

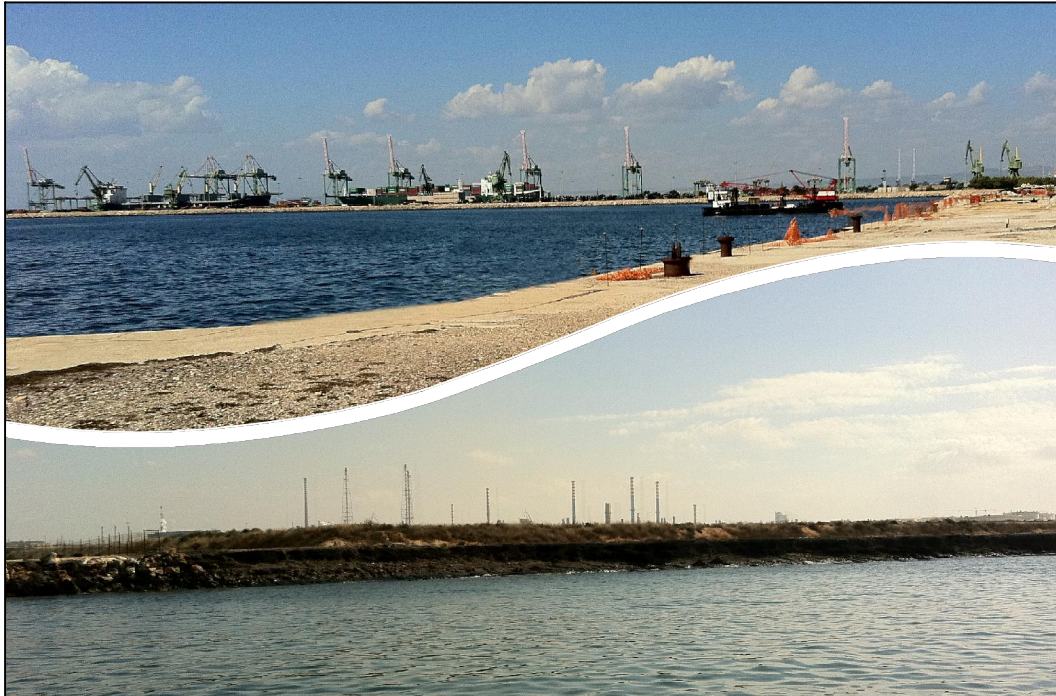
Regione PUGLIA



MINISTERO DELL'AMBIENTE
E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE



Autorità Portuale di Taranto



Convenzione Sogesid S.p.A. - Ministero dell'Ambiente e della tutela del Territorio e del Mare
Regione Puglia - Autorità Portuale di Taranto del 19 Luglio 2011

INTERVENTI PER IL DRAGAGGIO DI 2,3 Mm³ DI SEDIMENTI IN AREA MOLO POLISETTORIALE E PER LA REALIZZAZIONE DI UN PRIMO LOTTO DELLA CASSA DI COLMATA FUNZIONALE ALL'AMPLIAMENTO DEL V SPORGENTE DEL PORTO DI TARANTO PROGETTO DEFINITIVO

Titolo elaborato

RELAZIONE IDRAULICA E IDROLOGICA

Elaborato

ED 013

Redatto da



IL DIRETTORE TECNICO
Ing. Carlo MESSINA

GRUPPO DI LAVORO

Responsabile Servizio Operativo
Bonifiche e Rifiuti :

Ing. Enrico BRUGIOTTI

Il Responsabile del Procedimento

Ing. G. ALFANO - Ing. R. GRADO
(Opere Civili, Idraulica e Impiantistica)

Geol. P. MARTINES - Geol. V. SPECCHIO
(Geologia)

Ing. F. LEO (Geotecnica, Sismica e Strutture)

Ing. A. LUCIANO (Impianti Trattamento)

Ing. M. TARTAGLINI (Opere Marittime)

Ing. B. FERRARO (Computi metrici)

Dott. C. CORSI - Biol. S. RANIA
(Caratterizzazione Ambientale dei Sedimenti)

Arch. K. ELIA - Arch. E. CONFORTI -
Dott.ssa F. MONCADA - Geom. M. TEMPESTA
(Elaborazioni grafiche)

Cod. Commessa

Codice

Nome file

Data : Ottobre 2012

PUG102

PD

ED

0

1

3

rev.
0

PUG102PDED013_0

Rev. Data Descrizione modifica

verificato

approvato

0 ott/2012 1^a Emissione

INDICE

1. PREMESSA	1
1.1. Sintesi degli interventi previsti in progetto	1
1.2. Macrofasì di realizzazione delle opere	4
2. GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE	5
2.1. Analisi delle precipitazioni	5
2.2. Scelta della Curva di Possibilità Pluviometrica	7
2.3. Gestione delle acque meteoriche e di prima pioggia nell'area di cantiere	8
3. IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DELLE ACQUE DI RISULTA DEI SEDIMENTI VIOLA AL TAF	12
4. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE DI ESUBERO DELLA CASSA DI COLMATA	14

1. PREMESSA

L'area oggetto di intervento si trova all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Taranto, individuato con legge n. 426 del 9/12/1998 e perimetrato con Decreto del Ministero dell'Ambiente del 10/01/2000 ed in particolare nell'area del Porto di Taranto compresa tra il Molo Polisettoriale e il V sporgente denominata "Darsena Polisettoriale".

Il Piano Regolatore Portuale di Taranto prevede, per la calata del molo Polisettoriale e del relativo bacino di evoluzione, una quota dei fondali a - 16,50 m s.l.m.m., esclusa la fascia fino a 40,00 m dalla banchina del V Sporgente, dove è previsto il solo dragaggio a fini ambientali.

L'approfondimento dei fondali al Molo Polisettoriale fino a 16,5 m, e l'ampliamento del V Sporgente inoltre rientrano tra gli interventi urgenti programmati dall'Autorità Portuale oltre ad essere previsti, come detto, nel nuovo P.R.P. esaminato dal Consiglio Superiore LL.PP. nell'adunanza del 23 luglio 2008, aggiornato in base alle osservazioni e prescrizioni del voto 322/07 espresso dalla suddetta adunanza ripresentato in data 26 maggio 2009 ed approvato, con prescrizioni, nell'adunanza del 24 marzo 2010 voto n.48/10.

Il PRP prevede che tali sedimenti dragati, come quelli in altre aree del porto, vengano refluiti nella cassa di colmata da realizzare come ampliamento del V Sporgente ad ovest dello stesso, con una capacità complessiva di oltre 9 Mm³, da realizzare in lotti funzionali, che, a conclusione delle opere, diventerà un piazzale portuale con finalità di stoccaggio e movimentazione dei container (tipo il molo Polisettoriale) e che pertanto prevederà un successivo dragaggio per il raggiungimento della quota di -16.50 m.

Il presente progetto prevede sia le attività di dragaggio dei sedimenti della calata Polisettoriale sia la realizzazione di un primo lotto funzionale della cassa di colmata, per una capacità di circa 2,3 Mm³, che possa contenere i sedimenti dragati. Sono altresì previste le opere accessorie necessarie alla gestione e trattamento dei sedimenti e delle acque dragate.

Nella presente relazione si inquadrano le problematiche idrauliche connesse con la realizzazione delle opere accessorie a terra quali vasche di stoccaggio provvisorio dei sedimenti inquinati (rossi e gialli) e di quelli pericolosi (viola), del canale di gronda, delle opere accessorie per la gestione delle acque reflue e di pioggia, quali condotte a gravità ed in pressione, canalette di scolo ed impianti di sollevamento.

1.1. Sintesi degli interventi previsti in progetto

L'oggetto della presente progettazione è la realizzazione del dragaggio dei sedimenti presenti nello specchio d'acqua antistante il molo Polisettoriale e della cassa di colmata, posta in redice al V sporgente e ad ampliamento dello stesso, in cui verranno refluiti i sedimenti dragati.

Il dragaggio verrà effettuato sia a fini ambientali, cioè per la rimozione dei sedimenti risultati contaminati dalla caratterizzazione ISPRA (valori di contaminazione maggiori dei limiti di intervento), sia a fini di infrastrutturazione portuale, per consentire l'attracco delle navi di ultima generazione che necessitano una profondità del fondale di -16,5 m s.l.m.m..

La cassa di colmata in oggetto è il primo lotto funzionale, della capacità di $2,3 \text{ Mm}^3$, della cassa di colmata prevista in P.R.P. che ha un volume complessivo pari a circa 9 Mm^3 . Il primo lotto funzionale avrà una superficie di 29,12 ha (Figura 1).

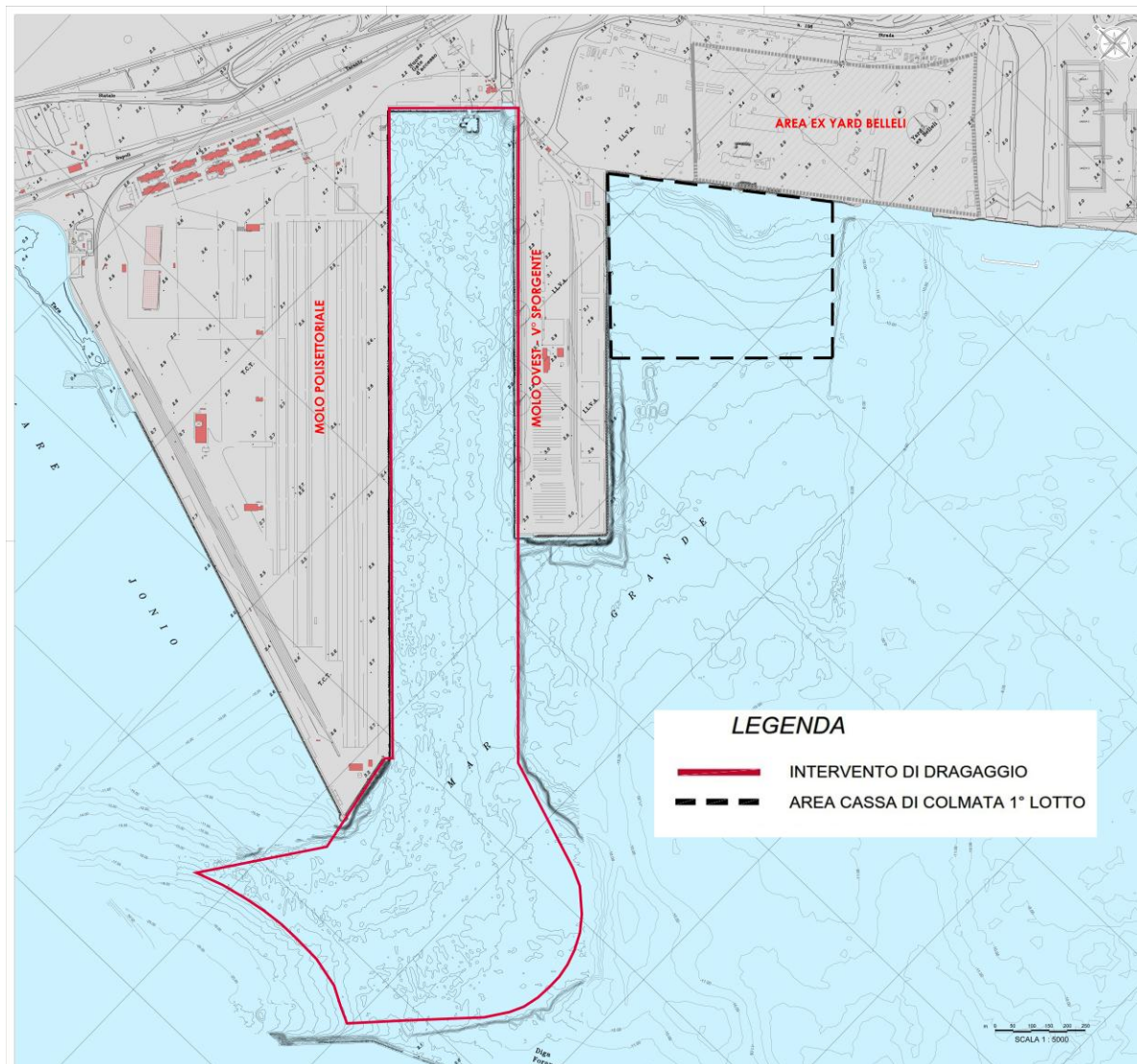


Figura 1 - Area di intervento (dragaggio e cassa di colmata)

Per garantire le caratteristiche di impermeabilità stabilite dalla normativa di settore, si è scelto di marginare l'area della cassa di colmata mediante:

- ✓ un doppio palancoleto metallico composito con giunti impermeabili, per il palancoleto lato cassa, lungo i due lati fronte mare, riempito all'interno con betoncino semiplastico impermeabile fino a quota $-1,00 \text{ m s.l.m.}$ e poi con calcestruzzo armato per gli ultimi 3 m (cordolo di coronamento);
- ✓ un diaframma semiplastico, lungo i due lati a terra.

