autostrade per l'italia

NODO STRADALE E AUTOSTRADALE DI GENOVA

Adeguamento del sistema
A7 - A10 - A12

Lotto 10 - Appalto Misto di Forniture Specialistiche
per Area Silos e Slurrydotto

PROGETTO DI FORNITURA
PER IMPIANTI DI GESTIONE TERRE

IMPIANTI DI GESTIONE DELLO SMARINO

IMPIANTI AREAULICI

IMPIANTO DI TRATTAMENRO ACQUE CI004

VERIFICA DELLE CONDOTTE

IL PROGETTISTA SPECIALISTICO	IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE	IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Luigi Schiavetta Ord. Ingg. Pavia n.1272	Ing. Lorenzo Messina Ord. Ingg. Torino n.12106K	Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496 PROGETTAZIONE NUOVE OPERE AUTOSTRADALI

CODICE IDENTIFICATIVO											ORDINATORE
RIFERIMENTO PROGETTO			RIFERIMENTO DIRETTORIO				RIFERIMENTO ELABORATO				--
Codice Commessa	Lotto, Sub-Prog, Cod. Appalto	Fase	Capitolo	Paragrafo	W B S	Parte d'opera	Tip.	Disciplina	Progressivo	Rev.	
110730	LL10	FS	O3	IMP	IM000	TUB00	R	O P T	0365	- 0	SCALA -

spea ENGINEERING
gruppo Atlantia

PROJECT MANAGER:
Ing. Sara Frisiani
Ord. Ingg. Genova N. 9810A

SUPPORTO SPECIALISTICO: amec foster wheeler

REDATTO:

VERIFICATO:

REVISIONE	
n.	data
0	LUGLIO 2018
1	-
2	-
3	-
4	-

VISTO DEL COMMITTENTE
autostrade per l'italia
IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO
Ing. Alberto Selleri

VISTO DEL CONCEDENTE
Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti
DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE
STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI

IL PRESENTE DOCUMENTO NON POTRA' ESSERE COPIATO, RIPRODOTTO O ALTRIMENTI PUBBLICATO, IN TUTTO O IN PARTE, SENZA IL CONSENSO SCRITTO DELLA SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. OGNI UTILIZZO NON AUTORIZZATO SARA' PERSEGUITO A NORMA DI LEGGE.
THIS DOCUMENT MAY NOT BE COPIED, REPRODUCED OR PUBLISHED, EITHER IN PART OR IN ITS ENTIRETY, WITHOUT THE WRITTEN PERMISSION OF SOC. AUTOSTRADE PER L'ITALIA S.P.A.. UNAUTHORIZED USE WILL BE PROSECUTED BY LAW.

Sommario

1 INTRODUZIONE ... 3
1.1 OBIETTIVI ... 3
1.2 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI ... 3
2 RIFERIMENTI ... 4
2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO ... 4
2.2 CODICI E NORME ... 4
3 CARATTERISTICHE DEL FLUIDO ... 5
4 DESCRIZIONE DEL SISTEMA ... 6
4.1 CONFIGURAZIONE GENERALE ... 6
4.2 LIMITE DI BATTERIA ... 6
4.3 CARATTERISTICHE DELLA LINEA ... 6
4.3.1 PROFILO ... 6
4.3.2 MAOP E CARATTERISTICHE DELLA LINEA ... 6
4.3.3 VALVOLE DI LINEA ... 7
4.4 CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI ... 7
4.4.1 VASCA DI COLMATA ... 7
4.4.2 STAZIONE DI POMPAGGIO ... 7
4.4.3 CORNIGLIANO (WWTP) ... 8
4.4.4 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI REGOLAZIONE ... 8
4.4.5 APPARECCHIATURE DI CONTROLLO E SICUREZZA INSTALLATE ... 8
5 PROCEDURE DI CALCOLO ... 9
5.1 CALCOLI IDRAULICI IN MOTO STAZIONARIO ... 9
5.1.1 CALCOLO DELLA DISPERSIONE TERMICA ... 10
5.2 CALCOLI IDRAULICI IN MOTO TRANSITORIO ... 11
5.3 SOFTWARE DI CALCOLO ... 13
6 CRITERI GENERALI DI VERIFICA ADOTTATI ... 14
6.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA ... 14
6.2 TEMPERATURA DI VERIFICA ... 14
6.3 PRESSIONI DI VERIFICA ... 14
6.4 TIPO DI REGIME DEI TRASFERIMENTI ... 14
6.5 PRESSIONI IN ASPIRAZIONE POMPA ... 14
6.6 PRESSIONI AL TERMINALE ... 14
6.7 VELOCITÀ AMMISSIBILE IN LINEA ... 14
6.8 RUGOSITÀ DELLA TUBAZIONI ... 14
6.9 PERDITE DI CARICO CONCENTRATE ... 15
6.10 MODELLO NUMERICO ADOTTATO PER LA CAVITAZIONE ... 15
7 RISULTATI DEL CALCOLO ... 16
7.1 GENERALITÀ ... 16
7.2 MOTO STAZIONARIO ... 16
7.2.1 CONDIZIONI DI TRASFERIMENTO ALLA MASSIMA PORTATA ... 16
7.3 MOTO TRANSITORIO ... 18
7.3.1 CASO 1: Chiusura valvola al terminale ... 19
7.3.2 CASO 2: Shut Down del sistema di pompaggio con massimo livello della vasca di partenza ... 20
7.3.3 CASO 3: Shut Down del sistema di pompaggio con minimo livello della vasca di partenza ... 21
7.3.4 CASO 4: Avviamento ... 22
7.3.5 CASO 5: Fermata ... 22

8 CONCLUSIONI 23

8.1 CONSIDERAZIONI GENERALI 23
8.2 REGIME STAZIONARIO 23
8.3 REGIME TRANSITORIO 23

9 ALLEGATI 25

Indice delle Tabelle e delle Figure

TABELLA 2-1.: DOCUMENTI DI PROGETTO DI RIFERIMENTO 4
TABELLA 2-2.: NORMATIVA DI RIFERIMENTO 4
TABELLA 3-1.: CARATTERISTICHE FLUIDO TRASFERITO 5
TABELLA 4-1.: PROGRESSIVE LINEE 6
TABELLA 4-2. CARATTERISTICHE COSTRUTTIVE E DIMENSIONALI DELLA LINEA ACQUA DI MARE 7
TABELLA 4-3. CARATTERISTICHE VASCA DI PRESA 7
TABELLA 4-4. CARATTERISTICHE POMPA SOMMERSA S8 8
TABELLA 4-5. STRUMENTAZIONE INSTALLATA LUNGO LA LINEA 8
TABELLA 7-1.: VALORI IN REGIME STAZIONARIO 17
TABELLA 7-2. VALORI IN REGIME TRANSITORIO CASO 1 (CHIUSURA VALVOLA AL TERMINALE) 19
TABELLA 7-3. VALORI IN REGIME TRANSITORIO CASO 2 (SHUT DOWN DEL SISTEMA DI POMPAGGIO CON MASSIMO LIVELLO DELLA VASCA DI PARTENZA) 20
TABELLA 7-4. VALORI IN REGIME TRANSITORIO CASO 3 (SHUT DOWN DEL SISTEMA DI POMPAGGIO CON MINIMO LIVELLO DELLA VASCA DI PARTENZA) 21

1 INTRODUZIONE

1.1 OBIETTIVI

SPEA Engineering, ha predisposto un Progetto Definitivo per l'adeguamento del nodo stradale ed autostradale di Genova relativo alle autostrade A7 – A10 – A12. Il progetto prevede la realizzazione di numerosi cantieri. L'area, scopo del presente documento, è quella relativa al trasferimento di acqua di mare in esubero dalle vasche di colmata (presso Genova) verso l'impianto di Trattamento acqua sito in Cornigliano.

L'acqua di overflow è connessa al riempimento della vasca di colmata di solidi derivanti da scavi eseguiti sul monte Gronda.

La presente verifica idraulica ha lo scopo di analizzare, ad un livello di fattibilità, le condizioni di esercizio in moto stazionario e transitorio durante il trasferimento di acqua di mare lungo la linea DN14" che collega la vasca di colmata alla vasca di trattamento acque.

L'obiettivo è quello di verificare che le pressioni raggiunte, durante le condizioni di esercizio, risultino inferiori al valore di Pressione Massima Operativa Ammissibile della linea.

La verifica in regime transitorio ha lo scopo di definire un tempo di chiusura minimo della valvola manuale situata al terminale e di determinare le massime pressioni raggiunte per colpo d'ariete a seguito della chiusura di tale valvola.

Inoltre, verrà analizzato il caso di inaspettato Shut Down del sistema di pompaggio, di avviamento e di fermata della linea.

Pertanto, saranno esaminati i seguenti aspetti principali:

- Definizione delle condizioni idrauliche, in moto stazionario alla portata massima, e delle relative pressioni raggiunte nei diversi punti della linea.
- Definizione dei transitori di pressione critici dovuti alla modifica delle normali condizioni di trasporto.

1.2 DEFINIZIONI ED ABBREVIAZIONI

DN	Diametro Nominale
K	Coefficiente di Sicurezza
σs	Tensione di snervamento del materiale impiegato per la costruzione della Tubazione
OP	Operating Pressure
DP	Design Pressure
MOP	Massima Pressione Operativa
MAIP	Pressione Massima Incidentale Ammissibile
MAOP	Pressione Massima Operativa Ammissibile
m.c.l.	Metri di Colonna Liquido
mlm	Metri sul livello del mare
Pk	Progressiva chilometrica
Q	Portata
P	Pressione di esercizio
SD	Shut Down
DH	Prevalenza di design pompe

2 RIFERIMENTI

2.1 DOCUMENTI DI PROGETTO

I principali documenti di riferimento impiegati per l'elaborazione della verifica sono di seguito elencati:

GENERALE	
1. Profilo Longitudinale Generale	OPT0289_00
2. P&ID: Invio acque mare di overflow a impianto di trattamento	OPT0274_00
3. P&ID: Sollevamento e trattamento chimico/fisico	OPT0275_00
4. Specifica tubazioni / Classi di linea	OPT0003_00

Tabella 2-1.: Documenti di progetto di riferimento

2.2 CODICI E NORME

Le norme ed i codici di riferimento impiegati per la elaborazione della verifica sono di seguito elencati:

1. Process Piping Design	2. ASME B31.3 - 2016

Tabella 2-2.: Normativa di riferimento

3 CARATTERISTICHE DEL FLUIDO

Le caratteristiche fisiche del fluido trasferito, assunte per l'elaborazione della verifica idraulica, sono:

Prodotto	*UM*	*Acqua di Mare*
Densità alla temperatura media di trasferimento	[kg/m^3]	1031
Viscosità cinematica alla temperatura media di trasferimento	[cSt]	0.97
Temperatura di trasferimento	[°C]	10 – 30
Temperatura media di trasferimento	[°C]	20
Bulk Modulus alle condizioni di trasferimento	[MPa]	2400
Tensione di vapore alle condizioni di trasferimento	[bara]	0.04

Tabella 3-1.: Caratteristiche fluido trasferito

Non sono disponibili i dati relativi al Bulk Modulus e alla tensione di vapore, che sono stati assunti nel seguente modo:

- Il Bulk Modulus è stato ricavato dagli standard DEP 31.40.40.38;
- La tensione di vapore, invece, è stata ricavata utilizzando il software Multiflash, caratterizzando il fluido come se fosse 100% H_20. In realtà la presenza di gas disciolti nell'acqua può influenzare tale valore.

4 DESCRIZIONE DEL SISTEMA

4.1 CONFIGURAZIONE GENERALE

Il complesso degli impianti, impiegati per il trasferimento di acqua di mare, interessati dalla verifica idraulica comprende:

- Vasca di presa;
- Pompe di sollevamento;
- Linea DN14" vasca di colmata – vasca trattamento acque;
- Vasca di trattamento acqua.

4.2 LIMITE DI BATTERIA

Lo studio idraulico verifica le condizioni di funzionamento della linea compresi tra la vasca di colmata e la vasca situata nell'area adibita al trattamento acque.

4.3 CARATTERISTICHE DELLA LINEA

4.3.1 PROFILO

Il profilo della linea, adottato per la verifica idraulica, è quello fornito dal cliente e riportato nel documento "Profilo longitudinale generale" (par.2.1) rielaborando il profilo ricavato per lo slurrydotto preliminarmente dalla . Pk 10.15alla PK 6.8.

Le progressive e le rispettive elevazioni geodetiche, dei punti più significativi della linea, sono riportate nella tabella seguente:

Località	*Pk [km] (da Vasca di colmata)*	*Elevazione [m.l.m.]*
Vasca di colmata	0	-14
Punto con elevazione maggiore	2.902	16.85
Vasca trattamento acque	ca. 3.366	8.73

Tabella 4-1.: Progressive linee

Nel corso dell'esercizio le pompe saranno spostate in un secondo punto della vasca di colmata. Il profilo elaborato è quello che determina la massima lunghezza più cautelativa dal punto di vista del colpo d'ariete. Inoltre si assume come inizio pipeline la flangia in mandata pompe.

4.3.2 MAOP E CARATTERISTICHE DELLA LINEA

In relazione alla specifica di progetto della tubazione, riportata nel documento OPT0003_00 rev.0 (par. 2.1), la massima pressione operativa ammissibile (MAOP) è stata fissata a 19.6 barg, pari alla Design Pressure della linea.

In accordo con la normativa ASME B31.3, la pressione attesa durante la condizione in transitorio non deve superare la Massima Pressione Incidentale Ammissibile (MAIP) La normativa B31.3 definisce una MAIP con i criteri seguenti:

- 133% della MAOP, non più di 10 h di continuo trasferimento e non più di 100 h/y;
- 120% della MAOP, non più di 50 h di continuo trasferimento e non più di 100 h/y.

Sono di seguito riportate le principali caratteristiche preliminari costruttive della linea impiegate per il calcolo:

Diametro Nominale [pollici]	14”
Lunghezza totale Linea [m]	3366
Materiale	ASTM A 106 Gr B
Carico di snervamento [Mpa]	138
Spessore [mm]	9.52 (Schedula std)
RATING Linea	150#
MAOP Linea [barg]	19.6
Geodetica mandata Pompa [m] (inizio pipeline)	-14
Geodetica di arrivo [m]	8.73

Tabella 4-2. Caratteristiche Costruttive e Dimensionali della Linea acqua di mare

4.3.3 VALVOLE DI LINEA

Lungo la linea DN 14” non sono presenti valvole motorizzate. L’unica valvola presente è la valvola manuale al terminale, situata in prossimità della vasca di trattamento acque. Tale valvola verrà presa in considerazione nell’analisi del moto transitorio.

4.4 CARATTERISTICHE DEGLI IMPIANTI

4.4.1 VASCA DI COLMATA

Come già descritto nei capitoli precedenti, l’acqua di mare viene normalmente stoccata all’interno della vasca di colmata e successivamente trasferita presso l’area di trattamento acque.

Le caratteristiche della vasca di presa sono di seguito riportate:

Caratteristiche	*Vasca di Presa*
Quota geodetica	-14 mslm
Livello massimo vasca	14 m
Livello minimo vasca	1 m

Tabella 4-3. Caratteristiche vasca di presa

4.4.2 STAZIONE DI POMPAGGIO

La stazione di pompaggio, che ha lo scopo di trasferire l’acqua di mare all’area di trattamento, è costituita da una pompa sommersa (più una pompa spare).

