

REVISIONE							
	00	31/01/2013	Prima emissione	Ceroni, Imperiali, Rubis	Stigliano	Stigliano	
	N.	DATA	DESCRIZIONE	ELABORATO	VERIFICATO	APPROVATO	



CESI S.p.A.
Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251 Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it www.cesi.it
Engineering & Environment – ISMES

SITO SAPEI.
PROGETTAZIONE OPERE DI BARRIERAMENTO FISICO-IDRAULICO, IMPIANTI TECNOLOGICI,
IMPIANTO TRATTAMENTO ACQUE
Relazione di progetto

Progetto: AT12SCE042	COMMITTENTE: Terna Rete Italia S.p.A.	DOCUMENTO: B3002165	Nome file: RCHR11006CER02062.pdf	Scala -	Foglio 01/84
-------------------------	---	------------------------	-------------------------------------	------------	-----------------

NUMERO E DATA ORDINE: Contratto per ricerca, sviluppo e supporto specialistico tra Terna Rete Italia S.p.A. e CESI S.p.A. 2012 – Scheda SRI140

REVISIONI					
	00	31/01/2013	Teramo M.T. ING/APRI RM	De Zan R. ING/APRI RM	email
	N.	DATA	ESAMINATO TERNA/EXT	ACCETTATO UNITA' TERNA	RIFERIMENTO ACCETTAZIONE

TIPOLOGIA DELL'ELABORATO	CODIFICA DELL'ELABORATO				
RELAZIONE	RCHR11006CER02062				
PROGETTO	TITOLO				
TE-HR-11-006	SITO SAPEI. PROGETTAZIONE OPERE DI BARRIERAMENTO FISICO-IDRAULICO, IMPIANTI TECNOLOGICI, IMPIANTO TRATTAMENTO ACQUE Relazione di progetto				
RICAVATO DAL DOC. TERNA					
CLASSIFICAZIONE DI SICUREZZA					
PUBBLICO					
NOME DEL FILE	SCALA CAD	FORMATO	SCALA	FOGLIO	
RCHR11006CER02062.pdf	-	A4	-	01/84	

Questo documento contiene informazioni di proprietà Terna Rete Italia S.p.A. e deve essere utilizzato esclusivamente dal destinatario in relazione alle finalità per le quali è stato ricevuto. E' vietata qualsiasi forma di riproduzione o di divulgazione senza l'esplicito consenso di Terna Rete Italia S.p.A.

This document contains information proprietary to Terna Rete Italia S.p.A. and it will have to be used exclusively for the purposes for which it has been furnished. Whichever shape of spreading or reproduction without the written permission of Terna Rete Italia S.p.A. is prohibited.

Cliente Terna Rete Italia S.p.A.

Oggetto Sito SAPEI. Progettazione opere di barrieramento fisico-idraulico, impianti tecnologici, impianto trattamento acque.
Relazione di progetto

Ordine C.Q. n.6000001736 - Attivazione n. 4000045661 del 02/11/2012
Scheda SRI140 - BARRIERA 2012 II – POS.000040

Note AT12SCE042 - Lettera di trasmissione B3002429

La parziale riproduzione di questo documento è permessa solo con l'autorizzazione scritta del CESI.

PAD B3002165 (1762859) - USO RISERVATO

N. pagine 83

N. pagine fuori testo

Data 31/01/2013

Elaborato SCE - Ceroni Giovanni, SCE - Imperiali Pierluigi, SCE - Rubis Davide
B3002165 114952 AUT B3002165 115009 AUT B3002165 115020 AUT

Verificato SCE - Stigliano Giuseppe Paolo
B3002165 4991 VER

Approvato SCE - Il Responsabile - Stigliano Giuseppe Paolo
B3002165 4991 APP

CESI S.p.A.

Via Rubattino 54
I-20134 Milano - Italy
Tel: +39 02 21251
Fax: +39 02 21255440
e-mail: info@cesi.it
www.cesi.it

Capitale sociale € 8.550.000 interamente versato
C.F. e numero iscrizione Reg. Imprese di Milano 00793580150
P.I. IT00793580150
N. R.E.A. 429222

© Copyright 2013 by CESI. All rights reserved

Pag. 1/83

Indice

1	PREMESSA	5
2	SINTESI DEI PRINCIPALI LINEAMENTI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDROCHIMICI	6
2.1	Idrogeologia.....	6
2.1.1	Schema di flusso idrico a grande scala.....	6
2.1.2	Schema di flusso a scala locale.....	7
2.2	Elementi stratigrafici.....	9
2.3	Assetto idro-stratigrafico.....	10
2.4	Qualità delle acque sotterranee.....	13
3	DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI BONIFICA	18
3.1	Obiettivi e strategia.....	18
3.2	Lineamenti generali dell'intervento.....	18
3.3	Parametri di esercizio.....	23
3.4	Monitoraggio.....	25
4	BARRIERAMENTO FISICO-IDRAULICO LATO FIUME	26
4.1	Sequenza operativa.....	26
4.2	Interferenze e problematiche progettuali.....	26
4.2.1	Interferenza con le infrastrutture.....	26
4.2.2	Ristrettezza delle aree nel tratto prossimo alla costa.....	27
4.2.3	Elevata pendenza di alcuni tratti di intervento.....	27
4.2.4	Attraversamento di formazioni litoidi.....	27
4.3	Cantierizzazione.....	27
4.4	Barriera fisica.....	28
4.4.1	Attività preliminari.....	28
4.4.2	Modalità esecutive della barriera fisica.....	28
4.4.3	Miscela per l'esecuzione della barriera fisica.....	30
4.5	Trincea drenante.....	30
4.6	Pozzi di emungimento e di immissione e piezometri.....	31
4.6.1	Pozzi di emungimento e immissione nella falda carbonatica profonda.....	31
4.6.2	Piezometri.....	34
4.7	Linee idrauliche, vie cavo e opere civili.....	38
4.8	Impianti tecnologici.....	38
4.9	Produzione di rifiuti.....	39
4.9.1	Rifiuti solidi.....	39
4.9.2	Rifiuti liquidi.....	41
4.10	Materiali.....	41
5	BARRIERAMENTO FISICO-IDRAULICO LATO MARE	42
5.1	Sequenza operativa.....	42
5.2	Interferenze e problematiche progettuali.....	42
5.2.1	Interferenze con le infrastrutture di centrale.....	43
5.2.2	Interferenza con l'area archeologica.....	43
5.2.3	Cavi interrati SA.PE.I.....	43
5.3	Cantierizzazione.....	44
5.4	Barriera fisica.....	44
5.4.1	Attività preliminari.....	44
5.4.2	Modalità esecutive del diaframma composito.....	45

5.4.3	Miscela per il diaframma composito	46
5.4.4	Modalità esecutive dei trattamenti di jet-grouting.....	46
5.4.5	Miscele per i trattamenti jet grouting	46
5.5	Trincea drenante.....	47
5.6	Pozzi di emungimento e di immissione e piezometri.....	47
5.6.1	Pozzi di emungimento e immissione nella falda carbonatica profonda	47
5.6.2	Piezometri	50
5.7	Linee idrauliche, vie cavo e opere civili.....	54
5.8	Impianti tecnologici	54
5.9	Produzione di rifiuti.....	55
5.9.1	Rifiuti solidi	55
5.9.2	Rifiuti liquidi	56
5.10	Materiali.....	57
6	IMPIANTO TRATTAMENTO ACQUE EMUNTE.....	58
6.1	Caratteristiche chimico fisiche dell'acqua di falda.....	58
6.2	Descrizione generale del processo	59
6.3	Criteri di progettazione delle sezioni di impianto.....	60
6.4	Scarichi e autorizzazioni	61
6.5	Descrizione prestazionale.....	62
6.5.1	Descrizione del sistema di trattamento	62
6.5.2	Impianto Trattamento Acque di Falda (TAF): Elenco filiera di processo.....	63
6.5.3	Descrizione del processo di trattamento TAF	64
6.5.4	Fluogramma di processo.....	67
6.5.5	Sezione di filtrazione/deferrizzazione/demanganizzazione.....	68
6.5.6	Sezione di adsorbimento su carboni attivi.....	69
6.5.7	Sezione di ultrafiltrazione.....	70
6.5.8	Sezione Addolcitore Duplex.....	72
6.5.9	Sezione Osmosi inversa.....	73
6.5.10	Sezione blending dell'acqua reimpressa in falda con acqua Filtrata/Adsorbita 76	
6.5.11	Sezione smaltimento Fanghi	76
7	TEMPI DI REALIZZAZIONE.....	79
8	COSTI DI REALIZZAZIONE	82

STORIA DELLE REVISIONI

Numero revisione	Data	Protocollo	Lista delle modifiche e/o dei paragrafi modificati
00	31/01/2013	B3002165	Prima emissione

RIFERIMENTI

- [1] CESI. Rapporto A6034757 – “Piano di Caratterizzazione della Stazione Elettrica Terna S.p.A. e Area Stazione Conversione SAPEI di Fiume Santo.” del 06/02/07. Trasmesso da TERNA S.p.A. il 21/02/2007 con documento n° TE/P2007002030
- [2] TERNA. Stazione di conversione SA.PE.I in località “Fiume Santo” (SS) . Progetto di Bonifica delle acque di falda. Codifica RC30002ACCR02250 del 08/05/2007
- [3] Decreto del Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare prot. 3850 Q.d.V./M/Di/B dell’8/8/07 di autorizzazione in via provvisoria all’avvio dei lavori previsti nel “Progetto definitivo di bonifica delle acque di falda della Stazione Elettrica Terna e dell’Area Stazione di Conversione SAPEI di Fiume Santo”, ricadente nel sito di interesse nazionale “Aree industriali di Porto Torres”;
- [4] CESI. Piano di Caratterizzazione della Stazione Elettrica Terna S.p.A. e Area Stazione Conversione SAPEI di Fiume Santo. Relazione Tecnica delle Indagini Svolte. Prot. A6034757 del 07/02/2007;
- [5] CESI. Sito Fiume Santo (Area SAPEI). Progetto delle opere di bonifica della falda e relative indagini integrative. Voce 2.1.3 - Indagini integrative nell’area interessata dalle opere di bonifica - Relazione Finale. Prot. A9033075 del 10/12/2009;
- [6] CESI. Rapporto di prova “Acque di falda provenienti dal sito di Fiume Santo” Prot. A9028223 del 17-18/08/2009;
- [7] CESI. Sito Fiume Santo (Area SAPEI). Progetto definitivo delle opere di bonifica della falda e relative indagini integrative. Voci 2.1.4 e 2.1.5 - Relazione geologica ed idrogeologica e definizione del modello concettuale dell’acquifero e Analisi degli scenari di intervento di bonifica. Prot. A9033077 del 11/12/2009, con allegato il rapporto tecnico Prot. A9034950 redatto a cura del Prof. Pietro Bruno Celico;
- [8] Prof. Pietro Bruno Celico - Progettazione delle opere di barrieramento della falda del sito TERNA-SAPEI di Porto Torres (SS). Attività di consulenza idrogeologica nel corso della progettazione esecutiva. Relazione idrogeologica finalizzata alla definizione degli schemi di barrieramento fisico e idraulico per l’impostazione delle attività progettuali – Ipotesi di intervento n. 3 (Prot. CESI B2015615).

1 PREMESSA

L'Area della Stazione di Conversione SA.PE.I. in località Fiume Santo nel comune di Sassari ricade all'interno del Sito di Interesse Nazionale di Porto Torres, così come perimetrato dal Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM).

In ottemperanza al dettato normativo, nel 2006 Terna ha promosso l'esecuzione di una indagine di caratterizzazione ambientale (Rif. [1]). L'indagine ha indicato la presenza di valori di concentrazione superiori alle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC) previste da D.Lgs. 152/06 nelle acque sotterranee.

Conseguentemente, come previsto dalla normativa, Terna ha predisposto e consegnato al MATTM uno specifico documento progettuale (Rif. [2]). Il progetto prevedeva uno schema di intervento basato sulla tecnica del barriera fisico idraulico della falda e la conduzione di una campagna di indagine preventiva, volta ad approfondire le conoscenze ed acquisire gli elementi necessari per procedere alle successive fasi di progettazione esecutiva.

Il progetto è stato giudicato approvabile con prescrizioni dalla Conferenza di Servizi Decisoria del MATTM del giorno 5 giugno 2007, permettendo così l'avvio dei lavori.

Nel periodo 2008-2009 su incarico Terna, e in ottemperanza alle prescrizioni del MATTM, CESI ha eseguito la campagna di indagine prevista nel progetto presentato, con alcune varianti rese necessarie a causa della mancata autorizzazione all'accesso ad alcune aree di intervento.

Terna ha incaricato successivamente CESI di predisporre il progetto esecutivo degli interventi sulla base del complesso delle informazioni acquisite nel corso delle successive campagne di indagine, proseguendo e approfondendo l'approccio fisico-idraulico contenuto nel progetto approvato dal MATTM.

Infine, nel 2012 Terna ha ricevuto dal MATTM la richiesta di sottoporre a procedura di VIA il progetto di bonifica della falda. Nell'ambito della procedura di VIA, Terna ha incaricato CESI di predisporre lo Studio di Impatto Ambientale e, a supporto del SIA, di redigere un documento progettuale di sintesi, basato sui contenuti del progetto esecutivo.

Il progetto di sintesi costituisce l'oggetto del presente documento.

In considerazione della complessità e della delicatezza del problema, tutte le fasi di indagine e di progettazione sono state effettuate con la collaborazione scientifica e tecnica del Prof. Pietro Bruno Celico, Ordinario di Idrogeologia dell'Università degli Studi di Napoli "Federico II".

2 SINTESI DEI PRINCIPALI LINEAMENTI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDROCHIMICI

L'interpretazione tecnico-scientifica dei risultati delle indagini eseguite in sito (Rif. [4][5][6]), a cura del Prof. Pietro Bruno Celico e riportata nei documenti di cui ai Rif. [7] e [8], ha consentito di definire i lineamenti geologici e idrogeologici dell'area di Fiume Santo. Di seguito si riportano i principali elementi, desunti dai documenti citati.

2.1 Idrogeologia

2.1.1 Schema di flusso idrico a grande scala

Il sito TERNA-SAPEI è parte integrante della piana costiera del Fiume Santo, delimitata dai rilievi metamorfici dell'Argentiera, ad Est, dalla dorsale carbonatica dell'Alta Nurra (Figura 1), a Sud-Est, e dal golfo dell'Asinara, a Nord e a Nord-Est. A grande scala, la dorsale carbonatica dell'Alta Nurra rappresenta il principale acquifero. Esso poggia su un basamento ercinico (costituito da metagabbri, filladi, metasiltiti e quarziti nere) che costituisce il relativo substrato "impermeabile".

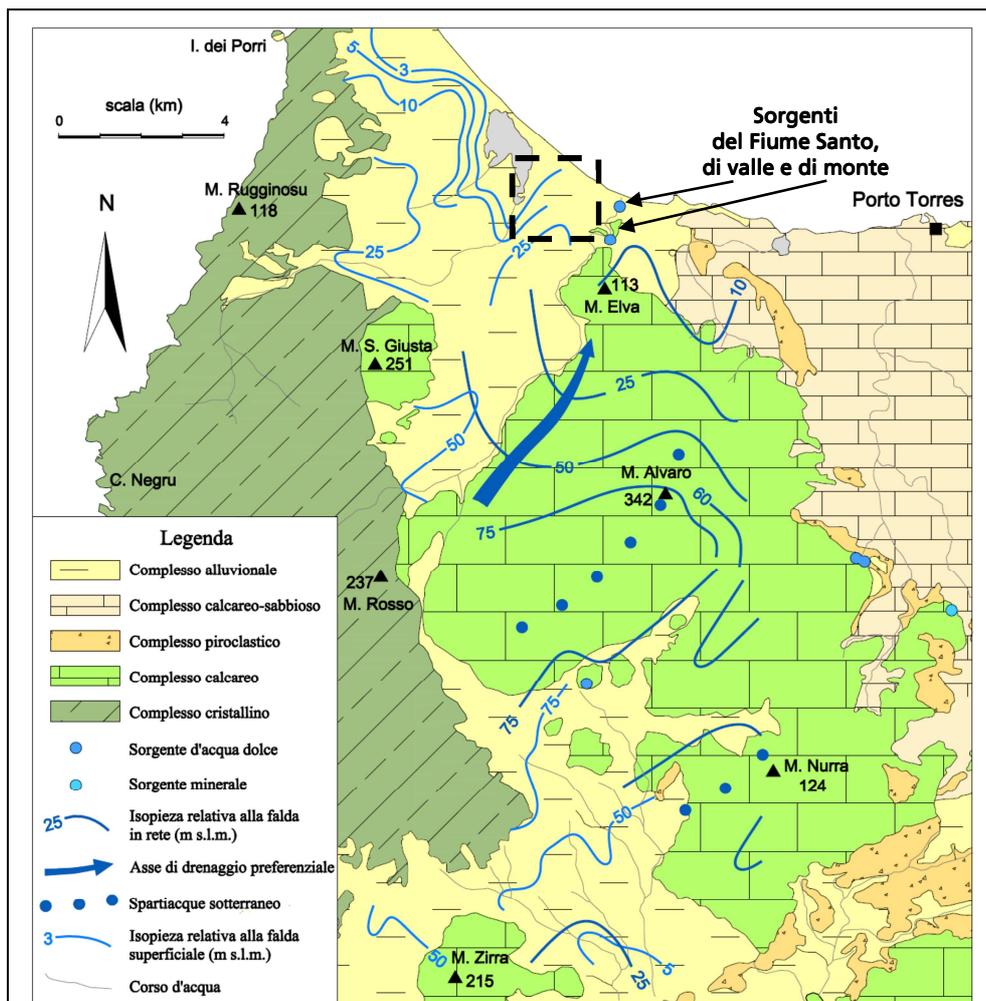


Figura 1: Carta idrogeologica dell'area di Porto Torres (da Rif. [7][8]).

Dal punto di vista geologico-stratigrafico, sul basamento ercinico sono presenti:

- successioni mesozoiche prevalentemente carbonatiche (depositi carbonatici di piattaforma: dolomie, calcari dolomitici, calcari bioclastici e oolitici), costituenti un acquifero altamente permeabile (per fratturazione e carsismo), potenti alcune centinaia di metri;
- successioni cenozoiche, costituite da vulcaniti pre-elveziane, depositi trasgressivi miocenici, successioni marine e depositi continentali quaternari, prevalentemente a grana fina o finissima.

Nell'ambito del massiccio carbonatico dell'Alta Nurra si individua un sistema sostanzialmente compartimentato in più bacini idrogeologici:

- il bacino sotterraneo di alimentazione delle sorgenti del Fiume Santo e del medesimo corso d'acqua, coincidente con la struttura carbonatica del Monte Elva e del Monte Alvaro (entrambi posti in destra idrografica del Fiume Santo);
- il bacino sotterraneo di alimentazione della porzione di acquifero carbonatico soggiacente il sito TERNA-SAPEI e le aree circostanti, coincidente con la struttura carbonatica del Monte S. Giusta e con i depositi di copertura della porzione di piana posta in sinistra idrografica del Fiume Santo, il cui recapito è rappresentato dal mare, dal Fiume Santo e dall'asse di drenaggio preferenziale sottostante al corso d'acqua.

2.1.2 Schema di flusso a scala locale

A scala locale, nell'ambito del settore di piana in sinistra idrografica del Fiume Santo si individua un sistema acquifero "composito", costituito da un aquitard superficiale e da un acquifero carbonatico profondo.

L'aquitard superficiale, costituito prevalentemente da argille e argille sabbiose di bassa permeabilità e subordinatamente da livelli calcarei e lenti sabbioso-ghiaiose più permeabili, almeno localmente può essere considerato alla stregua di un "pseudo-acquifero", essendo caratterizzato da una circolazione idrica sotterranea di entità molto modesta ("pseudo-falda") che trova il recapito ultimo in mare e nel Fiume Santo.

I principali elementi idrogeologici sono rappresentati da un asse di drenaggio preferenziale che, dal confine TERNA-SAPEI, convoglia le acque sotterranee verso Fiume Santo e da uno spartiacque sotterraneo che separa il flusso in due settori, aventi recapito rispettivamente verso la linea di costa e il Fiume Santo (Figura 2).

La piezometrica non è tracciata a monte del sito TERNA-SAPEI, per la presenza di un alto morfologico del basamento calcareo che costituisce una sorta di barriera naturale, in grado di ostacolare il transito della pseudo-falda provocandone l'assorbimento verso la falda profonda.

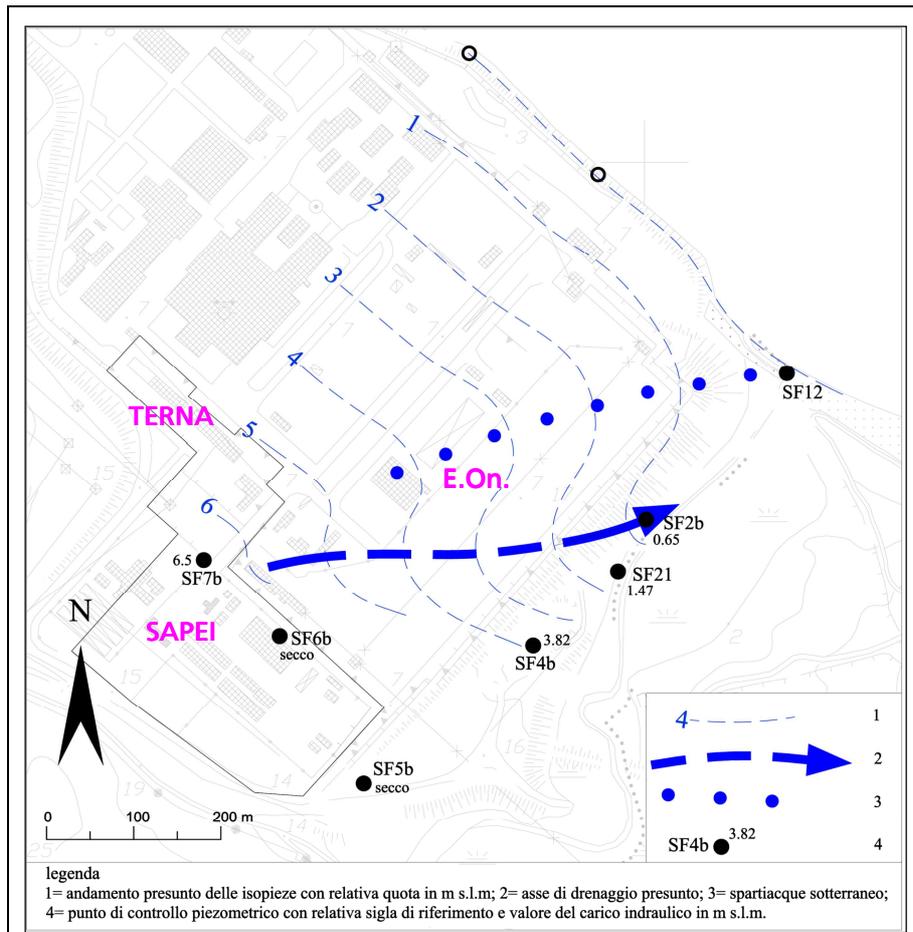


Figura 2: Modello di flusso per l'aquitard superficiale (da Rif. [7][8]).

L'acquifero carbonatico profondo, costituito da calcari dolomitici carsificati e fratturati, è sede di una circolazione idrica sotterranea più significativa e bene alimentata, in quanto rappresenta l'estensione verso mare dei rilievi carbonatici del Monte S. Giusta e del Monte Elva. L'acquifero presenta elevata eterogeneità ed anisotropia, come indicato da osservazioni stratigrafiche e dai risultati di prove di permeabilità in foro di sondaggio. Conseguentemente la produttività può risultare variabile in ragione delle caratteristiche locali delle discontinuità.

I principali elementi idrogeologici sono rappresentati da due assi di drenaggio che attraversano l'Area TERNA-SAPEI e si indirizzano rispettivamente verso il tratto di Fiume Santo prossimo alla foce e verso la linea di costa, separati da uno spartiacque sotterraneo (Figura 3).

Si osservano, inoltre, una zona di spartiacque sotterraneo a monte del sito TERNA-SAPEI, e una possibile azione di richiamo generata dai pozzi E.On. (Figura 3).

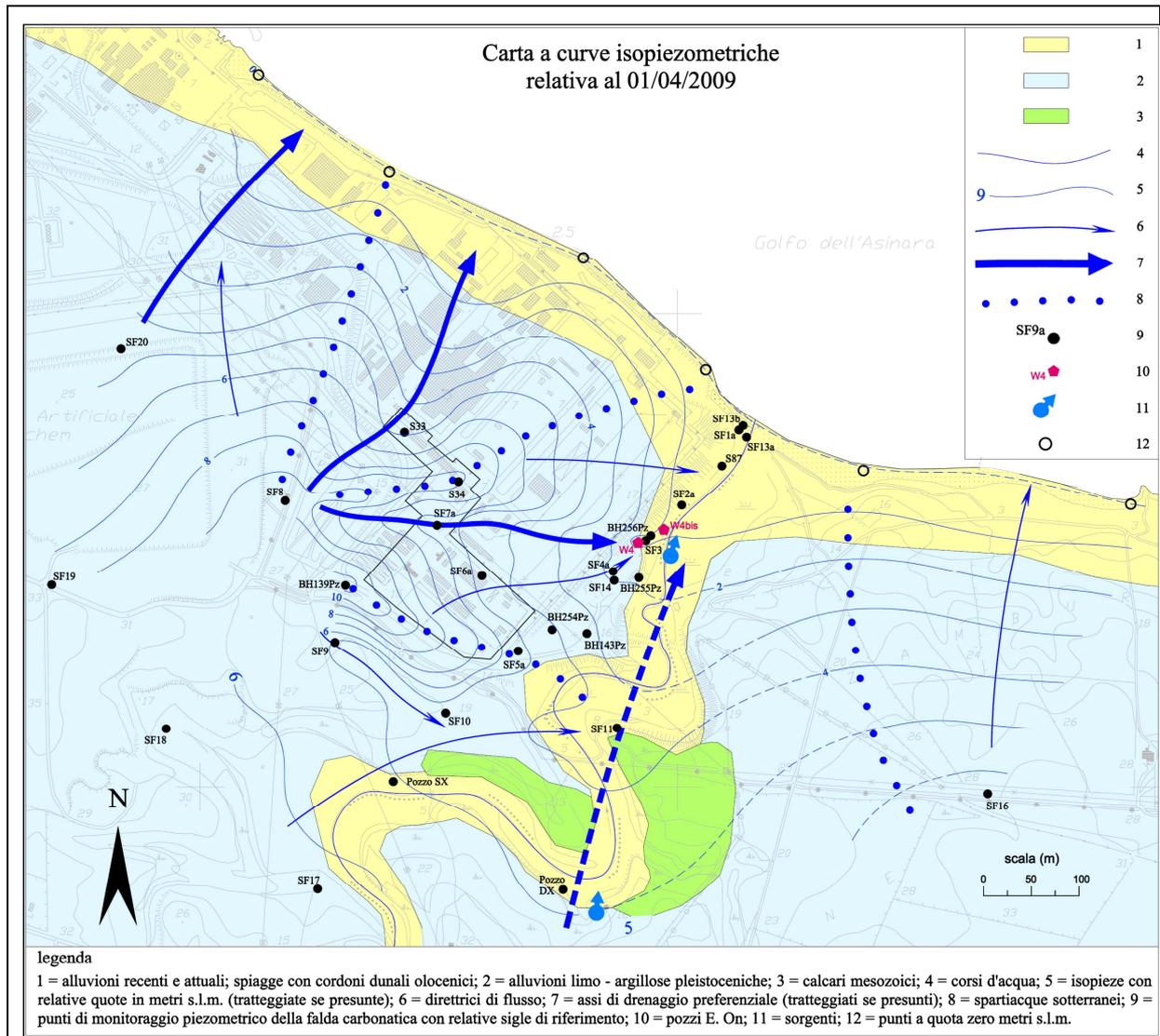


Figura 3: Modello di flusso l'acquifero carbonatico profondo (da Rif. [7][8]).

2.2 Elementi stratigrafici

Le indagini eseguite nel sito TERNA-SAPEI e nelle immediate vicinanze suggeriscono il seguente schema stratigrafico generale, dall'alto verso il basso (Rif. [7][8]):

- Terreni di riporto, il cui spessore varia da un minimo di 1÷2 metri nell'area SAPEI ad un massimo di 3÷5 metri nell'area TERNA;
- Depositi marini ed alluvionali antichi e terrazzati (ghiaie e sabbie con intercalazioni pelitico-argillose), riferibili al Pleistocene e all'Olocene, localizzati esclusivamente lungo la fascia costiera e lungo i principali corsi d'acqua;
- Calcari conglomeratici e calcari sabbiosi (Miocene); i depositi calcarei conglomeratici e sabbiosi poggiano direttamente sul basamento calcareo mesozoico, ove quest'ultimo è più sollevato, ovvero sui depositi terziari, ove il basamento carbonatico è più depresso.

- Depositi vulcanici rimaneggiati (di età oligo-miocenica), a granulometria prevalentemente argilloso-limosa (spesso fortemente pedogenizzati). Lo spessore è molto variabile in quanto poggiano su una paleo superficie fortemente modellata dai processi erosivi miocenici, e varia tra circa 5 metri e circa 30 m; gli spessori maggiori si osservano in corrispondenza del tratto terminale del Fiume Santo;
- Calcari dolomitici (di età compresa fra il Trias e il Dogger), molto carsificati e fratturati (con fratture che, nella zona investigata, sono spesso interessate da inclusioni argillose); sono posti in continuità fisica con gli identici litotipi che costituiscono il basamento sedimentario di tutta l'area di Porto Torres e Alghero; si rinvengono a pochi metri dal p.c., nell'area più prossima al Fiume Santo, per poi approfondirsi fino ad oltre 20 m dal p.c., nella restante area SAPEI e nella stazione TERNA e ben maggiori di 30 metri in corrispondenza del tratto terminale del Fiume Santo.

2.3 Assetto idro-stratigrafico

La ricostruzione della morfologia del substrato carbonatico e dell'assetto idrostratigrafico del sito, sono illustrate nelle figure seguenti, riprese dai Rif. [7][8]. Dalle figure si evincono i seguenti elementi:

- al di sotto dell'area SAPEI, è identificabile una zona di alto morfologico (e/o strutturale) del substrato carbonatico, la cui elevazione media è di circa 7÷8 metri s.l.m.; i sondaggi distribuiti ai margini di tale area indicano quote decisamente più basse (localmente fino a 15 m circa sotto il livello del mare, in SF7a);
- lungo il Fiume Santo, il tetto del substrato carbonatico digrada, sia pure irregolarmente, verso mare e, a circa 100 metri dalla linea di costa, si individua una rottura di pendenza del substrato che determina un notevole incremento di spessore dei depositi di copertura (da 10 a 50 metri circa);
- il calcare è sub-affiorante o affiorante in prossimità della sorgente di monte ubicata lungo il Fiume Santo, a poche centinaia di metri dall'alto morfologico soggiacente l'area SAPEI;
- la sorgente presente nella zona di foce del Fiume Santo, riconducibile al rastremarsi della copertura impermeabile e all'affioramento dei depositi alluvionali permeabili sottostanti (Pietracaprina, 1971), è anch'essa posizionata in una zona di alto morfologico e/o strutturale del substrato carbonatico, in grado di determinare lo sfioro della falda in rete.
- nel settore costiero, l'assetto geometrico del substrato carbonatico è caratterizzato da una serie di alti e bassi morfologici (e/o strutturali) che influenzano in vario modo la circolazione idrica sotterranea; localmente, la quota del top del basamento carbonatico determina il rinvenimento di acqua nei terreni di copertura e le diverse condizioni di deflusso (libero o confinato) della falda in rete.