In entrambi i casi, sia le palancole che il diaframma, si ammorseranno nella formazione impermeabile di base, costituita da argille in facies grigio azzurra, che si trovano ad una profondità variabile tra i $-19,00 \text{ m}$ e i $-29,00 \text{ m}$ sotto il livello medio del mare.

Le acque in uscita dalla cassa di colmata dovranno rispettare i limiti della Tabella 3 dell'Allegato 5 del DLgs 152/2006, previsti per lo scarico di acque reflue industriali in acque superficiali. Esse saranno allontanate dalla cassa di colmata mediante un apposito canale di gronda realizzato a ridosso della scogliera del V sporgente. La qualità delle acque in uscita dal canale sarà analizzata in continuo, mediante apposita centralina di controllo, in continuo per alcuni parametri, e mediante campionamento, per gli altri parametri, in modo da evitare lo sversamento in mare di acque contaminate o torbide che saranno, eventualmente, avviate, mediante sollevamento, ad apposito impianto di trattamento.

Per quanto riguarda il dragaggio, invece, sono state previste diverse modalità sia a seconda della tipologia di sedimento da escavare (contaminati pericolosi, contaminati non pericolosi e non contaminati), sia in funzione dei tempi di esecuzione delle lavorazioni, effettuate in fasi per consentire, anche se per zone, una funzionalità del molo polisettoriale e del V sporgente ridotta.

Il dragaggio sarà effettuato nel seguente modo:

- ✓ Fase 1a – Dragaggio, parziale, fino a quota -14,00 m dei sedimenti contaminati, ma non pericolosi, nella zona dalla progressiva 1.200 alla progressiva 1.500 m del Molo Polisettoriale, al fine di garantire la navigazione delle navi portacontainers durante i lavori di consolidamento della banchina del Polisettoriale da realizzare fino alla progressiva 1.200 m;
- ✓ Fase 1b – Dragaggio dei sedimenti contaminati pericolosi (“viola”) presenti nella Darsena Polisettoriale e nell’area di impronta della cassa di colmata;
- ✓ Fase 2 – Consolidamento della banchina del Molo Polisettoriale e dragaggio delle aree ad esso immediatamente adiacenti. Queste attività, che saranno realizzate in altro appalto, riguardano il dragaggio strettamente connesso alla realizzazione dell’intervento di consolidamento del Molo Polisettoriale, che si svilupperà, a partire dalla testata, per 1.200 m.

Tale intervento prevede, in adiacenza alla banchina esistente realizzata in cassoni, la costruzione di una doppia fila di pali con diametro del 1200 e un interasse di 5,40 m in senso parallelo alla banchina e di interasse 4,10 m in senso ortogonale, su cui verrà realizzato un impalcato. Per evitare che le lavorazioni dei pali determinino il sollevamento e la circolazione dei sedimenti contaminati, questi saranno preliminarmente rimossi e avviati verso vasche di stoccaggio provvisorie appositamente predisposte in una area dell’Autorità Portuale tra Punta Rondinella e gli Scarichi dell’ILVA, diverse da quelle predisposte in fase 0.

- ✓ Fasi 3, 4 e 5 – Dragaggi del Bacino di evoluzione e dei primi 1.200 m della banchina del molo Polisettoriale, ai fini di approfondimento fino alla quota minima di - 16,50 m, infatti in alcune zone, soprattutto del bacino di evoluzione, tale quota già esiste e quindi è necessario effettuare un dragaggio ambientale per almeno i primi 50 cm.
- ✓ Fase 6 – Dragaggio dei 600 m in radice e degli interventi sotto banchina, in tale fase i dragaggi sono solo con finalità ambientale con quote diverse. Infatti in tale fase verranno effettuati i dragaggi in prossimità delle banchine del Polisettoriale (-14,50m) della radice e del V Sporgente (-12,50m) e a centro darsena (-15,50m).

1.2. Macrofasi di realizzazione delle opere

Per la realizzazione delle opere sopra descritte saranno effettuate le seguenti lavorazioni, di seguito riportate in ordine cronologico di realizzazione.

- 1- **Approntamento del cantiere** e delle strutture necessarie ad adempiere agli obblighi derivanti dai piani di sicurezza (baraccamenti, servizi, dispositivi di protezione, impianti di betonaggio, aree gestione materiali e mezzi di cantiere ecc.), costruzione delle opere necessarie alla gestione dei sedimenti e delle loro acque di risulta (le due vasche di stoccaggio appositamente impermeabilizzate, impianti di trattamento dei sedimenti, impianti di trattamento delle acque, impianti tecnologici accessori).
- 2- **Dragaggio e gestione a terra dei sedimenti di fase 1.** In particolare dei sedimenti contaminati non pericolosi presenti fino a quota -14,00 m s.l.m.m. nell'area della calata polisettoriale dalla progressiva 1.200 alla 1.500 (dalla testata del molo) che verranno temporaneamente accumulati in vasca di stoccaggio a terra e, successivamente, refluiti in cassa di colmata; e di quelli pericolosi, presenti in area antistante il molo Polisettoriale e nell'area di impronta della cassa di colmata; che verranno temporaneamente accumulati in vasca di stoccaggio a terra, trattati in impianto, come le acque di risulta, caratterizzati e conferiti in discarica.
- 3- **Realizzazione della cassa di colmata**, in radice al V sporgente. Il marginamento dei due lati a terra sarà effettuato realizzando un diaframma semiplastico impermeabile, ammorsato alla formazione impermeabile di base (argille in facies grigio azzurra), con, a monte idraulico, una trincea drenante necessaria per allontanare le acque di falda, che saranno inviate a trattamento in apposito TAF. Il marginamento fronte mare, invece, sarà effettuato mediante infissione, anch'esso fino alla formazione impermeabile di base, di doppio palancoato composito con giunti impermeabilizzati; svuotato dei sedimenti presenti all'interno, riempito con betoncino semiplastico impermeabile e completato da un cordolo di calcestruzzo armato in testa per gli ultimi 3 m. I sedimenti, asportati dall'interno del palancoato, saranno temporaneamente accumulati nella vasca a terra, da cui saranno allontanate le acque superficiali chiarificate che saranno eventualmente trattate, in attesa del loro refluimento in cassa di colmata (non appena sarà terminata). Saranno anche realizzate le opere idrauliche accessorie della cassa di colmata e necessarie all'allontanamento delle acque di esubero e al loro controllo ed eventuale trattamento.
- 4- **Dragaggio dei sedimenti di fase 3, 4, 5 e 6**, presenti nella calata antistante il molo Polisettoriale e nel relativo bacino di evoluzione sia a fini di bonifica che di approfondimento dei fondali. I sedimenti dragati saranno refluiti in cassa di colmata in cui saranno gestiti in modo da minimizzare il contenuto di solidi sospesi nelle acque di esubero, che, in caso di superamenti, saranno avviate ad apposito trattamento.

2. GESTIONE DELLE ACQUE METEORICHE

È stato progettato il sistema di allontanamento delle acque meteoriche dai piazzali pavimentati dell'area logistica, con l'accortezza di trattare sia le acque di prima che di seconda pioggia. Questo, oltre che per le specifiche indicazioni date dal Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia del giugno 2009 per le aree industriali, anche in relazione al fatto che in area logistica vengono gestiti i sedimenti pericolosi e che non è possibile escludere a priori, nonostante tutte le cautele adottate in fase di movimentazione, che piccole quantità degli stessi possano cadere sui piazzali. Per tale motivo, è stato previsto:

- ✓ un canale di gronda che raccoglie le acque dalle aree a monte del cantiere e che, provenendo da aree non contaminate, possono essere scaricate a mare;
- ✓ la rete di scolo delle acque meteoriche (separata dalla prima) per le acque raccolte dai piazzali dove vengono svolte le lavorazioni che confluiscono alle vasche di pioggia e poi sollevate fino all'impianto TAF.

Il sistema di raccolta delle acque meteoriche sarà realizzato mediante canalette a cielo aperto, opportunamente dimensionate in relazione alle precipitazioni prevedibili in area.

2.1. Analisi delle precipitazioni

Il sito è caratterizzato, dal punto di vista climatico, da inverni brevi e miti ed estati calde e aride. Le precipitazioni annue in media sono di circa 400 mm e raggiungono i massimi nei mesi tra ottobre e dicembre ed i minimi durante il periodo estivo. Il clima dell'area in esame può essere descritto quindi come di tipo arido temperato. Le temperature e le precipitazioni mensili riferite agli ultimi 30 anni, basate sui dati della stazione di Taranto sono riportate in Tabella 1. L'altezza media annua di pioggia è pari a 409 mm/anno.

Mese	T min	T max	Precipitazioni
Gennaio	6 °C	12 °C	41 mm
Febbraio	6 °C	13 °C	42 mm
Marzo	7 °C	15 °C	42 mm
Aprile	10 °C	18 °C	26 mm
Maggio	14 °C	22 °C	22 mm
Giugno	18 °C	27 °C	15 mm
Luglio	21 °C	30 °C	11 mm
Agosto	21 °C	30 °C	14 mm
Settembre	18 °C	27 °C	26 mm
Ottobre	14 °C	22 °C	59 mm
Novembre	10 °C	17 °C	53 mm
Dicembre	7 °C	14 °C	58 mm

Tabella 1 – Temperature e precipitazioni medie mensili calcolate su 30 anni per la stazione di Taranto.

Sono state anche analizzate le piogge intense per effettuare il dimensionamento delle reti scolanti delle acque meteoriche dei piazzali e per la verifica dei collettori fognari.

Lo studio delle piogge per il dimensionamento della rete scolante è stato limitato all'esame delle cosiddette "precipitazioni intense", con riferimento, cioè, a precipitazioni di notevole intensità e di durata limitata (dell'ordine delle ore o frazioni di ora). Tali precipitazioni sono di particolare interesse nei riguardi del problema del dimensionamento delle opere di allontanamento delle acque di pioggia, essendo, in casi di questo tipo, il tempo di corrivazione delle superfici considerate pari al tempo di pioggia.

Il calcolo delle altezze di precipitazione per assegnato tempo di ritorno è stato effettuato utilizzando il metodo proposto nello studio "VAPI-Puglia" in cui il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia è stato suddiviso in sei "zone pluviometriche omogenee" (Figura 2), individuando, per ciascuna di queste, i coefficienti delle curve di possibilità climatica.