Le caratteristiche della pompa sommersa definite nella presente fase di ingegneria e considerate nella seguente verifica idraulica, sono di seguito riportate:

Caratteristiche Pompa	*Pompa Spinta*
Portata Rated	550 m^3/h
Prevalenza Rated	70 m
Prevalenza allo Shut-Off	86 m
Numero di giri della pompa	1480 rpm
Frequenza	50 Hz
Sistema di regolazione	Inverter che gestisce la variazione di velocità del motore con un controllo in portata

Tabella 4-4. Caratteristiche pompa sommersa S8

4.4.3 CORNIGLIANO (WWTP)

L'acqua di mare viene raccolta nella vasca dell'area di trattamento acque di Cornigliano.

Come già descritto nei paragrafi precedenti, la geodetica della stazione di arrivo è pari a 8.73 m.

4.4.4 DESCRIZIONE DEL SISTEMA DI REGOLAZIONE

Il sistema di regolazione dell'impianto prevede:

- Controllo della portata di mandata pompa (FIT e FIC);
- Regolazione della portata tramite inverter posizionato sulla pompa, il quale agisce sulla velocità del motore;
- Controllo del livello della vasca di trattamento acque (LIT, LSHH e LSLL).

4.4.5 APPARECCHIATURE DI CONTROLLO E SICUREZZA INSTALLATE

La verifica idraulica tiene in considerazione i circuiti, le apparecchiature di controllo e sicurezza installati.

Di seguito si riportano le caratteristiche ed i set di intervento dei principali organi di regolazione controllo e sicurezza. I dispositivi che si intende installare o modificare sono eventualmente riportati in grassetto.

4.4.5.1 *APPARECCHIATURE INSTALLATE*

Viene riportata, nella tabella che segue, la strumentazione esistente lungo la linea in esame.

Sigla	*Descrizione*	*Funzione*	*SET Taratura*	*Caratteristiche*	*Tempo di intervento*
PI	*Indicatore di pressione*	*1. Indicazione pressione*			
FIT	*Indicatore Trasmettitore di portata*	*1. Indicazione della portata* *2. Trasmettitore di portata*			
FIC	*Controllore di portata*	*1.Controllo set portata agendo sull'inverter della pompa*	*500 m3/h*		
Valvola	*Valvola Manuale vasca trattamento acque*	*1. Intercettazione pipeline*			***>120 sec***

Tabella 4-5. Strumentazione installata lungo la linea

5 PROCEDURE DI CALCOLO

5.1 CALCOLI IDRAULICI IN MOTO STAZIONARIO

Per la valutazione delle perdite di carico distribuite lungo una condotta, nel caso di moto stazionario, si applicherà la seguente relazione valida per tubi a sezione circolare:

$$\Delta h = JL \text{ (Darcy-Weisbach)}$$

In cui:

$$J = \frac{1}{2} \lambda v^2/(gD)$$

dove:

J	=	perdite di carico per unità di lunghezza	[m/m]
L	=	lunghezza della condotta	[m]
v	=	velocità del fluido	[m/s]
D	=	diametro interno della condotta	[m]
g	=	accelerazione di gravità	[m/s^2]
λ	=	coefficiente di attrito	[adimensionale]

Tali relazioni sono valide sia per il moto laminare che per il moto turbolento.

Per il moto laminare (Re < 2500) il coefficiente d'attrito λ è:

$$\lambda = 64/Re$$

in cui:

Re = vD/ν =		numero di Reynolds	[adimensionale]

dove:

ν	=	viscosità cinematica del fluido	[m^2/s] (1 cSt=1*10^{-6} m^2/s)
D	=	diametro interno della condotta	[m]
v	=	velocità del fluido	[m/s]

Per il moto turbolento (Re > 2500) il coefficiente di attrito λ è valutabile con la relazione di Colebrook & White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2\log\left(\frac{\varepsilon}{(3{,}715D)} + \frac{2{,}514}{Re\sqrt{\lambda}}\right)$$

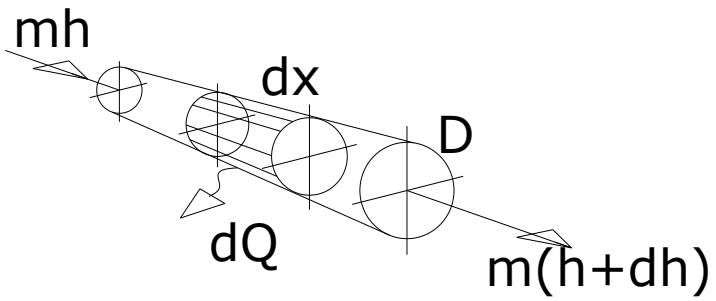
dove:

ε	=	rugosità della parete	[m]
D	=	diametro interno della condotta	[m]

Le condizioni di regime stazionario ottenute dall'introduzioni dei parametri sopra esposti saranno la base per lo sviluppo delle analisi in regime transitorio.

5.1.1 CALCOLO DELLA DISPERSIONE TERMICA

Il calcolo della dispersione termica, ove applicabile e nelle sole condizioni di regime, sarà eseguito integrando l'equazione di conservazione dell'energia applicata ad un tronco di tubazione di diametro D non isolato termicamente:



$$m \cdot dh + dQ = 0$$

Che può essere scritta anche nella forma seguente:

$$m \cdot c_p dT + KA(T - T_t) = 0$$

con:

m	=	portata massica	[m³/h]
c_p	=	calore specifico del prodotto trasportato	[kJ/kg K]
dT	=	Variazione della temperatura	[°C]
K	=	coefficiente di trasmissione del calore totale	[W/m² K]
A	=	Superficie della tubazione	[m²]
T	=	Temperatura del fluido	[°C]
T_t	=	Temperatura del terreno	[°C]

La relazione precedente, per un tratto di tubazione di lunghezza infinitesima dx e di diametro D, può essere scritta anche come segue:

$$m \cdot c_p dT + K\pi D(T - T_t)dx = 0$$

Che, esplicitata per dT e dx rende:

$$\frac{dT}{(T_t - T)} = \frac{K\pi D}{m \cdot c_p} dx$$

L'integrazione della relazione precedente tra due sezioni della tubazione T_{in} e T_{out}, distanti ΔL, fornisce la relazione seguente:

$$T_{out} - T_t = (T_{in} - T_t) \cdot e^{-\frac{K\pi D\Delta L}{m \cdot c_p}}$$

Che consente di calcolare il gradiente di temperatura lungo la condotta.

Il calcolo della temperatura massima e minima del terreno è stato eseguito applicando la relazione seguente ottenuta dall'integrazione dell'equazione di Fourier:

$$T(z) = \frac{(T_{max} + T_{min})}{2} \pm \frac{(T_{max} - T_{min})}{2} \cdot e^{-z\sqrt{\frac{\omega}{2 \cdot \alpha}}}$$

In cui:

$T(z)$=	temperatura del terreno alla profondità di posa z		[°C]
z =	profondità di posa		[m]
T_{max}	=	Temperatura ambiente massima	[°C]
T_{min} =	Temperatura ambiente minima		[°C]
ω =	frequenza della variazione di temperatura		[d^{-1}]
α =	Diffusività termica del terreno		[m^2/d]

La diffusività termica è stata calcolata come segue:

$$\alpha = \frac{k}{C_p \cdot \rho}$$

Dove, il senso dei simboli è il seguente:

k =	Conduttività termica del terreno		[W/m K]
C_p =	Capacità termica del terreno		[J/kg K]
ρ =	Densità del terreno		[kg/m^3]

5.2 CALCOLI IDRAULICI IN MOTO TRANSITORIO

La verifica idraulica in regime transitorio ha lo scopo di determinare l'andamento delle pressioni e delle portate nella condotta dovute ad improvvise modifiche alle condizioni di normale esercizio.

La valutazione delle grandezze idrauliche in regime transitorio è stata eseguita integrando, con opportune condizioni al contorno, le equazioni differenziali del moto che caratterizzano il comportamento della condotta.

Le ipotesi di base assunte sono le seguenti:

- Moto monodimensionale,
- Distribuzione della velocità costante sulla sezione della condotta perpendicolare alla corrente,
- Fluido omogeneo in ciascuna sezione della condotta perpendicolare alla corrente,
- Non ci siano efflussi o deflussi laterali,
- La perdita distribuita di energia è valutabile come nel caso di moto uniforme,
- Le proprietà elastiche della condotta e del liquido sono descrivibili con la teoria dell'elasticità lineare,

Sotto queste ipotesi le equazioni che caratterizzano il moto del sistema sono di seguito riportate.

Equazione di conservazione della quantità di moto, che rende:

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho}\frac{\partial p}{\partial x} + g\sin\vartheta + \lambda\frac{v|v|}{2D} = 0 \qquad [1]$$

Equazione di conservazione della massa per un liquido comprimibile in una condotta elastica, che rende:

$$\frac{1}{\rho}\frac{dp}{dt} + a^2\frac{\partial v}{\partial x} = 0 \qquad \text{in cui} \quad a = \sqrt{\frac{\frac{k}{\rho}}{1+\frac{kD}{Es}}} \qquad [2]$$

con:

v	=	velocità media sulla sezione	[m/s]
p	=	pressione sulla sezione	[bar]
ρ	=	densità del fluido	[kg/m^3]
D	=	diametro interno della condotta	[m]
K	=	modulo di elasticità di Bulk	[N/m^2]
E	=	modulo di elasticità di Young	[N/m^2]
S	=	spessore condotta	[m]
a	=	celerità (velocità di propagazione dell'onda di pressione nel sistema fluido e condotta considerata)	[m/s]
ϑ	=	angolo formato dalla condotta con l'orizzonte	[rad]
λ	=	fattore di attrito della linea.	

Il sistema formato dalle equazioni [1] e [2] alle derivate parziali in x e t, si può trasformare in un sistema di equazione ai differenziali totali rispetto ad una sola variabile, utilizzando il legame tra x e t rappresentato da una coppia di equazioni differenziali ordinarie, che definiscono due famiglie di curve dette caratteristiche.

Pertanto, il sistema differenziale dato, è equivalente ai seguenti due sistemi di equazioni ai differenziali totali.

$$dx = adt \qquad \text{Equazione Caratteristiche } C^+$$

$$\frac{dv}{dt} + \frac{1}{\rho a}\frac{dp}{dt} + g\sin\vartheta + \lambda\frac{v|v|}{2D} = 0$$

$$dx = -adt \qquad \text{Equazione Caratteristiche } C^-$$

$$\frac{dv}{dt} - \frac{1}{\rho a}\frac{dp}{dt} + g\sin\vartheta + \lambda\frac{v|v|}{2D} = 0$$

La risoluzione del sistema può avvenire per via numerica sostituendo le equazioni differenziali totali con corrispondenti equazioni alle differenze finite.

5.3 SOFTWARE DI CALCOLO

Il report di calcolo evidenzia tutte le caratteristiche dell'impianto dal punto di vista idraulico, analizzato sia in condizioni statiche sia dinamiche.

Il software utilizzato per l'esecuzione delle verifiche è:

- AFT Impulse (Waterhammer/surge Flow Analysis of Pipe Networks) sviluppato dalla Società Applied Flow Technology – U.S.A;
- Per le verifiche in regime stazionario sono stati utilizzati anche spread-sheet excel per la valutazione delle perdite di carico lungo la linea.

6 CRITERI GENERALI DI VERIFICA ADOTTATI

6.1 CRITERI GENERALI DI VERIFICA

Come concordato, le verifiche in moto stazionario sono state analizzate adottando diverse condizioni di trasferimento, ovvero:

- Portata pari a 500 m^3/h (condizione operativa);
- Portata pari a 550 m^3/h (condizione di design);
- Massima portata raggiungibile idraulicamente.

I calcoli idraulici non tengono conto delle variazioni di temperatura lungo la linea, che per il trasferimento di Acqua di mare non determinano variazioni significative dei valori di viscosità e densità.

6.2 TEMPERATURA DI VERIFICA

Come descritto nel par. 3, la temperatura di trasferimento varia da 10 a 30 °C. La temperatura media di pompaggio adottata per la verifica è di 20 °C.

6.3 PRESSIONI DI VERIFICA

Una verifica preliminare della Design Pressure della pipeline (19.6 barg), allo spessore selezionato, è stata effettuata in accordo alla norma ASME B31.3 con il fine ultimo di verificare che le pressioni raggiunte durante le normali operazioni o durante il transitorio non superino la resistenza della tubazione.

6.4 TIPO DI REGIME DEI TRASFERIMENTI

Nella condizione di moto stazionario, sono stati valutati i principali parametri operativi in condizioni di tubo impaccato o a canaletta. Le verifiche in moto transitorio sono state eseguite con tubo pieno.

6.5 PRESSIONI IN ASPIRAZIONE POMPA

La pressione in aspirazione alla pompa è dovuta al battente relativo al livello della vasca di presa allineata per il trasferimento. Nella verifica idraulica è stato considerato il livello massimo della vasca costante e pari a 14 m in quanto più cautelativo in termini di massime portate raggiungibili e quindi in termini di colpo d'ariete.

6.6 PRESSIONI AL TERMINALE

La verifica idraulica prevede 8.73 m di livello della vasca in ricezione, impostando una pressione residua in uscita dalla pipeline pari a 0 m.

6.7 VELOCITÀ AMMISSIBILE IN LINEA

Al fine di limitare e prevenire fenomeni quali colpi d'ariete, cariche elettrostatiche, elevate perdite di carico, vibrazioni, ecc. è buona norma limitare la massima velocità entro valori compresi tra 2,5 ÷ 3 m/s.

6.8 RUGOSITÀ DELLA TUBAZIONI

Come concordato, la rugosità assoluta della tubazione è stata assunta cautelativamente ed indicativamente pari a ca. 1.16 mm (ca. 0.045 inch).

6.9 PERDITE DI CARICO CONCENTRATE

Le perdite di carico concentrate sono state stimate con lo scopo di aumentare del 10% le perdite di carico distribuite e sono state equamente distribuite lungo la linea. In una fase successiva di dettaglio sarà possibile ottimizzare tale parametro.

6.10 MODELLO NUMERICO ADOTTATO PER LA CAVITAZIONE

Il modello numerico impiegato per simulare la cavitazione è il Discrete Vapor Cavity Model (DVCM) che risulta essere il più cautelativo in termini di massime pressioni raggiunte.

7 RISULTATI DEL CALCOLO

7.1 GENERALITÀ

La verifica idraulica ha evidenziato le prestazioni possibili utilizzando gli impianti del sistema di trasporto costituto dalla stazione di pompaggio posizionata nella vasca di presa, dalla linea DN14" e dagli impianti di ricezione dell'area di trattamento acque.

I risultati dei calcoli idraulici, relativi alle condizioni di esercizio prese in esame, sono graficamente riportati sui profili altimetrici - piezometrici della linea e sulle curve caratteristiche dell'impianto allegate (vedi elenco allegati al capitolo 9. I principali risultati sono riassunti nei seguenti paragrafi.

7.2 MOTO STAZIONARIO

La verifica idraulica in regime stazionario è stata elaborata adottando le modalità operative che prevedono il controllo dei parametri di esercizio in modo da garantire il funzionamento in condizioni sicure della tubazione a "tubo pieno".

Le prestazioni dell'impianto possono essere rilevate dall'analisi delle curve caratteristiche (Allegato N°01) e dai profili altimetrici e piezometrici (Allegati N°10, 11, 12, 13, 14).

Il modello della tubazione utilizzato per l'esecuzione della verifica idraulica è riportato negli elaborati:

- Modello Linea Acqua di mare Allegato N°100

7.2.1 CONDIZIONI DI TRASFERIMENTO ALLA MASSIMA PORTATA

Per le condizioni di trasferimento a tubo pieno è stato considerato l'assetto che prevede l'allineamento della pompa di spinta alla vasca adibita al trattamento acque di Cornigliano.