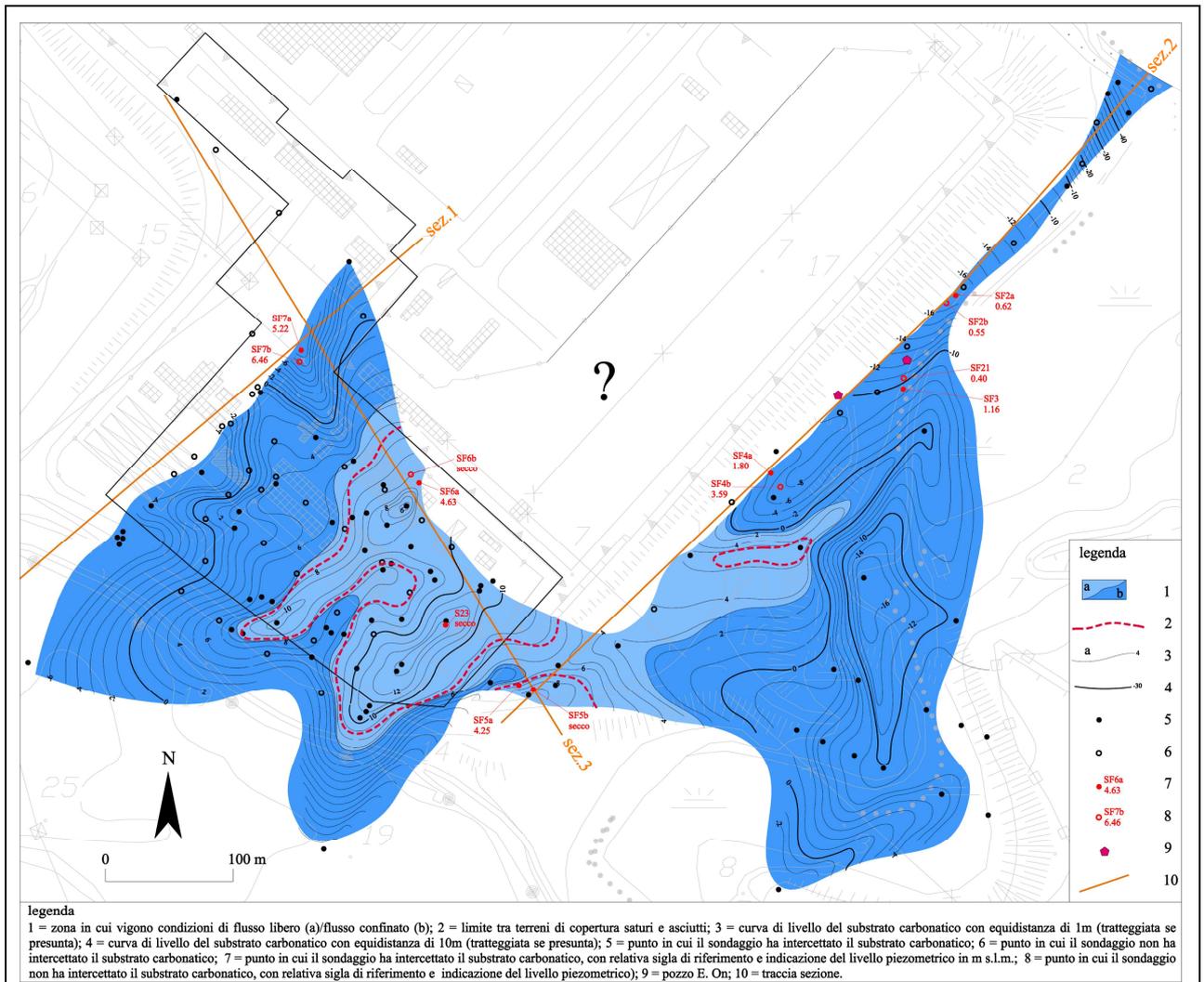


Figura 4: Morfologia del substrato carbonatico, condizioni di deflusso idrico della falda in rete, distribuzione dell'aquitard asciutto e valori dei carichi piezometrici (da Rif. [7][8]).

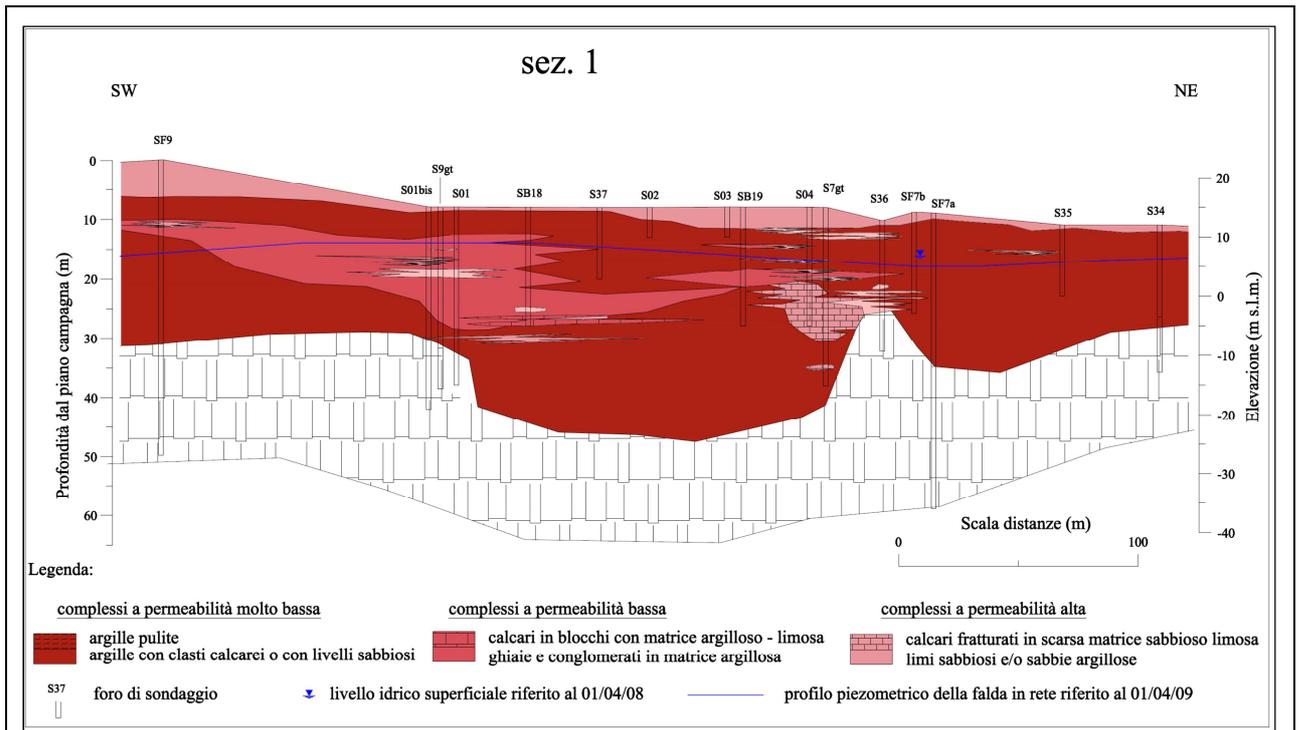


Figura 5: Sezione idro-stratigrafica 1 (da Rif. [7][8]).

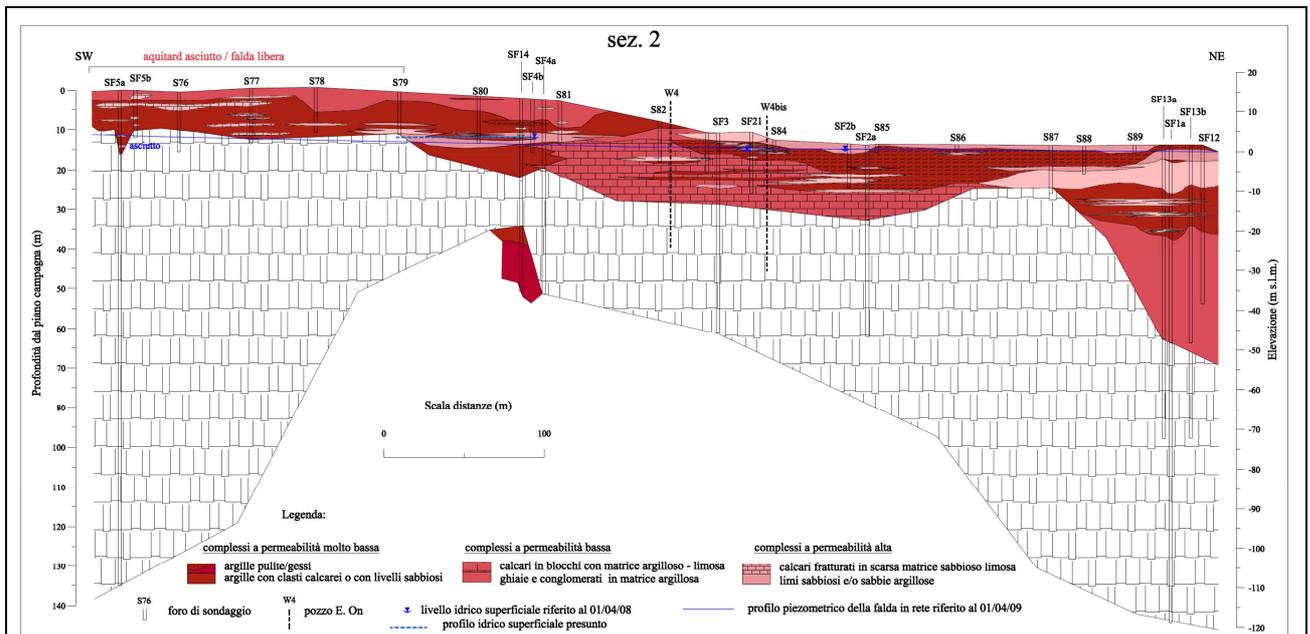


Figura 6: Sezione idro-stratigrafica 2 (da Rif. [7][8]).

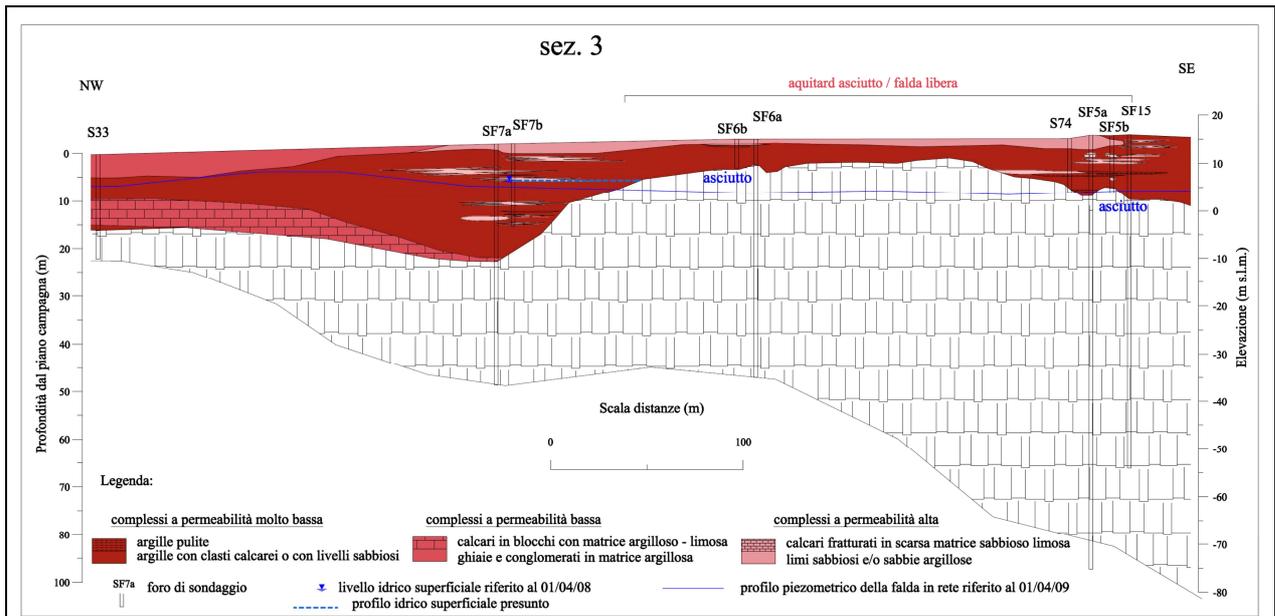


Figura 7: Sezione idro-stratigrafica 3 (da Rif. [7][8]).

2.4 Qualità delle acque sotterranee

Le indagini del Piano della Caratterizzazione eseguito nel 2006 (Rif. [4]) hanno indicato per l'Area TERNA-SAPEI uno stato qualitativo delle acque di falda caratterizzato da:

- diffusa presenza di Alifatici Clorurati in concentrazioni dello stesso ordine delle Concentrazioni Soglia di Contaminazione (CSC), che interessa anche i piezometri posti a monte, nel senso del gradiente idraulico, e si manifesta principalmente lungo il confine nord dell'area TERNA-SAPEI;
- alcuni sporadici superamenti delle CSC per alcuni Metalli e per i Solfati; per tutti i parametri, i valori misurati sono di poco superiori alle rispettive CSC.

La Tabella 1 riporta i superamenti delle CSC riscontrati.

Punto di prelievo	Alluminio	Piombo	Manganese	Solfati	Triclorometano	1,1 Dicloroetilene	1,1,2 Tricloroetano
csc	200	10	50	250	0,15	0,05	0,2
u.m.	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
S01							
S01bis							
S04					0,35		
S21							
S24				383	0,26		0,58
S27 (*)							
S28					0,66	0,08	0,78
S33			52	278	0,16		
S34	310				0,30		

Punto di prelievo	Alluminio	Piombo	Manganese	Solfati	Triclorometano	1,1 Dicloroetilene	1,1,2 Tricloroetano
<i>csc</i>	200	10	50	250	0,15	0,05	0,2
<i>u.m.</i>	µg/l	µg/l	µg/l	mg/l	µg/l	µg/l	µg/l
S35		13			0,21		
S36					0,16		
S46 (*)							
S48			77		0,20		
(*) piezometro asciutto							

Tabella 1: Superamenti delle CSC riscontrati nel Piano di Caratterizzazione (Rif. [4])

Le successive indagini di approfondimento (Rif. [5][6]), eseguite nel 2009 in ottemperanza alle prescrizioni del MATTM (Rif. [3]) sia in area TERNA-SAPEI che in sponda sinistra del Fiume Santo, lungo il tracciato delle opere di barrieramento Lato Fiume ⁽¹⁾, hanno confermato, per la prima, la situazione riscontrata nel Piano della Caratterizzazione e hanno evidenziato, per la seconda, una contaminazione da composti clorurati sensibilmente più elevata (fino a 3 ordini di grandezza superiori alle CSC).

Il settore con le maggiori concentrazioni è localizzato nel tratto terminale del Fiume Santo, tra i pozzi E.On. e il mare, e interessa sia pseudo-falda superficiale che la falda carbonatica profonda. Nei piezometri a monte del sito TERNA-SAPEI, le concentrazioni sono generalmente inferiori alle CSC o appena superiori. Anche in un piezometro posto a Est del sito in direzione dell'impianto Syndial (ex Enichem), sono state riscontrate concentrazioni sensibilmente inferiori a quelle del tratto di foce del Fiume Santo.

Anche le indagini integrative hanno confermato la presenza locale di valori eccedenti le CSC per alcune sostanze inorganiche (Solfati, Manganese e subordinatamente Ferro) riconducibili alle caratteristiche geo-litologiche del sito. In particolare l'elevato tenore di solfati è associabile alla presenza di depositi evaporatici nella successione stratigrafica (spessore presumibilmente superiore a 20 m nel sondaggio SF14) e, per i pozzi più prossimi al litorale, a mescolamenti con acqua di mare. Valori elevati di Manganese e Ferro sono frequenti nei contesti geologici caratterizzati dalla presenza di materiali argillosi, che localmente sono presenti sia nei terreni superficiali sia all'interno delle successioni carbonatiche in forma di intercalazioni marnose o di materiali residuali legati a dissoluzione carsica.

Nella Tabella 2 sono riportati i valori eccedenti le CSC riscontrati nella campagna di indagine.

Nella Figura 8 e nella Figura 9 sono riportati, per ciascuna falda, i valori più elevati dei fattori di superamento delle CSC osservati per i composti clorurati cancerogeni e non cancerogeni. Le figure riportano anche i dati del Piano di Caratterizzazione.

¹ ma non lungo il tracciato delle opere di barrieramento Lato Mare, per l'impossibilità di accesso alle aree Endesa (ora E.On.) a causa di un espresso diniego dell'azienda.

Punto di prelievo	Ferro	Manganese	Solfati	Triclorometano	Cloruro di Vinile	1,2-Dicloroetano	1,1 Dicloroetilene	Tricloroetilene	Tetracloroetilene (PCE)	Sommatoria organoalogenati da 39 a 46.	1,1,2-Tricloroetano	Tribromometano (bromofornio)
<i>csc</i>	200	50	250	0,15	0,5	3	0,05	1,5	1,1	10	0,2	0,3
<i>u.m.</i>	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	mg/l	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$	$\mu\text{g/l}$
Piezometri nella pseudo-falda superficiale												
SF01b		423	369	5,79	1,08	7,8	17,1	20,7	2,19	55	77,9	
SF02b			275	37,45			28,4	37,8	4,50	109	165	
SF04b		158		0,42			0,30				2,33	
SF05b (*)												
SF06b (*)												
SF07b				0,42								
SF12	603	603	1034				0,06				0,32	
SF21				0,96			0,66			2,72	4,08	
Piezometri nella falda carbonatica												
SF01a			1220	0,44			0,5	1,59			2,2	
SF02a				58,82			46,8	58,4	6,61	172	261	
SF03	596	263	411									
SF04a		58	1300									
SF05a			323	0,38								
SF06a			369	1,17			0,24				4,31	
SF07a			266	1,52			0,37				5,35	
SF08		206		0,25								
SF09		216										
SF10												
SF11												
SF13a			354	59,81			49,9	63,0	7,23	181	267	
SF15												
SF16		197		2,90			1,7	2,1			14,2	0,5
SF17												
SF18				0,24								
SF19			374	0,38								
SF20		286		0,39								
Altri punti												
TS/Pozzo Sponda DX				0,30								
TS/Pozzo Sponda SX												
TS/Sorgente											0,77	
Note												
(*) piezometro asciutto												

Tabella 2: Superamenti delle CSC riscontrati nelle indagini di approfondimento (Rif.[6][4])

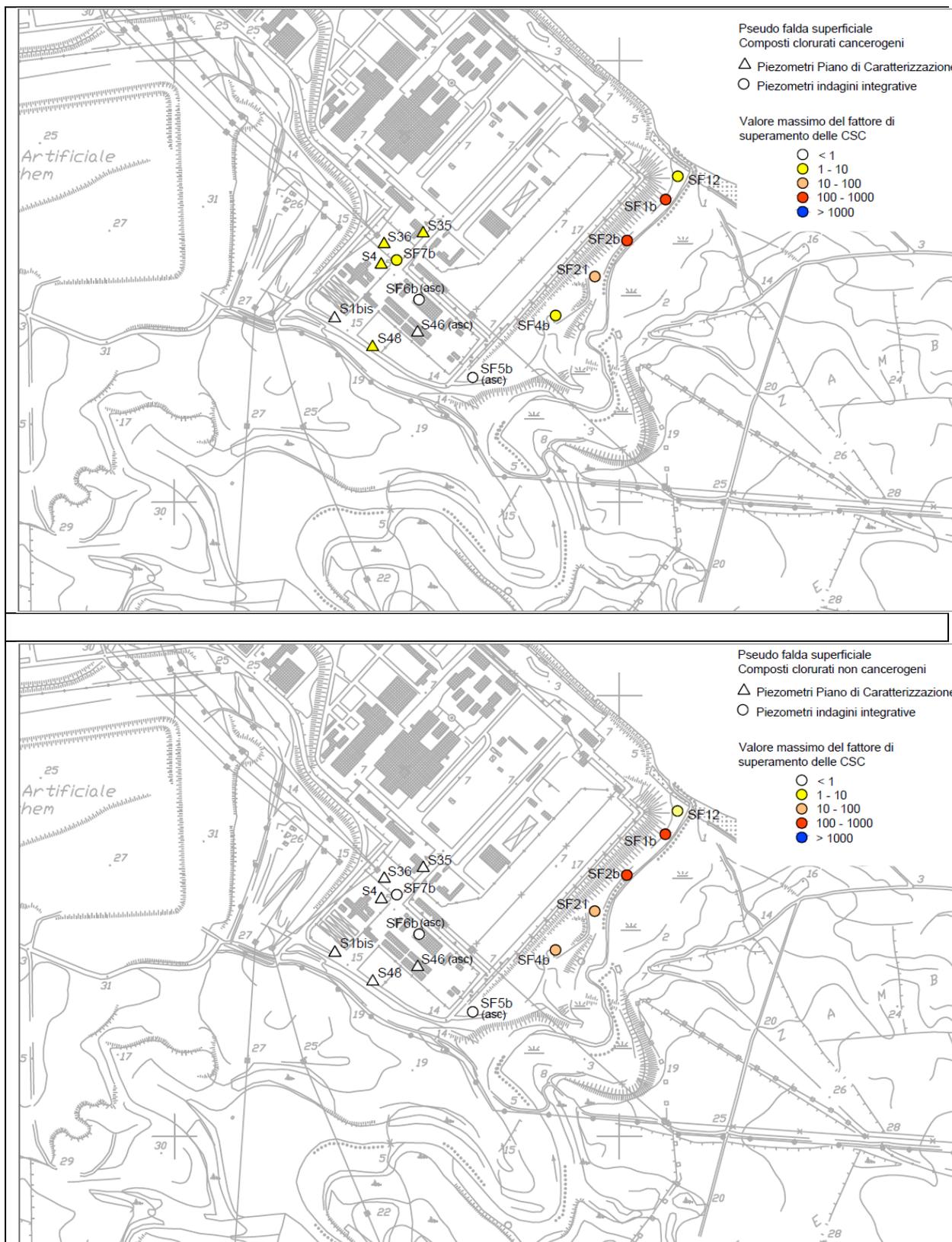


Figura 8: Valore massimo del fattore di superamento delle CSC per i composti clorurati nella pseudo-falda superficiale

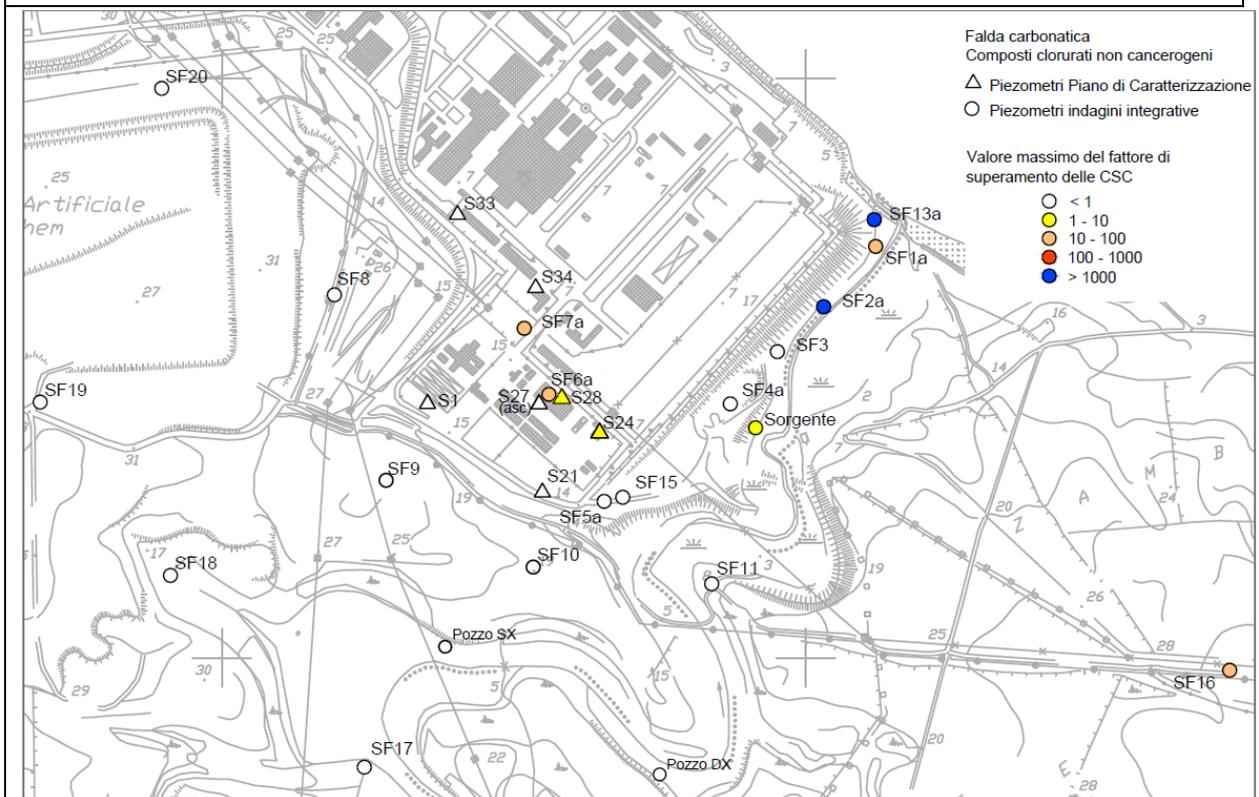
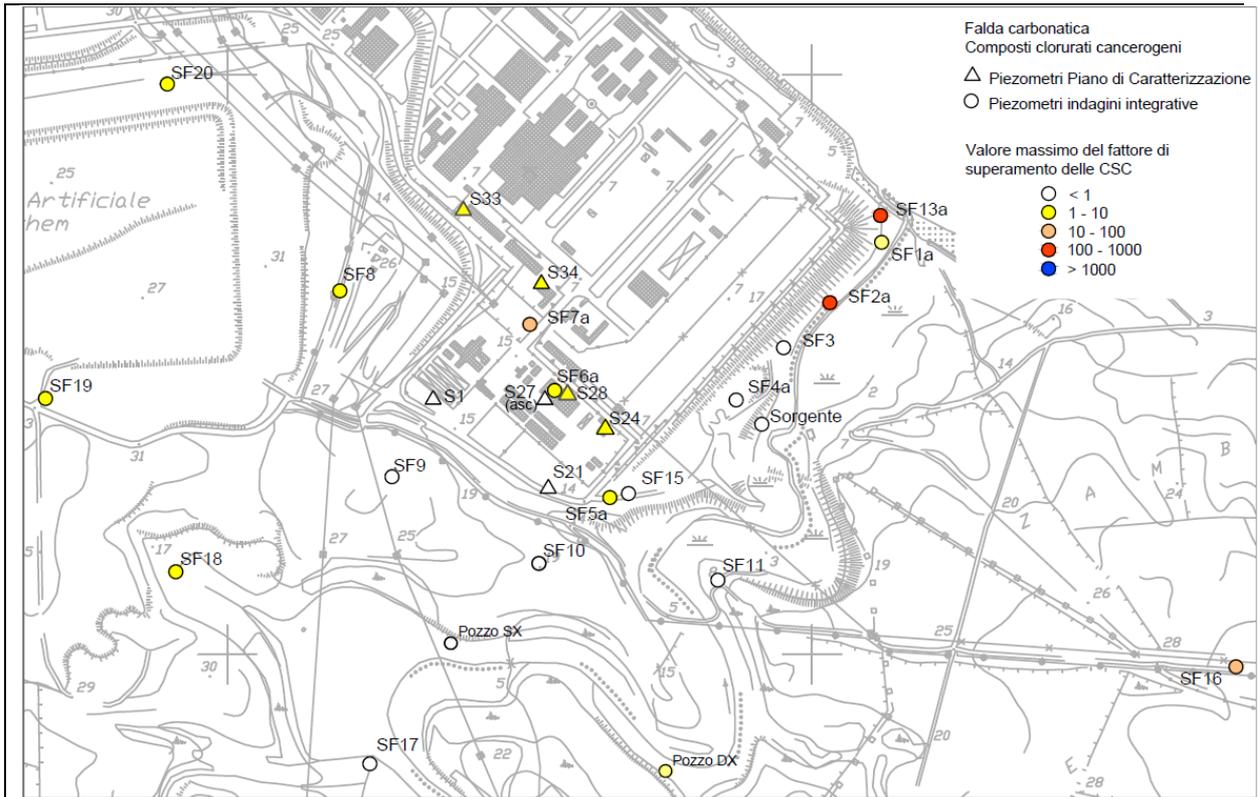


Figura 9: Valore massimo del fattore di superamento delle CSC per i composti clorurati nella falda carbonatica

3 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO DI BONIFICA

3.1 Obiettivi e strategia

L'intervento di bonifica dell'area TERNA-SAPEI è finalizzato all'intercettazione dei flussi idrici sotterranei contaminati diretti verso recettori naturali della circolazione idrica sotterranea, rappresentati dalla valle del Fiume Santo e dal mare.

Le opere di bonifica riguardano i due corpi idrici sotterranei nei quali è stata riscontrata la presenza di contaminazione da solventi clorurati:

- il corpo idrico superficiale di modesta produttività (denominato pseudo-falda superficiale) ospitato dai terreni dell'aquitard superficiale;
- il corpo idrico di importanza regionale ed elevata produttività rappresentato dalla falda carbonatica profonda.

Il progetto prevede che le acque emunte siano sottoposte a trattamento in sito e in parte riutilizzate nell'ambito del processo di bonifica per la reimmissione in falda.

3.2 Lineamenti generali dell'intervento

L'intervento di bonifica dell'area TERNA-SAPEI costituisce l'affinamento del progetto definitivo fisico-idraulico presentato nel 2007 al Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare (MATTM) (Rif. [1]).

Le soluzioni progettuali sono state sviluppate tenendo conto dei contenuti di una serie di studi specialistici eseguiti a cura del Prof. Pietro Bruno Celico (rif. , [8]), nell'ambito dei quali, a partire dai risultati delle campagne di indagine eseguite nel sito da CESI o da altri soggetti, è stato delineato il modello idrogeologico del sito e sono stati individuati i lineamenti delle soluzioni di intervento.

L'intervento riguarda la realizzazione di:

- opere di barriera fisico-idraulico nella pseudo-falda superficiale, costituite da diaframmi e trincee drenanti;
- opere di barriera idraulico nella falda carbonatica profonda, costituite da pozzi di emungimento e di immissione.