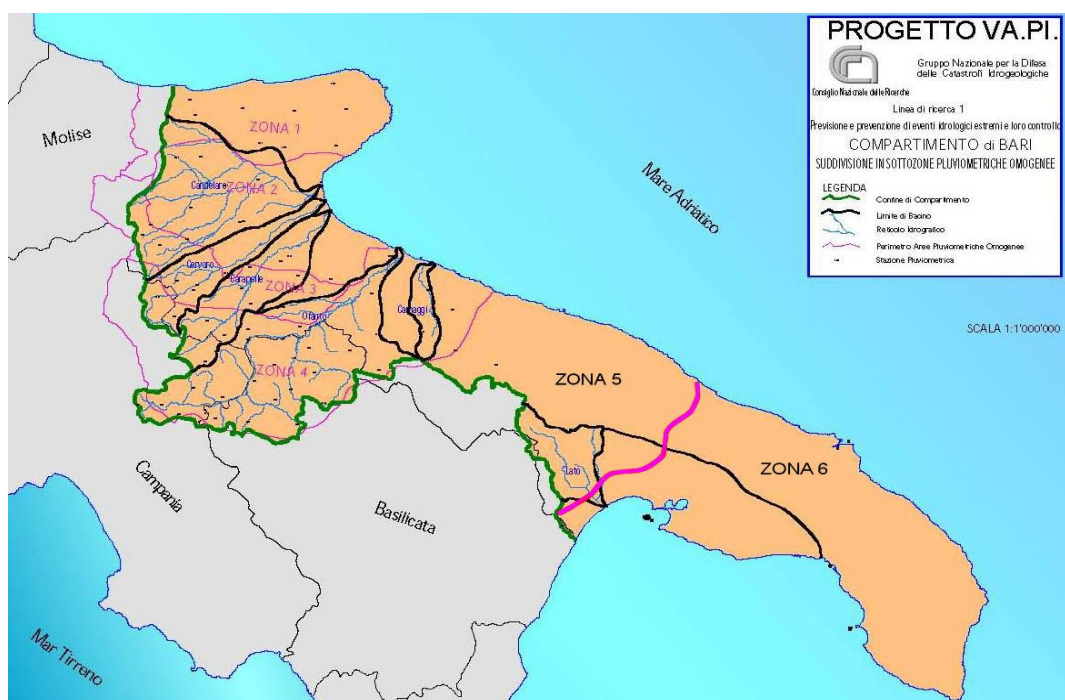


Figura 2 – Zone pluviometriche omogenee della Puglia (Progetto VA.PI.)

Tali coefficienti sono stati determinati in base a tre livelli di regionalizzazione dei dati pluviometrici locali e definiscono le curve di possibilità climatica attraverso l'espressione:

$$h = a t^n$$

dove il parametro "a" è determinato mediante la seguente espressione dipendente dal tempo di ritorno "T" per mezzo del fattore di crescita "KT":

$$a = \lambda KT$$

e il parametro "n" è determinato mediante la seguente espressione dipendente dalla quota media del bacino "z":

$$n = (b+c) z / d$$

Per ognuna delle 6 aree pluviometriche omogenee è possibile, quindi, calcolare la Curva di Possibilità Pluviometrica. Taranto ricade nella zona 6 per la quale è valida l'equazione:

$$x(t,z) = 33.7 t^{[(0,488+0,0022Z)/3,178]}$$

Per 4 aree omogenee sulle 6 totali, è stato preso in considerazione il parametro geomorfologico "z" della quota assoluta sul livello del mare (espressa in metri). Ai valori così ottenuti, vanno applicati coefficienti moltiplicativi relativamente al Fattore di Crescita K_T (funzione del tempo di ritorno dell'evento di progetto, espresso in anni), ed al Fattore di Riduzione Areale K_A (funzione della superficie del bacino espressa in km^2 , e della durata dell'evento di progetto espressa in ore).

Per quanto concerne il Fattore di Crescita nelle zone 5-6 (Puglia Centro-Meridionale) la formula di calcolo è:

$$K_T = 0.1599 + 0.5166 \ln T$$

2.2. Scelta della Curva di Possibilità Pluviometrica

L'area dell'ex yard Belleli, ricade nella zona 6 e pertanto le curve di possibilità pluviometrica per eventi meteorici di durata da 1 a 24 ore e per diversi tempi di ritorno si ricavano dalla seguente formula:

$$x(t,z) = K_T 33.7 t^{[(0,488+0,0022Z)/3,178]}$$

dove Z è l'altezza media del bacino imbrifero pari a 3 m s.l.m.

	Tempo di ritorno (anni)											
	2	5	10	20	25	30	40	50	100	200	500	1000
K_T	0,52	0,99	1,35	1,71	1,82	1,92	2,07	2,18	2,54	2,90	3,37	3,73
a	17,46	33,41	45,48	57,54	61,43	64,60	69,61	73,49	85,56	97,63	113,58	125,65
n	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156	0,156

Poiché, l'operatività del piazzale per la gestione e movimentazione dei sedimenti pericolosi è limitata ad un periodo massimo di 18 mesi, cautelativamente, si è fatto riferimento al tempo di ritorno quinquennale.

In ogni caso, tutti i metodi di calcolo si basano sull'assunzione che il periodo di ritorno T della portata al colmo coincide con quello delle precipitazioni utilizzate nel calcolo. Per una rete lineare non ramificata come quella in progetto, si può supporre che la pioggia critica sia quella di durata pari al tempo massimo di corrivazione, valutato a priori tenendo conto della massima lunghezza di percorso idrico nella rete e delle presumibili velocità a cui vanno aggiunti alcuni minuti primi come tempo occorrente all'acqua per raggiungere la fognatura.

Pertanto, considerando un tempo di pioggia pari al tempo di corrivazione (che rappresenta il tempo di percorrenza delle gocce di pioggia per raggiungere, dal punto di caduta, la canalizzazione) che può essere espresso come:

$$t_c = t_a + t_r$$

dove:

t_a = tempo di ruscellamento (o tempo di accesso alla rete) pari al tempo massimo impiegato dalle particelle di pioggia a raggiungere la condotta a partire dal punto di caduta;

$t_r = L/V$ - rappresenta il tempo di vettoriamento o tempo di percorrenza entro le canalizzazioni

L'altezza di pioggia per un tempo di ritorno di 5 anni è pari a $h = 33,41 \times t_c^{0.156}$

Di conseguenza l'intensità di pioggia che si ottiene per piccoli bacini è: $i = \frac{h}{t} = 33,41 \times t_c^{-0.156}$

Considerato un tempo di corrivazione di 15 minuti, l'intensità di pioggia è pari a circa 10,37 mm.

2.3. Gestione delle acque meteoriche e di prima pioggia nell'area di cantiere

Le acque meteoriche che ricadono sull'area del piazzale e delle strade perimetrali alle vasche di stoccaggio vengono inviate in una canaletta rivestita con elementi prefabbricati trapezoidali giuntati. L'area pavimentata risulta pari a circa 3,2 ha. Per la valutazione delle portate in base alle quali dimensionare le opere di smaltimento si utilizza il metodo cinematico secondo la formula:

$$Q = \varphi \times I \times A$$

dove: φ è il coefficiente di afflusso, rapporto tra volume affluito ai collettori e quello precipitato sul terreno (tra 0,2 per superfici permeabili e 0,8 per superfici pavimentate);

$I(t_c)$ è l'intensità di precipitazione relativa al tempo di corrivazione caratteristico dell'area, ricavata dalle leggi di possibilità climatica sopra descritte.

t_c è il tempo di corrivazione.

A è l'area della superficie per la quale si valuta la portata.

Applicando i dati geometrici dell'area, considerato un tempo di corrivazione di 15 minuti, la portata massima risulta pari a circa 370 l/s compatibile con la sezione trapezoidale dei canali di gronda (0,40/0,60 x 0,50 di altezza e sezione di 0,25 m²).

Le acque meteoriche, potenzialmente inquinate, saranno cautelativamente accumulate per un volume complessivo di $(32.000 \times 0,01037) \text{ m}^3 = 332 \text{ m}^3$ ripartiti tra il volume invasabile nella canaletta sub-orizzontale lato mare a sezione trapezoidale (Figura 3), che per la lunghezza utile di circa 600 m fornisce un volume di circa 110 m³ e da 4 vasche interrato prefabbricate in C.A. (delle dimensioni 12,50 x 2,50 x 2,50m), di circa 59 m³ ciascuna (vedi Figura 4, per un volume totale di circa 336 m³ vasche + 110 m³ canaletta = 346 m³).

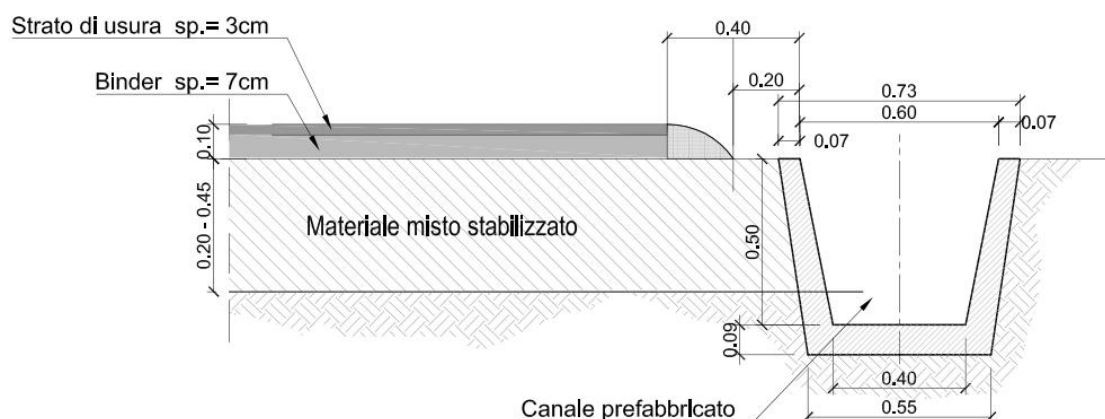


Figura 3 – Particolare della pavimentazione e della canaletta perimetrale di raccolta delle acque.

Il volume invasato verrà inviato a trattamento direttamente al TAF di Yard Belleli, già appaltato, tramite un impianto di sollevamento dimensionato per una portata pari a circa 4 l/s, con cui lo svuotamento della canaletta e della vasca viene assicurato in un tempo di circa 24 ore, inferiore alle 48 ore prescritte dalla normativa.

Il pozzetto di raccordo a monte delle vasche di prima pioggia è dotato di una tubazione di troppo pieno. Le vasche sono ispezionabili e chiuse a livello stradale tramite chiusini di ghisa classe F 900 UNI EN 124 per zone portuali aeroportuali e industriali.

La sistemazione definitiva del drenaggio delle acque meteoriche dei futuri piazzali dell'area portuale, viene pertanto rimandato alle opere di completamento dell'ex Yard Belleli, che prevedono una rete di collettori e una serie di impianti per il trattamento delle acque di prima e seconda pioggia come richiesto dalla normativa vigente della Regione Puglia.

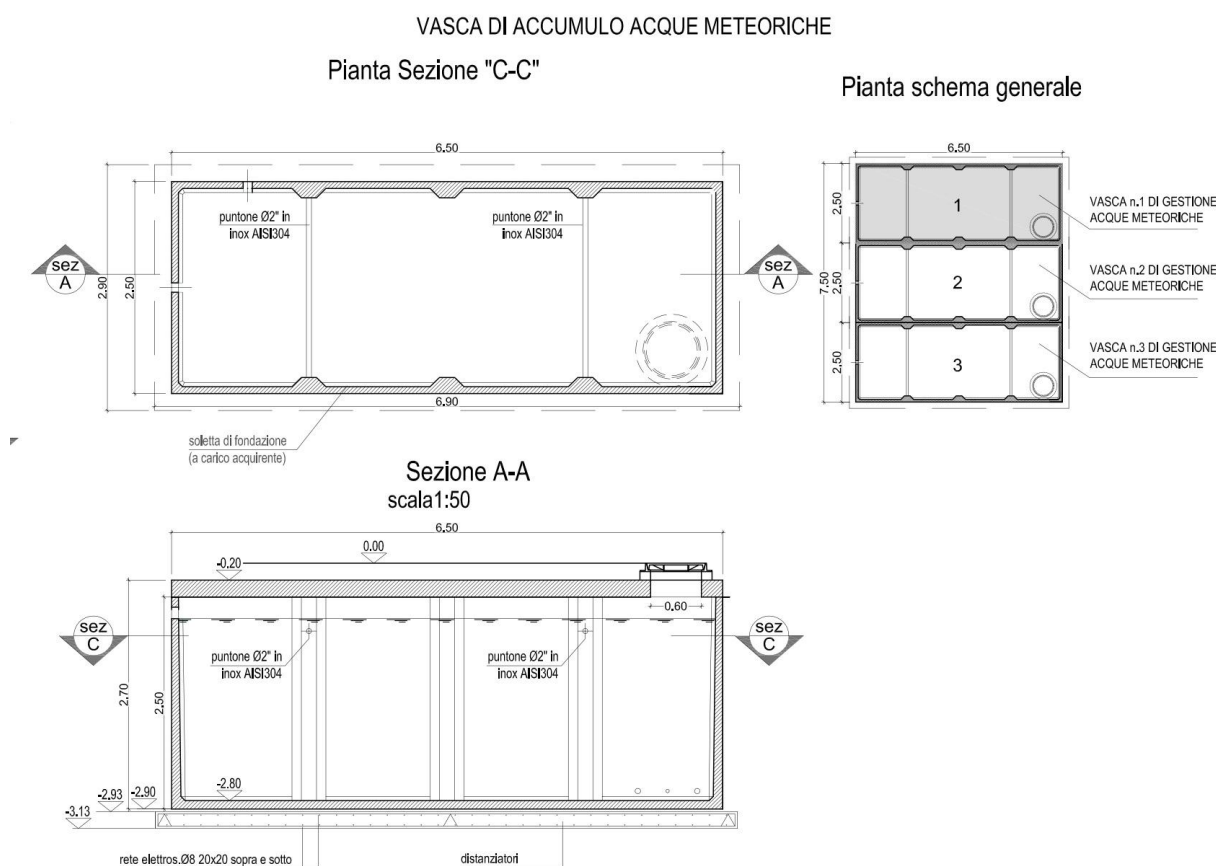


Figura 4 - Vasche modulari di accumulo acque meteoriche.