La Tabella seguente riporta i valori raggiunti in regime stazionario in tre differenti condizioni di trasferimento di acqua di mare:

PRODOTTO	*UM*	*Acqua di mare*	*Acqua di mare*	*Acqua di mare*
Battente massimo vasca di presa	[m]	14	14	14
Numero pompe di spinta in esercizio	[N°]	1	1	1
Portata di trasferimento	[m^3/h]	500 (operativa)	550 (design)	620 (massima)
Potenza assorbita dalla pompa	[kW]	ca. 80	ca. 100	ca. 140
Velocità media linea 14”	[m/s]	1.6	1.7	2.0
Temperatura partenza/arrivo	[°C]	20 / 20	20 / 20	20 / 20
Pressione aspirazione pompa	[barg]	1.4	1.4	1.4
Pressione mandata pompa (flangia Z=-14m)	[barg]	6.1	6.9	8.1
Pressione mandata pompa (Z=1.75 m)	[barg]	4.5	5.3	6.5
Pressione picco (PK 2.9 km)	[barg]	-0.3	-0.2	0
Pressione di ingresso vasca trattamento acque	[barg]	0	0	0
Pressione Shut Off pompa: press. partenza/arrivo	[barg]	10.1 / 7.8	10.1 / 7.8	10.1 / 7.8
Pressione statica, pompe ferme: press. partenza/arrivo	[barg]	3.1 / 0.8	3.1 / 0.8	3.1 / 0.8
ΔH Joukowski DN 14”	[m]	205	225	254
ΔP Joukowski DN 14”	[bar]	20.7	22.8	25.7

Tabella 7-1.: Valori in regime stazionario

Dalla tabella precedente si evince che:

- La portata di trasferimento di 500 m^3/h, raggiunta con una frequenza dell’inverter pari a ca. 33 Hz, corrisponde alla condizione di trasferimento operativa, mentre la portata di 550 m^3/h (a 40 Hz) corrisponde alla condizione di design (+10% della portata operativa).
- Impiegando l’assetto sopra citato, la massima portata di trasferimento risulta essere uguale a 620 m^3/h alla massima frequenza dell’inverter. Questa condizione potrebbe essere raggiunta in caso di fault dell’inverter;
- Le pressioni raggiunte in mandata pompa alle differenti condizioni di trasferimento variano da 6.1 a 8.1 barg, mentre la pressione in aspirazione si mantiene costante e pari a 1.4 barg, in quanto il battente di liquido all’interno della vasca di partenza viene mantenuto costante e pari a 14 m.
- Le velocità lungo la linea sono contenute entro i limiti previsti per tutte le condizioni di trasferimento.
- La MAOP della linea non viene mai superata durante il trasferimento in moto stazionario.
- La pressione in ingresso alla vasca di arrivo risulta essere 0 barg per tutte le condizioni di trasferimento analizzate. Si evidenzia una depressurizzazione presso il picco posto alla PK 2.9 km, ma tali valori di pressione risultano essere superiori alla tensione di vapore del fluido assunta.
- Le pressioni raggiunte durante la condizione di Shut Off della pompa preliminare non superano la MAOP e la MAIP della linea.
- La pressione statica a pompa ferma ed a tubo impaccato è pari a 3.1 barg alla vasca di partenza e 0.8 barg alla vasca di arrivo. Il battente di liquido presente, garantito dalla valvola di non ritorno, consente l’avviamento della pompa a mandata aperta ed eventualmente senza regolatore. In questa condizione, il motore della pompa dovrà essere progettato per garantire la potenza a fondo curva. I valori di pressione raggiunti nella condizione di statica risultano essere inferiori alla MAOP della linea.
- La potenza assorbita dalla pompa di spinta preliminare alle differenti condizioni di trasferimento è 80, 100 e 140 kW rispettivamente.

7.3 MOTO TRANSITORIO

Gli eventi analizzati nel presente studio idraulico sono quelli che hanno maggiori probabilità di verificarsi durante le normali operazioni di esercizio, i quali possono determinare le condizioni potenzialmente più critiche per l'impianto.

Il primo caso considerato rappresenta il mancato allineamento del circuito per chiusura della valvola al terminale. Lo scopo è quello di definire un tempo di chiusura minimo per tale valvola tale per cui le pressioni raggiunte in linea risultino inferiori alla MAIP.

Successivamente, verrà valutato il caso di un improvviso Shut Down della pompa, l'avviamento e la fermata.

Le condizioni iniziali dalle quali è stata elaborata la verifica in regime transitorio coincidono con quelle risultanti dalle verifiche elaborate in condizioni di regime stazionario alla portata massima raggiungibile (pari a 620 m^3/h) in quanto più cautelativa dal punto di vista del colpo d'ariete. Inoltre, se il sistema risulta sufficientemente protetto per queste condizioni limite, lo sarà anche per le condizioni di progetto.

Sono stati considerati i seguenti eventi:

- Caso 1. Chiusura valvola al terminale.
- Caso 2. Shut Down del Sistema di pompaggio con massimo livello della vasca di partenza.
- Caso 3. Shut Down del Sistema di pompaggio con minimo livello della vasca di partenza.
- Caso 4. Avviamento.
- Caso 5. Fermata.

Tutti gli eventi analizzati si verificano dopo 10 secondi di simulazione in condizioni di stato stazionario.

7.3.1 CASO 1: Chiusura valvola al terminale

Attualmente la valvola al termine risulta essere in controllo manuale. Per una futura motorizzazione o in caso di chiusura manuale risulta utile valutare gli impatti che avrebbe una accidentale chiusura di tale valvola durante il trasferimento.

La chiusura della valvola è stata ipotizzata essere pari a 120 secondi durante il normale esercizio alla massima portata raggiungibile di 620 m^3/h.

La simulazione provocherà la seguente catena di eventi:

- Chiusura della valvola al terminale in 120 sec;
- Brusco aumento di pressione a monte della valvola fino ad un massimo di circa 20.5 barg (inferiori alla MAOP della linea);
- Azzeramento della portata trasferita e innesco di un fenomeno oscillatorio dell'onda di pressione;
- In mandata pompa la pressione raggiunge il valore massimo di circa 22.7 barg (inferiore alla MAIP di 26 barg, 133% della MAOP).

Nell'evento considerato, i valori di pressione raggiunti lungo la linea superano la MAOP, ma non la MAIP. Pertanto, per proteggere la linea è necessario che il tempo di chiusura della valvola al terminale sia di almeno 120 sec. Ad un tempo inferiore, per esempio 90s, il sistema si avvicina pericolosamente ai limiti della linea (caso simulato ma non mostrato).

I risultati della simulazione sono riportati nella Tabella seguente e negli Allegati N°20, 21, 22 e 23.

Sono evidenziati in giallo i tratti in cui la pressione in regime transitorio supera la MAOP corrispettiva:

Transient Max/Min

Pipe	*Max. Static Pressure (barG)*	*Max. Static Pressure Time (seconds)*	*Min. Static Pressure (barG)*	*Min. Static Pressure Time (seconds)*	*Max. Volumetric Flowrate (m3/hr)*	*Max. Volumetric Flowrate Time (seconds)*	*Min. Volumetric Flowrate (m3/hr)*	*Min. Volumetric Flowrate Time (seconds)*
1	*2.00*	*130.80*	*0.83*	*130.80*	*623.40*	*14.80*	*-32.18*	*130.80*
2	*22.72*	*132.60*	*6.53*	*2.61*	*623.40*	*18.12*	*-7.03*	*165.00*
3	*21.11*	*132.60*	*3.13*	*4.11*	*623.40*	*18.14*	*-166.69*	*131.70*
4	*18.75*	*131.00*	*2.91*	*4.20*	*623.40*	*11.35*	*-134.06*	*132.30*
5	*18.75*	*131.00*	*2.52*	*4.23*	*623.40*	*11.33*	*-126.53*	*132.40*
6	*18.52*	*130.90*	*2.12*	*4.26*	*623.40*	*11.28*	*-126.53*	*132.40*
7	*18.38*	*130.90*	*2.03*	*4.29*	*623.40*	*11.28*	*-123.20*	*132.50*
8	*18.57*	*130.90*	*2.03*	*4.29*	*623.40*	*11.24*	*-119.85*	*132.50*
9	*19.09*	*130.80*	*2.14*	*4.30*	*623.40*	*11.22*	*-119.28*	*132.50*
10	*19.34*	*130.80*	*2.30*	*4.41*	*623.40*	*11.19*	*-118.71*	*132.50*
11	*19.73*	*130.60*	*1.90*	*4.56*	*623.40*	*11.12*	*-111.42*	*132.60*
12	*19.73*	*130.60*	*1.17*	*4.61*	*623.40*	*10.94*	*-98.43*	*132.80*
13	*19.19*	*130.60*	*-0.02*	*4.82*	*623.40*	*10.93*	*-93.80*	*132.80*
14	*20.27*	*130.20*	*-0.02*	*4.82*	*623.40*	*10.71*	*-72.89*	*133.00*
15	*20.54*	*130.00*	*-0.01*	*5.18*	*623.40*	*10.36*	*-48.91*	*133.20*
16	*0.01*	*130.00*	*-0.02*	*130.00*	*623.40*	*22.17*	*-0.31*	*130.00*

Tabella 7-2. Valori in regime transitorio Caso 1 (Chiusura valvola al terminale)

7.3.2 CASO 2: Shut Down del sistema di pompaggio con massimo livello della vasca di partenza

In questo caso è stato analizzato uno Shut Down accidentale del sistema di pompaggio considerando il massimo livello della vasca di presa e pari a 14 m.

Come nel caso precedente, è stato valutato durante la condizione di trasferimento alla massima portata di 620 m^2/h.

L'improvviso Shut Down provocherà la seguente catena di eventi:

- Shut Down del sistema di pompaggio;
- Rapida diminuzione della pressione a valle della pompa e innesco di un potenziale fenomeno di cavitazione e oscillazione della portata lungo la linea;
- Il massimo valore di pressione raggiunto in linea è pari a 8.2 barg, inferiore alla MAOP.

Nell'evento considerato, la pressione raggiunta lungo la linea è contenuta entro la MAOP e la MAIP.

Si evidenzia che un improvviso Shut Down del sistema di pompaggio non determina problematiche sulla linea.

I risultati della simulazione sono riportati nella Tabella seguente e negli Allegati N°25, 26, 27 e 28:

Transient Max/Min

Pipe	*Max. Static Pressure (barG)*	*Max. Static Pressure Time (seconds)*	*Min. Static Pressure (barG)*	*Min. Static Pressure Time (seconds)*	*Max. Volumetric Flowrate (m3/hr)*	*Max. Volumetric Flowrate Time (seconds)*	*Min. Volumetric Flowrate (m3/hr)*	*Min. Volumetric Flowrate Time (seconds)*
1	*4.13*	*18.69*	*0.05*	*18.64*	*623.40*	*9.48*	*-50.46*	*41.47*
2	*8.15*	*7.77*	*-0.97*	*18.66*	*623.40*	*9.46*	*-62.25*	*55.86*
3	*6.53*	*7.78*	*-0.97*	*16.74*	*623.40*	*8.62*	*-73.97*	*78.60*
4	*4.18*	*78.47*	*-0.97*	*12.01*	*623.40*	*11.35*	*-72.08*	*78.45*
5	*3.69*	*78.41*	*-0.97*	*12.99*	*623.40*	*11.33*	*-71.10*	*78.39*
6	*3.45*	*78.39*	*-0.97*	*12.33*	*623.40*	*11.28*	*-73.62*	*78.38*
7	*3.15*	*78.34*	*-0.97*	*11.97*	*623.40*	*11.28*	*-70.67*	*78.34*
8	*3.35*	*78.31*	*-0.97*	*11.99*	*623.40*	*11.24*	*-68.81*	*78.32*
9	*3.74*	*78.29*	*-0.97*	*13.13*	*623.40*	*11.22*	*-68.95*	*78.30*
10	*3.83*	*17.25*	*-0.97*	*13.92*	*623.40*	*11.19*	*-71.49*	*78.28*
11	*4.05*	*17.45*	*-0.97*	*157.70*	*623.40*	*11.12*	*-72.08*	*78.05*
12	*3.91*	*17.37*	*-0.97*	*32.66*	*623.40*	*10.94*	*-73.51*	*78.04*
13	*3.46*	*17.44*	*-0.97*	*12.21*	*623.40*	*10.93*	*-105.90*	*53.65*
14	*3.73*	*77.70*	*-0.97*	*12.30*	*623.40*	*10.71*	*-105.60*	*53.58*
15	*3.31*	*54.00*	*-0.97*	*105.90*	*623.40*	*10.36*	*-118.53*	*77.45*
16	*2.61*	*53.98*	*-0.97*	*54.00*	*623.40*	*10.35*	*-145.44*	*77.43*

Tabella 7-3. Valori in regime transitorio Caso 2 (Shut Down del Sistema di pompaggio con massimo livello della vasca di partenza)

Non è noto il livello operativo della vasca di colmata durante il normale esercizio della linea, pertanto è stato replicato, nel caso successivo, lo stesso evento, minimizzando il livello di liquido della vasca di presa con lo scopo di analizzare il fenomeno della cavitazione minimizzando la pressione in aspirazione della pompa.

7.3.3 CASO 3: Shut Down del sistema di pompaggio con minimo livello della vasca di partenza

In questo caso è stato analizzato uno Shut Down accidentale del sistema di pompaggio quando il battente relativo al livello della vasca di presa allineata per il trasferimento risulta essere minimo e pari a 1 m.

L'evento è stato valutato durante il trasferimento alla massima portata raggiungibile in queste condizioni e pari a circa 560 m^3/h.

L'improvviso Shut Down provocherà la seguente catena di eventi:

- Shut Down del sistema di pompaggio;
- Rapida diminuzione della pressione a valle della pompa e innesco di un potenziale fenomeno di cavitazione e oscillazione della portata lungo la linea;
- Il massimo valore di pressione raggiunto in linea è pari a 20.7 barg, superiore alla MAOP, ma inferiore alla MAIP.

Nell'evento considerato, la pressione raggiunta lungo la linea a causa della potenziale cavitazione risulta superiore alla MAOP, ma inferiore alla MAIP.

Pertanto, un improvviso Shut Down del sistema di pompaggio, anche nel caso di minimo livello della vasca di partenza, non determina problematiche sulla linea.

I risultati della simulazione sono riportati nella Tabella seguente e negli Allegati N°30, 31, 32 e 33:

Transient Max/Min

Pipe	*Max. Static Pressure (barG)*	*Max. Static Pressure Time (seconds)*	*Min. Static Pressure (barG)*	*Min. Static Pressure Time (seconds)*	*Max. Volumetric Flowrate (m3/hr)*	*Max. Volumetric Flowrate Time (seconds)*	*Min. Volumetric Flowrate (m3/hr)*	*Min. Volumetric Flowrate Time (seconds)*
1	*1.42*	*58.42*	*-0.92*	*110.5*	*564.50*	*9.482*	*-55.94*	*110.5*
2	*20.65*	*89.69*	*-0.97*	*58.42*	*564.50*	*9.461*	*-254.68*	*89.68*
3	*18.89*	*89.75*	*-0.97*	*11.32*	*564.50*	*11.45*	*-492.03*	*89.5*
4	*15.10*	*87.93*	*-0.97*	*11.91*	*564.50*	*11.33*	*-304.52*	*53.59*
5	*14.95*	*88.12*	*-0.97*	*12.44*	*564.50*	*11.33*	*-309.74*	*55.64*
6	*14.47*	*87.86*	*-0.97*	*11.94*	*564.50*	*11.28*	*-310.52*	*55.65*
7	*13.91*	*88.04*	*-0.97*	*11.91*	*564.50*	*11.28*	*-303.54*	*53.52*
8	*14.01*	*87.81*	*-0.97*	*11.94*	*564.50*	*11.24*	*-302.50*	*53.48*
9	*14.38*	*87.78*	*-0.97*	*13.07*	*564.50*	*11.22*	*-301.82*	*53.45*
10	*16.01*	*87.75*	*-0.97*	*13.7*	*564.50*	*11.19*	*-351.29*	*87.76*
11	*15.93*	*87.7*	*-0.97*	*22.89*	*564.50*	*11.12*	*-469.77*	*87.85*
12	*14.35*	*87.76*	*-0.97*	*22.79*	*564.50*	*10.93*	*-465.12*	*87.71*
13	*13.56*	*87.69*	*-0.97*	*12.18*	*564.50*	*10.93*	*-460.28*	*87.34*
14	*12.39*	*87.07*	*-0.97*	*12.29*	*564.50*	*10.68*	*-295.55*	*87.11*
15	*12.59*	*87.03*	*-0.97*	*76.9*	*564.50*	*12.17*	*-369.18*	*86.86*
16	*8.82*	*87.02*	*-0.97*	*76.75*	*564.50*	*10.35*	*-468.43*	*86.91*

Tabella 7-4. Valori in regime transitorio Caso 3 (Shut Down del Sistema di pompaggio con minimo livello della vasca di partenza)

7.3.4 CASO 4: Avviamento

La procedura di avviamento della linea prevede innanzitutto l'allineamento della tubazione e delle vasche a servizio di esso.

