



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 IMPIANTI DI TRATTAMENTO
DEI SEDIMENTI E DELLE ACQUE**

Elaborato
ED 014

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

4

rev.
0

PUG102PDED014_0

Rev. Data Descrizione modifica

verificato

approvato

0 ott/2012 1^a Emissione

INDICE

1	PREMESSA	1
1.1	Quadro progettuale di riferimento	1
2	GESTIONE DEI SEDIMENTI PERICOLOSI.....	4
2.1	Caratteristiche dei sedimenti pericolosi da dragare	4
2.2	Gestione dei sedimenti viola a terra	9
2.3	Trattamento di disidratazione dei sedimenti viola.....	10
2.3.1	<i>Dati di progetto</i>	10
2.3.2	<i>Vagliatura e Stoccaggio</i>	11
2.3.3	<i>Disidratazione meccanica dei fanghi</i>	12
2.4	Caratteristiche delle acque di risulta.....	17
2.5	Trattamento delle acque di risulta	21
2.5.1	<i>Descrizione dell'impianto TAF (oggetto di altro appalto)</i>	21
2.6	Verifica dell'idoneità del TAF al trattamento delle acque di risulta dei sedimenti pericolosi	23
2.6.1	<i>Dosaggio del coagulante primario</i>	23
2.6.2	<i>Dosaggio del biossido di cloro</i>	24
2.6.3	<i>Verifica della produzione di fanghi e dosaggio di polielettrolita</i>	27
2.6.4	<i>Verifica della sezione di disidratazione</i>	28
3	GESTIONE DELLE ACQUE DI ESUBERO DELLA CASSA COLMATA.....	30
3.1	Caratteristiche delle acque da trattare.....	30
3.1.1	<i>Caratteristiche chimiche dei sedimenti</i>	30
3.1.2	<i>Considerazioni riguardanti l'abbattimento del carico inquinante</i>	33
3.1.3	<i>Caratteristiche granulometriche</i>	34
3.1.4	<i>Considerazioni riguardanti la riduzione dei solidi sospesi</i>	36
3.2	Schema di processo dell'impianto di trattamento acque di esubero della cassa di colmata	38
3.2.1	<i>Filtrazione su sabbia</i>	38

INDICE DELLE FIGURE

Figura 1 - Inquadramento area (ovest di Punta Rondinella)	3
Figura 2 - Superamenti totali relativi allo strato 0-50 cm (ovest di Punta Rondinella)	5
Figura 3 - Filtropressa a piastre.....	13
Figura 4 - Bilancio di materia	14
Figura 5 - Superamenti totali nell'area della darsena Polisettoriale	32
Figura 6 - Granulometria dei sedimenti nell'area della Darsena polisettoriale (area tratteggiata in rosso)	35
Figura 7 - Schema di un filtro a sabbia	39
Figura 8 - Batteria di filtri in parallelo	39

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 1 - Caratterizzazione sedimenti nell'intorno delle aree oggetto di dragaggio (sedimenti viola).....	6
Tabella 2 - Classificazione granulometrica dei sedimenti.....	11
Tabella 3 - Bilancio di materia	14
Tabella 4 - Isotherme di adsorbimento.....	17
Tabella 5 - Concentrazioni massime nei sedimenti (S_{max} [mg/kg o $\mu\text{g}/\text{kg}$]) e concentrazioni stimate in fase liquida (C [mg/l o $\mu\text{g}/\text{l}$]).....	19
Tabella 6 - Concentrazioni massime nei sedimenti (S_{max} [mg/kg o $\mu\text{g}/\text{kg}$]) e concentrazioni stimate in fase liquida (C [mg/l o $\mu\text{g}/\text{l}$]).....	20
Tabella 7 – Quantitativi (m^3) di sedimenti da dragare, suddivisi per tipologia e fasi di dragaggio	33
Tabella 8 – Quantitativi (%) di sedimenti da dragare, suddivisi per tipologia e fasi di dragaggio	33
Tabella 9 - Dati di progetto dello stadio di filtrazione su sabbia	40
Tabella 10 - Dati di progetto dello stadio controlavaggio: Aria di lavaggio.....	40
Tabella 11 - Dati di progetto dello stadio di controlavaggio: Acqua di lavaggio	40

1 PREMESSA

La presente relazione descrive i processi di trattamento dei sedimenti contaminati e pericolosi, comprese le loro acque di risulta, e delle acque di esubero dalla cassa di colmata che dovessero presentare livelli di torbidità maggiori di quelli previsti dalle norme.

1.1 Quadro progettuale di riferimento

Il presente progetto prevede sia le attività di dragaggio dei sedimenti della calata Polisettoriale, effettuato sia a fini di bonifica ambientale che a fini di infrastrutturazione portuale, e la realizzazione di un primo lotto funzionale della cassa di colmata, con una capacità di circa 2,3 Mm³ (cfr fig.1), che possa contenere i sedimenti dragati. Sono altresì previste le opere accessorie necessarie alla gestione e trattamento dei sedimenti e delle acque dragate.

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 si prevede il dragaggio 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) da accumulare temporaneamente in vasca di stoccaggio a terra e, successivamente, da refluire in cassa di colmata; nonché il dragaggio 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 palancoolato 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 palancoolato, saranno temporaneamente accumulati nella vasca a terra, da cui saranno allontanate le acque superficiali chiarificate che saranno eventualmente trattate, in attesa del loro refluitamento 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 3¹, 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.

In particolare, sulla base del cronoprogramma delle attività progettuali (cfr. Relazione PDED001) è prevista una articolazione dell'intervento in fasi successive:

- ✓ **Fase 1a** – Dragaggio, parziale, fino a quota -14,00 m dei sedimenti contaminati, ma non pericolosi, nella zona dalla progressiva 1.200 alla progressiva 1.500m del molo polisettoriale al fine di garantire la navigazione delle portacontainer durante i lavori di consolidamento della banchina del polisettoriale fino alla progressiva 1.200m;
- ✓ **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.

Per evitare che le lavorazioni 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 di approntamento del cantiere e dell'area logistica.

- ✓ **Fasi 3, 4 e 5** – Dragaggi del bacino di evoluzione e dei primi 1.200 m dello specchio d'acqua antistante la banchina del molo Polisettoriale, ai fini dell'approfondimento fino alla quota minima di -16,50 m.
- ✓ **Fase 6** – Dragaggio dei 600 m in radice e degli interventi sotto banchina, in tale fase i dragaggi hanno solo finalità ambientali con raggiungimento di quote diverse. 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 Il dragaggio della fase 2 è previsto in altro appalto

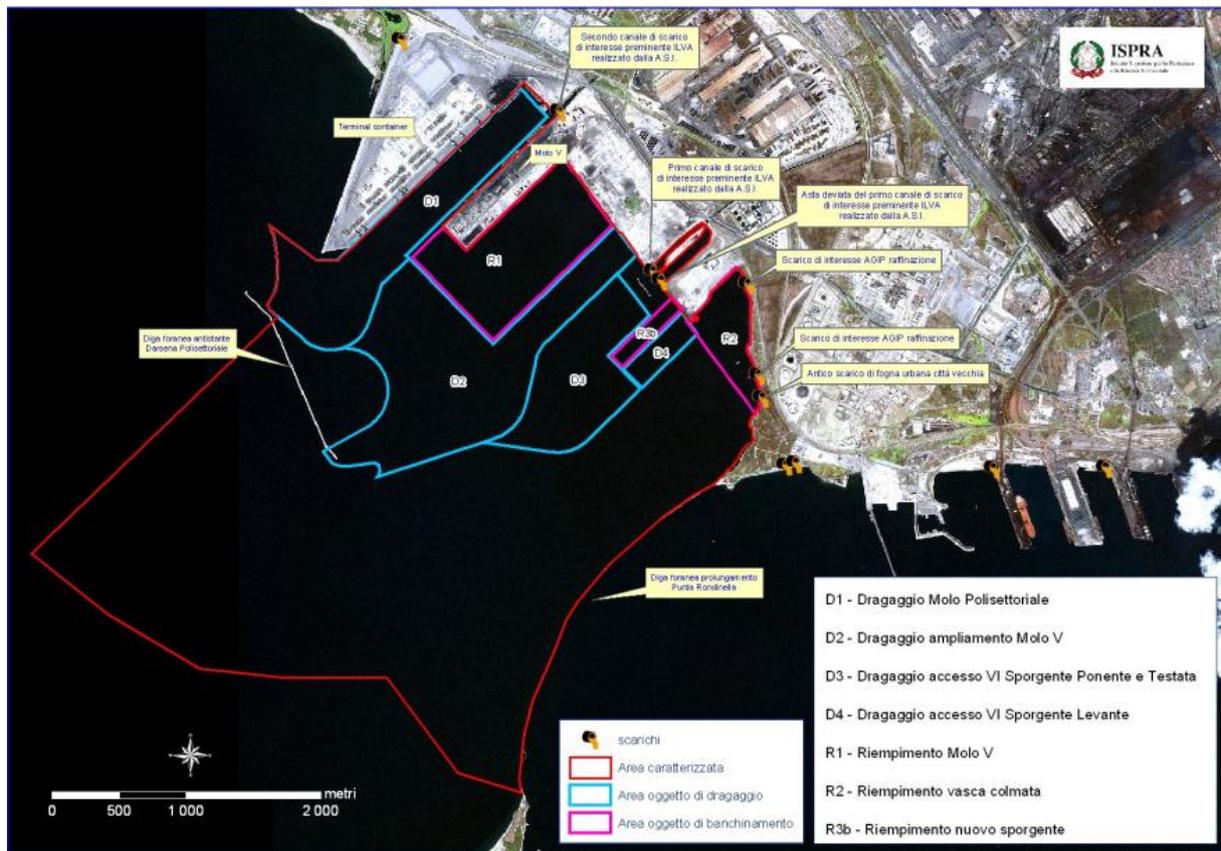


Figura 1 - Inquadramento area (ovest di Punta Rondinella)

2 GESTIONE DEI SEDIMENTI PERICOLOSI

Il processo di trattamento dei sedimenti pericolosi (Fase 1b) da dragare nella zone di intervento D1 (Dragaggio molo polisettoriale) e R1 (riempimento molo V), così come definite dal Piano Regolatore Portuale (Figura 1) prevede, in accordo con il Piano di gestione dei sedimenti redatto da ISPRA, una disidratazione meccanica al fine di raggiungere il più basso tenore di umidità residua nel sedimento disidratato, che dovrà essere avviato allo smaltimento in discariche di opportuna categoria.

Non è previsto il recupero dei materiali inerti, poiché la frazione pelitica costituisce una percentuale significativa del sedimento stesso.

La gestione del sedimento disidratato dovrà essere valutata in funzione della quantità e della tipologia di eventuali sostanze inquinanti, in funzione dell'eventuale trattamento di decontaminazione ed in funzione del risultato del test di cessione eseguito su campioni di sedimento in uscita dal trattamento.

Le acque in eccesso dovranno essere inviate ad idoneo trattamento prima dello scarico a mare. Essendo stato già progettato un impianto di trattamento delle acque di falda (TAF) ("Progettazione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica della falda in area ex Yard Belleli funzionale alla realizzazione della cassa di colmata c.d. "Ampliamento del V sporgente"), è stata verificata la possibilità di utilizzare detto impianto, in funzione delle caratteristiche delle acque di risulta.

E' in corso una sperimentazione "*attività di sperimentazione finalizzata alla gestione dei sedimenti provenienti dai dragaggi del Porto di Taranto*" che prevede nella prima fase "*prove di laboratorio per l'individuazione delle migliori tecnologie di trattamento per la decontaminazione dei sedimenti pericolosi finalizzato al recupero e al riutilizzo degli stessi in forma di ripristino ambientale, ovvero per il loro smaltimento*". Si dispone ad oggi solo di un primo rapporto intermedio dei risultati, che dunque non consente, allo stato, di prevedere alternative diverse rispetto al quanto previsto nella presente relazione.

2.1 Caratteristiche dei sedimenti pericolosi da dragare

Le caratteristiche qualitative dei sedimenti da dragare sono state desunte sulla base delle risultanze delle campagne di caratterizzazione effettuate (caratterizzazione dell'area ad ovest di Punta Rondinella e caratterizzazione di dettaglio delle aree oggetto degli interventi infrastrutturali e di dragaggio, tra le quali la Darsena Polisettoriale). Sono stati considerati i risultati delle analisi effettuate sui campioni prelevati dalle carote estratte nell'intorno delle aree in oggetto classificate come viola così come riportato nel "Piano di gestione dei sedimenti" predisposto da ISPRA nel settembre 2009.

Dalla caratterizzazione effettuata risulta che i sedimenti pericolosi (viola), presenti solo nello strato 0-50 cm, sono localizzati in due zone circoscritte:

- ✓ D1, nello specchio d'acqua antistante il Molo Polisettoriale;

- ✓ R1, nell'area di impronta della cassa di colmata, di fronte all'area ex Yard Belleli.

Questi sedimenti saranno dragati durante la fase b, precedentemente descritta.

I sedimenti prelevati nella zona R1 presentavano valori di contaminazione maggiori rispetto a quelli prelevati nella zona D1. Per tale motivo l'analisi è stata condotta a partire dai risultati delle analisi effettuate sui campioni prelevati nella zona R1 ed adiacenti alla zona interessata dalla presenza dei sedimenti classificati come "viola" (sondaggi TA04/0092; TA04/0093; TA04/0098; TA04/0086).

In Figura 2 viene riportata l'area oggetto di intervento e i superamenti nello strato 0-50 cm, che sarà oggetto di rimozione. Si rimanda all'elaborato PDED004 per la descrizione completa dello stato della contaminazione.

In Tabella 1 si riportano i risultati delle analisi effettuate sui campioni prelevati nei primi 50 cm dalle carote estratte nell'intorno delle aree oggetto di dragaggio ed i valori massimi che sono stati cautelativamente attribuiti a tutto il sedimento da dragare. Tali valori sono stati confrontati con i limiti di colonna B della Tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte IV Titolo V del D.lgs. 152/06.

Da tale confronto emergono superamenti, evidenziati in rosso, per i seguenti analiti: zinco, idrocarburi pesanti, IPA totali, benzo[a]antracene, benzo[a]pirene, benzo[b]fluorantene, benzo[g,h,i]perilene, benzo[k]fluorantene, crisene, dibenzo[a,h]antracene, indeno[1,2,3-cd]pirene, pirene.

Si riscontrano, inoltre, elevate concentrazioni di Ferro.