Per pervenire all'obiettivo di protezione dei recettori le opere sono localizzate:

- in sponda sinistra del Fiume Santo (opere Lato Fiume);
- in corrispondenza del tratto litorale antistante la centrale E.On. (opere Lato Mare).

Lo schema generale degli interventi è riportato nella (Figura 10)

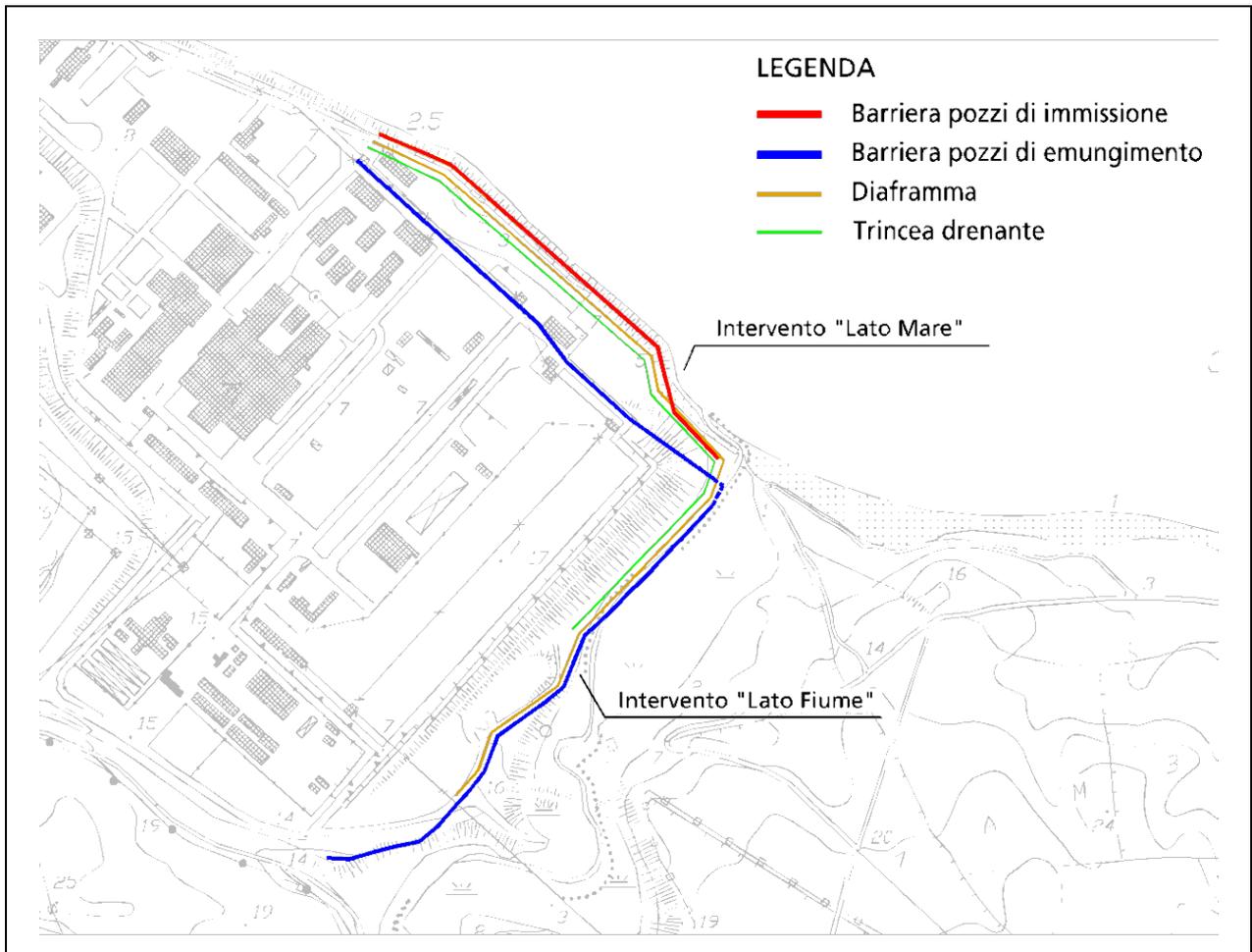


Figura 10: Schema degli interventi

Opere Lato Fiume

Le opere Lato fiume sono state definite con riferimento allo schema idrogeologico di Figura 12.

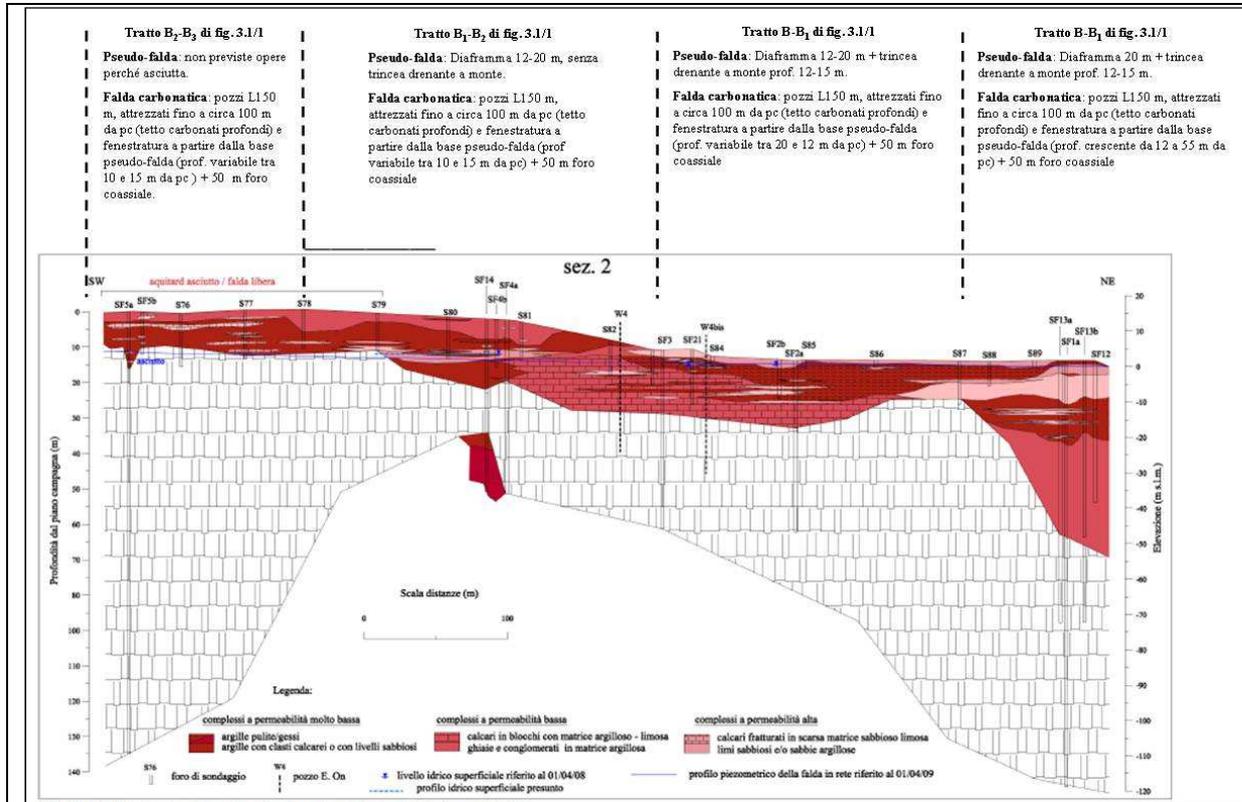


Figura 11: Schema dell'intervento Lato Fiume

Nella pseudo-falda superficiale è previsto un sistema di barrieramento fisico-idraulico finalizzato a intercettare i flussi idrici contaminati diretti verso la valle del Fiume Santo, provenienti in parte da sito E.On. e in parte dal sito Terna-SAPEI, la cui portata è stimata in 0.2 l/s (Rif. [8]).

Il barrieramento fisico sarà costituito da un diaframma composto (bentonite con interposizione di una geomembrana in HDPE), che si svilupperà verticalmente fino alla sommità della formazione calcarea (sede della falda profonda), a profondità variabile tra 12 m e 20 m. Nel tratto terminale dell'intervento, laddove la formazione calcarea si approfondisce, la barriera fisica sarà limitata alla profondità massima di 20 m da piano campagna.

La barriera avrà sviluppo planimetrico di circa 500 m, e si estenderà dalla zona di foce del Fiume Santo fino all'area del carbondotto E.On. A sud del carbondotto non è prevista la realizzazione del barrieramento in quanto in tale area non è stata riscontrata la presenza della pseudo-falda.

Alle spalle del barrieramento fisico sarà realizzata una trincea drenante della lunghezza di 300 m e profondità variabile tra 12 e 15 m, finalizzata a intercettare le acque della pseudo-falda, evitare innalzamenti piezometrici con effetti sui terreni a monte e drenanza verso la falda carbonatica profonda. La trincea drenante non è prevista nel tratto di monte in quanto in tale tratto l'aquitard è risultato asciutto. La

raccolta delle acque dalla trincea sarà effettuata mediante 6 pozzi posizionati a intervalli regolari all'interno della trincea stessa.

Nella falda carbonatica profonda è prevista una barriera idraulica costituita da 25 pozzi di emungimento della profondità di 150 m², finalizzata a intercettare i flussi idraulici contaminati diretti verso l'asse di drenaggio preferenziale che si sviluppa lungo la valle del Fiume Santo., la cui portata complessiva è stimata in 25 l/s (Rif. [8])

L'elevata profondità dei pozzi si giustifica con la necessità di garantire l'intercettazione della contaminazione profonda riscontrata nel corso delle indagini del 2008-2009 (Rif. [5][6][8]).

L'interasse tra i pozzi è stato assunto pari a 30 metri sulla base dei risultati delle indagini condotte nel 2008-2009. In corso d'opera, attraverso specifiche prove di pompaggio, si dovrà procedere alla verifica dell'effettivo raggio di influenza dei pozzi e conseguentemente dell'eventuale necessità di realizzare pozzi integrativi.

La realizzazione delle opere di barrieramento richiede la disponibilità di adeguati spazi operativi (larghezza di circa 20 m). Poiché nel tratto terminale del Lato Fiume lo spazio disponibile è limitato a una pista di servizio della larghezza di 2-3 m posizionata tra il terrapieno di contenimento del carbonile della centrale E.On. e l'alveo del Fiume Santo, si rende necessario prevedere l'ampliamento della pista attraverso il riporto di materiale in alveo e il conseguente rimodellamento dell'alveo.

Opere Lato Mare

Tutte le opere Lato Mare sono localizzate all'interno dell'area E.On. Non disponendo di dati idrogeologici e stratigrafici per questa area³, le opere sono state sviluppate facendo riferimento alle medesime caratteristiche idrogeologiche riscontrate nel tratto di valle del Lato Fiume.

Nella pseudo-falda superficiale è previsto un sistema di barrieramento fisico-idraulico finalizzato a intercettare i flussi idrici contaminati diretti verso il mare provenienti quasi esclusivamente dall'area E.On. e, in misura ridotta, dall'area Terna-SAPEI, la cui portata complessiva è stimata in 0.05 l/s (Rif.[8]).

Il barrieramento avrà profondità di 20 m e lunghezza di circa 700 m e sarà basato sul medesimo schema adottato per il Lato Fiume, ma con tecniche adattate alle condizioni logistiche e alle interferenze presenti (opere di presa e restituzione della centrale E.On., ecc.). In particolare il barrieramento sarà costituito da tratti di diaframma bentonitico composito e da tratti realizzati mediante jet grouting. Alle spalle del diaframma è prevista una trincea drenante della lunghezza di profondità variabile tra 12 e 17 m, in funzione della quota di piano campagna, corredata da 19 pozzi di aggotamento.

Nella falda carbonatica profonda è previsto un doppio barrieramento idraulico, di immissione e di emungimento. La barriera di emungimento, costituita da 20 pozzi, è finalizzata a intercettare i flussi idrici contaminati diretti verso il mare, la cui portata è stimata in 5 l/s (Rif.[8]). La barriera intercetterà inoltre una quota parte della portata immessa nella barriera di immissione (stimata complessivamente in 5 l/s). La barriera di

² Il sistema è completato da 6 piezometri profondi 150 m in asse alla barriera (SFp24÷SFp27, SFp29, SFp31).

³ nel corso delle indagini del 2008-2009 non è stato possibile eseguire investigazioni Lato Mare a causa della mancata autorizzazione all'accesso alle aree

immissione, costituita da 22 pozzi localizzati in prossimità della linea di costa ⁴, finalizzata sia all'intercettazione di eventuali flussi idrici non intercettati dalla barriera di emungimento sia a impedire locali fenomeni di ingressione marina. La distanza tra le due barriere è di circa 80 m per ridurre le reciproche interferenze.

Come per il Lato Fiume è stato assunto un interasse tra i pozzi pari a 30 metri, che dovrà essere verificato in corso d'opera, attraverso specifiche prove di pompaggio (emungimento o immissione in funzione del tipo di barriera).

Nei pozzi di emungimento della falda carbonatica saranno installate pompe elettriche sommerse. Analoghe pompe saranno installate nei pozzi interni alla trincea drenante della pseudo-falda superficiale. Nei pozzi di immissione saranno installate pompe elettriche esterne.

Le tubazioni di mandata delle pompe di emungimento saranno collegate a linee di collettamento interrate per il recapito a un impianto di trattamento dedicato, da realizzare in un'area prossima al carbondotto E.On. Tutti i tracciati delle tubazioni saranno realizzati in trincea.

L'impianto di trattamento, dimensionato sulla base dei risultati dello studio idrogeologico (rif. [8]), è costituito da due sezioni principali (filtrazione/adsorbimento e osmosi). L'acqua derivante dalla sezione di osmosi, con concentrazioni inferiori a D.Lgs 152/2006 Tabella 2 Allegato 5, è destinata alla reimmissione in falda e sarà inviata alla barriera di immissione tramite una linea dedicata. La parte eccedente, come pure l'acqua derivante dalla sezione di filtrazione/adsorbimento, sarà scaricata in acque superficiali nel tratto di Fiume Santo prossimo alla foce mediante una distinta tubazione. Alternativamente questa acqua potrà essere destinata a recupero in impieghi industriali.

Per valutare gli effetti della bonifica verrà realizzata una rete di monitoraggio delle falde costituita da:

- a) piezometri da realizzare ex-novo;
- b) piezometri già esistenti, realizzati nel corso di precedenti campagne di indagine e da adattare alle esigenze progettuali.

I piezometri da realizzare ex-novo riguardano entrambi i corpi idrici oggetto dell'intervento di bonifica (falda carbonatica profonda e pseudo falda superficiale). I piezometri nella pseudo-falda superficiale avranno profondità limitata allo spessore dell'aquitard che ospita la pseudo-falda superficiale. I piezometri nella falda carbonatica profonda avranno profondità di 150 m, con tratto cieco in corrispondenza dell'aquitard e tratto finestrato in corrispondenza dell'acquifero carbonatico.

I nuovi piezometri saranno localizzati come segue:

- Lato Fiume: 3 piezometri nella falda carbonatica profonda (SFp23, SFp28, SFp30) e 3 piezometri nella pseudo falda superficiale (SFs23, SFs28, SFs30);
- Lato Mare: 3 piezometri nella falda carbonatica profonda (SFp52÷SFp54) e 3 piezometri nella pseudo falda superficiale (SFs52÷SFs54).

⁴ Il sistema è completato da 9 piezometri in asse alla barriera di immissione (SFp35÷SFp42 e SFp22) e 9 piezometri in asse alla barriera idraulica di emungimento (SFp43÷SFp51) profondi 150 m;

Inoltre saranno realizzati 3 piezometri nella falda carbonatica profonda nell'area della stazione elettrica (area vasta) con la funzione di piezometri di monte (SFp32÷SFp34).

I piezometri già esistenti⁵ (realizzati nel corso di precedenti campagne di indagine) saranno inseriti nella rete di monitoraggio della bonifica previa esecuzione di limitati interventi di adeguamento delle teste pozzo. In particolare saranno utilizzati:

- Lato Fiume: 6 piezometri nella falda carbonatica profonda (SF 1a, SF13a, SF2a, SF3, SF4a, SF5a) e 3 piezometri nella pseudo falda superficiale (SF1b, SF2b, SF4b).
- a monte delle barriere (area vasta): 11 piezometri nella falda carbonatica profonda (SF8, SF9, SF10, SF11, SF16, SF17, SF18, SF19, SF20, SF6a, SF7a) e 1 piezometro nella pseudo falda superficiale (SF7b).

In tutti i piezometri sopra indicati e in tutti i pozzi di emungimento e di immissione è prevista l'installazione di trasduttori di pressione automatici. Inoltre in corrispondenza di 18 pozzi di emungimento nella falda carbonatica profonda (8 Lato Fiume e 10 Lato Mare) e in 8 pozzi della trincea drenante nella pseudo falda superficiale (3 Lato Fiume e 5 Lato mare) è prevista l'installazione di sensori di conducibilità elettrica finalizzati a verificare l'eventuale richiamo di acqua salmastra prodotto dal pompaggio, per ottimizzare e affinare i criteri di pompaggio.

Il sistema di bonifica è completato da un sistema di controllo e gestione finalizzato a consentire la regolazione e l'ottimizzazione dei ratei di emungimento/immissione sulla base di condizioni prefissate. Infine, l'impianto sarà provvisto di un sistema di supervisione remota per consentire di visualizzare in tempo reale il funzionamento della barriera.

3.3 Parametri di esercizio

Pseudo falda superficiale

Nella pseudo falda superficiale, il deflusso naturale delle acque verso i recettori (Fiume Santo e mare) sarà bloccato dal diaframma fisico e intercettato dalla trincea drenante realizzata a monte del diaframma. Per garantire l'efficacia del barrieramento, ancorché le portate stimate siano esigue (0.05 l/s verso il mare e 0.2 l/s verso il Fiume Santo, come specificato nel rif. [8]), dovranno essere adottate modalità operative tali da evitare:

- interscambi tra pseudo-falda e acque superficiali, sia in termini di perdite idriche verso mare e/o verso fiume per sifonamento del diaframma impermeabile che di ingressione marina o dell'acqua di fiume;
- innalzamenti dei livelli idrici sotterranei a monte della barriera tali da causare allagamento di infrastrutture, incremento delle pressioni interstiziali e conseguenti effetti sulla statica dei fabbricati a causa dell'incremento;
- fenomeni di erosione sotterranea conseguenti al sifonamento.

⁵ Nell'area di intervento sono presenti altri piezometri (SF12, SF13b, SF21, SF14, SF15) che non saranno utilizzati per il monitoraggio, ma che saranno comunque oggetto di un adeguamento delle teste pozzo al fine di preservarne l'integrità

Per evitare gli effetti sopra indicati, si procederà alla regolazione del livello idrico nelle trincee drenanti Lato Mare e Lato Fiume, attraverso l'aggettamento dell'acqua dai pozzi presenti nelle trincee, avendo cura di mantenere un livello simile a quello dei rispettivi recettori superficiali (o leggermente superiore come indicato nel rif. [8]) ed eliminare gli interscambi.

Falda carbonatica profonda

Lato Mare (barriera di immissione accoppiata a barriera di emungimento).

Sulla base delle valutazioni contenute nel rif. [8], la portata di immissione è stimata, cautelativamente, raddoppiando l'entità del flusso idrico naturale della falda profonda verso mare ($5 \times 2 = 10$ l/s). La portata di immissione indicativa per ciascuno dei 22 pozzi previsti è dell'ordine di 0,5 l/s.

Come precisato nel Rif. [8], considerata l'eterogeneità e l'anisotropia dell'acquifero, la portata dovrà essere verificata e valutata sperimentalmente, caso per caso, mediante prove di immissione da eseguire via via che ogni pozzo verrà completato. Inoltre, considerato il ruolo della barriera idraulica di immissione, la portata da immettere in ciascun pozzo potrà variare in relazione alla capacità di assorbimento locale della roccia serbatoio; in ogni caso, essa dovrà assicurare un innalzamento del livello piezometrico della falda carbonatica per l'intero fronte costiero non inferiore a + 0,3 m s.l.m..

La portata di emungimento è stimata in 10 l/s (5 l/s corrispondenti alla portata naturale della falda e 5 l/s quale contributo della barriera di immissione). La portata di emungimento indicativa per ciascuno dei 20 pozzi previsti è dell'ordine di 0,5 l/s. Anche tale portata dovrà essere verificata e valutata sperimentalmente, caso per caso, mediante prove di emungimento a gradini crescenti di portata su ciascun pozzo.

Tenuto conto della vicinanza del mare, le operazioni di pompaggio dovranno essere opportunamente tarate (in termini di portata e tempi di pompaggio), su base sperimentale, al fine di evitare la risalita locale dell'interfaccia acqua dolce-acqua salata e, di conseguenza, fenomeni di ingressione marina. Sarà pertanto necessario, durante le fasi di pompaggio, tenere sotto controllo i livelli piezometrici dinamici della falda carbonatica.

Il livello piezometrico lungo l'asse della barriera, se necessario, potrà raggiungere lievi abbassamenti (intorno a -0,2 m sotto il livello medio mare) in quanto il contrasto al fenomeno localizzato di ingressione marina è agevolato dalla barriera di immissione posta a valle

Lato Fiume (barriera di emungimento)

Sulla base delle valutazioni contenute nel rif. [8], la portata di emungimento è stimata in circa 25 l/s, corrispondente alla portata che, in condizioni naturali, defluisce verso l'asse di drenaggio preferenziale che si sviluppa lungo la valle del Fiume Santo. La portata di emungimento indicativa per ciascuno dei 25 pozzi previsti è dell'ordine di 1 l/s.

Come già indicato per il Lato Mare, considerata l'eterogeneità e l'anisotropia dell'acquifero, la portata dei pozzi dovrà essere verificata e valutata sperimentalmente, caso per caso, mediante prove di emungimento a gradini crescenti, da eseguire via via che ogni pozzo verrà completato. In relazione alla reale resa dei singoli pozzi, laddove

la produttività dovesse essere scarsa, sarà effettuato un emungimento alternato, condizionandolo ai livelli dinamici.

La portata di esercizio dei singoli pozzi potrà variare da pozzo a pozzo (in funzione della resa effettiva) e dovrà essere tarata in modo che il cono di emungimento non intercetti né l'asse di drenaggio preferenziale presente lungo la valle del Fiume Santo, né la sorgente di valle, né la linea di costa, al fine di evitare il richiamo verso i pozzi stessi di flussi idrici superficiali e sotterranei inquinati, anche da altri settori della falda posti in destra idrografica del Fiume Santo.

In fase progettuale il livello dinamico dei pozzi può essere previsto non molto diverso da quello del corso d'acqua.

In fase di esecuzione delle opere e di sperimentazione delle stesse, si dovrà anche valutare se le singole portate di pompaggio potranno essere incrementate via via che cresce la distanza tra la stessa barriera idraulica e l'asse di drenaggio preferenziale presente lungo la valle del fiume Santo.

3.4 Monitoraggio

Monitoraggio qualitativo

Il monitoraggio qualitativo sarà finalizzato a verificare l'efficacia dell'azione di intercettazione operata dalle barriere idrauliche e l'assenza di superamenti delle CSC dei parametri di interesse e l'evoluzione del processo di bonifica.

Il monitoraggio sarà eseguito in corrispondenza dei piezometri esistenti e di nuova realizzazione (localizzati nell'area di intervento e nell'area vasta) e di alcuni pozzi delle barriere di emungimento (indicativamente almeno 4 pozzi per ciascuna falda e per ciascun ramo di intervento).

La frequenza dei controlli sarà mensile per il primo anno di esercizio delle barriere e successivamente trimestrale.

L'attività di monitoraggio includerà il prelievo di campioni di acqua da sottoporre ad analisi chimica quantitativa di laboratorio.

Il prelievo dai piezometri sarà eseguita mediante idonee pompe di campionamento. Il prelievo dai pozzi delle barriere idrauliche sarà eseguito dalle tubazioni di mandata dei singoli pozzi.

Le analisi chimiche riguarderanno i composti organici di origine antropica individuati attraverso le indagini pregresse, rappresentati dai Composti Clorurati: Tricloroetano, Cloruro di Vinile, 1,2-Dicloroetano, 1,1 Dicloroetilene, Tricloroetilene, Tetracloroetilene (PCE); 1,1,2-Tricloroetano, Tribromometano (bromofornio).

Monitoraggio quantitativo

Il monitoraggio quantitativo sarà finalizzato a verificare l'effetto idraulico indotto dalle barriere sui corpi idrici sotterranei (pseudo-falda superficiale e falda carbonatica).

Il monitoraggio consisterà nella misura dei livelli piezometrici per mezzo dei trasduttori di pressione installati nei piezometri esistenti e di nuova realizzazione (localizzati nell'area di intervento e nell'area vasta) e nei pozzi di emungimento e di immissione.

Con cadenza trimestrale sarà effettuata una misura manuale per la verifica dei dati acquisiti con i sistemi automatici.

4 BARRIERAMENTO FISICO-IDRAULICO LATO FIUME

4.1 Sequenza operativa

L'intervento Lato Fiume prevede la seguente sequenza operativa:

- a) cantierizzazione e predisposizione degli apprestamenti necessari per la conduzione delle attività;
- b) esecuzione di attività preliminari alla realizzazione della barriera (campi prova, indagini sui sottoservizi, sondaggi a carotaggio continuo in asse alla barriera fisica);
- c) realizzazione della barriera fisica nella pseudo-falda superficiale mediante: prescavo dei tratti interessati dalla presenza di materiali litoidi con attrezzatura idonea, sostituzione del materiale scavato con calcestruzzo plastico/miscela cementizia (di caratteristiche tali da consentire lo scavo con benna mordente), scavo del diaframma con benna mordente e inserimento della geomembrana nella trincea di scavo riempita di miscela autoindurente ancora fluida;
- d) esecuzione della trincea drenante nella pseudo-falda superficiale a monte della barriera fisica mediante pali secanti in ghiaia. Ai due estremi della trincea e in quattro posizioni intermedie saranno installati pozzi superficiali allestiti con pompa per la raccolta delle acque drenate dalla trincea;
- e) realizzazione dei pozzi nella falda carbonatica profonda e dei piezometri di monitoraggio;
- f) realizzazione delle linee idrauliche, delle vie cavo e delle opere civili;
- g) installazione degli impianti tecnologici (sistemi di pompaggio, impianti elettrici e sistemi di monitoraggio);
- h) sistemazione finale delle piste di cantiere;
- i) la smobilitazione del cantiere al termine delle attività.

4.2 Interferenze e problematiche progettuali

Le principali interferenze e problematiche associate alla realizzazione degli interventi Lato Fiume riguardano:

- la presenza di infrastrutture lungo il tracciato delle opere (cavi SA.PE.I., edifici pozzi E.On.);
- la ristrettezza delle aree nel tratto prossimo alla costa;
- la pendenza di alcuni tratti di intervento;
- la presenza di formazioni litoidi e blocchi di calcare nei terreni a prevalente matrice argilloso-limosa che ospitano la pseudo-falda superficiale.

4.2.1 Interferenza con le infrastrutture

- Cavi interrati Terna SA.PE.I.: per limitare le sollecitazioni da parte dei mezzi di cantiere sui cavi sarà necessario posizionare lastre di acciaio in corrispondenza delle aree di lavoro delle macchine operatrici. Tali lastre saranno spostate contestualmente all'avanzare dei lavori.

- Edifici pozzi EON: gli edifici saranno demoliti per consentire la realizzazione delle opere.

4.2.2 Ristrettezza delle aree nel tratto prossimo alla costa

Per l'operatività delle attrezzature utilizzate per la realizzazione dell'intervento (il cui ingombro è indicato nella tavola DCHR11006_CER02069) è necessario disporre di una pista di lavoro di ampiezza pari a 15 m.

Nel tratto limitrofo al Fiume Santo la ristrettezza degli spazi disponibili, limitati a una pista di servizio dell'ampiezza di 2-3 m, rendono necessaria la realizzazione di un rilevato di allargamento all'interno dell'alveo del Fiume Santo, con realizzazione di un nuovo tracciato dell'alveo di magra del fiume (disegno DCHR11006_CER02067).

Dal punto di vista esecutivo, si considera di operare con il mezzo di scavo direttamente dalla strada sterrata attuale, ricavando la nuova sede del fiume, senza occupazione dell'attuale alveo. Successivamente si infiggerà una palancola metallica AZ28 (acciaio tipo S355) per almeno 4 m, avendo cura di preparare la piazzola di lavoro per l'esecuzione di tale intervento. La palancola ha la funzione di taglione idraulico, allo scopo di proteggere dall'erosione il piede della scarpata. Allo stesso fine si porranno in opera degli scogli naturali di I categoria a valle dello stesso palancolato.

La sponda del rilevato lato Fiume Santo sarà rivestita con mantellata di materassi Reno, di spessore pari a 30 cm. La protezione antierosiva mediante materassi Reno è da realizzarsi al termine dell'esecuzione del barrieramento fisico e idraulico anche per la sommità del rilevato, ad esclusione della zona riservata al passaggio dei mezzi di larghezza pari a 5 m.

4.2.3 Elevata pendenza di alcuni tratti di intervento

Alcuni tratti di intervento presentano pendenze non compatibili con l'operatività dei mezzi d'opera. In tali tratti, sarà eseguito un intervento di risagomatura del terreno, con realizzazione di piani di lavoro a berme, con salti di quota di circa 4 m.

La sistemazione del terreno prevede 5 distinte zone (quote +16,8 m s.l.m., +12,8 m s.l.m., +8,81 m s.l.m., +4,8 m s.l.m. e +1,8 m s.l.m.).

4.2.4 Attraversamento di formazioni litoidi

La presenza di materiali litoidi e blocchi di calcare nei terreni a prevalente matrice argilloso-limosa che ospitano la pseudo-falda superficiale non consente di procedere direttamente con la realizzazione del diaframma composito.

Sarà pertanto necessario eseguire un prescavo mediante pali secanti (o sistema alternativo tipo idrofresa), all'interno del quale eseguire successivamente lo scavo dei pannelli del diaframma mediante benna mordente.

4.3 Cantierizzazione

Gli apprestamenti di cantiere previsti sono riportati nel disegno DCHR11006_CER02066 e riguardano:

- l'installazione dei baraccamenti e della recinzione di cantiere;

- la costruzione delle baie di deposito temporaneo dei materiali scavati, degli scarrabili e dei rifiuti liquidi);
- la preparazione delle piste di cantiere e dei piani di lavoro e ampliamento della pista Lato Fiume, con realizzazione del nuovo alveo del Fiume Santo;
- la realizzazione delle aree di lavoro (area preparazione fanghi, area preparazione fanghi, area saldature geomembrane, ecc.).

4.4 Barriera fisica

La barriera fisica è costituita da un diaframma composito (pannelli di miscela cemento-bentonite con interposizione di una geomembrana di HDPE dello spessore di 2 mm) della lunghezza di circa 550 m. Il diaframma sarà approfondito fino al tetto della formazione calcarea mesozoica e comunque fino alla profondità massima di 20 m da piano campagna.