Non è nota la procedura di avviamento della linea, pertanto è stata ipotizzata una condizione di partenza in cui si verifica l'apertura completa della valvola al terminale, in cui è possibile l'instaurarsi di una condizione di svuotamento nel tratto di linea compreso tra il picco e la vasca di arrivo.

Partendo da questa condizione la simulazione determina la seguente successione di eventi:

- Avviamento della stazione di pompaggio (con valvola al terminale già aperta);
- Raggiungimento delle condizioni di regime alla portata di 250 m^3/h e aumento della pressione in mandata pompa pari a 3.3 barg;
- Aumento della portata fino al raggiungimento della condizione di design pari a 550 m^3/h;
- Aumento della pressione in mandata pompa pari 6.9 barg, mentre la pressione al terminale rimane costante e pari a 0 barg;
- Innesco di una leggera depressione (superiore comunque alla tensione di vapore) all'interno della linea in corrispondenza del picco situato alla PK 2.9 km.

Le massime pressioni raggiunte lungo la tubazione non superano il valore di MAOP e di MAIP della linea.

I risultati della simulazione sono rilevati dall'analisi dei profili altimetrici e piezometrici (Allegato N°35) e dalla curva caratteristica (Allegato N° 01).

E' importante sottolineare che la pressione relativa negativa in prossimità del picco durante tale operazione non è tale da influire sulla condizione di tubo impaccato, ovvero i valori di pressione raggiunti risultano essere superiori alla tensione di vapore del fluido assunta (0.04 bara).

7.3.5 CASO 5: Fermata

La procedura di fermata prevede la chiusura della valvola di terminale e conseguente spegnimento del sistema di pompaggio.

La condizione di partenza della linea corrisponde alla condizione di trasferimento alla portata di 550 m^3/h.

Partendo da questa condizione (condizione di design), la successione di eventi da eseguire per garantire una corretta operazione di fermata sono:

- Graduale chiusura della valvola di terminale e contemporanea:
  - diminuzione della portata agendo sull'inverter della pompa;
  - diminuzione della pressione in mandata pompa;
  - aumento di pressione al terminale di arrivo;
- Completa chiusura della valvola al terminale e spegnimento del sistema di pompaggio;
- Verifica di un piccolo fenomeno di oscillazione della pressione fino al raggiungimento della condizione di statica a pompe ferme e linea completamente impaccata.

8 CONCLUSIONI

8.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

Le principali condizioni adottate per l'analisi idraulica sono di seguito riportate:

- La verifica riguarda il trasferimento diretto di Acqua di mare dalla vasca di colmata alla vasca di trattamento acque;
- L'assetto prevede l'allineamento di una sola pompa di spinta con la vasca di ricezione senza l'utilizzo di stazioni di pompaggio intermedie;
- La pompa utilizzata per il trasferimento è un esempio di pompa preliminare che potrebbe essere installata;
- Le verifiche in regime stazionario sono state effettuate utilizzando le portate pari a 500 m^3/h (portata operativa), 550 m^3/h (portata di design) e 620 m^3/h (massima portata indicativa);
- Per le analisi in transitorio sono stati confrontati i risultati ottenuti con le pressioni limite ammissibili durante il trasferimento;
- La pressione di Design considerata è pari a 19.6 barg, in accordo alla specifica di linea selezionata. La MAOP (massima pressione operativa consentita) e la Design Pressure sono state considerate uguali.

8.2 REGIME STAZIONARIO

Gli elaborati riguardanti l'esercizio in condizioni stazionarie permettono le seguenti considerazioni:

- Le verifiche sono state eseguite considerando il trasferimento a tubo pieno;
- La pressione raggiunta in mandata pompa alle differenti condizioni di trasferimento analizzate variano da ca. 6 a ca. 8 barg alla minima ed alla massima portata analizzata;
- Il battente di liquido all'interno della vasca di partenza è stato mantenuto costante e pari a 14 m, di conseguenza la pressione in aspirazione alla pompa è pari a 1.4 barg;
- Le velocità lungo la linea sono contenute entro i limiti suggeriti (2.5 – 3 m/s) per tutte le condizioni di trasferimento;
- Durante le condizioni di trasferimento analizzate si evidenzia una depressione presso il picco posto alla PK 2.9 km. Tale evento non influisce sulla condizione di tubo impaccato, in quanto i valori di pressione raggiunti risultano essere superiori alla tensione di vapore del fluido assunta (0.04 bara);
- Le pressioni raggiunte durante la condizione di Shut Off della pompa preliminare non superano la MAOP e la MAIP della linea.
- Nella condizione di statica della tubazione (a valvola di ricezione chiusa), le pressioni risultano essere 3.1 barg in ingresso alla vasca di partenza e 0.8 barg alla vasca di ricezione. I valori risultano essere inferiori alla MAOP della linea.

8.3 REGIME TRANSITORIO

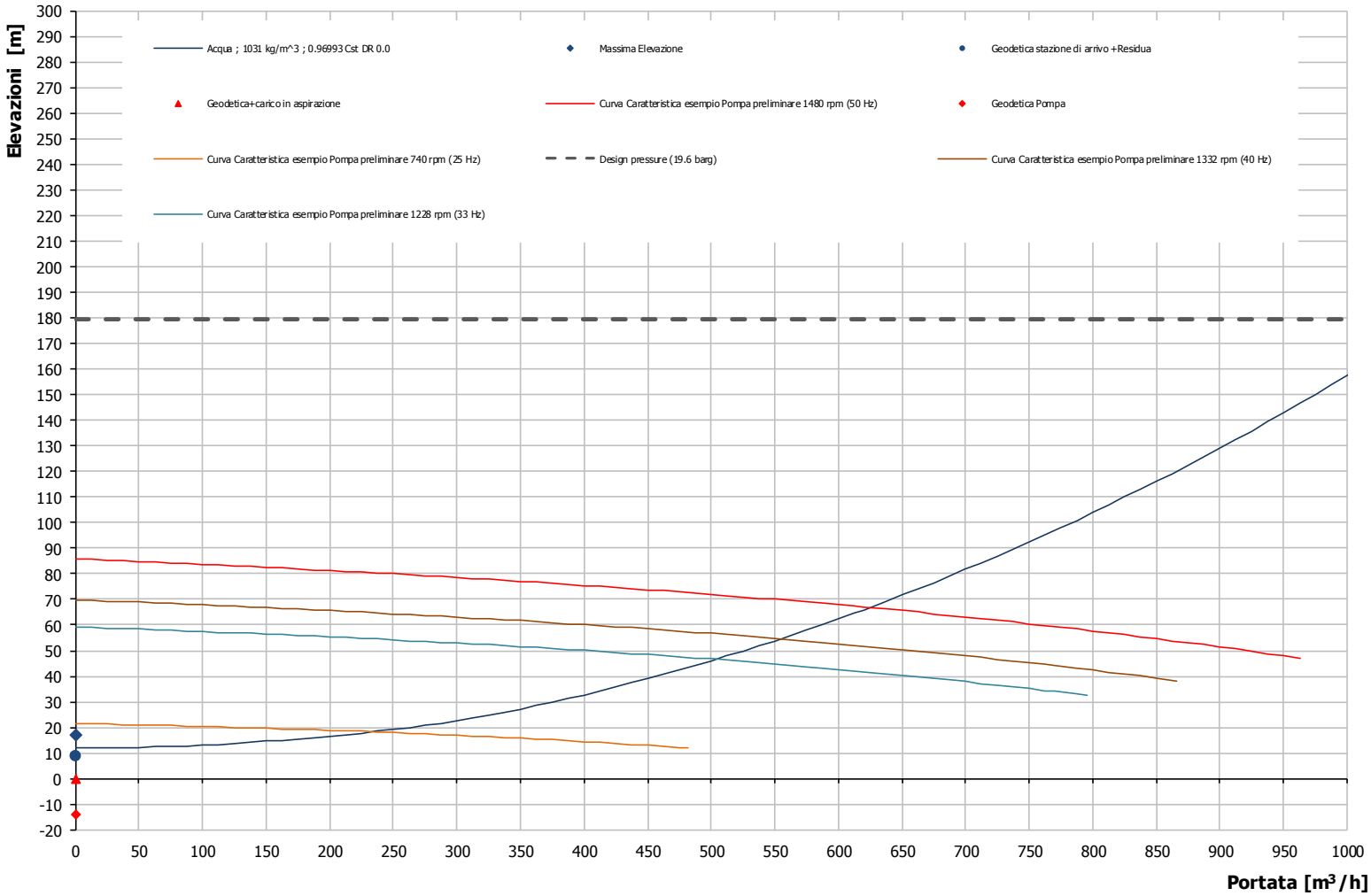
I risultati dei calcoli idraulici riguardanti l'esercizio degli impianti in regime transitorio permettono di trarre le seguenti conclusioni:

- Alla condizione di massima portata raggiungibile, pari a 620 m^3/h, il tempo di chiusura necessario per proteggere la linea a seguito della chiusura accidentale della valvola di terminale è di almeno 120 sec. In questo caso, la massima pressione raggiunta in linea per colpo d'ariete è pari a 22.7 barg, inferiori alla MAIP della linea (133% della MAOP). Ciò significa che garantendo tali tempi di chiusura non è richiesta l'installazione di sistemi di sicurezza contro il colpo d'ariete;
- Un improvviso Shut Down del sistema di pompaggio durante la condizione di massima portata raggiungibile (620 m^3/h) e nel caso di massimo livello della vasca di partenza non determina problematiche sulla linea, in particolare le pressioni raggiunte a causa della potenziale cavitazione risultano essere inferiori sia alla MAOP che alla MAIP.
- Lo stesso caso di Shut Down è stato analizzato considerando il battente di liquido minimo e pari a 1 m. In queste condizioni di trasferimento, la massima portata raggiungibile risulta essere ca. 560 m^3/h.

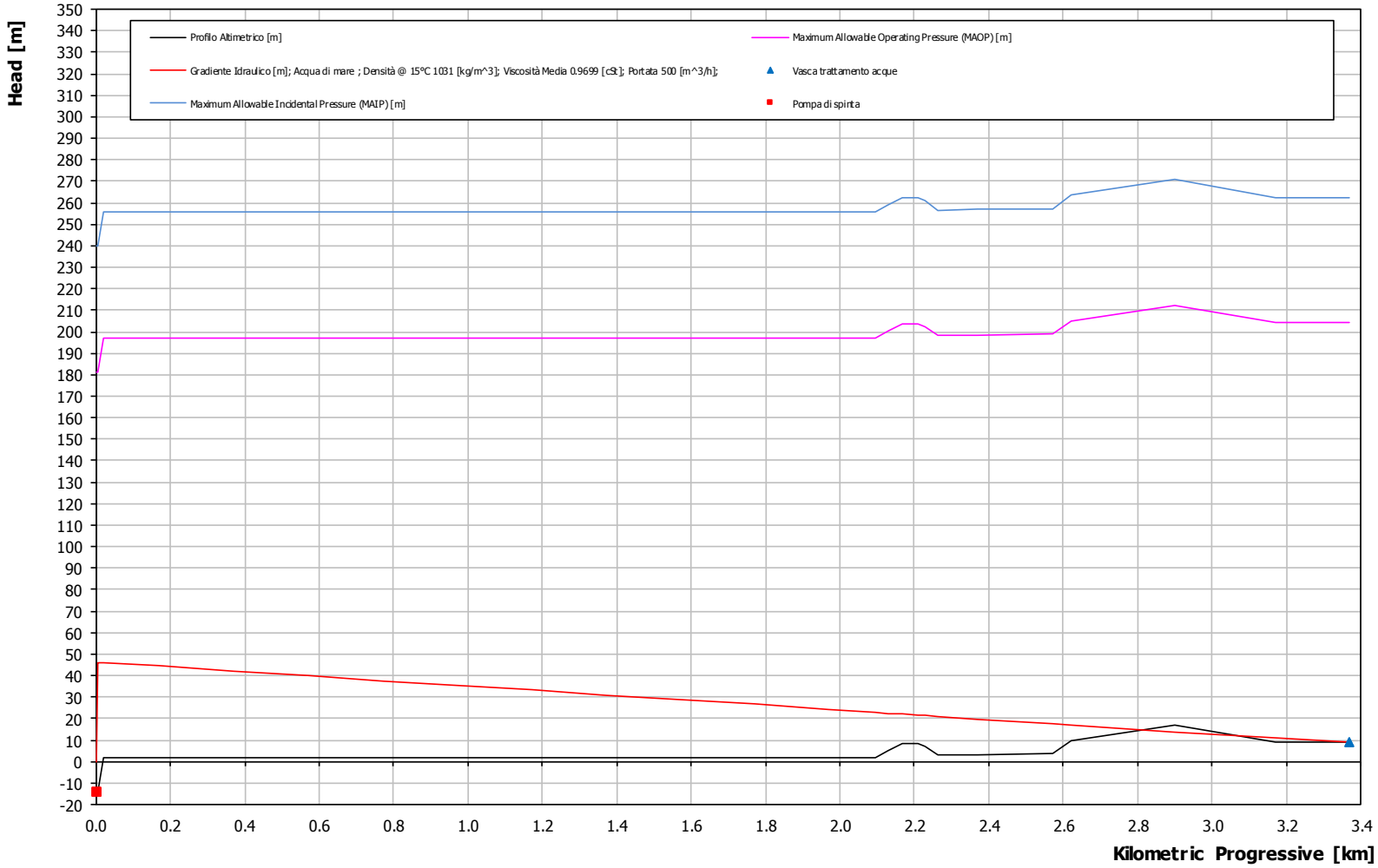
Le pressioni raggiunte risultano essere superiori alla MAOP, ma inferiori alla MAIP e pertanto non è richiesta l'installazione di apparecchiature anticavitazione;

- La presenza dell'inverter della pompa ed un'attenta gestione della valvola al terminale rendono le fasi di avviamento/fermata non pericolose per la verifica idraulica.