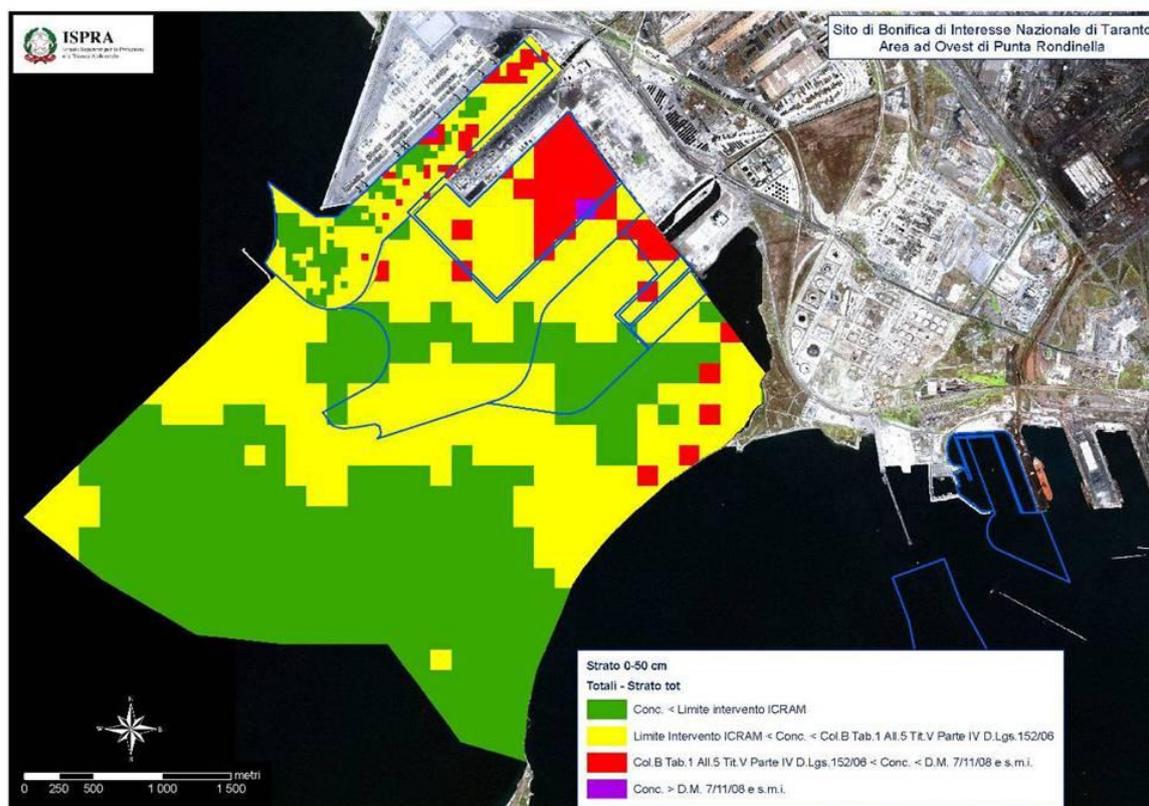


Figura 2 - Superamenti totali relativi allo strato 0-50 cm (ovest di Punta Rondinella)

Tabella 1 - Caratterizzazione sedimenti nell'intorno delle aree oggetto di dragaggio (sedimenti viola).

		TA04/0093/SC000 0-0010	TA04/0093/SC003 0-0050	TA04/0098/SC000 0-0010	TA04/0098/SC003 0-0050	TA04/0086/SC000 0-0010	TA04/0086/SC003 0-0050	TA04/0092/SC000 0-0010	TA04/0092/SC003 0-0050	Valore massimo	Limite Col.B (Tabella 1 All. 5,Parte IV Titolo V D.Lgs. 152/06
Ghiaie	%	0.70	0.90	0.20	1.30	0.30	0.10	0.00	1.40	1.30	
Sabbie	%	17.90	29.00	8.00	21.70	3.40	1.90	8.40	25.90	29.00	
Pelite	%	81.50	70.20	91.80	77.00	96.30	98.00	91.50	72.70	98.00	
Limi	%	58.90	55.90	47.90	42.60	89.00	95.90	49.00	40.90	95.90	
Argille	%	22.60	14.30	43.90	34.40	7.30	2.10	42.60	31.80	43.90	
Alluminio	mg/kg (s.s.)	5421.00	4360.00	9065.00	6473.00	9821.00	7209.00	9130.00	5244.00	9821.00	
Arsenico	mg/kg (s.s.)	24.90	25.70	15.50	21.00	18.60	24.10	22.70	19.70	25.70	50.00
Cadmio	mg/kg (s.s.)	1.42	2.53	0.59	2.42	1.12	1.32	1.12	1.15	2.53	15.00
Cromo	mg/kg (s.s.)	104.10	73.00	32.30	71.70	69.60	68.50	79.70	70.60	104.10	800.00
Cromo VI	mg/kg (s.s.)			5.31	5.20					5.31	15.00
Ferro	mg/kg (s.s.)	329286.30	365930.10	59542.80	169973.80	287891.80	336889.20	333633.10	377439.60	365930.10	
Mercurio	mg/kg (s.s.)	0.60	0.79	0.31	1.07	0.57	0.63	0.64	1.62	1.07	5.00
Nichel	mg/kg (s.s.)	61.00	37.90	42.90	62.20	36.60	30.50	40.20	34.70	62.20	500.00
Piombo	mg/kg (s.s.)	229.00	234.40	71.30	218.80	148.50	199.30	173.80	225.30	234.40	1000.00
Rame	mg/kg (s.s.)	37.50	45.60	32.80	59.90	27.40	42.00	36.70	32.50	59.90	600.00
Stagno	mg/kg (s.s.)			2.26	6.71					6.71	350.00
Selenio	mg/kg (s.s.)			0.71	0.58					0.71	15.00
Antimonio	mg/kg (s.s.)			1.13	5.04					5.04	30.00
Vanadio	mg/kg (s.s.)	71.70	66.60	37.50	101.90	100.90	75.20	124.40	55.70	124.40	250.00
Zinco	mg/kg (s.s.)	2003.00	2024.00	440.00	2481.00	1626.00	1321.00	1808.00	1865.00	2481.00	1500.00
cianuri liberi	mg/Kg	<0,14	<0,151	<0,101	<0,122	<0,156	<0,156	<0,139	<0,144	0.00	100.00

Dragaggio in area del Molo Polisetoriale e I lotto cassa di colmata per l'ampliamento del V Sporgente del Porto di Taranto
Progetto Definitivo
Relazione Impianti di trattamento dei sedimenti e delle acque

		TA04/0093/SC000 0-0010	TA04/0093/SC003 0-0050	TA04/0098/SC000 0-0010	TA04/0098/SC003 0-0050	TA04/0086/SC000 0-0010	TA04/0086/SC003 0-0050	TA04/0092/SC000 0-0010	TA04/0092/SC003 0-0050	Valore massimo	Limite Col.B (Tabella 1 All. 5,Parte IV Titolo V D.Lgs. 152/06
Umidità	%	59.22	57.60	51.99	53.91	56.10	58.36	64.53	56.86		
SS	%	40.78	42.40	48.01	46.09	43.90	41.64	35.47	43.14	48.01	
Densità	(gr/ml)	1.68	1.53	2.18	2.80	1.31	1.29	1.85	1.90	2.80	
Fosforo Totale	mg/kg (s.s.)	580.70	584.20	360.50	623.70	452.50	553.50	538.40	553.40	623.70	
azoto totale	% P	0.08	0.09	<0,0368	<0,0445	0.06	0.07	<0,048	<0,0472	0.09	
TOC	% P	3.04	3.60	2.01	3.51	3.22	3.62	3.22	3.44		
PCB	µg/kg	140.00	1190.00	186.00	1190.00	610.00	524.00	95.50	844.00	1190.00	5000.00
idrocarburi pesanti >C12 (C12-C40)	mg/Kg	359.00	2100.00	211.00	5480.00	1660.00	2370.00	708.00	1880.00	5480.00	750.00
idrocarburi leggeri < C12	mg/Kg	0.30	0.79	<0,111	0.53	<0,0494	0.17	<0,0463	<0,0604	0.79	250.00
benzene	mg/Kg			<0,00115	<0,00145					0.00	2.00
etilbenzene	mg/Kg			<0,000979	<0,00123					0.00	50.00
m,p-xilene	mg/Kg			<0,00233	<0,00294					0.00	50.00
o-xilene	mg/Kg			<0,00126	<0,00159					0.00	
toluene	mg/Kg			<0,0013	<0,00164					0.00	50.00
fenoli totali	µg/kg			<0,392	340.00					340.00	170000.00
pentaclorofenolo	µg/kg			<0,392	<4,75					0.00	
IPA Totali	µg/kg	112000	1140000	7500	1230000	323000	230000	49000	1490000	1490000.00	100000.00
antracene	µg/kg	2450.00	65800.00	97.60	58600.00	5400.00	10400.00	1440.00	85400.00	65800.00	
benzo[a]antrace ne	µg/kg	12600.00	101000.00	606.00	138000.00	26000.00	17800.00	3660.00	84800.00	138000.00	10000.00
benzo[a]pirene	µg/kg	11000.00	54500.00	1020.00	117000.00	27200.00	12300.00	4340.00	55300.00	117000.00	10000.00

Dragaggio in area del Molo Polisetoriale e I lotto cassa di colmata per l'ampliamento del V Sporgente del Porto di Taranto
Progetto Definitivo
Relazione Impianti di trattamento dei sedimenti e delle acque

		TA04/0093/SC000 0-0010	TA04/0093/SC003 0-0050	TA04/0098/SC000 0-0010	TA04/0098/SC003 0-0050	TA04/0086/SC000 0-0010	TA04/0086/SC003 0-0050	TA04/0092/SC000 0-0010	TA04/0092/SC003 0-0050	Valore massimo	Limite Col.B (Tabella 1 All. 5,Parte IV Titolo V D.Lgs. 152/06
benzo[b]fluorantene	µg/kg	4280.00	37400.00	353.00	43900.00	20800.00	10400.00	2850.00	38700.00	43900.00	10000.00
benzo[e]pirene	µg/kg	7420.00	31000.00	666.00	73400.00	13300.00	8050.00	2390.00	31100.00	73400.00	
benzo[g,h,i]perilene	µg/kg	4790.00	31400.00	467.00	42600.00	9530.00	4840.00	2460.00	29900.00	42600.00	10000.00
benzo[j]fluorantene	µg/kg	4320.00	37500.00	359.00	46700.00	20800.00	10400.00	2850.00	38700.00	46700.00	
benzo[k]fluorantene	µg/kg	1610.00	21800.00	184.00	19300.00	7460.00	3460.00	1730.00	22100.00	21800.00	10000.00
crisene	µg/kg	4930.00	65000.00	288.00	36000.00	16300.00	11700.00	2930.00	490000.00	65000.00	50000.00
dibenzo[a,h]antracene	µg/kg	624.00	4670.00	127.00	13700.00	4090.00	2130.00	316.00	4410.00	13700.00	10000.00
fenantrene	µg/kg	4960.00	139000.00	156.00	106000.00	3670.00	38900.00	1510.00	119000.00	139000.00	
fluorantene	µg/kg	17700.00	181000.00	1630.00	261000.00	53200.00	39500.00	6130.00	213000.00	261000.00	
fluorene	µg/kg	1080.00	66900.00	181.00	34700.00	800.00	8840.00	354.00	33700.00	66900.00	
indeno[1,2,3-cd]pirene	µg/kg	4870.00	30700.00	436.00	46100.00	12600.00	6310.00	2290.00	29400.00	46100.00	5000.00
naftalene	µg/kg	185.00	1350.00	0.87	2200.00	737.00	534.00	126.00	1380.00	2200.00	
pirene	µg/kg	26700.00	189000.00	727.00	148000.00	98100.00	39000.00	12900.00	147000.00	189000.00	50000.00

* in arancio sono evidenziati i superamenti dei limiti di colonna B della Tabella 1 dell'Allegato 5 alla Parte IV Titolo V del D.Lgs. 152/06.

2.2 Gestione dei sedimenti viola a terra

Approntato il cantiere, saranno dragati i sedimenti di fase 1, cioè quelli pericolosi, presenti nella calata Polisettoriale e nell'impronta della cassa di colmata, e i sedimenti, non pericolosi, presenti nella stessa area tra le progressive 1.200 e 1.500 (a partire dalla testata del molo) fino alla quota - 12,5 m s.l.m.m..

Tali sedimenti saranno temporaneamente accumulati in una apposita vasca di stoccaggio opportunamente impermeabilizzata e separata in due parti, una per accogliere i sedimenti pericolosi, l'altra per i sedimenti contaminati non pericolosi.

Il successivo trattamento dei sedimenti, in accordo con il Piano di gestione dei sedimenti redatto da ISPRA, prevede:

- ✓ per i sedimenti pericolosi (viola), pari a circa 8.650m³, una disidratazione meccanica spinta, sia per rendere il materiale palabile e per ridurre il volume, effettuata mediante filtropressa, e successiva caratterizzazione e smaltimento in discariche di opportuna categoria;
- ✓ per i sedimenti non pericolosi (gialli e rossi), una disidratazione naturale nella vasca di stoccaggio e il successivo conferimento in cassa di colmata, una volta che la stessa sarà completata; l'acqua chiarificata, estratta dalla vasca, potrà essere trattata al TAF, solo se necessario, in una fase successiva alla fine del trattamento delle acque provenienti dai sedimenti viola, in modo da non sovraccaricare l'impianto).

Non è previsto il recupero dei materiali inerti, poiché la frazione pelitica e argillosa costituisce la percentuale prevalente del sedimento stesso.

In dettaglio, le fasi di lavorazione previste, sono le seguenti:

- ✓ dragaggio dei sedimenti contaminati, pericolosi e non, con benna ambientale. Le operazioni di dragaggio e trasporto dei sedimenti dovranno avvenire separatamente per il sedimenti pericolosi e per quelli non pericolosi e avendo l'accortezza di non trasferire contaminazione dai primi ai secondi;
- ✓ refluento dei sedimenti nell'apposita parte della vasca di stoccaggio provvisorio;
- ✓ movimentazione, mediante mezzi meccanici, dei sedimenti pericolosi dalla vasca di stoccaggio provvisorio alla tramoggia in testa al vaglio;
- ✓ primo trattamento dei sedimenti mediante vagliatura ad umido con vaglio vibrante inclinato e disidratazione meccanica con due filtropresse a piastre ad automazione totale;
- ✓ stoccaggio sia del sopravaglio che del sedimento disidratato in vasche coperte;
- ✓ caratterizzazione del sedimento stoccato ai fini del conferimento a discarica;
- ✓ smaltimento in discarica autorizzata.

Le acque di risulta della disidratazione dei sedimenti, pari a circa 12.583 m³, saranno raccolte e avviate al trattamento. Questo avverrà presso impianto TAF, oggetto di separata progettazione la cui realizzazione è già stata appaltata ("Progettazione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica della falda in area ex Yard Belleli funzionale alla realizzazione della cassa di colmata c.d. "Ampliamento del V sporgente") che, dalle ipotesi effettuate sulla possibile contaminazione di tali acque (IPA, idrocarburi pesanti, metalli), risulta di caratteristiche del tutto idonee al trattamento della contaminazione eventualmente ceduta alle acque dai sedimenti.