In base alla ricostruzione stratigrafica effettuata sulla base della campagna di indagine eseguita nel 2008-2009, la profondità del diaframma varierà tra i 12 m ed i 20 m dal piano campagna.

4.4.1 Attività preliminari

Prima di avviare la realizzazione della barriera fisica si eseguiranno:

- sondaggi verticali a carotaggio continuo fino a raggiungere il tetto dello strato di calcare, che verrà perforato per 5 m. I sondaggi saranno eseguiti in asse alla barriera con interasse pari a 10 m. I log dei sondaggi consentiranno di individuare con maggior dettaglio il tetto dei calcari nel quale la barriera fisica dovrà intendersi e i tratti interessati dalla presenza di stratificazioni e trovanti negli strati più superficiali interessati dall'esecuzione della barriera che possano costituire ostacolo alla realizzazione del diaframma;
- indagini sui sottoservizi finalizzate a confermare e ad integrare la mappatura attualmente nota (es. rilievi di tipo georadar lungo l'asse di tracciamento del diaframma);
- campi prova finalizzati alla messa a punto delle tecnologie esecutive del diaframma e alla verifica del raggiungimento dei requisiti progettuali con i sistemi operativi in dotazione all'Impresa incaricata dei lavori.

4.4.2 Modalità esecutive della barriera fisica

L'esecuzione del diaframma avverrà mediante la realizzazione di pannelli primari di 2,5 m sovrapposti per un minimo di 0,4 m a pannelli secondari, per compensare gli scostamenti dalla verticale prodotti dall'attrezzatura di scavo e la contemporanea immissione di una miscela costituita da acqua-bentonite-cemento, previa realizzazione dei cordoli guida. Le fasi operative prevedono lo scavo dei pannelli con benna mordente o sistema analogo fino alla quota di fondo prevista. L'attrezzatura di scavo ripone il materiale scavato da smaltire su mezzi di movimentazione terra. I mezzi per l'allontanamento dei terreni scavati dovranno accostarsi all'apparecchiatura di scavo per il carico dei materiali, evitando di depositare il materiale scavato a lato della zona

di lavoro. Nella realizzazione del diaframma plastico la miscela acqua-bentonite-cemento (fanghi autoindurenti) ha inizialmente la funzione di fango di scavo ed acquisisce in seguito le caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità richieste.

Nella fase di realizzazione del getto della miscela potrebbero verificarsi perdite per via della presenza di fessurazioni nello strato calcareo di base. Si dovrà quindi operare con particolare attenzione in tale fase, prevedendo, al verificarsi di perdite, la posa in opera di materiali in grado di sigillare le eventuali vie di fuoriuscita della miscela, al fine di consentire la prosecuzione delle operazioni. Qualora all'atto dell'esecuzione del prescavo si riscontrassero cavità carsiche di rilievo alla base della barriera fisica, si procederà alla posa in opera di materiale granulare di pezzatura via via decrescente, a partire dalla dimensione di ciottoli fino a quella della sabbia, per consentirne il riempimento. Per permettere la formazione di un tappo di fondo che impedisca la perdita di miscela, a completamento del riempimento con materiale granulare della cavità, si procederà alla posa di calcestruzzo magro.

Completato lo scavo, viene messa in opera la geomembrana in HDPE appositamente zavorrata, prima che la miscela presente nella trincea solidifichi. Lo scavo sarà eseguito procedendo con pannelli primari di 2,5 m e pannelli secondari, in modo da ottenere sempre lunghezza di scavo aperte idonee alla posa dei teli in sicurezza. Una volta disponibile un tratto di scavo di lunghezza sufficiente, la geomembrana in HDPE viene posta in opera in corrispondenza dell'asse del diaframma con l'ausilio di un apposito rullo. La geomembrana in HDPE avrà spessore minimo di 2 mm e soddisferà i requisiti previsti dalla norma UNI 8898-6. I singoli teli avranno pari larghezza (minimo 3 m) e saranno tagliati in opera in accordo alla lunghezza da raggiungere. I giunti tra i pannelli saranno del tipo a labirinto, tali da mantenere una capacità massima di scorrere longitudinalmente pari a 3 mm, garantendo una luce di passaggio della larghezza massima di 2 mm ed un percorso di filtrazione minimo pari a 100 mm. Durante la posa i giunti saranno riempiti con fango autoindurente per garantirne l'impermeabilità. Le saldature dei giunti ai teli saranno del tipo "a doppia pista" e verranno eseguite in sito in apposita area coperta e asciutta. Le saldature dovranno rispondere ai requisiti della norma UNI 10567.

Nelle zone di sovrapposizione tra tratti di barriera eseguiti in corrispondenza di piani a quota diversa per compensare le pendenze del terreno naturale, si eseguirà un ulteriore pannello posto trasversalmente all'asse della barriera, da realizzarsi dal piano di lavoro più alto. Prima di procedere alla realizzazione del tratto della barriera dal piano di lavoro superiore, si dovrà procedere alla demolizione del tratto interferente dei cordoli guida al piano inferiore.

Nei tratti in cui sarà rilevata la presenza di blocchi o stratificazioni litoidi non scavabili con benna mordente alle profondità comprese tra il piano campagna ed il tetto dei calcari, e per permettere l'immorsamento nello stesso substrato calcareo, si dovrà eseguire un prescavo di tali materiali con un getto preliminare di calcestruzzo plastico o miscela cementizia, avente caratteristiche tali da poter essere successivamente scavato con benna mordente. Il prescavo potrà essere effettuato eseguendo pali secanti di grande diametro ($D=1200\text{mm}$ a interasse di 0,6m) o in alternativa mediante idrofresa di spessore minimo 1200mm.

Nel tratto di barriera fisica prossimo al Fiume Santo, dove è previsto l'allargamento del rilevato costituente la pista di cantiere in alveo, le indagini 2008-2009 hanno individuato la presenza di strati superficiali aventi caratteristiche geotecniche particolarmente scadenti (sondaggi SF4a, S81, S82, SF3, SF21, S84, SF2b, SF2a, S85 e

S86). In tale tratto, lo scavo del diaframma potrà risultare difficoltoso per via della tendenza al collasso da parte delle pareti della trincea. Tale eventualità sarà contrastata mediante l'impiego di rivestimento almeno per i primi 6 m nel prescavo dei pali secanti di grande diametro.

A lavori completati, la testa del diaframma sarà coperta con getto di calcestruzzo a protezione della miscela plastica indurita superficiale, fino alla quota di estradosso dei cordoli guida.

4.4.3 Miscela per l'esecuzione della barriera fisica

La composizione del fango autoindurente da impiegare nella realizzazione del diaframma sarà definita soltanto con il completamento di opportuni campi prova preliminari. Essa dovrà inoltre tenere conto delle sostanze chimiche presenti nelle acque di falda e nei terreni, considerandone la compatibilità con i singoli componenti la miscela. Come descritto in precedenza, il diaframma verrà realizzato direttamente in presenza del fango autoindurente che ha inizialmente la funzione di fluido per il sostentamento delle pareti di scavo ed acquisisce in seguito le caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità richieste. Le caratteristiche della miscela dovranno inoltre essere tali da consentire la posa della geomembrana prima della presa.

Le caratteristiche richieste a lungo termine alla miscela plastica sono le seguenti:

- coefficiente di permeabilità k inferiore o uguale a 10^{-9} m/s;
- resistenza a compressione con espansione laterale non inferiore a 150 kPa e non superiore a 1000 kPa;

La composizione iniziale del fango autoindurente, riferita ad 1 m^3 , è indicativamente la seguente:

- bentonite: 50÷80 kg
- cemento: 380÷480 kg
- acqua 750÷850 kg

e con un peso di volume medio dell'ordine di circa 1200 kg/m^3 .

E' inoltre possibile prevedere l'utilizzo di additivi al fine di migliorare le proprietà di permeabilità, di resistenza alle aggressioni di sostanze chimiche e l'efficienza dell'iniezione (stabilità e pompabilità). Al momento della definizione della composizione della miscela si dovrà comunque tenere conto che il peso di volume della miscela, anche in presenza dei detriti inevitabilmente presenti nella trincea al momento dello scavo, sia tale da consentire l'inserimento della geomembrana.

4.5 Trincea drenante

La trincea drenante superficiale sarà eseguita a partire dal vertice M fino alla linea di costa e avrà profondità massima di 15 m e sviluppo di 300 m.

La trincea sarà eseguita mediante pali secanti in ghiaia diametro 600 mm, realizzati ad interasse pari a 400 mm. In particolare, la profondità della trincea drenante sarà pari a 15 m fino al vertice Q, nel tratto in cui il piano di lavoro è posto a quota +4,81 m e pari

a 12 m dal vertice Q fino al vertice V verso mare, nel tratto in cui il piano di lavoro è posto a quota +1,50 m.

All'interno della trincea verranno realizzati 6 pozzi di profondità equivalente a quella della trincea, in cui verranno installate le pompe per l'aggottamento dell'acqua raccolta dalla trincea. I pozzi saranno eseguiti mediante perforazione a secco a percussione (sonda e/o benna) o a rotazione (secchione/bucket o vitone), con diametro perforazione 600 mm. Nel foro sarà installata una tubazione fessurata diametro 200 mm in HDPE; l'intercapedine sarà riempita con un dreno costituito da ghiaietto di granulometria 2,5÷4,0 mm.

4.6 Pozzi di emungimento e di immissione e piezometri

4.6.1 Pozzi di emungimento e immissione nella falda carbonatica profonda

Lungo la sponda sinistra del Fiume Santo, a Sud del sito E.On., è prevista la realizzazione di una barriera idraulica di emungimento nella falda carbonatica profonda costituita da 25 pozzi di profondità massima 150 m circa, con interasse di 30 m circa, e di una barriera idraulica di immissione nella falda carbonatica profonda costituita da 4 pozzi della profondità massima di circa 150 m circa, con interasse di 30 m circa.

Il tracciato delle barriere è adiacente a quello dei cavi interrati Terna SA.PE.I.. Pertanto in fase realizzativa dovrà essere prestata la massima attenzione e dovranno essere adottate tutte le precauzioni, quali l'esecuzione di prescavi, al fine di evitare interferenze.

I pozzi di emungimento e di immissione nella falda carbonatica profonda saranno costituiti da una parte superiore (fino a 100 metri circa dal piano campagna), provvista di tubo di rivestimento del diametro Øe 180 mm. Al di sotto dei primi 100 m la perforazione proseguirà fino a 150 metri di profondità, con diametro a fondo foro pari a 100 mm e senza posa di tubazione di rivestimento per consentire di intercettare i flussi contaminati profondi riscontrati nel corso della campagna di indagine eseguita.

I pozzi di emungimento e di immissione nella falda carbonatica profonda saranno installati entro fori di sondaggio ottenuti attraverso le seguenti fasi operative:

- perforazione a carotaggio continuo Øe 96-101mm fino a raggiungere il contatto tra i terreni di copertura e il substrato carbonatico. In funzione della posizione planimetrica della verticale di perforazione, la profondità del contatto fra i terreni di copertura superficiali, di origine Quaternaria e Terziaria, e il substrato carbonatico di origine Mesozoica, è compresa indicativamente tra i 20 e i 55 metri. Si dovrà fare particolare attenzione e cura nella gestione dei materiali di risulta delle perforazioni che, dopo opportuna decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole impermeabilizzate dell'area di deposito temporaneo si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
- perforazione a distruzione di nucleo per alesaggio del tratto sopra indicato fino al diametro finale, compreso fra 370 e 410 mm circa, necessario per l'installazione della tubazione cieca in PEAD Øe 315 mm (tubazione di avampozzo per l'isolamento della pseudo-falda superficiale). Analogamente a quanto indicato nella fase precedente i materiali di risulta delle perforazioni, dopo opportuna

- decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole impermeabilizzate si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
- posa della tubazione cieca di avampozzo sopra descritta ed adeguato isolamento della pseudo-falda superficiale dalla sottostante falda carbonatica profonda a mezzo di idonea cementazione e creazione di un tampone di isolamento;
 - attesa per la presa della cementazione della tubazione di avampozzo (minimo 72 h). Al fine di ottimizzare i tempi morti durante tale attesa è previsto che l'attrezzatura di perforazione sia spostata in corrispondenza della successiva verticale ove è prevista la realizzazione del successivo pozzo di emungimento o immissione al fine di approntare e completare la relativa tubazione di avampozzo di tale verticale. Una volta raggiunto il tempo minimo di 72 h, una seconda attrezzatura di perforazione sarà spostata sulla verticale precedente al fine di completare il corrispondente pozzo di emungimento o immissione nella falda carbonatica profonda. Di seguito vengono riportate le fasi previste per il completamento di tale pozzo profondo;
 - perforazione a distruzione o senza obbligo di campionamento Øe 250-270mm fino a raggiungere la profondità massima di circa 100 metri da piano campagna, all'interno del substrato carbonatico di origine Mesozoica, necessaria per l'installazione della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 180 mm (tubazione di pozzo). Particolare attenzione dovrà essere prestata all'eventuale utilizzo di fanghi bentonitici o simili, si evidenzia che il loro utilizzo dovrà essere limitato allo stretto necessario e in qualsiasi caso, tutti i tratti di foro trattati con tale tipo di fango, ed interessati dai settori filtranti dei pozzi, dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. I materiali di risulta delle perforazioni dovranno essere trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate del deposito temporaneo previa riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
 - perforazione a distruzione o senza obbligo di campionamento Øe 96-101 mm fino alla profondità massima di 150 m, all'interno del substrato carbonatico di origine Mesozoica, per la realizzazione del foro coassiale di approfondimento. Anche per questa fase tutti i tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o simili dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Anche per questa fase di perforazione dovranno essere applicate le stesse procedure di trattamento dei materiali di risulta delle perforazioni indicate nelle analoghe fasi precedenti di perforazione ed alesaggio;
 - posa di ghiaietto siliceo entro il foro coassiale di approfondimento di cui alla fase precedente;
 - posa della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 180 mm (tubazione di pozzo), costituita da un tratto iniziale cieco, corrispondente alla pseudo-falda superficiale e successivamente finestrata. Attorno al tratto di tubazione finestrata sarà creato un idoneo strato filtrante con ghiaietto siliceo pulito calibrato. Dovrà essere prestata particolare cura all'isolamento superiore della zona finestrata e al tratto iniziale di sovrapposizione con la tubazione di avampozzo. Superiormente la tubazione di pozzo sarà cementata mediante una miscela acqua-cemento-bentonite, la testa pozzo sarà corredata di idoneo tappo provvisorio di chiusura;

- esecuzione di idoneo spurgo e sviluppo del pozzo con raccolta delle acque emunte in idonea vasca/serbatoio e successivo trasferimento all'area di deposito temporaneo. Come già sopra indicato particolare attenzione dovrà essere prestata ai tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o similari, che dovranno essere accuratamente risanati garantendo la totale rimozione del pannello così eventualmente creato;
- esecuzione, per i pozzi di emungimento, di una prova di pompaggio per la determinazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero e la verifica dell'interferenza fra i coni di emungimento dei pozzi nonché per la caratterizzazione del funzionamento idraulico del pozzo stesso. La prova sarà del tipo a gradini SDT (Step Drawdown Test). Anche per questa fase dovranno essere applicate le stesse procedure di conferimento delle acque emunte indicate nella fase precedente;
- esecuzione, per i pozzi di immissione, di una prova di immissione per la determinazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero e la verifica dell'interferenza fra i coni di immissione dei pozzi nonché per la caratterizzazione del funzionamento idraulico del pozzo stesso. La prova sarà del tipo a gradini SDT (Step Drawdown Test).

Nella tabella seguente sono riportati l'elenco e le caratteristiche dei pozzi di immissione (P1-P4) e di emungimento (P5-P29) nella falda carbonatica profonda.

Pozzi nella falda carbonatica profonda								
Pozzo	Lunghezza complessiva [m]	Perforazione a carotaggio continuo nelle litologie della pseudo-falda superficiale e nei primi metri della falda carbonatica profonda [m]	Perforazione a distruzione di nucleo - alesaggio per posa tubazione avampozzo PEAD diam. 315 mm [m]	Posa tubazione pozzo PEAD diam. 315 mm nelle litologie della pseudo-falda superficiale [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. nelle litologie della falda carbonatica profonda per posa tubazione pozzo PEAD diam. 180 mm [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. nelle litologie della falda carbonatica profonda per foro coassiale diam. 101mm di approfondimento [m]	Posa di ghiaietto siliceo entro foro coassiale di approfondimento [m]	Posa tubazione pozzo PEAD diam. 180 mm nelle litologie della falda carbonatica profonda [m]
P1	150	55	55	55	45	50	50	100
P2	150	55	55	55	45	50	50	100
P3	150	55	55	55	45	50	50	100
P4	150	35	35	35	65	50	50	100
P5	150	35	35	35	65	50	50	100
P6	150	25	25	25	75	50	50	100
P7	150	20	20	20	80	50	50	100
P8	150	20	20	20	80	50	50	100
P9	150	20	20	20	80	50	50	100
P10	150	20	20	20	80	50	50	100
P11	150	20	20	20	80	50	50	100
P12	150	20	20	20	80	50	50	100
P13	150	20	20	20	80	50	50	100
P14	150	20	20	20	80	50	50	100
P15	150	20	20	20	80	50	50	100
P16	150	20	20	20	80	50	50	100
P17	150	20	20	20	80	50	50	100
P18	150	20	20	20	80	50	50	100
P19	150	20	20	20	80	50	50	100
P20	150	20	20	20	80	50	50	100
P21	150	20	20	20	80	50	50	100
P22	150	20	20	20	80	50	50	100

Pozzi nella falda carbonatica profonda								
Pozzo	Lunghezza complessiva [m]	Perforazione a carotaggio continuo nelle litologie della pseudo-falda superficiale e nei primi metri della falda carbonatica profonda [m]	Perforazione a distruzione di nucleo - alesaggio per posa tubazione avampozzo PEAD diam. 315 mm [m]	Posa tubazione pozzo PEAD diam. 315 mm nelle litologie della pseudo-falda superficiale [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. nelle litologie della falda carbonatica profonda per posa tubazione pozzo PEAD diam. 180 mm [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. nelle litologie della falda carbonatica profonda per foro coassiale diam. 101mm di approfondimento [m]	Posa di ghiaietto siliceo entro foro coassiale di approfondimento [m]	Posa tubazione pozzo PEAD diam. 180 mm nelle litologie della falda carbonatica profonda [m]
P23	150	20	20	20	80	50	50	100
P24	150	20	20	20	80	50	50	100
P25	150	20	20	20	80	50	50	100
P26	150	20	20	20	80	50	50	100
P27	150	20	20	20	80	50	50	100
P28	150	20	20	20	80	50	50	100
P29	150	20	20	20	80	50	50	100
Totale	4350	720	720	720	2180	1450	1450	2900

Tabella 3: Pozzi nella falda carbonatica profonda

4.6.2 Piezometri

Nell'area di intervento è prevista la realizzazione di 13 piezometri nella falda carbonatica profonda, 10 dei quali lungo il tracciato delle barriere idrauliche, e di 3 piezometri nella pseudo-falda superficiale lungo il tracciato delle barriere.

Poiché, come già evidenziato, l'Area Terna-SAPEI è caratterizzata dalla presenza di numerosi sottoservizi e linee interrato in tensione, in fase realizzativa dovrà essere prestata la massima attenzione e dovrà essere prevista l'esecuzione di prescavi al fine di verificare l'assenza di sottoservizi nei punti in cui è prevista la realizzazione dei piezometri.

Modalità realizzative dei piezometri nella falda carbonatica profonda

I piezometri nella falda carbonatica profonda avranno profondità massima di 150 m circa e saranno costituiti da una parte superiore (fino a 20÷60 metri circa dal piano campagna), corrispondente ai terreni di copertura superficiali, di origine Quaternaria e Terziaria, provvista di tubo di rivestimento del diametro Øe 110 mm, con sezione cieca. Al di sotto di tale tratto, per una lunghezza variabile tra 130 e 90 metri, il foro sarà attrezzato con una tubazione finestrata, sempre del diametro Øe 110 mm, in corrispondenza del substrato carbonatico di origine Mesozoica. Tali tratti saranno valutati in corso d'opera sulla base delle risultanze stratigrafiche.

I piezometri di monitoraggio nella falda carbonatica profonda saranno installati entro fori di sondaggio ottenuti attraverso le seguenti fasi operative:

- perforazione a carotaggio continuo Øe 96-101mm fino a raggiungere il contatto tra i terreni di copertura e il substrato carbonatico, al di sotto di tale contatto la perforazione proseguirà a distruzione di nucleo o senza obbligo di campionamento (confronta punto successivo) fino a raggiungere la profondità prevista. Particolare attenzione dovrà essere prestata all'eventuale utilizzo di fanghi bentonitici o similari, si evidenzia che il loro utilizzo dovrà essere limitato allo stretto necessario e

in qualsiasi caso, tutti i tratti di foro trattati con tale tipo di fango, ed interessati dal settore filtrante del piezometro, dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Si dovrà fare particolare attenzione e cura nella gestione dei materiali di risulta delle perforazioni che, dopo opportuna decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole impermeabilizzate dell'area di deposito temporaneo si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;

- perforazione a distruzione o senza obbligo di campionamento ed alesaggio del tratto di foro eseguito a carotaggio continuo (confronta punto precedente), fino alla profondità finale di 150 metri circa, fino al diametro finale di 180 mm circa, necessario per l'installazione della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm. Analogamente alla fase precedente tutti i tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o simili dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Anche per questa fase dovranno essere applicate le procedure di trattamento dei materiali di risulta delle perforazioni indicate nella fase precedente;
- posa della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm, costituita da un tratto iniziale cieco, corrispondente alla pseudo-falda superficiale e successivamente dal tratto finestrato in corrispondenza della successione carbonatica mesozoica. Attorno ai tratti di tubazione finestrata sarà creato un idoneo strato filtrante con ghiaietto siliceo pulito calibrato. Dovrà essere prestata particolare cura all'isolamento superiore della zona finestrata. Superiormente la tubazione piezometrica sarà cementata mediante una miscela acqua-cemento-bentonite, la testa del piezometro sarà corredata di idoneo tappo provvisorio di chiusura;
- esecuzione di un idoneo spurgo con raccolta delle acque emunte in idonea vasca/serbatoio e successivo trasferimento all'area di deposito temporaneo. Come già sopra indicato particolare attenzione dovrà essere prestata ai tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o simili, che dovranno essere accuratamente risanati garantendo la totale rimozione del pannello così eventualmente creato.

Nella tabella seguente sono riportati l'elenco e le caratteristiche dei piezometri nella falda carbonatica profonda.

Piezometri nella falda carbonatica profonda				
Piezometro	Lunghezza complessiva [m]	Perforazione a carotaggio continuo nelle litologie della pseudo-falda superficiale e nei primi metri della falda carbonatica profonda [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. ed alesaggio nelle litologie della falda carbonatica profonda e in quelle della pseudo-falda superficiale [m]	Posa tubazione piezometro PEAD diam. 110 mm nelle litologie della falda carbonatica profonda [m]
SFp22	150	35	150	150
SFp23	150	35	150	150
SFp24	150	35	150	150
SFp25	150	20	150	150
SFp26	150	20	150	150
SFp27	150	20	150	150
SFp28	150	20	150	150
SFp29	150	20	150	150
SFp30	150	20	150	150
SFp31	150	20	150	150
SFp32	150	20	150	150
SFp33	150	20	150	150
SFp34	150	20	150	150
Totale	1950	305	1950	1950

Tabella 4: *Piezometri nella falda carbonatica profonda*

Modalità realizzative dei piezometri nella pseudo-falda superficiale

I piezometri nella pseudo-falda superficiale avranno profondità massima di 35 metri circa, la profondità potrà variare da punto a punto nelle zone in cui lo spessore dei terreni superficiali, di origine Quaternaria e Terziaria, è più ridotto. L'effettiva profondità dei singoli piezometri sarà definita in corso d'opera sulla base delle osservazioni stratigrafiche e idrogeologiche, tenendo conto dello spessore dei terreni superficiali e della soggiacenza della superficie piezometrica.

I piezometri saranno provvisti di tubo di rivestimento del diametro \varnothing 110 mm, con sezione filtrante lungo tutto il tratto fatta eccezione per le parti iniziali e terminali della colonna.

I piezometri di monitoraggio nella pseudo-falda superficiale saranno installati entro fori di sondaggio ottenuti attraverso le seguenti fasi operative:

- perforazione a carotaggio continuo \varnothing 96-101mm fino a raggiungere la profondità prevista. Particolare attenzione dovrà essere prestata all'eventuale utilizzo di fanghi bentonitici o simili, si evidenzia che il loro utilizzo dovrà essere limitato allo stretto necessario e in qualsiasi caso, tutti i tratti di foro trattati con tale tipo di fango, ed interessati dal settore filtrante del piezometro, dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Si dovrà fare particolare attenzione e cura nella gestione dei materiali di risulta delle perforazioni che, dopo opportuna decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole

- impermeabilizzate dell'area di deposito temporaneo si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
- alesaggio del foro, pertanto fino alla profondità finale massima di 35 m circa, fino al diametro finale di 180 mm circa, necessario per l'installazione della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm . Analogamente alla fase precedente tutti i tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o similari dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Anche per questa fase dovranno essere applicate le procedure di trattamento dei materiali di risulta delle perforazioni indicate nella fase precedente;
 - posa della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm . Attorno ai tratti di tubazione finestrata sarà creato un idoneo strato filtrante con ghiaietto siliceo pulito calibrato. Dovrà essere prestata particolare cura all'isolamento superiore della zona finestrata. Superiormente la tubazione piezometrica sarà cementata mediante una miscela acqua-cemento-bentonite. La testa del piezometro sarà corredata di idoneo tappo provvisorio di chiusura;
 - esecuzione di un idoneo spurgo con raccolta delle acque emunte in idonea vasca/serbatoio e successivo trasferimento all'area di deposito temporaneo. Come già sopra indicato particolare attenzione dovrà essere prestata ai tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o similari, che dovranno essere accuratamente risanati garantendo la totale rimozione del pannello così eventualmente creato.

Nella tabella seguente sono riportati l'elenco e le caratteristiche dei piezometri nella pseudo-falda superficiale.

Piezometri nella pseudo-falda superficiale				
Piezometro	Lunghezza complessiva [m]	Perforazione a carotaggio continuo nelle litologie della pseudo-falda superficiale e nei primi metri della falda carbonatica profonda [m]	Alesaggio per posa tubazione piezometro superficiale PEAD diam. 110 mm [m]	Posa tubazione piezometro PEAD diam. 110 mm nelle litologie della pseudo falda superficiale [m]
SFs23	20	20	20	20
SFs28	20	20	20	20
SFs30	20	20	20	20
Totale	60	60	60	60

Tabella 5: *Piezometri nella pseudo-falda superficiale*

4.7 Linee idrauliche, vie cavo e opere civili

Le opere da realizzare includono:

- linee idrauliche, comprendenti:
 - due linee di trasporto delle acque emunte dai 25 pozzi nella falda profonda e dalla trincea drenante nella pseudo-falda superficiale alle vasche di "accumulo acqua grezza" dell'impianto trattamento acque, costituite da tubazioni in PEAD \varnothing 200 mm (nel tratto a valle dell'impianto di trattamento) e \varnothing 110 mm (nel tratto a monte);
 - una linea di trasporto delle acque trattate verso i pozzi della barriera di immissione, costituita da una tubazione in PEAD \varnothing 200 che si diparte dalle vasche di "accumulo permeato" dell'impianto trattamento acque;
 - una linea di trasporto delle acque trattate eccedenti le necessità di reimmissione verso un punto di scarico localizzato nel tratto terminale del Fiume Santo, costituita da una tubazione in PEAD \varnothing 200 mm che si diparte dalle vasche di "accumulo acqua filtrata" dell'impianto di trattamento (nella quale si innesta anche una tubazione proveniente dalla sezione "accumulo permeato");
 - tubi in PEAD \varnothing 50 mm per il collegamento idraulico tra linee e pozzi;
- vie cavo, costituite da una rete di tubazioni in PEAD di diametro variabile, destinate ad ospitare i cavi di alimentazione delle pompe di emungimento e di immissione e i cavi segnale.
- pozzetti interrati per la protezione delle teste pozzo e pozzetti interrati con funzione di rompitratta lungo il tracciato delle vie cavo.

I tracciati delle linee idrauliche e delle vie cavo saranno interrate in trincee appositamente realizzate.

La realizzazione delle linee idrauliche, delle vie cavo e delle relative opere civili sarà avviata al completamento della trincea e dei pozzi.

4.8 Impianti tecnologici

Gli impianti tecnologici associati al barrieramento fisico e idraulico delle acque sotterranee Lato Fiume comprendono:

- Sistemi di pompaggio, con relativa componentistica idraulica ed elettronica, da installare in corrispondenza di 25 pozzi di emungimento nella falda carbonatica profonda, 6 pozzi di drenaggio previsti nella trincea drenante nella pseudo-falda superficiale e 4 pozzi di immissione nella falda carbonatica profonda. Ogni pozzo sarà dotato di una pompa centrifuga (sommersibile nei pozzi di emungimento ed esterna nei pozzi di immissione), di un quadro elettrico di regolazione e comando, di un circuito idraulico di collegamento alla relativa linea di trasporto (provvisto di valvola di intercettazione, valvola di non ritorno e flussimetro e rubinetto di campionamento) e della sensoristica di seguito indicata;
- Sistemi di monitoraggio:
 - 35 sistemi di misura dei livelli piezometrici dei pozzi (25 pozzi di emungimento, 6 pozzi di drenaggio previsti nella trincea drenante, 4 pozzi di immissione nella falda carbonatica profonda) e 22 sensori per la misura dei livelli di falda dei

piezometri localizzati nell'area adiacente alle linee di emungimento e immissione. Dei 31 sistemi dei pozzi di emungimento e drenaggio, 9 saranno attrezzati anche con sensori per la misura della conducibilità dell'acqua, installati sulla linea di pompaggio;

- Ulteriori 15 sistemi di monitoraggio dei livelli piezometrici saranno installati nei piezometri localizzata nell'area circostante le barriere (area vasta). I sistemi saranno provvisti di centralina di acquisizione locale con trasmissione dei dati via modem radio o modem telefonico;
- Sistema di telecontrollo e teleregolazione, per la verifica in tempo reale degli effetti idraulici del pompaggio e la regolazione dei ratei di pompaggio nei singoli pozzi;
- Sistema di supervisione remota per la visualizzazione in tempo reale del funzionamento delle barriere di emungimento e di immissione;
- Impianto elettrico di alimentazione delle apparecchiature.

Le opere impiantistiche saranno realizzate dopo il completamento delle opere di barrieramento.

4.9 Produzione di rifiuti

L'esecuzione dell'intervento comporterà la produzione di rifiuti solidi e liquidi. Di seguito sono riportati le tipologie di rifiuto previste, il CER presunto e le stime delle quantità. La classificazione dei rifiuti per l'attribuzione del CER definitivo sarà eseguita a cura dell'impresa esecutrice in ottemperanza della normativa vigente.