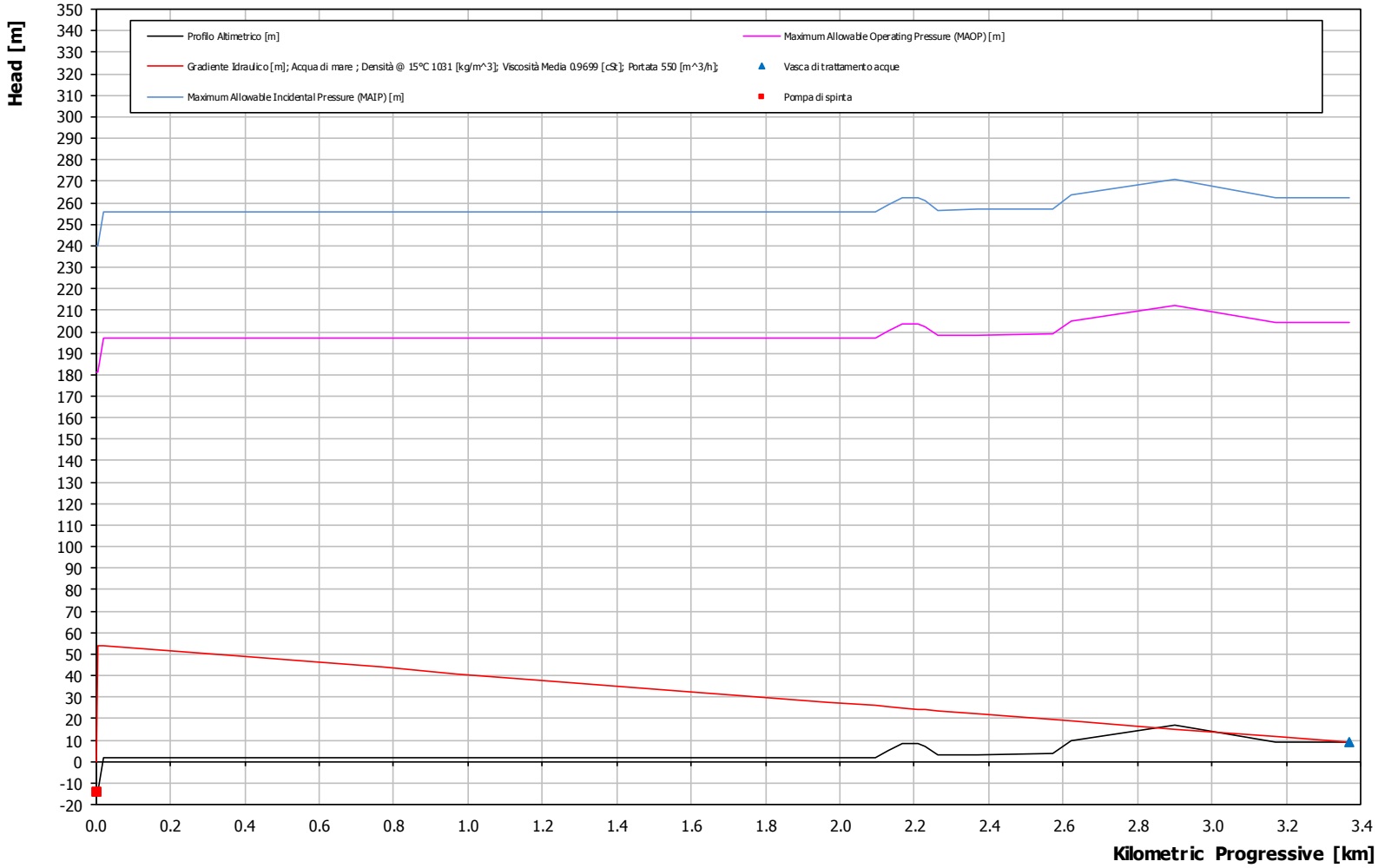
9 ALLEGATI



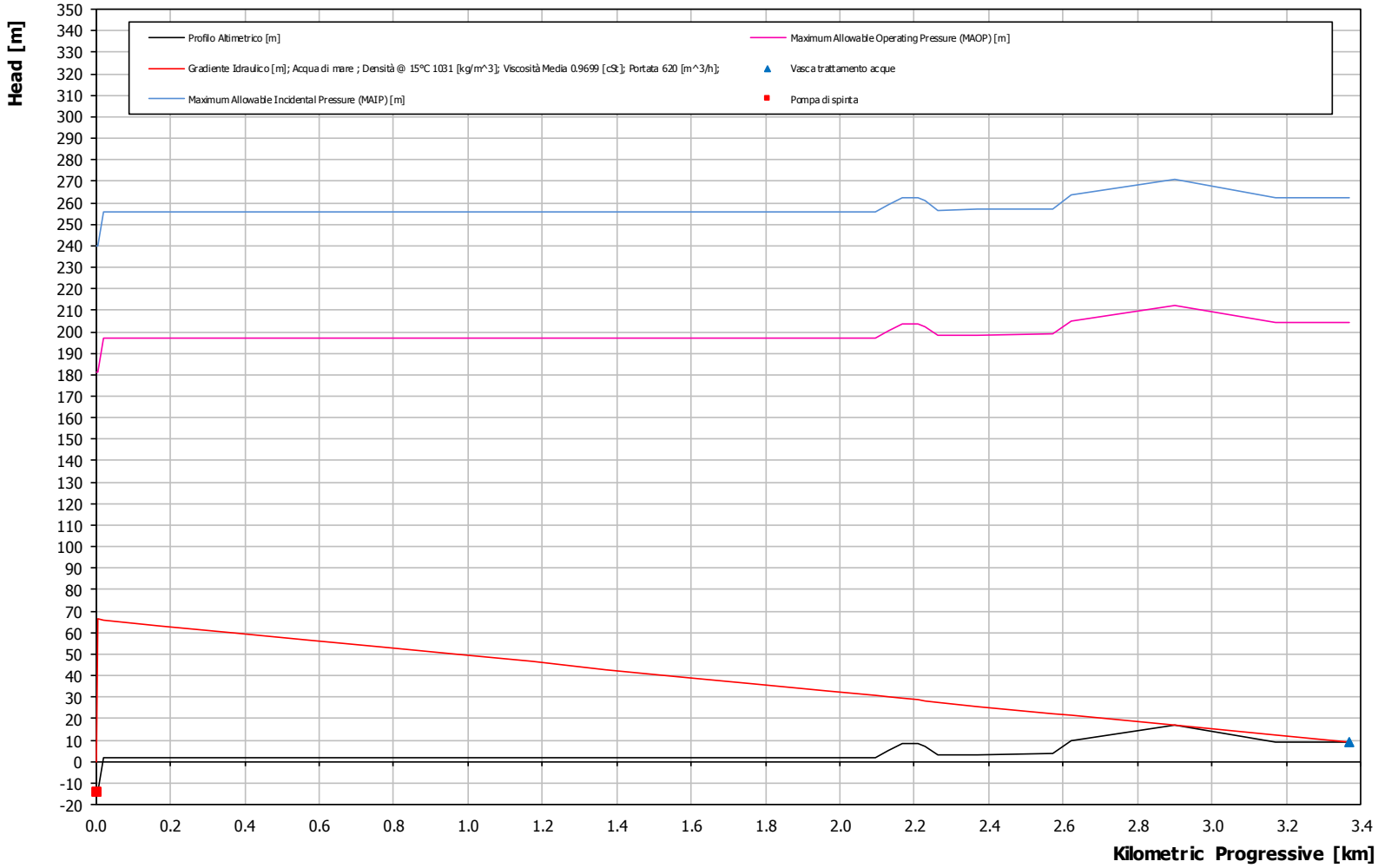
Allegato N°01 – Curve Caratteristiche linea trattamento Acqua di mare DN14”



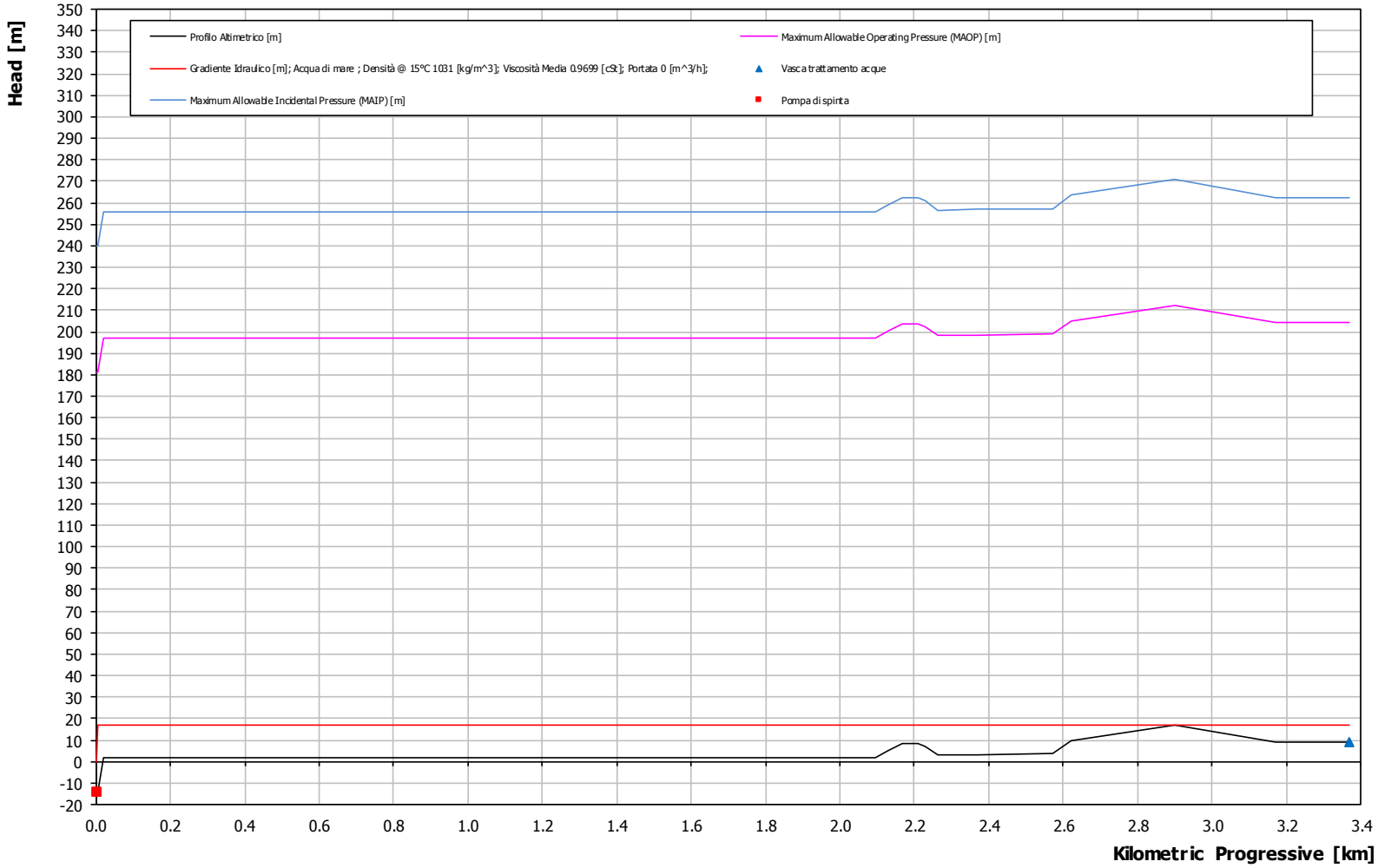
Allegato N°10 – Piezometrica linea trattamento Acqua di mare DN14” portata operativa 500 m³/h



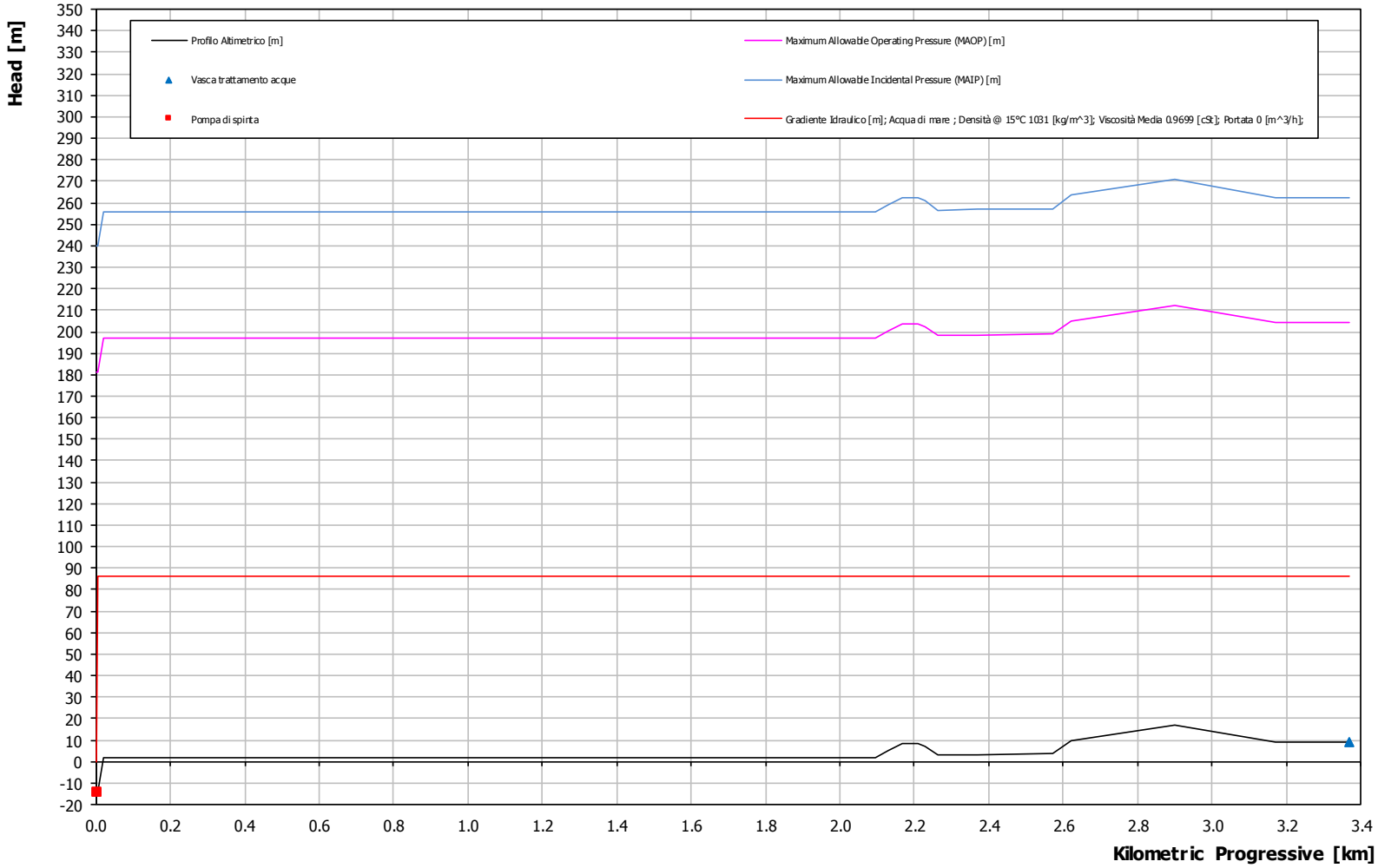
Allegato N°11 - Piezometrica linea trattamento Acqua di mare DN14” portata di design 550 m³/h