Le acque depurate, quindi, saranno scaricate in mare nel rispetto dei limiti previsti in Tab. 3 All.5 Parte III D.Lgs. 152/2006.

2.3 Trattamento di disidratazione dei sedimenti viola

Il processo di sediment treatment dovrà consentire la disidratazione meccanica dei sedimenti, riducendo drasticamente il quantitativo di “umidità residua” dopo la filtrazione e conseguentemente il costo di smaltimento. Non è previsto il recupero dei materiali inerti, poiché, dai risultati della caratterizzazione effettuata in corrispondenza delle aree interessate dalla presenza dei sedimenti pericolosi (viola), emerge che la frazione pelitica costituisce una percentuale significativa (in media 88%) del sedimento stesso (Tabella 2) e la componente sabbiosa è costituita prevalentemente da sabbie fini (99.95% di dimensioni < 250 micron). Il recupero della frazione sabbiosa risulta economicamente valida quando la frazione pelitica del sedimento risulta inferiore al 30-40% in peso del solido secco.

L'impianto di sediment treatment può essere schematicamente suddiviso nelle seguenti principali aree di processo:

- ✓ vagliatura e stoccaggio dei sedimenti;
- ✓ disidratazione meccanica con filtro pressa a piastre.

E' prevista una vasca di stoccaggio (Tavola PDEG013 - Vasca 2), dalla quale i sedimenti verranno prelevati ed inviati al trattamento (Tavola PDEG013 - 014). Si prevede un trattamento con polimero al fine di migliorarne la filtrabilità; non viene considerato l'utilizzo di prodotti alcalinizzanti, quali la calce, per evitare la solubilizzazione di ulteriori sostanze inquinanti con conseguente deterioramento della qualità dell'acqua trattata.

2.3.1 Dati di progetto

Il quantitativo di sedimenti viola da dragare risulta pari a circa 8650 m³. Il dragaggio sarà eseguito utilizzando una benna ecologica, con riempimento parziale e conseguente apporto massimostimato di acqua 1:1 sul volume dei sedimenti da dragare. Il volume totale della miscela dragata (sedimenti e acqua di dragaggio) da conferire nella vasca di stoccaggio, quindi, risulta pari a circa 17300 m³.

Sulla base dalle determinazioni effettuate sui campioni prelevati nell'intorno dell'aree oggetto di dragaggio: (TA04/0092/SC0000-0010; TA04/0092/SC0030-0050; TA04/0093/SC0000-0010; TA04/0093/SC0030-0050; TA04/0098/SC0000-0010; TA04/0098/SC0030-0050; TA04/0086/SC0000-0010; TA04/0086/SC0030-0050; TA02/0024/SC0000-0020; TA02/0029/SC0000-0015; TA02/0030/SC0000-0020; TA02/0031/SC0000-0020), sono state desunte le caratteristiche medie del sedimento da dragare e trattare in fase 1:

- ✓ 52 % p/p di sedimento secco (s.s.);
- ✓ 48 % p/p di umidità residua (u.r.).

La classificazione granulometrica è riportata in Tabella 2. Le classi granulometriche in ingresso all'impianto sono state desunte dal report 009003 del 9/9/2008 redatto dalla società Geolab per conto dell'Autorità portuale di Taranto:

- ✓ 100% < 350 micron;
- ✓ 99.98% < 300 micron;
- ✓ 99.94% < 250 micron;
- ✓ 87.47 < 60 micron.

Tabella 2 - Classificazione granulometrica dei sedimenti

	Ghiaie	Sabbie	Pelite	Limi	Argille
Codice Campione	%	%	%	%	%
TA04/0093/SC0000-0010	0.7	17.9	81.5	58.9	22.6
TA04/0093/SC0030-0050	0.9	29.0	70.2	55.9	14.3
TA04/0098/SC0000-0010	0.2	8.0	91.8	47.9	43.9
TA04/0098/SC0030-0050	1.3	21.7	77.0	42.6	34.4
TA04/0086/SC0000-0010	0.3	3.4	96.3	89.0	7.3
TA04/0086/SC0030-0050	0.1	1.9	98.0	95.9	2.1
TA04/0092/SC0000-0010	0.0	8.4	91.5	49.0	42.6
TA04/0092/SC0030-0050	1.4	25.9	72.7	40.9	31.8
TA02/0024/SC0000-0020		2	98	19	79
TA02/0029/SC0000-0015		4	96	31	65
TA02/0030/SC0000-0020		14	86	56	30
TA02/0031/SC0000-0020			96		

Si prevede di effettuare il trattamento con una produttività almeno pari a 16 h/d (due turni lavorativi) per tutti i giorni della settimana. La durata prevista per il trattamento è di circa 60 giorni. La portata volumetrica giornaliera sarà pari a 288 m³/d di miscela dragata (144 m³/d di sedimento tal quale).

2.3.2 Vagliatura e Stoccaggio

La vagliatura grossolana è prevista per asportare materiale alloctono eventualmente presente nei sedimenti stessi (pietrame, conchiglie ecc.), per evitare il danneggiamento dei macchinari e delle filtropresse che verranno utilizzate nella successiva fase di disidratazione.

E' prevista, dunque, una separazione granulometrica tramite vagliatura a umido per eliminare le frazioni grossolane (> 64 mm) e la frazione ghiaiosa eventualmente presente nel sedimento.

Si utilizzerà un vaglio vibrante inclinato a due piani avente le seguenti caratteristiche:

- ✓ cassa vibrante costituita da lamiere di grosso spessore, rinforzo nella zona centrale;
- ✓ serie lame laterali fissaggio reti e bulloneria adeguata;
- ✓ albero eccentrico con cuscinetti a doppia fila di rulli, adatti agli impieghi più gravosi ed opportunamente dimensionati;
- ✓ protezioni antinfortunistiche per molle in tubo con spirale metallica;

- ✓ carter di protezione per i contrappesi e per la trasmissione;
- ✓ impianto di lavaggio dotato di tubazioni fisse su ogni piano, valvole di controllo su ogni tubazione, soffiotti speciali di tenuta per il contenimento dell'acqua all'interno della macchina e degli ugelli in poliuretano;
- ✓ sovra sponde laterali in gomma che prevengono la fuoriuscita dei sedimenti del vaglio;
- ✓ cassone anteriore di raccolta e convogliamento della frazione sopravaglio di scarto;
- ✓ vasca di calma per l'alimentazione del vaglio, con rivestimento in gomma.

I sedimenti contaminati verranno prelevati dalla vasca di stoccaggio e caricati direttamente al vaglio separatore ad umido. Sarà valutata, in funzione delle caratteristiche del sedimento, la necessità di aggiunta di acqua per effettuare le operazioni di vagliatura. La frazione sopra vaglio verrà scartata e stoccata nei capannoni per la caratterizzazione e lo smaltimento (dove subirà un trattamento di lavaggio), mentre la frazione sotto vaglio sarà raccolta nella vasca di omogeneizzazione dei sedimenti.

Tale vasca sarà realizzata completamente fuori terra con pannelli modulari in acciaio al carbonio trattati con una speciale verniciatura resistente alla corrosione, e sarà dotata di uno speciale agitatore radiale che permette di mantenere omogenea la massa dei sedimenti da avviare alle pompe ad alta pressione di alimentazione delle filtropresse. Si prevedono dispositivi di controllo del livello per una gestione automatica delle operazioni di vagliatura e stoccaggio. Il volume utile della vasca è pari a 80 m³.

E' prevista una struttura in acciaio al carbonio zincata a caldo in cui saranno allocati per il vaglio e l'agitatore radiale, per garantire l'accesso alle apparecchiature in tutta sicurezza. Le strutture dovranno essere dotate di scale di accesso realizzate secondo le norme di sicurezza vigenti.

2.3.3 Disidratazione meccanica dei fanghi

La sezione di disidratazione ha lo scopo di ridurre il contenuto d'acqua dei fanghi almeno fino al valore minimo necessario per lo smaltimento in discarica (30% ai sensi del D.M. del 27 settembre 2010, n. 281).

Valori maggiori possono essere raggiunti utilizzando filtropresse di ultima generazione (fino al 70-80% p/p di secco) riducendo i costi di smaltimento in discarica.

I sedimenti verranno condizionati e disidratati utilizzando n.2 filtropresse a piastre ad automazione totale.

Una pompa a membrana ad alta pressione invierà i sedimenti dalla vasca di stoccaggio alla filtropressa. Contemporaneamente verrà dosato il reagente flocculante (polielettrolita non alcalinizzante), conservato in contenitori da 1 m³. Il reagente verrà prelevato tramite pompa dosatrice e dosato in automatico proporzionalmente alla quantità di sedimento che viene alimentato alla filtropressa.

Le fasi di funzionamento di una filtropressa a piastre possono essere riassunte nel modo seguente:

- ✓ Fase di chiusura: la filtropressa viene chiusa da un sistema oleodinamico;
- ✓ Fase di Filtrazione: Il fango aspirato dalla pompa viene spinto nelle varie camere di filtrazione. Il fango quindi inizia a riempire le suddette camere e a premere sulle tele filtranti a seconda della pressione indotta dalla pompa di filtrazione. In questo modo le

particelle di solido vengono trattenute sulle tele, mentre la fase liquida passa attraverso di esse e viene convogliata indietro nell'impianto in una linea separata, pronta per essere riutilizzata.

- ✓ Fase di fine filtrazione: Quando il sistema decide che dentro la camera si è raggiunta la concentrazione cercata (in genere controllando il flusso di acque pulite e la pressione di filtrazione), la pompa di alimentazione viene fermata.
- ✓ Fase di scarico: la filtropressa si apre distanziando le piastre di filtrazione e facendo uscire i solidi sotto forma di torte di filtrazione.

Il pannello ottenuto alla fine di ogni ciclo di filtrazione sarà temporaneamente stoccato sotto le macchine, da dove verrà prelevato con una pala meccanica per essere avviato ai capannoni di stoccaggio (Tavola PDEG014d) per la successiva caratterizzazione. Il filtrato della filtropressa sarà convogliato all'impianto di trattamento acque di falda che sarà già stato realizzato nell'ambito di altro intervento appaltato.

E' previsto un bacino di accumulo delle acque filtrate con capacità di detenzione di qualche ora (circa 60m³) (Tavola PDEG014d).

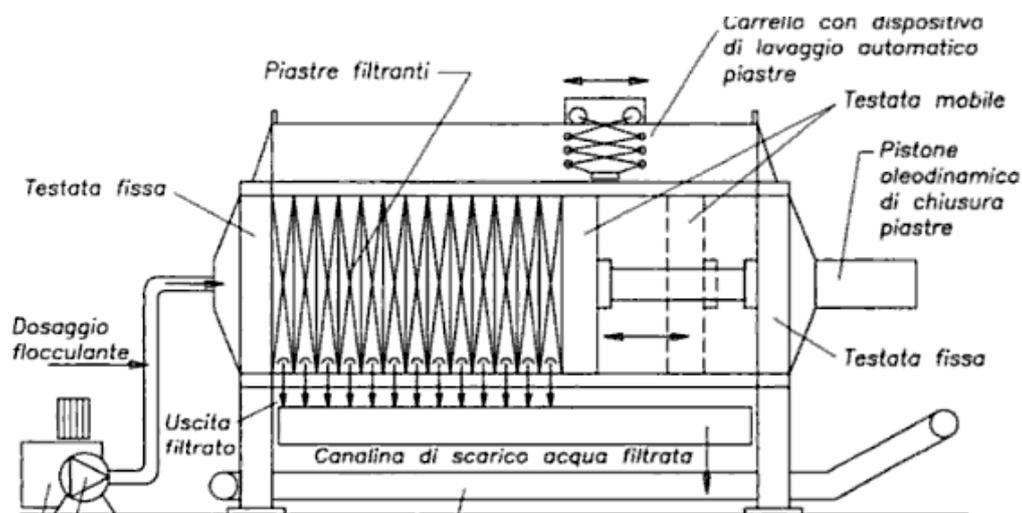


Figura 3 - Filtropressa a piastre

Dimensionamento filtropresse

Il dimensionamento della sezione di disidratazione è stato effettuato attraverso il seguente bilancio di materia (Figura 4), in cui è stato considerato trascurabile il sopravaglio eliminato nella sezione di vagliatura:

$$M_1 = M_2 + M_3$$

$$Q_1 + Q_{drag} = Q_2 + Q_3$$

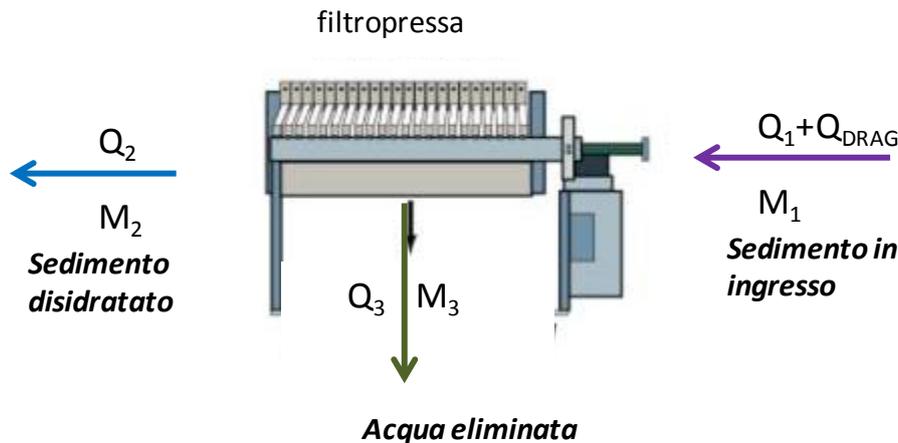


Figura 4 - Bilancio di materia

Dove:

$M_1 = Q_1 \rho_1 S_1$ è la portata in massa di SST in ingresso;

$M_2 = Q_2 \rho_2 S_2$ è portata in massa di SST nel sedimento disidratato in uscita;

$M_3 = Q_3 \rho_3 S_3$ è la portata in massa di SST nell'acqua che viene eliminata;

ρ_1, ρ_2, ρ_3 sono le densità rispettivamente del sedimento in ingresso, del sedimento disidratato e dell'acqua eliminata;

S_1, S_2, S_3 , sono le percentuali in peso dei SST;

Q_1, Q_2 e Q_3 sono le portate volumetriche rispettivamente del sedimento tal quale in ingresso, del sedimento disidratato e dell'acqua eliminata;

Q_{drag} è la portata di acqua in ingresso considerata in rapporto 1:1 sulla portata dei sedimenti tal quale da dragare.