4.9.1 Rifiuti solidi

4.9.1.1 Terre e rocce derivanti dall'esecuzione della barriera fisica e della trincea drenante

Quantità previste (assumendo una densità pari a 2,0 t/m³ per i materiali di copertura e pari a 2,5 t/m³ per i materiali carbonatici):

- Barriera fisica : Scavi opere cantierizzazione: 20761 t
- Barriera fisica: Scavo con benna mordente e pali secanti: 45952 t
- Trincea drenante: Scavo trincea drenante: 5238 t
- Trincea drenante: Scavo pozzi raccolta acque: 44 t
- Demolizione depositi temporanei: 6150 t
- **Totale: 78144 t**

CER presunti: 17.05.03* terre e rocce contenenti sostanze pericolose (in alternativa 19.13.01*) e 17.05.04 terre e rocce da scavo diverse di quelle di cui alla voce 17.05.03 (in alternativa 19.13.02).

I materiali provenienti dallo scavo della barriera fisica potrebbero essere anche classificati con i seguenti CER alternativi, per via dell'utilizzo di fanghi autoindurenti (cemento-bentonite) nella fase di scavo: 19.13.03* / 19.13.04 - fanghi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni (contenenti sostanze pericolose e non); 01.05.04 / 01.05.06* - fanghi di perforazione (contenenti sostanze pericolose e non); 17.05.05* / 17.05.06 - fanghi di dragaggio (contenenti sostanze pericolose e non).

4.9.1.2 Rifiuti misti derivante dall'esecuzione della barriera fisica (scavo del calcestruzzo plastico/miscela cementizia del prescavo).

Quantità previste (assumendo una densità pari a 2,0 t/m³): 19905 t

CER presunti: 17.09.03* / 17.09.04 – rifiuti misti dell'attività di costruzione e demolizione (contenenti sostanze pericolose e non).

4.9.1.3 Calcestruzzo derivante dall'esecuzione della barriera fisica

Quantità previste: 1495 t

CER presunto: 17.01.01 cemento.

4.9.1.4 Fanghi di perforazione derivanti dalla realizzazione dei pozzi e dei piezometri.

Quantità previste (assumendo una densità pari a 2,0 t/m³ per i materiali di copertura e pari a 2,5 t/m³ per i materiali carbonatici):

- Pozzi di immissione ed emungimento: 661 t
- Piezometri di monitoraggio: 147 t
- **Totale: 808 t**

CER presunti: 19.13.03* / 19.13.04 - fanghi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni (contenenti sostanze pericolose e non).

Come per i materiali provenienti dallo scavo della barriera fisica, potrebbero essere anche classificati con i seguenti CER alternativi: 17.05.03* / 17.05.04 terre e rocce (contenenti sostanze pericolose e non); 19.13.01* / 19.13.02 terre e rocce prodotte dalle operazioni di bonifica dei terreni (contenenti sostanze pericolose e non).

I fanghi di perforazione saranno sottoposti a trattamento per la riduzione del contenuto d'acqua. Si stima che da tale trattamento deriverà una quantità di materiale palabile pari a circa 808 t e un volume di acqua separata pari a circa 523 m³.

4.9.1.5 Terre e rocce derivanti dalle attività di posa di collettori, vie cavo e relative opere civili associate alle barriere idrauliche, dalle attività di posa dei pozzetti di protezione delle teste pozzo e dei piezometri

Quantità previste (assumendo una densità pari a 2,0 t/m³): 2187 t

CER presunti: 17.05.03* / 17.05.04 terre e rocce da scavo

4.9.2 Rifiuti liquidi

Quantità previste

I rifiuti liquidi comprendono le acque derivanti dai seguenti processi:

- spurgo pozzi e piezometri e prove di pompaggio: 1.201 m³
- dewatering dei fanghi di perforazione: 523 m³;
- acque meteoriche aree impermeabilizzate deposito temporaneo⁶: 6.640 m³
- lavaggio dei mezzi e delle attrezzature di scavo: 1.095 m³
- **totale: 9459 m³**

CER presunti: *19.13.08 rifiuti liquidi acquosi e concentrati acquosi prodotti dalle operazioni di risanamento delle acque di falda, diversi da quelli di cui alla voce 19.13.07.*

In fase esecutiva i rifiuti potranno essere classificati con i seguenti CER alternativi: *16.10.01* / 16.10.02 – soluzioni acquose di scarto (contenenti sostanze pericolose e non).*

4.10 Materiali

Per la realizzazione degli interventi saranno utilizzati i seguenti materiali principali:

- inerti di cava per la realizzazione di piste, ampliamento pista, viabilità, ecc.: 20.000 m³ circa;
- inerti di cava per dreno trincea drenante e per pozzi: 3.000 m³ circa
- inerti di cava per rinterro trincee per posa tubazioni e vie cavo: 1.000 m³ circa;
- acqua da acquedotto per perforazioni, prove di pompaggio, preparazione miscele diaframma: 40.000 m³ circa;
- cemento per la realizzazione delle miscele per diaframma e pali secanti: 15.000 t circa;
- bentonite per la realizzazione delle miscele per diaframma e pali secanti: 2.500 t circa.

⁶ quantità stimata sulla base della piovosità media annua pari a 512 mm/anno

5 BARRIERAMENTO FISICO-IDRAULICO LATO MARE

5.1 Sequenza operativa

L'intervento Lato Mare prevede la seguente sequenza operativa:

- a) cantierizzazione e predisposizione degli apprestamenti necessari per la conduzione delle attività;
- b) esecuzione di attività preliminari alla realizzazione della barriera (campi prova per le diverse tecniche di barriera previste, indagini sui sottoservizi, sondaggi a carotaggio continuo in asse alla barriera fisica per la definizione della stratigrafia di dettaglio);
- c) realizzazione della barriera fisica nella pseudo-falda superficiale mediante diaframma composito o trattamenti colonnari di jet grouting. Il diaframma composito è realizzato nei settori privi di interferenze e prevede lo scavo di una trincea con benna mordente e l'inserimento di una geomembrana nella trincea riempita di miscela autoindurente ancora fluida. I trattamenti di jet grouting sono invece realizzati per ottenere una schermatura nei tratti con infrastrutture altamente interferenti (opere di presa e restituzione) o di morfologia irregolare, che rendono non applicabile la tecnica del diaframma continuo;
- d) esecuzione della trincea drenante nella pseudo-falda superficiale a monte della barriera fisica mediante pali secanti in ghiaia. Ai due estremi della trincea e in posizioni intermedie saranno installati pozzi superficiali allestiti con pompa per la raccolta delle acque drenate dalla trincea;
- e) realizzazione dei pozzi nella falda carbonatica profonda e dei piezometri di monitoraggio;
- f) realizzazione delle linee idrauliche, delle vie cavo e delle opere civili;
- g) installazione degli impianti tecnologici (sistemi di pompaggio, impianti elettrici e sistemi di monitoraggio);
- h) ripristino delle strade della centrale E.On.;
- i) la smobilitazione del cantiere al termine delle attività.

5.2 Interferenze e problematiche progettuali

Le principali interferenze e problematiche associate alla realizzazione degli interventi Lato Mare riguardano:

- la presenza di infrastrutture della centrale E.On. lungo il tracciato delle opere (opere di presa e di restituzione, condotte fognarie);
- la presenza di un'area archeologica;
- l'attraversamento dei cavi SA.PE.I: nel tratto del diaframma prossimo ala foce del Fiume Santo.

5.2.1 Interferenze con le infrastrutture di centrale

- Opere di presa e di restituzione della centrale termoelettrica

Le due opere di centrale non consentono lo scavo dei pannelli del diaframma. Sarà quindi necessario modificare la tecnica di intervento prevedendo la realizzazione di trattamenti colonnari jet grouting dopo aver individuato con esattezza la geometria delle opere.

In particolare, per l'opera di presa è prevista l'esecuzione di trattamenti colonnari verticali posizionati tra i condotti dell'opera. Per l'opera di restituzione, le caratteristiche geometriche non consentono di eseguire trattamenti colonnari verticali e conseguentemente si prevede l'esecuzione di schermature di iniezione inclinate a partire dai lati esterni dell'interferenza. E' tuttavia da segnalare che le geometrie di iniezione applicabili non garantiscono la totale schermatura dell'area trattata.

- Condotte fognarie

Nell'area di centrale le condotte fognarie sono disposte parallelamente al tracciato della barriera fisica e non rappresentano un'interferenza tale da richiedere la modifica della tecnologia esecutiva. Prima di procedere con i lavori si dovrà comunque verificare mediante scavi esplorativi la posizione di dettaglio delle condotte. Le diramazioni della rete fognaria interferiscono invece con la trincea drenante. Conseguentemente sarà necessario eseguire alcuni by-pass dei tratti interferenti per poter consentire la realizzazione delle opere (da concordare con E.On.).

5.2.2 Interferenza con l'area archeologica

La presenza di un'area archeologica in prossimità del settore orientale della barriera rende impossibile la realizzazione di un tracciato regolare e parallelo alla costa, e impone l'adozione di un tracciato complesso, per la prossimità a edifici di centrale e per la presenza di dislivelli di quota dovuti alla morfologia del terreno.

Raggiunta l'area archeologica, il tracciato la barriera fisica devia perpendicolarmente alla linea di costa e si sviluppa in corrispondenza della rampa carrabile che collega il piazzale di centrale al carbonile, con un passaggio da quota +3,5 m a +7 m. Al termine della rampa, a quota +7 m, il tracciato si sviluppa su viabilità di centrale parallela alla costa, con presenza di strutture di centrale che limitano gli spazi operativi. Al termine di questo tratto, a nord del carbonile il tracciato devia verso la costa, con un salto di quota da + 7 m a +1.8 m.

In tutto questo tratto il diaframma continuo non risulta realizzabile e deve essere sostituito da trattamenti colonnari di jet-grouting. Localmente, prima di procedere ai trattamenti è necessario accertare le caratteristiche di alcuni elementi strutturali (es. fondazioni di un muro di sostegno della rampa citata) mediante specifiche indagini (saggi perforazioni strumentate per riconoscere l'estensione delle fondazioni) al fine di evitare danneggiamenti in fase di iniezione.

5.2.3 Cavi interrati SA.PE.I.

Nel tratto di barriera prossimo alla foce del Fiume Santo, la barriera interseca i cavi SA.PE.I. La presenza dei cavi rende impossibile la realizzazione di un diaframma richiedendo l'applicazione della tecnica del jet-grouting.

Il trattamento deve essere tuttavia eseguito solo dopo l'esatta individuazione della posizione dei cavi, e adottando opportuni accorgimenti operativi per evitarne il danneggiamento.

5.3 Cantierizzazione

Gli apprestamenti previsti sono riportati nel disegno DCHR11006_CER02076 e includono:

- l'installazione dei baraccamenti e della recinzione di cantiere;
- la costruzione delle baie di deposito temporaneo dei materiali scavati, degli scarrabili e dei rifiuti liquidi;
- la preparazione delle piste di cantiere;
- la realizzazione delle aree di lavoro (area preparazione fanghi, area preparazione fanghi, area saldature geomembrane ecc.).

5.4 Barriera fisica

La barriera fisica avrà lunghezza complessiva di circa 700 m e profondità massima di 20 m da piano campagna, in accordo con il criterio adottato nel tratto terminale dell'opera Lato Fiume.

La barriera sarà costituita da un diaframma composito (pannelli di miscela cemento-bentonite con interposizione di una geomembrana di HDPE dello spessore di 2 mm) integrato da trattamenti colonnari jet grouting nei tratti in cui la presenza di interferenze e sottoservizi impedisce lo scavo dei pannelli.

Diversamente dall'intervento Lato Fiume, sulla base delle informazioni attualmente disponibili si assume che nei livelli della pseudo-falda superficiale non siano presenti livelli litoidi o trovanti rocciosi. Conseguentemente non sono previste attività di prescavo (mediante pali secanti di grande diametro o sistema alternativo tipo idrofresa). Dette attività dovranno essere considerate nel caso che le indagini previste in asse al tracciato indichino la presenza di tali tipologie di materiale.

5.4.1 Attività preliminari

Prima di avviare la realizzazione della barriera fisica si eseguiranno:

- sondaggi verticali a carotaggio continuo della profondità di 25 m. I sondaggi saranno eseguiti in asse alla barriera con interasse pari a 10 m. I log dei sondaggi consentiranno di individuare le caratteristiche stratigrafiche e l'eventuale presenza di livelli litoidi o e trovanti che possano costituire ostacolo alla realizzazione del diaframma continuo;
- indagini sui sottoservizi finalizzate a confermare e ad integrare la mappatura attualmente nota (es. rilievi di tipo georadar lungo l'asse di tracciamento del diaframma, prescavi e sondaggi);
- campi prova finalizzati alla messa a punto delle tecnologie esecutive del diaframma e dei trattamenti colonnari di jet-grouting, e alla verifica del raggiungimento dei requisiti progettuali con i sistemi operativi in dotazione all'Impresa incaricata dei lavori.

5.4.2 Modalità esecutive del diaframma composito

L'esecuzione del diaframma avverrà mediante la realizzazione di pannelli primari di 2,5 m sovrapposti per un minimo di 0,4 m a pannelli secondari, per compensare gli scostamenti dalla verticale prodotti dall'attrezzatura di scavo e la contemporanea immissione di una miscela costituita da acqua-bentonite-cemento, previa realizzazione dei cordoli guida.

Le fasi operative prevedono lo scavo dei pannelli con benna mordente o sistema analogo. L'attrezzatura di scavo ripone il materiale scavato da smaltire su mezzi di movimentazione terra. I mezzi per l'allontanamento dei terreni scavati dovranno accostarsi all'apparecchiatura di scavo per venire caricati dei materiali, evitando quindi di depositare il materiale scavato a lato della zona di lavoro. Nella realizzazione del diaframma plastico la miscela acqua-bentonite-cemento (fanghi autoindurenti) ha inizialmente la funzione di fango di scavo ed acquisisce in seguito le caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità richieste.

Completato lo scavo, viene messa in opera la geomembrana in HDPE appositamente zavorrata, prima che la miscela presente nella trincea solidifichi. Lo scavo sarà eseguito procedendo con pannelli primari di 2,5 m e pannelli secondari, in modo da ottenere sempre lunghezza di scavo aperte idonee alla posa dei teli in sicurezza. Una volta disponibile un tratto di scavo di lunghezza sufficiente, la geomembrana in HDPE viene posta in opera in corrispondenza dell'asse del diaframma con l'ausilio di un apposito rullo.

La geomembrana in HDPE dovrà avere spessore minimo di 2 mm e soddisfare i requisiti previsti dalla norma UNI 8898-6. I singoli teli avranno pari larghezza (minimo 3 m) e saranno tagliati in opera in accordo alla lunghezza da raggiungere. I giunti tra i pannelli saranno del tipo a labirinto, tali da mantenere una capacità massima di scorrere longitudinalmente pari a 3 mm, garantendo una luce di passaggio della larghezza massima di 2,0 mm ed un percorso di filtrazione minimo pari a 100 mm. Durante la posa i giunti saranno riempiti con fango autoindurente per garantirne l'impermeabilità. Le saldature dei giunti ai teli saranno del tipo "a doppia pista" e verranno eseguite in sito in apposita area coperta e asciutta. Le saldature dovranno rispondere ai requisiti della norma UNI 10567.

Solo nel caso che dalle indagini preliminari risultasse la presenza di livelli litoidi o trovanti non scavabili con la benna mordente, si dovrà operare come previsto per il Lato Fiume, eseguendo un prescavo con getto di calcestruzzo plastico o di una miscela cementizia avente caratteristiche tali da poter essere successivamente scavato con benna mordente. Il prescavo potrà essere effettuato eseguendo pali secanti di grande diametro (D=1200mm a interasse di 0,6m) mediante impiego di attrezzatura adeguata per lo scavo della roccia riscontrata nei sondaggi geotecnici o, in alternativa, mediante idrofresa di spessore minimo 1200mm, da definire a cura dell'Appaltatore.

A lavori completati, la testa del diaframma sarà coperta con getto di calcestruzzo a protezione della miscela plastica indurita superficiale, fino alla quota di progetto. Successivamente, per le parti del tracciato interne alla centrale E.On., si ripristineranno le condizioni preesistenti della finitura stradale, in accordo ai particolari costruttivi riportati negli elaborati progettuali.

5.4.3 Miscela per il diaframma composito

La composizione del fango autoindurente da impiegare nella realizzazione del diaframma sarà definita soltanto con il completamento di opportuni campi prova preliminari. Essa dovrà inoltre tenere conto delle sostanze chimiche presenti nelle acque di falda e nei terreni, considerandone la compatibilità con i singoli componenti la miscela. Come descritto in precedenza, il diaframma verrà realizzato direttamente in presenza del fango autoindurente che ha inizialmente la funzione di fluido per il sostentamento delle pareti di scavo ed acquisisce in seguito le caratteristiche di resistenza, deformabilità e permeabilità richieste. Le caratteristiche della miscela dovranno inoltre essere tali da consentire la posa della geomembrana prima della presa.

Le caratteristiche richieste a lungo termine alla miscela plastica sono le seguenti:

- coefficiente di permeabilità k inferiore o uguale a 10^{-9} m/s;
- resistenza a compressione con espansione laterale non inferiore a 150 kPa e non superiore a 1000 kPa;

La composizione iniziale del fango autoindurente, riferita ad 1 m^3 , è indicativamente la seguente:

- bentonite: $50 \div 80$ kg
- cemento: $380 \div 480$ kg
- acqua: $750 \div 850$ kg

e con un peso di volume medio dell'ordine di circa 1200 kg/m^3 .

E' inoltre possibile prevedere l'utilizzo di additivi al fine di migliorare le proprietà di permeabilità, di resistenza alle aggressioni di sostanze chimiche e l'efficienza dell'iniezione (stabilità e pompabilità). Al momento della definizione della composizione della miscela si dovrà comunque tenere conto che il peso di volume della miscela, anche in presenza dei detriti inevitabilmente presenti nella trincea al momento dello scavo, sia tale da consentire l'inserimento della geomembrana.

5.4.4 Modalità esecutive dei trattamenti di jet-grouting

In corrispondenza delle interferenze al tracciato della barriera, il diaframma sarà interrotto e verrà realizzato un trattamento colonnare jet grouting.

Saranno realizzate perforazioni disposte a quinconce, aventi diametro di 10 cm e interasse massimo pari a circa 70 cm, in modo da realizzare una barriera fisica fino alle profondità di progetto. Le colonne jet grouting, eseguite con metodologia "bifluido", dovranno avere un diametro minimo pari a 100 cm.

Dove possibile si procederà portando a giorno i sottoservizi interrati, che verranno chiaramente identificati in superficie mediante picchetti. L'iniezione della miscela dovrà essere eseguita evitando di generare sollevamenti e deformazioni ai sottoservizi.

5.4.5 Miscela per i trattamenti jet grouting

Si dovrà adottare una miscela binaria costituita da cemento e acqua con rapporto a/c compreso tra 1 e 2 e massa volumica della miscela fresca non inferiore a $1,65 \text{ t/m}^3$.

Si potranno adottare i seguenti tipi di additivi, da approvare caso per caso:

- stabilizzanti (se bentonite, non oltre il 3% della massa del cemento);
- superfluidificanti o ritardanti di presa ed espansivi;
- additivi di protezione della miscela dal dilavamento, di tipo idrorepellente, nel caso di falda con discreta pressione e moto di filtrazione (es. sabbie grossolane e ghiaie pulite), in modo da ottenere miscele ternarie cemento/acqua e additivi con antischiuma non inquinanti, da definirsi, in dipendenza delle caratteristiche fisico-chimiche del prodotto proposto;
- additivi di protezione da eventuali agenti organici presenti nel terreno.

La quantità di cemento da iniettare in massa secca per metro cubo di terreno trattato dovrà essere calibrata nel corso del campo prove sperimentale al fine di raggiungere i diametri utili stabiliti in progetto. Inizialmente si potrà considerare un valore di 400-450 kg/m³. Il valore di permeabilità a 90 giorni determinato con prove triassiali sulle carote prelevate dalle colonne jet-grouting dovrà risultare inferiore a 10⁻⁹ m/s.

5.5 Trincea drenante

La trincea drenante superficiale sarà eseguita lungo tutto lo sviluppo della barriera fisica ed avrà profondità massima di 17 m e sviluppo di 700 m. La trincea sarà eseguita mediante pali secanti in ghiaia diametro 600 mm, realizzati ad interasse pari a 400 mm. In particolare, la profondità della trincea drenante sarà pari a 15 m da PT1 a PT9, nel tratto in cui il piano di lavoro è posto a quota +3,5 m, pari a 17 m da PT10 a PT16, nel tratto in cui il piano di lavoro è posto a quota +7,00 m e pari a 12 m da PT17 a PT19, nel tratto in cui il piano di lavoro è posto a quota +1,80 m. Si prevede l'impiego di due macchine per l'esecuzione dei pali.

All'interno della trincea verranno realizzati 19 pozzi di profondità equivalente a quella della trincea, in cui verranno installate le pompe per l'aggottamento dell'acqua raccolta dalla trincea. I pozzi saranno eseguiti mediante perforazione a secco a percussione (sonda e/o benna) o a rotazione (secchione/bucket o vitone), con diametro perforazione 600 mm. Nel foro sarà installata una tubazione fessurata diametro 200 mm in HDPE; l'intercapedine sarà riempita con un dreno costituito da ghiaietto di granulometria 2,5÷4,0 mm.

5.6 Pozzi di emungimento e di immissione e piezometri

5.6.1 Pozzi di emungimento e immissione nella falda carbonatica profonda

Lungo la linea di costa, all'interno del sito E.On., è prevista la realizzazione di:

- una barriera idraulica di emungimento nella falda carbonatica profonda costituita da 20 pozzi di profondità massima 150 m circa, con interasse di 30 m circa;
- una barriera idraulica di immissione nella falda carbonatica profonda costituita da 18 pozzi della profondità massima di circa 150 m circa, con interasse di 30 m circa.

I pozzi di emungimento e di immissione nella falda carbonatica profonda saranno costituiti da una parte superiore (fino a 100 metri circa dal piano campagna), provvista di tubo di rivestimento del diametro Øe 180 mm. Il tratto di tubazione corrispondente ai terreni superficiali sarà privo di finestratura ed adeguatamente isolato dal sottostante tratto filtrante. Al di sotto dei primi 100 m la perforazione proseguirà fino a 150 metri di profondità, con diametro a fondo foro pari a 100 mm e senza posa di

tubazione di rivestimento per consentire di intercettare i flussi contaminati profondi riscontrati nel corso della campagna di indagine eseguita.

I pozzi di emungimento e di immissione nella falda carbonatica profonda saranno installati entro fori di sondaggio ottenuti attraverso le seguenti fasi operative:

- Perforazione a carotaggio continuo Øe 96-101mm fino a raggiungere il contatto tra i terreni di copertura e il substrato carbonatico. La profondità del contatto fra i terreni di copertura superficiali, di origine Quaternaria e Terziaria, e il substrato carbonatico di origine Mesozoica, è prevista indicativamente a 55 metri al di sotto del piano campagna. Si dovrà fare particolare attenzione e cura nella gestione dei materiali di risulta delle perforazioni che, dopo opportuna decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole impermeabilizzate dell'area di deposito temporaneo si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
- Perforazione a distruzione di nucleo per alesaggio del tratto sopra indicato fino al diametro finale, compreso fra 370 e 410 mm circa, necessario per l'installazione della tubazione cieca in PEAD Øe 315 mm (tubazione di avampozzo per l'isolamento della pseudo-falda superficiale). Analogamente a quanto indicato nella fase precedente i materiali di risulta delle perforazioni, dopo opportuna decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole impermeabilizzate si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
- Posa della tubazione cieca di avampozzo sopra descritta ed adeguato isolamento della pseudo-falda superficiale dalla sottostante falda carbonatica profonda a mezzo di idonea cementazione e creazione di un tampone di isolamento;
- Attesa per la presa della cementazione della tubazione di avampozzo (minimo 72 h). Al fine di ottimizzare i tempi morti durante tale attesa è previsto che l'attrezzatura di perforazione sia spostata in corrispondenza della successiva verticale ove è prevista la realizzazione del successivo pozzo di emungimento o immissione al fine di approntare e completare la relativa tubazione di avampozzo di tale verticale. Una volta raggiunto il tempo minimo di 72 h, una seconda attrezzatura di perforazione sarà spostata sulla verticale precedente al fine di completare il corrispondente pozzo di emungimento o immissione nella falda carbonatica profonda. Di seguito vengono riportate le fasi previste per il completamento di tale pozzo profondo;
- Perforazione a distruzione o senza obbligo di campionamento Øe 250-270mm fino a raggiungere la profondità massima di circa 100 metri da piano campagna, all'interno del substrato carbonatico di origine Mesozoica, necessaria per l'installazione della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 180 mm (tubazione di pozzo). Particolare attenzione dovrà essere prestata all'eventuale utilizzo di fanghi bentonitici o similari, si evidenzia che il loro utilizzo dovrà essere limitato allo stretto necessario e in qualsiasi caso, tutti i tratti di foro trattati con tale tipo di fango, ed interessati dai settori filtranti dei pozzi, dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. I materiali di risulta delle perforazioni dovranno essere trasferiti nelle apposite piazzole

- impermeabilizzate del deposito temporaneo previa riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
- Perforazione a distruzione o senza obbligo di campionamento Øe 96-101 mm fino alla profondità massima di 150 m, all'interno del substrato carbonatico di origine Mesozoica, per la realizzazione del foro coassiale di approfondimento. Anche per questa fase tutti i tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o similari dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Anche per questa fase di perforazione dovranno essere applicate le stesse procedure di trattamento dei materiali di risulta delle perforazioni indicate nelle analoghe fasi precedenti di perforazione ed alesaggio;
 - Posa di ghiaietto siliceo entro il foro coassiale di approfondimento di cui alla fase precedente;
 - Posa della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 180 mm (tubazione di pozzo), costituita da un tratto iniziale cieco, corrispondente alla pseudo-falda superficiale e successivamente finestrata. Attorno al tratto di tubazione finestrata sarà creato un idoneo strato filtrante con ghiaietto siliceo pulito calibrato. Dovrà essere prestata particolare cura all'isolamento superiore della zona finestrata e al tratto iniziale di sovrapposizione con la tubazione di avampozzo. Superiormente la tubazione di pozzo sarà cementata mediante una miscela acqua-cemento-bentonite, la testa pozzo sarà corredata di idoneo tappo provvisorio di chiusura;
 - Esecuzione di idoneo spurgo e sviluppo del pozzo con raccolta delle acque emunte in idonea vasca/serbatoio e successivo trasferimento all'area di deposito temporaneo. Come già sopra indicato particolare attenzione dovrà essere prestata ai tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o similari, che dovranno essere accuratamente risanati garantendo la totale rimozione del pannello così eventualmente creato;
 - Esecuzione, per i pozzi di emungimento, di una prova di pompaggio per la determinazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero e la verifica dell'interferenza fra i coni di emungimento dei pozzi nonché per la caratterizzazione del funzionamento idraulico del pozzo stesso. La prova sarà del tipo a gradini SDT (Step Drawdown Test). Anche per questa fase dovranno essere applicate le stesse procedure di conferimento delle acque emunte indicate nella fase precedente;
 - Esecuzione, per i pozzi di immissione, di una prova di immissione per la determinazione dei parametri idrodinamici dell'acquifero e la verifica dell'interferenza fra i coni di immissione dei pozzi nonché per la caratterizzazione del funzionamento idraulico del pozzo stesso. La prova sarà del tipo a gradini SDT (Step Drawdown Test).

Nella tabella seguente sono riportati l'elenco e le caratteristiche dei pozzi di immissione (PI) e di emungimento (PE) nella falda carbonatica profonda.

Pozzi nella falda carbonatica profonda								
Pozzo	Lunghezza complessiva [m]	Perforazione a carotaggio continuo nelle litologie della pseudo-falda superficiale e nei primi metri della falda carbonatica profonda [m]	Perforazione a distruzione di nucleo - alesaggio per posa tubazione avampozzo PEAD diam. 315 mm [m]	Posa tubazione pozzo PEAD diam. 315 mm nelle litologie della pseudo-falda superficiale [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. nelle litologie della falda carbonatica profonda per posa tubazione pozzo PEAD diam. 180 mm [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. nelle litologie della falda carbonatica profonda per foro coassiale diam. 101mm di approfondiment o [m]	Posa di ghiaietto siliceo entro foro coassiale di approfondiment o [m]	Posa tubazione pozzo PEAD diam. 180 mm nelle litologie della falda carbonatica profonda [m]
PE01	150	55	55	55	45	50	50	100
PE02	150	55	55	55	45	50	50	100
PE03	150	55	55	55	45	50	50	100
PE04	150	55	55	55	45	50	50	100
PE05	150	55	55	55	45	50	50	100
PE06	150	55	55	55	45	50	50	100
PE07	150	55	55	55	45	50	50	100
PE08	150	55	55	55	45	50	50	100
PE09	150	55	55	55	45	50	50	100
PE10	150	55	55	55	45	50	50	100
PE11	150	55	55	55	45	50	50	100
PE12	150	55	55	55	45	50	50	100
PE13	150	55	55	55	45	50	50	100
PE14	150	55	55	55	45	50	50	100
PE15	150	55	55	55	45	50	50	100
PE16	150	55	55	55	45	50	50	100
PE17	150	55	55	55	45	50	50	100
PE18	150	55	55	55	45	50	50	100
PE19	150	55	55	55	45	50	50	100
PE20	150	55	55	55	45	50	50	100
PI01	150	55	55	55	45	50	50	100
PI02	150	55	55	55	45	50	50	100
PI03	150	55	55	55	45	50	50	100
PI04	150	55	55	55	45	50	50	100
PI05	150	55	55	55	45	50	50	100
PI06	150	55	55	55	45	50	50	100
PI07	150	55	55	55	45	50	50	100
PI08	150	55	55	55	45	50	50	100
PI09	150	55	55	55	45	50	50	100
PI10	150	55	55	55	45	50	50	100
PI11	150	55	55	55	45	50	50	100
PI12	150	55	55	55	45	50	50	100
PI13	150	55	55	55	45	50	50	100
PI14	150	55	55	55	45	50	50	100
PI15	150	55	55	55	45	50	50	100
PI16	150	55	55	55	45	50	50	100
PI17	150	55	55	55	45	50	50	100
PI18	150	55	55	55	45	50	50	100
Totale	5700	2090	2090	2090	1710	1900	1900	3800

Tabella 6: Pozzi nella falda carbonatica profonda

5.6.2 Piezometri

Nell'area di intervento è prevista la realizzazione di 20 piezometri nella falda carbonatica profonda e 3 piezometri nella pseudo-falda superficiale lungo il tracciato delle barriere idrauliche.