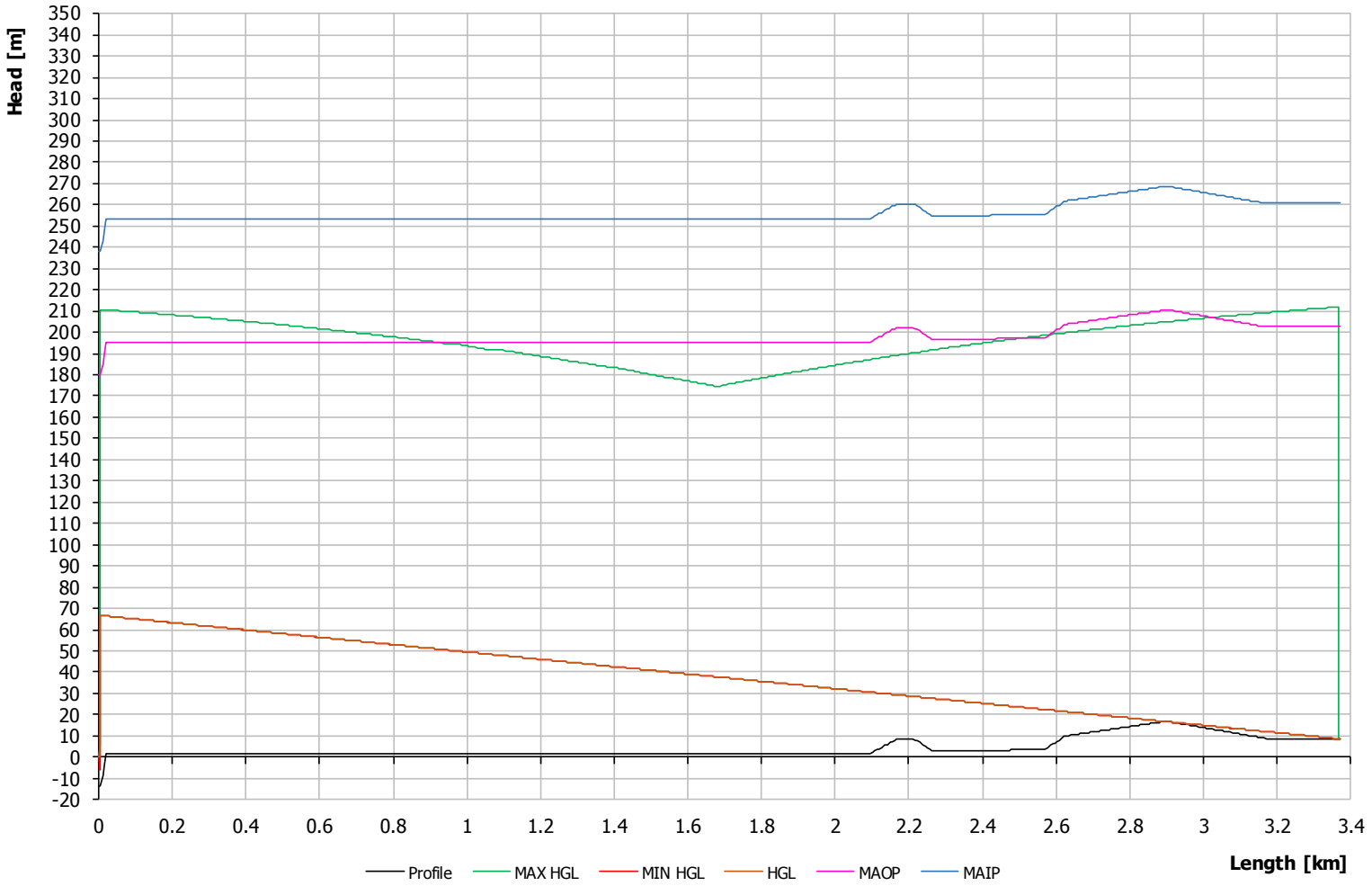
Allegato N°12 - Piezometrica linea trattamento Acqua di mare DN14” portata massima 620 m^3/h



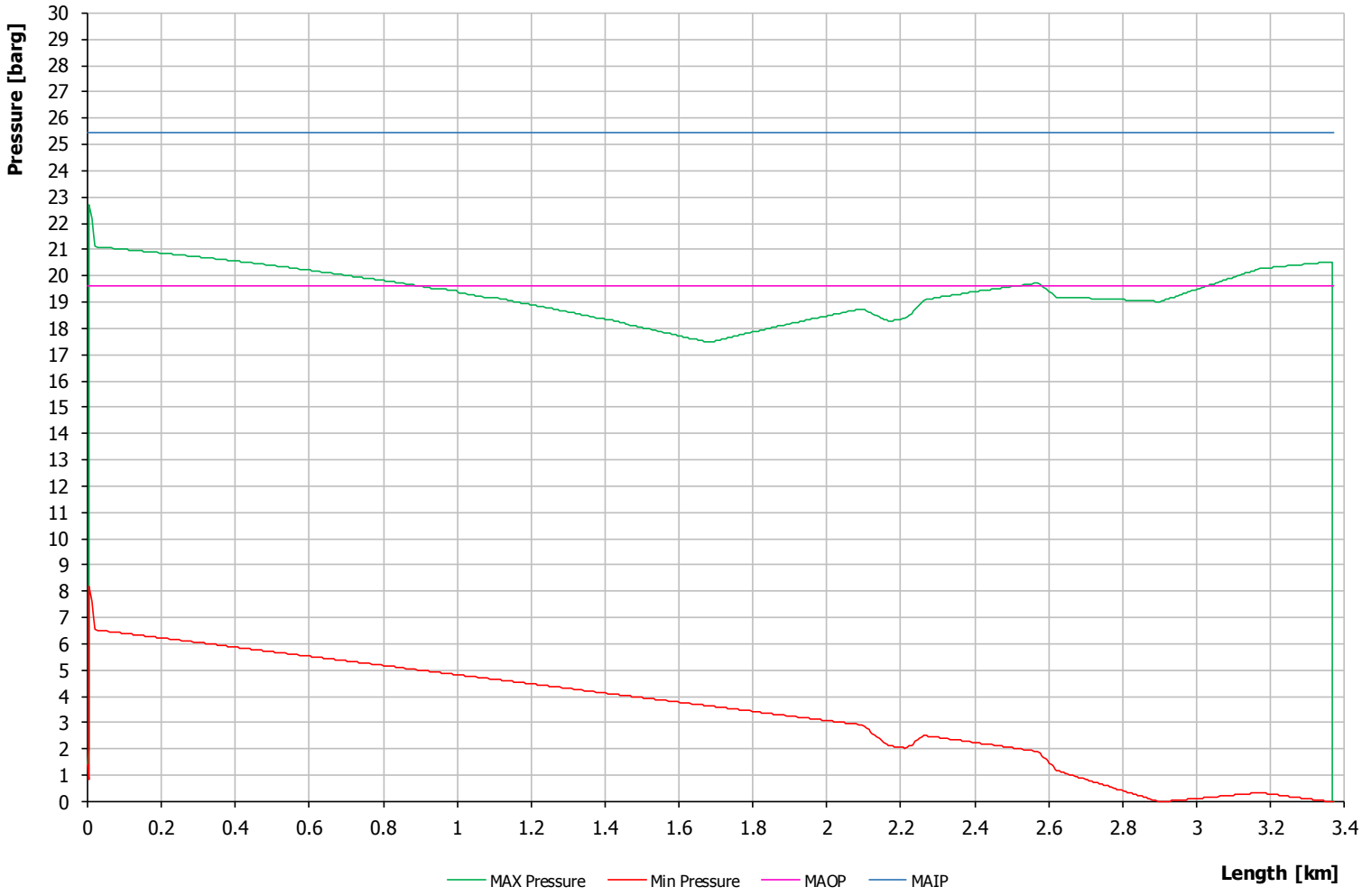
Allegato N°13 – Condizione di statica linea trattamento Acqua di mare DN14”



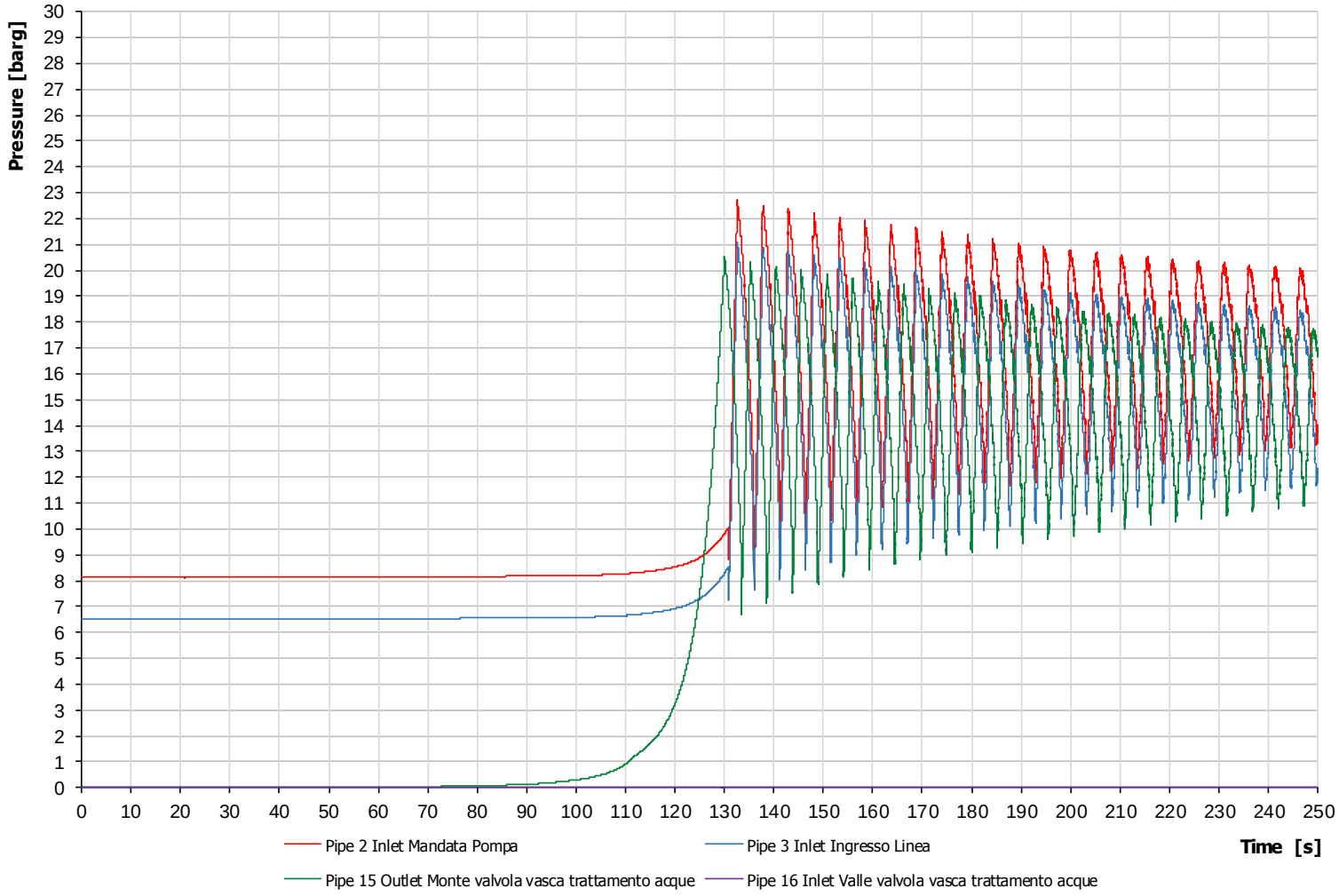
Allegato N°14 – Condizione di Shut Off pompa linea trattamento Acqua di mare DN14”



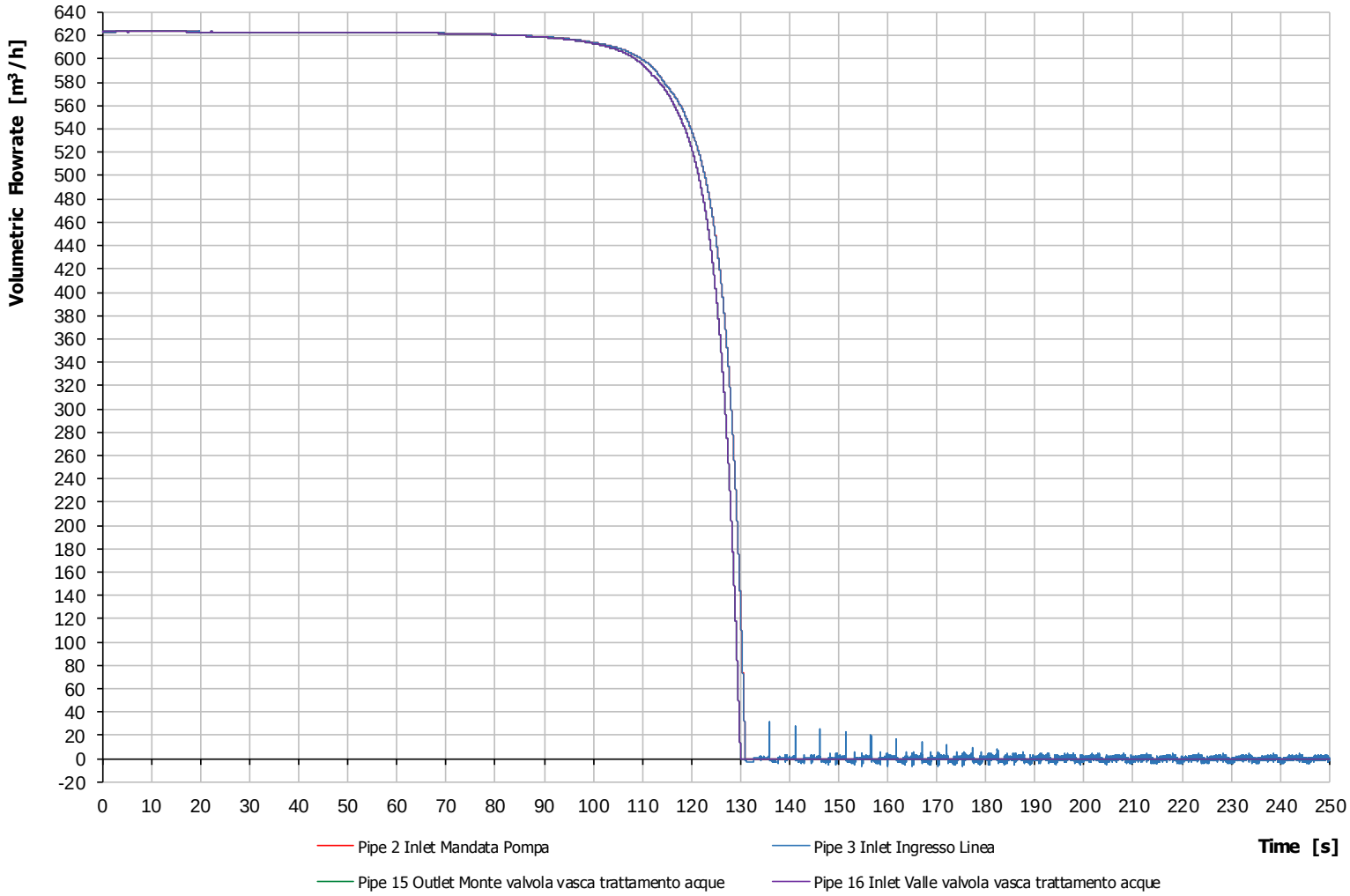
Allegato N°20 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 1. HGL/Elevation vs Length