Tabella 3 - Bilancio di materia

		Quantità		Portate	
Sedimento in ingresso	Q_{drag}	m^3	8651	m^3/d	144.2
	Q_1	m^3	8651	m^3/d	144.2
	S_1	% p/p	0.52		
	ρ_1	ton/m^3	1.5		
	M_1	ton	6652.4	ton/d	110.9
Sedimento disidratato	Q_2	m^3	4719	m^3/d	78.6
	S_2	% p/p	0.75		
	ρ_2	ton/m^3	1.9		
	M_2	ton	6639.8	ton/d	110.7
	Acqua eliminata	Q_3	m^3	12583	m^3/d
S_3		% p/p	0.001		
ρ_3		ton/m^3	1.00		
M_3		ton	12.6	ton/d	0.2

Il quantitativo di sedimenti in ingresso è stato considerato pari al quantitativo totale di sedimenti da dragare, considerando quantitativamente trascurabile il sopravvaglio, costituito essenzialmente da materiale alloctono presente nei sedimenti (pietrame, conchiglie ecc.) e non da particolari classi granulometriche del sedimento stesso.

La quantità di sedimento da filtropressare, è pari a $8651 + 8651 \text{ m}^3$ corrispondenti a 6652.4 ton di SST. Avendo ipotizzato 60 giorni di attività, con produttività almeno pari a 16 h/d (due turni lavorativi) per tutti i giorni della settimana, la portata volumetrica giornaliera in ingresso alle filtropresse è $144.2 + 144.2 \text{ m}^3/\text{d}$ ($Q_{\text{drag}} + Q_1$), mentre la portata massica è 110.9 ton/d.

Considerando una percentuale di secco nel sedimento disidratato pari a 75% p/p, la quantità di sedimento pressofiltrato risulta essere circa 6640 ton, corrispondenti a 110.7 ton/d.

La portata oraria in ingresso a ciascuna filtropressa è $9 \text{ m}^3/\text{h}$, considerando che le filtropresse hanno cicli di lavoro compresi tra 1-4 filtrate per ora, il volume della filtropressa dovrà essere tale da garantire lo smaltimento della portata oraria e dunque compreso tra 3 e 9 m^3 , in funzione del ciclo di lavoro che la macchina riesce ad effettuare. Considerando cautelativamente un ciclo di lavoro di 1 filtrata per ora, il volume della filtropressa dovrà essere pari a 9 m^3 . Considerando un volume di 0.06 m^3 per pannello, saranno necessarie circa 150 camere (panelli). Tali specifiche potranno subire alcune variazioni in funzione della capacità effettiva delle macchine disponibili in commercio e dei cicli effettivi di lavoro garantiti. Potranno dunque essere utilizzate filtropresse di dimensioni inferiori che garantiscono più cicli di filtrate per ora.

Il volume complessivo di acqua da inviare al trattamento è pari a 12583 m^3 , con una portata giornaliera di $210 \text{ m}^3/\text{d}$. Considerando anche in questo caso 16 ore lavorative (doppi turni) la portata oraria da inviare al TAF risulta pari a $13.1 \text{ m}^3/\text{h}$.

Specifiche tecniche delle filtropresse

Per riuscire a trattare i volumi calcolati le filtropresse dovranno avere le seguenti caratteristiche (o equivalenti in termini di capacità di trattamento):

- ✓ percentuale di solido secco ottenibile: 75-80% p/p;
- ✓ pressione di esercizio: 15-30 bar;
- ✓ volume totale: 9 m^3 ;
- ✓ n. camere: 150;
- ✓ n. piastre (comprese estremità) = 151;
- ✓ superficie filtrante totale: $>400 \text{ m}^2$.

Ciascuna filtropressa dovrà essere dotata di:

- ✓ Telaio (n.1) ;
- ✓ Pompa di carico a pistoni con portata variabile (n.1). (portata 0-30 m^3/h , pressione di esercizio = 15 bar. La portata viene autoregolata in funzione della pressione. La pompa dovrà essere dotata di dispositivo con iniezione di aria sul polmone di aspirazione, di reintegro con compensazione dei polmoni e dispositivo di allarme in caso di rottura delle membrane);
- ✓ Cilindro pompa fanghi (n.1);
- ✓ Centralina di azionamento oleodinamico per la gestione delle fasi di carico, chiusura, filtrazione, apertura e scarico:

- serbatoio per olio (n.1);
 - pompa alta pressione fino a bar 350 (n.1);
 - valvola di esclusione per bassa pressione (n.1);
 - elettrovalvole chiusura/apertura pacco (n.2);
 - valvola per regolazione flusso pompa fanghi (n.1);
 - valvola per regolazione pressione pompa fanghi (n.1);
 - elettrovalvola azionamento pompa fanghi (n.1);
 - valvola meccanica di blocco per chiusura pacco (n.1);
 - flussostato con sonda di livello, montato sulla tubazione scarico del filtrato;
 - motore con campana per accoppiamento alla pompa dell'olio (n.1);
- ✓ Piastre (n.151) comprese di tele filtranti;
 - ✓ Tubazioni per cavi elettrici;
 - ✓ Galleggiante a pallina magnetico con led per segnalazione blocco pompa in caso di basso livello dell'olio nel serbatoio;
 - ✓ fine corsa pistone pompa fanghi di cui 1 in aspirazione, 1 in compressione (n.2);
 - ✓ pressostato per controllo pressione olio del cilindro di chiusura pacco filtrante (n.1);
 - ✓ pistoni ad aria (n.1);
 - ✓ elettrovalvole (n.2);
 - ✓ valvole meccaniche di non ritorno (n.2);
 - ✓ Sistema di distaffaggio delle piastre automatico ad elevate prestazioni;
 - ✓ Sistema automatico di scuotimento delle tele per facilitare il distacco del fango disidratato;
 - ✓ Sistema di lavaggio automatico delle tele (n.1 per tutte le filtropresse) ad alta pressione con pompa di alimentazione acqua ad alta pressione. (portata = 14-15 m³/h; pressione di esercizio = 50 bar);
 - ✓ Passerella scorrevole di manutenzione tele da utilizzare per la sostituzione delle tele senza dover smontare le piastre della macchina;
 - ✓ Drip-tray (in posizione aperta consente lo scarico del pannello verso il raccoglitore sottostante, in posizione chiusa protegge i pannelli dai gocciolati che cadono nel pacco piastre durante la filtrazione e dalle acque durante il lavaggio delle tele);
 - ✓ Stazione aria compressa (1 compressore a vite, portata circa 1100 l/min, pressione di circa 10 bar; 1 serbatoio polmone d'aria in acciaio al carbonio verniciato, completo di dispositivi di sicurezza);
 - ✓ Quadro elettrico;
 - ✓ PLC.

Le filtropresse saranno poste sopra ad un pianale in acciaio al carbonio. Il pianale con le filtropresse sarà sopraelevato tramite una struttura in cemento armato alta circa sei metri e le macchine saranno posizionate all'interno di un edificio.

Dosaggio del polielettrolita

Il dosaggio del reagente (polielettrolita non alcalinizzante) dipenderà dalle caratteristiche del sedimento stesso e potrà essere determinato con precisione in fase di avviamento dell'impianto con semplici prove di laboratorio.

Si ipotizza, in via preliminare, un dosaggio di 4 g/kg SS, per cui, essendo la quantità giornaliera di sedimento secco in entrata all'impianto pari a 110 ton/d, saranno necessari 440 kg7giorno di polielettrolita in polvere.

L'unità di dosaggio potrà essere montata su skid in acciaio al carbonio verniciato e sarà composta da:

- ✓ Pompe dosatrici (n.2);
- ✓ Misuratore di portata magnetico;
- ✓ Dispositivo di regolazione del dosaggio.

2.4 Caratteristiche delle acque di risulta

La valutazione delle caratteristiche della acque di risulta dal dragaggio e dalla disidratazione dei sedimenti viola è stata effettuata, considerando la ripartizione naturale all'equilibrio dei contaminanti, inizialmente adsorbiti sul sedimento, tra la fase solida e la fase liquida. Non si prevede un rilascio di contaminanti maggiore di quello all'equilibrio non essendo previsto alcun trattamento di estrazione.

Sono stati utilizzati coefficienti di ripartizione, specifici per ciascun contaminante e desunti da database accreditati a livello nazionale (banca dati ISS/ISPESL "Proprietà chimico fisiche e tossicologiche dei contaminanti" - maggio 2009; banca dati del software Giuditta ver. 3.1).

Le concentrazioni così valutate dovranno essere verificate, preliminarmente alla redazione del progetto esecutivo, tramite analisi di laboratorio effettuate su campioni delle acque dragate insieme al sedimento e tramite l'esecuzione di test di cessione sul sedimento.

Il fenomeno dell'adsorbimento dei contaminanti alla matrice solida può essere studiato, da un punto di vista quantitativo, mediante la determinazione delle isoterme di adsorbimento, relazioni matematiche ottenute sia per via teorica che per via empirica e che mettono in relazione, a temperatura costante, le concentrazioni di adsorbato all'equilibrio per unità di massa adsorbente e la relativa concentrazione della sostanza adsorbibile presente in fase fluida.

Sono stati proposti diversi tipi di isoterme, ma quelle che vengono comunemente usate per quantificare l'adsorbimento sono quelle di Langmuir e Freundlich, le cui equazioni sono riportate in Tabella 4.

Tabella 4 - Isoterme di adsorbimento

Tipo di isoterma	Equazione	Descrizione dei termini
Modelli lineare	$\frac{x}{m} = K_D C$	<ul style="list-style-type: none"> • C = concentrazione di adsorbato all'equilibrio • x/m = quantità di adsorbato adsorbito per unità di massa di adsorbente
Langmuir	$\frac{C}{x/m} = \frac{1}{KM} + \frac{C}{M}$	

Freundlich	$\frac{x}{m} = K_D C^a$	<ul style="list-style-type: none"> • M = adsorbimento massimo • K, = termini correlati all'energia di legame
Langmuir-Freundlich	$\frac{x}{m} = \frac{MKC^a}{1 + KC^a}$	<ul style="list-style-type: none"> • KD = costante di proporzionalità

L'isoterma più semplice è descritta da un modello lineare in cui l'accumulo di soluto in fase solida è direttamente proporzionale alla sua concentrazione in soluzione. In questo caso la costante K_D assume il significato di coefficiente di distribuzione tra solido e liquido.

La pendenza dell'isoterma di Freundlich dipende dal valore di a:

- ✓ se $a > 1$ la curva diventa più ripida all'aumentare della concentrazione C;
- ✓ se $a < 1$ l'isoterma tende ad esser più ripida per valori più bassi di concentrazione C.

L'isoterma lineare è un caso particolare dell'isoterma di Freundlich quando $a = 1$. Le isoterme lineari sono di particolare interesse poiché:

- ✓ molti composti organici idrofobi, non polari tendono a seguire l'isoterma lineare,
- ✓ l'applicazione delle isoterme lineari semplifica il modello matematico e riduce il numero di parametri necessari.

Si sono assunte le ipotesi di adsorbimento reversibile e di ripartizione tra fase solida e fase liquida espressa da una legge di tipo lineare.

Le concentrazioni riferite alla sostanza secca sono state riportate al tal quale considerando l'umidità presente nei campioni stessi.

Per le sostanze inorganiche il coefficiente di ripartizione (k_s) è dato dalla pendenza della isoterma lineare:

$$K_s = K_D$$

Per le sostanze organiche il coefficiente di ripartizione è stato determinato considerando la frazione di carbonio organico (foc) presente nel sedimento e il coefficiente di ripartizione tra il carbonio organico e l'acqua (K_{oc}):

$$K_s = K_{oc} \text{ foc}$$

Si riportano in Tabella 5 e in Tabella 6 le concentrazioni calcolate nella fase liquida presente nel sedimento (50% circa di umidità), e le concentrazioni che si avranno quando tale acqua sarà diluita in rapporto 1:3 con altra acqua che si ipotizza non contaminata durante le operazioni di dragaggio (nell'ipotesi di rapporto sedimento tal quale/acqua = 1:1). Le concentrazioni così calcolate sono state confrontate con i limiti previsti per lo scarico in acque superficiali (Tab. 3 All.5 Parte III D.Lgs. 152/2006) al fine di individuare un trattamento idoneo per lo scarico in acque superficiali. Dal confronto emergono i seguenti superamenti:

- ✓ Alluminio, Cadmio, Ferro, Piombo, Rame, Selenio, Zinco;
- ✓ Idrocarburi pesanti.

Per quanto riguarda Alluminio, Cadmio, Piombo, Rame, Selenio i superamenti risultano di modesta entità. Superamenti consistenti riguardano invece Ferro e Zinco presenti in concentrazione elevate sui sedimenti. Emerge inoltre la presenza di IPA.

Per i motivi sopra riportati, avendo inoltre preso in considerazione per i calcoli le concentrazioni massime riscontrate nei campioni di sedimento, e considerando che le attività di dragaggio e successivo stoccaggio e disidratazione dei sedimenti, come già detto, comporteranno una omogeneizzazione degli stessi e dunque delle acque, si considererà la necessità di un trattamento delle acque indirizzato all'abbattimento dei seguenti contaminanti:

- ✓ Ferro, Zinco, Idrocarburi pesanti e IPA.

Non si considerano critici eventuali valori sopra soglia dei cloruri e dei solfati in quanto il recapito finale è rappresentato dal mare.

Tabella 5 - Concentrazioni massime nei sedimenti (Smax [mg/kg o µg/kg]) e concentrazioni stimate in fase liquida (C [mg/l o µg/l])

	u.m. sedimento	S max (mg/kg ss o µg/kg ss)	Limite Col.B Tabella 1 All. 5, Parte IV Titolo V D.Lgs. 152/06	S max tal quale (mg/kg o µg/kg ss)	C in acqua interstiziale (mg/l o µg/l)	C acqua tot (mg/l o µg/l)	Limiti tab 3 All. 5 Parte III D.Lgs 152/2006 (mg/l o µg/l)
Alluminio	mg/kg (s.s.)	9821.0		4715.1	3.143	1.048	1
Arsenico	mg/kg (s.s.)	25.7	50	12.3	0.425	0.142	0.5
Cadmio	mg/kg (s.s.)	2.5	15	1.2	0.181	0.060	0.02
Cromo	mg/kg (s.s.)	104.1	800	50.0	0.000	0.000	2
Cromo VI	mg/kg (s.s.)	5.3	15	2.5	0.134	0.045	0.2
Ferro	mg/kg (s.s.)	377439.6		181208.8	1098.235	366.078	2
Mercurio	mg/kg (s.s.)	1.6	5	0.8	0.015	0.005	0.005
Nichel	mg/kg (s.s.)	62.2	500	29.9	0.459	0.153	2
Piombo	mg/kg (s.s.)	234.4	1000	112.5	2.046	0.682	0.2
Rame	mg/kg (s.s.)	59.9	600	28.8	0.822	0.274	0.1
Stagno	mg/kg (s.s.)	6.7	350	3.2	0.064	0.021	10
Selenio	mg/kg (s.s.)	0.7	15	0.3	0.125	0.042	0.03
Antimonio	mg/kg (s.s.)	5.0	30	2.4	0.054	0.018	
Vanadio	mg/kg (s.s.)	124.4	250	59.7	0.060	0.020	
Zinco	mg/kg (s.s.)	2481.0	1500	1191.1	74.446	24.815	0.5
cianuri liberi	mg/Kg	0.0	100	0.0	0.000	0.000	

* In arancio sono indicati i superamenti ipotizzati dei limiti di tab 3. All. 5 Parte III D.Lgs 152/2006.