La stazione di sollevamento per lo svuotamento delle vasche di prima pioggia e per la mandata delle acque di drenaggio al TAF, sarà costituita da n. 2 pompe sommergibili uguali, una di riserva all'altra, corredate dai relativi accessori elettrici ed idraulici.

Il calcolo della prevalenza delle pompe è stato effettuato tenendo conto del dislivello geodetico, delle perdite di carico distribuite lungo la condotta e di quelle concentrate determinate dalle apparecchiature (valvole di ritegno e di sezionamento, curve, etc.). La condotta di mandata dall'impianto di sollevamento è prevista in PEAD 100 PN 16 DE 140 mm per condotte in pressione, il cui diametro interno (di calcolo) è pari a 114,6mm.

Le perdite di carico concentrate sono state trasformate in lunghezza aggiuntiva equivalente della condotta, secondo letteratura, mentre quelle lineari sono state calcolate con la formula di Darcy:

$$J = \frac{Av^2}{2gD}$$

dove: v è la velocità della portata

D è il diametro interno della condotta

g è l'accelerazione di gravità

λ coeff. di resistenza calcolato con la formula di Colebrook

dove Re è il numero di Reynolds

ε è la scabrezza

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

Per la portata stabilita di 4 l/s e la prevalenza calcolata di circa 12 m, sono necessarie pompe della potenza di circa 3 kW ciascuna.

Le opere civili delle stazioni di pompaggio sono interrate e realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera. La struttura è suddivisa in una camera di alloggiamento delle pompe ed in un pozzetto di alloggiamento delle apparecchiature, chiusi a livello stradale tramite tre chiusini di ghisa classe F 900 UNI EN 124 per zone portuali aeroportuali e industriali. Le sezioni tipologiche della stazione di pompaggio sono riportate nella seguente Figura 5.

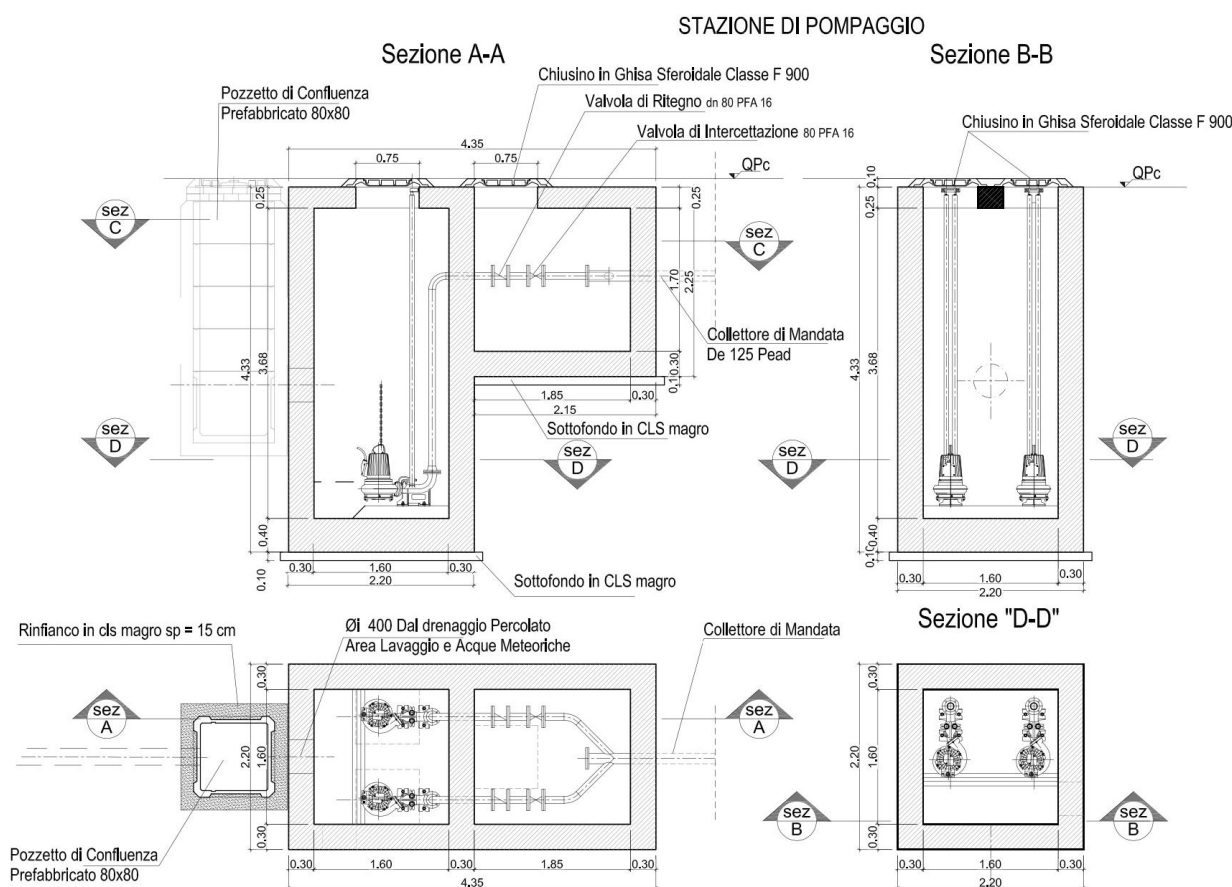


Figura 5 - Sezioni della stazione di pompaggio.

Le condotte in pressione in PEAD per acquedotti (UNI-EN 12201), con giunti elettrosaldati, sono poste in opera su di un letto di sabbia rinfiancato con materiale di risulta. La sezione tipo è riportata nella seguente Figura 6.

SEZIONE DI POSA DELLE TUBAZIONI IN PRESSIONE scala 1:20

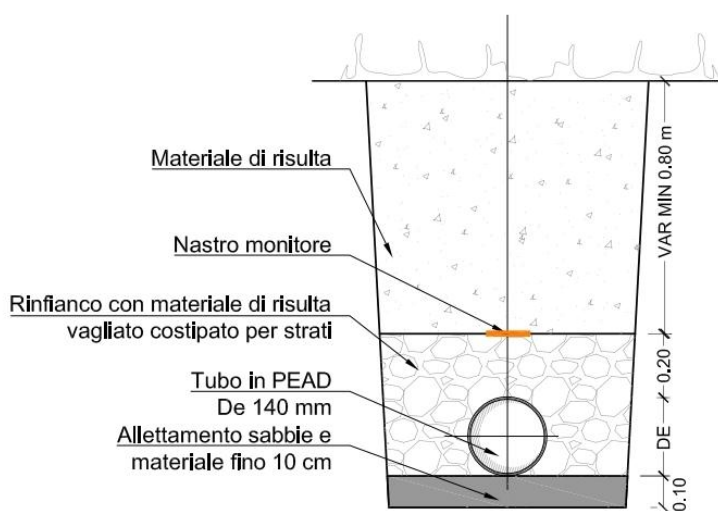


Figura 6 - Sezione di posa delle tubazioni in pressione.

3. IMPIANTO DI SOLLEVAMENTO DELLE ACQUE DI RISULTA DEI SEDIMENTI VIOLA AL TAF

La stazione di pompaggio per le acque di drenaggio dell'impianto di disidratazione dei sedimenti pericolosi, rilancia le acque, tramite condotta premente alla vasca di equalizzazione del TAF. Il sollevamento è equipaggiato con 2 pompe sommergibili uguali, una di riserva all'altra, corredate dai relativi accessori elettrici ed idraulici.

Il calcolo della prevalenza delle pompe è stato effettuato tenendo conto del dislivello geodetico, delle perdite di carico distribuite lungo la condotta e di quelle concentrate determinate dalle apparecchiature (valvole di ritegno e di sezionamento, curve, etc.).

Anche in questo caso, le perdite di carico concentrate sono state trasformate in lunghezza aggiuntiva equivalente della condotta, mentre quelle lineari sono state calcolate con la formula di Darcy e il coefficiente di resistenza calcolato con la formula di Colebrook.

Le condotte di mandata dagli impianti di sollevamento sono previste in PEAD per condotte in pressione PN 10 bar.

Con la portata di progetto pari a circa 4 l/s, sono necessarie tubazioni DN 140 mm, che hanno un diametro interno di 114,60 mm. La velocità in condotta è di circa 0,40 m/s e la perdita di carico di 1,35 m/km. Sono necessarie pompe della potenza di circa 3 kW ciascuna con prevalenza di circa 12 m, per le quali si riporta in Figura 7 una curva caratteristica tipica di un'apparecchiatura in commercio con NPSH nullo.

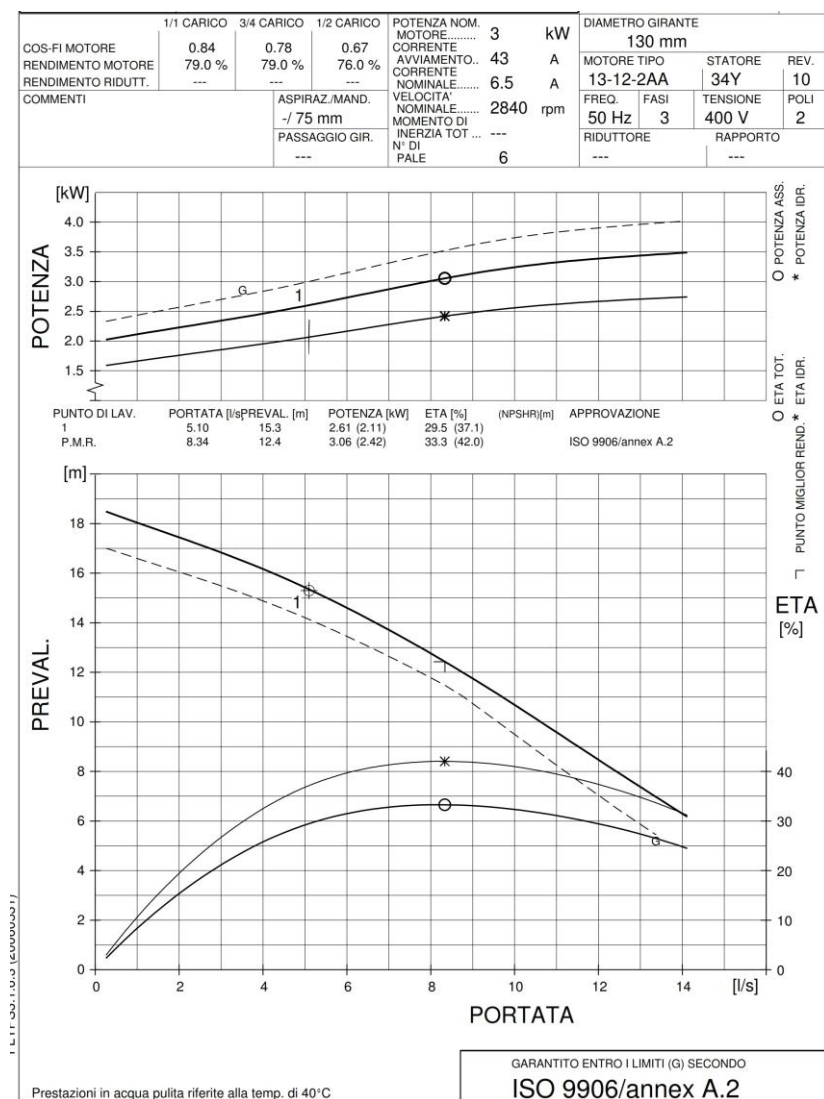


Figura 7 - Curva caratteristica tipo delle pompe

Le opere civili delle stazioni di pompaggio, uguali a quelle della stazione di sollevamento delle acque di prima pioggia da inviare al TAF (capitolo precedente), sono completamente interrata e realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera. La struttura è suddivisa in una camera di alloggiamento delle pompe ed in un pozzetto di alloggiamento delle apparecchiature, chiusi a livello stradale tramite tre chiusini di ghisa classe F 900 UNI EN 124 per zone portuali aeroportuali e industriali. Le sezioni tipologiche della stazione di pompaggio sono riportate nella seguente Figura 8.