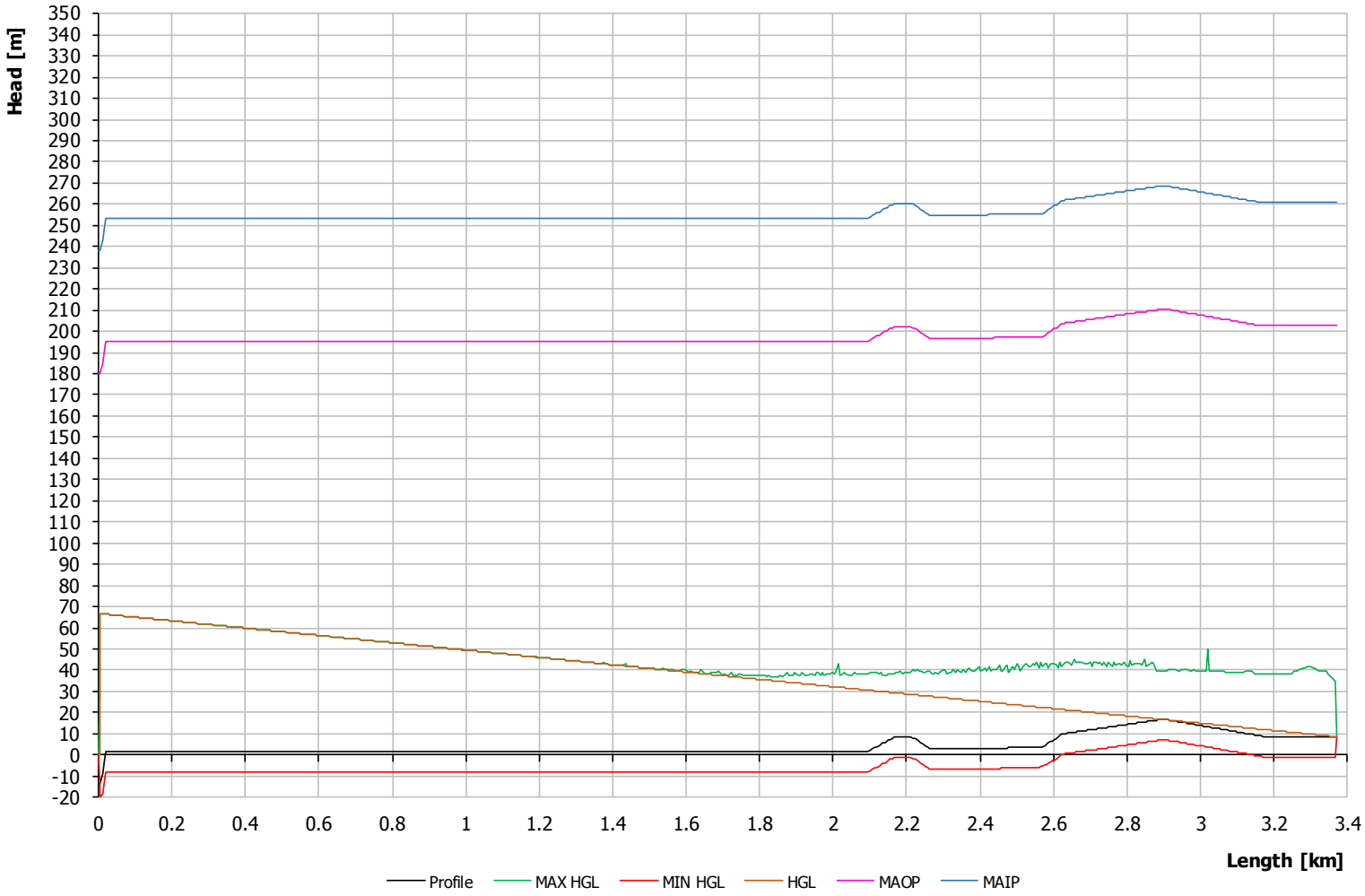
Allegato N°21 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 1. Maximum/Minimum Pressure vs Length



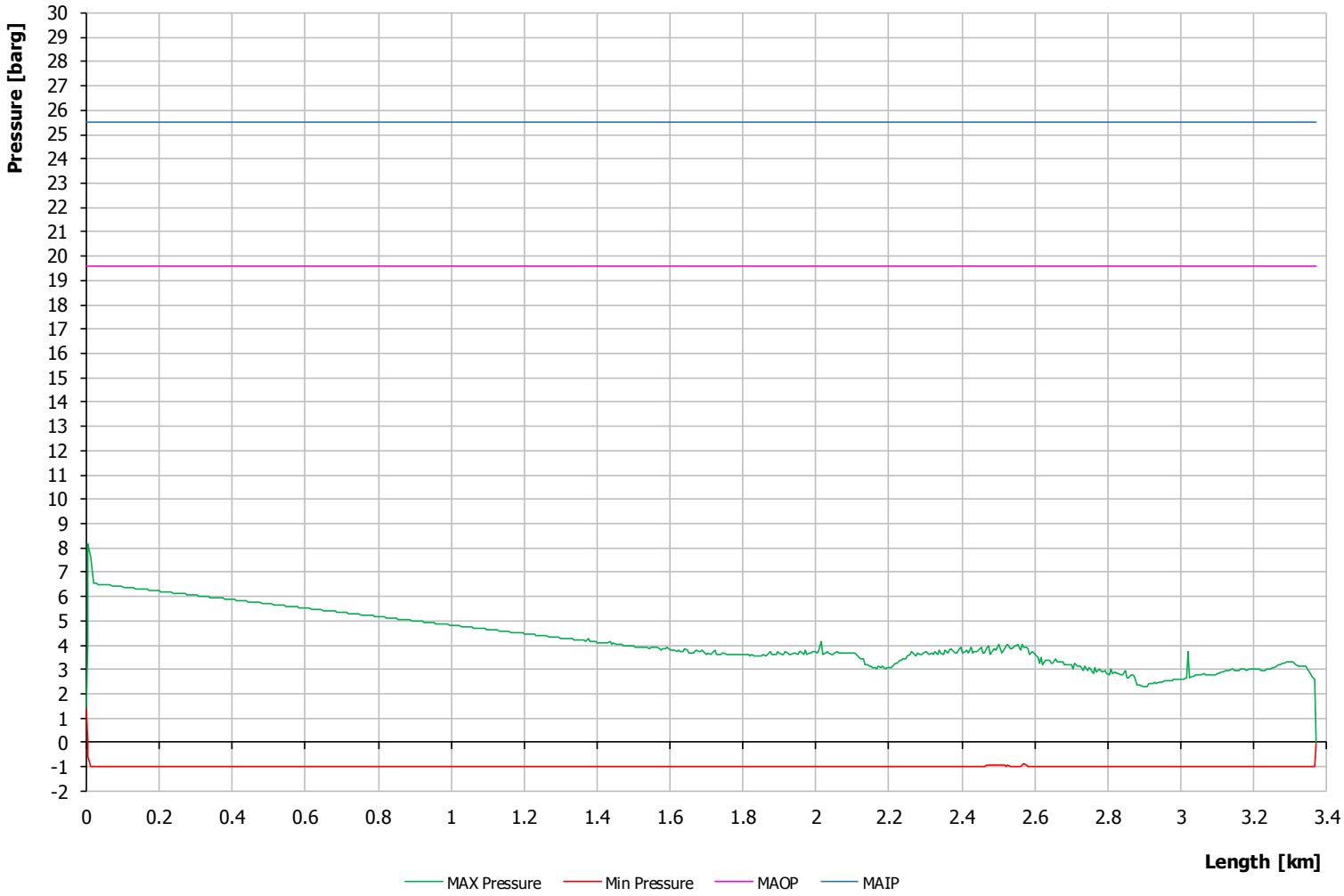
Allegato N°22 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 1. Pressure Static vs Time



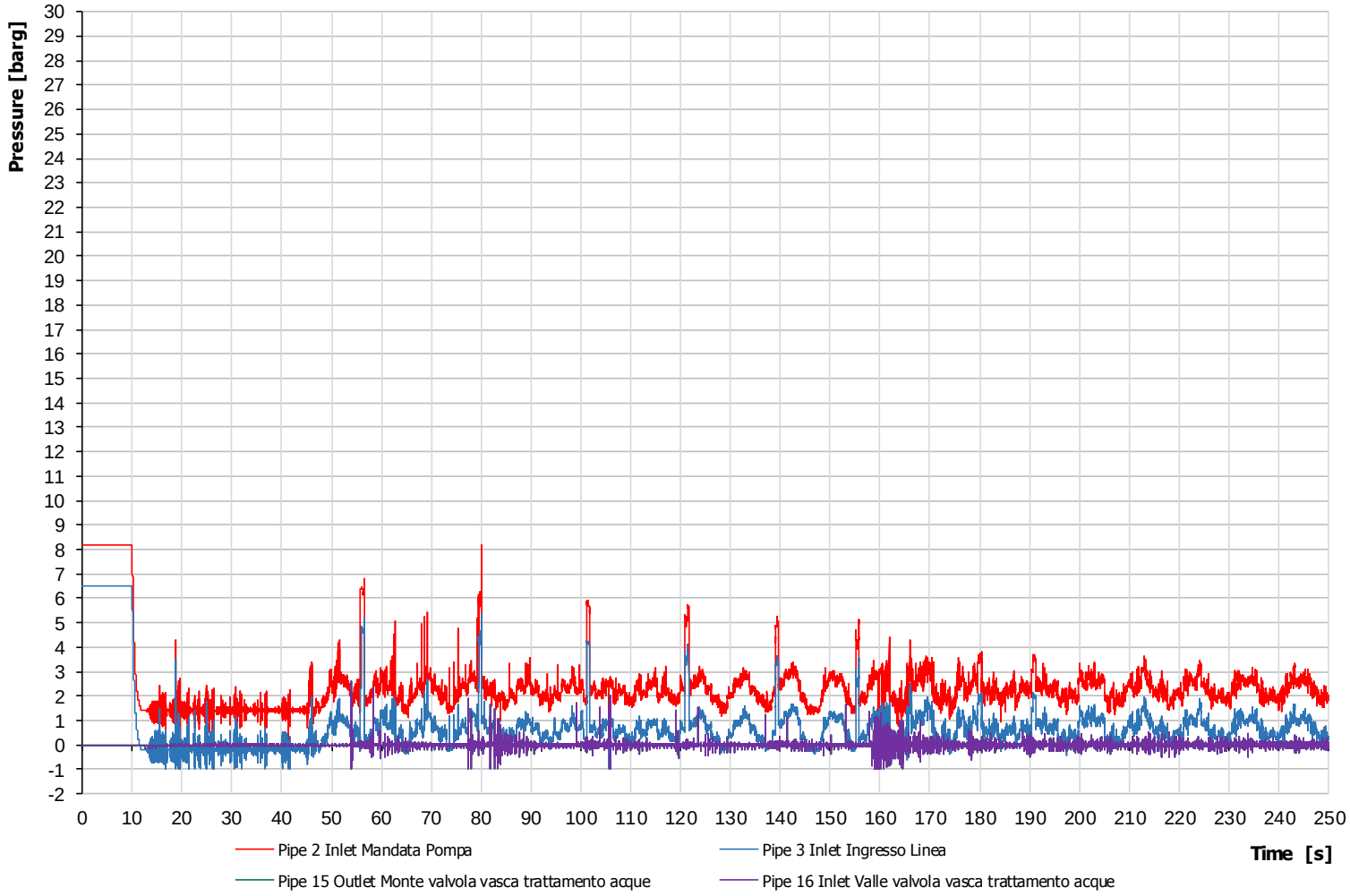
Allegato N°23 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 1. Volumetric Flowrate Downstream vs Time



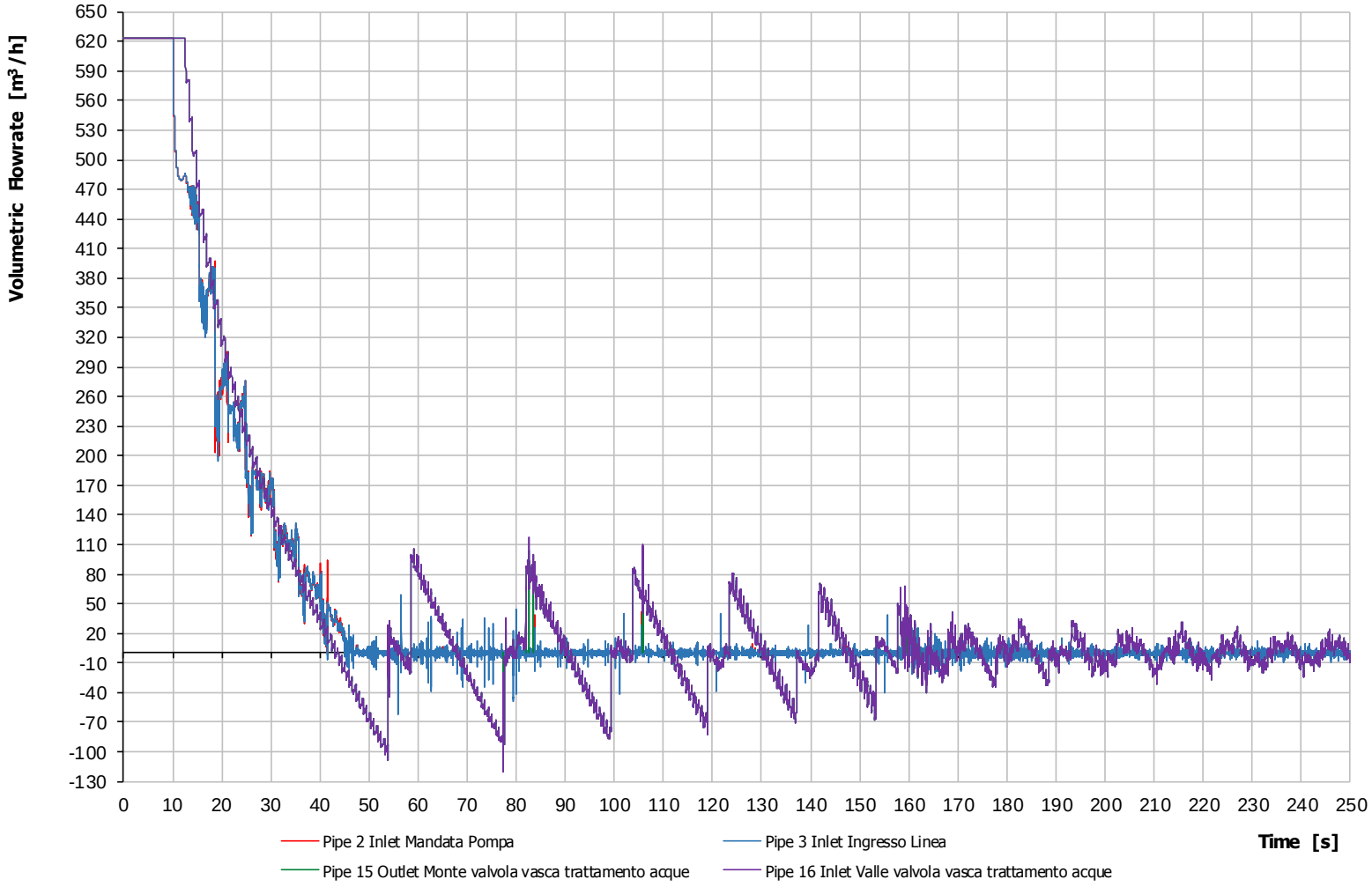
Allegato N°25 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 2. HGL/Elevation vs Length