Modalità realizzative dei piezometri nella falda carbonatica profonda

I piezometri nella falda carbonatica profonda avranno profondità massima di 150 m circa e saranno costituiti da una parte superiore (fino a circa 55÷60 metri circa dal piano campagna), corrispondente ai terreni di copertura superficiali, di origine Quaternaria e Terziaria, provvista di tubo di rivestimento del diametro Øe 110 mm, con sezione cieca. Al di sotto di tale tratto, per una lunghezza variabile tra 95 e 90 metri, il foro sarà attrezzato con una tubazione finestrata, sempre del diametro Øe 110 mm, in corrispondenza del substrato carbonatico di origine Mesozoica. Tali tratti saranno valutati in corso d'opera sulla base delle risultanze stratigrafiche.

I piezometri nella falda carbonatica profonda saranno installati entro fori di sondaggio ottenuti attraverso le seguenti fasi operative:

- Perforazione a carotaggio continuo Øe 96-101mm fino a raggiungere il contatto tra i terreni di copertura e il substrato carbonatico, al di sotto di tale contatto la perforazione proseguirà a distruzione di nucleo o senza obbligo di campionamento (confronta punto successivo) fino a raggiungere la profondità prevista. Particolare attenzione dovrà essere prestata all'eventuale utilizzo di fanghi bentonitici o similari, si evidenzia che il loro utilizzo dovrà essere limitato allo stretto necessario e in qualsiasi caso, tutti i tratti di foro trattati con tale tipo di fango, ed interessati dal settore filtrante del piezometro, dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Si dovrà fare particolare attenzione e cura nella gestione dei materiali di risulta delle perforazioni che, dopo opportuna decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole impermeabilizzate dell'area di deposito temporaneo si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;
- Perforazione a distruzione o senza obbligo di campionamento ed alesaggio del tratto di foro eseguito a carotaggio continuo (confronta punto precedente), fino alla profondità finale di 150 metri circa, fino al diametro finale di 180 mm circa, necessario per l'installazione della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm. Analogamente alla fase precedente tutti i tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o similari dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Anche per questa fase dovranno essere applicate le procedure di trattamento dei materiali di risulta delle perforazioni indicate nella fase precedente;
- Posa della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm, costituita da un tratto iniziale cieco, corrispondente alla pseudo-falda superficiale e successivamente dal tratto finestrato in corrispondenza della successione carbonatica mesozoica. Attorno ai tratti di tubazione finestrata sarà creato un idoneo strato filtrante con ghiaietto siliceo pulito calibrato. Dovrà essere prestata particolare cura all'isolamento superiore della zona finestrata. Superiormente la tubazione piezometrica sarà cementata mediante una miscela acqua-cemento-bentonite, la testa del piezometro sarà corredata di idoneo tappo provvisorio di chiusura;
- Esecuzione di un idoneo spurgo con raccolta delle acque emunte in idonea vasca/serbatoio e successivo trasferimento all'area di deposito temporaneo. Come già sopra indicato particolare attenzione dovrà essere prestata ai tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o similari, che dovranno essere

accuratamente risanati garantendo la totale rimozione del pannello così eventualmente creato;

Nella tabella seguente sono riportati l'elenco e le caratteristiche dei piezometri nella falda carbonatica profonda.

Piezometri nella falda carbonatica profonda				
Piezometro	Lunghezza complessiva [m]	Perforazione a carotaggio continuo nelle litologie della pseudo-falda superficiale e nei primi metri della falda carbonatica profonda [m]	Perforazione a distruzione di nucleo o senza obbligo di camp. ed alesaggio nelle litologie della falda carbonatica profonda e in quelle della pseudo-falda superficiale [m]	Posa tubazione piezometro PEAD diam. 110 mm nelle litologie della falda carbonatica profonda [m]
SFp35	150	55	150	150
SFp36	150	55	150	150
SFp37	150	55	150	150
SFp38	150	55	150	150
SFp39	150	55	150	150
SFp40	150	55	150	150
SFp41	150	55	150	150
SFp42	150	55	150	150
SFp43	150	55	150	150
SFp44	150	55	150	150
SFp45	150	55	150	150
SFp46	150	55	150	150
SFp47	150	55	150	150
SFp48	150	55	150	150
SFp49	150	55	150	150
SFp50	150	55	150	150
SFp51	150	55	150	150
SFp52	150	55	150	150
SFp53	150	55	150	150
SFp54	150	55	150	150
Totale	3000	1100	3000	3000

Tabella 7: Piezometri nella falda carbonatica profonda

Modalità realizzative dei piezometri nella pseudo-falda superficiale

I piezometri nella pseudo-falda superficiale avranno profondità massima di 20 metri circa. L'effettiva profondità dei singoli piezometri sarà definita in corso d'opera sulla base delle osservazioni stratigrafiche e idrogeologiche, tenendo conto dello spessore dei terreni superficiali e della soggiacenza della superficie piezometrica.

I piezometri saranno provvisti di tubo di rivestimento del diametro \varnothing 110 mm, con sezione filtrante lungo tutto il tratto fatta eccezione per le parti iniziali e terminali della colonna.

I piezometri nella pseudo-falda superficiale saranno installati entro fori di sondaggio ottenuti attraverso le seguenti fasi operative:

- Perforazione a carotaggio continuo \varnothing 96-101mm fino a raggiungere la profondità prevista. Particolare attenzione dovrà essere prestata all'eventuale utilizzo di fanghi bentonitici o similari, si evidenzia che il loro utilizzo dovrà essere limitato allo

stretto necessario e in qualsiasi caso, tutti i tratti di foro trattati con tale tipo di fango, ed interessati dal settore filtrante del piezometro, dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Si dovrà fare particolare attenzione e cura nella gestione dei materiali di risulta delle perforazioni che, dopo opportuna decantazione nelle apposite vasche presso le postazioni di lavoro, saranno trasferiti nelle apposite piazzole impermeabilizzate già realizzate nell'area di deposito temporaneo. Per consentire la gestione come rifiuto solido secondo le Normative Vigenti, prima del collocamento nelle piazzole impermeabilizzate dell'area di deposito temporaneo si dovrà provvedere alla riduzione del contenuto d'acqua dei materiali di risulta;

- Alesaggio del foro, pertanto fino alla profondità finale massima di 20 m circa, fino al diametro finale di 180 mm circa, necessario per l'installazione della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm. Analogamente alla fase precedente tutti i tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o simili dovranno essere successivamente accuratamente lavati e risanati asportando il pannello così creato. Anche per questa fase dovranno essere applicate le procedure di trattamento dei materiali di risulta delle perforazioni indicate nella fase precedente;
- Posa della tubazione cieca e finestrata in PEAD Øe 110 mm . Attorno ai tratti di tubazione finestrata sarà creato un idoneo strato filtrante con ghiaietto siliceo pulito calibrato. Dovrà essere prestata particolare cura all'isolamento superiore della zona finestrata. Superiormente la tubazione piezometrica sarà cementata mediante una miscela acqua-cemento-bentonite. La testa del piezometro sarà corredata di idoneo tappo provvisorio di chiusura;
- Esecuzione di un idoneo spurgo con raccolta delle acque emunte in idonea vasca/serbatoio e successivo trasferimento all'area di deposito temporaneo. Come già sopra indicato particolare attenzione dovrà essere prestata ai tratti di foro eventualmente trattati con fanghi bentonitici o simili, che dovranno essere accuratamente risanati garantendo la totale rimozione del pannello così eventualmente creato;

Nella tabella seguente sono riportati l'elenco e le caratteristiche dei piezometri nella pseudo-falda superficiale.

Piezometri nella pseudo-falda superficiale				
Piezometro	Lunghezza complessiva [m]	Perforazione a carotaggio continuo nelle litologie della pseudo-falda superficiale e nei primi metri della falda carbonatica profonda [m]	Alesaggio per posa tubazione piezometro superficiale PEAD diam. 110 mm [m]	Posa tubazione piezometro PEAD diam. 110 mm nelle litologie della pseudo falda superficiale [m]
SFs52	20	20	20	20
SFs53	20	20	20	20
SFs54	20	20	20	20
Totale	60	60	60	60

Tabella 8: *Piezometri nella pseudo-falda superficiale*

5.7 Linee idrauliche, vie cavo e opere civili

Le opere da realizzare includono:

- Linee idrauliche, comprendenti:
 - due linee di trasporto delle acque emunte, costituite da tubazioni in PEAD \varnothing 200 mm, che raccolgono le acque dei 20 pozzi di emungimento della falda profonda e le acque della trincea drenante nella pseudo-falda superficiale. Entrambe le tubazioni si raccordano alla linea di emungimento del Lato Fiume (che recapita alle vasche di "accumulo acqua grezza" dell'impianto trattamento acque);
 - una linea di trasporto delle acque trattate verso la barriera dei 18 pozzi di immissione, costituita da una tubazione in PEAD \varnothing 200 mm (corredata da una tubazione in PEAD \varnothing 110 mm con funzione di equalizzazione) che si raccorda alla linea di immissione del lato Fiume (a sua volta collegata alle vasche di "accumulo permeato" dell'impianto trattamento acque).
 - tubi in PEAD \varnothing 50 mm per il collegamento idraulico tra linee e pozzi;
- vie cavo, costituite da una rete di tubazioni in PEAD di diametro variabile, destinate ad ospitare i cavi di alimentazione delle pompe di emungimento e di immissione e i cavi segnale;
- pozzetti interrati per la protezione delle teste pozzo e pozzetti interrati con funzione di rompitratta lungo il tracciato delle vie cavo.

I tracciati delle linee idrauliche e delle vie cavo saranno interrate in trincee appositamente realizzate.

La realizzazione delle linee idrauliche, delle vie cavo e delle relative opere civili sarà avviata al completamento della trincea e dei pozzi.

5.8 Impianti tecnologici

Gli impianti tecnologici associati al barriera fisico e idraulico delle acque sotterranee Lato Mare comprendono:

- Sistemi di pompaggio, con relativa componentistica idraulica ed elettronica, da installare in corrispondenza di:
 - 20 pozzi di emungimento nella falda carbonatica profonda;
 - 19 pozzi di drenaggio previsti nella trincea drenante nella pseudo-falda superficiale;
 - 18 pozzi di immissione nella falda carbonatica profonda.

Ogni pozzo sarà dotato di una pompa centrifuga (sommersibile nei pozzi di emungimento ed esterna nei pozzi di immissione), di un quadro elettrico di regolazione e comando, di un circuito idraulico di collegamento alla relativa linea di trasporto (provvisto di valvola di intercettazione, valvola di non ritorno e flussimetro e rubinetto di campionamento) e della sensoristica di seguito indicata

- Sistemi di monitoraggio:
 - 57 sistemi di misura dei livelli piezometrici dei pozzi (20 pozzi di emungimento, 19 pozzi di drenaggio previsti nella trincea drenante, 18 pozzi di immissione nella falda carbonatica profonda) e 23 sensori per la misura dei livelli di falda

dei piezometri localizzati nell'area adiacente alle linee di emungimento e immissione. Fra il totale dei 39 sistemi dei pozzi di emungimento e drenaggio, 15 di questi saranno attrezzati anche con sensori per la misura della conducibilità dell'acqua, installati sulla linea di pompaggio, all'interno dei pozzetti.

- Sistema di telecontrollo e teleregolazione, per la verifica in tempo reale degli effetti idraulici del pompaggio e la regolazione dei ratei di pompaggio nei singoli pozzi;
- Sistema di supervisione remota per la visualizzazione in tempo reale del funzionamento delle barriere di emungimento e di immissione;
- Impianto elettrico di alimentazione delle apparecchiature.

5.9 Produzione di rifiuti

L'esecuzione dell'intervento comporterà la produzione di rifiuti solidi e liquidi. Di seguito sono riportati le tipologie di rifiuto previste, il CER presunto e le stime delle quantità. La classificazione dei rifiuti per l'attribuzione del CER definitivo sarà eseguita a cura dell'impresa esecutrice in ottemperanza della normativa vigente.

5.9.1 Rifiuti solidi

5.9.1.1 Terre e rocce derivanti dall'esecuzione della barriera fisica e della trincea drenante

Quantità previste (assumendo una densità pari a 2,0 t/m³ per i materiali di copertura e pari a 2,5 t/m³ per i materiali carbonatici):

- Barriera fisica : Scavi per la realizzazione delle opere di cantierizzazione: 6.314 t
- Barriera fisica: Scavo con benna mordente: 25.086 t
- Trincea drenante: Scavo trincea drenante: 13.984 t
- Demolizione depositi temporanei terre e rocce da scavo: 6.150 t
- **Totale: 51.534 t**

CER presunti: 17.05.03* terre e rocce contenenti sostanze pericolose (in alternativa 19.13.01*) e 17.05.04 terre e rocce da scavo diverse di quelle di cui alla voce 17.05.03 (in alternativa 19.13.02).

I materiali provenienti dallo scavo della barriera fisica potrebbero essere anche classificati con i seguenti CER alternativi, per via dell'utilizzo di fanghi autoindurenti (cemento-bentonite) nella fase di scavo: 19.13.03* / 19.13.04 - fanghi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni (contenenti sostanze pericolose e non); 01.05.04 / 01.05.06* - fanghi di perforazione (contenenti sostanze pericolose e non); 17.05.05* / 17.05.06 - fanghi di dragaggio (contenenti sostanze pericolose e non).

5.9.1.2 Calcestruzzo derivante dall'esecuzione della barriera fisica

Quantità previste: 2.831 t

CER presunto: 17.01.01 cemento.

5.9.1.3 Asfalto e pavimentazioni stradali derivanti dall'esecuzione della barriera fisica

Quantità previste: 1.895 t

CER presunto: 17.03.02 miscele bituminose.

5.9.1.4 Fanghi di perforazione derivanti dalla realizzazione dei pozzi e dei piezometri.

Quantità previste (assumendo una densità pari a 2,0 t/m³ per i materiali di copertura e pari a 2,5 t/m³ per i materiali carbonatici):

- Pozzi: 866 t
- Piezometri: 225 t
- **Totale: 1091 t**

CER presunti: 19.13.03* / 19.13.04 - fanghi prodotti dalle operazioni di bonifica dei terreni (contenenti sostanze pericolose e non).

Come per i materiali provenienti dallo scavo della barriera fisica, potrebbero essere anche classificati con i seguenti CER alternativi: 17.05.03* / 17.05.04 terre e rocce (contenenti sostanze pericolose e non); 19.13.01* / 19.13.02 terre e rocce prodotte dalle operazioni di bonifica dei terreni (contenenti sostanze pericolose e non).

I fanghi di perforazione saranno sottoposti a trattamento per la riduzione del contenuto d'acqua. Si stima che da tale trattamento deriverà una quantità di materiale palabile pari a circa a circa 1091 t e un volume di acqua separata pari a circa 709 m³.

5.9.1.5 Terre e rocce derivanti dalle attività di posa di collettori, vie cavo e relative opere civili associate alle barriere idrauliche, dalle attività di posa dei pozzetti di protezione delle teste pozzo e dei piezometri

Quantità previste (assumendo una densità pari a 2,0 t/m³): 4.634 t

CER presunti: 17.05.03* / 17.05.04 terre e rocce da scavo

5.9.2 Rifiuti liquidi

Quantità previste

I rifiuti liquidi comprendono le acque derivanti dai seguenti processi:

- spurgo pozzi e piezometri e prove di pompaggio: 1.315 m³;
- dewatering dei fanghi di perforazione: 709 m³;
- acque meteoriche aree impermeabilizzate deposito temporaneo ⁷: 12.158 m³
- lavaggio dei mezzi e delle attrezzature di scavo: 2.005 m³
- **totale: 16.187 m³**

⁷ quantità stimata sulla base della piovosità media annua pari a 512 mm/anno

CER presunti: 19.13.08 rifiuti liquidi acquosi e concentrati acquosi prodotti dalle operazioni di risanamento delle acque di falda, diversi da quelli di cui alla voce 19.13.07.

In fase esecutiva i rifiuti potranno essere classificati con i seguenti CER alternativi: 16.10.01* / 16.10.02 – soluzioni acquose di scarto (contenenti sostanze pericolose e non).

5.10 Materiali

Per la realizzazione degli interventi saranno utilizzati i seguenti materiali principali:

- inerti di cava per la realizzazione di piste, ampliamento pista, viabilità, ecc.: 7.000 m³ circa;
- inerti di cava per dreno trincea drenante e per pozzi: 7.000 m³ circa
- inerti di cava per rinterro trincee per posa tubazioni e vie cavo: 1.700 m³ circa;
- conglomerati bituminosi: 1.900 m³ circa
- acqua da acquedotto per perforazioni, prove di pompaggio, preparazione miscele diaframma: 39.000 m³;
- cemento per la realizzazione delle miscele per diaframma e delle colonne jet grouting: 11.000 t;
- bentonite per la realizzazione delle miscele per diaframma: 1.000 t.

6 IMPIANTO TRATTAMENTO ACQUE EMUNTE

6.1 Caratteristiche chimico fisiche dell'acqua di falda

La caratterizzazione iniziale della falda del sito SAPEI ha evidenziato, in alcuni punti di prelievo, un inquinamento dovuto a solventi clorurati. Nella Tabella 9 sono riportati, per i singoli composti clorurati che sono stati rilevati, alcuni dati sintetici che aiutano a formulare una previsione di larga approssimazione sulle concentrazioni attese, confrontate con i limiti per la reimmissione in falda.

Inquinante	Min.	Max.	Media aritmetica	Mediana	Conc. Limite per reimmissione in falda
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Triclorometano	< D.L.	59,81	10,23	0,38	0,15
Cloruro di vinile	< D.L.	1,08	0,03	0,0	0,5
1,2 Dicloroetano	< D.L.	7,77	0,49	0,0	3
1,1-Dicloroetilene	< D.L.	49,92	8,13	0,04	0,05
Tricloroetilene	< D.L.	63,03	10,69	0,00	1,5
Tetracloroetilene	< D.L.	7,23	1,29	0,05	1,1

Tabella 9: *Inquinanti di natura organica*

Dai dati di caratterizzazione iniziale si è evidenzia inoltre una possibile lieve criticità legata ad alcuni parametri inorganici quali ferro, manganese, solfati, come rappresentato in Tabella 10. Di questo si è tenuto conto introducendo nella sezione di filtrazione un filtro a pirolusite per la rimozione di ferro e manganese.

Inquinante	Min.	Max.	Media aritmetica	Mediana	Conc. Limite per reimmissione in falda
	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ferro	< D.L.	-	150	-	200
Manganese	< D.L.	-	100	-	50
Solfati	78	2805	420	253	250

Tabella 10: *Inquinanti di natura inorganica*

Le caratteristiche indicate sopra sono, come detto precedentemente, quelle che si desumono dalla caratterizzazione iniziale del sito. Tali caratteristiche potranno variare durante il pompaggio dell'acqua di falda, con andamenti complessi che al momento non sono facilmente prevedibili. La progettazione ha tenuto conto di questi elementi di incertezza predisponendo una configurazione impiantistica che permetterà di avere sempre un filtro in funzione di sgrossatura seguito da un filtro di finitura finale per garantire il conseguimento dei limiti per la reimmissione per la maggior parte dei solventi clorurati e valori nell'intorno del limite per i due solventi meno adsorbibili dal carbone attivo e precisamente il cloroformio e l'1,2-dicloroetano.

6.2 Descrizione generale del processo

Lo schema a blocchi del processo di trattamento è rappresentato nella Figura 12. L'impianto dovrà trattare 140 m³/h di acqua di falda e rendere disponibili 40 m³/h di acqua conforme ai limiti per la reimmissione in falda. L'eccedenza rispetto alla portata di reimmissione dovrà essere conforme ai limiti per lo scarico in acque superficiali.

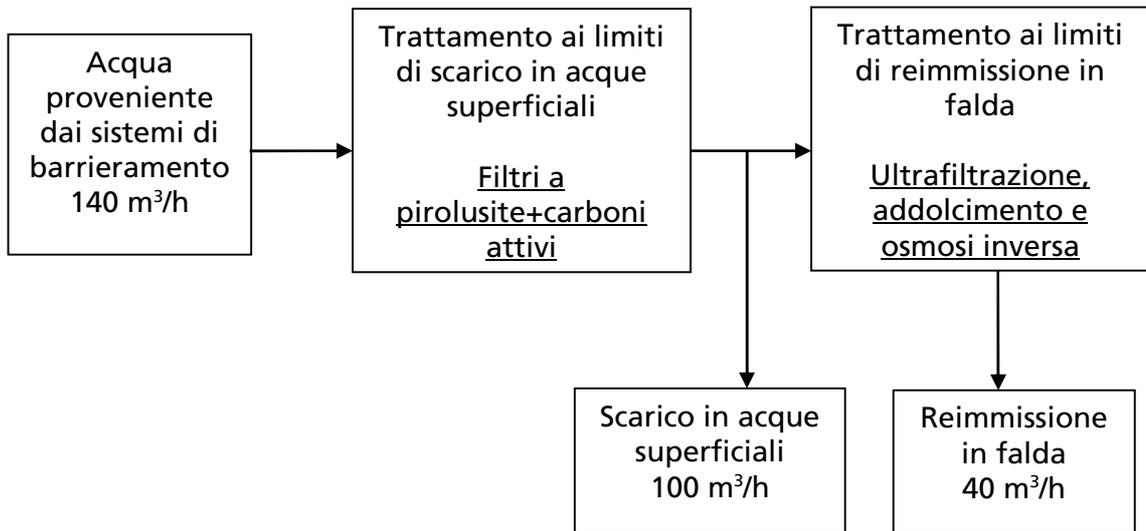


Figura 12: Schema del trattamento

Le acque provenienti dai sistemi di barrieramento della falda profonda e dalla pseudo-falda superficiale saranno raccolte in un sistema di accumulo di testa e avviate alla prima sezione di trattamento costituita da cinque linee di filtrazione a pirolusite e a carbone attivo, ciascuna dimensionata per trattare 40 m³/h.

Ciascuna linea di filtrazione è progettata, in termini di configurazione impiantistica, altezza dello strato di carbone attivo, velocità di attraversamento del letto e quantità di carbone attivo presente, per garantire il conseguimento dei limiti per lo scarico in acque superficiali.

Le acque trattate dalla prima sezione saranno raccolte in un sistema di accumulo dal quale saranno prelevate e scaricate nel corpo recettore oppure avviate al trattamento di finitura finale a osmosi inversa per il conseguimento dei limiti previsti per la reimmissione in falda sia per gli inquinanti di natura organica sia per gli inquinanti inorganici quali Ferro, Manganese e Solfati.

La sezione di finitura finale è costituita da una linea di ultrafiltrazione per la rimozione dei colloidi ed una linea di addolcitori Duplex a resine scambiatrici di ioni.

La portata di alimento del trattamento di finitura finale è di 58 m³/h, (50 m³/h in ingresso all'osmosi), la produzione di permeato 40 m³/h, il concentrato 10 m³/h.

La sezione di osmosi opererà quindi con un recovery dell'80%. Il concentrato dell'osmosi inversa sarà equalizzato in una vasca di raccolta degli eluati insieme alle acque di rigenerazione delle resine a scambio ionico e da questo scaricate a mare. Le acque derivanti dal trattamento di finitura finale, ossia il permeato dell'osmosi inversa,

saranno raccolte in un sistema di accumulo e da questo prelevate per essere reimmesse in falda.

Il regime di funzionamento è continuo sulle 24 ore.

6.3 Criteri di progettazione delle sezioni di impianto

Sezione di accumulo dell'acqua emunta dalla falda

La sezione sarà composta da due vasche di raccolta in cemento del volume di 300 m³ ciascuna, parzialmente interrate dedicate all'accumulo delle acque pompate dalla falda e al loro invio alla sezione di trattamento.

Le vasche riceveranno l'acqua dal collettore di raccolta delle acque pompate dai singoli piezometri, saranno dotate di copertura idonea ad impedire la contaminazione con materiale estraneo e saranno attrezzate per consentire il campionamento dell'acqua contenuta. Ciascuna vasca sarà gestita alternativamente in ricezione dalla falda o in alimento alla sezione di trattamento, mediante segnali di livello.

Sezione di primo trattamento

La sezione di primo trattamento sarà costituita da:

- 1) cinque linee di trattamento ciascuna costituita da un filtro a pirolusite e tre filtri a carbone attivo progettati per garantire la rimozione dei solventi clorurati fino ai limiti per la reimmissione;
- 2) due vasche di accumulo dell'acqua trattata prima dell'invio o allo scarico nel corpo recettore o al trattamento di finitura finale.

Ciascuna linea di filtrazione sarà costituita da un filtro a pirolusite e tre filtri a carbone attivo. Il filtro a pirolusite svolge una funzione di protezione del filtro a carbone attivo da possibili apporti di solidi sospesi che ne comprometterebbero il funzionamento e provvede inoltre alla rimozione di ferro e manganese. I filtri a pirolusite sono dotati di un sistema di controlavaggio con acqua che interverrà in caso di alto ΔP attraverso il letto filtrante o a tempo. L'acqua di controlavaggio sarà inviata ad un ispessitore. I fanghi saranno estratti periodicamente e smaltiti come rifiuti, l'acqua sarà ricircolata in testa al trattamento.

I carboni attivi saranno del tipo granulare (GAC=Granulated Activated Carbon). Mediante opportune prove di laboratorio si è provveduto a scegliere la tipologia e la granulometria più efficaci per l'impiego previsto. Le cariche di carbone attivo saranno sostituite quando prossime all'esaurimento e smaltite come rifiuto oppure conferite al loro fornitore per la rigenerazione. Il fine ciclo di ciascuna carica sarà stabilito in funzione dei volumi complessivi di acqua trattata rilevati dai contaltri installati a valle di ciascuna linea. Per comodità di esercizio o all'osservazione di un peggioramento della qualità dell'acqua trattata, il fine ciclo potrà altresì essere attivato manualmente dall'operatore prima del raggiungimento del volume prefissato.

Le vasche di accumulo dell'acqua trattata al primo stadio saranno in numero di due, ciascuna della capacità di 300 m³ e saranno gestite alternativamente in modalità di ricezione dell'acqua trattata e di invio al trattamento di finitura.

Sezione di finitura

In considerazione del fatto che la rimozione di alcuni specifici solventi clorurati potrebbe essere particolarmente ardua, per assicurare il conseguimento dei limiti per la reimmissione in falda è prevista una sezione di trattamento a osmosi inversa che provvederà inoltre alla rimozione di solfati ed eventuali altri composti inorganici presenti in concentrazioni superiori ai limiti per la reimmissione in falda.

Conduzione e controllo dell'impianto

Dal punto di vista della verifica delle prestazioni ambientali dell'impianto, durante l'esercizio dell'impianto si effettuerà un controllo chimico ufficiale con frequenza quindicinale sia delle acque scaricate nel corpo recettore sia delle acque reimmesse in falda.

Tutte le vasche saranno attrezzate con indicatori di livello per la gestione dei flussi di acqua e con prese campione per la caratterizzazione, se richiesto, di ogni singolo batch di acqua processata dall'impianto. Parimenti, tutti i filtri saranno attrezzati con prese campione in ingresso e in uscita per una caratterizzazione puntuale dell'efficienza di ciascun filtro.

L'impianto sarà dotato di un proprio quadro elettrico alimentato da un interruttore Terna e di un quadro di comando e controllo.

6.4 Scarichi e autorizzazioni

L'intervento di bonifica comporta necessariamente che una quota parte dell'acqua prelevata dalla falda e non reimpressa sia restituita all'ambiente mediante uno scarico in acque superficiali.

Il progetto prevede infatti che siano emunti dalla falda circa 140 m³/h di acqua inquinata da solventi clorurati e che ne siano reimpressi in falda 40 m³/h, quindi con un'eccedenza di circa 100 m³/h.

L'esame delle caratteristiche chimico fisiche evidenzia che l'acqua prelevata dalla falda, con ogni probabilità, potrebbe già essere conforme ai limiti per lo scarico in mare e pertanto potrebbe essere sottoposta a trattamento solo la portata necessaria per la reimmissione. Lo scarico di acqua di falda senza alcun trattamento è stato tuttavia ritenuto non conforme allo spirito dell'intervento di bonifica e a più generali criteri di salvaguardia dell'ambiente e pertanto si è stabilito di sottoporre al trattamento di filtrazione con carboni attivi tutta la portata prelevata dalla falda. In conseguenza di questo trattamento le caratteristiche dell'acqua filtrata da restituire all'ambiente, già conformi ai limiti per lo scarico, sono ulteriormente migliorate. Oltre alle acque filtrate devono essere scaricate anche altre due tipologie di acque prodotte nel processo: il concentrato dell'osmosi inversa e gli eluati di rigenerazione delle resine a scambio ionico. Entrambe le correnti presentano una salinità superiore a quella delle acque filtrate ma sono comunque conformi ai limiti per lo scarico a mare.

Il progetto prevede l'equalizzazione di queste due tipologie di acque a maggiore salinità e la restituzione con uno scarico fisicamente separato rispetto a quello delle acque filtrate, per consentire alle autorità di applicare controlli differenti.

Lo scarico delle acque sarà effettuato nel tratto finale del Fiume Santo che può essere ritenuto, dal punto di vista della salinità, una zona di transizione e dove, secondo la normativa nazionale, è possibile scaricare nel rispetto dei limiti previsti per lo scarico in mare. Per lo scarico in acque superficiali sarà richiesta opportuna deroga, così come previsto dall'art. 10 comma 4 della D.G.R. n.69/25 del 10/12/2008.

6.5 Descrizione prestazionale

6.5.1 Descrizione del sistema di trattamento

6.5.1.1 Portate da trattare

Le acque provenienti dai sistemi di barriera della falda profonda e della pseudo-falda superficiale recapiteranno, mediante un collettore dedicato, a due vasche di accumulo in testa all'impianto (VA101A/B).

Le portate in ingresso includono:

- 135m³/h dai pozzi nella falda profonda:
- 7,5 m³/h dalle barriere nella pseudo-falda superficiale.

Saranno inoltre riciccolati in testa al trattamento

- 17,5 m³/h derivanti da acqua chiarificata da ispessimento

In totale l'impianto è stato progettato per trattare una portata idraulica di 160 m³/h di cui 142,5 m³/h provenienti dall'emungimento.

Circa 102-105 m³/h, trattati con processo di filtrazione e adsorbimento, verranno scaricati in acque superficiali o recuperate o conferite a rete consortile mentre i rimanenti 55-58m³/h saranno trattati in vari stadi di affinamento per successiva re immissione in falda.

L'impianto dispone altresì di una linea di riserva di filtrazione a pirolusite e carboni attivi in tutto identica alle linee normalmente in servizio, che permette di elevare la portata in ingresso al sistema di altri 40 m³/h fino ad arrivare a 200 m³/h complessivi di cui 182,5 m³/h di provenienza esterna.

6.5.1.2 Opere nell'area dell'Impianto di filtrazione per scarico superficiale

L'impianto di captazione e filtrazione sarà realizzato su di un'area di circa 20x40 m. In tale area saranno ubicate le opere e apparecchiature relative ai trattamenti di:

- Accumulo acque grezze
- Deferrizzazione/demanganizzazione
- Adsorbimento a carboni attivi
- Accumulo acque trattate per scarico superficiale e finitura finale successiva.

Sempre dislocate in quest'area saranno presenti altre opere accessorie al corretto funzionamento delle sottosezioni sopra elencate (pompe di controlavaggio, scarico sabbia etc.)