Tabella 6 - Concentrazioni massime nei sedimenti (Smax [mg/kg o µg/kg]) e concentrazioni stimate in fase liquida (C [mg/l o µg/l])

	u.m. sedimento	S max (mg/kg ss o µg/kg ss)	Limite Col.B Tabella 1 All. 5, Parte IV Titolo V D.Lgs. 152/06	S max tale quale (mg/kg o µg/kg ss)	C in acqua interstiziale (mg/l o µg/l)	C acqua tot (mg/l o µg/l)	Limiti tab 3 All. 5 Parte III D.Lgs 152/2006 (mg/l o µg/l)
PCB	µg/kg	1190	5000	571	0.18	0.06	0.5
idrocarburi pesanti >C12	mg/Kg	5480	750	2631	26.18	8.73	5
idrocarburi leggeri < C12	mg/Kg	0.789	250	0	0.01	0.00	
benzene	mg/Kg	0	2	0	0.00	0.00	0.2
etilbenzene	mg/Kg	0	50	0	0.00	0.00	
m,p-xilene	mg/Kg	0	50	0	0.00	0.00	
o-xilene	mg/Kg	0	0	0	0.00	0.00	
toluene	mg/Kg	0	50	0	0.00	0.00	
- fenoli totali	µg/kg	340	170000	163	281.98	93.99	500
fenolo	µg/kg	319	60000	153	264.57	88.19	500
pentaclorofenolo	µg/kg	0	5000	0	0.00	0.00	
IPA totali	µg/kg	1490000	100000	715349	28.93	9.64	
antracene	µg/kg	85400		41001			
benzo[a]antracene	µg/kg	138000	10000	66254	9.21	3.07	
benzo[a]pirene	µg/kg	117000	10000	56172	2.88	0.96	
benzo[b]fluorantene	µg/kg	43900	10000	21076	0.85	0.28	
benzo[e]pirene	µg/kg	73400		35239			
benzo[g,h,i]perilene	µg/kg	42600	10000	20452	0.64	0.21	
benzo[j]fluorantene	µg/kg	46700		22421	1.42	0.47	
benzo[k]fluorantene	µg/kg	22100	10000	10610	0.43	0.14	
crisene	µg/kg	490000	50000	235249	29.41	9.80	
dibenzo[a,h]antracene	µg/kg	13700	10000	6577	0.18	0.06	
fenantrene	µg/kg	139000		66734	159.62	53.21	
fluorantene	µg/kg	261000		125306	87.93	29.31	
fluorene	µg/kg	66900		32119	141.41	47.14	
indeno[1,2,3-cd]pirene	µg/kg	46100	5000	22133	0.32	0.11	
naftalene	µg/kg	2200		1056	28.56	9.52	
pirene	µg/kg	189000	50000	90739	66.39	22.13	

In rosso sono indicati i superamenti ipotizzati dei limiti di tab 3. All. 5 Parte III D.Lgs 152/2006.

2.5 Trattamento delle acque di risulta

A partire dalle caratteristiche delle acque, valutate come descritto al paragrafo precedente, il trattamento potrà essere effettuato presso l'impianto TAF, oggetto di separata progettazione la cui realizzazione è già stata appaltata ("Progettazione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica della falda in area ex Yard Belleli funzionale alla realizzazione della cassa di colmata c.d. "Ampliamento del V sporgente"), con opportuni controlli e verifiche in fase di gestione dell'impianto stesso.

L'impianto è costituito da due linee, ciascuna con la possibilità di trattare fino a 50 m³/h, mentre la portata di progetto, determinata dalla simulazione del flusso dal dreno di raccolta delle acque di falda, è di 60 m³/h. L'impianto dunque presenta una capacità residua di 40 m³/h e può accettare al trattamento le acque derivanti dalla disidratazione dei sedimenti pericolosi, il cui quantitativo è stimato essere 210 m³/d, che corrisponde a 13.1 m³/h, nelle 16 ore lavorative giornaliere ipotizzate (doppi turni di lavoro).

L'impianto TAF è stato progettato per il trattamento di acque di falda che mostravano superamenti dei limiti per scarico in acque superficiali (Tab. 3 All.5, Parte III D.Lgs. 152/2006) per i seguenti parametri:

- ✓ pH;
- ✓ azoto nitroso;
- ✓ idrocarburi totali.

Le acque di risulta dalla disidratazione potrebbero presentare superamenti per i seguenti parametri:

- ✓ Ferro;
- ✓ Zinco;
- ✓ Idrocarburi pesanti;
- ✓ IPA.

Si riportano di seguito, una breve descrizione dell'impianto TAF progettato e la valutazione effettuata sulla possibilità di trattamento delle acque derivanti dalla disidratazione dei sedimenti pericolosi.

2.5.1 Descrizione dell'impianto TAF (oggetto di altro appalto)

Si riporta di seguito una descrizione dell'impianto TAF, desunta dal Progetto Esecutivo - Progettazione degli interventi di messa in sicurezza e bonifica della falda in area ex Yard Belleli funzionale alla realizzazione della cassa di colmata c.d. "Ampliamento del V sporgente".

La portata di progetto, determinata dalla simulazione del flusso dal dreno di raccolta delle acque di falda, è di 60 m³/h. Al fine, comunque, di poter garantire eventuali picchi di ingresso delle acque, sono state concepite due linee per il trattamento acque, ciascuna con la possibilità di trattare fino a 50 m³/h.

L'impianto TAF progettato risulta costituito dalle unità riportate di seguito:

Linea acque:

- ✓ Stoccaggio iniziale e sollevamento;
- ✓ Trattamento chimico-fisico (acidificazione, ossidazione con biossido di cloro e coagulazione-flocculazione);
- ✓ Filtrazione con carboni attivi

Linea fanghi:

- ✓ Accumulo e condizionamento
- ✓ Disidratazione

Linea acque

Le acque sono accumulate parzialmente in una vasca di stoccaggio iniziale in calcestruzzo, completamente fuori terra, con capacità utile di m^3 300: in essa si raccolgono anche i drenaggi generati dal processo (controlavaggio dei filtri a carbone; acque di sgrondo dalla disidratazione fanghi). Dal manufatto pescano 2+1R pompe ad asse orizzontale (portata unitaria di $50 m^3/h$ a 1 bar) che alimentano le due linee di trattamento a valle: la portata su ciascuna linea viene regolata tramite indicatore di livello (che agisce con segnale 4-20 mA sugli inverter delle pompe di sollevamento) ed è controllata tramite misuratori di portata su tubazione.

Proprio in base alla portata misurata, su ciascuna linea di mandata viene dosato dapprima un coagulante primario (PAC o policloruro di alluminio), immesso a monte di un miscelatore statico in linea; sempre a monte del miscelatore statico in linea viene dosato biossido di cloro per l'ossidazione dei nitriti, mentre l'acido cloridrico (per l'abbassamento del pH basico di partenza) e il polielettrolita anionico in soluzione (per conferire una maggiore voluminosità ai fiocchi formati dal PAC) vengono dosati direttamente all'interno dei bacini di flocculazione. L'aggiunta di PAC e polielettrolita avviene in automatico in base alla misura della portata oraria trattata, mentre il dosaggio di biossido di cloro e di acido cloridrico è regolato rispettivamente da clororesiduo metro e pH-metro posti all'interno dei bacini di flocculazione, vasche in carpenteria metallica del diametro di m 3,4 e volume utile di circa $27 m^3$ /cadauna equipaggiate con agitatore a cancello ad asse verticale per una corretta miscelazione lenta.

Il refluo condizionato chimicamente entra a questo punto, per semplice dislivello idraulico, nei flottatori, vasche in carpenteria metallica del diametro di m. 3,2, in cui viene ricircolata acqua sovrassatura di aria: le fini bollicine che si liberano nel mezzo acquoso a pressione atmosferica inducono la risalita superficiale dei leggeri fiocchi formati in precedenza grazie all'azione del flocculante. L'azione progressiva di risalita forma una patina superficiale di materiale concentrato, che viene periodicamente "scremato" alternativamente verso i due serbatoi di accumulo.

L'acqua chiarificata, invece, defluisce verso un unico bacino di raccolta, costituito da una vasca metallica fuori terra con diametro di m. 2,4 e volume utile di circa m^3 10, da cui pescano sia le pompe di ricircolo ai flottatori (2+2R, ciascuna della potenzialità di $10 m^3/h$ a 6,5 bar) sia quelle di alimentazione dei filtri a carbone (2+1R, ciascuna della potenzialità di $60 m^3/h$ a 2,5 bar). Il circuito di pressurizzazione dei flottatori è completato da 2 (1+1R) compressori d'aria ciascuno da 280 litri/minuto a 8 bar e da serbatoi di pressurizzazione ciascuno da litri 500.

La sezione di filtrazione finale è costituita da 3 filtri a carbone attivo, di cui 2 attivi in parallelo ed 1 in stand-by, pronto ad intervenire quando uno degli altri due deve essere sottoposto a controlavaggio. I filtri consentono di rimuovere i solidi sospesi e gli idrocarburi residui dalla flottazione grazie al letto di carbone attivo granulare di tipo 12 x 40 (costituito da particelle che

passano attraverso un setaccio standard da 12 mesh – mm. 1,7 – e sono trattenute da un setaccio da 40 mesh – mm. 0,42).

L'acqua filtrata si raccoglie a gravità in una vasca fuori terra in calcestruzzo del volume di circa m^3 32, da cui aspirano le pompe di controlavaggio dei filtri (1+1R, ciascuna della potenzialità di $120 m^3/h$ a 2 bar): la vasca lavora a stramazzo, così da garantire sempre il volume necessario al controlavaggio di un filtro per volta. L'acqua in eccedenza raggiunge, sempre per gravità, il recapito finale, mentre le acque di controlavaggio si raccolgono nella vasca drenaggi per essere rilanciate alla vasca di bilanciamento di testa.

Linea fanghi

Dalla sezione di flottazione vengono prodotti con continuità i fanghi di supero. Il supero prodotto giornalmente, pari a poche centinaia di litri, viene accumulato alternativamente in 2 serbatoi in PRFV della capacità utile di litri 2.000 circa cadauno.

All'interno dei serbatoi, lentamente miscelati grazie ad agitatori ad asse verticale, viene dosato in discontinuo, sotto il controllo dell'operatore, la soluzione di polielettrolita anionico per preparare il fango alla successiva fase di disidratazione meccanica.

Dai serbatoi pesca alternativamente la pompa di alimentazione della filtropressa: la macchina prevista (una pressa equipaggiata con 20 piastre, una superficie filtrante di circa $7 m^2$ ed un volume complessivo di camera di circa 86 litri) consente di portare il tenore di secco del fango dal 4-5% almeno al 25%, minimo richiesto per lo smaltimento a discarica.

I fanghi disidratati, all'allontanamento delle piastre a fine ciclo, cadono nella tramoggia di raccolta sottostante e sono convogliati al container scarrabile di stoccaggio tramite coclea inclinata. Le acque di sgrondo defluiscono invece verso la vasca di raccolta dei drenaggi per essere rilanciate a loro volta alla vasca di bilanciamento di testa.

2.6 Verifica dell'idoneità del TAF al trattamento delle acque di risulta dei sedimenti pericolosi

2.6.1 Dosaggio del coagulante primario

Il progetto esecutivo del TAF prevede l'utilizzo di PAC al 18% in peso come Al_2O_3 con un dosaggio compreso fra 0,05 e 0,1 ml/l, desunto da prove di laboratorio effettuate e derivante dalle basse concentrazioni di inquinanti nelle acque di falda. Tale dosaggio si traduce in un consumo complessivo stimato in 72-144 litri/giorno di PAC.

Per il dosaggio sono previste pompe dosatrici (P-10 A/B/C), di cui una di riserva che pescano dal serbatoio di accumulo della capacità utile di l 1.000 ed hanno ciascuna le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ - portata massima l/h 5;
- ✓ - prevalenza bar 8;
- ✓ - potenza nominale KW 0,18;
- ✓ - potenza assorbita KWh/h 0,15;

- ✓ - materiale di costruzione PVC-PP-PTFE-FPM-CERAMICA.

Il sistema di dosaggio costituito da 3 pompe con portata complessiva di 15 l/h consente comunque di poter dosare un quantitativo di coagulante pari a 2,5-5 volte il consumo stimato.

Per poter valutare il dosaggio effettivo di PAC per il trattamento delle acque derivanti dal trattamento dei sedimenti, e dunque verificare che il sistema di dosaggio sia correttamente dimensionato, si rendono necessarie prove in laboratorio. E' tuttavia possibile, in fase di gestione dell'impianto dotarsi di pompe di riserva per sopperire all'eventuale carico aggiuntivo durante il periodo (stimato in 60 giorni lavorativi) di trattamento delle acque provenienti dal trattamento dei sedimenti.

2.6.2 Dosaggio del biossido di cloro

Il progetto esecutivo del TAF prevede l'ossidazione dei nitriti a nitrati con biossido di cloro (ClO_2). Il biossido di cloro si genera dalla reazione di clorito di sodio con acido cloridrico: $5\text{NaClO}_2 + 4\text{HCl} \rightarrow 4\text{ClO}_2 (\text{g}) + 5\text{NaCl} + 2\text{H}_2\text{O}$ per cui per generare 1 mole di biossido di cloro servono 1,25 moli di clorito di sodio ed 1 mole di acido cloridrico.

Si riportano di seguito i dosaggi valutati nel progetto esecutivo ed i nuovi dosaggi necessari per l'ossidazione del ferro, che si ipotizza essere presente nelle acque di risulta dal trattamento di disidratazione dei sedimenti.