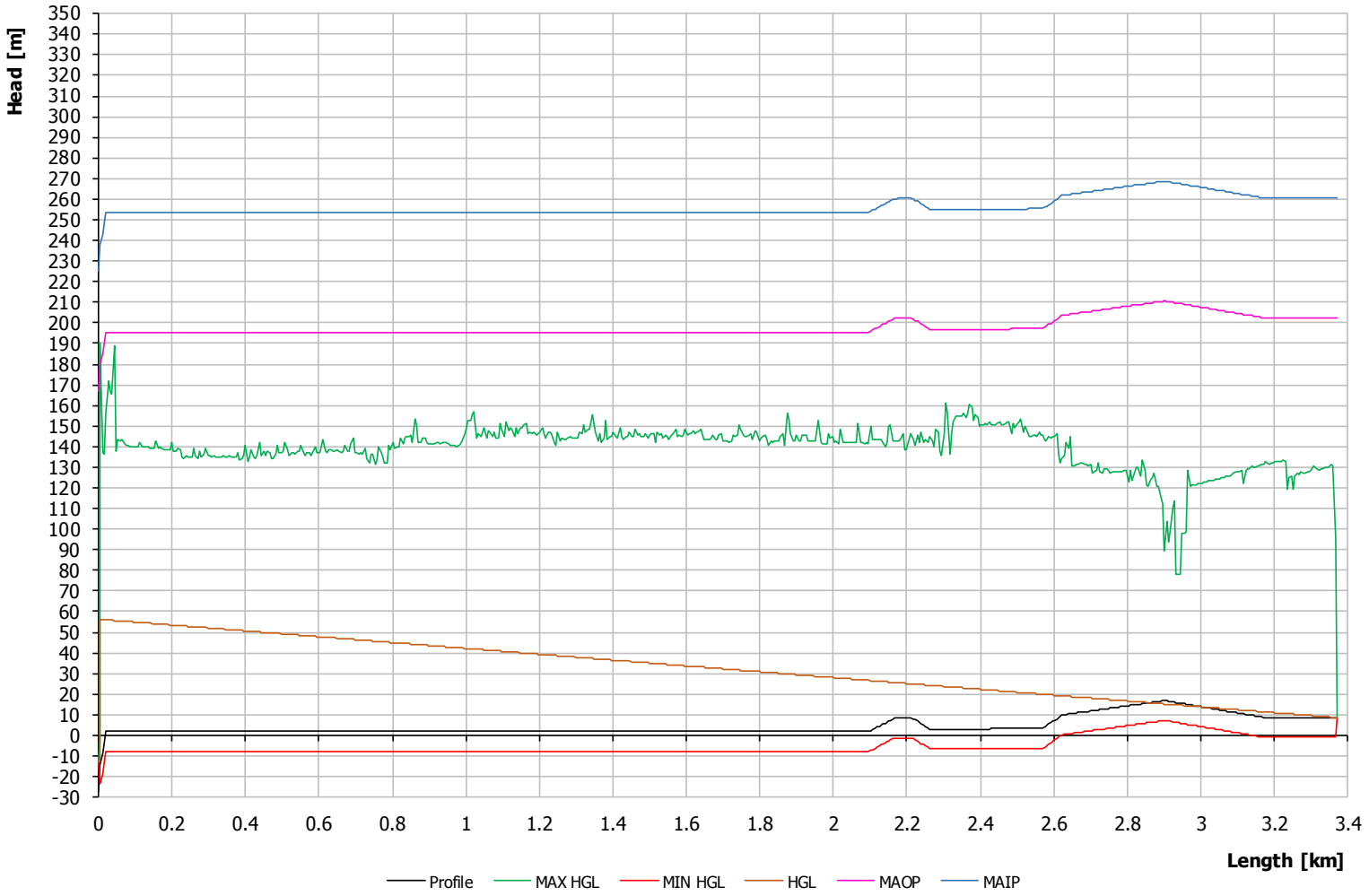
Allegato N°26 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 2. Maximum/Minimum Pressure vs Length



Allegato N°27 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 2. Pressure Static vs Time



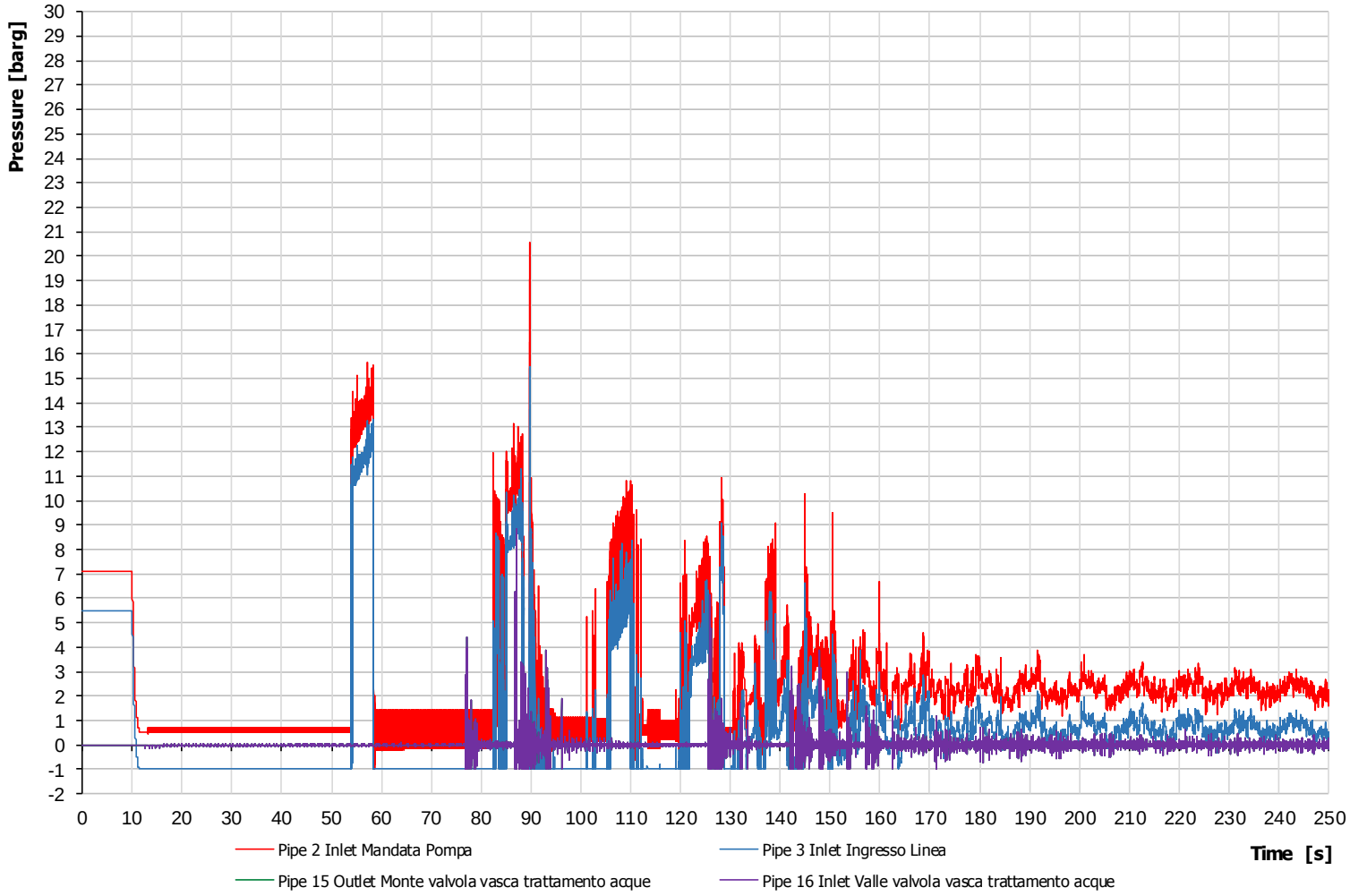
Allegato N°28 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 2. Volumetric Flowrate Downstream vs Time



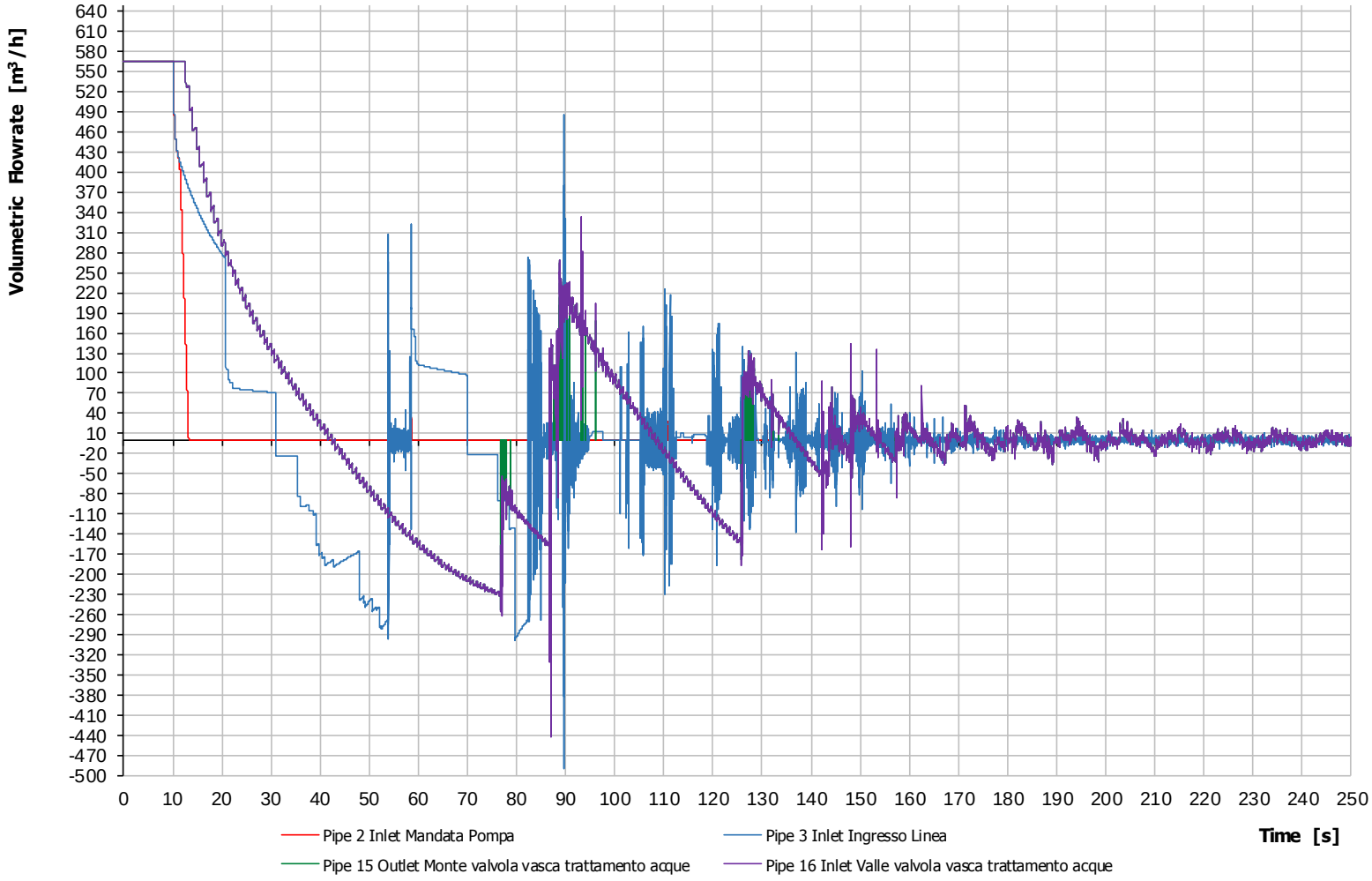
Allegato N°30 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 3. HGL/Elevation vs Length



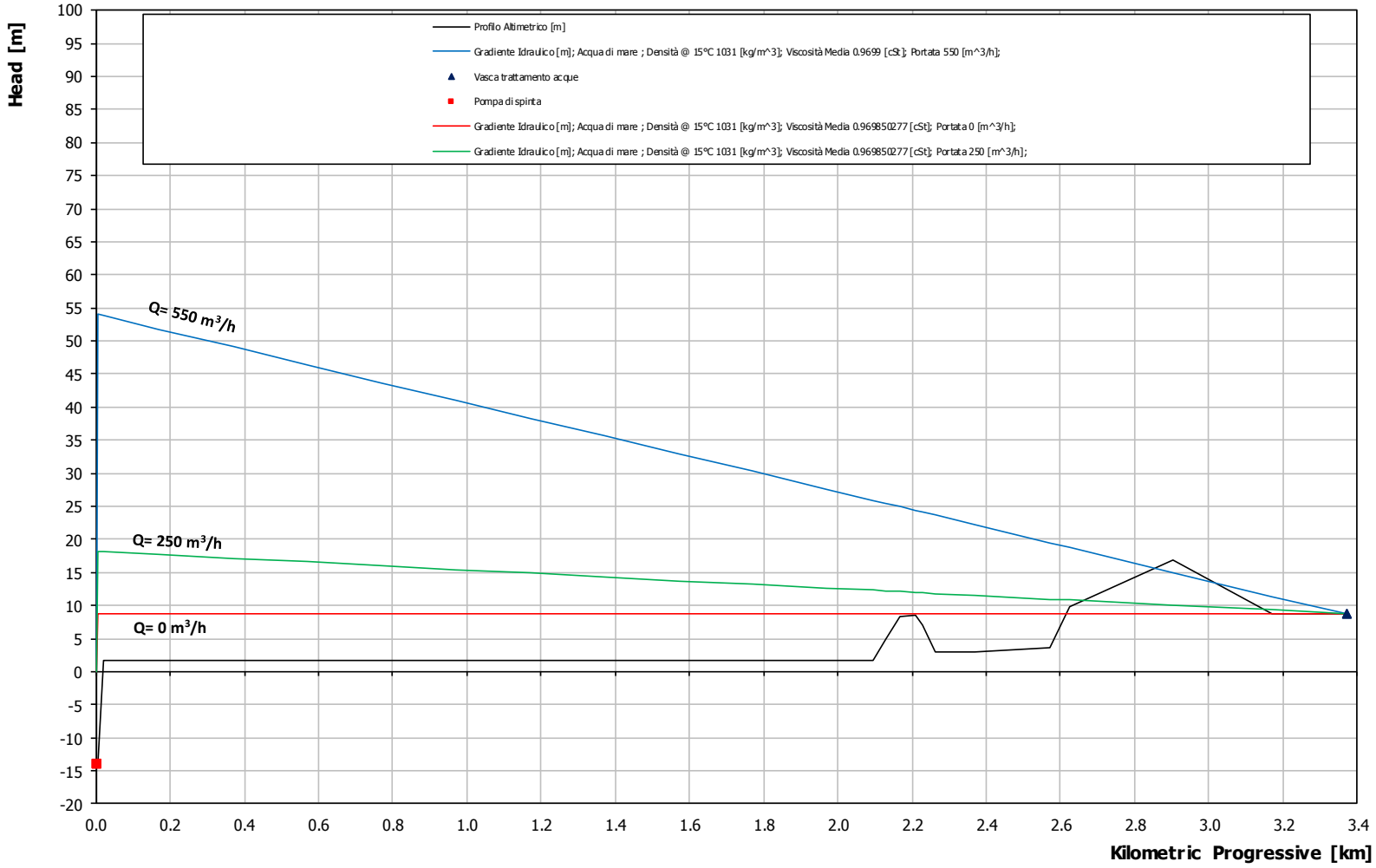
Allegato N°31 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 3. Maximum/Minimum Pressure vs Length



Allegato N°32 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 3. Pressure Static vs Time



Allegato N°33 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 3. Volumetric Flowrate Downstream vs Time



Allegato N°35 – Linea trattamento Acqua di mare DN14". Caso 4. Avviamento



LEGENDA

J "Junction": Punto significativo della Pipeline, per esempio una valvola, una pompa, un serbatoio, un picco o una gola nel profilo, un cambio di spessore ecc

P "Pipe": Sezione di un Pipe situato tra due Junction

Station: Con lo scopo di completare lo studio idraulico, ogni Pipe viene suddiviso in più sezioni (denominate Stations) e in ognuna di esse viene eseguita la verifica

PUNTI CARATTERISTICI DELLA VERIFICA IDRAULICA (riferiti al modello sopra riportato)

Pipe 1: Pipe Aspirazione Pompa di spinta

Pipe 2: Pipe Mandata Pompa di spinta

Pipe 3: Pipe Ingresso Linea

Pipe 15: Pipe Monte Valvola di terminale

Pipe 16: Pipe Valle Valvola di terminale

Junction 1: Vasca di presa

Junction 2: Pompa di spinta

Junction 16: Valvola di terminale

Junction 17: Vasca trattamento acque

Allegato N°100 – Linea trattamento Acqua di mare DN14" Modello AFT Impulse