Il lay-out dell'impianto riportato nel disegno DCHR11006_CER02079.

6.5.1.3 Opere nell'area dell'Impianto di trattamento di reimmissione in falda

La sezione di finitura finale che servirà per arrivare ai valori analitici e chimico fisici necessari per la reimmissione in falda sarà realizzata su un'altra area di circa 20x40 m. In tale area saranno ubicate le opere relative ai trattamenti di:

- Ultrafiltrazione
- Addolcimento
- Osmosi inversa
- Le vasche di accumulo acque per successiva reimmissione in falda.

Propedeutici al corretto funzionamento dei suddetti processi e sempre ubicati entro l'area saranno:

- Le vasche di equalizzazione delle correnti di concentrato ed eluati addolcimento
- La vasca di preparazione della salamoia.
- Serbatoi vari di lavaggio e flussaggio
- Serbatoi di prodotti chimici

Le zone dosaggio prodotti chimici pericolosi sono ubicate tutte nelle vicinanze degli accessi e protette da un cordolo di muratura per evitare spandimenti in caso di rottura o perdita dei serbatoi dei Chemical utilizzati.

Su quest'area è presente anche il blocco Uffici-Laboratorio, facilmente accessibile dall'ingresso.

Affiancato a tale blocco sarà ubicato il locale sala quadri e potenza per la gestione di tutte le apparecchiature per l'intero processo.

Il lay-out dell'impianto riportato nel disegno DCHR11006_CER02079.

6.5.2 Impianto Trattamento Acque di Falda (TAF): Elenco filiera di processo

E' composta da quattro sezioni di trattamento:

- 1- Filtrazione/adsorbimento
- 2- Ultrafiltrazione
- 3- Addolcimento
- 4- Osmosi inversa

Ciascuna sezione scarica l'acqua trattata in bacini, vasche e serbatoi. Le varie sezioni sono dotate ciascuna di sistemi automatici di contro lavaggio indipendenti e sono interconnesse da gruppi di pompe di rilancio. Lungo la linea della filiera sono inserite unità di dosaggio reagenti chimici utili per un più efficace trattamento nelle rispettive sezioni.

La linea di processo è così ripartita:

- Stazione di dosaggio ipoclorito di sodio direttamente sulla linea di adduzione dell'acqua proveniente dai pozzi
- Accumulo acqua grezza su due bacini di 300m³ ciascuno
- Sistema di demanganizzazione e deferrizzazione
- Filtrazione a carbone sgrossatore e finitore
- Sistema di controlavaggio con acqua
- Stazione di accumulo e rilancio acqua filtrata su due bacini di 300m³ ciascuno
- Sistema di ultrafiltrazione
- Sistema di flussaggio moduli ultrafiltrazione
- Sistema di lavaggio chimico moduli di ultrafiltrazione
- Sistema di accumulo e rilancio acqua Ultrafiltrata
- Stazione di dosaggio sodio bisolfito
- Addolcitore duplex
- Sistema di accumulo e rilancio acqua Addolcita
- Stazione di dosaggio sequestrante
- Filtrazione di sicurezza a 5 µm
- Unità ad Osmosi Inversa
- Stazione flussaggio automatico e lavaggio membrane

Sono di compendio al processo:

- Quadro elettrico generale di potenza, di comando/controllo, segnalazioni e indicazioni funzionali.
- Quadretti di gestione apparecchiature elettriche locali.
- Compressori e linee pneumatiche di comando valvole.

6.5.3 Descrizione del processo di trattamento TAF

L'acqua grezza in arrivo dai sistemi di barriera è raccolta nella vasche VA101A/B dove viene miscelata con la portata di ricircolo proveniente dalla sezione di ispessimento. Queste vasche assolvono anche ad una funzione di dissabbiatura iniziale da cui, periodicamente verrà estratto il fango tramite le pompe P105A/B. Un misuratore elettromagnetico di portata è installato sulla linea di arrivo dell'acqua da trattare. Vengono inoltre monitorati il livello delle vasche, la torbidità dell'acqua da trattare il valore di conducibilità e il pH. Associato al segnale di portata di alimento è previsto un dosaggio di ipoclorito di sodio tramite le pompe PD101A/B.

il processo di filtrazione/demanganizzazione e successivo passaggio su letto a carboni attivi è diviso in "5 linee" uguali e indipendenti l'una dall'altra, e sarà gestito da altrettante pompe di alimento P101A/B/C/D/E. I relativi scarichi di contro lavaggio sono collettati e inviati al sistema di ispessimento fanghi.

Per ogni linea è previsto un controllo di pressione differenziale per monitorare le perdite di carico sia del filtro a pirolusite sia di ciascun filtro della batteria di filtri a carboni attivi, ed un misuratore di portata di tipo magnetico anch'esso posto su ciascuna linea.

Le pompe di controlavaggio del sistema di filtrazione P102A/B pescano dalle vasche di accumulo acque filtrate, la scelta della vasca è gestita tramite valvole automatiche, la portata di controlavaggio viene monitorata da un misuratore di portata di tipo magnetico.

Oltre all'automatismo per le operazioni di lavaggio dei filtri a pirolusite e carboni attivi, un sistema di valvole automatiche consente di by-passare ciascun filtro a carboni durante le fasi di scarico del carbone esausto e carico del carbone fresco, sempre con valvole automatiche viene gestita anche la scelta della vasca da cui prelevare e su cui scaricare l'acqua grezza.

Due vasche di raccolta acqua filtrata VA102A/B ricevono l'acqua così trattata una parte della quale verrà scaricata 102-105 m³/h tramite le pompe P104A/B mentre la rimanente di 55-58 m³/h verrà inviata ad un ulteriore processo di trattamento tramite le pompe P103A/B.

Anche in questa sezione sono monitorati il livello delle vasche, il pH in uscita e la torbidità dell'acqua filtrata.

Anche in questo caso una serie di valvole automatiche gestirà la scelta della vasca da cui prelevare e su cui scaricare l'acqua filtrata.

È stata prevista in caso di necessità, la possibilità di miscelare parte dell'acqua destinata allo scarico superficiale per aumentare la potenzialità del gruppo osmosi ovvero dell'acqua di re-immissione in falda, tramite una linea di bypass. L'operazione è definita "blending". La portata di blending è gestita tramite un misuratore di portata di tipo magnetico e una valvola di regolazione della portata. Le caratteristiche dell'acqua così miscelata, sempre nel rispetto dei limiti di

reimmissione previsti, è monitorata da un misuratore di conducibilità e pH posto sulla linea comune di produzione acqua che andrà a scaricare nelle vasche V201A/B .

L'acqua di alimento della sezione di finitura finale è inviata allo stadio di ultrafiltrazione previo un pretrattamento con coagulante in linea tramite le pompe PD202A/B, un passaggio attraverso un mixer statico MX201 e un filtro autopulente ad ugelli di sicurezza da 300µm, le portate di ingresso e acqua prodotta vengono monitorate da trasduttore di tipo magnetico, mentre un trasmettitore di pressione differenziale misura in continuo il valore delle perdite di carico nell'attraversamento delle membrane di ultrafiltrazione, un pressostato in ingresso fornisce l'allarme in caso di eccessiva pressione in mandata alle membrane.

L'acqua ultrafiltrata viene inviata al serbatoio di stoccaggio TK203, mentre una parte dell'acqua di produzione viene stoccata nel serbatoio TK201 dotato di misuratore di livello ad ultrasuoni è destinata alle operazioni di controlavaggio dei moduli ultrafiltrazione. Il controlavaggio dei moduli viene operato a tempo e in automatico tramite le pompe P202A/B e una set di valvole automatiche.

E' previsto anche un lavaggio saltuario con prodotto acido tramite le pompe dosatrici PD204A/B comandate da misuratore di pH nella vasca TK201, un ulteriore misuratore sulla linea membrane consente di monitorare il pH dell'acqua per la ripresa della produzione di acqua Ultrafiltrata dopo lavaggio chimico.

Dal serbatoio TK203 tramite le pompe P203A e B si alimenta il comparto di Addolcimento.

Un dosaggio di sicurezza di sodio bisolfito tramite le pompe PD205A/B asservito ad un misuratore di cloro residuo evita che eventuali fughe di cloro libero danneggino il funzionamento delle resine e soprattutto del sistema RO successivo.

Il comparto addolcimento è formato da due colonne identiche, ciascuna progettata per trattare l'intera portata, di cui una è in esercizio e l'altra in rigenerazione o attesa, in modo da assicurare la continuità di esercizio.

L'acqua così trattata viene accumulata nel serbatoio TK204 mentre una parte di essa servirà al ripristino del livello sulla vasca salamoia V202 per consentire lo scioglimento del cloruro di sodio per la rigenerazione delle resine alla fine del loro ciclo operativo.

La rigenerazione delle resine di addolcimento avverrà tramite l'immissione della soluzione satura di cloruro di sodio (salamoia) all'interno dei filtri addolcitori tramite le pompe PD201A e B; per facilitare la distribuzione della salamoia e l'intimo contatto con le resine, è stato previsto un sistema di pompaggio accessorio che preleva acqua osmotizzata dal serbatoio TK202 tramite le pompe P206A e B.

Gli eluati provenienti dalla rigenerazione delle resine vengono equalizzati insieme alla corrente di concentrato proveniente dall'osmosi nelle vasche V203A/B, dalle quali sarà effettuato lo scarico a mare.

Dal Serbatoio TK204 l'acqua viene pompata a tre linee indipendenti di Osmosi inversa tramite le relative pompe P204A/B/C.

Prima di arrivare alle pompe ad alta pressione l'acqua viene complessata con un agente anti scalante tramite le pompe PD203A/B/C che aiuta a mantenere in soluzione i Sali poco solubili, segnatamente i carbonati di calcio, stronzio e bario evitando così la precipitazione sulle membrane osmotiche.

Dopo una filtrazione di sicurezza con filtri a cartucce da 5µm posti su ciascuna delle linee di alimento all'osmosi inversa, l'acqua viene spinta in pressione attraverso i

moduli RO allo scopo di concentrare i Sali in una corrente che poi andrà scaricata a mare previa vasche di equalizzazione V202A/B e produrre una corrente di acqua a basso contenuto di Sali chiamata "permeato" avente tutte le caratteristiche chimico fisiche di legge necessarie per la reimmissione in falda previo stoccaggio nelle vasche di accumulo V201A/B.

Parte dell'acqua permeata viene utilizzata per riempire il serbatoio TK205 tramite relativa valvola automatica per il flussaggio dell'osmosi inversa che avviene in automatico utilizzando le pompe P207A/B.

Un'altra quota parte di acqua permeata viene invece utilizzata per riempire il serbatoio TK202 tramite la relativa valvola automatica, per i servizi di rigenerazione resine di addolcimento.

Smaltimento fanghi

Gli scarichi provenienti dai contro lavaggi dei filtri a sabbia e carboni e quelli del contro lavaggio dell'ultrafiltrazione, vengono ripresi ed equalizzati in due vasche V301A e B con una portata media di 17,5 m³/h

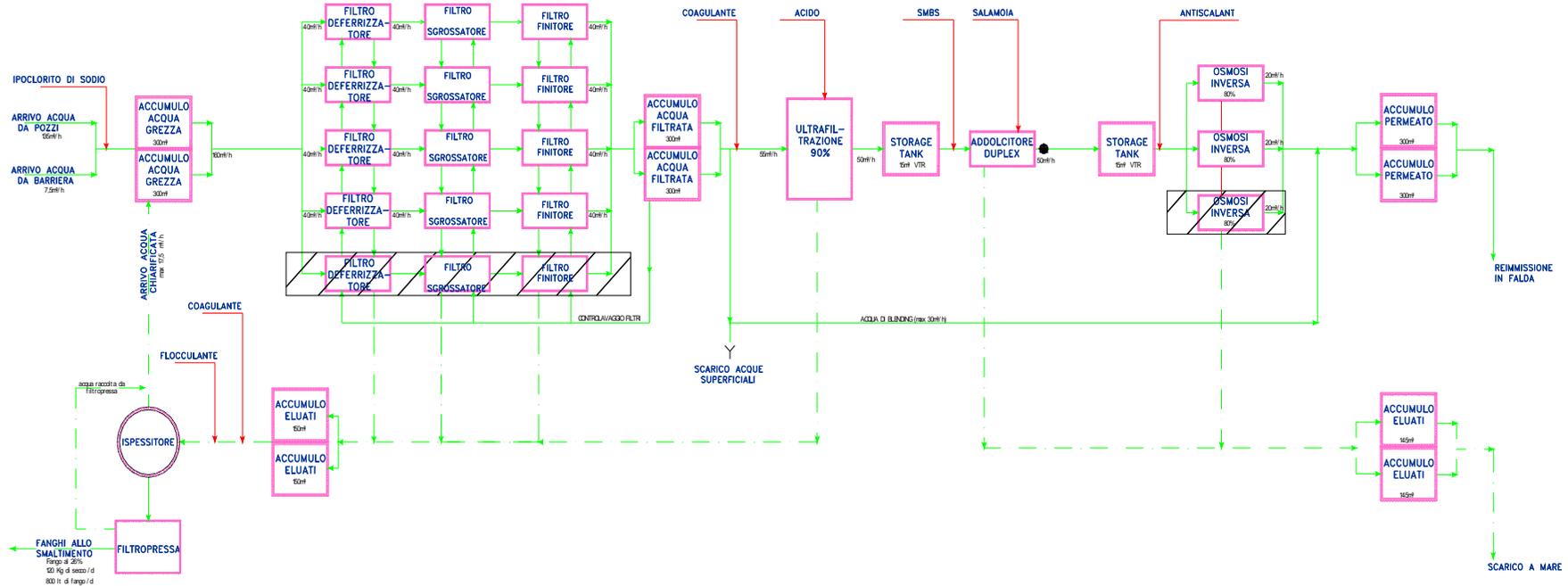
I depositi fangosi accumulatisi sul fondo delle vasche vengono estratti tramite pompe a lobi P305A/B e inviati al successivo bacino di condizionamento chimico.

Dalle vasche di equalizzazione tramite le pompe P301A/B l'acqua degli eluati viene trattata in due vasche di condizionamento chimico. Nella prima viene dosato un coagulante tramite le pompe PD301A/B atto a destabilizzare le cariche positive delle particelle fini colloidali che altrimenti rimarrebbero in sospensione; nella seconda viene aggiunto un flocculante tramite le pompe PD302A/B per facilitare l'aggregazione delle particelle e quindi la sedimentazione. In entrambe le vasche una serie di miscelatori MX301 MX302 permettono la corretta distribuzione dei prodotti chimici. Per caduta, il flusso d'acqua passa all'interno di un sedimentatore circolare, dove si ha la separazione per caduta della parte solida e lo sfioramento dell'acqua chiarificata che cade all'interno di un pozzetto e viene rimandata alle vasche di ingresso V101A/B tramite le pompe P303A/B.

I fanghi vengono estratti ciclicamente da due pompe monovite P302A/B ed inviati ad una filtropressa per aumentare il contenuto di secco fino al 24-25% in modo da ridurre i costi di smaltimento mentre la parte di acqua derivante da questo processo viene rimandata in testa alle vasche V301A/B tramite le pompe P304A/B. Il fango compresso così ottenuto viene lasciato cadere su di un carrello semovibile che verrà scaricato periodicamente e inviato allo smaltimento.

6.5.4 Fluogramma di processo

L'elaborato C11-016-1-1 mostra il bilancio di flussi complessivo del processo:



Gruppo In Riserva

6.5.5 Sezione di filtrazione/deferrizzazione/demanganizzazione

6.5.5.1 Generalità

I filtri deferrizzatori-demanganizzatori permettono di rimuovere da un'acqua il ferro e il manganese presenti in forma non ossidata. I filtri vengono di norma utilizzati a valle di un trattamento preliminare di ossidazione, con aria o più frequentemente con ipoclorito di sodio, o altri agenti ossidanti (es. permanganato di potassio). Lo stadio di ossidazione iniziale permette, in presenza di ferro, l'ossidazione da Fe²⁺ a Fe³⁺ che precipita come idrossido. La rimozione del manganese avviene con processo catalitico successivamente ad una clorazione in linea. L'ossidazione del manganese solubile avviene per mezzo del cloro libero attraverso l'azione catalitica operata dai granuli dei minerali presenti nel letto filtrante.

La scelta del letto filtrante, composto da una miscela di minerali ad azione catalitica e di inerte di idonea granulometria, è stata studiata in modo da garantire il tempo di contatto necessario per un'efficace rimozione del ferro e del manganese. La scelta del letto filtrante è stata studiata per consentire una filtrazione 'a volume' con alte velocità di filtrazione, permettendo lunghi cicli di esercizio.

L'operazione periodica di lavaggio del filtro (lavaggio con acqua pulita in controcorrente) consente l'espulsione all'esterno delle impurità trattenute e il ripristino del letto filtrante.

6.5.5.2 Finalità all'interno del processo

Il trattamento di deferrizzazione/demanganizzazione svolge la funzione di trattenere le impurità fisiche, sabbia e limo, le sostanze sospese presenti in un'acqua e di ridurre fino ai limiti prescritti dalla legge per la re immissione in falda le concentrazioni di ferro e manganese che verranno ossidati e trattenuti dal filtro.

Un dosaggio di ipoclorito di sodio a monte del processo garantisce la rigenerazione in continuo della pirolusite e il contemporaneo abbattimento della carica batterica presente nell'acqua grezza.

6.5.5.3 Configurazione linea deferrizzazione/demanganizzazione

Il sistema è costituito da cinque linee di filtrazione ed adsorbimento di cui una in stand-by. Ciascuna linea è costituita da un filtro a pirolusite e tre filtri a carbone attivo. Il filtro a pirolusite è sempre in esercizio salvo quando entra in modalità di contro lavaggio. Due filtri a carbone attivo sono in funzione mentre uno è in attesa secondo uno schema di tipo a carosello:

- 4 linee saranno sempre in esercizio garantendo la portata di 160m³/h richiesta;
- nel momento di lavaggio di una linea entrerà automaticamente in funzione quella in stand by.

Il sistema si completa con una batteria di lavoro atta all'effettuazione di filtrazione e controlavaggio, costruite in tubazioni e raccorderia in PVC.

Le condizioni di lavoro del singolo filtro sono:

- Portata (cadauno): 40 m³/h
- Velocità di Filtrazione: 8,8 m³/m² h
- Portata di controlavaggio: 120 m³/h
- Letto di sabbia e pirolusite miscelata: 14.800 kg tot

Il controlavaggio dei filtri può avvenire a tempo o tramite un pressostato differenziale posto su ciascuna linea.

6.5.6 Sezione di adsorbimento su carboni attivi

6.5.6.1 Generalità

I filtri a carbone attivo permettono di trattenere il cloro e i suoi derivati, l'ozono, tensioattivi ionici, solventi, pesticidi e microinquinanti organici presenti in un'acqua, eliminando anche eventuali odori e sapori sgradevoli. Nei casi in cui l'acqua presenti una modesta quantità di tensioattivi non ionici, i filtri garantiscono buone percentuali di rimozione se dimensionati in modo da garantire un sufficiente tempo di contatto. Trovano utilizzo anche per la rimozione/adsorbimento dei derivati del cloro a seguito del processo di ossidazione dell'ammoniaca mediante clorazione al break-point.

6.5.6.2 Finalità all'interno del processo

Il trattamento di adsorbimento su carboni attivi assolve ad un duplice scopo:

- riduzione fino ai limiti prescritti dalla legge per lo scarico superficiale di idrocarburi, organo alogenati totali e singoli componenti (in particolare Cloroformio e Triclorometano);
- eliminazione del cloro residuo disciolto in acqua.

6.5.6.3 Configurazione linea carboni attivi

Il sistema è costituito da una filiera di 5 linee costituite ciascuna da una batteria di 3 Filtri a Carboni Attivi Automatici in serie allo scopo di aumentare il tempo di residenza dell'acqua da trattare e migliorare le caratteristiche dell'acqua in uscita. Il primo filtro servirà da sgrossatore il secondo da finitore, il terzo filtro oltre ad aumentare il tempo di contatto sulla superficie adsorbente servirà anche a garantire, grazie ad un sistema di valvole automatiche detto "a Giostra" una continuità del flusso anche durante le fasi di carico e scarico del carbone esausto.

Le linee sono state dimensionate considerando che:

- 4 linee saranno sempre in esercizio garantendo la portata di 160m³/h richiesta
- nel momento di lavaggio di una linea entrerà automaticamente in funzione quella in stand by.

Le condizioni di lavoro del singolo filtro sono:

- Portata (cadauno): 40 m³/h
- Filtrazione: 8,8 m³/m²/h
- Portata di controlavaggio: 120 m³/h
- Altezza di strato: 1700 mm
- Carbone attivo tipo Gac: 3.700 lt.

Il controlavaggio dei filtri può avvenire a tempo o tramite il pressostato differenziale posto su ciascuna linea e avverrà in cascata per i tre filtri facenti parte della medesima linea o ad intervalli differenziati l'uno dall'altro, in ogni caso il lavaggio dei filtri non potrà mai avvenire in contemporanea.

6.5.7 Sezione di ultrafiltrazione

6.5.7.1 Generalità

Gli elementi filtranti, sono costituiti da membrane a fibra cava capaci di trattenere in maniera pressoché quantitativa i microrganismi, le particelle sospese e le molecole organiche di peso molecolare superiore a 100 kDalton.

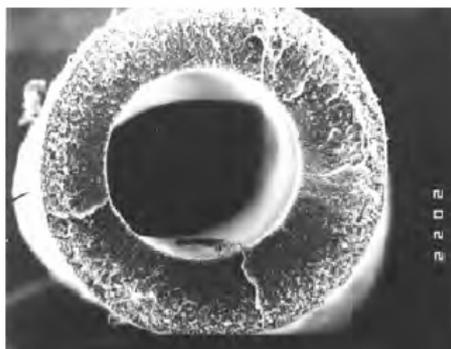


Figura 13: Ingrandimento di un elemento di una membrana

Gli elementi filtranti sono stati specificatamente progettati per il trattamento delle acque, ossia allo scopo di contenere ai minimi termini i costi impiantistici e quelli energetici.

Grazie all'elevata compatibilità chimica della membrana (intervallo di pH durante la pulizia da 1,5 a 13,0) non è necessario alimentare gli elementi con portate che garantiscano un'elevata turbolenza di flusso idrico per assicurare il mantenimento delle condizioni di pulizia.

L'acqua da trattare entra nella parte interna delle fibre cave a doppia parete in vessel, quindi con doppia barriera, di idoneo taglio molecolare, in triacetato di cellulosa (materiale non aggredibile dai batteri) che costituiscono il modulo di ultrafiltrazione. La pressione di ingresso è superiore a quella di transmembrana. L'acqua attraversa ciascun capillare in direzione dall'interno verso l'esterno. Il filtrato si collette in un unico tubo centrale.

Durante il funzionamento del sistema vi è un progressivo intasamento dovuto al particolato che si deposita sulle membrane. Il ripristino delle condizioni di lavoro ottimali delle membrane è garantito dall'esecuzione di cicli di controlavaggio (Backflushing) e dall'esecuzione di uno o due cicli settimanali di controlavaggio chimico (CEB) con una soluzione di acido cloridrico.

Le membrane di ultrafiltrazione permettono di conseguire i seguenti vantaggi:

- Elasticità di funzionamento anche nei casi di presenza di picchi di torbidità e di solidi sospesi
- Modularità del sistema con richiesta minima di spazi aggiuntivi nel caso sia richiesto un aumento della portata
- Risparmio energetico
- Minore o trascurabile produzione di fango (con il sistema di chiariflocculazione spesso vengono aggiunti prodotti di flocculazione)
- Sterilità dell'acqua prodotta senza apporto di disinfettanti
- Lunghissima durata della membrana

- Facile rimozione dell'eventuale intasamento delle membrane
- Sostituzione rapida delle membrane per effetto della grande modularità

6.5.7.2 Finalità all'interno del processo

Data l'elevata quantità di colloidali (SDI>5) che renderebbero di difficile gestione il processo di osmosi inversa causandone il continuo intasamento, si è reso necessario l'utilizzo di un sistema di ultrafiltrazione.

6.5.7.3 Configurazione linea UF

Si è scelto di configurare l'impianto su **una unica linea** considerando che l'elevata modularità del sistema permette un ripristino del sistema in tempi brevi in caso di malfunzionamento.

I 24 moduli consentiranno di produrre con continuità i 50 m³/h di portata richiesti all'esercizio delle linee osmosi.

L'acqua da trattare viene inviata allo stadio di ultrafiltrazione attraverso pompe dotate di inverter, la portata viene misurata da un strumento analizzatore-trasmettitore di portata.

Per migliorare le condizioni di funzionamento del sistema ultrafiltrazione visto l'alto contenuto di colloidali, è previsto un dosaggio di coagulante allo scopo di neutralizzare la carica negativa delle particelle colloidali facilitandone l'aggregazione.

Il liquido, prima di passare per la sezione di Ultrafiltrazione, subisce una filtrazione di sicurezza che rimuove i solidi sospesi di taglia fino a 200 micron, alghe e solidi grossolani in ingresso all' Ultrafiltrazione.

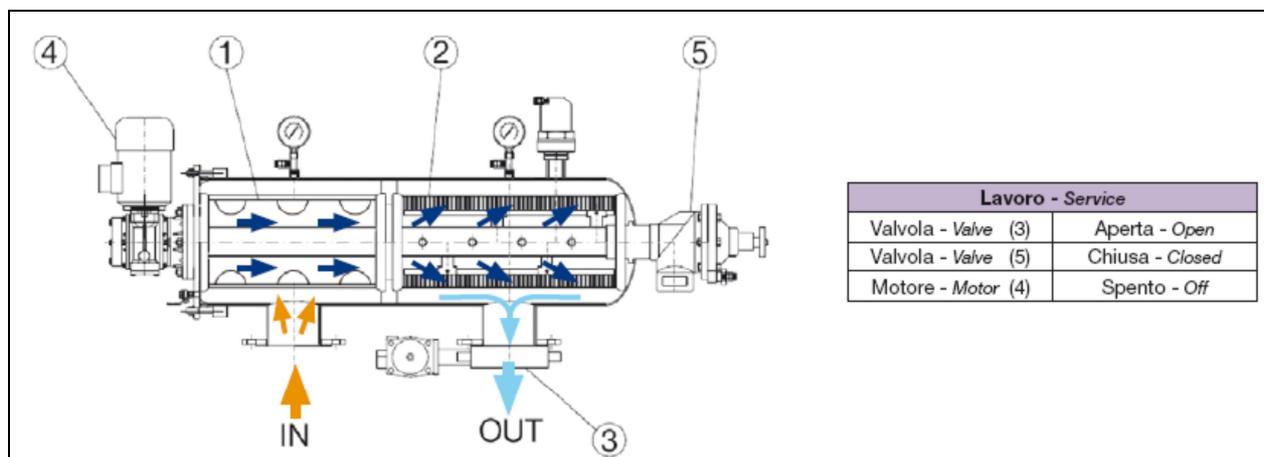


Figura 14: Schema del filtro

Questo particolare tipo di filtro si autopulisce a mezzo di ugelli spruzzatori al suo interno, permettendo un bassissimo scarto (viene scaricata solamente la parte solida e pochissima acqua, 0,4 m³/h a lavaggio) e la continuità del servizio, in quanto mentre il filtro si pulisce continua a produrre.

Il filtro autopulente permette un consumo d'acqua limitato. Il grado di filtrazione scelto permette di distribuire lungo la superficie della membrana il particolato uniformemente per poi facilitare le successive operazioni di controlavaggio.

Sulla linea di ultrafiltrazione è installato: un trasmettitore di pressione differenziale che

misura in continuo il valore delle perdite di carico inteso come grado di intasamento della membrana, un misuratore di portata per l'acqua prodotta; un pressostato in ingresso fornisce l'allarme in caso di eccessiva pressione in mandata alle membrane.

Una parte dell'acqua prodotta verrà immagazzinata in una cisterna separata da 6m³ per i lavaggi in controcorrente dei moduli che avvengono a cadenza regolare (circa ogni 40 min) ed in maniera automatica. Su questo serbatoio viene monitorato il livello di riempimento e il valore di pH utile quando si effettuano i lavaggi acidi dei moduli.

Periodicamente avviene **in automatico** il controlavaggio delle membrane attraverso le pompe P201A/B, installate in parallelo. I motori delle pompe di backflushing sono assoggettate ad **inverter** per una maggiore flessibilità lavorativa e per un maggior risparmio energetico. La portata d'acqua di controlavaggio viene inviata ad una vasca di equalizzazione insieme al controlavato del comparto adsorbimento di finissaggio.

Lavaggio chimico delle membrane con acqua ultrafiltrata

Qualora si verifici nel tempo un calo di produzione dell'ultrafiltrato e i controlavaggi in automatico non abbiano prodotto risultati migliorativi della situazione, potrà essere necessario effettuare un lavaggio delle membrane più accurato con ultrafiltrato ed un prodotto detergente specifico appositamente studiato per eliminare lo sporco fisico, lo sporco di natura organica e/o biologica, lo sporco derivato da sali e/o ossidi incrostanti.

6.5.8 Sezione Addolcitore Duplex

6.5.8.1 Generalità

L'addolcimento a resine scambiatrici di ioni consente il trattenimento dei sali di Calcio e Magnesio (che determinano la durezza di un'acqua) con rilascio nell'acqua di sali di Sodio in sostituzione. L'addolcimento a resine non modifica sostanzialmente il contenuto salino ma la composizione salina. La durezza contenuta nell'acqua è responsabile della formazione di incrostazioni sulle tubazioni o sulle apparecchiature attraversate dall'acqua (scambiatori di calore, caldaie, torri di raffreddamento, membrane ad osmosi inversa etc.). Quando la resina non può più scambiare sali di Sodio con sali di Calcio significa che si è esaurita la sua capacità di scambio. La resina si rigenera con una soluzione satura (salamoia) di cloruro di sodio. A seconda del livello rigenerativo previsto (grammi di NaCl per litro di Resina) la resina ha capacità di scambio differenti: maggiore è il livello rigenerativo, maggiore è la capacità di scambio. L'aumento della capacità di scambio non è però direttamente proporzionale all' aumento del livello rigenerativo adottato.

6.5.8.2 Finalità all'interno del processo

Data l'elevata durezza dell'acqua (stimata in circa 124°F), l'utilizzo del solo antiscalante per la salvaguardia del comparto osmosi, risulterebbe non sufficiente. Da qui la necessità di complessare l'acqua di ingresso all'osmosi abbassando il tenore dei sali di calcio e magnesio che hanno maggiore tendenza alla precipitazione preservando così le membrane osmotiche da un precoce intasamento.

6.5.8.3 Configurazione impianto di addolcimento

Addolcitori

Gli addolcitori duplex lavorano in coppia con funzionamento in scambio, cioè mentre un addolcitore è in fase di " esercizio ", l' altro è " in rigenerazione" o "in attesa". Il

consenso allo scambio del tipo di funzione è dato da un misuratore di portata calibrato per una certa portata ciclica in funzione della durezza dell'acqua da trattare e di altri parametri. Sulla linea di produzione è montato un misuratore di portata magnetico

In ingresso al sistema è previsto un monitoraggio in continuo del cloro residuo che ha il duplice scopo di controllare che non vi siano fughe di cloro dal comparto carboni attivi e in caso correggere tramite il dosaggio di bisolfito di sodio.