Dosaggio per l'ossidazione dei nitriti

Dal punto di vista strettamente stechiometrico sono necessari 2,91 g di ClO_2 per ossidare 1 g di NO_2 . Poiché, tuttavia, in fase di preparazione del biossido, la reazione non procede rispettando esattamente la stechiometria indicata, si calcolano i seguenti consumi di clorito di sodio in soluzione commerciale al 25% p/p (PS pari a circa 1,25) ed acido cloridrico in soluzione commerciale al 33% p/p (PS pari a circa 1,17):

- ✓ - nitriti da ossidare 2,7 g/m³
- ✓ - portata oraria massima 60 m³/h
- ✓ - portata totale 1440 m³/d
- ✓ - nitriti da ossidare 162 g/h
- ✓ - nitriti da ossidare in totale 3888 g/d
- ✓ - ClO_2 richiesto 471,4 g/h
- ✓ - ClO_2 richiesto in totale 11314 g/d
- ✓ - sol. NaClO_2 richiesta per 1 Kg di ClO_2 6,6 Kg
- ✓ - sol. HCl richiesta per 1 Kg di ClO_2 5,1 Kg
- ✓ - sol. NaClO_2 richiesta nel ns. caso 3,1 Kg/h
- ✓ - sol. HCl richiesta nel ns. caso 2,4 Kg/h
- ✓ - soluzione NaClO_2 richiesta 74,4 Kg/d
- ✓ - soluzione NaClO_2 richiesta 59,5 l/d
- ✓ - soluzione HCl richiesta 57,6 Kg/d
- ✓ - soluzione HCl richiesta 49,2 l/d

Il progetto esecutivo prevede l'istallazione di una stazione automatica di produzione di biossido di cloro assemblata su pannello in materiale sintetico anticorrosivo avente le dimensioni di cm. 132 x 55 x 200 h con le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ - produzione massima 2100 g/h
- ✓ - contropressione max. di lavoro 5 bar
- ✓ - temperatura d'esercizio 10-40 °C

Il dosaggio del prodotto sulle due linee parallele di trattamento viene assicurato dalle pompe dosatrici dedicate (P-Cl A/B), ciascuna delle quali ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ - portata massima l/h 144
- ✓ - prevalenza bar 7
- ✓ - potenza nominale KW 0,18
- ✓ - potenza assorbita KWh/h 0,15

Il dosaggio è controllato in automatico da un misuratore di cloro residuo installato all'interno del bacino di flocculazione, dove si manterrà un valore di circa 0,2-0,25 mg/l di cloro libero.

Dosaggio per l'ossidazione del ferro

Il ferro si presenta naturalmente in acqua in forma solubile di ferro ferroso (ferro bivalente nella forma dissolta Fe^{2+} o $Fe(OH)^+$) o in forma complessa come il ferro ferrico (ferro trivalente: Fe^{3+} che si trova nel precipitato $Fe(OH)_3$). Nell'acqua aerata, il potenziale ossido-riduttivo dell'acqua è tale da permettere un'ossidazione del ferro ferroso in ferro ferrico che quindi precipita in idrossido del ferro, $Fe(OH)_3$, permettendo in tal modo una rimozione naturale del ferro dissolto.

Si avrà dunque una ossidazione naturale del ferro passando da condizioni anossiche all'interno del sedimento a condizioni aerobiche all'interno della sezione di flocculazione. Tale ossidazione può essere effettuata anche con ossidanti più forti quali diossido di cloro (ClO_2), ozono (O_3) o il permanganato del potassio ($KMnO_4$).

Si riporta di seguito il dosaggio di biossido di cloro per l'ossidazione del ferro, ipotizzato in forma bivalente, presente nelle acque di risulta dalla disidratazione dei sedimenti. Tale dosaggio è da considerarsi aggiuntivo rispetto a quello calcolato per l'ossidazione dei nitriti.

Dal punto di vista strettamente stechiometrico sono necessari 0,24 g di ClO_2 per ossidare 1 g di Fe^{2+} . Si considera il consumo di clorito di sodio in soluzione commerciale al 25% p/p (PS pari a circa 1,25) ed acido cloridrico in soluzione commerciale al 33% p/p (PS pari a circa 1,17):

ferro da ossidare (considerato come Fe II)	366	g/m ³
portata oraria*	13,1	m ³ /h
portata totale	208	m ³ /d
ferro da ossidare	4758	g/h
nitriti da ossidare in totale	76128	g/d
ClO2 richiesto	1149	g/h
ClO2 richiesto in totale	18391	g/d
soluz Na ClO2 per 1 Kg di ClO2	6,6	Kg
soluz di HCl per 1Kg di ClO2	5,1	kg
soluz Na ClO2 ns. caso	7,6	kg/h

soluz di HCl ns caso	5,9	kg/h
soluzione di NaCl2 richiesta	121,382	Kg/d
soluzione di Na ClO2 richiesta	97,11	l/d
soluzione di HCl richiesta	93,795	Kg/d
soluzione di HCl richiesta	80,17	l/d

*Si considera una portata oraria di 13.1 m³/d per 16 ore al giorno

Il progetto esecutivo prevede l'installazione di una stazione automatica di produzione di biossido di cloro assemblata su pannello in materiale sintetico anticorrosivo avente le dimensioni di cm. 132 x 55 x 200 h con le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ - produzione massima 2100 g/h
- ✓ - contropressione max. di lavoro 5 bar
- ✓ - temperatura d'esercizio 10-40 °C

Il dosaggio del prodotto sulle due linee parallele di trattamento viene assicurato dalle pompe dosatrici dedicate, ciascuna delle quali ha le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ - portata massima l/h 144
- ✓ - prevalenza bar 7
- ✓ - potenza nominale KW 0,18
- ✓ - potenza assorbita KWh/h 0,15

Sulla base dei dosaggi teorici calcolati, si considerano adeguate sia la stazione automatica di produzione del biossido di cloro, sia le pompe dosatrici.

Il dosaggio sarà comunque controllato in automatico da un misuratore di cloro residuo installato all'interno del bacino di flocculazione, dove si manterrà un valore di circa 0,2-0,25 mg/l di cloro libero.

Dosaggio di acido cloridrico

Il progetto esecutivo del TAF prevede una correzione del pH, ipotizzando di abbassarlo dal valore di circa 11 (riscontrato per le acque di falda) ad un valore di circa 8. Tale correzione verrà effettuata con acido cloridrico (HCl) (1-1,2 m³/d di HCl).

Le acque provenienti dalla disidratazione dei sedimenti avranno un pH compreso tra 7 e 8 e dunque non necessitano di correzione del pH. Per tale motivo si prevede un minor consumo di acido cloridrico durante il periodo trattamento delle acque di risulta dal trattamento dei sedimenti (60 giorni lavorativi).

L'utilizzo di pompe dosatrici per HCl a regolazione automatica della portata sulla base del segnale derivante dal misuratore di pH consentirà di variare opportunamente il dosaggio in funzione delle caratteristiche della acque in ingresso.

Dosaggio del polielettrolita in soluzione

Per aumentare il volume dei “fiocchi” di fango formati grazie all'azione del coagulante primario (PAC) è necessario dosare un flocculante di tipo anionico di peso molecolare medio. Il dosaggio in fase di progettazione esecutiva del TAF, è stato valutato su prove di laboratorio effettuate su campioni di acqua di falda.

- ✓ 6-8 l/h di soluzione

per una portata di acque di falda di 60 m³/h, il prodotto in polvere consumato sarà al massimo di 0,432 Kg/giorno.

Per poter valutare il dosaggio effettivo di PAC per il trattamento delle acque derivanti dal trattamento dei sedimenti, sarebbero necessarie prove in laboratorio. Ipotizzando lo stesso consumo valutato nel progetto esecutivo, il prodotto in polvere aggiuntivo consumato sarà pari a 0,064 Kg/d, avendo considerato l'apporto delle acque derivanti dalla disidratazione dei sedimenti per 16 ore al giorno (durata giornaliera del trattamento di disidratazione dei sedimenti).

Il progetto esecutivo del TAF prevede una macchina dosatrice automatica avente le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ - portata massima l/h 450
- ✓ - potenza nominale KW 0,36
- ✓ - potenza assorbita KWh/h 0,28
- ✓ - materiale di costruzione AISI 304 e PP

La soluzione sarà dosata all'interno del bacino di flocculazione tramite le pompe dosatrici (P-06 A/B/C), di cui una di riserva alle altre due, aventi le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ - portata massima l/h 7
- ✓ - prevalenza bar 10
- ✓ - potenza nominale KW 0,2
- ✓ - potenza assorbita KWh/h 0,16
- ✓ - materiale di costruzione AISI 316L-PTFE-FPM

Si considerano adeguate sia la stazione automatica sia le pompe dosatrici.

E' tuttavia possibile, in fase di gestione dell'impianto dotarsi di pompe di riserva per sopperire all'eventuale carico aggiuntivo durante il periodo (stimato in 60 giorni lavorativi) di trattamento delle acque provenienti dal trattamento dei sedimenti.

2.6.3 Verifica della produzione di fanghi e dosaggio di polielettrolita

Si riportano di seguito le quantità di fango calcolate in sede di progetto esecutivo del TAF:

- ✓ Quantità di fanghi: 30,2 Kg/d come SS;
- ✓ Volume di fanghi: 0,755m³/d.

Tali quantità sono state calcolate considerando il valore di solidi sospesi più elevato riscontrato nelle acque di falda (31 mg/l) ed assumendo di abbassare tale valore allo scarico a non più di 10 mg/l.

A tali quantità bisogna aggiungere i fanghi prodotti per la precipitazione dei metalli ossidati presenti nelle acque di risulta dal trattamento dei sedimenti. In particolare si deve tener conto dell'abbattimento del ferro.

Nel caso del ferro l'abbattimento di 1 mg porta alla formazione stechiometrica di 1,9 mg di precipitato. Assumendo la concentrazione massima stimata di ferro (366 mg/l) e la portata oraria aggiuntiva di 13,1 m³/h per 16 ore al giorno si ha la seguente produzione di ossidi:

- ✓ Produzione di ossidi: 145,8 kg/d

Assumendo una concentrazione del 4% p/v (vale a dire 40 g/l o 40 Kg/m³) dei fanghi addensati sulla superficie del lottatore (desunta dal progetto esecutivo del TAF) si ha un volume di fanghi pari a:

- ✓ Volume dei fanghi da trattare: 3,64 m³/d.

Il volume totale di fanghi risulta dunque pari a 4,4 m³/d.

Si riporta di seguito il dosaggio di polielettrolita calcolato in sede di progetto esecutivo del TAF:

- ✓ volume di soluzione al 2% p/v = 121 l/d.

Il dosaggio aggiuntivo di polielettrolita, nel periodo in cui confluiranno all'impianto le acque provenienti dalla disidratazione dei sedimenti, è calcolato come segue:

produzione di fango	145.8	kg/d;
Dosaggio polielettrolita anionico	8	g/kg SS;
Polielettrolita in polvere richiesto	1.166	kg/d;
volume soluzione al 2% p/v	583	l/d.

- ✓ il volume totale di soluzione di polielettrolita è pari a circa 700 l/d.

Si prevede dunque un maggior consumo di polielettrolita per il trattamento delle acque derivanti dalla disidratazione dei sedimenti.

2.6.4 Verifica della sezione di disidratazione

La macchina di disidratazione prescelta in fase di progetto esecutivo del TAF è una filtropressa con le seguenti caratteristiche tecniche:

- ✓ piastre in PP N. 20;
- ✓ dimensioni piastre mm. 500 x 500;
- ✓ spessore camera mm. 25;
- ✓ volume camera l. 4,3;
- ✓ volume totale l. 86;
- ✓ quantità camere/pannelli N. 20;
- ✓ superficie filtrante totale m². 7,4;
- ✓ apertura/chiusura pacco piastre motorizzata;
- ✓ potenza nominale KW 0,75;
- ✓ potenza assorbita KWh/h 0,6;
- ✓ allontanamento piastre a fine ciclo manuale.

Tale macchinario, con la produzione giornaliera di fanghi stimata, nel caso di trattamento delle sole acque di falda, dovrà effettuare circa 9 cicli di disidratazione al giorno.

Considerando che la produzione totale di fanghi nel periodo in cui confluiranno all'impianto anche le acque di risulta dal trattamento dei sedimenti è pari a $4.4 \text{ m}^3/\text{d}$, mentre la produzione di fanghi stimata per il trattamento delle sole acque di falda è pari a $0,755 \text{ m}^3/\text{d}$, sarebbe necessario un potenziamento della sezione di disidratazione. In alternativa, considerando che il sovraccarico dovuto al trattamento delle acque di risulta dal trattamento dei sedimenti ha un periodo limitato (60 giorni lavorativi), si potrà garantire il corretto funzionamento della disidratazione con più cicli di filtrazione rispetto a quelli previsti in fase di progetto esecutivo. Si prevedono 51 cicli giorno. Per tale motivo, sarà necessario garantire almeno due turni lavorativi (16 ore), per poter far funzionare le filtropresse con il massimo numero di cicli ora (3-4) solo nel periodo in cui verranno inviate all'impianto le acque di risulta dalla disidratazione dei sedimenti (60 giorni lavorativi)

3 GESTIONE DELLE ACQUE DI ESUBERO DELLA CASSA COLMATA

Il presente capitolo descrive la soluzione progettuale, individuata, per il trattamento delle acque in uscita dalla cassa di colmata (primo lotto) durante le operazioni di refluentamento dei sedimenti dragati all'interno della Darsena Polisettoriale (D1) nella cassa di colmata da realizzare nella zona antistante il Molo V (R1).

L'inquadramento dell'area ad ovest di Punta Rondinella è riportato in Figura 1.

La scelta della tipologia dei trattamenti inclusi nel processo è stata relazionata alle caratteristiche di qualità delle acque da trattare, desunte sulla base della caratterizzazione dei sedimenti, i cui risultati sono riportati nel documento "Piano di gestione dei sedimenti" predisposto da ISPRA nel settembre 2009.

Lo schema di trattamento comprende una filtrazione su sabbia (cfr. cap. 3.2). L'impianto è stato dimensionato per trattare la massima portata prevista in uscita dalla cassa di colmata (1100 m³/h).

3.1 Caratteristiche delle acque da trattare

La gestione delle acque in uscita dalla cassa di colmata deve essere valutata considerando le caratteristiche dei sedimenti da dragare, in termini di concentrazione dei contaminanti (caratteristiche chimiche) in essi presenti e di caratteristiche granulometriche.

Infatti, il primo aspetto risulta importante per poter prevedere l'entità del rilascio dalla fase solida alla fase liquida, mentre il secondo per valutare la sedimentabilità dei solidi.

3.1.1 Caratteristiche chimiche dei sedimenti

Per quanto concerne il primo aspetto, si è fatto riferimento ai risultati della caratterizzazione dei sedimenti riportati nel documento "Piano di gestione dei sedimenti" predisposto da ISPRA nel settembre 2009, per la zona ad ovest di Punta Rondinella. Da tale zona sono state estrapolate le informazioni relative alla Darsena Polisettoriale, oggetto del dragaggio riportato nel presente progetto.

Analizzando i risultati contenuti nel succitato documento, emerge "... uno stato di contaminazione rilevante dovuto principalmente alle elevate concentrazioni di composti organici, come IPA ed Idrocarburi Pesanti, e ad alcuni metalli (Mercurio, Rame e Arsenico)...Gli IPA totali mostrano concentrazioni molto elevate, anche superiori, in alcune aree, al limite definito nella Colonna B Allegato 5 al Titolo V alla Parte IV del D.Lgs. 152/06. In particolare i superamenti della Colonna B interessano ... i primi 50 cm di spessore dell'area più interna della Darsena Polisettoriale.... Si osservano inoltre numerosi superamenti del valore di intervento che interessano, nello strato più superficiale, la quasi totalità della Darsena Polisettoriale.....Tra gli IPA determinati, il composto più critico è risultato essere il

Benzo(a)pirene, il quale oltre ai numerosi superamenti della Colonna B, essenzialmente localizzati nelle aree dove è stata riscontrata la principale contaminazione legata agli IPA totali, ha evidenziato anche concentrazioni superiori al limite definito per la classificazione di pericolosità (D.M. 7 novembre 2008). Queste ultime sono localizzate ... nella parte interna della Darsena Polisettoriale, e ...