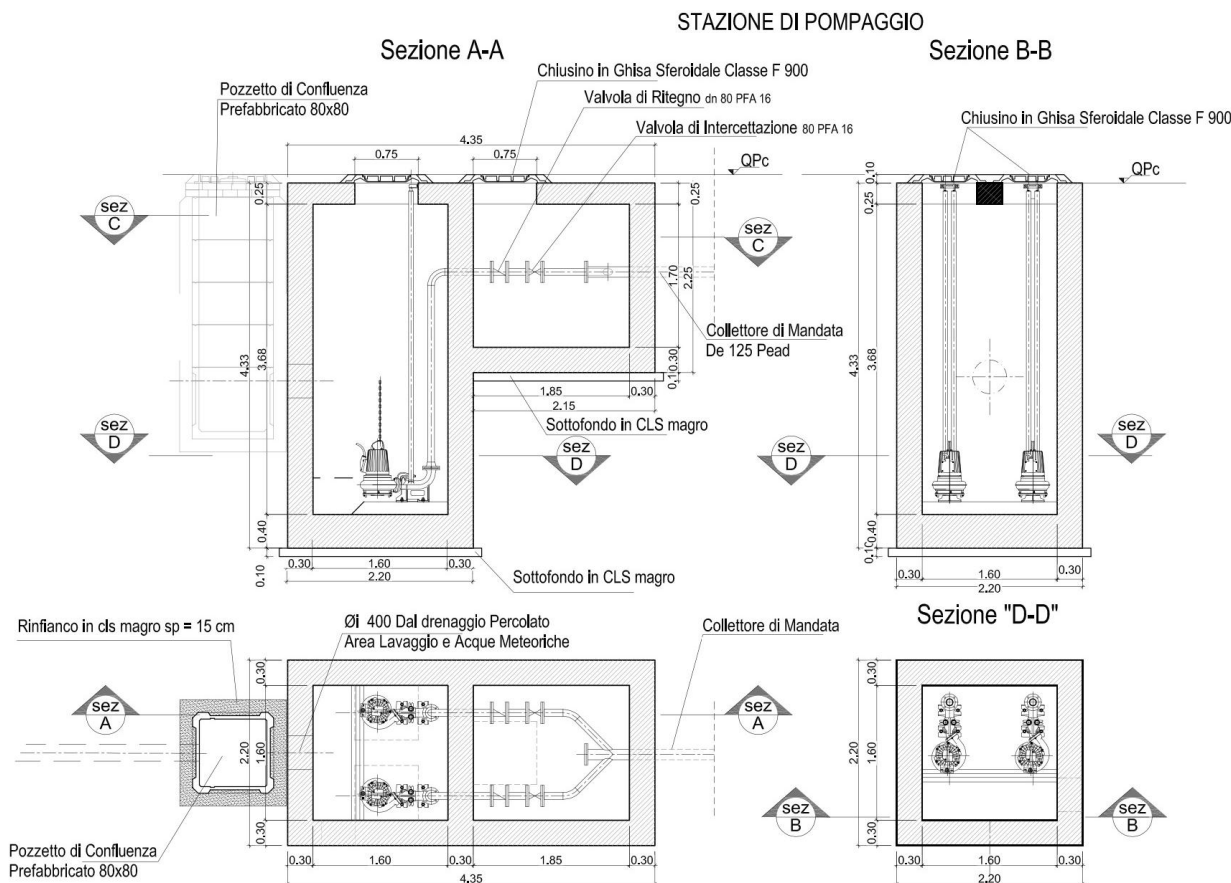


Figura 8 - Sezioni della stazione di pompaggio

Le condotte in pressione in PEAD per acquedotti (UNI-EN 12201), con giunti elettrosaldati, sono poste in opera su di un letto di sabbia rinfiacciato con materiale di risulta vagliato e sono presidiate da un nastro di segnalazione.

4. DIMENSIONAMENTO DELLE OPERE DI ALLONTANAMENTO DELLE ACQUE DI ESubERO DELLA CASSA DI COLMATA

Terminata la realizzazione della cassa di colmata, sarà possibile iniziare le attività di dragaggio. Sarà, quindi, necessario gestire i sedimenti in arrivo alla vasca per fare in modo che le acque di esubero, restituite in mare mediante un canale di gronda realizzato sulla scogliera del V sporgente, non siano torbide.

Il dragaggio, come descritto sinteticamente nelle premesse, sarà effettuato per fasi, delle quali, ai fini della limitazione della torbidità, le più delicate sono le fasi 3 e 4, in cui saranno dragati grandi quantità di materiale in tempi ridotti.

Più in dettaglio, il materiale dragato e refluito in cassa di colmata sarà una miscela di sedimenti e acqua di mare, in proporzione variabile in relazione alla tecnologia di dragaggio. In progetto si è previsto di effettuare il dragaggio sempre con mezzi meccanici, con i quali il rapporto acqua/sedimenti è al massimo pari a 1:1. Quindi, metà della portata immessa in cassa di colmata, al massimo, dovrà contestualmente essere allontanata come acque di esubero.

I sedimenti della calata Polisettoriale, oggetto di dragaggio, sono costituiti da sabbie, limi e argille con una netta preponderanza delle granulometrie più fini, che sono quelle che condizionano pesantemente i tempi di sedimentazione in vasca (Figura 9).

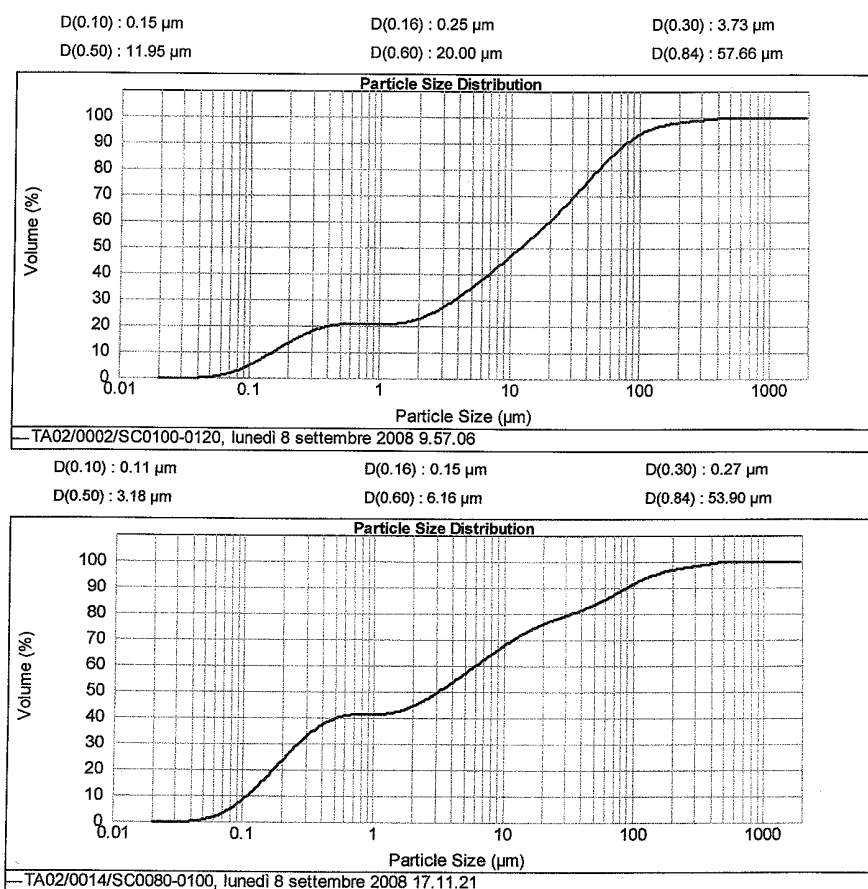


Figura 9 – Curve granulometriche di due campioni di sedimenti da dragare riportate a titolo di esempio (ISPRA)

Tali caratteristiche dei sedimenti inducono ad adottare particolari accorgimenti per garantire e migliorare la sedimentabilità dei solidi in cassa di colmata, al fine rispettare per l'effluente i limiti imposti dal D.lgs 152/2006 per i solidi sospesi (80 mg/l).

Tali accorgimenti, descritti di seguito in maniera dettagliata, riguardano:

- ✓ la modalità di dragaggio;
- ✓ la funzionalità e la gestione del refluento della cassa di colmata.

Diversi fattori possono determinare la presenza di particelle in sospensione, come ad esempio la turbolenza che si crea nella zona di refluento e, soprattutto, elevate velocità dell'acqua di esubero, con conseguente trascinarsi di particelle al di fuori della cassa di colmata.

Il valore della velocità di decantazione dei sedimenti in oggetto, che dovrà essere stabilito sperimentalmente in una fase preliminare alla redazione del progetto esecutivo, è stato determinato nella presente relazione in base a dati di letteratura e in base a esperienze analoghe precedenti. In particolare, si è fatto riferimento a dati di letteratura che forniscono per la montmorillonite velocità di sedimentazione pari a 0,054 m/h (Grant Whitehouse et al., "Differential settling tendencies of clay minerals in saline waters"), nonché a prove condotte sui sedimenti del porto di Livorno, in occasione di uno studio sulle modalità di gestione della cassa di contenimento realizzata all'esterno della diga del Marzocco, in cui la velocità di sedimentazione calcolata è risultata pari a 0,021 m/h.

Per calcolare la massima velocità dell'acqua di esubero in cassa di colmata, è stata considerata la massima portata di refluento che, secondo quanto riportato nel cronoprogramma di progetto per le attività di dragaggio, è la portata che si determina durante il periodo di sovrapposizione tra le fasi 3a e 4b (di circa 16 giorni), in cui la portata di miscela refluita in cassa è stimata pari a 1.093 m³/ora (Tabella 2 seguente).

Tabella 2 – Cronoprogramma delle fasi di dragaggio e volumi giornalieri di miscela acqua/sedimenti refluita in cassa di colmata.