Sistema di rigenerazione resine con salamoia

la rigenerazione della resina cationica è operata tramite una soluzione satura di cloruro di sodio che verrà prelevata dalla vasca salamoia e diluita al 10 % circa con acqua osmotizzata.

Una serie di pompe a trascinamento magnetico con corpo in pvc preleva la soluzione salina mentre un'altra serie di pompe, pescanti dal serbatoio TK202, diluisce la soluzione inviandola in equicorrente all'addolcitore. Il serbatoio di acqua di diluizione TK202 è provvisto di misuratore di livello che comanderà le relative valvole automatiche di ripristino acqua; sulla relativa linea di adduzione è previsto un misuratore di portata.

Sulla vasca salamoia è montato un misuratore di livello mentre un misuratore di portata a palette misura la quantità di salamoia immessa nell'addolcitore.

L'acqua prodotta viene stoccata in un serbatoio di stoccaggio da 15m³ TK204 per poi essere ripresa dal successivo comparto ad osmosi inversa. Su questo serbatoio è montato un misuratore ad ultrasuoni.

6.5.9 Sezione Osmosi inversa

6.5.9.1 Generalità

L'Osmosi inversa può essere descritta come la separazione dell'acqua dai sali disciolti per applicazione di una pressione differenziale attraverso una membrana permeabile all'acqua, ma non ai sali.

Il principio dell'Osmosi fu scoperto dal Premio Nobel "JacobusHendricus Van T'Hoff" già nel 1901.

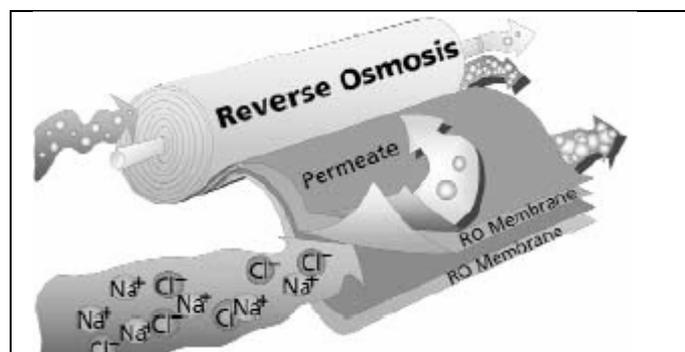


Figura 15: Schema del principio di osmosi

E' una proprietà tipica dei sali minerali: attraggono i liquidi, vincendo la pressione atmosferica, anche attraverso ostacoli che offrono resistenza, come i materiali semipermeabili. E' il principio fisico secondo il quale le cellule del nostro corpo possono alimentarsi correttamente.

Infatti sono ricoperte da una membrana semipermeabile che permette loro di filtrare ciò che serve (l'alimento e i sali minerali) e di espellere le sostanze inutilizzate. In natura l'osmosi si manifesta quando due soluzioni a differente concentrazione salina vengono separate da una barriera semipermeabile.

La soluzione più diluita passa attraverso la membrana per andare a diluire la soluzione più salina. Invertendo questo procedimento, si otterrà l'osmosi inversa: spingendo a pressione con una pompa una soluzione salina contro una membrana, si otterrà acqua pura. Le impurità, per via delle loro dimensioni, non sono in grado di superare i micropori della membrana e verranno evacuate allo scarico

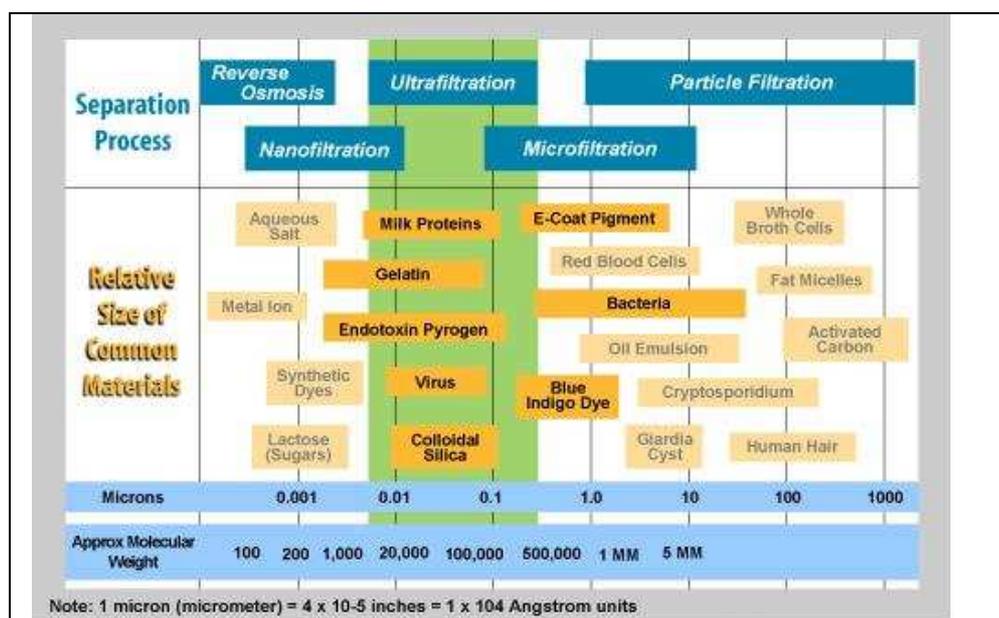


Figura 16: Ambiti di applicazione

Ne risulta che il grado di purezza dell'acqua è dipendente dalla membrana utilizzata che costituisce la parte fondamentale del sistema. Essa è in grado di filtrare l'acqua, ottenendo così le caratteristiche di purezza ottimali.

Tale processo è utilizzato nel trattamento dell'acqua, sia per la desalinizzazione, sia per la rimozione di fosfati, solfati, cloruri, calcio e metalli pesanti.

Il procedimento permette altresì di eliminare particelle inquinanti di dimensioni anche infinitesimali (fino ad un decimillesimo di micron, compresi virus, batteri ed impurità in genere) garantendo così l'assoluta purezza batteriologica.

Poiché nel processo ad O.I. i sali si trovano nel concentrato, è indispensabile analizzare, in modo da non superare, per ciascuno di essi il "prodotto di solubilità". Infatti, superando tale valore, il composto può precipitare intasando le membrane.

Per innalzare la solubilità dei sali si possono dosare nell'acqua di alimento prodotti antiprecipitanti e cioè prodotti polimerici in soluzione acquosa, ad elevato peso molecolare. Detti prodotti sono totalmente respinti dalle membrane, senza nessuna possibilità di passare nel permeato.

Questi preparati sono approvati e accettati dai maggiori organi internazionali preposti al controllo delle acque potabili per uso umano e trovano universalmente impiego negli

impianti di dissalazione per produzione acqua potabile. Non esiste quindi alcuna controindicazione nell'impiego in applicazioni ambientali.

Il prodotto viene immesso in maniera proporzionale direttamente sull'acqua grezza di alimentazione, attraverso una pompa dosatrice.

6.5.9.2 Finalità all'interno del processo

L'osmosi inversa ha il compito di ridurre la concentrazione di alcune specie ioniche e segnatamente i solfati sotto i limiti per la reimmissione in falda. Nel contempo l'osmosi inversa è in grado di rimuovere totalmente qualsiasi traccia dei solventi organo clorurati che costituiscono l'inquinante principale della falda, cosicché si può senz'altro affermare che l'acqua di re immissione ne è totalmente priva, come potranno senz'altro confermare le analisi di controllo.

6.5.9.3 Configurazione impianto di Osmosi Inversa

Per avere una maggiore flessibilità operativa l'impianto è stato configurato su tre linee di cui due in lavoro e una in stand-by. In questo modo quando una qualsiasi sezione della linea sarà fuori servizio per manutenzione o pulizia ordinaria o straordinaria, l'attivazione della linea in stand by ne mantiene l'operatività assorbendo tutta la produttività della linea e/o della sezione fuori servizio. Avendo separato le linee operative le apparecchiature principali dell'osmosi non necessitano di riserva installata. I motori delle pompe di alta pressione sono assoggettati ad **inverter** per una maggiore flessibilità lavorativa e per un maggior risparmio energetico.

Dosaggio Antiscalante

Eventuali fughe o presenza di elementi non considerati dalle analisi sulle acqua grezze, come ad esempio bario e silice, potranno essere mantenute in soluzione con l'aggiunta di un opportuno antiscalante. Per il dosaggio è previsto un unico serbatoio di stoccaggio da cui preleveranno 3 pompe dosatrici (una per ogni linea), anche in questo caso non sono previste scorte avendo considerato un'intera linea in stand by.

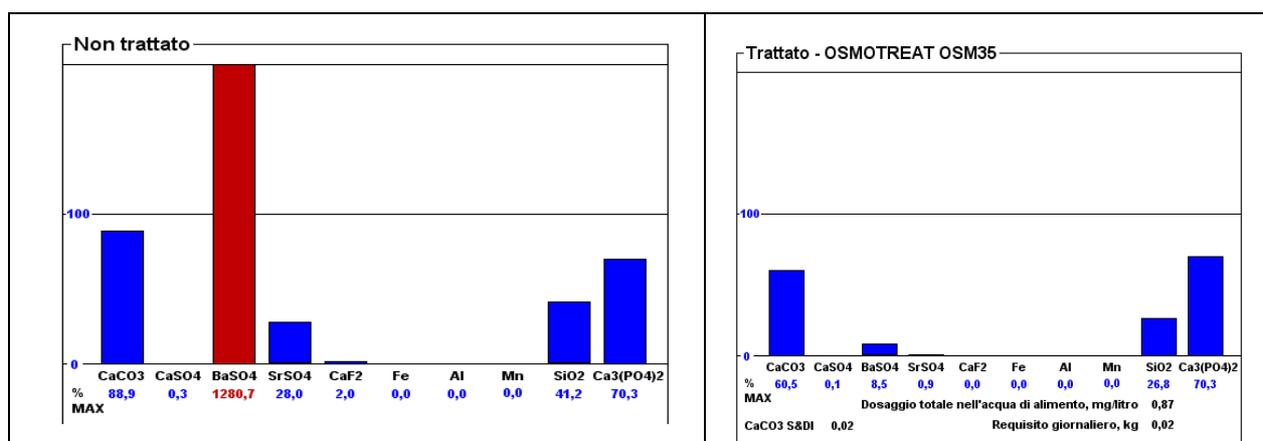


Figura 17: Raffronto dei grafici di saturazione con o senza antiscalante

Sistema di flussaggio e lavaggio delle membrane di Osmosi Inversa

Ogni tre/quattro mesi e/o quando le condizioni lo richiedono (aumento della differenza di pressione tra ingresso ed uscita membrane, aumento del valore della

conducibilità dell'acqua prodotta, diminuzione del permeato, etc.) si devono effettuare dei lavaggi alle membrane con prodotti con base alcalina e acida. Questa operazione dura in media circa due ore.

Mentre ogni qual volta l'impianto si dovesse fermare (per bassa pressione alimento o alta pressione moduli osmotici, etc.) partono in automatico le procedure per il flussaggio (con acqua permeata) delle membrane.

6.5.10 Sezione blending dell'acqua reimpressa in falda con acqua Filtrata/Adsorbita

6.5.10.1 Finalità all'interno del processo

Nel caso la potenzialità del sistema di reimmissione in falda (40m³/h garantiti) non risultasse sufficiente è possibile miscelare l'acqua osmotizzata prodotta con parte di quella destinata allo scarico in acque superficiali.

In questo modo si può raggiungere una portata massima di 70m³/h pur garantendo i limiti dei parametri chimico fisici per la re-immissione in acqua di falda.

6.5.10.2 Configurazione del sistema

Il bypass viene operato utilizzando le pompe adibite allo scarico superficiale P104A/B. Una valvola modulatrice asservita ad un misuratore di flusso consentono la regolazione della portata. Un trasmettitore di conducibilità e pH consentono di monitorare la qualità dell'acqua reimpressa in falda con questo sistema.

6.5.11 Sezione smaltimento Fanghi

6.5.11.1 Generalità

La funzione della sezione è di separare l'acqua dalle sostanze inquinanti concentrandole sotto forma di fango – sospensione acquosa semisolido. Il fango, generalmente, ha una densità maggiore di quella dell'acqua e si separa quindi in modo naturale, per sedimentazione, dallo strato acquoso soprastante. Il fango così estratto, è ancora costituito essenzialmente da acqua (95-99%) e quindi deve essere disidratato per ridurre il volume entro limiti accettabili.

Sedimentatore con ponte raschiatore

Il ponte viene posto su un sedimentatore cilindrico a flusso ascensionale con base formata da un cono rovesciato.

La miscela di acqua e fanghi, entra in un apposito cilindro centrale di diffusione. I solidi sedimentabili per gravità tendono a precipitare sul fondo dove, mediante apposite raschiatori, vengono inviati nella parte centrale del cono ed estratti mediante pompa. L'acqua pulita tracima da un apposito profilo posto nella parte periferica del sedimentatore. Gli eventuali materiali che dovessero fluttare, vengono trattenuti da una apposita lama posta all'interno del profilo dove tracima l'acqua e convogliati tramite una lama superficiale in una vaschetta di raccolta e evacuazione.

Filtropressa

Il fango precedentemente addensato viene pompato all'interno di piastre concamerate, rivestite da speciali tessuti filtranti (tele filtranti).

Un pistone oleodinamico chiude, pressandolo, il pacco di piastre filtranti. La fibra dei tessuti filtranti trattiene le particelle solide, lasciando passare l'acqua depurata, che tramite appositi ugelli viene reinviata al ciclo produttivo.

Finito il processo di pressatura, il pacco di piastre si apre lasciando cadere i pannelli di fango divenuto palabile.

Il ciclo di operazioni automatico a carico della filtropressa comprende:

- **l'espulsione** dei pannelli disidratati mediante un apposito sistema di scuotimento,
- **la raccolta e il rinvio** a monte del impianto dell'acqua filtrata.

All'operatore non resta che svuotare di tanto in tanto, il contenitore posto sotto la filtropressa che raccoglie i fanghi disidratati.

6.5.11.2 Finalità all'interno del processo

Il trattamento di sedimentazione e successiva compressione dei fanghi assolve ad un duplice scopo:

- Consente il recupero dell'acqua di lavaggio dei comparti di filtrazione e ultrafiltrazione che non sarebbero scaricabili in superficie per legge;
- Permette l'abbattimento dei costi di smaltimento dei fanghi.

6.5.11.3 Configurazione gruppo smaltimento fanghi

Il sistema di smaltimento fanghi è costituito da una coppia di vasche di raccolta delle varie correnti di controlavaggio dei filtri a pirolusite e a carboni attivi. La presenza di un sistema di accumulo in testa garantisce un'equalizzazione delle caratteristiche della corrente da trattare e la possibilità di operare il trattamento a portata costante prefissata. Le acque accumulate nel serbatoio sono inviate ad un sistema di condizionamento chimico a cui perviene anche una quota parte di acqua estratta dal fondo delle vasche di raccolta per evitare un accumulo all'interno di queste ultime. Il sistema di condizionamento chimico è costituito da una vasca di coagulazione nella quale si dosa cloruro ferrico ed una vasca di flocculazione nella quale si dosa polielettrolita. La corrente è successivamente inviata ad un sedimentatore che separa l'acqua dai fanghi. L'acqua è raccolta in una vasca di rilancio dell'acqua sedimentata alle vasche di accumulo della sezione di filtrazione, mentre i fanghi sono estratti dal fondo del sedimentatore ed inviati alla filtropressa per la disidratazione finale. L'acqua separata dalla filtropressa è raccolta in una vasca detta di rilancio dell'acqua di supero e poi inviata alla vasca di rilancio dell'acqua sedimentata.

Il fango è raccolto in un container che deve essere periodicamente inviato allo smaltimento finale come rifiuto non pericoloso.

Il sedimentatore è dimensionato in modo da garantire una velocità ascensionale di 0,4 m/h necessaria per garantire una completa separazione solido-liquido.

L'altezza di 3 mt garantisce un buon grado di compressione del fango e facilita il lavoro della filtropressa fino ad arrivare ad un 2-3% di contenuto di secco nel fango.

DATI DI PROCESSO

Portata media al sedimentatore	≈ 18 m ³ /h
solidi sospesi dell'effluente	≈ 250 -300ppm.
SS prodotto	≈ 121 kg

Fango dal chiarificatore alla Filtropressa

volume	1,30 m ³ / hr
Percentuale s.secco	2%
contenuto s.secco	20 Kg / m ³
peso specifico	1,0067
peso S.S.	0,026 Ton / hr
SS da trattare/giorno	208 kg di SS

Tempo operativo della filtropressa

produzione di fango	8,00 hr/g
filtrazione di fango	8,00 hr/g

Filtrazione

tempo di filtrazione	220,0 min
Pressione max	16 bar
Solido secco pannello	26,0%
Volume di fango giornaliero	800 lt
Giorni di produzione :	7/settimana
Giorni della settimana destinati alla disidratazione meccanica	5 gg
Ore/giorno destinate alla disidratazione meccanica	8 hr/g
Volume container fango	17 m ³
rimpiazzo container fango	ogni 20 gg

7 TEMPI DI REALIZZAZIONE

In considerazione dell'ampiezza delle aree di intervento e delle difficoltà logistiche e operative, si prevede la realizzazione degli interventi di barrieramento Lato Fiume e Lato Mare in due fasi distinte e successive, al fine di limitare le interferenze.

Barrieramento fisico-idraulico Lato Fiume

Il cronoprogramma dell'intervento di barrieramento Lato Fiume è riportato in Figura 18. La durata complessiva dell'intervento Lato Fiume è di 59 mesi. Si prevede che per la preparazione del cantiere e delle piste siano necessari circa 4 mesi di lavoro a partire dalla data di consegna delle aree di lavoro. La realizzazione della barriera fisica e della barriera idraulica inizierà dopo circa 8 mesi dalla consegna delle aree di lavoro. La realizzazione della trincea drenante nella pseudo-falda superficiale inizierà dopo circa 16 mesi dalla medesima data. Tutte le attività saranno eseguite operando con singolo turno di lavoro. Le attività di installazione dei pozzi saranno eseguite con l'impiego di 2 sonde di perforazione. Le attività di spurgo e sviluppo dei pozzi e dei piezometri, nonché quelle relative alle prove di pompaggio saranno eseguite al completamento dei singoli pozzi/piezometri. La realizzazione di collettori, vie cavo e relative opere civili associate alle barriere idrauliche saranno eseguite dopo il completamento delle opere precedenti allo scopo di evitare interferenze operative. Gli impianti tecnologici saranno installati dopo il completamento delle opere di barrieramento e delle opere civili.

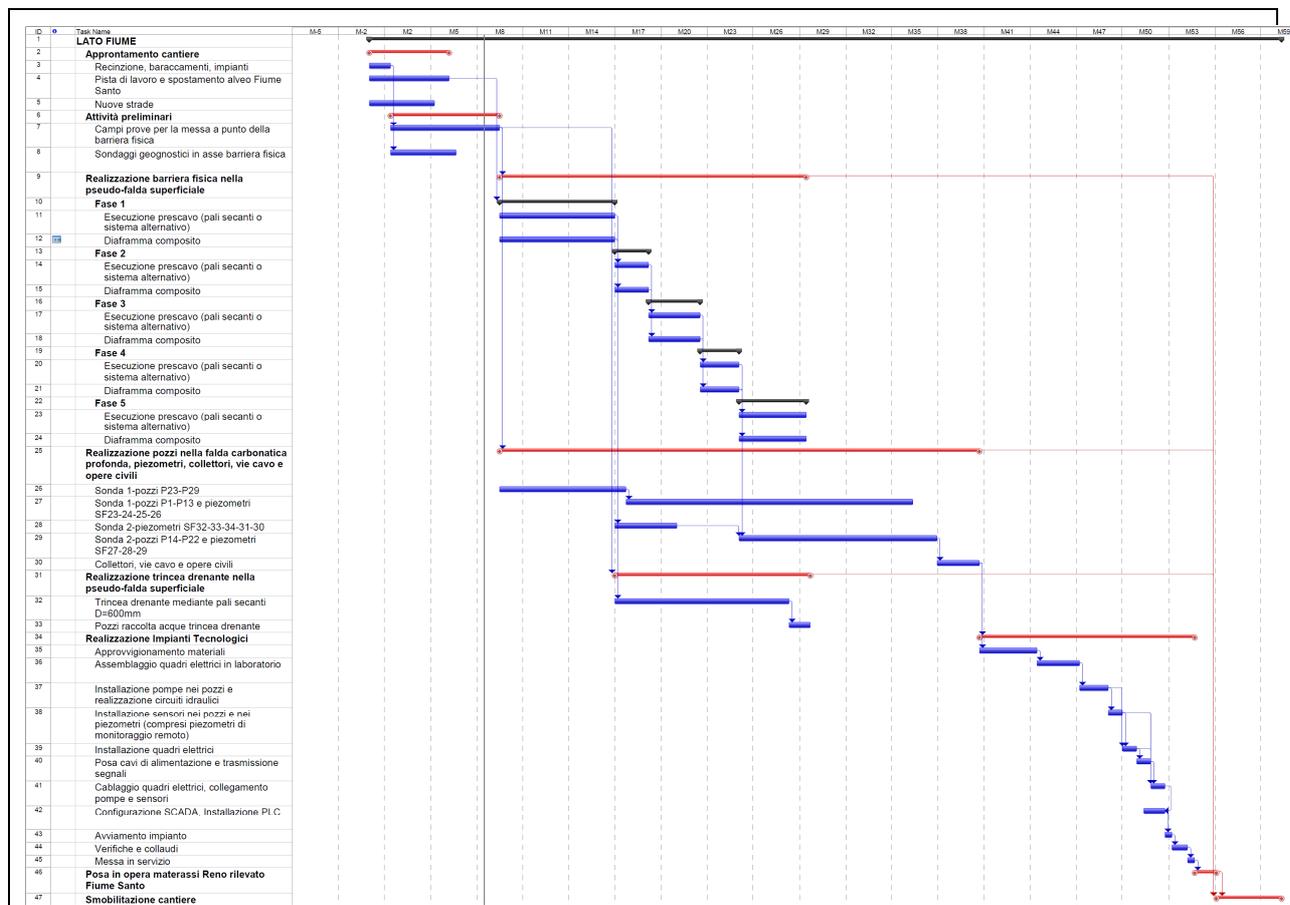


Figura 18: Cronoprogramma dell'intervento Lato Fiume

Barriera fisico-idraulico Lato Mare

Il cronoprogramma dell'intervento di barriera Lato Mare è riportato in Figura 19. La durata complessiva delle attività è stimata in 66 mesi.

Si prevede che per la preparazione del cantiere e delle piste siano necessari circa 4 mesi di lavoro a partire dalla data di consegna delle aree di lavoro. La realizzazione della barriera fisica, della barriera idraulica e della trincea drenante nella pseudo-falda superficiale inizierà dopo circa 8 mesi dalla consegna delle aree di lavoro. Tutte le attività saranno eseguite operando con singolo turno di lavoro. Le attività di installazione dei pozzi saranno eseguite con l'impiego di 4 sonde di perforazione. Le attività di spurgo e sviluppo dei pozzi e dei piezometri nonché quelle relative alle prove di pompaggio saranno eseguite al completamento dei singoli pozzi/piezometri. Come per il Lato Fiume, collettori, vie cavo e relative opere civili associati alle barriere idrauliche saranno realizzati dopo il completamento delle opere precedenti allo scopo di evitare interferenze operative. Parimenti gli impianti tecnologici saranno installati al completamento delle opere di barriera e delle opere civili.

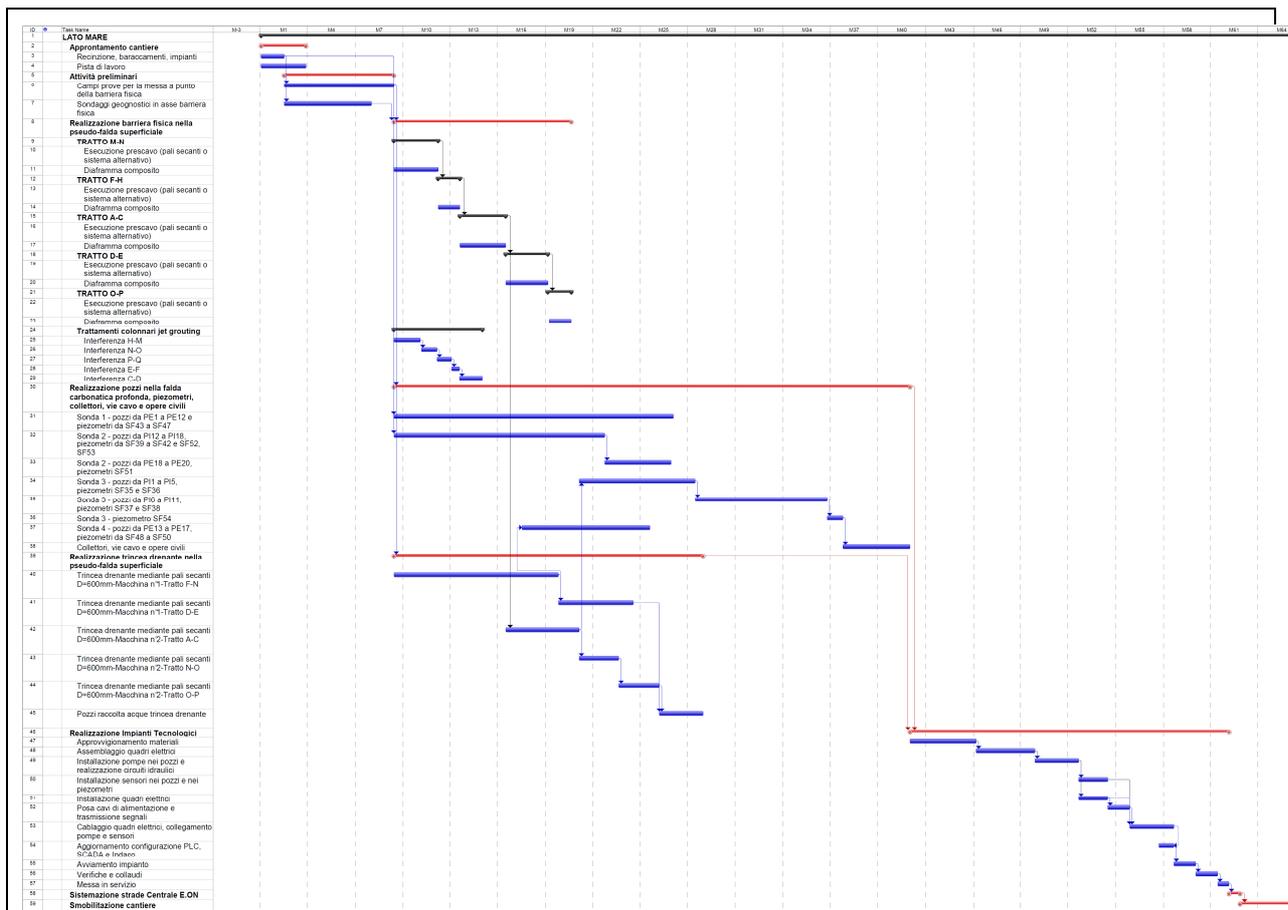


Figura 19: Cronoprogramma dell'intervento Lato Mare

Impianto trattamento acque

L'impianto di trattamento delle acque emunte sarà realizzato e reso operativo prima del completamento del barrieramento Lato Fiume per consentire l'avvio dell'emungimento e il trattamento delle acque.

La durata complessiva delle attività, comprensiva delle fasi di realizzazione, collaudo e messa in esercizio dell'impianto di trattamento, è stimata in 6 mesi.

8 COSTI DI REALIZZAZIONE

Di seguito è riportata la stima dei costi di realizzazione dell'intervento di bonifica, articolati per fase di intervento e, all'interno di ogni fase, per tipologia di lavorazione.

Le stime sono state effettuate sulla base delle lavorazioni previste e di costi unitari desunti da tariffari Terna o da valori di mercato.

Lavorazioni	Importo ⁸ (Euro IVA esclusa)
Barrieramento fisico-idraulico Lato Fiume	
Pista di lavoro e spostamento alveo Fiume Santo	1.150.000
Strade di cantiere	80.000
Pozzi e piezometri campo prove	110.000
Sondaggi in asse diaframma	220.000
Prescavo con pali secanti o sistema alternativo	5.510.000
Diaframma composito	2.530.000
Controlli diaframma composito	50.000
Trincea drenante nella pseudo-falda superficiale e pozzi di aggotamento	880.000
Pozzi di emungimento e di immissione nella falda carbonatica profonda e piezometri di monitoraggio	2.090.000
Collettori, vie cavo e opere civili	350.000
Impianti tecnologici	1.490.000
Smaltimento rifiuti	16.830.000
Sub-totale Barrieramento fisico-idraulico Lato Fiume	31.290.000
Barrieramento fisico-idraulico Lato Mare	
Pista di lavoro	670.000
Strade di cantiere	10.000
Pozzi e piezometri campo prove	110.000
Sondaggi in asse diaframma	260.000
Campo prove jet grouting	50.000
Prescavo con pali secanti o sistema alternativo	-
Diaframma composito	2.830.000
Trattamento colonnare jet grouting	4.900.000
Controlli diaframma composito	50.000
Controlli jet grouting	30.000
Trincea drenante nella pseudo-falda superficiale e pozzi di aggotamento	2.290.000
Pozzi di emungimento e di immissione nella falda carbonatica profonda e piezometri di monitoraggio	3.380.000
Collettori, vie cavo e opere civili	460.000
Impianti tecnologici	2.220.000
Smaltimento rifiuti	12.170.000
Sub-totale Barrieramento fisico-idraulico Lato Mare	29.430.000
Impianto trattamento acque	
Stazione di Stoccaggio e rilancio acque reflue	932.000
Gruppo Filtrazione e Adsorbimento	1.046.000
Stazione Di Stoccaggio Controlavaggio e Rilancio Acqua Filtrata	276.000

⁸ comprensivo degli oneri indiretti della sicurezza

Lavorazioni	Importo ⁸ (Euro IVA esclusa)
Gruppo trattamento di Ultrafiltrazione	166.000
Sezione di lavaggio/flussaggio Moduli UF	75.000
Stazione di rilancio Acqua ultrafiltrata	52.000
Gruppo Addolcimento	157.000
Sistema di rigenerazione resina	151.000
Stazione di rilancio e condizionamento acqua addolcita	46.000
Gruppo Osmosi inversa	330.000
Stazione di lavaggio e flussaggio delle membrane	67.000
Gruppo Accumulo acque di re immissione in falda Permeato + blending	948.000
Gruppo smaltimento acque salate	115.000
Sezione smaltimento fanghi	455.000
Quadro elettrico generale di controllo e comando	282.000
Allacciamenti elettrici	467.000
Sub-totale Impianto trattamento acque	5.565.000
TOTALE INTERVENTO	66.285.000