... I superamenti, per gli idrocarburi totali, di 1000 mg/kg s.s., non associati a concentrazioni di Benzo(a)pirene superiori a 100 mg/kg s.s., sono localizzati, tra l'altro, nella parte interna della Darsena Polisettoriale, dove raggiungono lo strato 100-150 cm...

... E' stata inoltre evidenziata una contaminazione legata a metalli, in particolar modo Piombo, Cadmio, Zinco, Mercurio, Rame e Arsenico. Nel dettaglio, Mercurio, Arsenico e Rame presentano superamenti del valore di intervento... In generale i superamenti dei valori di intervento relativi ai metalli indicati interessano principalmente la Darsena Polisettoriale; dette aree vanno a ridursi, localizzandosi nelle aree più vicine alla costa ed al Molo V, scendendo nei livelli profondi. I superamenti di Colonna B dell'Arsenico interessano lo strato 150-200 cm in un'area adiacente il Terminal Container. Tra i metalli è stato inoltre individuato un unico superamento della Colonna B per il Vanadio, localizzato nello strato più superficiale della Darsena Polisettoriale, in corrispondenza della parte interna dell'imboccatura del porto fuori rada. Sono stati inoltre osservati alcuni superamenti del valore di intervento relativamente a Nichel e Cromo, che interessano aree limitate e comunque interessate da superamenti di altri metalli...

... Per quanto riguarda i composti organici, gli esiti della caratterizzazione hanno presentato diversi superamenti del valore di intervento dei PCB totali; tali superamenti interessano gli strati superficiali della parte interna della Darsena Polisettoriale e dell'area di ampliamento del V sporgente, dove si spingono fino allo strato 150-200 cm. in una parte molto ristretta e vicina alla costa. Nella medesima area sono stati evidenziati superamenti della Colonna B per i PCB totali limitatamente allo strato 100-150 cm...

... Si osservano, infine, alcuni superamenti del valore di intervento relativi ai composti organostannici, tutti localizzati nello strato più superficiale della parte interna della Darsena Polisettoriale. E' risultata particolarmente rilevante la concentrazione determinata in una stazione adiacente il Molo V, essa è infatti risultata pari a 16900 µg/kg s.s., quindi maggiore di oltre due ordini di grandezza il corrispondente valore di intervento.

Si riportano di seguito le carte contenenti l'elaborazione complessiva e le risultanti superfici a differente contaminazione per l'area ad Ovest di Punta Rondinella rappresentate in strati consecutivi di sedimento di spessore di 50 cm fino alla profondità di 3 m, o meno nel caso in cui la contaminazione si arresti prima di tale quota desunte dal Piano di gestione dei sedimenti" elaborato da ISPRA nel 2009.

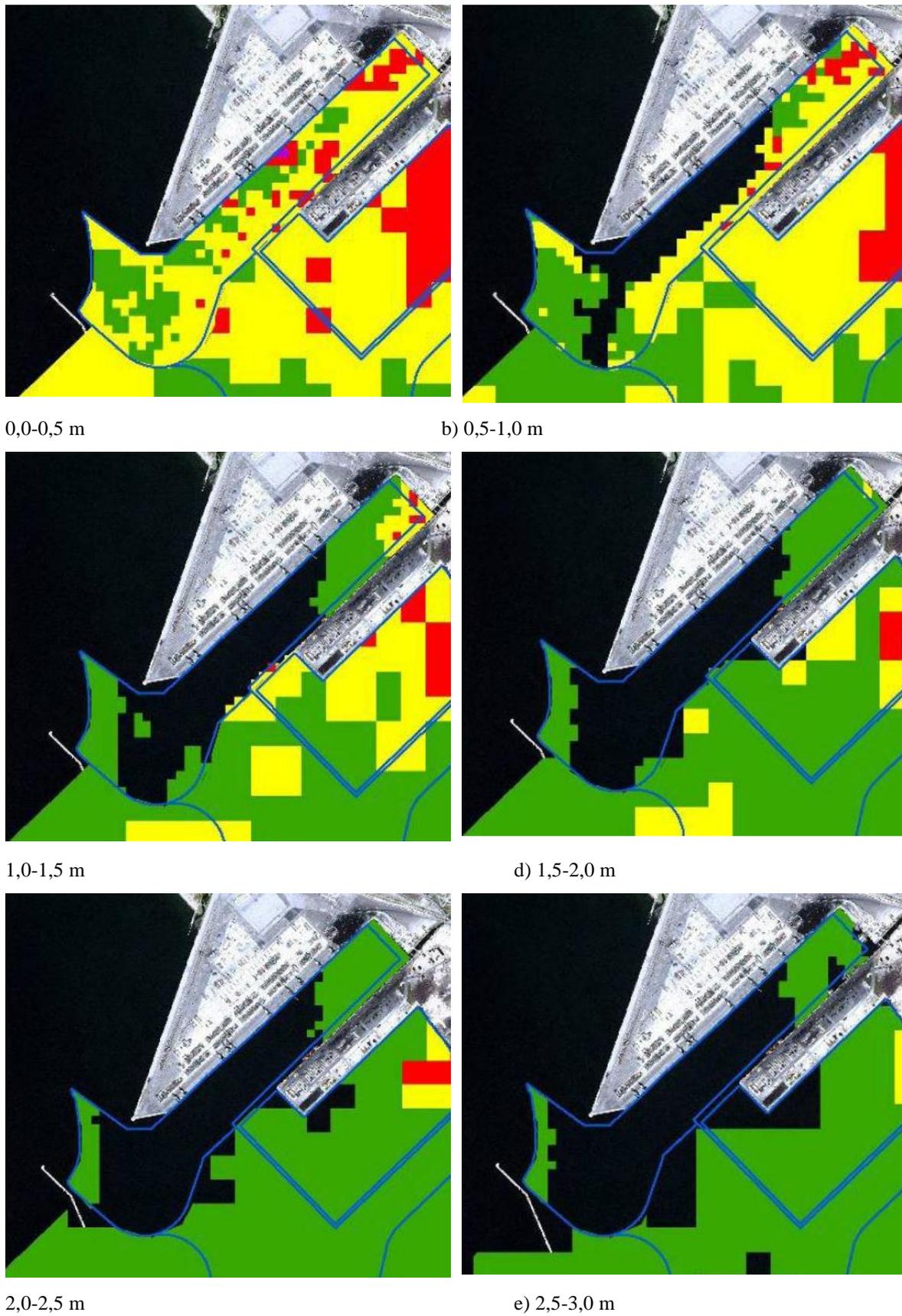


Figura 5 - Superamenti totali nell'area della darsena Polisetoriale

3.1.2 Considerazioni riguardanti l'abbattimento del carico inquinante

Dall'analisi dei risultati della caratterizzazione riportati nel documento "Piano di gestione dei sedimenti" emerge, dunque, come nell'area interessata dal dragaggio (Darsena Polisettoriale) già a partire da 2 m di profondità i sedimenti presentano valori di concentrazione dei contaminanti inferiori ai limiti di intervento.

Sempre analizzando i risultati contenuti nel documento "Piano di gestione dei sedimenti" predisposto da ISPRA nel settembre 2009, i sedimenti presenti nelle aree da dragare (Darsena Polisettoriale) sono classificabili nel modo seguente:

- ✓ 0-50 cm: prevalenza di sedimenti GIALLI e VERDI, presenza di sedimenti ROSSI;
- ✓ 50-100 cm: prevalenza di sedimenti GIALLI e VERDI, presenza di sedimenti ROSSI, presenza di zone non caratterizzate;
- ✓ 100-150 cm: prevalenza di sedimenti VERDI, modesta presenza di sedimenti GIALLI E ROSSI, presenza di zone non caratterizzate;
- ✓ 150-300 cm: sedimenti VERDI e non caratterizzati

Inoltre, è stata calcolata la quantità di sedimenti da refluire in cassa di colmata, suddivisa in relazione alle classi di caratterizzazione e di seguito riportata.

Tabella 7 – Quantitativi (m³) di sedimenti da dragare, suddivisi per tipologia e fasi di dragaggio

	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Totale per classe
rossi	952	8.769	22.171	31.893
gialli	198.442	104.588	93.367	396.397
verdi	424.023	24.508	78.204	526.735
non caratterizzati				1.024.183
Totale per fase	623.417	137.865	193.743	1.979.208

Tabella 8 – Quantitativi (%) di sedimenti da dragare, suddivisi per tipologia e fasi di dragaggio

	Fase 3	Fase 4	Fase 5	Totale per classe
rossi	0,05%	0,44%	1,12%	1,61%
gialli	10,03%	5,28%	4,72%	20,03%
verdi	21,42%	1,24%	3,95%	26,61%
non caratterizzati				51,75%
Totale per fase	31,50%	6,97%	9,79%	100,00%

Dall'analisi di Tabella 7 e Tabella 8, si evidenzia come i sedimenti che presentano valori superiori a quelli di intervento sono pari a circa il 22 % del totale da refluire in cassa di colmata, in cui avverrà, di fatto, la loro miscelazione.

Sulla base, dunque, delle caratteristiche dei sedimenti e considerando che il dragaggio dei sedimenti da refluire in cassa di colmata si spingerà fino ad una profondità massima di -16,5 m ,

interessando per la maggior parte terreni con valori di concentrazione inferiori ai limiti di intervento, si può ritenere che le acque in uscita dalla cassa di colmata siano conformi ai limiti di scarico in acque superficiali (Tabella 3, Allegato 5, Parte Terza D.Lgs. 152/2006) con deroga per i cloruri.

Non si prevede, dunque, un trattamento specifico di abbattimento del carico inquinante per le acque in uscita dalla cassa di colmata. Tuttavia il trattamento di filtrazione proposto per l'abbattimento dei solidi sospesi, e descritto al cap. 3.2 è in grado di effettuare una riduzione di circa l'80% dei metalli pesanti. Per una valutazione più accurata del rilascio di contaminanti dai sedimenti si rendono comunque necessari test di cessione che potranno essere effettuati in fase esecutiva.

3.1.3 Caratteristiche granulometriche

Per la stima della concentrazione dei solidi nell'effluente, bisogna considerare le caratteristiche granulometriche dei sedimenti.

Come riportato nel "Piano di gestione dei sedimenti" predisposto da ISPRA nel settembre 2009 *"...L'area ad Ovest di Punta Rondinella è caratterizzata da una significativa variabilità nella composizione granulometrica dei sedimenti. Questi risultano prevalentemente costituiti da peliti sabbiose con una frequenza minore di sabbie pelitiche. I sedimenti sono mediamente fini, con percentuali di sabbia del 19%, mentre le frazioni fini (limo e argilla) hanno percentuali rispettivamente del 43% e 35%. Sono, inoltre, presenti aree abbastanza circoscritte con elevate percentuali di ghiaia che arrivano in alcuni casi anche al 43%.*

Le caratteristiche sedimentologiche presenti nei sedimenti più superficiali tendono a mantenersi simili nei livelli sottostanti, anche se con un definito gradiente di diminuzione, fino al limite di profondità caratterizzato. Una significativa anomalia si riscontra solo all'interno della Darsena Polisettoriale dove all'aumentare della profondità corrisponde invece un incremento della frazione più grossolana...

La parte più superficiale del materiale da dragare e da conferire nella cassa di colmata è dunque classificabile, dal punto di vista fisico, in prevalenza come limo argilloso. All'aumentare della profondità, nell'area da dragare (Darsena Polisettoriale) aumenta la frazione più grossolana.

Si riporta in Figura 6 la Classificazione granulometrica dei sedimenti dell'area ad ovest di Punta Rondinella (Fonte ISPRA). In rosso è tratteggiata l'area della Darsena Polisettoriale oggetto del dragaggio.

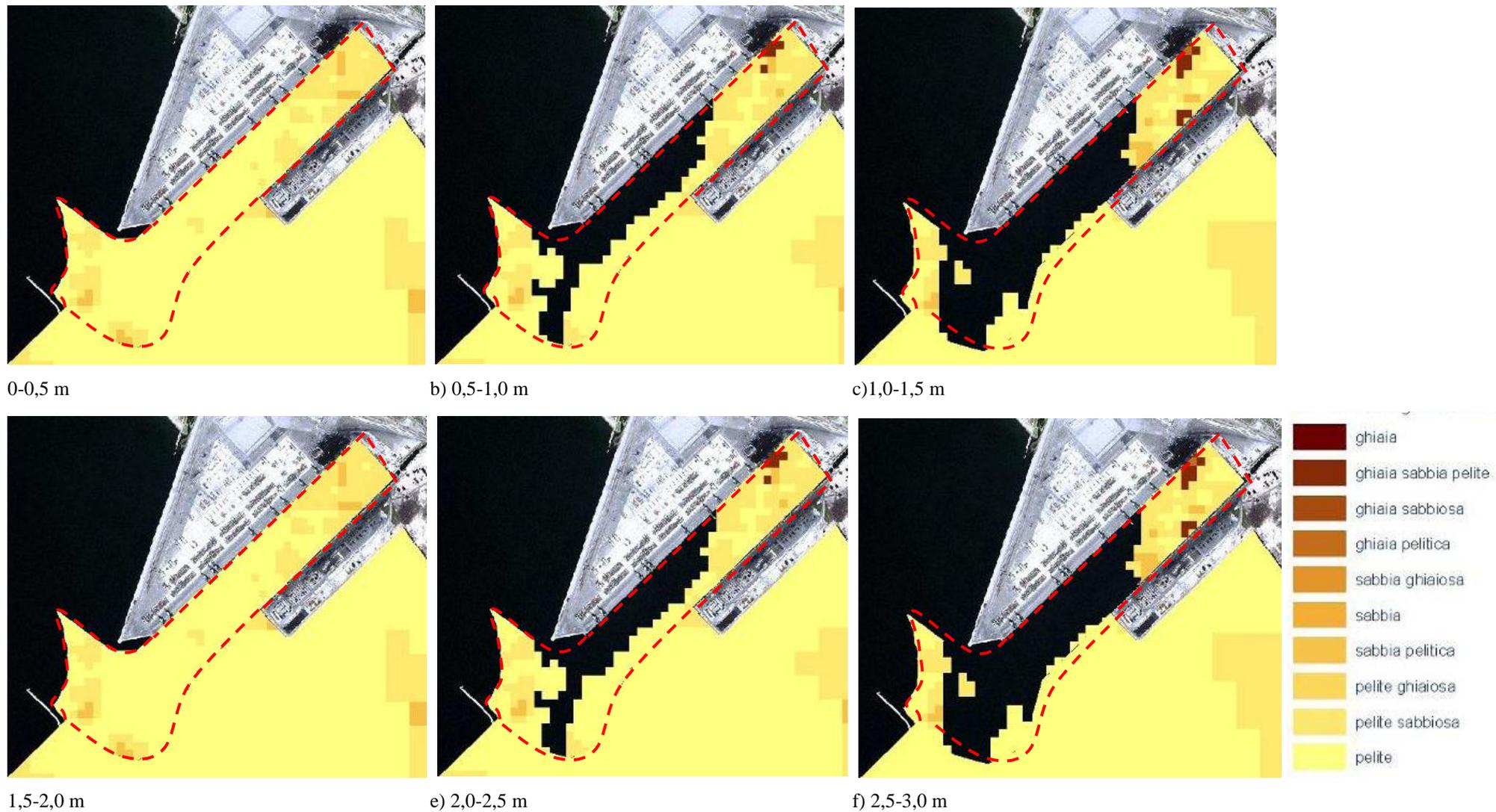


Figura 6 - Granulometria dei sedimenti nell'area della Darsena polisetoriale (area tratteggiata in rosso)

3.1.4 Considerazioni riguardanti la riduzione dei solidi sospesi

Le caratteristiche dei sedimenti inducono ad adottare particolari accorgimenti per garantire/migliorare la sedimentabilità/rimozione dei solidi al fine rispettare per l'effluente i limiti imposti dal D.lgs 152/2006 per i solidi sospesi (80 mg/l).