CRONOPROGRAMMA DELLE FASI DI DRAGAGGIO					
			[giorni]	[m ³ /gg]	[m ³ /h]
FASE 3a	08-mar-14	29-apr-14	53	11.989	599
FASE 3a - 4a	30-apr-14	04-giu-14	36	19.867	993
FASE 3a - 4b	05-giu-14	20-giu-14	16	21.864	1.093
FASE 3b - 4b	21-giu-14	11-lug-14	21	17.753	888
FASE 4b	12-lug-14	21-lug-14	10	9.875	494
FASE 5a	22-lug-14	09-ott-14	80	4.844	242
FASE 5b	10-ott-14	27-nov-14	49	4.827	241
FASE 6	28-nov-14	20-lug-15	235	4.825	241

Considerato, quindi, il volume della cassa di colmata pari a 2,3 M m³, è stato calcolato il tempo di residenza in vasca della miscela che, nell'ipotesi che l'immissione avvenga nel punto più lontano dal canale di raccolta delle acque, è risultato pari a circa 87 giorni, con una velocità massima della portata di circa 0,3 m/h, insufficiente a consentire la sedimentazione della frazione argillosa più fine. Per la portata minima, invece, la velocità delle acque di esubero sarà pari a 0,07 m/h, tale da consentire la sedimentazione delle particelle fini.

Per le portate maggiori, quindi, sarà necessario adottare, durante il refluito della miscela, diversi accorgimenti per diminuire le velocità in uscita, sfruttando sia la lunghezza del canale di gronda che l'effetto di laminazione dato dal volume di invaso del bacino di colmata.

In particolare, si è deciso di cominciare a gestire l'allontanamento delle acque della cassa di colmata già prima dell'inizio delle attività di dragaggio, utilizzando un'idrovora galleggiante che consenta di abbassare il livello in vasca di circa 1,5 m rispetto al livello medio marino. Questo abbassamento, considerato che si prevede di invasare miscela nella vasca fino alla quota di circa +1,5 m s.l.m.m., ci consente di avere un volume di invaso e laminazione delle portate in ingresso e uscita pari a circa 828.700 m³.

L'acqua della cassa di colmata, quindi, sarà allontanata mediante una pompa per drenaggio (idrovora) per alte portate, in grado di sollevare una portata di 400 l/s con una prevalenza di 4,5 m, in grado di portare il livello dell'acqua in cassa di colmata a quota -1,5 m s.l.m.m. in circa 8-10 giorni al massimo. La potenza prevista dell'apparecchiatura è di 40kW.

L'idrovora prevista, montata su un pontone mobile, potrà essere spostata via via nelle aree più lontane da quelle di refluito e la portata drenata potrà essere mandata al di fuori del bacino sia direttamente, quando si agisce in aree vicine al palancolato esterno, sia utilizzando il canale di allontanamento delle acque di esubero, che è dimensionato per smaltire anche tali portate.

Le attività di refluito dei sedimenti in cassa di colmata dovranno cominciare dalle zone del palancolato più lontane dal canale di efflusso, andando verso est. In queste fasi iniziali potrà essere ancora attivata l'idrovora, che aspirerà l'acqua pulita rimasta intrappolata nella cassa di colmata e ancora lontana dai sedimenti refluiti, con la funzione di mantenere quanto più basso possibile il livello marino all'interno della vasca, e mantenendo intatto il volume laminazione.

Si è progettato di gestire le acque in modo da utilizzare al meglio il volume di laminazione nelle fasi finali del dragaggio, quando ormai gran parte del volume della cassa di colmata sarà interessato dalla torbidità dovuta al refluito dei sedimenti. In queste fasi, il volume di laminazione ancora disponibile consentirà di diminuire fortemente le portate di acqua effluente, mantenendo le velocità in vasca tali da consentire la sedimentazione almeno di tutti i limi.

Inoltre, per evitare che la torbidità dell'acqua della zona di refluito si estenda sin dalle prime fasi al resto della cassa di colmata, saranno utilizzate le panne antitorbidità, di cui la prima linea sarà posta immediatamente a ridosso dell'area di refluito, e altre due linee poste trasversalmente alla cassa di colmata in direzione nord-sud. Le panne galleggianti, da installare in cassa di colmata, previste in progetto sono di due tipi:

- ✓ panne antitorbidità per circuire l'area di refluito della miscela dragata; dotate di appendice zavorrata regolabile in grado di garantire continuità di contenimento anche su fondali di vari livelli (comprese le parti più profonde della cassa di colmata), bordo libero di almeno 0.5 m, tessuto in poliestere spalmato in PVC, dotate di rinforzi per evitare i carichi concentrati e con sistema di collegamento tra le sezioni a sovrapposizione;
- ✓ le panne galleggianti per realizzare i setti divisorii all'interno della cassa di colmata, che saranno poste trasversalmente alla direzione principale di flusso delle acque; con caratteristiche analoghe alle precedenti, ma un'altezza totale minima di 4 m.

Quando il livello marino nella cassa di colmata avrà raggiunto la quota di +0,5 m s.l.m.m, si potrà attivare anche il canale di gronda, cominciando a regolarne le paratoie. Si è prevista l'installazione di 6 paratoie della larghezza di 1.200 mm, di cui n. 3 a sfioro superiore (stramazzo rettangolare sulla lama della paratoia) e n. 3 a ghigliottina (a stramazzo inferiore sotto battente). Dalla combinazione delle diverse regolazioni che si possono effettuare con le paratoie, sarà

possibile far fluire nel canale di gronda le portate desiderate, mantenendo, nel contempo, il pelo libero nella cassa di colmata alla quota stabilita. Nella Figura 10 seguente è riportata una ipotesi di andamento dei volumi di miscela refluiti in cassa di colmata e di quelli di acqua di esubero allontanati, legata alla gestione prevista in progetto.

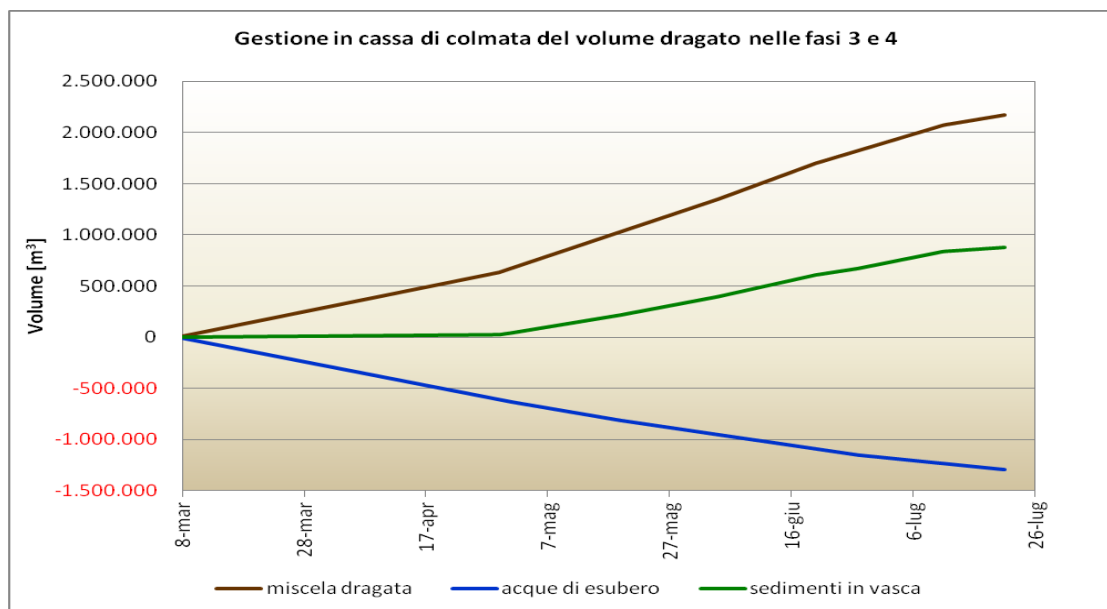


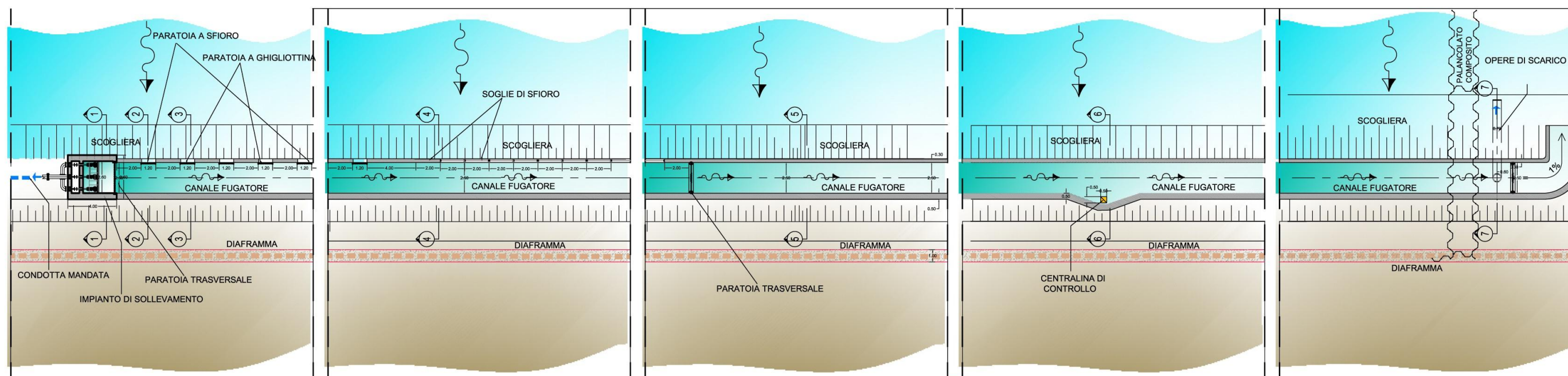
Figura 10 – Gestione delle portate refluite e in esubero dalla cassa di colmata e relativi volumi di invaso.

Il criterio regolatore per tutte le operazioni di allontanamento delle acque di esubero, comunque, sarà sempre quello di allontanare le portate maggiori nelle fasi iniziali del dragaggio, quando le acque all'interno della cassa di colmata sono ancora limpide, perché non ancora interessate dal refluitamento. Si dovrà porre particolare attenzione quando la superficie liquida della cassa di colmata, utile per la sedimentazione e quindi non ancora interessata dalle acque torbide, si approssimerà a circa 1/5 di quella iniziale. In tale situazione, considerando la portata massima (1.100 m³/h), il carico idraulico superficiale sarebbe quasi pari alla velocità di sedimentazione dei limi.

Il canale di gronda in calcestruzzo armato a sezione rettangolare, realizzato in opera sulla scogliera del V sporgente, è stato dimensionato per smaltire le portate massime e verificato sia per quelle minime che per le portate emunte dall'idrovora. Esso ha una larghezza pari a 2,5 m e una pendenza prossima allo zero, in modo da mantenere bassa la velocità delle acque in uscita, continuando a favorire la deposizione di eventuali particelle ancora presenti

È stato progettato in modo tale che, nel caso di inammissibilità allo scarico diretto a mare, rilevata dalla centralina di monitoraggio in continuo di alcuni parametri, le acque di esubero della cassa di colmata potranno essere deviate, mediante un apposito sistema di paratoie automatizzate, verso la stazione di pompaggio, da cui saranno rilanciate all'impianto di trattamento. Infatti, il canale è costituito da diversi tratti con funzioni diverse (Figura 11 pagina seguente)

Figura 11 – Planimetria del canale di gronda e fugatore delle acque di esubero della cassa di colmata.



Tratto iniziale del canale, in cui sono collocati:

- la stazione di sollevamento all'impianto di trattamento delle acque di esubero, se non idonee allo scarico a mare;
- la paratoia trasversale di ingresso delle acque alla stazione di sollevamento;
- il primo tratto del canale di gronda con le paratoie a sfioro e a ghigliottina.

Secondo tratto del canale di gronda, in cui sono collocate le soglie di sfioro delle acque alla quota di massimo invaso.

Zona di passaggio tra il canale di gronda, in cui sono collocate le soglie di sfioro e il canale fugatore, che ha solo funzione di allontanamento delle acque.

I due tratti del canale sono separati da una paratoia trasversale che sarà chiusa soltanto in caso di non ammissibilità delle acque di esubero allo scarico, segnalata dalla stazione di controllo.

Tratto del canale fugatore in cui è installata la centralina di controllo in continuo delle acque in uscita, attrezzata con sonda multiparametrica e sensori per la misura della torbidità.

