parallelo al gruppo di sollevamento del DN 250, dotato di valvole di ritegno, che consente di mettere in comunicazione la condotta a gravità con la vasca di accumulo dei filtri a sabbia in caso di stacco dell'energia elettrica.

Schema impianto