Tali accorgimenti, descritti in maniera dettagliata nella Relazione Tecnica Generale e nella Relazione Idrologico Idraulica, riguardano:

- ✓ la modalità di dragaggio e di refluentamento;
- ✓ la funzionalità e la gestione della cassa di colmata, con l'utilizzo di particolari accorgimenti/trattamenti per favorire la sedimentazione/rimozione dei solidi sospesi.

Diversi fattori possono determinare la presenza di particelle in sospensione, come ad esempio la turbolenza che si crea nella zona di refluentamento.

Nel caso di sedimenti a frazione prevalentemente pelitica bisogna evitare draghe di elevata potenzialità, come quelle idrauliche che, a causa delle grandi portate e della conseguente turbolenza creata nella vasca, non consentirebbero una adeguata decantazione; In tale caso l'operazione di sversamento potrebbe solo avvenire con inadeguatezze gravi dal punto di vista della gestione ambientale, quali ad esempio copiose fuoriuscite di torbide dalla cassa.

Il progetto prevede di utilizzare un dragaggio meccanico, consente di prelevare un sedimento più concentrato in tenore di solidi e con minore percentuale di acqua, che riduce in maniera significativa la turbolenza durante il refluentamento in cassa ed evita soprattutto l'effetto di trascinamento che si avrebbe nel caso di refluentamento idraulico (flusso ascendente attraverso lo slurry).

Si è previsto, dunque, di utilizzare, durante il refluentamento della miscela, diversi accorgimenti per diminuire le portate in uscita sfruttando 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 disponibile, di invaso e laminazione delle portate in ingresso e uscita, pari a circa 828.700 m³.

L'idrovora prevista, montata su un pontone mobile, potrà essere spostata via via nelle aree più lontane da quelle di refluentamento 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 refluentamento dei sedimenti in cassa di colmata dovranno cominciare dal lato sud del palancolato, più lontano 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, 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 tutto il volume della cassa di colmata sarà interessato dalla torbidità determinata dal refluentamento dei sedimenti. In queste fasi, quindi, il volume di laminazione ancora disponibile ci 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 refluento si estenda sin dalle prime fasi al resto della cassa di colmata, saranno utilizzate diverse panne antitorbidità, di cui la prima linea sarà posta immediatamente a ridosso dell'area di refluento, 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 refluento 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 4m;

Quando il livello marino nella cassa di colmata avrà raggiunto la quota di +0,5 m s.l.m.m., a cui è posto il fondo del canale, 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 (a stramazzo rettangolare sulla lama della paratoia) e n. 3 a ghigliottina (a stramazzo inferiore sotto battente): dalle diverse possibili regolazioni delle quali sarà possibile fare fluire nel canale di gronda le portate desiderate, mantenendo, nel contempo, il pelo libero nella cassa di colmata alla quota desiderata.

Il criterio regolatore per tutte le operazioni di allontanamento delle acque di esubero sarà, comunque, sempre quello di allontanare le portate maggiori nelle fasi iniziali del dragaggio, quando le acque sono ancora non interessate dal refluento.

Il canale, inoltre, 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.

Il valore della velocità di sedimentazione delle argille è stato desunto sulla base di dati di letteratura ed esperienze di laboratorio. Dati di letteratura 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").

Da prove di sedimentazione condotte sui sedimi del porto di Livorno, in occasione di uno studio sulle modalità di gestione della cassa di contenimento realizzata all'esterno della diga del Marzocco, la velocità di sedimentazione calcolata risultava pari a 0,021 m/h.

Si prevede di porre particolare attenzione quando la superficie liquida della cassa di colmata, utile per la sedimentazione, si approssimerà a circa 1/5 della iniziale. In tale situazione, considerando la portata iniziale (1100 m³/h), il carico idraulico superficiale risulterà pari quasi alla velocità di sedimentazione delle argille di maggiori dimensioni.

3.2 Schema di processo dell'impianto di trattamento acque di esubero della cassa di colmata

In condizioni di emergenza e nel periodo finale del riempimento della cassa di colmata, quando il carico idraulico superficiale non sarà più tale da garantire la sedimentazione delle frazioni più fini, le acque verranno inviate all'impianto di filtrazione adiacente la vasca di stoccaggio. L'impianto è stato dimensionato sulla massima portata in uscita dalla cassa di colmata (1100 m³/h) anche se nella fase finale del riempimento della cassa di colmata si interverrà con una riduzione della portata di refluento che consenta di mantenere ancora il carico idraulico superficiale ed il carico di solidi sospesi entro limiti accettabili.

3.2.1 Filtrazione su sabbia

Al fine di consentire la precipitazione dei flocculi non sedimentati e non sedimentabili, si prevede l'inserimento di una fase di filtrazione su sabbia. Tale processo può consentire, inoltre, una riduzione dell'80% rispetto alle concentrazioni dei metalli in ingresso al processo, risolvendo anche il problema dell'eventuale presenza di metalli (in particolare ferro) nelle acque.

Durante la filtrazione il fluido da trattare passa attraverso il letto filtrante, determinando il continuo deposito di particelle e fiocchi, e il progressivo intasamento del filtro che determina una continua perdita di carico, ovvero l'incremento della pressione richiesta per mantenere costante la velocità di filtrazione.

Si prevede l'installazione in parallelo dei filtri in pressione cilindrici verticali in acciaio e riempimento di sabbia con granulometria omogenea non superiore a 1 mm.

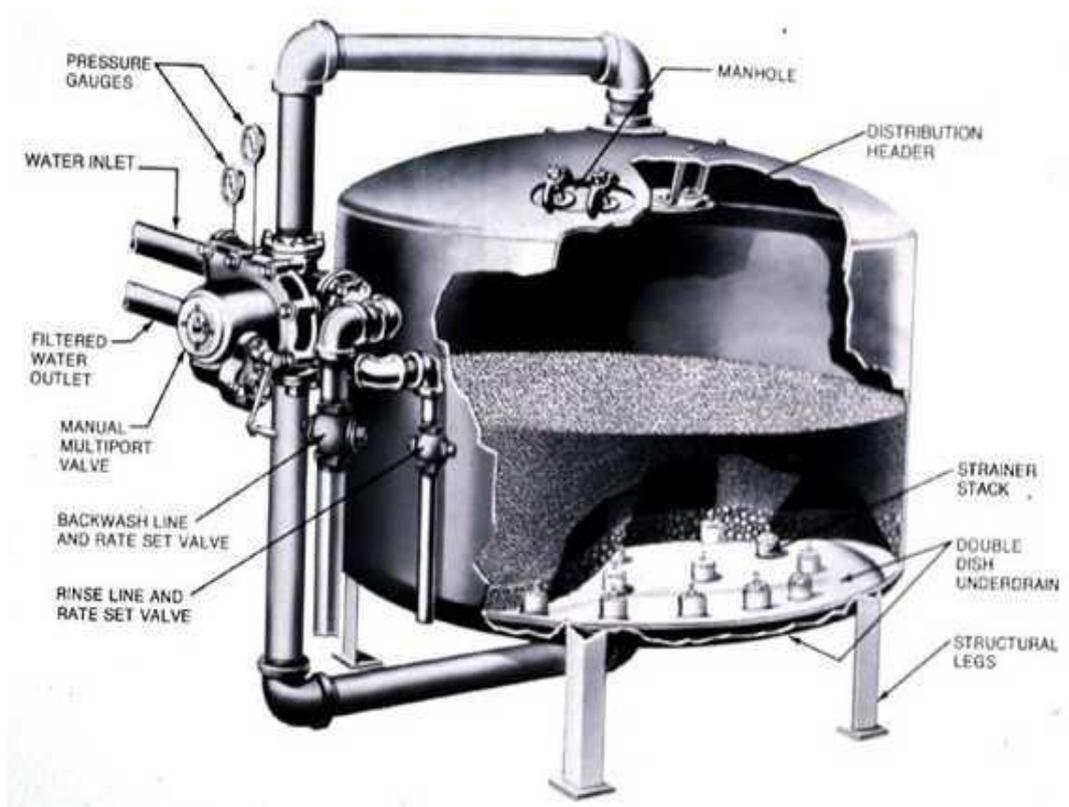


Figura 7 - Schema di un filtro a sabbia



Figura 8 - Batteria di filtri in parallelo

Nel dimensionamento del numero di filtri a sabbia, si assumono i dati riportati in Tabella 9.

Tabella 9 - Dati di progetto dello stadio di filtrazione su sabbia

Numero unità:	15+1
1 filtro in stand-by al fine di poter disporre di una unità filtrante nel caso di manutenzione/controlavaggio su altri filtri;	
Modello filtro verticale in pressione	
Altezza del materiale filtrante:	1 m
Altezza totale del filtro:	3 – 3,5 m
Diametro	3 m
Superficie unitaria	7,1 m ²
Velocità di filtrazione normale:	10-11 m ³ /(m ² *h)
Velocità di filtrazione con filtro in controlavaggio:	15-25 m ³ /(m ² *h)
Pressione di progetto:	1,5 -2 atm.
Portata totale da trattare	1.100 m ³ /h
Portata trattata da ciascun filtro	73 m ³ /h

Sono necessari 16 filtri di cui uno in stand-by al fine di poter disporre di una unità filtrante nel caso di manutenzione/lavaggio su altri filtri.

Per ovviare alle costanti perdite di carico, si rende necessaria una periodica rimozione dei solidi trattenuti per ripristinare le condizioni iniziali. Al fine di mantenere la capacità filtrante del letto di sabbia, ad intervalli temporizzati e prestabiliti si procede al lavaggio automatico dei filtri. Tale controlavaggio sarà altresì effettuato in modo automatico in caso di sovrappressione nel filtro che indichi la riduzione del potere filtrante sotto i limiti di sicurezza.

Questa operazione viene effettuata in due stadi:

- ✓ il primo stadio è rappresentato dal passaggio attraverso il letto filtrante di aria compressa con un carico di 50 m³/(m²*h) con alimentazione dal basso. L'aria necessaria nel primo stadio di controlavaggio per la rottura di eventuali grumi di solidi viene fornita attraverso soffianti da 350 Nm³/h.

Tabella 10 - Dati di progetto dello stadio controlavaggio: Aria di lavaggio

Superficie unitaria	7,1 m ²
Velocità prevista	50 m/h
Qaria	350 Nm ³ /h
Prevalenza di progetto:	500 mbar.

Sono previste due soffianti (1 + 1 riserva) alla pressione di 500 mbar

- ✓ il secondo stadio consiste nel lavaggio con acqua, con un carico di 15-25 m³/(m²*h) anch'esso in controcorrente.

Tabella 11 - Dati di progetto dello stadio di controlavaggio: Acqua di lavaggio

Superficie unitaria	7,1
Velocità prevista	15 m/h
Qacqua	110-180 m ³ /h
Prevalenza di progetto:	1 bar

L'immissione dell'acqua di controlavaggio in modo omogeneo sul fondo del filtro è realizzata attraverso un apposito sistema di diffusori, che nella fase di filtrazione raccoglie l'acqua prodotta. L'acqua di controlavaggio, essendo chiusa l'immissione dell'acqua grezza, sale di livello fino a stramazzare in canalette trasversali poste più in alto del livello max di filtrazione. Le canalette si raccordano tutte al collettore di raccolta acque di lavaggio.

Per quanto riguarda le acque di controlavaggio si possono considerare due alternative:

- ✓ Lavaggio con le acque trattate;
- ✓ Lavaggio con acque di mare.

Nel primo caso le acque verranno prelevate dallo stesso bacino di raccolta delle acque trattate. Tutto il sistema di accumulo è costituito da:

- ✓ Vasca polmone fuori terra per l'accumulo delle acque da trattare provenienti dalla cassa di colmata $V = 400 \text{ m}^3$;
- ✓ Vasca di accumulo delle acque trattate che verranno scaricate a mare e di prelievo delle acque di controlavaggio $V = 400 \text{ m}^3$;
- ✓ Vasca di raccolta dalla quale le acque utilizzate per il controlavaggio verranno inviate in cassa di colmata $V = 400 \text{ m}^2$.

Considerando un'altezza utile delle vasche di 4 m e aggiungendo la superficie necessaria per l'installazione di filtri, la superficie necessaria per l'impianto risulta pari a circa 850 m^2 .

Nel secondo caso si prevede il prelievo delle acque dal mare e l'accumulo in una vasca separata dalla vasca di raccolta delle acque trattate. In tal caso tutto il sistema di accumulo è costituito da:

- ✓ Vasca polmone fuori terra per l'accumulo delle acque da trattare provenienti dalla cassa di colmata $V = 400$;
- ✓ Vasca di accumulo delle acque trattate che verranno scaricate a mare $V = 400 \text{ m}^3$;
- ✓ Vasca di accumulo delle acque prelevate a mare da utilizzare per il controlavaggio $V = 200 \text{ m}^3$;
- ✓ Vasca di raccolta dalla quale le acque utilizzate per il controlavaggio verranno inviate in cassa di colmata $V = 400 \text{ m}^3$.

Considerando un'altezza utile delle vasche di 4 m e aggiungendo la superficie necessaria per l'installazione di filtri, la superficie necessaria per l'impianto risulta pari a circa 850 m^2 .

Nel secondo caso per la valutazione del volume della vasca di accumulo delle acque con le quali effettuare il controlavaggio si è considerata una durata del controlavaggio stesso di 15 minuti, ipotizzando di stoccare un quantitativo pari almeno a 2 lavaggi.

Tra le due soluzioni la prima è stata preferita per i minori ingombri e la maggiore semplicità gestionale.