Tratto finale del canale fugatore con le opere di scarico a mare:

- tubazione di scarico sotto il livello del mare;
- paratoia trasversale da aprire solo in caso di non funzionamento della tubazione di scarico;
- scivolo di recapito delle acque sulla superficie del mare.

In particolare, andando da monte verso valle idraulico, come mostrato dalla figura della pagina precedente:

- ✓ Il primo tratto ha la funzione di canale di gronda e raccoglie le acque dalla vasca di colmata. Vi sono posizionati la stazione di sollevamento delle acque di esubero all'impianto di filtrazione, le 6 paratoie di modulazione della portata di esubero e di regolazione del livello idrico in cassa di colmata, la soglia lineare di sfioro alla massima quota di invaso. Questo tratto del canale è sezionato da due paratoie, all'inizio e alla fine, la cui regolazione alternata permette di avviare le portate verso il recapito a mare o verso la stazione di sollevamento all'impianto;
- ✓ Il secondo tratto ha la funzione avviare le acque in esubero al recapito, cioè allo specchio di mare antistante la cassa di colmata. Vi sono posizionati la stazione di monitoraggio della torbidità e le opere di scarico a mare, cioè la tubazione che scarica le acque sotto il livello del mare nonché, in caso di malfunzionamento o rigurgito della stessa, il canale fugatore che le scarica sulla superficie.

Stazione di sollevamento delle acque di esubero all'impianto di trattamento.

La stazione di sollevamento delle acque di supero al trattamento è equipaggiata con 3 pompe sommergibili uguali, di cui una di riserva alle altre due, con la possibilità anche di utilizzo temporaneo delle 3 pompe in caso di punta massima della portata, il tutto corredato dai relativi accessori elettrici ed idraulici.

Il calcolo della prevalenza delle pompe è stato effettuato tenendo conto del dislivello geodetico, delle perdite di carico distribuite lungo la condotta e di quelle concentrate determinate dalle apparecchiature (valvole di ritegno e di sezionamento e dalle curve. La condotta di mandata dall'impianto di sollevamento è prevista in PEAD DN 500 per condotte in pressione PN 10 bar.

Le perdite di carico concentrate sono state trasformate in lunghezza aggiuntiva equivalente della condotta, secondo letteratura, mentre quelle lineari sono state calcolate con la formula di Darcy:

$$J = \frac{Av^2}{2g D}$$

dove: v è la velocità della portata

D è il diametro interno della condotta

g è l'accelerazione di gravità

λ coeff. di resistenza calcolato con la formula di Colebrook

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

dove Re è il numero di Reynolds

ε è la scabrezza

Sono, quindi state scelte pompe sommergibili per acque cariche della potenza di 20 kW, ciascuna in grado di sollevare una portata di 100 l/s con una prevalenza di circa 11 m. La stazione di sollevamento è stata verificata anche nel caso di funzionamento contemporaneo delle tre pompe per eventuali portate di punta, e l'incremento di prevalenza (che diventa circa 13,2 m) rientra nell'elasticità di funzionamento dell'apparecchiatura scelta.

Le opere civili della stazione di sollevamento, in linea con la parte iniziale del canale di gronda, sono in parte interrati e realizzate in calcestruzzo armato gettato in opera. La struttura è costituita da una camera di alloggiamento delle pompe, mentre le apparecchiature possono essere collocate fuori terra (Figura 12).

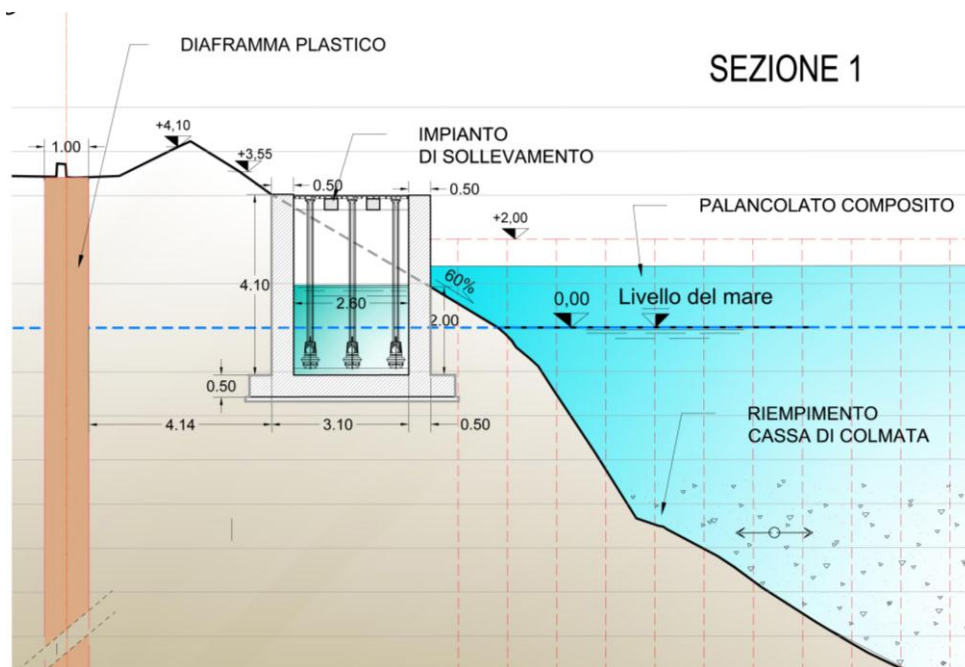


Figura 12 – Sezione del canale in corrispondenza della stazione di sollevamento delle acque di esubero al trattamento di filtrazione.

Canale di gronda.

Dopo la paratoia trasversale posta all'ingresso della stazione di sollevamento, che, in caso di ammissibilità delle acque allo scarico resterà chiusa, sarà realizzato il canale di gronda, con la funzione di raccolta delle acque di esubero. Tale raccolta potrà essere effettuata nel primo tratto, in cui sono installate le paratoie di regolazione, o nel secondo, in cui è installata la soglia di sfioro.

Sia le 3 paratoie a sfioro superiore che le 3 a ghigliottina, tutte della larghezza di 1,2 m, sono state dimensionate per assicurare l'uscita di una portata anche doppia rispetto alla massima prevista e, nel caso delle paratoie a ghigliottina, anche in condizione di regolazione alla massima quota di invaso. Il dimensionamento idraulico delle prime (a sfioro superiore) è stato effettuato applicando la formula valida per gli stramazzi Bazin (bocca di efflusso a stramazzo rettangolare in parete sottile):

$$Q = \mu b \sqrt{2 g h^3}$$

dove: Q è la portata

b è larghezza della soglia sfiorante

g è l'accelerazione di gravità

h è l'altezza idrica a monte sulla soglia

μ è il coefficiente di efflusso

$$\mu = \left(0,405 + \frac{0,003}{h} \right) \cdot \left(1 + 0,55 \cdot \frac{h^2}{H^2} \right)$$

H è l'altezza idrica a monte sul fondo del canale (carico)

Nella Figura 13 è mostrato, in sezione, un esempio di funzionamento del canale in corrispondenza di una paratoia a sfioro, con lo stramazzo dell'acqua di esubero dalla cassa di colmata sulla soglia della paratoia.

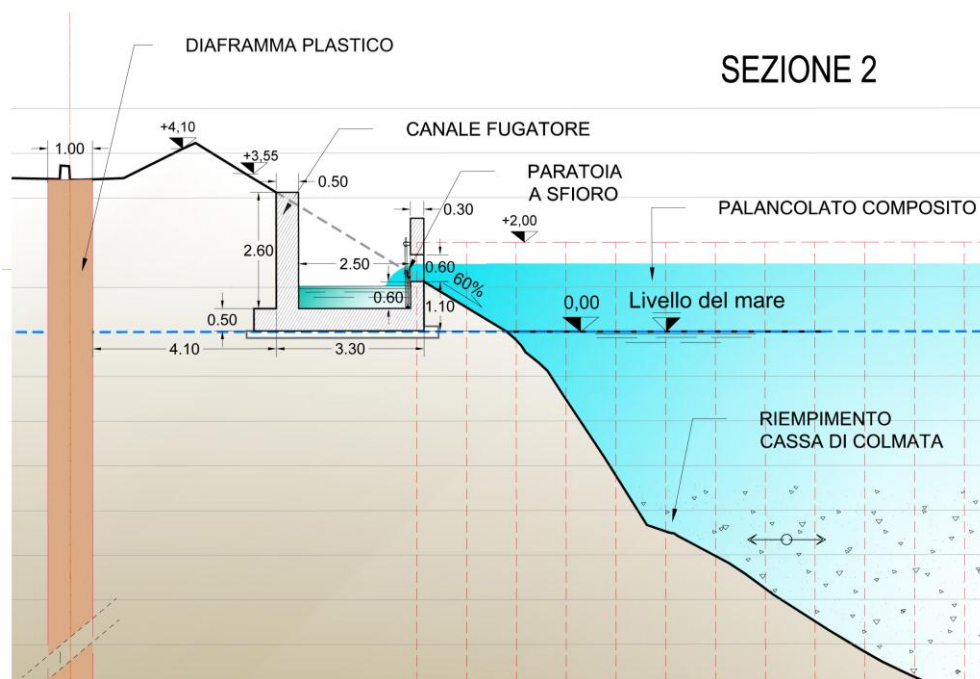


Figura 13 - Sezione del canale in corrispondenza di una paratoia a sfioro.

Il dimensionamento idraulico delle paratoie a ghigliottina, invece, è stato effettuato con la formula di efflusso sotto paratoia piana verticale, sollevate a battente, cioè:

$$Q = \mu \cdot a \cdot b \sqrt{2g(H - Cc \cdot a)}$$

dove: Q è la portata

a è la luce libera

b è larghezza della soglia sfiorante

g è l'accelerazione di gravità

H è l'altezza idrica a monte (carico)

μ è il coefficiente di efflusso ($C_v \times C_c$)

C_v è il coefficiente di riduzione della velocità pari a 0,97-0,99

C_c è il coefficiente di contrazione pari a 0,61

H è l'altezza idrica a monte sul fondo del canale

Nella Figura 14 di pagina seguente è mostrato, in sezione, un esempio di funzionamento del canale in corrispondenza di una paratoia a ghigliottina, con l'efflusso dell'acqua di esubero dalla cassa di colmata.

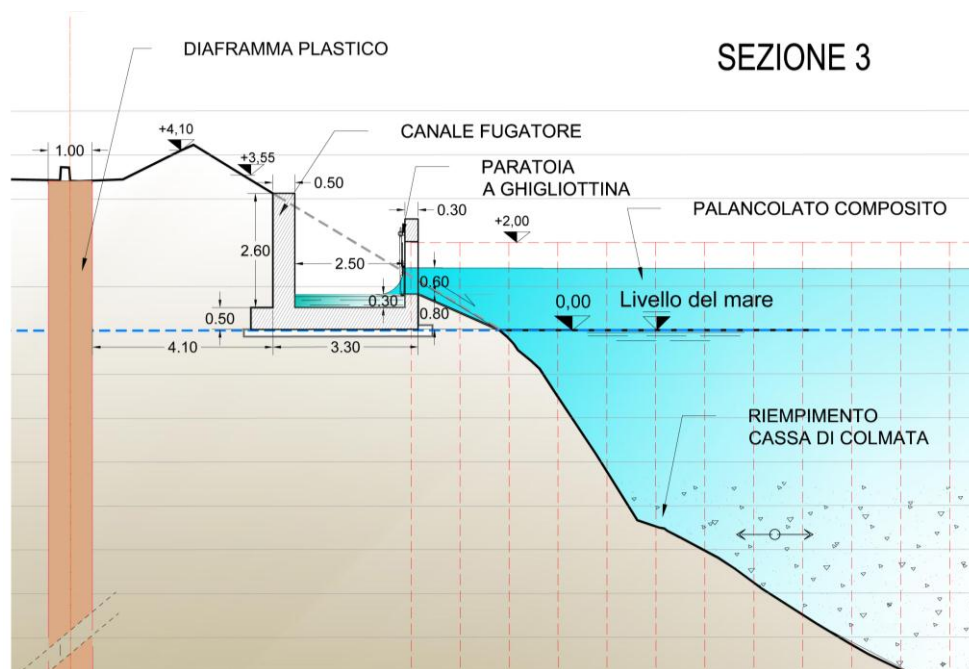


Figura 14 - Sezione del canale in corrispondenza di una paratoia a ghigliottina.

Nel tratto successivo (Figura 15) sono inserite le soglie di sfioro delle acque di esubero, che entrano in funzione quando il livello idrico dentro la cassa di colmata ha raggiunto la quota massima pari a + 1,5 m s.l.m.m..

La lunghezza della soglia di sfioro, pari a 300 m complessivi, è stata calcolata perché, anche con la massima portata di refluito prevista in progetto, la velocità dell'acqua nei pressi della soglia sia inferiore alla velocità di sedimentazione dei limi.

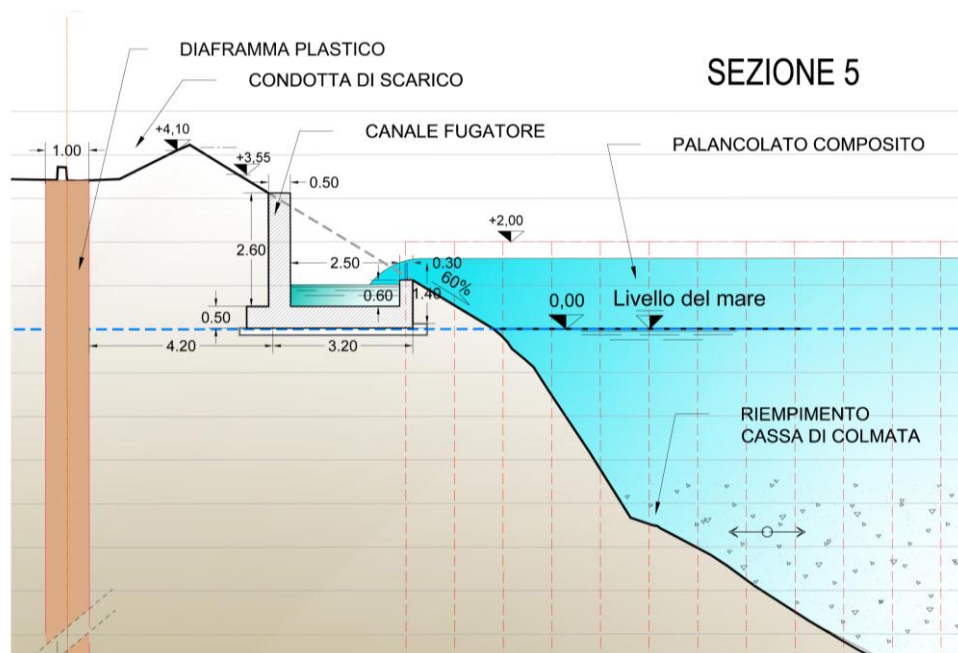


Figura 15 - Sezione del canale in corrispondenza della soglia di sfioro delle acque alla quota massima di invaso.

Per agevolare l'allontanamento delle acque in corrispondenza delle paratoie, anche in considerazione che l'emungimento dalla cassa di colmata avviene ortogonalmente alla direzione del canale creando turbolenza, si è assegnata una pendenza, in questo tratto, pari all'1%, determinando, così, una corrente veloce.

Canale fugatore (di recapito delle acque).

Nel canale, dopo la soglia di sfioro, è inserita una paratoia trasversale sempre aperta in caso di ammissibilità delle acque al recapito. In questo tratto, a pendenza quasi nulla, la corrente ridiventa lenta e il moto uniforme. Il risalto determinato dal passaggio da corrente veloce a lenta, calcolato, è inferiore a all'altezza delle sponde laterali, anche nel caso di massima portata.

Per il dimensionamento e la verifica del canale (Figura 16) è stata utilizzata la formula di Chezy

$$Q = A X (R i)^{1/2}$$

dove **A** è l'area della sezione bagnata;

R è il raggio idraulico pari a A/C , dove **C** è il contorno bagnato;

X è il coefficiente di scabrezza di Kutter pari a $X = 100/(1+(m/R)^{1/2})$ con **m** indice di scabrezza che, per un canale nuovo in calcestruzzo può essere assunto pari a 0.12.

L'altezza della corrente con la portata massima prevista sarà pari a circa 40 cm, mentre con la portata minima sarà pari a circa 15 cm. Il canale è stato verificato anche per smaltire la portata dell'idrovora ($0,4 \text{ m}^3/\text{s}$), in tal caso con un tirante idraulico pari a 50 cm circa.

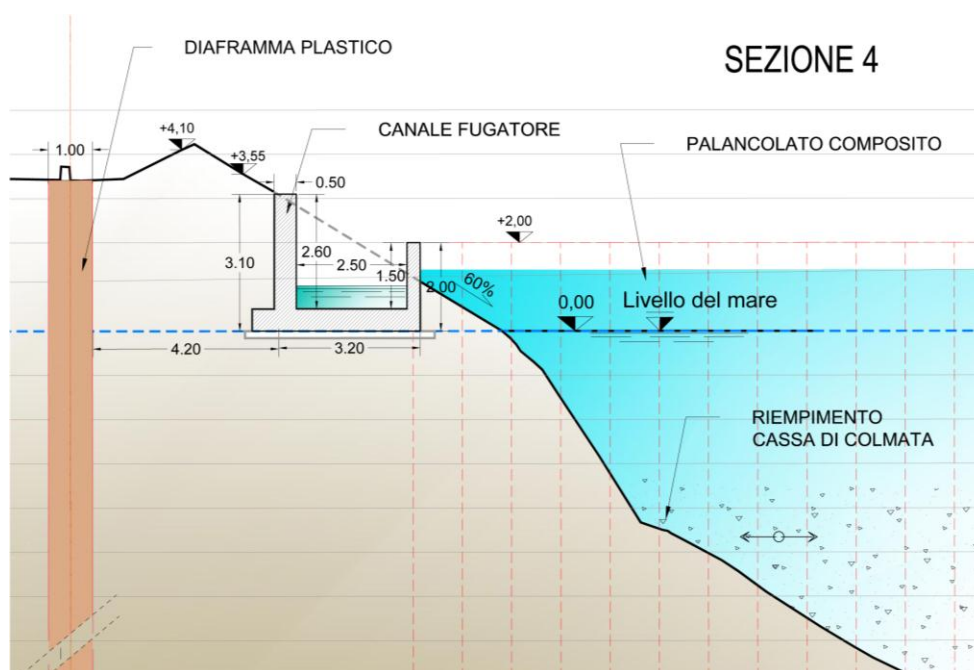


Figura 16 - Sezione del canale fugatore (in cui non c'è più ingresso delle acque dalla cassa di colmata).

In questo tratto del canale, verso l'uscita, è stata prevista l'installazione di una sonda multiparametrica in grado di rilevare in continuo la torbidità (Figura 17). La sonda sarà collegata ad una centralina di controllo, installata nell'area logistica, che in caso di non ammissibilità delle acque allo scarico, attiverà il sistema di paratoie, chiudendo le paratoie di valle e aprendo quella

di ingresso alla stazione di sollevamento, il cui pozzetto sarà riempito dalle acque raggiungendo il livello di attivazione delle pompe e avviando le acque all'impianto di sollevamento.

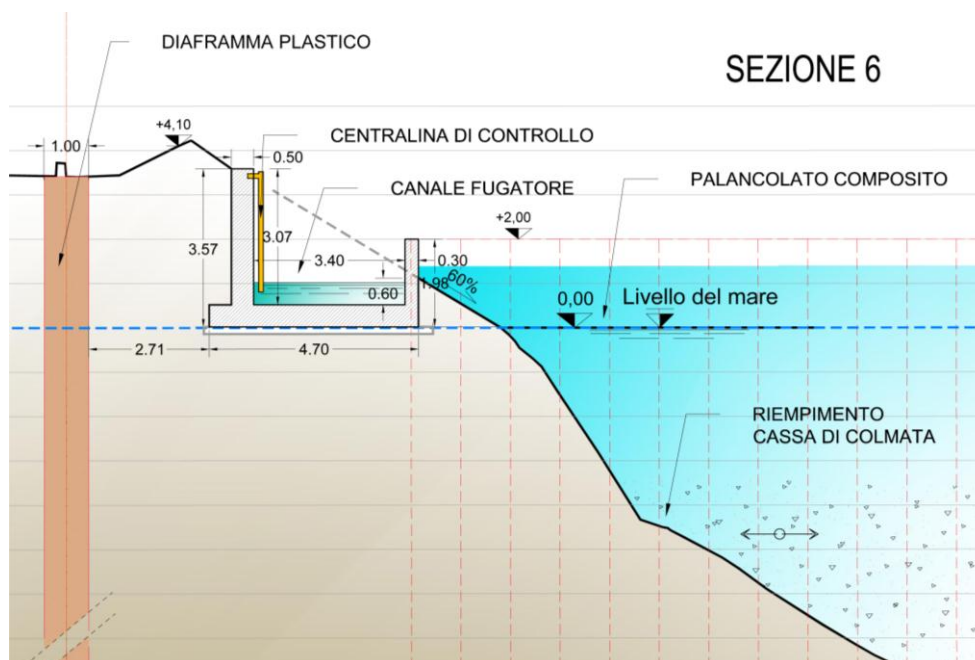


Figura 17 - Sezione del canale fugatore in corrispondenza della centralina di controllo della torbidità delle acque in uscita.

Nell'ultimo tratto, infine, sono previste le opere di scarico a mare e, in particolare, la tubazione DN 700 in ghisa sferoidale, che avvia la portata in esubero al recapito finale, sotto il pelo libero dell'acqua (circa -2,0 m s.l.m.m.).

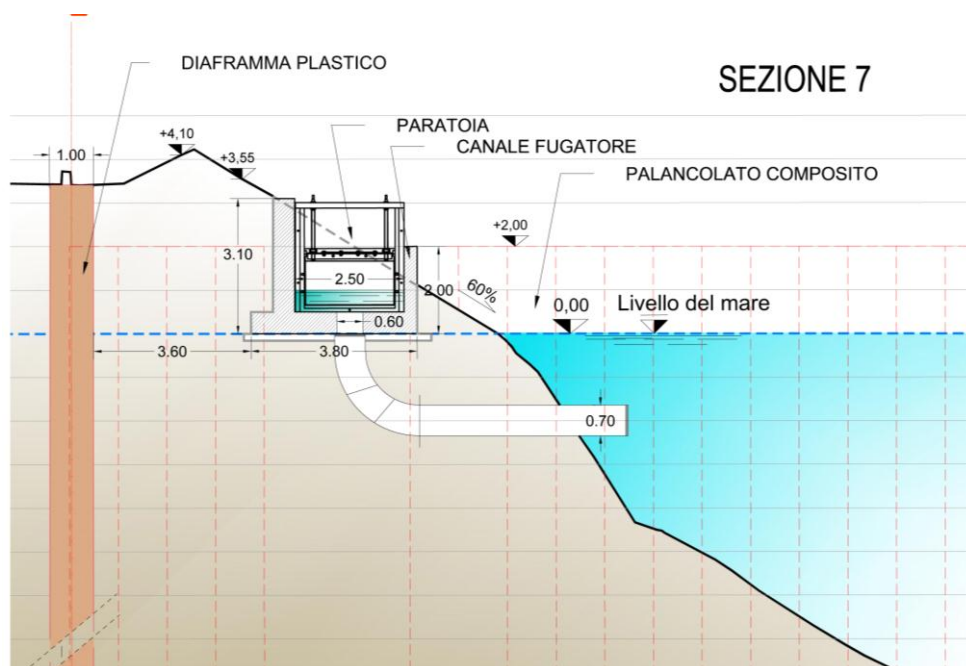


Figura 18 - Sezione del canale fugatore in corrispondenza dell'opera di recapito a mare delle acque di esubero.